

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA‘LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

X.M.Iliyev, Z.T. Kenjayev, S.V.Koveshnikov,
V.B.Odjayev, V.S. Prosolovich

YARIMO‘TKAZGICHLI ASBOBLAR VA
INTEGRAL SXEMALAR TEXNOLOGIYASI

“ZAMON POLIGRAF ”
NASHRIYOTI
TOSHKENT–2025

UO‘K: 621.3.09.77

KBK:56.1.4

Yarimo‘tkazgichli asboblari va integral sxemalar texnologiyasi.
Dasrlilik. X.M.Iliyev, Z.T. Kenjayev, S.V.Koveshnikov, V.B.Odjayev,
V.S. Prosolovich. “Zamon poligraf ” nashriyoti – Toshkent: 2025. 208 b.

Darslik oliy o‘quv yurtlari bakalavr va magistr talabalari, doktorantlari va pedagoglari uchun mo‘ljallangan bo‘lib, yarimo‘tkazgichli asboblari va integral sxemalar texnologiyasi batafsil yoritib berilgan. Jumladan, zamonaviy ilg‘or yangi texnologiyalar, yangi konstruksiyalar, zamonaviy qurilmalar, yutuq va kamchiliklari tahlil qilingan. Shuningdek, yarimo‘tkazgichli asboblari va integral sxemalarni olish texnologiyalari va tayyorlash bosqichlari, tekshirish usullari, hamda ulardan amalda foydalanishga doir ma‘lumotlar keltirilgan.

Darslik Belarus davlat universiteti professor-o‘qituvchilari bilan hamkorlikda tayyorlangan.

Darslikni “Yarimo‘tkazgichli asboblari va integral sxemalar texnologiyasi” fanidan ma‘ruza mashg‘ulotlarida foydalanish mumkin.

Taqrizchilar:

PhD Kosbergenov E.J. - O‘zbekiston Milliy Universiteti
o‘qituvchisi

DSc, professor Ayupov K.S. - TDTU, “Raqamli elektronika va
mikroelektronika” kafedrasi professori

ISBN:978-9910-616-06-8

©“Zamon poligraf ” nashriyoti
©X.M.Iliyev, Z.T. Kenjayev, S.V.Koveshnikov,
V.B.Odjayev, V.S. Prosolovich
© Toshkent davlat texnika universiteti, 2024

ANNOTATSIYA

Darslikda yarimo'tkazgichli asboblari va integral sxemalar texnologiyasi, ilg'or yangi texnologiyalar, yangi konstruksiyalar, zamonaviy qurilmalarga doir ma'lumotlar berilgan. Shuningdek, yarimo'tkazgichli asboblari va integral sxemalarni olish texnologiyalari va tayyorlash bosqichlari, tekshirish usullari, hamda ulardan amalda foydalanishga doir ma'lumotlar keltirilgan. Darslik oliy o'quv yurtlari bakalavr va magistr talabalari, doktorantlari va pedagoglari uchun mo'ljallangan. Darslik Belarus davlat universiteti professor-o'qituvchilari bilan hamkorlikda tayyorlangan.

АННОТАЦИЯ

В учебнике представлена информация по технологии полупроводниковых приборов и интегральных схем, передовым новым технологиям, новым конструкциям и современным приборам. Также представлены технологии получения полупроводниковых приборов и интегральных схем и этапы их получения, методы проверки и информация об их практическом использовании. Учебник предназначен для студентов бакалавриата и магистратуры, докторантов и преподавателей высших учебных заведений. Учебник подготовлен совместно с профессорами и преподавателями Белорусского государственного университета.

ANNOTATION

The textbook provides information on semiconductor and integrated circuit technology, today's advanced new technologies, new designs and modern devices. Technologies for producing semiconductor devices and integrated circuits and the stages of their production, testing methods and information on their practical use are also presented. The textbook is intended for undergraduate and graduate students, doctoral students and teachers of higher educational institutions. The textbook was prepared jointly with professors and teachers of the Belarusian State University.

KIRISH

Mikroelektronika bugungi texnologiyalar tizimida markaziy o‘rinda turadi. Uning tez rivojlanishi qattiq jismlar fizikasi, kimyo, elektronika va ma’lumotlar ilmidagi yutuqlarga tayangan holda kechadi. Ishlab chiqarishda asosan quyidagi bosqichlar qo‘llanadi: materiallarni mexanik tayyorlash (kesish, jilvirlash, sayqallash), epitaksial o‘stirish (epitaksiya), legirlash (diffuziya yoki ionli kiritish), oksidlanish, aniqlikda yemirish (kimyoviy, plazma-kimyoviy, ion-nurli), shuningdek dielektrik va o‘tkazuvchan qatlamlar hosil qilish. Nozik naqshlarni tushirish uchun mikrolitografiya usullari qo‘llanadi.

Zamonaviy qurilmalarda o‘lchamlar juda kichik (nanomasshtab) bo‘lgani sababli, jarayonlar aniqlik va takrorlanuvchanlik bo‘yicha juda yuqori talablarni talab qiladi. Shu bois ishlab chiqarish “toza xonalar”da olib boriladi, gazlar (N_2 , O_2 , H_2 va b.) va kimyoviy moddalar juda toza bo‘lishi, uskunalar barqaror ishlashi, qatlamlar birxil bo‘lishi kerak. Litografiya aniqligi, materiallar sifati va jarayonlarni real vaqt rejimida nazorat qilish yakuniy natijani belgilaydi. Borgan sari tozalikka bo‘lgan ehtiyoj mavjud texnik yechimlarning nazariy chegaralariga yaqinlashib, yangi, samaraliroq usullarni izlashga undamoqda.

Amaliyotda bir qator ilg‘or yechimlardan foydalaniladi. Masalan, atom qatlamli cho‘ktirish (ALD) dielektrik qatlamlarni atom darajasida nazorat bilan o‘stirishga yordam beradi. Ekstremal ultrabinafsha litografiya (EUV) esa yanada nozik naqshlarni tushirish imkonini beradi. Arxitekturalarda hamma tomondan darvoza tranzistori (GAAFET), quvvat elektronikasida kremniy karbidi va galliy nitridi (SiC/GaN) qurilmalaridan foydalanish tobora kengaymoqda. Tizim darajasida esa chiplet yondashuvi va kremniy orqali vertikal ulanish (TSV) yordamida 3D-integratsiya, hamda chipletlararo UCIe kabi standart interfeyslar joriy etilmoqda.

Ushbu darslikda materiallarni tayyorlashdan boshlab epitaksiya, oksidlash va qoplamalar hosil qilish, mikrolitografiya va nozik yemirish, ionli implantatsiya, shuningdek yig‘ish va qadoqlash bosqichlarigacha bo‘lgan texnologiyalarni tushuntiradi. Maqsad — konsepsiyadan ishlab chiqarishgacha bo‘lgan yo‘lni tushunishga yordam beradigan, dolzarb va qo‘llashga tayyor bilimlar majmuasini taqdim etish.

1. YARIMO‘TKAZGICHLARNI ISHLAB CHIQARISH TEKNOLOGIYASI

Hozirgi vaqtda yarimo‘tkazgichlarni ishlab chiqarish texnologiyasi foto- va elektron litografiya, oksidlash, ion-plazmali changlatish, ionlar implantatsiyasi, diffuziya, qizdirib siqish va boshqalar kabi murakkab yuqori aniqlikdagi ishlov berish jarayonlariga asoslangan. Yarimo‘tkazgichli asboblarni va mikrosoxemalarni ishlab chiqarishda ishlatiladigan materiallarga yuqori darajadagi tozalik va mukammal strukturaga egalik talablari qo‘yiladi. Ko‘pgina texnologik operatsiyalarni bajarish uchun noyob uskunalar qo‘llaniladi: optik-mexanik, termal, ion-nur. Jarayonlar belgilangan darajadagi namlik va harorat o‘rnatilgan maxsus yuqori darajada toza xonalarda (germetik zonalar) amalga oshiriladi.

1.1. Yarim o‘tkazgichli mikroelektronikaning rivojlanishida texnologiyaning o‘rni.

Yarimo‘tkazgichli asboblarni ishlab chiqarish texnologiyasi muttasil rivojlanishi natijasida integral sxema (IS) lar yaratildi. IS larni ishlab chiqarish 1959 yillarda, taklif etilgan planar texnologiya asosida boshlandi.

Planar texnologiya asosi bo‘lib quyidagi bir qancha fundamental texnologik usullar xizmat qildi:

- 1957 yilda kremniyga donor va akseptorli kirishmalarni lokal diffuziya qilish (kiritish) uchun kremniy yuzasida qizdirib o‘stirilgan SiO₂ qatlamidan maska sifatida foydalanish mumkinligi aniqlandi.

- 1958 yilda lokal diffuziya qilib, kichik ulchamli va murakkab shakldagi n-p - o‘tishlar xosil qilish imkonini beruvchi fotolitografiya (FL) usuli yaratildi.

- 1959 yilda p-n – o‘tish soxalarini atrof-muxit ta‘siridan ximoyalashda SiO₂ qatlamidan foydalanish usuli yaratildi.

Ikki xil turdagi IS lar tayyorlanadi:

- yarimo‘tkazgich kristalining mikrosoxalariga lokal ishlov berib, bironta element funksiyasini bajaradigan xolatga keltiriladi va bu soxalarni uzaro ulanishlarini xosil qilinadi (yarimo‘tkazgichli IS lar).

- bironta dielektrik taglikka turli materiallarning yupqa qatlamlaridan iborat elementlar va ularning ulanishlari xosil qilinadi (yupqa qatlamli IS lar).

Bu ikki usulning qo‘shilishidan gibrid IS lar xosil qilindi(GIS).

GIS larda yupqa qatlamli elementlar passiv elementlar (rezistorlar, kondensatorlar) bo‘lib, aktiv elementlar mikroo‘lchamli yarimo‘tkazgichli aktiv elementlar (tranzistor, diod va ularning yig‘indilari).

Xar qanday IS tayyorlashda bajariladigan asosiy texnologik jarayonlar:

1. Kremniy quymasidan plastina qirqish, mexanik ishlov berish
2. Ximiyaviy ishlov berish bilan plastina sirtini tozalash.
3. Oksidlash yo‘li bilan kremniy plastina sirtida SiO_2 qatlam xosil qilish, bu qatlam lokal diffuziyalash jarayonida kirishmaga to‘siq vazifasini bajaradi.
4. Kremniyli yoki boshqa materialli (masalan sapfir) plastina yuzasida kremniy epitaksial qatlamini o‘stirish.
5. Kremniy plastinasida diffuziya va ionli legirlash usullari bilan kirishma kiritilgan soxalar xosil qilish.
6. Plastina ishchi yuzasiga metall qatlamlari xosil qilish bilan omik tutashuv, elementlarni uzaro ulash yo‘lchalarini yaratish.
7. Lokal diffuziyaga SiO_2 qatlamda darcha ochish va elementlarni o‘zaro ulash yo‘lchalarini yaratish uchun FL jarayonini bajarish.
8. Bitta plastinada yaratilgan IS larni parametrlarini tekshirish va yaroqlilarini saralash.
9. Plastinani kristallarga bo‘lish va yaroqli IS larni qutilarga joylashtirish.
10. Mexanik mustaxkamligini, temperatura o‘zgarishiga va namlikka chidamliligini texnologik sinash.
11. IS parametrlarini so‘nggi tekshirish.

Katta va o‘ta katta (BIS va SBIS) IS larda elementlar soni 10^4 - 10^6 gacha bo‘lib, ularni tayyorlash uchun izoplanar texnologiya yaratildi. Bu texnologiya yuqoridagi jarayonlarga qo‘shimcha ravishda kremniy plastina yuzasida kimyoviy yemirish yo‘li bilan relyefli shakl xosil qilinadi. Nitrid kremniy plyonkasi o‘stiriladi. FL o‘rniga rentgen nur litografiya va elektron nur litografiya usullari qullaniladi. Lokal yemirish uchun ion plazmali yemirish usullaridan foydalanish elementlar ulchamini kichraytirish imkonini beradi.

Planar texnologiyani muxim jixati uning universalligidadir. Texnologik jarayon 3 ta takrorlanib turuvchi operatsiyalar: kimyoviy ishlov berish, termik ishlov berish va FL lardan iborat.

IS larning avzalliklari:

-IS larning o'lchamlari kichikligi va massasining kamligi tufayli EXM larni yaratishda va aloqa sistemalarida (tezkorligi tufayli) keng qo'llaniladi.

-Tannarxining arzonligi va ekspluatatsiya xarakteristikalarining yaxshiligi tufayli IS lar o'ta murakkab sxemalarning sifatini oshirish imkonini beradi.

IS larning kamchiliklari:

-Yuqori chastotalarda IS xarakteristikalari yomonlashadi.

-Passiv elementlar temperaturaviy koeffitsientlari ancha katta qiymatlarga ega

-Rezistorlar qarshiligi 10-50 kOm, kondensatorlar sigimi esa 200 pF dan kam .

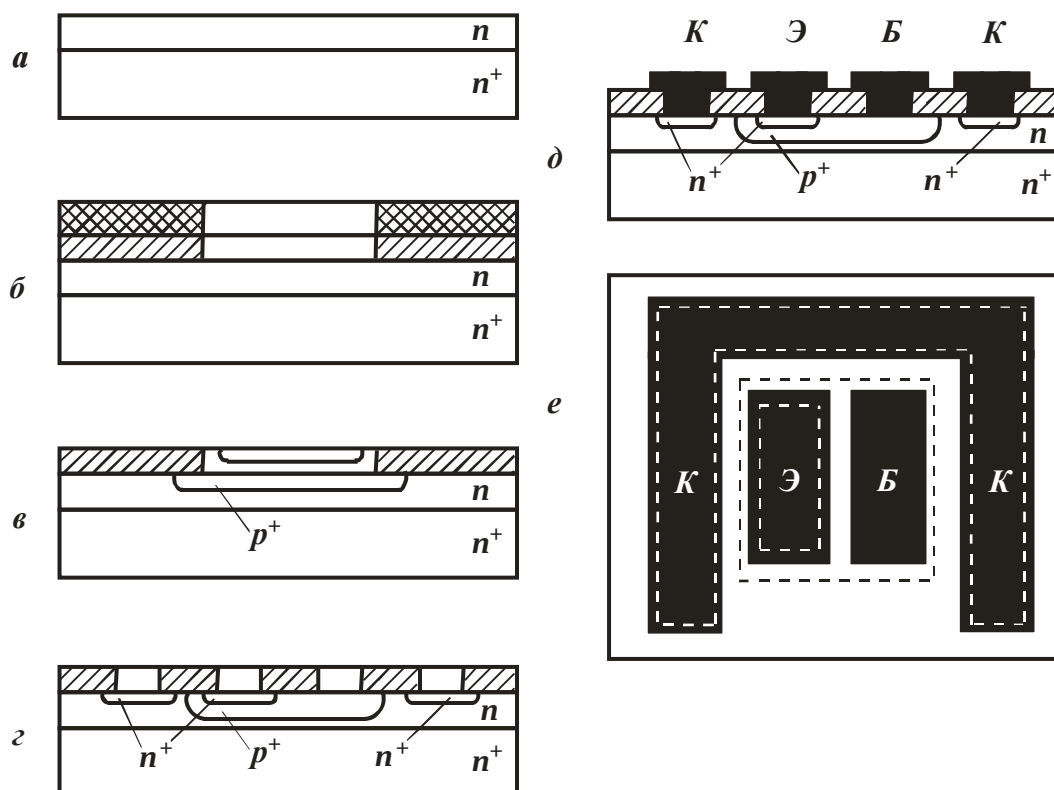
-Induktiv galtaklarni IS larda yaratish juda murakkab.

1.2. Texnologik marshrut

Texnologik marshrut - bu ma'lum turdagi yarimo'tkazgichli qurilmalar yoki integral mikrosxemalar (IS) ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan yarimo'tkazgichli plastinalarni qayta ishlash bo'yicha texnologik operatsiyalar ketma-ketligi. Marshrutning tavsifini o'z ichiga olgan hujjat marshrut xaritasidir. Bu sizga ishlab chiqarilgan qurilmaning harakatini barcha operatsiyalar orqali baholashga imkon beradi, asbob-uskunalar, materiallar, mehnat standartlari va nazoratni ko'rsatadi. Har bir texnologik operatsiyani amalga oshirish strukturani yoki qurilmani va texnologik jihozlarni ishlab chiqarishning texnologik rejimlarini ko'rsatadigan operatsiya tavsifini o'z ichiga olgan operatsion xarita bilan tartibga solinadi. Turli xil yarimo'tkazgichli asboblardan va ISlarni ishlab chiqarishning texnologik jarayonlari xilma-xildir. Bir qator umumiy texnologik operatsiyalarni va ularning taxminan bir xil ketma-ketligini ajratish mumkin. Planar yarimo'tkazgichli asboblardan yoki IS uchun odatiy ishlab chiqarish yo'nalishi bir qator asosiy operatsiyalar ketma-ketligi bilan belgilanadi.

1. Plastinka tayyorlash. Dastlabki yarimo'tkazgich plastinkalari - epitaksial tuzilmalar, masalan, $n-n^+$ - tipli yoki ishlab chiqaruvchidan yarim tayyor mahsulot sifatida olingan n - yoki p - tipli elektr o'tkazuvchanligiga ega bo'lgan monokristalli tagliklar yuzadagi ifloslantiruvchi moddalar va chang zarralarni olib tashlash uchun tozalash, yuvish, qirqishga duchor bo'ladi. $n-n^+$ - epitaksial tuzilmadagi

n-tipli elektr o'tkazuvchanligiga ega bo'lgan qatlam hosil qilinadigan tranzistorlarda kollektor sohasi bo'ladi (1.1a -rasm).



1.1-rasm. Planar epitaksial tranzistor tayyorlash jarayonidagi asosiy texnologik operatsiyalar

2. Topologik chizmani yaratish. Epitaksial tuzilmada p-tipli elektr o'tkazuvchanligi bo'lgan sohalarni shakllantirish uchun himoya niqobidagi darchalar - teshiklar orqali mahalliy diffuziyani ta'minlash kerak. Ushbu darchalarning o'lchamlari fotolitografiya jarayoni yordamida shakllantiriladi. Kremniy ikki oksidi (SiO_2) plyonkasi diffuziyani to'suvchi niqob bo'lib xizmat qiladi. Ushbu plyonkani o'stirish planar texnologiyaning zaruriy bosqichidir. Qalinligi 0,3-1,0 mikron bo'lgan kremniy ikki oksidi (SiO_2) plyonkasi strukturani ko'plab tashqi omillar ta'siridan va kirishma atomlari diffuziyasidan ishonchli himoya qiladi. Plyonkaga fotorezist qatlami - fotoemulsiya suriladi va u berilgan konfiguratsiya va o'lchamlarga ega bo'lgan tranzistor asoslarining ko'plab bir xil tasvirlarini o'z ichiga olgan fotoshablon orqali ultrabinafsha nur bilan yoritiladi. Fotorezistning ultrabinafsha nur tushgan joylari ochiltirgichda eritiladi, SiO_2 plyonkasi shu joylarda ochilib qoladi va kislotada yemiriladi. Baza sohasini shakllantirish maqsadida diffuziya qilish uchun ochilgan darcha 1.1, b rasmda ko'rsatilgan.

3. Baza-kollektor p-n - o'tishini olish. p-baza sohasini yaratishda kristalga kiritilayotgan bor kirishma anomlarining miqdorini aniq boshqarish uchun kristall yuzasiga tezlasmalangan ionlarni kiritishdan iborat bo'lgan ion implantatsiyasi jarayonidan foydalaniladi. Fotorezist qatlami himoya niqobi bo'lib xizmat qiladi, chunki fotorezistga kiritilgan ionlar dioksid (SiO_2) yuzasiga etib bormaydi. Baza sohasini va kollektor-baza p-n - o'tishini kerakli chuqurlikda hosil qilish uchun kiritilgan bor atomlarining keyingi diffuziya tezlashuvi qo'llaniladi. Bu jarayon yuqori haroratlarda oksidlovchi muhitda amalga oshiriladi. Natijada, 2-3 mkm chuqurlikda baza sohasi hosil bo'ladi va baza sohasining ustida qalinligi $0,3 \div 0,5$ mkm bo'lgan SiO_2 plyonkasi o'sadi. (1.1, b- rasm).

4. Emitter-baza p-n - o'tishini olish. Avval fotolitografiya jarayoni yordamida baza sohasining ustidagi SiO_2 plyonkada emitter sohasining topologiyasi shakllantiriladi. Shu bilan bir vaqtda SiO_2 plyonkada kollektor kontaktlarining shakliga mos darchalar ochiladi. Fotorezist olib tashlanadi va katta konsentratsiyada fosfor $1 \div 1,5$ mkm sayoz chuqurlikka diffuziyalanadi (1.1, r- rasm).

5. Metall kontakt hosil qilish. Emitter, baza va kollektor sohalarini ulash uchun kontakt sohalarini metallashtirish kerak. Kontakt hosil qilish kerak bo'lgan sohalardan dioksid plyonkasini olib tashlash uchun fotolitografiyadan foydalaniladi. Keyin, vakuumda termal bug'lantirishdan foydalanib, qalinligi taxminan 1 mikron bo'lgan metall qatlami (masalan, alyuminiy) plastinkaning butun yuzasida hosil qilinadi, keraksiz joylardan metallni olib tashlash uchun yana bir fotolitografiya jarayoni amalga oshiriladi. Kontakt metallizatsiyasi hosil qilingan struktura 1.1, d rasmda ko'rsatilgan. IS ishlab chiqarishda xuddi shunday tarzda yupqa plyonkali passiv elementlar - rezistorlar, kondensatorlar yaratiladi, tranzistorlarni ulash amalga oshiriladi.

6. Yig'ish va germetiklash. Plastinkada bir necha yuzdan o'n minglab tranzistorlar bo'ladi. Bu bosqichda plastinka bo'laklarga (kristallarga) kesiladi. 1.1, e rasmda bunday kristallning topologiyasi ko'rsatilgan. Kristall kristall ushlagichga payvandlanadi, simlar o'tkaziladi - elektr simlarini baza, emitter va kollektorning kontaktlariga ulash va uni metall qutiga joylashtirish yoki plastmassa bilan to'ldirish orqali germetiklanadi.

7. Qurilmalarni sinovdan o'tkazish. Qurilmalar parametrlarining turli ta'sirlarga chidamliligini aniqlash uchun namlik, termik va mexanik ta'sirlar bo'yicha sinovlar o'tkaziladi. Ular qurilmalarning sifati va

ishonchliligi haqida to'g'ri ma'lumot olish uchun muhimdir. Bundan tashqari, har bir texnologik operatsiya sifati nazorat qilib boriladi, masalan, diffuziya chuqurligini o'lchash; epitaksial qatlamning qalinligini, solishtirma yoki sirt qarshiligini o'lchash orqali. Strukturada p-n - o'tish sohalarini yaratilgandan so'ng, ularning elektr parametrlari nazorat qilinadi - teshilish kuchlanishi, sirqish toki, sig'im. Texnologik marshrut maxsus nazorat jadvallarini o'z ichiga oladi.

Ko'rib chiqilgan operatsiyalar ketma-ketligi planar epitaksial tranzistorni ishlab chiqarish uchun xosdir. Qurilmalarning tasnifi strukturaning faol sohalarini yaratishning texnologik usuliga asoslanadi. Shu asosda diffuziyali, epitaksial, implantatsiyali diskret yarimo'tkazgichli asboblari, shuningdek, ularning modifikatsiyalari farqlanadi. Aksariyat zamonaviy qurilmalar epitaksial tuzilmalarda ishlab chiqariladi. Faol sohalar ionlar implantatsiyasi va diffuziya yordamida hosil qilinadi. MOYO' tranzistorlari planar texnologiyasidan foydalangan holda epitaksial qatlamsiz monokristalli tagliklarda hosil qilinadi. Katta quvvatli diodlar va tranzistorlar ishlab chiqarishda planar bo'lmagan diffuziya va epitaksial o'tishlar qo'llaniladi.

1.3. Yarimo'tkazgichli materiallar

Yarimo'tkazgichli qurilmalar va integral mikrosxemalarning turli sinflarini ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan yarimo'tkazgichli materiallarga yuqori talablar qo'yiladi. Muayyan yarimo'tkazgich materialining yaroqliligi birinchi navbatda uning parametrlari va xususiyatlari bilan belgilanadi. Yarimo'tkazgich materiallarining optik, issiqlik va elektr xususiyatlariga qo'yiladigan talablar tayyor qurilmalar va ISlarning ekspluatatsion parametrlari bilan belgilanadi. Yarimo'tkazgichli materiallarning elektr o'tkazuvchanligi turi, solishtirma qarshiligi, zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi, harakatchanligi, yashash vaqti va diffuziya uzunligi kabi xususiyatlariga alohida talablar qo'yiladi.

Ko'pgina yarimo'tkazgichlar uchun qo'llaniladigan asosiy talablarni ko'rib chiqaylik.

1) Monokristalli tuzilish.

Ko'pgina qurilmalarni ishlab chiqarishda monokristalli yarimo'tkazgich quymasidan plastinka shaklida kesilgan material talab qilinadi. Silindr shaklidagi monokristalli quymalar turli usullar bilan ishlab chiqariladi, ular orasida Choxralskiy usuli eng keng tarqalgan. Ishlab chiqarishda

monokristalli epitaksial plyonkalar (bir qatlamli va ko'p qatlamli) keng qo'llaniladi.

2) Kiritilgan kirishma atomlarining bir xil taqsimlanishi.

Yarimo'tkazgichli materiallardagi kirishma atomlari monokristalli quymaning butun hajmi bo'ylab birhilda taqsimlanishi kerak. Ushbu talab yarimo'tkazgich materialining bir quymadan tayyorlangan plastinkalarning butun partiyasi uchun bir xil parametrlarni ta'minlaydi. Bundan tashqari, ushbu talab yarimo'tkazgichli qurilmalar va integral mikrosxemalar elektr parametrlarining bir-biridan kam farq qilgan holda ko'plab ishlab chiqarishni ta'minlashga imkon beradi.

3) Atrof muhit ta'siriga chidamliligi.

Ko'pgina yarimo'tkazgich materiallar ushbu talabni qanoatlantiradi. Germaniy, kremniy, karbid kremniy va boshqalar kabi materiallar atrof-muhit ta'siriga juda chidamli. Biroq, nam atmosferada barqaror bo'lmagan yarimo'tkazgichli birikmalar ma'lum. Bu materiallarga nam muhitda gidrolizlanadigan ba'zi $A^{III}B^V$ birikmalar, masalan antimonid alyuminiy, arsenid alyuminiy va fosfid alyuminiy kiradi. Ushbu holat bu birikmalarning keng qo'llanilishiga jiddiy to'sqinlik qiladi.

4) Haroratga chidamlilik.

Haroratga chidamliligiga qo'yiladigan talablar yarimo'tkazgich qurilmalari va integral mikrosxemalar qo'llaniladigan maksimal ish harorati bilan belgilanadi. Yarimo'tkazgichli materiallarning ish haroratining yuqori chegarasi ularning taqiqlangan energetik sohasi kengligiga bog'liq. Demak, germaniy uchun $80 \div 100$ °C, kremniy uchun $180 \div 200$ °C. Galliy arsenid 350 °C gacha, galliy fosfidi $500 \div 600$ °C gacha, kremniy karbidi $700 \div 800$ °C gacha haroratga bardosh bera oladi.

Yarimo'tkazgichli qurilmalar past haroratlarda ham ishlatiladi. Shuning uchun yarimo'tkazgich materialidagi kirishma atomlarining ionlanish energiyasi - 60 °C gacha bo'lgan haroratlarda muhim bo'lishi kerak.

Ko'pgina yarimo'tkazgichli qurilmalar va ISlar, impulsli qurilmalar bundan mustasno, asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning yashash vaqti etarlicha katta bo'lgan materialni talab qiladi. Impulsli yarimo'tkazgichli qurilmalarni ishlab chiqarish uchun asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning yashash vaqti turli usullar bilan, masalan, oltin diffuziyasi yoki yuqori energiyali zarrachalar bilan nurlantirish bilan maxsus qisqartiriladi.

Holl effektidan foydalanadigan qurilmalarni ishlab chiqarish uchun yuqori harakatchanlik va yuqori Holl kuchlanishini ta'minlaydigan zaryad tashuvchilarning past konsentratsiyasiga ega yarimo'tkazgichli materiallar eng mos keladi. Indiy arsenid va simob telluridi magnitoelektrik qurilmalar ishlab chiqarish uchun ishlatiladi.

Yorituvchi diod (LED) lar uchun ishlatiladigan materiallar rekombinatsiya jarayonida nur chiqaruvchi yarimo'tkazgichlardir: arsenid indiy va arsenid galiy, fosfid indiy va fosfid galiy, karbid kremniy, rux sulfidi va boshqalar. LED larning asosiy parametri – chiqaraytgan nurining to'liq uzunligi - hysusiy yarimo'tkazgich materialining xususiyatlariga bog'liq va xususan, taqiqlangan energiya sohasi kengligi, shuningdek, kiritilgan kirishma atomi turi va uning ionlanish energiyasiga. Galliy fosfidi yashil nur chiqaradi, hususiy galliy fosfidiga kislorod kiritish orqali yashil nurni qizil nurga o'zgarish mumkin.

Shuni ta'kidlash kerakki, yarimo'tkazgichli asboblarda va integral mikrosxemalar turlarining soni juda katta. Ushbu qurilmalarning har birining ishlash tamoyillari va elektr parametrlariga qo'yiladigan talablardan kelib chiqib ma'lum xususiyatlarga ega yarimo'tkazgich materialini talab qiladi.

1. Yarimo'tkazgich materiallarning sinflarga ajratilishi.

Yarimo'tkazgichli materiallarni kimyoviy tarkibiga ko'ra ikki guruhga bo'lish mumkin: oddiy va murakkab.

Oddiy yarimo'tkazgichli materiallarga germaniy va kremniy kiradi.

Murakkab yarimo'tkazgichli materiallar guruhiga yarimo'tkazgich xossalarga ega bo'lgan va ikki, uch yoki undan ortiq elementlarni o'z ichiga olgan kimyoviy birikmalar kiradi. Bunday birikmalarga GaAs, Bi₂Te₃ va boshqalarni misol qilib keltirish mumkin. Bu guruhning ikki elementdan tashkil topgan yarimo'tkazgich materiallari binar birikmalar deyiladi. Bunday birikmalar metall xossalari kamroq ifodalangan komponent nomi bilan ataladi. Shunday qilib, tarkibida mishyak bo'lgan ikkilik birikmalar arsenidlar, oltingugurt bo'lganlar - sulfidlar, tellur bo'lganlar - telluridlar, uglerod bo'lganlar - karbidlar deb ataladi.

Murakkab yarimo'tkazgichli materiallarning turli guruhlari birikma komponentlari tegishli bo'lgan elementlarning davriy sistemasining guruh raqami asosida birlashtiriladi. Yarimo'tkazgichli birikmalar guruhlari lotin alifbosi harflari bilan belgilanadi: A - birikmaning birinchi komponenti, B - ikkinchi, C - uchinchi va hokazo. Harflar, o'z navbatida, raqamli indeksdarga ega. Harflar ustiga qo'yilgan

rim raqamlari davriy jadvaldagi elementlar guruhini ko'rsatadi. Harflar ostidagi arab raqamlari stexiometrik koeffitsientni bildiradi. Masalan, indiy fosfidi InP ikkilik birikmasi $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$, vismut telluridi Bi_2Te_3 $\text{A}_2^{\text{V}}\text{B}_3^{\text{VI}}$, ZnSiP_2 birikmasi $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{IV}}\text{C}_2^{\text{V}}$ va hokazo.

Termoelektrik qurilmalarni ishlab chiqarish uchun maksimal samaradorlikni ta'minlaydigan, ya'ni yuqori elektr o'tkazuvchanligi va past issiqlik o'tkazuvchanligiga ega bo'lgan yarimo'tkazgichli materiallar talab qilinadi. Rux antimonidi, vismut telluridi va vismut selenidi va ularning qattiq eritmaları shunday xususiyatlarga ega.

Fotosezgir qurilmalarni ishlab chiqarish uchun materiallarni tanlashda birinchi navbatda yarimo'tkazgich materialining spektral sezgirligi sohasi e'tiborga olinadi. Fotosezgir qurilmalarning inertligini kamaytirish uchun odatda asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning yashash vaqti kichik bo'lgan materiallar ishlatiladi. Fotoo'zgartkichlarni (quyosh batareyalari) ishlab chiqarish uchun ushbu qurilmalar guruhining ishlash samaradorligini belgilaydigan taqiqlangan energiya sohasi kengligi alohida ahamiyatga ega.

Lazerlarni ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan yarimo'tkazgichli materiallar sof bo'lishi va mukammal kristall tuzilishga ega bo'lishi kerak. Begona kirishma atomlari va nuqsonlar taqiqlangan energiya sohasida energetik sathlarning paydo bo'lishiga olib keladi. Yarimo'tkazgichli lazerlar uchun ishlatiladigan materialda zaryad tashuvchilar harakatchanligi yuqori qiymatiga ega bo'lishi kerak.

Yarimo'tkazgichli materiallarning qattiq eritmaları: ularni tashkil etuvchi elementlar belgisi va pastki indeksida ularning qattiq eritmadagi atom ulushi bilan belgilanadi. Masalan, germaniy-kremniyning qattiq eritmasi odatda $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$, InAs va InP birikmalari orasida esa $\text{InAs}_{1-x}\text{P}_x$ formulasi bilan belgilanadi, bunda x qattiq eritma komponentining atom ulushi: $0 \leq x \leq 1$ oraliqda bo'ladi.

2. Kristal jismlarning umumiy tavsifi.

Barcha kristallar panjara mukammalligi darajasiga ko'ra ideal va haqiqiyga, tarkibiga ko'ra - stexiometrik va stexiometrik bo'lmaganlarga bo'linishi mumkin.

Ideal kristallar - har bir atom minimal potentsial energiya bilan tavsiflangan holatda bo'ladi, ya'ni u eng yaqin qo'shni atomga nisbatan ham, kristalning butun hajmining atomlariga nisbatan ham tartibli joylashgan.

Kristallarning stexiometriyasi odatda uning kimyoviy formulasida og'irlik tarkibining atom og'irliklariga mutanosibligi deb ataladi. Agar

kristall moddaning og'irlik tarkibi uning kimyoviy formulasiga mutanosib bo'lsa, kristall stexiometrik tarkibga ega. Shunday qilib, ideal kristallar tarkibiga ko'ra stexiometrikdir.

Ideal kristallardan farqli o'laroq, haqiqiy yoki real kristallar kristall panjarasida buzilishlar yoki begona kirishma atomlari mavjud bo'ladi. Bu erda barcha panjara atomlari eng yaqin va uzoq qo'shnilariga nisbatan tartibli joylashmagan. Haqiqiy kristallar tarkibi bo'yicha stexiometrik yoki stexiometrik bo'lmagan bo'lishi mumkin. Haqiqiy kristallarda kristall panjarada strukturaviy nuqsonlar, begona kirishma atomlari va dislokatsiyalar kabi nomukammalliklar bo'lishi mumkin.

Ko'pgina yarimo'tkazgichli materiallar tartibli davriy tuzilishga ega bo'lgan kristalli qattiq moddalardir. Turli kristall tuzilishlarni tavsiflash uchun quyidagi atamalar ishlatiladi.

Elementar yacheyka - bu kristall moddaning parallelepiped shaklidagi eng kichik hajmi bo'lib, butun kristalni hosil qilish uchun uchta mustaqil yo'nalish bo'ylab harakatlanishi mumkin.

Panjara doimiysi – o'qlardan biri bo'ylab elementar yacheykaning uzunligi sifatida aniqlanadi.

Kristallografik o'qlar - kristallning yo'nalishlarini ko'rsatadi va elementar yacheykaning qirralari bilan aniqlanadi.

Kristall panjaralarning eng muhim turlarini ko'rib chiqamiz.

Oddiy kubik panjara kubning burchaklarida joylashgan atomlardan iborat. Bunday kristall tuzilishga ega odatiy material seziiy xloriddir. Ushbu materialning panjarasida musbat seziiy ionlari va manfiy xlor ionlari ketma-ket joylashadilar.

Yuzalari markazlashtirilgan kubik panjara oddiy kubik panjaraga qaraganda murakkabroq, chunki unda atomlar nafaqat kubning uchlarida, balki har bir yuzning o'rtasida ham joylashgan. Ushbu kristall panjaraga ega moddalar guruhining tipik vakili alyuminiydir.

Xajmi markazlashtirilgan kubik panjara kubning burchaklarida va markazida joylashgan atomlardan iborat (lekin uning yuzlarida emas). Ushbu kristall panjaraga ega moddalar guruhining tipik vakili temirdir.

Ushbu nisbatan sodda kristall tuzilishlardan tashqari, bir qator murakkab kristall tuzilishlar ham mavjud, ular ham kub elementar yacheykaga ega. Ularning eng muhimi olmos tipidagi panjara bo'lib, unda ko'pchilik yarim o'tkazgichlar (germaniy, kremniy va boshqalar) kristallanadi. Ushbu panjarada asosiy rolni tetraedral bog'larning mavjudligi o'ynaydi: har bir atom valentlik kuchlari bilan bog'langan

to'rtta eng yaqin qo'shni atomga ega. Olmos tipidagi panjara yuza markazlashtirilgan kubik panjaraning modifikatsiyasi bo'lib, bir-biriga nisbatan panjara doimiysining $\frac{1}{4}$ ga siljigan ikkita yuza markazlashtirilgan panjaradan iborat. Olmos tipidagi panjarada elementar yacheykaning chetlari valentlik bog'lanish yo'nalishlari bilan mos kelmaydi.

Barcha kristall moddalar anizotropdir, ya'ni kristallarning xossalari kristallografik yo'nalishga qarab o'zgaradi. Shuning uchun, turli texnologik jarayonlarda kristall materiallardan foydalanganda, ko'pincha ma'lum bir kristallografik tekislikning yo'nalishini ko'rsatish kerak bo'ladi. Kerakli tekisliklarni aniqlash uchun Miller indeksleri deb ataladigan ko'rsatkichlar qo'llaniladi. Ushbu indekslarning ma'nosi quyidagicha. Koordinatalar sistemasi panjara tugunlarining biridan o'tuvchi va elementar yacheykaning uchta chetiga parallel bo'lgan o'qlar sifatida qabul qilinadi. Bu o'qlar kristallografik o'qlar deb ataladi va ular X, Y, Z bilan belgilanadi.

Bunday koordinatalar sistemasidagi har qanday tekislik $A_X B_Y C_Z$ deb belgilanadi. U X, Y, Z o'qlarida OA_X , OB_Y va OC_Z segment (bo'lak) larni kesadi. OA_X , OB_Y va OC_Z segmentlarining uzunliklarini ko'rib chiqishda istalgan o'lchov birligini tanlashingiz mumkin, masalan uchta X, Y, Z o'q uchun bir xil ($OA_1 = OB_1 = OC_1$). Umumiy holatda, o'lchov birligi sifatida olingan bu segmentlar bir-biridan farq qilishi mumkin, ya'ni $OA_1 \neq OB_1 \neq OC_1$.

O'lchov birligini tanlagandan so'ng, kerakli $A_X B_Y C_Z$ tekisligining o'rnini aniqlashingiz mumkin. Buning uchun quyidagi nisbat hisoblanadi:

$$\frac{OA_X}{OA_1} : \frac{OB_Y}{OB_1} : \frac{OC_Z}{OC_1} = m : n : p \quad (1.1)$$

Agar bu miqdorlarning teskari nisbatlarini olsak, u holda:

$$\frac{1}{OA_X/OA_1} : \frac{1}{OB_Y/OB_1} : \frac{1}{OC_Z/OC_1} = \frac{1}{m} : \frac{1}{n} : \frac{1}{p} \quad (1.2)$$

$1/m$, $1/n$, $1/p$ kasrlarni umumiy maxrajga keltirgandan so'ng, butun son bo'lgan Miller indekslarini h , k , l olamiz.

Shunday qilib, ixtiyoriy $A_X B_Y C_Z$ tekisligi uchta kasrning nisbati bo'lgan uchta butun son bilan belgilanadi, ularning ko'rsatkichi kub

qirralarining birlik uzunligi (OA_1 , OB_1 , OC_1), maxrajlar esa berilgan qirralariga mos keladi. (OA_x , OB_y , OC_z).

Agar tekislik koordinata o'qlaridan birortasini kesib o'tmasa, u holda bu koordinata o'qi uchun Miller indeksi nolga teng. Misol tariqasida ushbu ishni ko'rib chiqing. m , n , p ning qiymati mos ravishda 1, 4, 2 ga teng bo'lsin, u holda $1/m$, $1/n$ va $1/p$ raqamlari mos ravishda 1, $1/4$, $1/2$ ga teng, va berilgan tekislikning h , k , l Miller indeksleri 4, 1, 2 ga teng.

Odatda tekislikni ko'rsatadigan Miller indeksleri qavslar ichiga yoziladi, ular orasida hech qanday belgi qo'yilmaydi, masalan (121), (111), (100).

Yuqoridagilardan xulosa qilishimiz mumkinki, kubning diagonal tekisliklari quyidagicha belgilanadi (110), (101), (011), kub yuzlari esa (100), (010), (001) belgilanadi. Kristallografik o'qlarning yo'nalishlari kvadrat qavs ichiga olingan Miller indeksleri yordamida qayd etiladi. Masalan, X o'qi [100], Y o'qi [010] va Z o'qi [001].

3. Germaniy.

Germaniy kam tarqalgan modda bo'lib, silikatlar, sulfidli minerallar, shuningdek, sulfo tuzlari bo'lgan minerallarda mavjud. Shunday qilib, qo'rg'oshin rudalarida germaniy miqdori taxminan 10 g/T, yod-pirit rudalarida esa 1 dan 10 g/T gacha. Shu bilan birga, kamdan-kam uchraydigan minerallar ham borki, ularda Ge sezilarli miqdorda bo'ladi: argirodit $4Ag_2SGeS_2$ (5 – 7) %, renyerit (7% gacha) va boshqalar. Ko'p miqdorda germaniy jigarrang ko'mirlarda (100 g/T gacha) mavjud.

Xom ashyoni kimyoviy qayta ishlash natijasida germaniy tetraxlorid olinadi, u keyingi oksidlanish natijasida germaniy dioksidi GeO_2 - oq kukunga aylanadi. Keyinchalik germaniy dioksidi vodorod muhitida kulrang kukun bo'lgan elementar germaniyga qaytariladi. Rudalar yoki ko'mirlarni murakkab kimyoviy qayta ishlash va keyinchalik issiqlik bilan ishlov berishning yakuniy tovar mahsuloti sterjen shaklidagi quyma ko'rinishidagi monokristalli germaniydir.

Germaniy olmos tipidagi fazoviy kub panjarada kristallanadi. Ushbu material elementlar davriy sistemasining IV guruhiga kiradi, atom raqami 32 va xarakterli yaltiroqlikka ega. Germaniyning erish harorati $937^\circ C$. Xona haroratida qattiq germaniyning zichligi $5,35\text{ g/sm}^3$ ni tashkil qiladi.

Qattiq holatda germaniy odatiy kovalent kristalli materialdir. U juda qattiq va mo'rt, shuning uchun uni burg'ulash va frezerlash mashinalarida qayta ishlash qiyin va hatto imkonsizdir.

Kristalli germaniy xona haroratida havoda kimyoviy jihatdan barqaror. 600 °C dan yuqori haroratlarda u germaniy dioksidi GeO_2 ga oksidlanadi. Suv germaniyga ta'sir qilmaydi. U kislotalarga chidamli: xlorid, azot va sovuq sulfat kislota erimaydi.

GDZ, GDGZ, GESZ, GDSZ yarimo'tkazgich qurilmalarining turli sinflarini ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan germaniyni asosiy markalari oltin, galiy va surma bilan legirlangan germaniy quymalaridir.

Germaniyni teshik va elektron o'tkazuvchanlik turlari ishlab chiqariladi. Germaniyni markalari quyidagicha o'qiladi: birinchi harf germaniy (G) degan ma'noni anglatadi; ikkinchi harf - o'tkazuvchanlik turi (D - kovak, E - elektron), uchinchi va to'rtinchi harflar kirishma elementi (G - oltin, G - galliy, S - surma) mos keladi. Harflardan keyingi raqam solishtirma qarshilikni bildiradi. Masalan, GDZ-0,7 markali germaniy teshik elektr o'tkazuvchanligiga va 0,7 Om sm solishtirma qarshilikka ega. GESZ-0,16 elektron o'tkazuvchanlikka ega germaniy 0,16 Om sm solishtirma qarshilikka ega.

4. Kremniy.

Kremniy davriy jadvalning IV guruh elementi, atom raqami 14. Kisloroddan keyin kremniy tabiatda eng keng tarqalgan element hisoblanadi. U er qobig'i og'irligining taxminan 1/4 qismini tashkil qiladi. Ko'p miqdordagi kremniy birikmalari tog' jinslari va minerallarda mavjud. Tuproqning mineral qismini tashkil etuvchi qum va loy ham kremniy birikmalaridir. Eng keng tarqalgan kremniy birikmasi kremniy ikki oksididir.

Kremniy, germaniy kabi, olmos tipidagi fazoviy kub panjarada kristallanadi. Kristalli kremniy to'q kulrang modda bo'lib, qattiq va mo'rt metall yorqinligiga ega, kimyoviy jihatdan juda inert. Xona haroratida qattiq kremniyni zichligi $2,32 \text{ g/sm}^3$, suyuq kremniyniki (erish nuqtasida) - $2,53 \text{ g/sm}^3$. Kremniyni erish harorati 1420 °C dir.

200–700 °C haroratgacha qizdirilganda kremniy galogenlar bilan reaksiyaga kirishib, kremniy galogenidlari SiF_4 , SiCl_4 , SiBr_4 , SiI_4 , 2000 °C haroratda esa bevosita vodorod bilan SiH_4 , SiH_6 silanlarini hosil qiladi.

Juda yuqori haroratlarda (taxminan 1100-1300 °C) kremniy to'g'ridan-to'g'ri azot bilan birlashib kremniy nitridi va uglerod bilan

birlashib, kremniy karbidini hosil qiladi. Kremniy ko‘plab erigan metallarda yaxshi eriydi. Xona haroratida kremniy kimyoviy jihatdan barqaror. Suvda erimaydi. Har qanday konsentratsiyada ko‘p kislotalar bilan reaksiyaga kirishmaydi. Biroq, u fluorid va nitrat kislotalar kirishmasida yaxshi eriydi. Kremniy brom yoki vodorod peroksidi kam miqdorda qo‘shilgan nitrat kislota sekin eriydi. Kremniy qaynayotgan ishqorlarda yaxshi eriydi.

Kremniy 900 °C gacha qizdirilganda havoda barqaror. 900 °C dan yuqori haroratda kremniy dioksidi hosil bo‘lib intensiv oksidlanishni boshlaydi. Eritilgan kremniy yuqori kimyoviy faollikka ega. Shuning uchun unga to‘g‘ri keladigan idish va tigell materiallarini tanlash hali ham qiyin vazifadir. Gap shundaki, tigellar tayyorlanadigan eng toza materiallar (kvars va grafit) yuqori haroratlarda kremniy bilan o‘zaro ta‘sirlashadi.

Yarimo‘tkazgichli ishlab chiqarishda ishlatiladigan asosiy kremniy birikmalari kremniy dioksidi, kremniy oksidi, kremniy tetraxlorid, trixlorosilan va monosilandır.

Monokristalli kremniy polikristalli kremniydan Choxralskiy usulida eritmadan o‘stirish yoki tigelsiz zonali eritish yo‘li bilan olinadi. Birinchi usul, odatda solishtirma qarshiligi 250 Om sm dan oshmaydigan past solishtirma qarshilikli quymalarni olish uchun ishlatiladi. Bunday quymalar katta diametrga ega (150 mm va undan yuqori). Ikkinchi usul 2000 Om sm gacha bo‘lgan solishtirma qarshilikka ega bo‘lgan yuqori solishtirma qarshilikli monokristalli quymalarni olish uchun ishlatiladi.

Sanoat yarimo‘tkazgichli diodlar, tranzistorlar va integral mikrosxemalar ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan juda ko‘p turli xil monokristalli kremniylarni ishlab chiqaradi. Hozirgi vaqtda monokristalli kremniy yarimo‘tkazgichli elektronika uchun asosiy materialdir, chunki u bir qator afzalliklarga ega. Kremniyli qurilmalar kichik teskari tokga ega, yuqori haroratlarda ishlaydi, yuqori o‘ziga xos yuklamalarga bardoshli va p-n - o‘tishning teshilish sohalarida ham ishlashi mumkin.

Epitaksial qatlamlarni o‘stirish uchun monokristalli kremniy Choxralskiy usuli bilan olinadi. U quyidagi belgilashlarga ega: EKDB-10 va EKES-0.01. Ushbu markirovkaning birinchi harfi qo‘llash sohasini ko‘rsatadi (E - epitaksial qatlam o‘stirilgan). Ikkinchi harf (K) yarimo‘tkazgich materialidir (kremniy). Uchinchi harf elektr o‘tkazuvchanligining turini ko‘rsatadi (D - teshik, E - elektron). Oxirgi

harf kirishma atomi turiga mos keladi (B - bor, S – antimonid, ya'ni surma), raqam solishtirma qarshilikni ko'rsatadi. Kremniyning birinchi markasi kovakli elektr o'tkazuvchanligiga va 10 Om sm solishtirma qarshiligiga ega. Kremniyning ikkinchi markasi 0,01 Om sm solishtirma qarshiligi bilan elektron o'tkazuvchanlikka ega.

Kremniy epitaksial tuzilmalar yarimo'tkazgichli qurilmalar va integral mikrosxemalar ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi. Bu epitaksial qatlamlar gaz fazasidan kremniy, safir, kvarts, sital, korund va boshqa materiallarning monokristalli tagliklarida o'stiriladi. Eng ko'p ishlatiladigan tagliklar monokristalli kremniy va sapfirdir. Kremniy epitaksial tuzilmalar uch xil bo'ladi: oddiy, ko'pqatlamli va geteroepitaksial.

Oddiy kremniy epitaksial tuzilmalari epitaksial qatlam va kremniy monokristalli taglik dan tashkil topgan ikki qatlamli kompozitsiyalardir. Tuzilmalar yarimo'tkazgichli qurilmalar va integral mikrosxemalar ishlab chiqarish uchun ishlatiladi.

Ushbu turdagi epitaksial tuzilmalar quyidagicha belgilanadi:

$$25 \frac{8KDB-0.5}{200K\mathcal{C}-0.01}$$

Kasr oldidagi birinchi raqam strukturaning diametriga, suratidagi birinchi raqam - epitaksial qatlamning qalinligi va maxrajdagi - taglik qalinligiga to'g'ri keladi. Suratidagi harflar epitaksial qatlam o'stirilgan kremniyning markasini bildiradi (KDB - bor kirishma atomi kiritilgan kovak o'tkazuvchanlikka ega kremniy), bu harflardan keyingi raqam esa epitaksial qatlamning solishtirma qarshiligini bildiradi. Maxrajdagi harflar taglik tayyorlangan kremniyning markasini bildiradi (KES - surma kirishma atomi kiritilgan, elektron o'tkazuvchanlikka ega kremniy), harflardan keyingi raqam esa taglikning solishtirma qarshiligini bildiradi.

Geteroepitaksial tuzilmalar quyidagicha belgilanadi:

$$KHC \frac{10KDB-0.5}{18C250} \text{ или } KHC \frac{1.2K\mathcal{C}\Phi-45}{60C250}$$

bu erda KNS – safirdagi kremniy; surati epitaksial qatlamning parametrlarini, maxraji esa taglik parametrlarini bildiradi.

Suratidagi birinchi raqam epitaksial kremniy qatlamining qalinligini ko'rsatadi. Suratidagi harflar kremniyning elektr o'tkazuvchanligining nomi va turiga mos keladi (KDB - bor kirishma atomi kiritilgan kovak o'tkazuvchanlikka ega kremniy; KEF - fosfor kirishma atomi kiritilgan, elektron o'tkazuvchanlikka ega kremniy). Suratidagi ikkinchi raqam

kremniy qatlamining solishtirma qarshiligini ko'rsatadi. Maxrajdagil birinchi raqam taglik diametriga, harf taglik materialiga (C - sapfir), ikkinchi raqam esa sapfir taglikning qalinligini bildiradi.

Dielektrik bilan izolyatsiyalangan kremniy tuzilmalari monolit integral mikrosxemalarni ishlab chiqarish uchun ishlatiladi. Tuzilmalar polikristalli kremniy plastinalari bo'lib, ishchi yuzasida (111) yoki (100) tekisliklarga va n yoki p tipidagi elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan monokristalli kremniy orolchalari mavjud bo'lib, ular polikristalli kremniydan kremniy dioksidi qatlami bilan ajratilgan va berilgan topologiyaga muvofiq joylashtirilgan.

Yashirin qatlamli kremniy epitaksial tuzilmalar (ESS) murakkab kompozitsiyalar bo'lib, ularda yashirin kremniy qatlamlari surma bilan, elektron o'tkazuvchanli epitaksial qatlam esa fosfor bilan legirlangan.

5. Binar birikmali yarimo'tkazgichlar.

1) Galliy arsenid GaAs istiqbolli yarimo'tkazgichli materiallardan biri bo'lib, u o'zining xossalariga ko'ra yangi turdagi yarimo'tkazgich qurilmalarni yaratishda keng qollaniladi. U germaniy va kremniyga qaraganda kattaroq taqiqlangan energiya sohasiga ega. Galliy arsenidning ikkinchi katta afzalligi elektronlar va teshiklarning harakatchanligi katta qiymatga ega. GaAs ning asosiy qollanish sohalari infraqizil (IQ) yorug'lik diod (LED) lar va kosmik quyosh batareyalaridir.

Umumiy foydalanish uchun galliy arsenid – 12 ÷ 25 mm diametrli quymalar ko'rinishidagi monokristalli material bo'lib, Chohralskiy yoki yo'nalishli kristallanish usuli bilan olinadi. Yarimo'tkazgichli qurilmalar ishlab chiqarish uchun ishlatiladi. Galliy arsenidning to'rtta guruhi ishlab chiqariladi: AGE - elektron o'tkazuvchanlikka ega galliy arsenid, kirishma atomlari kiritilmagan; AGET - elektron o'tkazuvchanlikka ega galliy arsenid, tellur bilan legirlangan; AGDZn - rux bilan legirlangan kovakli elektr o'tkazuvchanligi bo'lgan galliy arsenid; AGP - yarim izolyatsiya qiluvchi galliy arsenid. Guruhning harf belgisiga ikkita raqam qo'shiladi: birinchisi asosiy zaryad tashuvchilarning nominal kontsentratsiyasini ko'rsatadi, ikkinchisi - asosiy zaryad tashuvchilar kontsentratsiyasining o'nlik tartibining ko'rsatkichi. Masalan: AGET 3-17 (ya'ni $3 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$), AGET 6-17 (ya'ni $6 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$).

2) Galliy fosfidi GaP, galliy arsenid kabi, eng muhim A^{III}B^V tipdagi yarimo'tkazgich materiallariga kiradi. Sfalerit tuzilishida kristallanadi va

qattiq holatda $4,1 \text{ g/sm}^3$ zichlikka ega. Suyuq holatda uning zichligi yuqoriroq va $4,6 \text{ g/sm}^3$ ni tashkil qiladi. Stexiometrik tarkibga ega galliy fosfidining erish harorati taxminan $\sim 3 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ fosfor bug‘lari bosimida 1500°C ni tashkil qiladi.

Katta taqiqlangan energiya sohasiga ega bo‘lganligi tufayli galliy fosfidi yuqori kimyoviy qarshilik bilan ajralib turadi. Oddiy sharoitlarda kislorod va suv bug‘lari bilan reaksiyaga kirishmaydi. Havoda $700 \div 800^\circ\text{C}$ haroratgacha qizdirilganda chidamli.

Monokristalli galliy fosfidi dendrid plastinka bo‘lib - ko‘rinadigan diapazondagi yorug‘lik diodlarini ishlab chiqarish uchun mo‘ljallangan. Elektron va kovak elektr o‘tkazuvchanligiga ega Galliy fosfidini belgilash: FGET-K/10, FGET-O/20, FGET-Z/50. Birinchi ikkita FG harfi galliy fosfidini anglatadi; uchinchi harf elektr o‘tkazuvchanligining turini bildiradi (D - kovak, E - elektron); to‘rtinchi va beshinchi harflar kirishma atomi nomi (T - tellur, Ц - sink, K - kislorod). Kasr suratidagi harf materialning porlash rangini ko‘rsatadi (К (красный) - qizil, О (оранжевый) - to‘q sariq, З (зеленый) - yashil), maxrajdagi raqam esa tolalarda porlash yorqinligining minimal qiymatini bildiradi.

3) Indiy arsenid InAs yarimo‘tkazgichli material bo‘lib, uni galvanomagnit effektli bir qator qurilmalarda qo‘llash imkonini beruvchi xususiyatlarga ega. Ushbu material yuqori elektron harakatchanligiga ega, bu esa unga asoslangan sezgirliги yuqori bo‘lgan qurilmalarni ishlab chiqarish imkonini beradi. Indiy arsenid optoelektronik qurilmalarda, optik filtrlarda, lazerlarda, infraqizil nurlanish manbalarida, fotodetektorlarda va boshqa ko‘plab yarimo‘tkazgich qurilmalarida ham qo‘llaniladi.

4) Indiy antimonidi InSb - yuqori sezgirlikdagi fotoelementlar, Hollandchiklari, optik filtrlar, termoelektr generatorlar va muzlatgichlar ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladigan yarimo‘tkazgichli material.

1.4. Yarimo'tkazgichli materiallarga mexanik ishlov berish

1. Kremniyli taglikka ishlov berish

IS lar asosan kremniy monokristalidan tayyorlanadi, bunga sabab nisbatan sodda usul bilan hosil qilinadigan SiO₂ qatlami yuqori sifatlidir. Katta diametrli Si monokristalini olish texnologiyasi ancha arzon va yaxshi uzlashtirilgan.

Kremniy monokristall quymasidan qirqib olingan va ma'lum mexanik va kimyoviy ishlov berilgan plastina IS tagligi deyiladi.

Kremniyga mexanik ishlov berish

Kremniy quymasidan plastina qirqish uchun olmos kukuni qotirilgan metall diskdan foydalaniladi. Disk qalinligi 0.1 - 0.15 mm. Qirquvchi dastgohdagi kremniy quymasini ushlagichining siljish tezligi 40-50 mm/min., agar quyma diametri 60 mm dan katta bo'lsa siljish tezligi 20-30 mm/min. Bitta plastina qirqilgandan keyin avtomatik sistema quymani boshlang'ich xolatiga qaytaradi va ma'lum oldindan berilgan masofaga pastga siljiydi (plastina qalinligiga). Qirqilgan plastina sirtida abraziv material kukuni ta'siri tufayli monokristall struktura buzilgan qatlam yuzaga keladi, bu qatlam qalinligi 10-30 mkm bo'lib 7-8 klass tozalikka to'g'ri keladi. IS xosil qilish uchun esa plastina sirtidagi notekislik 0.02 - 0.1 mkm.dan oshmasligi kerak, bu esa 14-klass tozaligidan xam yuqori tozalikdir. Bunday tekislikka erishish uchun plastinalar mikrokukunlar yordamida maxsus yuqori aniqlikdagi dastgohlarda jilvirlanadi (shlifovka), sungra sayqallanadi (polirovka). M14 - M15 mikrokukun yordamida jilvirlanganda shishali jilvirlagich ishlatiladi. Olmos kukunli pasta yordamida sayqallanganda jilvirlagich sirti latta bilan qoplanadi.

1.1-rasm

Mikrokukun	Buzulgan qatlam qalinligi, mkm	Plastinka sirtining tozalik klassi
M14	20-30	7
M10	15-25	8-9
ASM 3/2	9-11	12-13
ASM 1/0.5	5-7	13
ASM 0.5/0.3	3-dan kichik	13-14
ASM 0.3/0.1	1-dan kichik	14

Plastinaning 2 tomoni jilvirlanadi. Sayqallash esa faqat IS xosil qilinadigan yuzasi qilinadi. M14 - mikrokukunda kukun zarralari o'lchami 14 - 10 mkm, M10 - mikrokukunda esa 10 - 7 mkm. ASM-3/2- sintetik almazli kukun, 3/2 - kukunlari ulchami, yiriklari 3 mkm maydalari 2 mkm.

Abraziv materiallar

“Abraziv” so‘zi lotinchadan olingan bo‘lib, “skoblit” “parchalash” degan ma‘noni bildiradi. Abraziv materiallarning asosiy xossasi ularning qattiqligidir. Eng qattiq material olmos bo‘lib, Moss shkalasi bo‘yicha 10 klass, korund- 9 klass, topaz - 8 klass, kvars - 7 klass ga to‘g‘ri keladi.

Materiallarning abrazivlik qobiliyati obraziv material yordamida ishlov berilayotgan material sirtidan birlik vaqtda qirib olingan miqdori bilan baxolanadi. Agar olmosning abrazivlik qobiliyati birga teng deb olinsa, u xolda bor karbidiniki - 0.6; kremniy karbidiniki - 0.5; monokorundniki - 0.25; elektrokorundniki - 0.15.

Yarim utkazgichli asboblarda va IS lar ishlab chiqarishda quyidagi abraziv materiallar ishlatiladi:

Olmos - sanoatda grafitdan yuqori bosim va temperaturada xosil qilingan suniy olmos ishlatiladi.

Karbid kremniy - kremniyning uglerod bilan kimyaviy birikmasi.

Kimyaviy tozasi rangsiz, yashildan qora rangachan bo‘ladi. Qora rangligining qattiqligi kam bo‘ladi.

Karbid bor - borning uglerod bilan kimyoviy birikmasi.

Elektrokorund - kristalli aluminiy oksidi. Al_2O_3 oq modda. Sanoatda uch xil elektrokorund ishlab chiqariladi:

Oq - 98,5 — 99,5% Al_2O_3 bor;

normal elektrokorund - 91- 96 % Al_2O_3 bor;

qora elektrokorund 65-75 % Al_2O_3 bor.

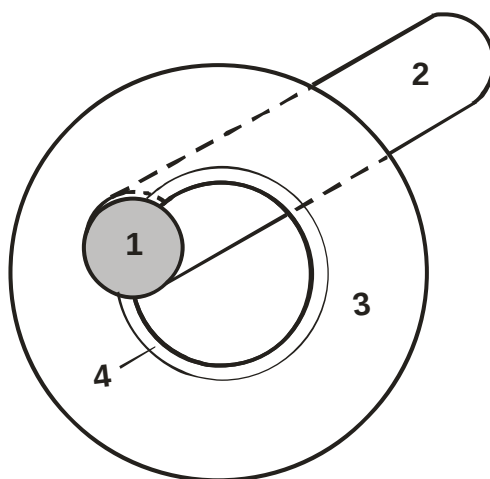
Xrom oksidi - yashil rangli kukun.

Aerosil – g‘ovak ko‘kimtir - oq kukun, toza kremniy ikki oksidi. Quyidagi markalari ishlab chiqariladi A-175, A-300, A-380, zarralarining o‘rtacha o‘lchami mos ravishda 10 - 40, 5 - 20, 5 - 15 mkm.

2. Yarimoʻtkazgichli quymalardan plastina kesish. Bu jarayon monokristalli quymadan yupqa ($250 \div 600$ mkm) tekisparallel plastinalar kesishni oʻz ichiga oladi va yarimoʻtkazgichli qurilmalar va IS larning umumiy ishlab chiqarish siklidagi dastlabki operatsiya hisoblanadi. Hozirgi vaqtda monokristalli quymalardan plastinalar kesish uchun bir nechta usullar qoʻllaniladi: olmosli ichki qirrali disk bilan kesish; abraziv material kukuni yordamida metall polotno yoki sim bilan kesish.

Ishlab chiqarishda olmosli ichki qirrali disk bilan kesish va sim bilan kesish keng qoʻllaniladi, laboratoriya sharoitida polotnolar bilan kesish keng qoʻllaniladi.

Olmosli ichki qirrali disk bilan kesish usulining mohiyati quyidagicha. Dastgohning shpindeliga olmosli disk biriktiriladi va maxsus tortuvchi boltlar yordamida radial tarangligi sozlanadi. Yarimoʻtkazgichli quyma yopishtirilgan ushlagich ichi boʻsh shpindel ichiga joylashtirilgan. Avval quyma shpindel ichida joylashgan boʻlib, uning cheti olmos disk tekisligining chetidan bir oz tashqariga chiqadi. Dastgoh yoqilganda, olmosli disk ulangan shpindel aylana boshlaydi. Agar quyma ushlagich gorizontaal (yoki vertikal) yoʻnalishda harakatlantirilsa, u holda maʼlum bir daqiqada quyma yon tomoni olmos diskining chetiga tegadi va kesish jarayoni boshlanadi. Plastina quymadan toʻliq uzilgandan soʻng, ushlagich dastlabki holatiga qaytariladi va shpindeldan kesilgan plastinka qalinligiga teng uzunlikka chiqib turadi. Shundan soʻng, kesish jarayoni takrorlanadi.



1.2-rasm. Olmosli ichki kesuvchi qirrali disk yordamida quymadan plastinkalar kesish sxemasi: 1 – kesiladigan plastinka; 2 - quyma; 3 - olmos disk; 4 - olmosli kesish qirrasi.

Metall diskning chetiga oʻrnatilgan har bir olmos donasi yarimoʻtkazgich materialining yuzasidan mikrozarrachalarni parchalaydigan mikro kesuvchidir. Kesish jarayoni shpindelning katta tezligida sodir boʻladi, bu uning mahsuldorligini oshirishga yordam beradi. Kesishda diskning olmosli chetining yarimoʻtkazgich materialining yuzasi bilan tegib turgan joyida katta miqdorda issiqlik chiqariladi. Shuning uchun, butun kesish jarayonida sovutish suvi disk bilan quyma tegib turgan joyiga uzluksiz ravishda etkazib beriladi.

Kesish rejimi aniq shartlar asosida tanlanadi: yarimoʻtkazgich materialining turi, kesilayotgan plastinaning diametri, qalinligi, ishlov berish sinfi va tozaligiga qoʻyiladigan talablar, geometrik oʻlchamlarning aniqligi va taglikning tekisligi va tekis-parallelligiga qoʻyiladigan talablar.

Shuni taʼkidlash kerakki, quymani kesishda shpindelning aylanish tezligi 3000-5000 ayl/min. ga teng qilib tanlanishi kerak. 3000 ayl/min. dan kam aylanish tezligida kesish jarayonining mahsuldorligi keskin pasayadi va 5000 ayl/min. dan yuqori chastotalarda qurilmaning tebranishlari kuchayadi, bu esa diskning urilishlarini yuzaga keltiradi, bu esa oʻz navbatida yarimoʻtkazgichli plastinalar sirtining tekisligi pasayishiga olib keladi va yarimoʻtkazgichli material isrofining keskin oʻsishiga sabab boʻladi. Kesish jarayoniga sezilarli darajada taʼsir qiladi. Quymaning olmos diskiga nisbatan bosim kuchi tezligi past boʻlganda kesish jarayonining unumdorligi juda past boʻladi. Bosim kuchi tezligi oshgani sayin, unumdorlik oshadi, lekin diskning burilishi tufayli ishlov berish aniqligi pasayadi. Kesilgan plastinka qiyshiq yuzaga ega boʻladi. Plastinaning qalinligi kichik boʻlsa, bu kesish jarayonida uning sinishiga olib kelishi mumkin.

Olmos diski ishchi yuzasining yedirilish jarayoni uch davr bilan tavsiflanadi:

- yaxshi mahkamlanmagan olmos donalarini toʻplamdan chiqib ketishi;
- qirralarni silliqqlanishi va olmos donalarining parchalanishi, shuningdek, parchalanish tekisligi boʻylab alohida donalarni qisman parchalash;
- diskda, olmos donalarida va bogʻlovchi materialda charchoq hodisalarining kuchayishi.

Quymani plastinkalarga kesishda yuzaga keladigan issiqlik hodisalari kesish sifatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi: shikastlangan qatlamning qalinligi ortadi, qoldiq kuchlanish va mikronotekisliklar paydo bo'ladi, yarimo'tkazgich material va olmos disk yuzasida strukturaviy o'zgarishlarga olib keladi.

Ichki kesish qirrali olmos disklari bilan kesish usulining afzalliklari quyidagilardan iborat: yuqori mahsuldorlik; ishlov berish tozaligining 7-8-sinfi; plastinka qalinligining kichik o'zgarishi (± 20 mikron); kesishda yarimo'tkazgich materialining chiqindilari kam bo'ladi.

Ushbu usulning kamchiligi olmos diskini o'rnatishning murakkabligi, uni tortib mahkamlash va sentrovka qilish.

Polotnolar bilan kesish quyidagicha. Metall polotnolar bir nechtadan bir necha yuz donagacha g'ilofga yig'iladi. Polotnolar orasida joylashgan bo'shliqlar quymadan kesilgan plastinkalarning kerakli qalinligini o'rnatishga imkon beradi. Yig'ilgan g'ilof qirqish dastgohiga o'rnatiladi. G'ilof gorizontaal yo'nalishda 200-600 xarakat/minut tezlikda oldinga-orqaga harakatlarni amalga oshirishi mumkin. Oldindan dastgohning ish stoliga yopishtirilgan kesiladigan quyma pastdan harakatlanuvchi polotnolarga tegib turguncha yaqinlashtiriladi va quymaning ma'lum bir tezlik bilan yaqinlashishi o'rnatiladi. Kesish zonasiga abraziv material suspenziyasi beriladi.

Ushbu kesish usulining kamchiliklari, birinchi navbatda, ichki kesish qirrasi bo'lgan olmos disk bilan kesish bilan solishtirganda past ishlov berish aniqligini o'z ichiga oladi. Bu diskning polotnolarga qaraganda ko'proq konstruksiyasining mustahkamligi bilan izohlanadi. G'ilofdagi polotnolarni birhilda mahkam tortish iloji yoq. Bundan tashqari, kesish jarayonida polotnolar notekis yediriladi va ularning tarangligi notekis bo'shashadi.

Qalinligi 0,08 - 0,15 mm bo'lgan simli arra yordamida kesishda simning ustiga zarrachamlari o'lchamlari (1 - 20) mikron bo'lgan olmosli qatlam elektroliz usulida qoplanadi. Simli arra bir vaqtning o'zida quymadan ko'p sonli plastinkalarni kesish imkonini beradi, shu bilan birga kesilgan plastinkalarning eng kam qalinligi va barcha mavjud asboblarga nisbatan kesish kengligining kichikligi tufayli kesilayotgan materiallarda katta tejashga erishiladi. Ammo sim bilan kesishning asosiy afzalligi shundaki, bu usulda kesish zonasida yuzaga keladigan termodinamik kuchlanishlarning kichikligi tufayli kristall strukturasi buzilishi minimal bo'ladi.

3. Yarimo‘tkazgichli plastinkalardan kristall qirqish.

Yarim utkazgichli plastinkalardan kristall qirqish usullari:

- Olmosli disk yordamida qirqish;
- metall simlari bilan abraziv material yordamida qirqish;
- ultratovush dastgohida qirqish;
- olmos chizgichda chizib, sungra sindirish;
- elektron - nur dastasi bilan chizib, sungra sindirish;
- lazer nurida chizib, sungra sindirish.

Olmosli disk yordamida qirqish. Bu usulda qirqishda ishlab chiqarish unumdorligini oshirish uchun bir qancha disklarni birlashtirib plastinkalardan kristallar qirqiladi. Disklar orasidagi prokladka kalinligi kristall ulchamini beradi. Kristall geometrik ulchamlari orasidagi farq $\pm 0,03$ mm.dan oshmaydi.

Sim yordamida abraziv material bilan qirqish usulini plastinadan kvadrat va to‘rtburchak shaklidagi kristallar qirqish uchun qo‘llaniladi. Bu usul ikki xil ko‘rinishga ega. Birinchi xolda sim maxsus vilkaga urnatilgan rolikka o‘raladi. Vilka krivoship - shatun mexanizmi yordamida oldinga va orqaga xarakatlanadi. Bunda sim xam oldinga va orqaga vilka bilan birgalikda xarakatlanadi va sekin rolikka o‘ralib boradi. Simni o‘rashdan maqsad butun ishchi uzunligi buyicha sim bir xil yedirilsin uchun. Kesuvchi modda ishchi zonaga uzluksiz yuborib turiladigan abraziv kukunning suv bilan qorishmasidir. Sim esa abraziv kukunni kesiluvchi sirtida xarakatga keltirishga xizmat qiladi. Abraziv zarralar sim ta‘sirida xarakatlanib, bir tomoni bilan simni o‘yadi, ikkinchi tomoni bilan plastina sirtini o‘yadi. Sim xarakat tezligi 200 - 600 xarakat/ min. Ikkinchi xolda sim katta tezlikda bir rolikdan ikkinchi rolikka uralishi jaryonida plastina sirtida xarakatlanib abraziv zarralarini xarakatga keltiradi.

Sim yordamida qirqish ma‘lum avzalliklarga ega. Qirqilayotgan plastina kichik tezlik bilan simga yaqinlashtirsa, uning sirtida buzilishlar kam sodir buladi, bu esa Au, Al, Ni, Cu va boshqa plenkalari bulgan plastinani qirqishda plenklar ko‘chib ketmaydi. Simni almashtirish ko‘p vaqt talab qilmaydi. Bu usul bilan qirqilgan kristallarning eng kichik ulchami 0,5 x 0,5 mm.

Yarimo‘tkazgichli plastinalarni qirqish uchun volfram, po‘lat, nikel, nixrom va MV-50 qotishmasi simlaridan foydalaniladi. Sim diametri 0,05 - 0,15 mm, bunda qirqiluvchi soxa kengligi mos ravishda 0,08 - 0,2 mm bo‘ladi.

Bu usulning asosiy avzalligi: qirqiluvchi soxaning torligi, kristall qirralarining sinmasligi.

Ultratovush qurilmasida plastinkalardan kristall qirqish: Bu usuldan dumaloq yoki murakkab shakldagi kristallar qirqishda foydalaniladi. Qirqish jarayoni quyidagicha: Ultratovush tebranishli generatordan 15 - 70 kGs chastotali tok tebragichning elektr simiga beriladi. Uzgartirgich bu tokni mexanik tebranishga aylantiradi. Bu tebranish qirquvchi moslamaga uzatiladi. Qirquvchi moslama plastina sirtiga tegib turgan soxaga uzluksiz abraziv qorishma berib turiladi. Abraziv zarralari ultratovush tebranishi taʼsirida xarakatga kelib plastinaning qirquvchi moslama tegib turgan qismini qirqadi. Qirquvchi uskuna shakli qirqiladigan kristall shakliga oʻxshash boʻladi.

Olmos bilan chizib sindirish usuli plastinadan kvadrat va toʻrtburchak shaklidagi kristall qirqishda ishlatiladi. Yarimoʻtkazgichli plastina yuzasiga olmos yordamida ikkita uzaro perpendikulyar yoʻnalishda chiziq chiziladi. Chiziq chuqurligi 5 - 10 mkm, kengligi 20 - 40 mkm. Plastina yuzasida chiziq atrofida lokal soxada materialni kuchsizlantiruvchi mexanik kuchlanishlar yuzaga keladi. Plastinani egganda chizilgan joylaridan sinadi. Bu usulning avzalligi material qirqish jarayonida isrof bulmaydi. Chizishda eng kichik qadam germaniy uchun 0,4 mm , kremniy uchun 0,5 mm. Kristallning eng kichik ulchami h va plastinaning qalinligi l quyidagicha bogʻliq: $h=k l$, kremniy uchun $k=4$, germaniy uchun $k=3,2$.

Olmosli chizgʻichda olmos uchli chizgʻich ishlatiladi. Qirquvchi qismidagi olmosning geometrik shakliga qarab uch turga boʻlinadi: uch qirrali piramida; toʻrt qirrali piramida; toʻrt qirrali qirqilgan piramida.

Qalinligi 100 - 250 mkm.li germaniy plastinkasini qirqish uchun uch qirrali piramida shaklidagi qirqqich, qalinligi 200 - 500 mkm boʻlgan kremniy plastinkasini qirqish uchun turt qirrali piramida shaklidagi qirqqichdan foydalaniladi.

Elektron - nur bilan qirqish. Bunda elektron - nur dastasi plastina sirtida maʼlum qadam bilan x va y oʻq boʻyicha xarakatlanadi. Elektron - nur tushgan mikrosoxalar eriydi. Erish va qotish qisqa vaqtda boʻlib, shu soxalarda issiqlik mexanik kuchlanishlar yuzaga keladi. Plastina egilsa shu soxalarda sinadi.

Maʼlum sharoitda (plastina qalinligi, elektron nur diametri, qurilma quvvati va boshqalarga qarab) elektron nur usuli bilan plastina toʻliq qirqilishi mumkin. Bunda nur tushgan soxalarda plastina materiali erib buglanib ketadi.

Lazer nuri bilan chizish, usuli ko‘proq qo‘llanilmoqda. Bu usulda xam elektron- nur bilan chizish usulidagi kabi juda kichik soxa buglatiladi. Bu usul yordamida plastinkaning yuzasida xar qanday plenkasi bo‘lganda xam istalgan chuqurlikkacha va to‘liq qirqish mumkin.

Chiziq o‘lchamlari (eni va chuqurligi), lazer nurining issiqligi ta’sir qiladigan soxa, chizish tezligi, plastinka materialining butun chiziq uzunligi bo‘yicha bir tekis yedirilishi plastinkaning lazer nuriga nisbatan siljish tezligi, lazerning quvvati, lazer nuri impulsining chastotasi va davomiyligi, fokuslangan nur ulchamiga bogliq.

Plastinkani chizilgandan so‘ng sindirish.

Plastinkani kristallga bo‘lishda chizilgandan sung sindirish juda muxim jarayon xisoblanadi. Nato‘g‘ri sindirish, xatto yaxshi chizilgan plastinkalardan xam juda ko‘p yaroqsiz kristall chiqishiga olib keladi. Qirralari notekis, geometrik shakli buzilgan. Plastinka yuzasida chiziq chizib sindirish chizuvchi kuchlanish xosil qilishga asoslangan bo‘lib, bunda chiziq bo‘yicha yoriq paydo bo‘ladi. Turli xil usullar bilan sindiriladi. Shulardan ko‘p qo‘llaniladigan uch usulni ko‘ramiz:

Birinchi usulda plastinani yumshoq taglikka (rezina, parolon va boshqalar) chiziqni pastga qaratib qo‘yiladi va plastina ustidan rezinali valikni ikki o‘zaro perpendikulyar yo‘nalishda yurgiziladi. Valik o‘qi chiziqlarga katta aniqlikda parallel bo‘lishi kerak, aks xolda chiziqlardan sinmasdan xar xil tomonlarga sinishi mumkin.

Valikni birinchi yurgizganda plastina uzun bo‘laklarga bo‘linadi, ikkinchi marta perpendikulyar yurgizilganda uzun bo‘laklar kvadrat va to‘rtburchaklarga bo‘linadi. Sindirish jarayonida uzun bo‘laklar va kristallar siljib ketmasligi uchun avval plastina qog‘ozga yoki polietilen plenkasiga kleylanadi.

Ikkinchi usul mexanizatsiyalashtirilgan usuldir. Plastinani kleylagandan so‘ng malum egrilik radiusiga ega bo‘lgan xarakatlanayotgan ikkita lenta orasidan o‘tkaziladi. Plastina lentaning egirilgan qismidan o‘tayotganda chizilgan joylardan bo‘laklarga bo‘linadi.

Uchunchi usulda chizilgan plastina sferik sirtga ega bo‘lgan linza sirtiga jipslashtiriladi. Natijada plastina bir vaqtda ikki yo‘nalishda sinadi. Qurilma sferik linza va rezinali membranadan iborat. Plastina chiziqlarini pastga qaratib membrana ustiga qo‘yiladi. Plastina ustidan sferik linza qo‘yiladi. Membranaga xavoning ma‘lum bosimi berilganda plastina sferik linzaga jipslashadi va bo‘laklarga bo‘linadi. Bu usulning

afzalligi oddiyligi, avtomatlashtirish mumkinligi, unumdorligi. Bu usul bilan plastinani faqat kvadrat shakldagi kristallarga bo'laklash mumkin. Xar xil o'lchamdagi kvadrat kristallar uchun aloxida xar xil egrilik radiusidagi sferik linzalar ishlatiladi.

Sindirish sifati uchchala usulda xam egish kuchlanishiga bog'liq. Sindirish uchun zarur bo'lgan egish kuchlanishi quyidagi ifoda bilan aniqlanishi mumkin:

$$H = mh^2/bl^2 = (m/b)(h/l)^2$$

bu yerda m - egish momenti; h -chizilganda xosil bo'lgan chuqurlik qalinligi; b - kristall uzunligi; l - kristall eni. h/l - kattalikni sinish imkoniyati kattaligi deyiladi.

4. Yarimo'tkazgichli plastinalarni silliqlash. Quyma kesilgandan so'ng olingan yarimo'tkazgichli plastinkalar bir qator nuqsonlarga ega bo'lib, ular mexanik shikastlangan qatlamning mavjudligi, sirt tekismasligi va sirt parallelmasligi, egilganlik va qalinlikning bir hil bo'lmaganligini o'z ichiga oladi. Shuning uchun, kesishdan keyin silliqlash majburiy texnologik operatsiya hisoblanadi.

Silliqlashda yaxshi natijalar olish uchun quyidagi talablarga rioya qilish kerak: silliqlash toza, changsiz xonalarda va ortiqcha havo bosimi bo'lgan himoya qoplamalari ostida amalga oshirilishi kerak; silliqlash jarayonlarini amalga oshirish uchun barcha dastgohlar ishlov berish turiga va ishlatiladigan abraziv material turiga qarab alohida bo'lishi kerak; barcha materiallar (silliqlagichlar, abraziv kukunlar) ehtiyotkorlik bilan saralanishi va alohida germetik qutilarda saqlanishi kerak.

Silliqlash jarayoni texnologik va konstruktiv xususiyatlariga, shuningdek, ishlatiladigan abraziv materialning turiga ko'ra farqlanadi.

Texnologik xususiyatlarga ko'ra, silliqlash dastlabki va yakuniy, konstruktiv xususiyatlariga ko'ra - bir tomonlama va ikki tomonlama, ishlatiladigan abraziv material turiga ko'ra - erkin va bog'langan abraziv bilan silliqlashga bo'linadi.

Dastlabki va yakuniy ishlov berish (silliqlash) bir-biridan maqsadlar, rejimlar va ishlatiladigan materiallar bilan farq qiladigan ikkita jarayondir.

Dastlabki silliqlashning maqsadi plastinkalarning sirtini tezda tekislash va nuqsonlarni olib tashlashdir. Ushbu jarayonning rejimlari silliqlagichning aylanish tezligi kattaligi va yarimo'tkazgichli plastinka yuzasiga abraziv kukunning bosimi bilan farqlanib turadi. Bundan

tashqari, dastlabki silliqdash uchun zarralari yirik abraziv kukunlar tanlanadi.

Yakuniy (nozik) silliqdash yumshoqroq ishlov berish rejimlari va zarralari mayda abraziv kukunlardan foydalanish bilan tavsiflanadi. Yakuniy silliqdashning maqsadi geometrik parametrlarni va ishlov berilayotgan plastinkalarning sirt sifatini yanada yaxshilashdir.

Yarimo'tkazgich materialini sirtdan olib tashlash plastinkalarni bir tomonlama va ikki tomonlama silliqdash uchun bir xil. Ushbu jarayonlar orasidagi farq faqat silliqdash uskunalarining konstruktiv xususiyatlaridadir, bu esa silliqdash jarayonini bir vaqtning o'zida plastinkaning bir tomonida yoki ikkala tomonida ham amalga oshirish imkonini beradi.

Bir tomonlama silliqdashda yarimo'tkazgichli plastinkalar maxsus qurilmalarga - ushlagichlarga yopishtiriladi, ular silliqdash g'ildiragining ishchi yuzasiga joylashtiriladi, shunda yarimo'tkazgichli plastinkalar silliqdashning yuzasiga tegib turadi. Silliqdash aylanayotganda, ushlagichlar o'z-o'zidan tekislanadi, silliqdash va yarimo'tkazgichli plastinkalarning yuzalari bir-biriga mahkam o'rnamshadi. Silliqdash zonasiga abraziv kukuni suspenziyasi beriladi.

Ikki tomonlama silliqdash ikkita silliqdashga ega bo'lgan uskunalarda amalga oshiriladi. Yarimo'tkazgichli plastinkalar maxsus separator uychalarida joylashgan bo'lib, ular plastinkalar bilan birgalikda ikkita silliqdash maydonchasi orasiga joylashtiriladi. Pastki silliqdash odatda statsionar (harakatsiz), yuqori qismi esa aylanayotganda erkin o'z-o'zidan tekis joylashadi. Maxsus separator uychalarida joylashgan plastinkalar murakkab harakatni amalga oshiradi, bu silliqdashning aylanishidan, separatorning aylanishidan va plastinkaning o'zi joylashgan separator uychasi ichida aylanishidan iborat. Ushbu harakat yuqori aniqlik bilan plastinkaning butun yuzasidan bir tekisda material qatlamini olib tashlash imkonini beradi. Abraziv suspenziya yuqoridagi silliqdash orqali yuboriladi va yarimo'tkazgichli plastinkani har tomondan bir hilda o'rab oladi. Silliqdash plastinkalarning yuzasi matoviy to'qimalarga ega bo'lib, ko'p sonli krater shaklidagi chiziqlardan iborat. Chiziqlarning o'lchamlari to'g'ridan-to'g'ri abraziv donalarning o'lchamiga, silliqdashning bosimiga va silliqdash tezligiga bog'liq.

Erkin abraziv bilan silliqdash jarayoni yarimo'tkazgichli plastinkalarni turli suspenziyalar va pastalar yordamida bir tomonlama va ikki tomonlama silliqdash uskunalarida amalga oshiriladi. Silliqdash

jarayonida abraziv donalar erkin holatda bo'ladi, ya'ni ular bir-biriga qattiq bog'lanmagan. Abraziv suspenziya silliqлагich va yarimo'tkazgichli plastinka o'rtasida yupqa qatlam hosil qiladi, unda abraziv donalar erkin aylanadi. Shundan "erkin abraziv" nomi kelib chiqqan.

Bog'langan abraziv bilan silliqlash, ishlov berish jarayonida yarimo'tkazgich materialini olib tashlashning fizik printsipi nuqtai nazaridan ham, jarayonning kinematikasi bo'yicha ham erkin abraziv bilan silliqlashdan sezilarli darajada farq qiladi. Bog'langan abraziv bilan silliqlash qozg'almas o'qlari bo'lgan dastgohlarda amalga oshiriladi, ularning o'ziga xos xususiyati silliqлагich va plastinkalarning aylanish o'qlari holatining o'zgarmasligidir.

Bog'langan abraziv bilan ishlov berishning aniqligi, birinchi navbatda, dastgohning sozlanishiga va uning qismlarining qattiq mahkamlanganligiga bog'liq. Silliqланayotgan plastinkalarning geometrik o'lchamlari va shakllaridagi xatolar silliqлагich shpindelining o'qlari va dastgoh ushlagichining parallel emasligi tufayli yuzaga keladi.

5. Yarimo'tkazgichli plastinkalarni jilvirlash.

Jilvirlash. Yarim utkazgichli quymadan qirqib olingan plastinada bir qancha quyidagi nuqsonlar mavjud bo'ladi:

- mexanik buzilgan qatlam,
- tomonlari tekis emas va parallel emas,
- egri va qalinlik turli nuqталarda xar xil.

Bu nuqsonlarni yo'qotish uchun plastina jilvirlanadi.

Bunda yaxshi natijaga erishish uchun jilvirlashga quyidagi talablar qo'yiladi:

- jilvirlashni toza, changsiz xonada amalga oshirish kerak;
- jilvirlovchi qurilmalari xar xil abraziv materiallar uchun aloxida bo'lishi kerak;
- barcha abraziv materiallar aloxida germetik skafandrlarda saqlanishi kerak.

Jilvirlashda qo'llaniladigan disklar choyan, shisha, po'lat, mis yoki latundan tayyorlangan bo'ladi.

Jilvirlash uchun ishlatiladigan mikrokukun M14 dan M5 gacha bo'ladi. Jilvirlash yordamida 9-12 klass tozalikka erishish mumkin. Jilvirlash jaryonini texnologik, konstruktiv va abraziv material turiga qarab klassifikatsiyalanadi:

- texnologiyasiga qarab: oraliq va yakuniy jilvirlash;
- konstruktiv belgisiga qarab: bir tomonini va ikki tomonini jilvirlash;
- qo'llanilayotgan abraziv materialga qarab: erkin va bog'langan abrazivda jilvirlash.

Oraliq jilvirlashdan maqsad - plastina sirtini tezroq tekislash. Bu jarayon rejimlari: jilvirlovchi diskning aylanish tezligi va bosimi kattaroq bo'ladi. Abraziv mikrokukunning zarralari kattarog'idan (M14, M10) foydalaniladi.

Yakuniy jilvirlash - jilvirlash diski aylanish tezligi va bosimi kamroq bo'ladi, mikrokukunning zarralari maydasidan (M7, M5) foydalaniladi. Maqsad - plastinaning geometrik parametrlarini yaxshilash va sirtini tekislik sifatini oshirish.

Bir tomonini jilvirlash - plastinaning bir tomoni maxsus moslamaga yopishtiriladi. Ikkinchi tomoni jilvirlovchi disk bilan mikrokukun korishmasi yordamida jilvirlanadi.

Ikki tomonini jilvirlash - ikkita jilvirlovchi diskka ega bo'lgan qurilmada amalga oshiriladi. Separatorga yarimo'tkazgichli plastina joylashtirilib, ikkita jilvirlovchi disk o'rtasiga urnatiladi. Pastki jilvirlovchi disk odatda qozg'almas bo'ladi, yuqorisidagisi esa aylanadi. Plastina jilvirlovchi disk aylanishi, separator aylanishlarining natijasidan iborat murakkab aylanma xarakat qiladi. Abraziv qorishma yuqoridagi jilvirlovchi diskka beriladi va plastinani xamma tomondan qoplab oladi. Jilvirlangan sirt juda ko'p chiziqlardan iborat bo'ladi. Chiziqlar chuqurligi abraziv material zarralari ulchamiga, jilvirlovchi disk bosimiga va jilvirlash tezligiga bog'liq bo'ladi.

Abraziv materialda jilvirlashni plastinani bir tomonini va ikki tomonini jilvirlovchi qurilmada abraziv material qorishmasi yoki pastasi yordamida amalga oshiriladi. Jilvirlash jarayonida abraziv material zarralari bir-biri bilan bog'lanmagan, erkin xolatda xarakatlanadi.

Bog'langan abraziv materialida jilvirlashni sirtida olmos kukuni yopishtirilgan jilvirlovchi metall diskli qurilmada amalga oshiriladi. Yarimo'tkazgichli plastinka maxsus moslamaga bir tomoni bilan yopishtiriladi va shu moslama bilan birga aylanma xarakat qiladi. Jilvirlovchi disk 15000 - 18000 ayl/min. tezlik bilan aylanib plastinka sirti bilan jipslashadi. Olmos kukunlari plastina sirtini qirib, uzaro kesivchi juda ko'p chiziqlardan iborat setkasimon shakl xosil qiladi. Bunday jilvirlashda juda ko'p issiqlik ajralib chiqadi. Jilvirlovchi disk va plastinka qizib ketmasligi uchun suv bilan sovitib turiladi. Agar

jilvirlovchi disk aylanish tezligi kamaytirilsa sirt jilvirlanish sifati yomonlashadi.

6. Yarimo‘tkazgichli plastinkalarni sayqallash.

Yarimo‘tkazgichli plastinka sirtiga ishlov berish sifatini oshirish va mexanik buzilgan sirt chuqurligini kamaytirish uchun sayqallash amalga oshiriladi. Sayqallash yumshoq sayqallagichda bajariladi. Yumshoq sayqallagich qattiq disk ustiga yumshoq material qoplangan bo‘ladi (duxoba, ipak, chit va xokazo). Abraziv material sifatida zarralar ulchami 3 mkmdan kichik bo‘lgan sintetik olmos kukuni, aluminiy oksidi, xrom oksidi, kremniy ikki oksidi yoki sirkoniy ikki oksidi ishlatiladi. Sayqallovdchi material o‘zining g‘ovaklarida abraziv material zarralarini ushlab qolishi kerak. Oraliq sayqallashda tuktsiz material ishlatiladi. Yakuniy sayqallashda tukli material va zarralar o‘lchami 1 mkmdan kichik bo‘lgan abraziv material kukuni ishlatiladi.

Yumshoq sayqallagichlarning chidamliligi yuqori emas. Masalan batisli sayqallagichda $20 \div 30$ plastinkani sayqallash mumkin. Satinlisida - $50 \div 70$ ta plastinkani; zamshlida - $100 \div 120$ plastinkani, duxobada - $500 \div 600$ plastinkani.

Sayqallash uch bosqichdan iborat:

-birinchi bosqich (oraliq sayqallash) abraziv qorishmasini tayyorlash va sayqallagichni tayyorlash. Shisha diskka yumshoq material (batist) qoplanadi. Batist sirti spirt yoki soat moyi bilan ho‘llanadi, abraziv zarralari bir tekis taqsimlanishi uchun. Yordamchi shisha disk sirtiga olmos kukunli pasta (ASM 3) suriladi va bir necha tomchi soat moyi tomiziladi. Xosil bo‘lgan qorishmani boshqa shisha disk yordamida shisha disklar yuzasida bir tekis surilguncha bir-biriga ishqalanadi. Bu diskarning xar biri navbat bilan batist qoplangan sayqallagichga suriladi va xamma olmos kukun batist sirtiga o‘tkaziladi. Kremniy plastinkasi bir tomoni bilan maxsus moslamaga yopishtiriladi va sayqallovdchi qurilmaga o‘rnatiladi. Sayqallash jarayonida qizish kuchli bo‘lmasligi uchun sayqallagichning aylanish tezligi $30 \div 40$ ayl/min.dan ortmasligi kerak. (Qiziganda plastina ko‘chib ketishi va mexanik ta‘sirlanishi mumkin).

- Ikkinchi bohqich (oraliq sayqallash), sayqallagich materialini almashtirish va ASM 1 olmos kukunli pastadan foydalanish. Buning uchun shisha diskka boshqa yumshoq material (duxoba) qoplanadi, issiq suv yoki spirt bilan ho‘llanadi. Duxobaga olmos kukunli pasta (ASM 1)

suriladi va soat moyi tomiziladi. Maxsus moslamaga yopishtirilgan (birinchi bosqichda) plastinka moslama bilan birgalikda tozalanadi va sayqallovdagi qurilmaga o'rnatiladi xamda sayqallash davom ettiriladi. Ikkinchi bosqichda sayqallagichning plastinkaga bosimi ko'paytiriladi, aylanish tezligi $25 \div 30$ ayl/min. gacha kamaytiriladi.

- Uchinchi bosqich (yakuniy nozik sayqallash) da sayqallagich va abraziv material almashtiriladi. Sayqallagich materiali sifatida yangi batist va abraziv material sifatida xrom oksidi, kremniy ikki oksidi yoki sirkoniy ikki oksidi ishlatiladi.

Xrom oksidining ikki turidan foydalaniladi:

1) Yirik, zarralar ulchami $0,6 \div 0,8$ mkm, bixromat kaliyning oltingugurt bilan reaksiyasidan olinadi;

2) Mayda, zarralar ulchami $0,2 \div 0,4$ mkm, bixromat ammoniyning termik parchalanishidan olinadi.

Xrom oksidi bilan sayqallash jarayoni sekin kechadi, bir necha soat davom etadi.

Kremniy ikki oksidi yoki sirkoniy ikki oksidi yordamida sayqallash tezligi ancha yuqori. Kremniy ikki oksidi kukuni zarralarining ulchami 0,1 mkmdan kam bo'ladi. Kremniy ikki oksidi kukuni qorishmasi: bir qism kukunga besh qism suv qo'shib tayyorlanadi. Qorishma sayqallash jarayonida aralashtirib turilishi kerak. Yumshoq material sifatida zamsh ishlatiladi, sayqallagich aylanish tezligi 100 ayl/min. gacha.

Sirkoniy ikki oksidi kukuni zarralari ulchami 0,1 mkm.dan kichik, qorishmasi bir qism kukunga o'n qism suv qo'shilgan bo'ladi.

Oxirgi bosqichda avvalgi ikki bosqichdagi olmos zarralari ketkaziladi va mexanik buzilgan qatlam qalinligi keskin kamayadi va plastinkaning tozalik darajasi $13 \div 14$ klassga to'g'ri keladi.

Sayqallash. Yarimo'tkazgichli plastinkalarning sirtiga ishlov berish sifatini yaxshilash va mexanik shikastlangan qatlamning chuqurligini kamaytirish uchun sayqallash jarayoni amalga oshiriladi.

Sayqallash jarayoni silliqlash jarayonidan texnologik rejimda, abraziv turi va zarrachalarining kattaligi, shuningdek, sayqallagich materiali bilan farqlanadi. Ushbu jarayonlarning umumiy tomoni shundaki, ishlov berish turi bir tomonlama va erkin abraziv yordamida.

Sayqallash jarayoni yumshoq material (batist, zamsh, velyur, ipak va boshqalar) bilan qoplangan qattiq disklarda amalga oshiriladi. Abraziv material sifatida zarralari o'lchami 3 mikrondan kichik bo'lgan

sintetik olmos, alyuminiy oksidi, xrom oksidi, kremniy dioksidi yoki sirkoniy dioksidi kukunlari ishlatiladi.

Sayqallagich matosini tanlash ishlatiladigan abraziv materialiga mos kelishiga bog'liq. Yarimo'tkazgichli plastinkalarga ishlov berish jarayonida sayqallagich matosi abraziv materialning zarralarini tuklari bilan ushlab turishi kerak. Sayqallagich matosi ishqalanishga bardoshli va arzon bo'lishi kerak. Odatda, dastlabki sayqallash uchun donalari yirikroq bo'lgan olmos kukuni surilgan tuklarsiz mato materiallari ishlatiladi. Tukli materiallar donalari 1 mikrondan kichik bo'lgan olmos kukuni yordamida yakuniy ishlov berish uchun ishlatiladi.

Bundan tashqari, sayqallagich matosi sifatiga bir qator talablar qo'yiladi: ularda tahlanib qolgan joylar, kesilgan joylar, qalinlashuvlar, uzilgan iplar, bo'rtib chiqqan va cho'kgan joylar, begona qo'shimchalar va boshqa sirt nuqsonlari bo'lmasligi kerak. Yumshoq sayqallagich matosining chidamliligi past. Shunday qilib, 20-30 ta plastinkani sayqallash uchun batist, 50-70 ta plastinkani sayqallash uchun satin, 100-120 ta plastinkani sayqallash uchun zamsh va 500-600 ta plastinkani sayqallash uchun velyur mos keladi.

Yarimo'tkazgichli plastinkani sayqallash jarayoni uchta asosiy bosqichdan iborat:

1. *Dastlabki sayqallash* abraziv suspenziyani va sayqallagichni tayyorlashdan iborat. Yumshoq material (batist) metall halqa yordamida shisha diskka tortiladi. Batist yuzasiga abraziv zarrachalari teng taqsimlanishi uchun spirt yoki saot moyi suriladi. Yordamchi shisha disk yuzasiga olmos kukuni suriladi. Shu tarzda tayyorlangan sayqallagichga yarimo'tkazgichli plastinkalar yopishtirilgan ushlagichlar joylashtiriladi. Olmos bilan sayqallash jarayonida qizish sodir bo'lganligi sababli, sayqallash jarayonini intensiv olib borish tavsiya etilmaydi.

2) *Oraliq sayqallash* sayqallagich materialini almashtirish va olmos kukunining yanada maydarog'ini ishlatish bilan tavsiflanadi. Buning uchun shisha disk ustiga boshqa issiq suv yoki spirt bilan namlangan yumshoq material (velyur) tortiladi. Ta'riflangan usul yordamida velyur yuzasiga soat moyi bilan olmos kukuni suriladi. Ikkinchi bosqichda yarimo'tkazgichli plastinkaga bosim biroz oshadi va sayqallagichning aylanish tezligi 25÷30 aylanish/minut gacha kamayadi.

3) *Yakuniy nozik sayqallash* sayqallagich materialini va abraziv kukunini almashtirishni o'z ichiga oladi. Sayqallagich materiali batist, abraziv material esa xrom oksidi, kremniy dioksidi va sirkoniy dioksidi bo'lishi mumkin.

Yangi istiqbolli sayqallash usullariga mexanik-kimyoviy usullar kiradi, ular sayqallanayotgan yarimo'tkazgich materialga nisbatan yuqori kimyoviy faollik bilan ajralib turadi.

7. Yarim o'tkazgichli plastinkalar sirtini tozalash.

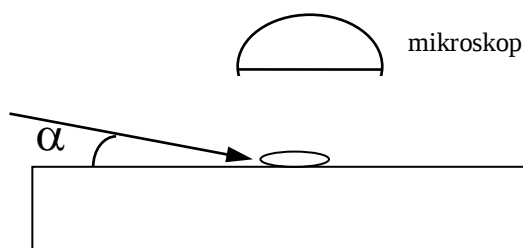
Shlifofka va polirovkadan so'ngra plastina sirti poroshok qoldiqlari, yog'lardan tozalanadi.

Buning uchun eritkichlarda va kislotalarda kimyoviy tozalanadi. Ikkinchi usul fizikaviy tozalash usuli, unda kremniy molekulalari bilan bog'langan krishma molekulalariga qizdirish yoki ionli bombardirovka yordamida katta energiya berib, uchirib yuboriladi. Ultra tovishli uskuna yordamida poroshok qoldiqlari trixloretilen, toluol, to'rtxlorli uglerod eritgichlarida tozalanadi.

Organik moddalar molekulalaridan tozalash uchun sulfat kislota (H_2SO_4) da qaynatiladi.

Metall atomlaridan tozalash uchun HCl va HNO_3 da qaynatiladi, HF da yuviladi. Xamma vaqt eng oxirida ionlardan tozalangan (deionlashgan) suvda yuviladi. Plastina sirtining tozaligini tekshirish usullaridan biri polirovka qilingan sirtini mikroskopda kuzatish. Yorug'lik nuri plastina sirtlariga juda kichik burchak ostida tushadi. Toza joylar qorong'i bo'lib, iflos joylardan sochilgan nur mikroskopga tushadi va yorug' bo'lib ko'rinadi.

Boshqa usul: plastina sirti xo'llanganda agar yog'lar bo'lsa suv bir tekis qatlam xosil qilmaydi, balki bir qancha bo'laklarga ajralib ketadi.



1.3-rasm. Plastina yuzasidagi chang zarralari

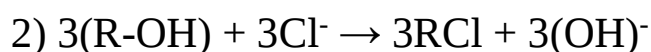
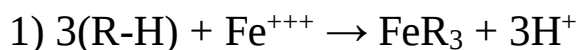
Deionlashgan suv olish texnologiyasi

Plastinkani tozalash jarayonida xar xil suvlar ishlatiladi: distillangan suv solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 200 \text{ kOm}\cdot\text{sm}$ vodoprovod suvini bug'lattirib qayta sovitib olinadi.

Bidistillangan suv solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 500 \text{ kOm}\cdot\text{sm}$. Distillangan suvni bug'lattirib qayta sovitib olinadi.

Ionlardan tozalangan (deionlashgan) suv solishtirma elektr qarshiligi $\rho = 20 \text{ M}\Omega\cdot\text{sm}$. Distillangan suvni ion almashuvchi smolalardan o'tkazish orqali olinadi. Bu smolalar 2 xil bo'lib 1-kationlar (metall ionlarni ushlab qoladi) 2-anionlar (kislota qoldiqlari ionlarini ushlab qoladi). Kationlar kimyoviy formulasi: R-H; anionlarniki: R-OH

Misol: FeCl_3 dan tozalash quyidagicha bo'ladi:



(1) dagi Fe^{+++} ioni R bilan bog'lanib qoladi va H^+ ioni hosil bo'ladi.

(2) dagi Cl^- ioni R bilan bog'lanib qoladi va $(\text{OH})^-$ ioni hosil bo'ladi.

H^+ va $(\text{OH})^-$ ionlari bog'lanib suv xosil bo'ladi.

“B” markali ionlardan tozalangan suv tabiiy vodoprovod suvini distillyatsiya qilinib, sungra deionlashtirib olinadi. Solishtirma qarshiligi $T = 20^\circ\text{C}$ da $1 \text{ M}\Omega\cdot\text{sm}$.

“B” markali ionlardan tozalangan suvni “B” markali deionlashgan suvdan qayta deionlashtirilib, sungra g'ovakliklari o'lchami diametri d 10 mkm bo'lgan inert filtrlovchi materialdan o'tkazib erimagan zarralardan tozalab olinadi. Solishtirma qarshiligi $10 \text{ M}\Omega\cdot\text{sm}$.

“A” markali ionlardan tozalangan suvni “B” markali deionlashgan suvdan g'ovaklar ulchami diametri d 0,5 mkm bo'lgan maxsus filtrlovchi materiallarda filtrlanib olinadi. Solishtirma qarshiligi $20 \text{ M}\Omega\cdot\text{sm}$.

8. Mexanik ishlov berish sifatini nazorat qilish.

Tayyor yarimo'tkazgichli qurilmalar va IClarning elektr parametrlari sezilarli darajada sirt mukammalligi darajasiga, mexanik ishlov berilgan yarimo'tkazgichli plastinkalarning ishlov berish sifati va

geometrik shakliga bog'liq, chunki bu kamchiliklar keyingi texnologik jarayonlarga salbiy ta'sir qiladi: epitaksiya, fotolitografiya, diffuziya va boshqalar. Shuning uchun yarimo'tkazgichli plastinkalar mexanik ishlov berilgandan so'ng nazorat qilinadi.

Sifatni baholash quyidagi asosiy yaroqlilik mezonlari bo'yicha amalga oshiriladi:

- yarimo'tkazgichli plastinalarning geometrik o'lchamlari va shakli;
- plastinka yuzasiga ishlov berishning tozaligi;
- mexanik shikastlangan qatlamning chuqurligi.

Plastinkalarning geometrik o'lchamlari va shaklini nazorat qilish har bir mexanik ishlov berish turidan keyin plastinkalarning qalinligi, egriligi, ponasimon shakli va tekisligini aniqlashni o'z ichiga oladi.

Plastinkalarning qalinligi aniqligi 1 mikron bo'lgan soatsimon mikrometr yordamida sirtning bir necha nuqtalarida o'lchash yo'li bilan aniqlanadi.

Plastinkaning egriligi, uning markazida joylashgan qarama-qarshi tomonlaridagi ikki nuqtada plastinka qalinligining farqi sifatida aniqlanadi, ya'ni plastinkaning qalinligi markaziy nuqtada o'lchanadi va keyin plastinkaning orqasi o'giriladi va qalinligi markaziy nuqtada yana o'lchanadi. Olingan qalinlik qiymatlari orasidagi farq egriligini beradi.

Ponasimon shakli ikki nuqtada plastinka qalinligining farqi sifatida aniqlanadi, lekin plastinkaning markazida emas, balki plastinkaning diametri bo'ylab joylashgan qarama-qarshi uchlarida. Aniqroq bo'lishi uchun, birinchi o'lchov uchun tanlangan diametrga perpendikulyar diametrning uchlarida joylashgan ikkita nuqta uchun o'lchovlarni takrorlash tavsiya etiladi.

Yassilik plastinkaning diametri bo'ylab joylashgan bir necha nuqtada plastinka qalinligini o'lchash yo'li bilan aniqlanadi.

Plastinkalar yuzasiga ishlov berishning tozaligini nazorat qilish sirtida g'adir-budurliklar, singan joylar, timalishlar, balandlik va chuqurliklar mavjudligini aniqlashni o'z ichiga oladi.

G'adir-budurliklar yarimo'tkazgich plastinkasi yuzasidagi mikrobalandliklar va mikrochuqurliklarning balandligi bilan baholanadi. G'adir-budurliklarni baholash tekshirilayotgan plastinkaning sirt yuzasini etalon sirt yuza bilan solishtirish yoki MII-4 mikrointerferometrda yoki profilograf-profilometrda mikrog'adir-budurliklar balandligini o'lchash yo'li bilan amalga oshiriladi. Plastinka yuzasida g'adir-budurliklar, singan joylar, timalishlar, balandlik va

chuqurliklar mavjudligi mikroskop yordamida kuzatish orqali tekshiriladi.

Mexanik shikastlangan qatlamning chuqurligi yarimo'tkazgichli plastinkalarga ishlov berish sifatining asosiy xarakteristikasi hisoblanadi. Kesish, silliqlash va sayqallashdan keyin yarimo'tkazgich plastinkasining sirtga yaqin qatlamining kristall panjarasidagi nuqsonlar odatda mexanik shikastlangan qatlam deb ataladi. Ushbu qatlam ishlov berilgan yuzadan yarimo'tkazgich materialining ichiga tomon cho'ziladi. Shikastlangan qatlamning eng katta chuqurligi quymadan plastinkalar kesishda hosil bo'ladi. Silliqlash va sayqallash jarayonlari bu qatlam chuqurligining kamayishiga olib keladi.

Mexanik shikastlangan qatlamning tuzilishi murakkab tuzilishga ega va qalinligi bo'yicha uchta sohaga bo'linishi mumkin. Birinchi soha xaotik joylashgan balandlik va chuqurliklardan tashkil topgan buzilgan relyef qatlamidir. Bu soha ostida ikkinchi (eng katta) soha mavjud bo'lib, u sohaning yuzasidan uning ichiga o'tadigan yakka chuqurchalar va yoriqlar bilan tavsiflanadi. Bu yoriqlar relyef sohasining notekisliklaridan boshlanadi va ikkinchi sohaning butun chuqurligi bo'ylab tarqaladi. Shu munosabat bilan, ikkinchi soha tomonidan tashkil etilgan yarimo'tkazgich materialining qatlami "yoriqli" deb ataladi. Uchinchi soha - bu mexanik shikastlanmagan, ammo elastik deformatsiyalarga ega bo'lgan monokristalli qatlam (mexanik kuchlangan qatlam).

Mexanik shikastlangan qatlamning chuqurligini aniqlash uchun uchta usul qo'llaniladi.

Birinchi usul shikastlangan hududning yupqa qatlamlarini ketma-ket yemirish va elektron diffraktsiya skaneri yordamida yarimo'tkazgich plastinkasining sirtini kuzatishni o'z ichiga oladi. Yemirish operatsiyasi yarimo'tkazgichli plastinkaning yuzasi mukammal monokristal tuzilishga ega bo'lgunga qadar amalga oshiriladi. Ushbu usul shikastlangan qatlamlarni ± 1 mikrongacha kamaytirish imkoniga ega. Shikastlangan qatlamlarni yanada kamaytirish uchun ketma-ket yemiriladigan qatlamlarning qalinligini kamaytirish kerak. Kimyoviy yemirish jarayoni o'ta yupqa qatlamlarni olib tashlay olmaydi. Shuning uchun, yupqa qatlamlar yarimo'tkazgich materialini oksidlab, shu oksid qatlamni yemirish orqali olinadi.

Ikkinchi usul yarimo'tkazgich plastinkaning anodli erishini cheklovchi toki uning yuzasida nuqsonlar mavjudligiga bog'liqligiga asoslanadi. Strukturaviy nuqsonlari bo'lgan qatlamning erish tezligi

monokristalli qatlamga qaraganda ancha katta bo'lganligi sababli, erish paytida anod tokining qiymati bu tezlikka proporsionaldir. Shuning uchun shikastlangan qatlamning erishidan monokristalli qatlam erishiga o'tish jarayonida erish tezligi ham, anod toki qiymati ham keskin o'zgarishi kuzatiladi. Shikastlangan qatlamning chuqurligi anod oqimining keskin o'zgarish momenti bilan aniqlanadi.

Uchinchi usul shikastlangan qatlamning kimyoviy yemirilish tezligi asl zarar ko'rmagan monokristalli qatlamning kimyoviy yemirilish tezligidan sezilarli darajada katta ekanligiga asoslanadi. Shu sababli, mexanik shikastlangan qatlamning qalinligini yemirilish tezligining keskin o'zgarishi momenti bilan aniqlash mumkin.

Muayyan turdagi mexanik ishlov berishdan so'ng yarimo'tkazgichli plastinkaning yaroqliligi mezonlari quyidagi asosiy parametrlardir.

Quymani 60 mm diametrli plastinkalarga kesib bo'lgach, sirtida singan joylar yoki katta tiralishlar bo'lmasligi kerak; plastinkaning turli joylarida qalinligidagi farqlar $\pm 0,03$ mm dan oshmasligi kerak; egrilik 0,015 mm dan oshmasligi kerak; ponasimonligi 0,02 mm dan oshmasligi kerak.

Silliqlash jarayonidan so'ng, sirt matoviy, bir xil rangga ega bo'lishi va singan joylarsiz, tiralishlarsiz bo'lishi kerak; ponasimonligi 0,005 mm dan yuqori emas; plastinkaning turli joylaridagi qalinligidagi farqlar 0,015 mm dan yuqori emas.

Sayqallash jarayonidan so'ng, sirt tozaligi olmosli iz (fon), singan joylar, izlar va chizilishlarsiz 14-sinfga mos kelishi kerak; egilish 0,01 mm dan oshmasligi kerak; nominal qalinligidan og'ish $\pm 0,010$ mm dan oshmasligi kerak.

Shuni ta'kidlash kerakki, yarimo'tkazgichli plastinalarning (tagliklarning) sifatini nazorat qilish yarimo'tkazgichli qurilma yoki murakkab integral sxemani ishlab chiqarish bo'yicha keyingi texnologik operatsiyalarning butun majmuasi uchun katta ahamiyatga ega. Buning sababi shundaki, tagliklarga mexanik ishlov berish, mohiyatan, qurilma ishlab chiqarishning butun jarayoni operatsiyalari siklining birinchi qismidir va shuning uchun tekshirish paytida parametrlarning normasidan og'ishi aniqlangan plastinalarni (tagliklarni) tuzatishga imkon beradi.

Tekshiruv yomon o'tkazilsa, nuqsonlari bo'lgan yoki talab qilinadigan yaroqlilik mezonlariga javob bermaydigan plastinkalar keyingi texnologik operatsiyalarga o'tib ketsa tuzatib bo'lmaydigan nuqsonlarga sabab bo'ladi va muhim iqtisodiy ko'rsatkichning keskin

pasayishiga olib keladi, ya'ni ishlab chiqarish bosqichida yaroqli mahsulotlarning ulushi kamayib ketadi.

Shunday qilib, mexanik ishlov berishdan keyin yaroqsiz plastinkalarni maksimal darajada rad etish texnologik operatsiyalarning butun majmuasi va birinchi navbatda, texnokimyoviy va fotolitografik jarayonlar, faol va passiv tuzilmalarni (diffuziya, epitaksiya, ionlar implantatsiyasi, plyenka hosil qilish va boshqalar) ishlab chiqarish, shuningdek p-n - o'tishlarni himoya qilish va germetizatsiyalash bilan bog'liq jarayonlarning potentsial ishonchliligini kafolatlaydi.

1.5. IMS tagliklarini tayyorlash uchun texnokimyoviy jarayonlar

IS tagliklarini tayyorlash uchun texnokimyoviy jarayonlarning asosiy maqsadlari: yarimo'tkazgichli plastinkaning toza yuzasiga ega bo'lish; yarimo'tkazgichli plastinka yuzasidan mexanik shikastlangan qatlamni olib tashlash; yarimo'tkazgichli plastinkadan ma'lum bir qalinlikdagi qatlamini olib tashlash; taglik yuzasining ma'lum joylaridan lokal olib tashlash; ishlov berilayotgan taglik yuzasida ma'lum elektrofizik xususiyatlarni yaratish; taglikning kristall panjarasidagi strukturaviy nuqsonlarni aniqlash; mezatuzilmalarni olish; galvanik qoplamalarni hosil qilish.

Yarimo'tkazgichli tagliklarning toza yuzasini olish diffuziya, epitaksial qatlam o'stirish va boshqa jarayonlarda har qanday ifloslanishga yo'l qo'yib bo'lmazligi talabi bilan bog'liq. Shuning uchun texnokimyoviy jarayonlarning asosiy maqsadi tagliklar yuzasidan har xil turdagi ifloslanishlarni olib tashlashdir. Tagliklarning toza yuzasini olish katta qiyinchiliklar bilan bog'liq va turli xil texnokimyoviy jarayonlar majmuasini amalga oshirish orqali erishiladi: suvda yuvish, erituvchilarda ultratovushli yuvish, kimyoviy yoki gaz bilan yemirish va boshqalar.

Abraziv yoki olmosli mikrokukunlar yordamida silliqlash va sayqallash natijasida hosil bo'lgan mexanik shikastlangan qatlamni taglik yuzasidan olib tashlash sirt qatlamining atomik mukammal tuzilishini olish uchun zarur bo'lib, bu o'z navbatida ISni yuqori elektr parametrlarga ega bo'lgan tuzilmalardan iborat faol strukturalarini yaratishga imkon beradi. Mexanik shikastlangan qatlamni olib tashlash kimyoviy gaz bilan ishlov berish, shuningdek, ion-plazma va plazma-kimyoviy ishlov berish orqali amalga oshirilishi mumkin.

Yarimoʻtkazgichli materialni dastlabki taglik yuzasining maʼlum joylaridan lokal ravishda olib tashlash relyef yaratish uchun amalga oshiriladi, bu yarimoʻtkazgichli qurilmalar va ISlarni loyihalash va ishlab chiqarishda murakkab texnologik masalalarni hal qilish imkonini beradi. Dastlabki taglik materialini lokal olib tashlash odatda elektrolitda elektrokimyoviy ishlov berish yoki himoya niqobidan foydalangan holda kimyoviy ishlov berish bilan amalga oshiriladi.

Mezastrukturalarni olish yarimoʻtkazgichli qurilmalar va ISlarning katta sinfini ishlab chiqarishda keng tarqalgan texnologik usuldir. Mezastrukturalar shakli va geometrik oʻlchamlari himoya relyefining naqshiga koʻra aniqlanadi, emirish chuqurligi esa kimyoviy emirgich tarkibi turiga va emirishning texnologik rejimiga qarab belgilanadi.

Metallarning elektrolizli qoplamalarini hosil qilish yarimoʻtkazgichli taglik yuzasida tok oʻtkazuvchi yoʻllarni, omik kontaktlarni va IS ning passiv elementlarini yaratishga imkon beradi.

Shunday qilib, texnokimyoviy jarayonlar keyingi texnologik operatsiyalar uchun maʼlum bir sirt tozaligi va maʼlum bir sirt relyefiga ega yarimoʻtkazgichli taglikni tayyorlashga imkon beradi: epitaksial va himoya dielektrik plyonkalarni hosil qilish, diffuziya jarayonlari, ion implantatsiya jarayonlari va boshqalar.

1. Yarimoʻtkazgichli tagliklarning ifloslanish turlari. Yarimoʻtkazgichli taglik yuzasida har xil turdagi ifloslantiruvchi moddalarning mavjudligi keyingi texnologik operatsiyalarda yaroqli mahsulotlar chiqishini keskin pasayishga olib keladi.

Tagliklarning ifloslanishi odatda yarimoʻtkazgichli quymalar va plastinkalarga mexanik ishlov berish jarayonida (kesish, silliqlash va sayqallash), shuningdek, texnologik muhitdan turli moddalarning adsorbsiyasi tufayli sodir boʻladi.

Barcha turdagi ifloslantiruvchi moddalarni ikkita mezoniga koʻra tasniflash mumkin: ularning fizik va kimyoviy xossalari va yarimoʻtkazgich materiallari bilan oʻzaro taʼsirining tabiati.

Fizik-kimyoviy xususiyatlariga koʻra ifloslanishlar organik, noorganik, tuzli, ionli, mexanik va boshqalar boʻlishi mumkin.

Taglik moddasi bilan oʻzaro taʼsir qilish xususiyatiga koʻra, ifloslantiruvchi moddalar fizik va kimyoviy adsorbsiyalanganlarga boʻlinadi.

Fizik adsorbsiyalangan ifloslantiruvchi moddalarga barcha turdagi mexanik zarrachalar (chang, tolalar, abraziv moddalar, metall

qo‘shimchalar va boshqalar), shuningdek, fizik adsorbsiya kuchlari bilan taglik yuzasiga bog‘langan barcha turdagi organik materiallar kiradi. Mexanik zarralar suv oqimi va ultratovushli vannalarda turli xil texnologik yuvishlar bilan juda oson tozalanadi. Organik ifloslantiruvchi moddalardan tozalash uchun tagliklarni yuvishning yanada murakkab jarayoni talab qilinadi.

Barcha turdagi ifloslantiruvchi moddalar orasida organik ifloslantiruvchi moddalarga alohida e‘tibor berilishi kerak, chunki qizdirilganda ular parchalanadi va gazsimon moddalarni (kislorod, uglerod monooksidi va dioksidi, suv bug‘lari va boshqalar) chiqaradi, bu esa keyingi texnologik jarayonlarni (diffuziya, epitaksiya, himoyalovchi dielektrik plyonkalar olish va boshqalar) sifatini yomonlashtiradi.

Organik ifloslantiruvchi moddalar, o‘z navbatida, *qutbli* yoki *qutbsiz* bo‘lishi mumkin. Qutbli organik ifloslantiruvchi moddalarga asosan olein va stearin kislotalar, kanifol, sintetik moddalar va smolalar kiradi. Qutbsiz organik ifloslantiruvchi moddalarga mineral moylar, vazelin, neft parafinlari va mumlar kiradi.

Kimyoviy adsorbsiyalangan ifloslantiruvchi moddalarga, birinchi navbatda, yarimo‘tkazgichli taglik yuzasida turli xil oksid va sulfid plyonkalari, shuningdek, kimyoviy moddalarning kationlari va anionlari kiradi. Kimyoviy ifloslantiruvchi moddalardan olib tashlash eng qiyin bo‘lganlari - bu taglikning g‘ovaklarida joylashgan metallar va yomon eriydigan oksidlar. Taglikni yuvishning eng murakkab jarayoni yordamida ham bunday turdagi ifloslantiruvchi moddalarni olib tashlab bo‘lmaydi. Ular ma‘lum turdagi va tarkibdagi eritmalar yordamida kimyoviy reaksiyalar majmuasini o‘tkazish orqali olib tashlanadi.

Shunday qilib, taglikni ifloslantiruvchi moddalardan to‘liq tozalash uchun bir qator ketma-ket operatsiyalarni o‘z ichiga olgan texnologik jarayonni tanlash kerak, ularning har biri bir yoki bir nechta turdagi ifloslantiruvchi moddalarni sirtidan olib tashlashga imkon beradi. Bunday holda, umumiy qonuniyatlarga amal qilish kerak: mexanik ifloslantiruvchi moddalar suvli vannalarda ultratovushli yoki gidrodinamik yuvish orqali tozalanadi; organik ifloslantiruvchi moddalar - qaynab turgan erituvchilarda ishlov berish orqali; kimyoviy ifloslanish - ishqorli yoki kislotali emirgichlarda kimyoviy emirish bilan; tuz va ionli ifloslanish - ion almashinuvi yoki toza yuqori qarshilikli deionizatsiyalangan suvda yuvish bilan va boshqalar.

Yarimo‘tkazgichli tagliklarni tozalashning yakuniy jarayonini tanlashda siz ushbu jarayonning iqtisodiy jihatlaridan xabardor

bo'lishingiz va uni minimal xarajat bilan eng toza sirtni oladigan tarzda loyihalashingiz kerak. Bunday holda, har doim ushbu tagliklar etkazib beriladigan texnologik operatsiya bilan belgilanadigan taglik yuzasining tozaligiga qo'yiladigan talablardan kelib chiqish kerak. Shunday qilib, mexanik ishlov berishdan kimyoviy ishlov berishgacha bo'lgan tagliklar uchun tozalik talablari kimyoviy ishlov berishdan epitaksial o'sishgacha bo'lgan tagliklarga qo'yiladigan tozalik talablaridan keskin farq qiladi.

2. Yarimo'tkazgichli tagliklarni yuvish. Yarimo'tkazgichli qurilmalar va ISlarni ishlab chiqarish uchun yarimo'tkazgichli tagliklarni tayyorlashning umumiy siklidagi muhim operatsiyalardan biri yuvish operatsiyasi hisoblanadi. Ushbu operatsiya ikki bosqichdan iborat: tagliklarni organik erituvchilarda yog'sizlantirish va o'ta toza suvda yuvish.

Tagliklarni yog'sizlantirish organik fizik ifloslantiruvchi moddalardan tozalash uchun amalga oshiriladi. Qutbsiz organik ifloslantiruvchi moddalardan tozalash uchun toluol, uglerod tetraxloridi, freonlar kabi erituvchilar, qutbli organik ifloslantiruvchi moddalardan tozalash uchun aseton, spirtlar va trixloretilen ishlatiladi. Sanoat ishlab chiqarishida taglikni yuvish uchun ko'pincha erituvchilarning turli kirishmalari qo'llaniladi, bu esa qutbli va qutbsiz organik ifloslantiruvchi moddalarni bitta yog'sizlantirish texnologik siklida yuvish imkonini beradi. Bunday kirishmalarga quyidagilar kiradi: freon - metilensexlorid, freon - izopropil spirt, freon - aseton va boshqalar. Yog'sizlantirish jarayonini kuchaytirish va yuvish sifatini yaxshilash uchun ultratovushli vannalar keng qo'llaniladi.

Yog'sizlantirish jarayonlarini amalga oshirishda xavfsizlik qoidalariga rioya qilish kerak, chunki ishlatiladigan erituvchilar zaharli moddalar bo'lib, inson tanasi va sog'lig'iga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Barcha yog'sizlantirish ishlari havo tortuvchi ventilyatsiya bilan jihozlangan xonalarda maxsus skafandrlar kiygan holda yoki germetik yopiq qurilmalarda amalga oshirilishi kerak.

Yog'sizlantirish texnologik jarayoni yarimo'tkazgichli tagliklarni ftoroplastik kassetalarga joylab ketma-ket erituvchi yoki erituvchilar kirishmasi bilan to'ldirilgan bir nechta vannalarga (ikkitadan to'rttagacha) tushiriladi. Birinchi vannada eng qo'pol yog'li ifloslantiruvchi moddalardan tozalanadi, ikkinchi vannada birinchi ishlov berish paytida erimagan yog'li joylari tozalanadi va keyingi vannalarda tagliklarni yakuniy, yanada tozaroq yuvish sodir bo'ladi.

Yog'sizlantirishning eng istiqbolli usuli reagent sifatida suyuq erituvchilar emas, balki qaynab turgan erituvchilarning bug'lari qo'llaniladigan usuldir. Usulning mohiyati shundaki, erituvchi bug'lari yarimo'tkazgichli taglik yuzasida ifloslantiruvchi moddalar bilan faolroq o'zaro ta'sir qiladi va ularni samaraliroq eritadi. Bundan tashqari, yog'sizlantirish jarayonida sarflangan bug'ni ko'p miqdorda va yuqori tezlikda bug'ning yangi yangi qismi bilan almashtirish mumkin. Ushbu usulning muhim afzalligi shundaki, butun jarayon germetik kamerada amalga oshiriladi va to'liq avtomatlashtirilishi mumkin.

Yog'sizlantirish jarayonida yarimo'tkazgichli taglik yuzasida erituvchining qatlamlari hosil bo'ladi, ular olib tashlanishi kerak. Shuning uchun tagliklarni yog'sizlantirishdan keyin yuvish jarayonining ikkinchi bosqichi ularni o'ta toza suvda yuvish jarayonidir.

Yuqori darajada toza suvda yuvish jarayoni taglik yuzasidan erituvchining qoldiqlarini va eritma mahsulotlarining zarralarini olib tashlashga xizmat qiladi. Keyingi texnologik jarayonlarning talablariga qarab, yarimo'tkazgichli solishtirma qarshiligi $1 \div 20 \text{ MOm} \cdot \text{sm}$ gacha bo'lgan deionizatsiyalangan suvda yuviladi. Tagliklarni yuvish ultratovushli vannalarda isitiladigan va isitilmaydigan suv bilan amalga oshiriladi.

Tagliklarni yuvish jarayonining samaradorligini oshirish uchun ultratovushli vannalar bilan bir qatorda ko'pincha cho'tkalar ko'rinishidagi gidromexanik qurilmalar, shuningdek, suv oqimini intensiv etkazib beradigan gidrodinamik qurilmalar qo'llaniladi.

Tagliklarni yuvish sifati yuvish kamerasining kirish va chiqish joyidagi suvning solishtirma qarshiligi bilan baholanadi. Chiqishdagi suvning solishtirma qarshiligi yuqori bo'lsa, unda kamroq ifloslantiruvchi moddalar mavjud. Odatda, yuvish chiqish joyidagi suvning solishtirma qarshiligi yuvish kamerasining kirish qismidagi suvning solishtirma qarshiligiga teng bo'lgunga qadar amalga oshiriladi.

1.6. Yarim o'tkazgichli plastina sirtiga kimyoviy ishlov berish.

Sirtdagi kirlar miqdori (konsentratsiyasi) yarim utkazgichli asboblar va IS lar parametrlari turgunligiga ta'sir kilmagan xoldagina sirt texnologik toza deyiladi.

Plastina sirtini tozalashning fizik usullari:

- ultratovushli tozalash;
- kirlarni oquvchi suyuqlikda shotkalar bilan yuvish;

- gaz oqimini purkab tozalash (toza azot gazida);
- ionlar va elektronlar oqimi bilan bombardirovka qilish;
- plazma muxitida ionlar bilan ishlov berish;
- vakuumda yoki inert muxitda yuqori temperaturada qizdirish.

Kimyoviy tozalash usullari:

- iflosliklarni eritib yuborish;
- kirlarni plastinkaning yupqa sirt qatlamini eritib ketkazish.

Plastina sirtidagi fizikaviy kirlar.

Fizikaviy adsorbsiyalangan fizikaviy kirlar quyidagilar:

- organik bo'lmagan kirlar: turli chang zarralari, abraziv materiallar zarralari.
- organik kirlar: yog' plyonkalari, ion almashuvchi smolalar qoldiqlari, fotorezist zarralari, o'lchami $1 \div 20$ mkm bo'lgan mikroorganizmlar va xokazolar.

Yarimo'tkazgichli material sirtiga kirlarning fizikaviy adsorbsiyasi molekulalar orasida Van-der-Vaals kuchlari yuzaga kelishi tufayli xamda elektrostatik qutblanish (zaryadlangan zarralarning Kulon kuchi bilan ta'sirlashishi) sababli bo'lib, qaytuvchi jarayonlardir.

Organik bo'lmagan kirlarni gidromexanik yo'l bilan yoki toza azot gaz oqimini purkash orqali tozalanadi.

Organik kirlar kremniy plastinkasiga termik ishlov berilganda uglerod atomini xosil qilib parchalanadi.

Organik kirlar qutbli va qutbsizga bo'linadi:

Qutbli organik kirlar: moylar, oqsillar, sirt aktiv moddalar qoldiqlari. Bu moddalarning molekulalari sirt bo'yicha yo'nalgan bo'lib va o'zaro tortilib, kirlar yuzasining qisqarishiga olib keladi.

Qutbsiz organik kirlar: mineral yog'lar, parafinlar, vazelinlar. Bu moddalarning molekulalari sirt energiyasi katta bo'lib, katta yuzalarni qoplab oladi.

Suvda erimaydigan organik moy kirlar plastina sirtini gidrofob xolatga keltiradi, ya'ni suv bilan xullanmaydi. Sirtni bir tekis tozalash uchun gidrofil xolatga keltirish kerak. Moy kirlardan tozalash orqali sirtni gidrofob xolatdan gidrofil xolatga o'tkazish yog'sizlantirish deyiladi.

Organik kirlarni organik eritgichlarda yoki ularning bug'ida yuvib tozalanadi. Avval qutbsiz yoki kuchsiz qutbli eritgichlarda (benzol, toluol, turt xlorli uglerod, ayrim freonlarda) qutbsiz kirlar yuviladi, so'ngra spirt, atseton, uchxlor etilenda qutbli kirlar tozalanadi.

Plastina sirtidagi kimyoviy kirlar.

Kimyoviy kirlar yarimo'tkazgichli material sirtida kimyoviy adsorbsiya (xemosorbsiya) kuchlari bilan bog'langan. Xemosorbsiyada adsorbsiyalangan modda atomlari bilan yarimo'tkazgichli plastina sirtidagi atomlar orasida mustaxkam kovalent yoki ion bog'lar xosil bo'ladi. Bu qaytmas jarayon.

Kimyoviy kirlar ionli va atomli bo'ladi:

Ionli kirlar suvda eruvchi tuzlar, kislotalar va ularning asoslari bo'lib, plastina sirtiga yuvuvchi va yemiriluvchi eritmalardan, sayqallovchi qorishma (suspensiya)lardan, qirquvchi, jilvirlovchi va sayqallovchi disklarning metall asoslaridan o'tadi.

Atomli kirlar kimyoviy reaktivlar tarkibida mavjud bo'lgan Au, Ag, Cu, Fe atomlarining plastinka sirtiga mikromurtak (mikrozarodish) shaklida o'tirishi yoki butun sirtni qoplashi, xatto mikroskopik qatlamlar xosil qilishidir.

Kimyoviy kirlarni kuchli oksidlovchi kirishmalarda, kompleks xosil qiluvchi eritmalarda, sirt-aktiv moddalarda, kislotalarda ketkaziladi.

Tozalashda birinchi navbatda organik kirlar va sirt bilan kimyoviy bog'langan plyonkalar ketkaziladi, so'ngra - ionli va atomli kirlar ketkaziladi.

Turli kirlarning asosiy manbalari:

- Yarimo'tkazgichli plastinaga mexanik ishlov berishda ishlatiladigan ishlab chiqaruvchi xonalarida xavoda mavjud bo'lgan chang;
- plastinalarni tashish va saqlashda qullaniladigan idishlar, moslamalar va qurilmalar;
- texnologik muxit;
- organik va organik bo'lmagan reagentlar;
- yuvishda ishlatiladigan suv;
- kirlarning sezilarli manbai operator kiyimi, tanasi, kosmetikasi, bakteriyalar, viruslar, qo'llarning moy izlaridir.

Tozalashda qo'llaniladigan usullar va moddalar tozalanuvchi yarimo'tkazgich materialiga nisbatan inert bo'lishi kerak, yong'indan xavfsiz va zaxarliligi kam bo'lishi kerak. Yarimo'tkazgichli plastinalarni ifloslantirmasligi uchun kimyoviy reaktivlar, gazlar, suv yuqori darajada tozallikka ega bo'lishi kerak. Tozalashda ishlatiladigan qurilmalar "cheksiz kamaytirilib borish" prinsipiga asoslangan xolda loyixalangan bo'lishi kerak (ketma-ket vannalar, bug'da tozalash va boshqalar).

Fizikaviy va kimyoviy yog'sizlantirish usullari

Fizikaviy yegsizlantirish usulida organik kirlar issiq yoki qaynab turgan organik eritgichlarda eritiladi. Moy molekulalari plastina sirtidan ajralib eritgichda bir tekis taqsimlanadi. Bir vaqtda teskari jarayon - tozalangan plastina sirtiga moy molekulalari adsorbsiyasi xam bo'ladi, bu jarayonni kamaytirish uchun ketma-ket vannalarda yuvish usulidan foydalaniladi.

Kirlarni organik eritmalarda eritib tozalash juda effektiv, lekin ko'p marta toza eritgichga solinishi tufayli organik eritgich isrofgarchiligi ko'p bo'ladi. Ayrim organik eritgichlar zaxarli va yonish xavfi yuqori.

Yarimo'tkazgichli plastinkalarni organik eritgichlar bug'ida tozalanganda ham cheksiz kamaytirib borish prinsipiga amal qilinadi. Qaynab turgan organik eritgich bug'lari tozalanayotgan sirt yuzasida kondensatsiyalanadi. Kondensatsiyalangan bug tomchilari plastina sirtidan oqib tushayotib, kirlarni o'zi bilan olib ketadi. Bu usulda plastina yuzasi cheksiz ko'p marta toza organik eritgich bilan yuviladi, ifloslangan organik eritgich esa boshqa vannaga oqib tushadi. Bunday tozalashni izopropil spirt, freon -113, xlorlangan uglevodorod bug'larida bajariladi. Bulardan eng qo'layi freon - 113: yonuvchi emas, zaxarli bo'lmagan suyuqlik, qaynash xarorati 47,6 °C, zichligi 1,57 g/sm². Eritgichlar bug'ida sovun, erigan moylar, tarkibida suv bo'lgan birikmalar yaxshi tozalanmaydi. Bu usul kamchiligi: bug'lanish xisobiga organik eritgichning ko'p isrof bo'lishi va qurilma yuqori darajada germetik - berk bo'lishi kerak.

Kimyoviy yog'sizlantirishni moy molekulalarini parchalovchi, lekin tozalanayotgan materialga ta'sir qilmaydigan kirishmalarda amalga oshiriladi. Shuning uchun kirishmada moy molekulalari yoq va tozalanayotgan sirtidan ularning desorbsiyasi bo'lmaydi.

Kimyoviy yog'sizlantirish uchun qaynoq (75 - 80 °C) perekis ammiakli eritgichdan foydalaniladi. Bu eritgich perekis vodorod (H₂O₂) va ammoniy gidrooksidi (NH₄OH) ning suvdagi kirishmasidan iborat (H₂O₂:NH₄OH:H₂O = 1:1:5).

Qizdirilganda (H₂O₂)dan ajralib chiqqan atomar kislorod (H₂O₂ → H₂O + O) organik va organik bo'lmagan kirlarni oksidlaydi. Ammoniy gidrooksidi (NH₄OH) perekis vodorod H₂O₂ ning parchalanish reaksiyasini tezlashtiradi, moylarni sirtidan o'ziga tortib oladi, ayrim metall ionlari bilan yaxshi eruvchi komplekslar hosil qiladi. Kimyoviy

yogʻsizlantirish fizikaviy yogʻsizlantirishga nisbatan kam zaharli va kam mehnat talab qiladi.

Sirtni metallarning atom va ionlaridan, oksid plenkalaridan, sulfidlardan, nitridlardan kislotalarda tozalanadi. Metall ionlarini kislota tarkibidagi vodorod siqib chiqaradi. Kislotalar bilan tozalashda texnika xavfsizligi qoidalariga qattiq rioya qilish kerak, chunki kislota teriga va koʻzga tegsa kuydiradi.

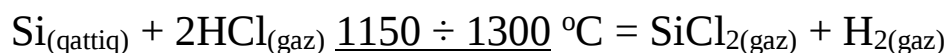
Kremniy plastinasida epitaksial qatlam oʻstirish uchun, MDYa strukturalarining zatvor osti oksid qatlamini olish uchun gazli yemirish usuli bilan plastina sirti tozalanadi. Bunda ifloslar tozalanishi bilan birga monokristall struktura buzilgan qatlam ham olib tashlanadi (yaʼni nuqsonlar yoʻqotiladi.)

Yemirgich sifatida H yoki He ning galogenlar (F, Cl, Br), galogenovodorodlar (HBr, HCl), serovodorod H₂S, oltingugurtning geksaftoridi SF₆ bilan kirishmasi ishlatiladi.

H yoki He dagi bu moddalarning miqdori 0.1 ÷ 1 % gacha boʻladi.

Oksidlovchi qurilmada yoki epitaksial qatlam oʻstiruvchi reaktorda 800 ÷ 1300 °C da ishlov beriladi.

Si ni HCl da yemirganda quyidagi reaksiya ketadi:



yaʼni Si sirtini gaz bilan yemirib tozalaganda kimyoviy reaksiya mahsuloti gaz shaklida boʻladi, shuning uchun sirtning tozalanishi samarali boʻladi.

Kremniyni yemirish kinetikasi

Kremniy plastinkasini yemirish qattiq va suyuq muxit chegarasida amalga oshadi va 5 ta bosqichdan iborat:

- kimyoviy reagentning plastina yuzasiga diffuziyalanib kelishi.
- reagentning adsorbsiyalanishi.
- kimyoviy reaksiyaga kirishish.
- reaksiya maxsulotlarining desorbsiyalanishi (tashqariga chiqarilishi).
- reaksiya maxsulotlarining plastina yuzidan diffuziyalanib uzoqlashishi.

Yemirilish tezligi

Fik qonuniga asosan kimyoviy reagentning plastina sirtiga tomon diffuziyalanish tezligi:

$$v_{\text{diff.}} = D (N_{\text{haj}} - N_{\text{sirt}}) / \delta$$

N_{haj} va N_{sirt} - kimyoviy reagentning hajmda va plastina sirtidagi konsentratsiyasi;

δ - kimyoviy reagentning konsentratsiya gradienti mavjud bo'lgan qatlam qalinligi.

Kimyoviy reaksiya tezligi:

$$v_{\text{reak.}} = (N_A)^a (N_B)^b \exp(-\Delta W/RT)$$

N_A, N_B – o'zaro reaksiyaga kirishuvchi moddalar miqdori;

ΔW - kimyoviy reaksiyaning amalga oshishi uchun zarur bo'lgan energiya (aktivatsiya energiyasi);

R - universal gaz doimiysi;

T – harorat;

a, b - kimyoviy reaksiya formulasida elementlar oldiga qo'yiladigan koeffitsientlar

Aktivatsiya energiyasi - bu molekulalarning o'rtacha energiyasiga nisbatan ortiqcha energiya bo'lib, molekulalar toqnashganda shu energiya xisobiga kimyoviy reaksiyaga kirishadi.

Suyuqliklarda diffuziya tezligini belgilovchi aktivatsiya energiyasi:

$$\Delta W_{\text{diff.}} = (1 \div 4) \text{ kkal/mol.}$$

Xar xil yemirgichlardagi kimyoviy reaksiyani belgilovchi aktivatsiya energiyasi esa $\Delta W = (10 \div 100) \text{ kkal/mol}$ bo'lishi mumkin.

Agar $\Delta W > \Delta W_{\text{diff.}}$ bo'lsa kimyoviy reaksiya bo'ladi.

Agar $\Delta W < \Delta W_{\text{diff.}}$ bo'lsa diffuziya bo'ladi.

Shlifovka qilingan (jilvirlangan) sirt sayqallangan (polirovka qilingan) sirtga nisbatan kichik aktivatsiya energiyasiga ega.

Aktivatsiya energiyasini sirt notekisliklari, nuqsonlari va atomlarning joylashish zichligi kamaytirib yuboradi.

Xar xil kristall yo'nalishlarida ΔW xar xil bo'lgani uchun yemirilish tezligi kristall yo'nalishiga bog'liq bo'ladi.

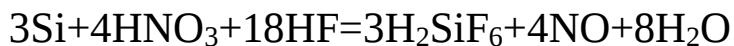
Yemirilish tezligi kristall yo'nalishiga bog'liq bo'ladigan yemirgichlar selektiv yemirgichlar deyiladi va kristall strukturasini o'rganishda, sirt va xajmdagi nuqsonlarni tekshirishda ishlatiladi.

($\Delta W > \Delta W_{\text{diff.}}$ - kimyoviy reaksiya tezligi boshqariladi), temperaturaga kuchli bog'liq.

$\Delta W < \Delta W_{\text{diff}}$ - sayqallovchi yemirish, sirt notekisliklariga va nuqsonlarga bog‘liq emas, temperaturaga kuchsiz bog‘liq. Asosan diffuziya tezligiga ta‘sir qiluvchi faktorlarga, masalan yemirgichni aralashtirib turishga, yemirgich yopishqoqligiga bog‘liq. (Bunday yemirgichlarda diffuziya tezligi boshqarilib turiladi).

Kremniy uchun sayqallovchi yemirgich HF va HNO_3 kirishmasidir. Yemirilish kremniy erishining elektrokimyoviy nazariyasi asosida sodir bo‘ladi.

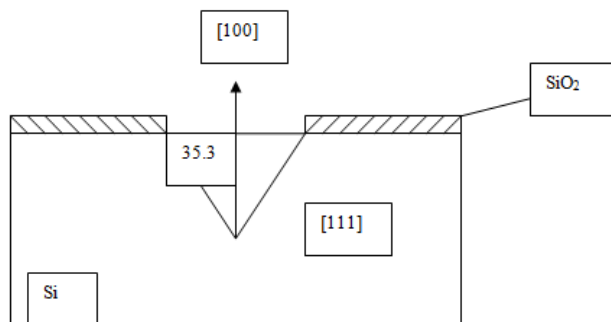
Bu nazariyaga asosan yemirgich bilan qoplangan kremniy sirtida juda ko‘p sondagi mikroelektrodlar - katod va anodlar bo‘ladi. Anod bor soxalarda kremniy oksidlanadi va so‘ngra oksid erib H_2SiF_6 xosil bo‘ladi. Katodli soxalarda esa HNO_3 qayta xosil bo‘ladi:



Kremniyning HF va HNO_3 kirishmasida yemirilish tezligi kimyoviy reagentlarning kremniy sirtiga diffuziyasi tezligi bilan aniqlanadi. Bunda sirt notekisliklari yemirilib, tekislanib boradi. 1-rasmda yemirgich miqdori gradienti katta, shuning uchun yemirilish tezligi katta bo‘ladi. Kimyoviy reagentlar katta diffuziya tezligi bilan yetib keladi.

Kremniy uchun yo‘nalishga bog‘liq bo‘lgan yemirgichlar ishqorlarning suvdagi eritmaları va gidrazin gidrat $(\text{NH}_2)_2\text{H}_2\text{O}$. Bu yemirgichlar uchun aktivatsiya energiyasi: NaOH ning suvdagi 10 %li eritmasi uchun 13 kkal/mol. Gidrazin gidrat uchun: $6 \div 10$ kkal/mol.

Bu yemirgichlarda [100] yo‘nalish [111] yo‘nalishga nisbatan bir necha o‘n marta tezroq yemiriladi. Masalan [100] yo‘nalishli kremniy plastinasini yemirish natijasida V - shakldagi chuqurlik yuzaga keladi. Bu chuqurlik IS tayyorlashda izolyatsiyalangan soxalar xosil qilishda ishlatiladi.



1.4-rasm. Kremniyni yemirish jarayoni

2. EPITAKSIAL O‘STIRISH USULIDAN FOYDALANIB TUZILMALAR OLISH

Epitaksiya usuli 60-yillarning boshidan beri ishlab chiqilgan va tobora takomillashtirilgan qurilmalarni yaratishda yuzaga kelgan ko‘plab qiyinchiliklarni engib o‘tishga imkon berdi. Epitaksiya jarayoni vakuumda, gaz va suyuq fazalarda amalga oshiriladi. Yarimo‘tkazgichli ishlab chiqarishning rivojlanishi ko‘p jihatdan gaz fazasidan kremniy epitaksial qatlamini olish texnologiyasining ishlab chiqilganligi bilan bog‘liq.

Eng keng tarqalgani kremniy xloridlariga vodorod tasir qildirishga asoslangan kremniy epitaksiyasining xlorid usulidir. Istiqbolli usul - bu gidrid usuli bo‘lib, u qatlamning xlor bilan ifloslanishidan xalos bo‘lishga va jarayonning haroratini pasaytirishga imkon beradi. MDP SBISlarni yaratishda eng muhim jarayon dielektrik tagliklarda epitaksial kremniy qatlamlarini o‘stirishdir.

Optoelektronikaning rivojlanishi munosabati bilan $A^{III}B^V$ tipidagi yarimo‘tkazgichli birikmalar uchun epitaksiya usullari keng tarqaldi, uning muhim xususiyati V guruh elementlarining yuqori uchuvchanligi hisoblanadi. $A^{III}B^V$ tipidagi birikmalar uchun gaz fazali epitaksiya bilan bir qatorda suyuq fazadan epitaksiya qo‘llanilgan.

Monokristall epitaksial qatlam o‘sishi jarayonida strukturaviy nuqsonlar ham hosil bo‘ladi - dislokatsiyalar, atomlarning joylashishidagi nuqsonlar va boshqalar, ularning hosil bo‘lishi ko‘p jihatdan texnologik jarayonning o‘ziga xos sharoitlari bilan bog‘liq. Nuqsonlarni aniqlash, shuningdek epitaksial qatlamlarning elektr va geometrik parametrlarini nazorat qilish metallografik usullar, IQ nurlarining interferensiyasi, rentgen mikrotahlili va boshqalar yordamida amalga oshiriladi.

2.1. Epitaksial o‘stirishning asosiy usullari

Yarimo‘tkazgichli qurilmalar va IS ishlab chiqarish uchun ishlatiladigan yarimo‘tkazgich materialiga ko‘pincha qarama-qarshi talablar qoyiladi. Misol uchun, impulsli diodlarning teshilish kuchlanishini oshirish uchun yarimo‘tkazgichli plastinkalarning solishtirma qarshiligini oshirish kerak, bu esa zaryad tashuvchilar tarqalish qarshiligining oshishiga olib keladi va impuls xususiyatlarini va qurilmalarning tezkorligini yomonlashtiradi. Akseptor va donor

kirishmalarning diffuziyasi usuli bilan olingan emitter va baza sohalar plastinka yuzasiga yaqin joylashgan. Yuqori qarshilikka ega kollektor sohasi katta teshilish kuchlanishini ta'minlaydi, ya'ni kollektor p-n - o'tishning yuqori teskari kuchlanishini ta'minlaydi, lekin kollektor hajmida ko'p miqdorda to'plangan zaryad tufayli tranzistorning tezkorligini pasaytiradi va kollektorning katta ketma-ket qarshiligi tufayli tranzistorning quvvatini cheklaydi. Shunga o'xshash muammolar boshqa yarimo'tkazgichli qurilmalar va ayniqsa IS ishlab chiqarishda yuzaga keladi. Ushbu cheklovlar epitaksiya usullarining paydo bo'lishi bilan asosan olib tashlandi, ya'ni kuchli legirlangan yarimo'tkazgichli plastina – taglikda aynan shu yarimo'tkazgichning kuchsiz legirlangan yupqa epitaksial qatlamini o'stirishga imkon berdi, bu qatlam diodlarning baza sohasi, tranzistorlarning kollektor sohasi va boshqalar bo'lib xizmat qiladi.

Epitaksiya atamasi kristallda ay'nan shu yo'nalishdagi kristall o'sishi jarayonini ifodalash uchun kiritilgan. U ikkita yunoncha so'zdan iborat: "epi" - ustida va "taksi" - tartibli joylashish.

Epitaksial qatlam – bu monokristall material bo'lib, monokristall taglik yuzasida o'stirilgan va shu taglikning morfologiyasini (tuzilishini) takrorlaydi.

Epitaksial o'sish jarayonida hosil bo'lgan faza tabiiy ravishda o'tish epitaksial qatlamini shakllantirish orqali mavjud fazaning kristall panjarasini davom ettiradi. O'tish qatlami atom zichligi o'xshash bo'lgan tekisliklar va yo'nalishlar bo'ylab ikkita panjaraning izchil sinteziga yordam beradi; u orqali taglikning kristall tuzilishi haqidagi asosiy ma'lumotlar o'sayotgan qatlamga uzatiladi.

Epitaksiya jarayonlarining uch guruhi ma'lum: *avto-*, *getero-* va *kimyoepitaksiya*

1) *Avtoepitaksiya (yunoncha auto - o'z-o'zidan)* – strukturasi (kristall tuzilishi) bo'yicha taglikga o'xshash, undan faqat kirishma atomlari tarkibi va miqdori bilan farq qiladigan kristall moddaning yo'nalishli o'sishi jarayoni.

2) *Geteroepitaksiya (yunoncha hetero - boshqa)* – tarkibiy jihatdan taglik moddasidan farq qiluvchi moddaning taglik kristall yo'nalishi bo'yicha o'sishi jarayoni.

3) *Xemoentaksiya* – moddaning taglik kristall yo'nalishi bo'yicha o'sishi jarayoni bo'lib, buning natijasida taglik moddasining tashqi muhitdan keladigan modda bilan kimyoviy o'zaro ta'sirida yangi faza hosil bo'ladi. Olingan kimyo-epitaksial qatlam tarkibiga ko'ra, taglik

moddasidan ham, uning yuzasiga tushadigan moddadan ham farq qiladi.

Epitaksiyaning uchta asosiy texnologik usuli mavjud bo'lib, ular o'sayotgan qatlam shakllanishining fizik-kimyoviy hodisalarining tabiati bilan farqlanadi:

1) *molekulyar nur epitaksiyasi* vakuumda molekulyar nurlardan foydalaniladi;

2) *gaz fazali epitaksiya* gaz yoki bug' - gaz kirishmasidagi moddaning kimyoviy o'zaro ta'siridan foydalaniladi, gaz yoki kimyoviy epitaksiya deb ataladi;

3) *suyuq fazali epitaksiya* eritmadan yoki eritmaning suyuqlikdagi to'yingan kirishmasidan qayta kristallanish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Ushbu uchta usulning asosiy xususiyatlarini qisqacha ko'rib chiqamiz.

1. Molekulyar nur epitaksiya. Vakuumda *molekulyar nurlardan epitaksiya* to'g'ridan-to'g'ri moddalarni ko'chirish jarayonidir. Manba moddasi (monokristalli kremniy yoki germaniy) yuqori vakuumda fokuslangan elektron nurlar yordamida intensiv bug'lanib, oraliq o'zaro ta'sirlarsiz taglikga etib boradigan zarrachalar molekulyari oqimini hosil qiladi. Molekulyar o'zaro ta'sir kuchlari ta'sirida taglik yuzasiga yotqizilgan yarim o'tkazgich zarralari taglikning kristalli yo'nalishi bilan belgilanadigan muntazam strukturani hosil qiladi. Epitaksial qatlamning o'sishi sirt bo'ylab sodir bo'ladi va o'sayotgan qatlam taglikning kristall tuzilishiga mos keladi.

Vakuumda molekulyar nurlardan epitaksiyaning bir turi sublimatsiya usuli bo'lib, unda yarimo'tkazgichning, xususan, kremniyning (manba) bug'lanishi elektr toki bilan to'g'ridan-to'g'ri qizdirish orqali amalga oshiriladi. Taglik to'rtburchak kremniy plastinkasidan iborat bo'lgan manbadan bir necha yuz mikrometr masofada joylashgan bo'ladi. Bunday holda manba erimaydi, kremniyning sublimatsiyasi (bug'lanib taglikda kondensatsiyalanishi - sublimatsiyasi) sodir bo'ladi va u taglikda monokristall plyonka hosil qiladi. Olingan qatlam yuqori qarshilikka ega, chunki vakuum kamerasidan begona kirishmalarning kirish ehtimoli kichik, jarayonning mahsuldorligi sanoat ishlab chiqarishi uchun etarli emas.

2. Kimyoviy o'zaro ta'sirlar yordamida gaz fazasida epitaksiya. Kimyoviy o'zaro ta'sir yordamida gaz fazasidan kristallanish jarayonida yarimo'tkazgich atomlari kimyoviy birikmaning tarkibida taglik ustiga keladi, kimyoviy birikma taglik yuzasida dissotsiatsiyalanadi, ya'ni

yarim o'tkazgich atomlari (agar elementar yarim o'tkazgichlar - germaniy va kremniy bo'lsa) yoki molekulalari kimyoviy birikmadan ajraladi. Kimyoviy usullar sanoat ishlab chiqarishida epitaksial qatlamlarni ishlab chiqarishda eng ko'p qo'llaniladi. Ushbu usullar bilvosita (to'g'ridan-to'g'ri bo'lmagan) yarim o'tkazgich atomlarini taglik yuzasiga ko'chirish jarayonlariga taalluqlidir, ularning mohiyati ma'lum kimyoviy reaksiyalar natijasida yarimo'tkazgich materiali hosil bo'ladi.

Gaz fazasidan epitaksial o'sish bo'yicha farazlar orasida ikkitasini ta'kidlash kerak. Birinchisiga ko'ra, yarimo'tkazgich taglik yuzasi tomonidan katalizlangan dissotsiatsiya reaksiyasi natijasida taglik yuzasida hosil bo'ladi. Ikkinchisiga ko'ra, yarimo'tkazgich birikmalarining parchalanishi taglikdan ma'lum masofada sodir bo'ladi. Yarimo'tkazgich atomlari gaz fazada diffuziyalanib taglikka etib boradi.

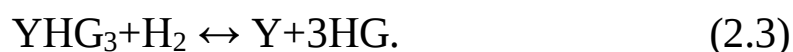
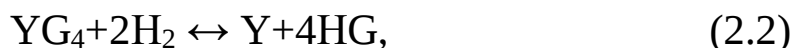
Yarimo'tkazgich atomlarining kimyoviy birikma tarkibidan ajralib chiqishiga olib keladigan kimyoviy reaksiyalarni to'rt guruhga birlashtirish mumkin.

1) Galoid birikmalarning nomutanosiblik reaksiyalari:



bu erda Y - yarimo'tkazgich atomi (germaniy, kremniy); G - galoid atomi (xlor, ftor, brom, yod).

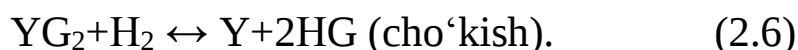
2) Galoid birikmalarini vodorod yordamida qaytarilish reaksiyalari:



3) Piroliz (termik parchalanish) - qizdirilganda kimyoviy birikmalarning parchalanishi:



4) Ikki bosqichda sodir bo'ladigan transport kimyoviy reaksiyalari (transfer reaksiyalari):



Bu reaksiyalarning barchasi qaytuvchi. Reaksiya yo'nalishi va cho'kish tezligi boshlang'ich moddalar konsentratsiyasiga va jarayon rejimiga bog'liq.

3. Suyuq fazadagi epitaksiya. Suyuq fazali epitaksiya usuli

yarimo'tkazgichli material bilan to'yingan eritma yoki eritilgan eritmada monokristalli yarimo'tkazgich qatlamini o'stirishni o'z ichiga oladi. Eritma sovishi bilan eritmaga botirilgan taglik yuzasida yarimo'tkazgich epitaksial kristallanadi. Ko'pgina hollarda, suyuq fazadan kristallanish paytida, suyuq holatda yarim o'tkazgich bilan cheksiz eruvchanlikka ega bo'lgan va evtektikani hosil qiluvchi metall erituvchi sifatida ishlatiladi, masalan, Al-Si yoki Au-Si. Yarimo'tkazgichli birikmalarning suyuq fazali epitaksiyasida erituvchi sifatida birikmaning past haroratda eriydigan komponenti ishlatiladi, masalan GaAs va GaP uchun Ga. Bu kristallanish haroratini pasaytirish va taglik-eritma chegarasidagi harorat farqini kamaytirish imkonini beradi, bu esa o'sayotgan qatlamning tozaligini oshiradi.

Gaz va suyuq epitaksiya usullarini birlashtirgan bug' – suyuqlik – qattiq jism jarayon istiqbolli. Yarimo'tkazgichli taglik (Si) yuzasiga evtektik tarkibning suyuq fazasini (Al-Si yoki Au-Si) hosil qilish uchun yupqa metall qatlami (Al yoki Au) hosil qilinadi, bu esa past epitaksiya haroratidan foydalanishga imkon beradi. Yarimo'tkazgich atomlari gaz fazasidan suyuqlik qatlami orqali o'tib taglik bilan suyuqlik chegarasida taglik yuzasida kristallanadi. Eritma qatlamining qalinligi 1 mkm dan oshmaganligi sababli, epitaksial qatlamning o'sish tezligi Si atomlarining eritmada diffuziyaning vaqtiga deyarli bog'liq emas.

Epitaksiya usuli bilan olingan legirlangan qatlamlar va p-n - o'tishlar elektr xarakteristikalarini qotishmali o'tishlar elektr xarakteristikalariga o'xshaydi.

2.2. Si va Ge epitaksiyasining texnologik xususiyatlari

Germaniy va kremniyning epitaksial qatlamlarini o'stirishning eng keng tarqalgan usullari orasida ularning tetraxloridlarini vodorod bilan tiklash (восстановление) va monosilan SiH_4 va monogerman GeH_4 ning termal parchalanishi asosiy hisoblanadi. Kremniy yoki germaniyni monokristalli qatlamlari qizdirilgan tagliklar ustidan vodorod gaz oqimini, xloridlar yoki gidridlar va kirishma atomlari bug'larini o'tkazish orqali o'stiriladi. Odatda epitaksial o'sish jarayoni quyidagi operatsiyalardan iborat:

- 1) plastinkalarni reaktorga joylash;
- 2) reaktorni inert gaz va vodorod bilan tozalash;
- 3) plastinkalarni qizdirish va gaz bilan yemirib tozalash uchun reagentlarni yuborish;

4) yemirishni to'xtatish va o'sish uchun zarur bo'lgan haroratni o'rnatish;

5) epitaksial qatlamlarni o'stirish va kirishma atomlari bilan legirlash uchun reagentlarni yuborish;

6) reagentlarni yuborishni to'xtatish va qisqa muddatli vodorod yuborish bilan tozalash;

7) qizdirgichni o'chirish, vodorod va inert gaz yuborish bilan tozalash;

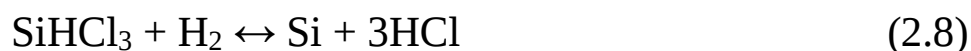
8) reaktordan plastinkalarni chiqarish.

Yarimo'tkazgichli qurilmalar va integral mikrosxemalar ishlab chiqarishda epitaksial jarayonlarning eng katta hajmi kremniy epitaksiyasiga to'g'ri keladi. Eng keng tarqalgan amaliy qo'llash kremniy xloridlarini vodorod bilan tiklash (восстановление) - xloridli epitaksiya usulidir.

1. Kremniy epitaksiyasining xlorid usuli. Uning keng tarqalishi usulning soddaligi va boshlang'ich materiallarning mavjudligi bilan bog'liq. Kremniy tetraxlorid bug'i va vodorod gazi reaktorga yuboriladi, bu erda kremniyni tiklashning asosiy reaksiyasi sodir bo'ladi.



Tetraxlorid o'rniga ba'zan trixlor bilan SiHCl_3 ishlatiladi, kremniyni tiklash quyidagi reaksiyaga asosan sodir bo'ladi:



Vodorod xlorid (HCl) ko'p bo'lsa ikkala reaksiya ham o'ngdan chapga qarab davom etadi, bu strukturaviy nuqsonlarni o'z ichiga olgan kremniyning sirt qatlamlarini, shuningdek, kremniy dioksidi qoldiqlari va ifloslantiruvchi moddalarni olib tashlash uchun tagliklarni gaz bilan ishlov berish uchun ishlatiladi. SiCl_4 ning qaytarilish (Si ni tiklash) jarayoni (2.7) reaksiya bilan tavsiflanganidan ancha murakkab. Oraliq o'zaro ta'sirlar reaksiyalarining paydo bo'lishi ikki jihatdan hisobga olinadi. Birinchi sxemaga ko'ra, qaytarilish (tiklash) kremniy dixloridi SiCl_2 , HCl va H_2 ishtirokidagi reaksiyalar bilan birga keladi. Epitaksial qatlam o'sish reaksiyasi (2.7) kremniyni yemirish reaksiyasi bilan birga keladi:



Ushbu reaksiyaning hissasi vodoroddagi tetraxlorid

konsentratsiyasining ortishi bilan ortadi, bu esa epitaksial qatlamning o'sish tezligini pasayishiga olib keladi. Bunga qo'shimcha ravishda quyidagi reaksiyalar ham bo'ladi:



Hosil bo'lgan kremniyning gidroxlorid birikmalaridan vodorod yordamida toza kremniy tiklanadi. Ikkinchi sxemaga ko'ra, SiCl_4 ning tiklanishi gaz fazasida quyidagi reaksiyalardan biriga ko'ra sodir bo'ladi:



yoki



SiCl_4 qisman tiklangandan so'ng, xloridlar taglikda parchalanib atomik kremniy hosil bo'ladi. SiHCl_3 molekulasi SiCl_4 molekulasiga nisbatan osonroq parchalanishi Si-Cl bog'lanish energiyasiga nisbatan Si-H bog'lanish energiyasi kamroq bo'lgani sababli.

Vodoroddagi kremniy tetraxloridining konsentratsiyasi kam bo'lganda (2.7) reaksiyaga muvofiq o'sish tezligining SiCl_4 konsentratsiyasiga chiziqli bog'liqligi kuzatiladi. SiCl_4 miqdori ortishi bilan o'sish tezligi pasayadi va taglikning emirilishi kuzatiladi - (2.9) reaksiya ustunlik qiladi.

1050 ÷ 1300 °C harorat oralig'ida SiCl_4 konsentratsiyasi 1% dan kam bo'lganida o'sish reaksiyasi (2,7) sodir bo'lishi eksperimental ravishda ko'rsatilgan. Yuqori konsentratsiyalarda (2.7) reaksiya bilan bir vaqtda yemirilish reaksiyasi (2.9) va bug'fazasi reaksiyalari (2.10) ÷ (2.13) sodir bo'ladi. Kremniy o'sishi 1150 ÷ 1250 °C harorat oralig'ida sodir bo'ladi, vodoroddagi tetraxlorid konsentratsiyasi 0,5 ÷ 1% da ushlab turiladi va gaz oqimi tezligi 0,1 ÷ 1 m/s ni tashkil qiladi. Bunday sharoitda qatlamning o'sish tezligi 1 mkm/min ga yaqin. Past haroratlarda va bug'da tetraxloridning yuqori miqdorida kremniyning bo'sh va amorf yoki polikristal qatlamlari hosil bo'ladi. Tagliklar haroratining oshishi va gaz kirishmasidagi tetraxloridning molyar ulushining pasayishi qatlamlarning jipslashuviga va kristallanishiga olib keladi.

2. Kremniy epitaksiyasining gidrid usuli. Xlorid usuli yordamida epitaksiya jarayonini amalga oshirayotganda, tagliklarning harorati taxminan 1200 °C ni tashkil qiladi. Natijada kirishma atomlari ko'p bo'lgan plastinka - taglikdan o'sayotgan epitaksial qatlamga kirishma atomlarining sezilarli diffuziyasi sodir bo'ladi. Ushbu hodisa avtolegirlash deb ataladi. Diffuziyaga qo'shimcha ravishda, avtolegirlash taglikning orqa tomonidan o'sayotgan qatlamga kirishma atomlarining bug'lanib o'tishi tufayli yuzaga kelishi mumkin. Avtolegirlash epitaksial qatlamdagi kirishma atomlari konsentratsiyasini, epitaksiyal qatlam-taglik chegarasida kirishma atomlari taqsimotini va shu bilan epitaksial qatlamda ma'lum bir kirishma atomlari konsentratsiyasiga ega bo'lgan sohaning qalinligini o'zgartiradi.

Taglikdan kirishma atomlarining diffuziyasini cheklash uchun n-kremniy tagliklarida fosfor o'rniga Sb va As kabi past diffuziya koeffitsientiga ega bo'lgan kirishma atomlaridan foydalaniladi.

Kirishma atomlari diffuziyasini cheklashning yana bir imkoniyati diffuziya haroratini pasaytirishdir. Kremniyni epitaksial o'stirish jarayonida taglikni ultrabinafsha nur (UB) bilan nurlantirishini qo'llash orqali haroratni 1000 °C gacha kamaytirish mumkin. UB nurlari bilan nurlantirish gaz fazasidan adsorbsiyalangan kirishma atomlarining taglik yuzasida ko'chib yuruvchi kremniy atomlarining harakatchanligiga ta'sirini kamaytiradi. Asosiysi, avtolegirlashni cheklash muammosi jarayonning haroratini pasaytirishga imkon beruvchi gidridli epitaksiya usuli yordamida hal qilinadi. Gidrid usuli monosilanning pirolizidan iborat, shuning uchun uni ba'zan silan usuli deb ham atashadi. Monosilanning termik parchalanish reaksiya tenglamasi quyidagicha:



Monosilanning termik parchalanishi natijasida ajralgan kremniy haroratni 1000 °C gacha kamaytirish mumkin bo'lgan taglikga yotqiziladi. Bu kirishma atomlarining taglikdan epitaksial qatlamga o'tishishining oldini oladi va qatlam o'sishi jarayonida uning qalinligi bo'ylab kirishma atomlarining bir xil taqsimlanishiga yordam beradi. Monosilanning pirolizida kremniy atomlari cho'kishning optimal harorati 1050 ÷ 1100 °C ni tashkil qiladi. Odatda manba sifatida 4 ÷ 5% monosilan va 95 ÷ 96% He, Ar yoki H₂ dan iborat yuqori tozalikdagi kirishma ishlatiladi. Cho'kish paytida vodoroddagi monosilanning

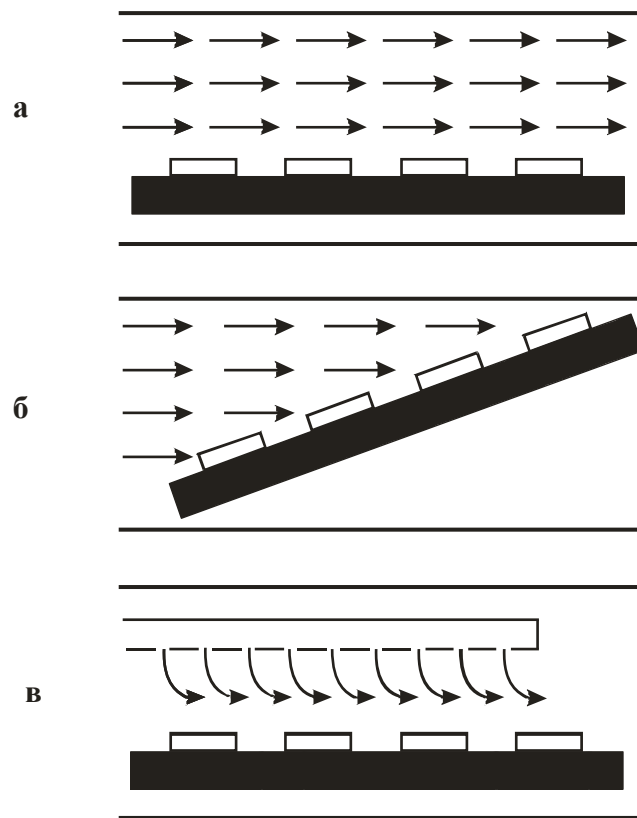
konsentratsiyasi $0,05 \div 0,1\%$ ni tashkil qiladi va gaz oqimi tezligi $30 \div 50$ sm/s ni tashkil qiladi. Bunday sharoitda o'sish tezligi 0,2 dan 2 mkm/min gacha o'zgarishi mumkin.

Monosilan bilan ishlashda ma'lum bir qiyinchilik uning reaktorda o'z-o'zidan qattiq zarrachalar hosil qilib gaz-fazali parchalanish ehtimoli hisoblanadi. Bu gaz fazasida monosilan konsentratsiyasining kamayishiga va epitaksial qatlam o'sish tezligining pasayishiga olib keladi. O'sib borayotgan qatlama qattiq zarralar kirib kristall strukturaning buzilishiga olib kelishi mumkin. 1100°C dan yuqori haroratlarda monosilanning gaz fazali pirolizi ehtimoli ortadi, agar vodoroddagi monosilan konsentratsiyasi $0,12\%$ dan ortiq va gaz oqimi tezligi 20 sm/s dan kam bo'lsa, shuningdek gaz fazasida H_2O va O_2 izlari mavjud bo'lganda.

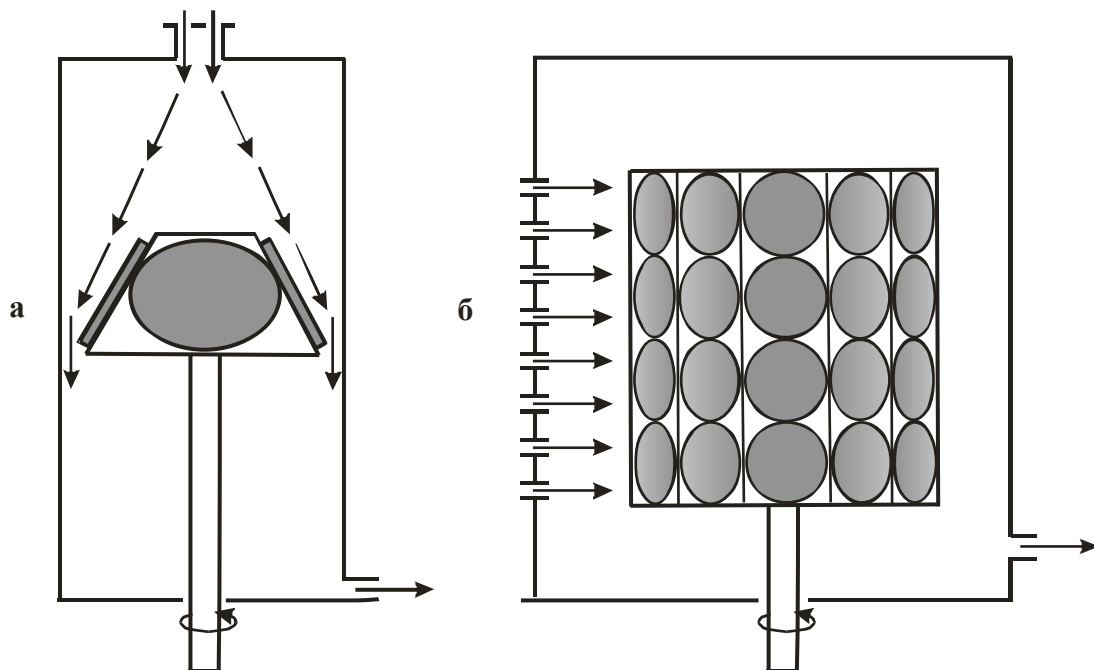
Monosilan piroliz usulining afzalligi jarayonning nisbatan past haroratdaligiga qo'shimcha ravishda, qatlamlarning o'sishi jarayonida xlorli birikmalarning yo'qligi hisoblanadi. Bunday holda, xlorid usuli bilan solishtirganda, avtolegirlashni kamaytirish va epitaksial qatlam – taglik chegarasida kirishma atomlari taqsimotining keskin o'zgarishi profilini olish mumkin. Monosilanning termik parchalanishi paytida kremniy cho'kish tezligi kirishmadagi SiH_4 konsentratsiyasiga chiziqli bog'liq. Harorat 800 dan 1100°C gacha ko'tarilganda o'sish tezligi oshadi va jarayonning faollashuv energiyasi (140 ± 17) kJ/mol ni tashkil qiladi. 1100°C dan yuqori haroratlarda o'sish tezligi haroratga bog'liq bo'lishni to'xtatadi va gaz fazasida reagentlarning massasi o'tishi bilan aniqlanadi.

3. Gorizontal va vertikal reaktorlar. Jarayonning harorati va gaz-dinamik sharoitlari ko'p jihatdan o'sib borayotgan epitaksial qatlamlarning sifatini belgilaydi, shuning uchun epitaksiya uskunalariga yuqori talablar qo'yiladi. Epitaksial o'sish qurilmalari birinchi navbatda reaktorlarning dizaynida farqlanadi, ular ikkita asosiy turga ega: *gorizontal va vertikal*.

Gorizontal reaktor eng oddiy konstruktsiyaga ega (2.1-rasm, a). Bug'-gaz kirishmasining oqimi taglik ushlagichiga parallel ravishda o'tadi va plastinkalar ustida oqishi bilan kamayib borib, epitaksial qatlamlarning qalinligi va qarshiligining o'zgarishiga olib keladi. Yana bir xilda cho'kish uchun ikkita usul qo'llaniladi: taglik ushlagichi gaz oqimining yo'nalishi bo'yicha ma'lum bir burchak ostida o'rnatiladi (2.1-rasm, b) yoki taglik ushlagichining butun uzunligi bo'ylab taqsimlangan gaz kirishi qo'llaniladi (2.1-rasm, b).



2.1 -rasm. Gorizonttal reaktorlarning turlari

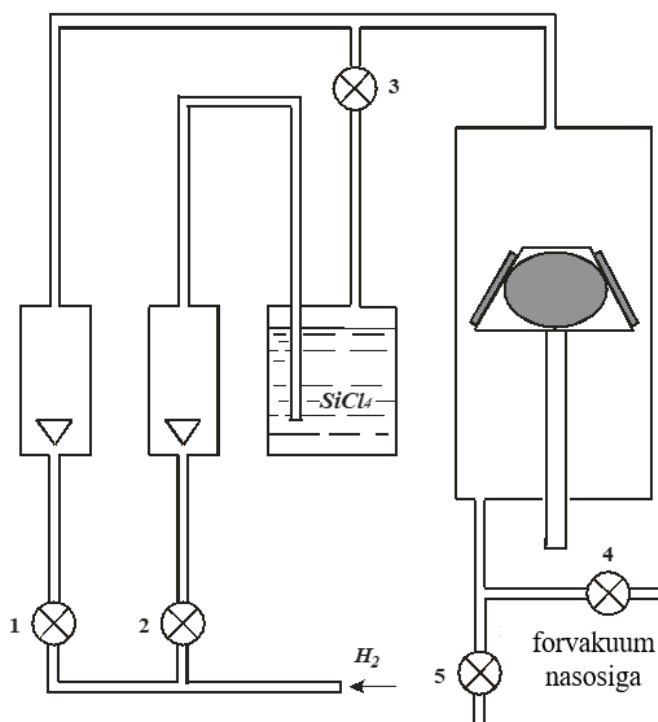


2.2-rasm. Vertikal reaktorlarning turlari

Vertikal reaktorlar reaktor konstruktiviyasining o'q bo'yicha simmetriyasi tufayli gaz kirishmasini isitish va oqim uchun eng yaxshi sharoitlarni ta'minlaydi. Taglik ushlagichining aylanishi termal va gaz-

dinamik maydonlarni tenglashtirishga yordam beradi. 2.2a-rasmda to'rt qirrali taglik ushlagichga ega va vertikal reaktorli qurilmalarning dastlabki konstruksiyalarida qo'llanilgan bug'-gaz kirishmasini vertikal kiritiladigan reaktor ko'rsatilgan.

2.2b-rasmda shchi kirishmani gorizontali kiritadigan yuqori samarali vertikal baraban tipidagi reaktor ko'rsatilgan. To'rt qirrali grafit taglik ushlagichi yuqori chastotali tok induktori yordamida isitiladi, reaktor esa kvarts trubkasidir. Baraban taglik ushlagichi rezistiv elementlar yordamida ichkaridan isitiladi va reaktor zanglamaydigan po'latdan yasalgan, uni ba'zan qolpoq tipidagi reaktor deb ham atashadi.



2.3-rasm. Kremniy epitaksiyal qatlamini o'stirish qurilmasining sxemasi

Kremniy epitaksiyal qatlamini o'stirish qurilmasining sxemasi 2.3-rasmda keltirilgan. Kremniy tetraxlorid yoki epitaksiyal qatlamni akseptor va donor kirishma atomlari bilan legirlash uchun kirishma qo'shimchalarini o'z ichiga olgan, ya'ni:

bor uchw bromid BBr_3 kirishmasi ($\text{SiCl}_4 + \text{BBr}_3$),

yoki fosfor uchxlorid PCl_3 kirishmasi ($\text{SiCl}_4 + \text{PCl}_3$)

bo'lgan idish bug' bosimini ta'minlaydigan tetraxlorid haroratini yuqori aniqlikda saqlaydigan termostatda joylashgan. Odatda bu harorat 0°C atrofida, chunki SiCl_4 juda uchuvchan suyuqlikdir. Tizimga namlik va kisloroddan tozalash uchun tozalangan vodorod yuboriladi. Palladiy yoki platinali tozalash tizimida $400 \div 450^\circ\text{C}$ gacha qizdirilgan Pd yoki

Pt dan tayyorlangan diafragma mavjud. Ushbu diafragma orqali vodorod atomi yuqori tezlikda o'tadi, uning oqim tezligi taxminan $1 \text{ m}^3/\text{soatni}$ tashkil qiladi, boshqa moddalar esa diffuziya koeffitsientlarining kichikligi tufayli diafragma orqali deyarli o'tmaydi. Tozalangandan keyin shudring nuqtasi -70°C ni tashkil qiladi. Vodorod 1-krandan va vodorod sarfini o'lchaydigan rotametrdan o'tadi. 2,3,4 kranlar yopilgan.

Kremniyli tagliklar $1000 \div 1200^\circ\text{C}$ ga qadar qizdiriladi va ularning yuzasi vodorod oqimida tozalanadi. 1-kran yopiladi, 2 va 3-kranlar ochiladi. Vodorod SiCl_4 bo'lgan idish orqali o'tadi va reaktorda elementar kremniygacha qaytariladigan tetraxlorid bug'lari bilan to'yinadi. Reaksiya mahsulotlari (reaksiyaga kirishmagan SiCl_4 , H_2 , HCl va boshqalar) ochiq kran 5 orqali zaharli chiqindilarni ushlash uchun mo'ljallangan skrubberga o'tadi va u yerda vodorod alangasida yondiriladi. Epitaksial qatlam o'stirish qurilmalarida gaz bilan emirish uchun vodorod xlorid epitaksiya jarayonidan oldin kameraga 1-kran orqali kiritiladi. UNES-2P-V epitaksial qatlamlarini o'stirish qurilmasi (ikki kamerali, vertikal reaktorli) keng qo'llaniladi. Ikkala reaktor ham ketma-ket ishlashi mumkin: birinchisiga yuklanayotganda, ikkinchisida epitaksial qatlamni o'stirish jarayoni ketadi.

Epitaksial qatlamlarini o'stirish texnologiyasi, birinchi navbatda, epitaksial qatlamlarning kerakli qalinligi va legirlash darajalari plastinadan plastinagacha $\pm (5-10)\%$ dan yomon bo'lmagan aniqlik bilan erishish muammosini hal qiladi. Epitaksial qatlamlar qalinligining yaxshi takrorlanishiga erishish uchun, birinchi navbatda, o'sish tezligini doimiy saqlash kerak. Buning uchun asosiy moddaning konsentratsiyasi (SiCl_4 , SiH_4) va harorat butun jarayon davomida doimiy darajada saqlanishi kerak. Berilgan qarshilikka ega epitaksial qatlamlarni takrorlash uchun qizdirish bir xil bo'lishi kerak, chunki bug' bosimi va asosiy moddaning va qotishma kirishmalarining dissotsiyanlash darajasining haroratga bog'liqligi har xil.

4. Saffir va shpinelda kremniyning geteroepitaksiyasi. Saffir yuzasida kremniy (KNS - struktura) geteroepitaksial tuzilmalar metall-dielektrik-yarimo'tkazgich o'ta katta integral sxemalar (MDP SBIS)ni ishlab chiqarish uchun keng tarqaldi. KNS tuzilmalari yordamida juda yuqori integratsiya darajasiga erishiladi va elementlarni izolyatsiya qilish qulayligi ta'minlanadi. Buning sababi shundaki, birinchi navbatda saffir taglikda kremniyning epitaksial qatlami o'stirilib, unda IS elementlari yaratiladi, so'ngra elementlar orasidagi joylar saffir izolyatsiyalovchi tagligacha yemiriladi. Eng ko'p qo'llaniladigan

geteroepitaksial tuzilmalar sapfir (Al_2O_3) va shpinel ($\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) tagliklar ustidagi kremniy epitaksial qatlamlari ($\text{Si-Al}_2\text{O}_3$ va $\text{Si-MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$).

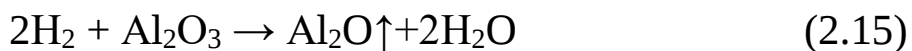
Safir va shpinel tagliklar yuzasida epitaksial kremniy qatlamlarining muvaffaqiyatli o'sishi ko'p jihatdan epitaksial qatlam-taglik chegarasida kristallografik yo'nalishlarga va taglik yuzasining holatiga bog'liq. Kremniy panjara doimiysi 0,543 nm bo'lgan olmos tipidagi kubik panjaraga ega. Safirning tuzilishi ancha murakkab, u romboedrik sinfga tegishli, ammo unga olti burchakli (geksogonal) belgilar berilishi mumkin. Safir panjara parametrlari: $a=0,476$ nm, $c=1,299$ nm. Yarimo'tkazgich-izolyator (oksid) tizimidagi geteroepitaksial o'zaro o'sish kation yoki anion bog'lanish yo'nalishlari bo'ylab sodir bo'ladi va o'sish tekisligidagi retikulyar zichliklar (ya'ni, panjara atomlarining zichligi) yuqori bo'lishi kerak. Bunday holda, panjara parametrlarining mutanosiblik darajasi epitaksiyani tartibga soluvchi asosiy sabab emas. Kremniy - sapfir holatidagi epitaksial mos kelishlar, agar Al_2O_3 panjarasi kengaytirilsa, o'zaro o'sish tekisligidagi kremniy atomlari alyuminiy atomlariga mos keladigan joylarni egallashi bilan izohlanadi. Xuddi shunday, shpineldagi kremniy epitaksiyasida kremniy atomlari magniy pastki panjarasini davom ettiradi, deyiladi. O'sib borayotgan kristallning retikulyar zichligi yuqori bo'lishi kerak, lekin o'sish tekisliklarida safir yoki shpineldagi Al yoki Mg atomlarining zichligidan oshmasligi kerak.

Safirda kremniyning geteroepitaksial o'sishida ko'pincha quyidagi yo'nalish munosabatlari qo'llaniladi: $\text{Si}(100)//\text{Al}_2\text{O}_3$ (1012); $\text{Si}(111)//\text{Al}_2\text{O}_3$ (0001) yoki $\text{Si}(111)//\text{Al}_2\text{O}_3$ (1010).

Epitaksial qatlamlar xlorid yoki gidrid usuli yordamida o'stiriladi. Kremniy tetraxloridni tiklashda tagliklarning harorati $1100 \div 1200$ °C ni tashkil qiladi. Reaksiya gazlari taglik moddasi bilan kimyoviy ta'sirlashishi mumkin, bu qatlamlarning tuzilishi va elektr xususiyatlarining sezilarli darajada yomonlashishiga olib keladi. Monosilanning vodorod yoki geliy bilan kamroq reaktiv kirishmalari $\text{SiCl}_4 + \text{H}_2$ kirishmasidan afzalliklarga ega, shuning uchun geteroepitaksiya ko'pincha gidrid usuli bilan amalga oshiriladi.

Safir tagliklarning yuzasi silliqatlanadi, sayqallanadi va ultratovushli-yuvish bilan tozalanadi. Reaktorda sapfir plastinkasi yuqori chastotali induktor bilan isitiladigan kremniy ushlagichida joylashgan alundli ushlagichga joylashtiriladi. $T = 1200 \div 1500$ °C da sapfir tagliklarini vodorod xlorid bilan gazli yemirish va sayqallash amalga

oshiriladi, bunda sirt begona atomlardan va nuqsonlardan tozalanadi. Keyin tagliklar vodorod oqimida $1200 \div 1300$ °C haroratda $10 \div 20$ daqiqa davomida qizdirish orqali tozalanadi. So‘nggi paytlarda mexanik ishlov berish va kimyoviy tozalash sifatining oshganligi tufayli $1100 \div 1200$ °C da vodorodda yoki monosilanning vodorod bilan juda kuchsiz kirishmasida $10 \div 20$ daqiqa davomida faqat qizdirish qo‘llaniladi.



Sapfirning vodorodda yemirilish tezligi 1200 °C da taxminan $0,003$ mkm/min va 1650 °C da $0,3$ mkm/min. Buzilgan qatlamni olib tashlash uchun taxminan 3 mikron yemiriladi. Geteroepitaksial qatlam o‘stirish usullari odatda kremniyning avtoepitaksial qatlam o‘stirish usullaridan farq qiladi. Taglik atomlari tomonidan qatlamlarning avtolegirlanish darajasini pasaytirish uchun pastroq haroratda va yuqori tezlikda o‘stirish qo‘llaniladi. Gidrid usuli yordamida getero-epitaksial o‘sish uchun optimal haroratlar $1000 \div 1100$ °C ni tashkil qiladi. O‘sish tezligi $0,3 \div 10$ mkm/min, epitaksial qatlamlarning qalinligi esa odatda $0,5 \div 2$ mkm.

$\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$ qattiq qorishmasidan geteroepitaksial kremniy qatlamlarini o‘stirish uchun taglik materiali sifatida foydalanish sapfirdan foydalanishga nisbatan ba‘zi afzalliklarga ega. Shpinel ($\text{MgO-Al}_2\text{O}_3$) va kremniyning kristall panjaralari va termik kengayish koeffitsientlari sapfir va kremniynikiga qaraganda yaxshiroq mos keladi. Shpinellar $\text{MgO:Al}_2\text{O}_3$ ning $1:1$ dan $1:3,5$ gacha bo‘lgan nisbatdagi komponentlari ishlatiladi. Kremniy shpinelning (100), (110), (111) tekisliklarida kristallanganda, kremniy epitaksial qatlamlari mos ravishda (100), (110), (111) parallel yo‘nalishga ega bo‘ladi. O‘sishdan oldin tagliklar vodorodda 1200 °C da qizdiriladi. Kremniy monosilanning vodorod bilan kirishmasidan 1100 °C da taglikka o‘tiradi. Shpinel tagliklardan foydalanganda kremniyning avtolegirlanish darajasi sapfir tagliklarga qaraganda ancha past. Epitaksial qatlamlardagi asosiy strukturaviy nuqsonlar o‘sish jarayonida atomning tugundan siljishi natijasida yuzaga keladigan nuqsonlardir.

Monokristalli oksid tagliklar kremniyga qaraganda pastroq simmetriyaga ega. Bunday tagliklarda bir nechta ekvivalent epitaksial yo‘nalishlar va har xil turdagi strukturaviy nuqsonlar paydo bo‘lishi mumkin. Geteroepitaksial qatlamlar strukturasi avtoepitaksial

qatlamlarga nisbatan yomonlashishi quyidagi omillar taʼsirida sodir boʻladi: epitaksial qatlam va taglikning kristall panjaralari turlari oʻrtasidagi nomuvofiqlik, taglik va gaz kirishmalari oʻrtasidagi oʻzaro taʼsir, epitaksial qatlamning taglik atomlari bilan oʻz-oʻzidan legirlanishi (avtolegirlash), taglik va epitaksial qatlamning harorat kengayish koeffitsientlaridagi farqlar. Sappirdagi kremniyning geteroepitaksial qatlamlarida dislokatsiyalar mavjud boʻlib, ularning zichligi $2 \cdot 10^8 \text{ sm}^{-2}$ ga etadi. Al atomlarining taglikdan epitaksial qatlamga oʻtishi natijasida p-tipidagi elektr oʻtkazuvchanligiga ega boʻlgan soha hosil boʻladi. Oʻsayotgan qatlamning Al atomlari bilan legirlanish darajasi qatlamning oʻsish haroratiga bogʻliq. Qatlamdagi akseptorlarning kontsentratsiyasi 1050°C da minimaldir. Kuchsiz legirlangan qatlamlarda kirishma atomlari kontsentratsiyasi va zaryad tashuvchilarning harakatchanligi qatlam qalinligiga bogʻliq: 10^{16} sm^{-3} akseptor konsentratsiyasi uchun teshiklarning harakatchanligi qatlam qalinligini 0,2 dan 2 mkm gacha oshirilganda 70 dan $120 \text{ sm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ gacha oshadi, qalinligi 6 mkm boʻlganda esa hajmiy kristallardagi kabi $330 \text{ sm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ ga etadi. Shpineldagi epitaksial qatlamlardagi zaryad tashuvchilarning harakatchanligi yanada mukammal tuzilish tufayli KNS (KHC) tuzilmalariga qaraganda yuqori. Quymalardagi harakatchanlikka nisbatan yupqa qatlamlardagi zaryad tashuvchilarning harakatchanligining sezilarli darajada kamayishi nafaqat strukturaviy nuqsonlar, balki Al-O-Si va SiO_4 komplekslarda ham sochilish bilan bogʻliq. Geteroepitaksial qatlamlardagi bu nuqsonlarning zichligi taglik-epitaksial qatlam chegarasida sezilarli darajada oshadi. Ushbu kamchiliklar mavjudligiga qaramasdan, bir qator hollarda yupqa qatlamlarda $225 \text{ sm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$ teshik harakatchanligini olish mumkin, bu epitaksial qatlam kristall strukturasi mukammalligini koʻrsatadi. KNS tuzilmalarida n- va p tipidagi elektr oʻtkazuvchanligi va solishtirma qarshiligi $0,1 \div 20 \text{ Om} \cdot \text{sm}$ boʻlgan epitaksial qatlamlar olinadi. MOYa (МОП) KNS IS larini ishlab chiqarish uchun (100) yoʻnalishi va qalinligi $0,5 \div 1 \text{ mkm}$ boʻlgan geteroepitaksial kremniy qatlamlari qoʻllaniladi.

5. Germaniy epitaksiyasi. Germaniy epitaksiyasiga qiziqish past haroratlarda kremniy chiplariga qaraganda samaraliroq ishlaydigan germaniy past shovqinli mikrotoʻlqinli tranzistorlar va IS larni yaratish imkoniyati tufayli yuzaga keladi. Germaniy epitaksial qatlamlarini oʻstirish uchun xlorid usuli eng rivojlangan va oʻrganilgan. Epitaksial qatlamlarni oʻstirish $T = 800^\circ\text{C}$ da amalga oshiriladi va germaniy

to'rtxlorid konsentratsiyasi taxminan 0,2% ni tashkil qiladi. Kirishmaning oqim tezligining optimal qiymati uni etkazib berish usuliga, reaktorning tuzilishiga bog'liq va odatda 20 sm/s dan oshmaydi. 600 °C dan past haroratlarda va to'rtxloridning yuqori konsentratsiyasida epitaksial qatlamlar xarakterli o'sish ko'rsatkichlari bilan silliq bo'lmagan sirtga ega bo'ladi. 800 °C da o'sish tezligi 0,5 mkm/min.

Vodorod atmosferasida monogerman GeH_4 ning pirolizidan foydalangan holda gidrid usuli bilan germaniy epitaksial qatlamlarini o'stirishda optimal harorat 700 °C ga yaqin, monogerman konsentratsiyasi 0,1-0,2% ni tashkil qiladi. O'sish tezligi 800 °C gacha ortadi va keyin gaz fazasida monogermanning parchalanishi tufayli bir oz pasayadi. GeH_4 ning gaz fazali parchalanishini oldini olish uchun yuqori gaz oqimi tezligi qo'llaniladi. Epitaksial qatlamlarni o'stirish uchun xlorid usuli gidrid usulidan ko'ra ko'proq qo'llaniladi. Eng yaxshi sifatli qatlamlar xlorid usuli yordamida olingan. Sanoat ancha toza germaniy to'rtxloridini ishlab chiqaradi, bu esa 15 Om·sm dan ortiq qarshilikka ega epitaksial qatlamlarni olish imkonini beradi.

Keling, ampula yoki yopiq naychadagi nomutanosiblik reaksiyasiga asoslangan kamroq qo'llaniladigan usulni ham ko'rib chiqaylik. Naychada germaniy tetraiodid GeI_4 mavjud. Manba hududida harorat 550-700 °C. Bu erda tetraiodid germaniy plastinkasi - moddaning manbai - bilan reaksiyaga kirishadi va diiodidga aylanadi: $\text{GeI}_4 + \text{Ge} \rightarrow 2\text{GeI}_2$. Diiodid germaniy tagliklari joylashtirilgan ikkinchi zonaga tarqaladi. Bu yerdagi harorat 300-400 °C. Bunday haroratlarda diiodid mavjud emas va nomutanosiblik (mos kelmaslik) reaksiyasi yuzaga keladi:



Germaniy tagliklarga yotqiziladi va tetraiodid bug'i manba zonasiga tarqaladi va sikl takrorlanadi.

6. Epitaksial tuzilmalarni legirlash. Berilgan qarshilikka ega epitaksial qatlamlarni olish uchun qattiq fazaga qat'iy belgilangan miqdordagi kirishmani kiritish kerak. Epitaksiya jarayonida kirishmalarni kiritish uchun III va V guruh elementlarining uchuvchi birikmalari qo'llaniladi. Ulardan eng mos keladigani galogenidlar, ko'pincha xloridlar va mos keladigan elementlarning gidridlari bo'lib, ularning molekulalarida asosiy qotishma elementning atomlariga

qo‘shimcha ravishda faqat xlor yoki vodorod mavjud. Bunday moddalar galogenidlar (PCl_3 , AsCl_3 , SbCl_3 , SbCl_5 , BCl_3 , BBr_3) va gidridlar (PH_3 - fosfin, AsH_3 - arsin, B_2H_6 - diboran, SbH_3 - stibin). Galogenidlar va gidridlar ishtirokidagi legirlash reaksiyalarini umumiy shaklda yozish mumkin:

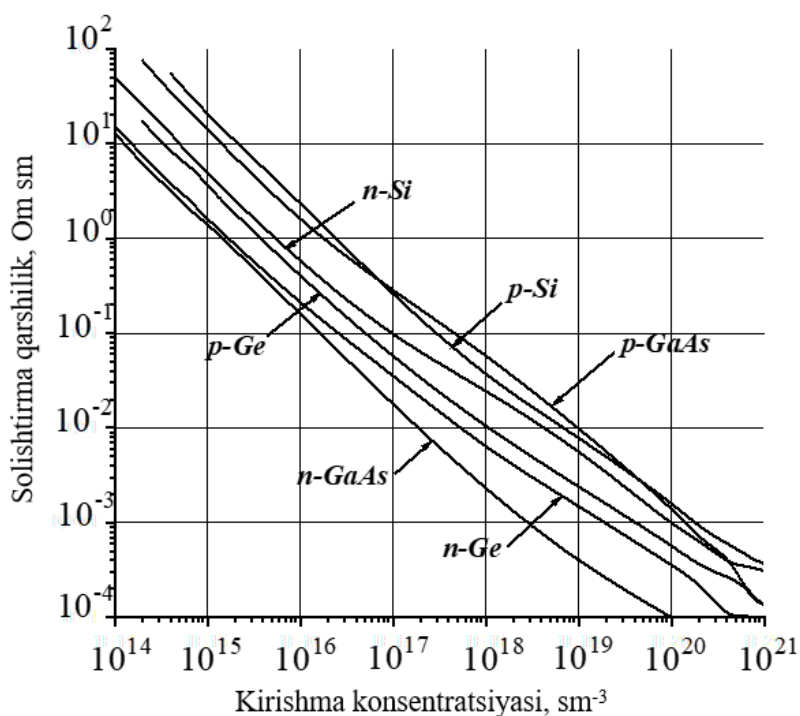


Kremniy donor kirishmalari bilan qo‘shilganda, bu reaksiyalarning muvozanati o‘ngga katta siljiydi.

Epitaksial qatlamlarni legirlashning quyidagi asosiy usullari ajralib turadi: gaz kirishmalari, suyuq qotishmalar va gazni chiqarish. Gaz kirishmasi usulida kirishma manbai gidrid miqdori 10^{-2} - $10^{-4}\%$ bo‘lgan qotishma elementning uchuvchi gidridi bilan inert gazning suyultirilgan kirishmasidir. Usul o‘sib borayotgan qatlamlarni kuchsiz legirlashga imkon beradi. 0,01% AsH_3 argon bilan yoki 0,01% B_2H_6 argonli gaz kirishmalari kameraga kiradigan vodorod oqimiga kiritiladi, bu kirishmaning konsentratsiyasini qo‘shimcha suyultirish va qatlamdagi konsentratsiya darajasini yaxshi nazorat qilishni ta‘minlaydi.

Suyuq qotishma usulida bu kirishmaning suyuq birikmasining suyuq birikmadagi suyultirilgan eritmasi - cho‘ktirilgan yarimo‘tkazgich materialining manbai, ko‘pincha SiCl_4 yoki GeCl_4 - legirlash kirishmalari manbai sifatida. Epitaksial tuzilmalarni ishlab chiqarishning asosiy hajmi 0,1-10 Om·sm qarshilikka ega bo‘lgan kremniy qatlamlaridan iborat bo‘lib, u kremniydagi fosforning 10^{-6} - 10^{-8} atom ulushiga to‘g‘ri keladi, bu suyuq legirlash bilan osongina ta‘minlanadi. Bu usul bug‘latgich orqali tashuvchi gaz oqimining tezligidan qat’iy nazar, suyuqlik va gaz fazalarida kirishma va asosiy moddaning ma’lum konsentratsiyasi nisbatini o‘rnatishi bilan qulaydir. Odatda, kerakli kirishma konsentratsiyasi kichik, shuning uchun suyuq qotishma usuli bir nechta suyultirishni qo‘llaydi, buning natijasida 10^{-9} - 10^{-2} nisbiy kirishma tarkibiga ega bo‘lgan eritmalar olinadi, bu esa 10^{14} - 10^{19} sm^{-3} legirlash darajasini ta‘minlaydi.

2.4-rasmda n- va p-tipi elektr o‘tkazuvchanligiga ega kremniy, germaniy va arsenid galliy monokristallari solishtirma qarshiliklarining kirishma atomlari konsentratsiyasiga bog‘liqliklari ko‘rsatilgan.



2.4-rasm. Si, Ge va GaAs solishtirma qarshiligining kirishma atomlari konsentratsiyasiga bogʻliqligi

Bu egri chiziqlar epitaksial qatlamlar uchun ham amal qiladi. Berilgan qarshilikka ega boʻlgan qatlamni olish uchun zarur boʻlgan suyuqlik fazasida kirishma konsentratsiyasini aniq hisoblash qiyin, shuning uchun amalda empirik munosabatlar qoʻllaniladi. Masalan, PCl_3 eritmasidan legirlash paytida kremniy tetraxloridda

$$C_D = 2.6 \cdot 10^{20} p_{\text{PCl}_3} / p_{\text{SiCl}_4} \text{ cm}^{-3} \quad (2.21)$$

bu erda $p_{\text{PCl}_3} / p_{\text{SiCl}_4}$ fosfor va kremniy xloridlarning partsial bugʻ bosimlarining nisbati. Shu bilan birga, tetraxloriddagi kirishmalar konsentratsiyasining oʻzgarishini hisobga olish kerak, chunki uning isteʼmoli tufayli bugʻ bosimida qisman farqlar yuzaga keladi.

Oʻsish davrida epitaksial qatlamdagi kirishma konsentratsiyasini nazorat qilishning istiqbolli usuli - bu elektr uchqunli legirlash yoki gazli razryadlash usuli. Bunda qattiq moddalardan elektrodlar tayyorlanadi va reaktorga joylashtiriladi. Elektrodlar oʻrtasida uchqun chiqishi hosil boʻladi, uning davomida elektrodlar changlanadi. Olingan qotishma moddaning zarralari gaz kirishmasi yoki vodorod oqimi bilan taglikga oʻtkaziladi. Antimon qotishma $\text{Sb}+0,1\%\text{P}$ yoki $\text{Sb}+1\%\text{As}$, shuningdek, GaP, GaAs yoki InSb elektrod materiallari sifatida n-

tipidagi elektr o'tkazuvchanlikka ega kremniy qatlamlarini olish uchun ishlatiladi. Gaz uchqunli razryadda changlanganda, bu moddalar parchalanadi va P, As va Sb elektrodlar orasidan oqadigan vodorod bilan birlashib, gidridlarni hosil qiladi. Taglik hududida gidridlar parchalanadi va kirishmalar o'sib borayotgan kremniy qatlamiga kiradi. Galliy gidridlarni hosil qilmaydi va kameradan vodorod oqimi bilan birga olib tashlanadi. p-tipidagi elektr o'tkazuvchanlikka ega epitaksial qatlamlarni olish uchun lantan borid LaB_6 , alyuminiy boridi AlB_{12} va bor karbid B_4C dan tayyorlangan elektrodlar qo'llaniladi. Bunda bor vodorod bilan diboran hosil qiladi. Gaz fazasiga kiritilgan kirishmalar kontsentratsiyasi uchqun chiqarish chastotasini sozlash orqali o'zgartiriladi.

7. Suyuq fazadan epitaksiyaning qonuniyatlari. $A^{III}B^V$ tipdagi yarimo'tkazgich birikmalarining qatlamlarini yotqizish uchun suyuq fazali epitaksiya usuli ba'zi hollarda eng samarali hisoblanadi. U azot bilan qo'shilgan galliy fosfidi asosidagi yorug'lik chiqaradigan qurilmalarning konstruksiyalarini olishda qo'llaniladi, chunki u gaz fazali usullarga nisbatan yuqori lyuminestsentlik samaradorligini olish imkonini beradi.

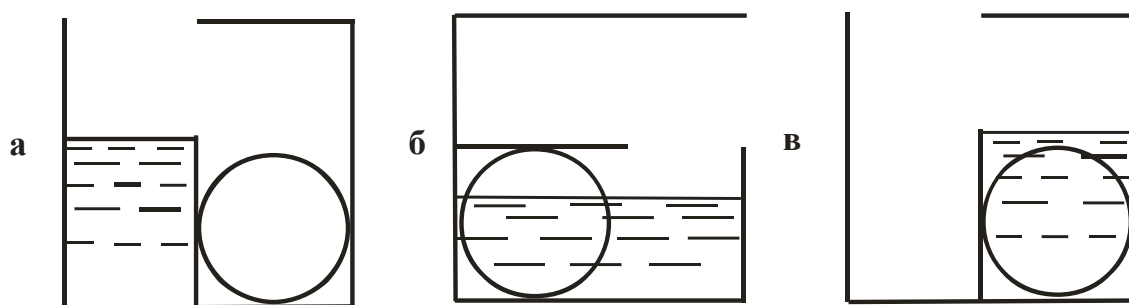
Suyuq fazali epitaksiya - bu materialning eritilgan metallardagi eritmalaridan yarimo'tkazgich materialining monokristalli qatlamining yo'naltirilgan kristallanishi. Keling, yarimo'tkazgich material bilan to'yingan eritma eritmasini olamiz. Xuddi shu yarimo'tkazgich materialdan tayyorlangan taglik eritmaga botiriladi. Keyingi sovutish jarayonida eritma eritmasining taglikda yarimo'tkazgich moddasi bilan o'ta to'yinganligi tufayli epitaksial qatlamning kristallanishi sodir bo'ladi.

Uskuna tuzilishiga ko'ra, suyuq fazali epitaksiyaning barcha texnologik variantlari ochiq va yopiqqa bo'linadi. Yopiqqlar yopiq ampulada, ochiq - inert gaz oqimida yoki qaytaruvchi muhitda amalga oshiriladi. Ochiq jarayonlar eng ko'p qo'llaniladi. Toyingan eritma hosil qilishning asosiy usuli eritmani majburiy sovutishdir.

Suyuq fazada epitaksiya jarayonini o'tkazish uchun ko'pgina qurilmalarning asosi kassetani egib, eritma quyiladi va taglikdan chiqariladi (2.5-rasm). Dastlabki holatda, kassetaning yarmida eritma ikkinchi yarmida - taglik (2.5-rasm, a). Kerakli o'sish haroratiga erishgandan so'ng, kasseta ikki marta aylantiriladi (2.5-rasm, b, v) va eritma taglikni qoplaydi.

Kerakli sovutish tezligini olish uchun pechning isitish quvvati

sozlanadi. Sekin sovutish jarayonida birikmaning o'sishi sodir bo'ladi.



2.5-rasm. Aylanadigan kasseta: a - boshlang'ich holati;
b – eritmani quyish; B - ish holati

Eritmaning tarkibi shunday tanlanadiki, taglik bilan aloqa qilishdan oldin u muvozanat yoki muvozanatga yaqin bo'ladi. Ikkinchi holda, tagliklar bilan aloqa qilganda, ularning qisman erishi sodir bo'ladi, buning natijasida sirt nuqsonlari yo'q qilinadi va pechning keyingi sovishi bilan taglikning yanada mukammal yuzasida epitaksial qayta kristallanish sodir bo'ladi. Epitaksial qatlamning qalinligi eritma sovutilgan harorat oralig'ini va sovutish tezligini o'zgartirish orqali o'rnatiladi. Eritma, ma'lum bir diapazonda harorat o'zgarmaguncha tagliklar bilan aloqa qiladi, shundan so'ng kaseta o'zining dastlabki holatiga qaytadi (2.5 a-rasm) va eritma plastinalardan oqib chiqadi. Epitaksial qatlam yuzasiga yopishgan eritmaning (galliy) qoldiqlari yemirish orqali tozalanadi.

Ushbu usul yordamida ikkita qatlam o'stirilishi mumkin: birinchi navbatda, oltingugurt yoki tellur bilan legirlangan n-tipli elektr o'tkazuvchanligi, so'ngra ruxli eritmada p-tipli elektr o'tkazuvchanligi bo'lgan qatlam. Ushbu usulning ikkita turi qo'llaniladi: eritmada ortiqcha kompensatsiyalash va bug 'fazasidan legirlash. Birinchi holda, qalinligi 15-20 mkm bo'lgan n-qatlamni o'stirgandan so'ng, eritma hali ham taglikni qoplaganida va o'sish jarayoni davom etsa, donor kirishma tarkibini ortiqcha kompensatsiya qilish uchun eritmaga akseptor kirishma qo'shiladi. Bu usul p-qatlamining n-qatlamda uzluksiz o'sishiga imkon beradi. Ikkinchi holda, taglikni qoplaydigan eritma qatlami juda yupqa tanlanadi. Legirlash qatlamning uzluksiz o'sishi jarayonida reaktorga sink bug'i yoki vodorod sulfidini kiritish orqali amalga oshiriladi. Oltingugurt va rux eritmada tarqaladi va o'sayotgan birikma tomonidan ushlanadi. Ushbu ikki usul p-n - o'tishni o'sishi deb ataladi, ya'ni taglikni harakatlantirmasdan. Ularning afzalliklari

shundaki, p-n - o'tish chegarasi atmosfera bilan aloqa qilmaydi, sirtni oraliq tozalash talab qilinmaydi va p-n - o'tish mukammal darajada o'sadi.

Ba'zi hollarda eritma bilan qozg'almas kasseta ishlatiladi va tagliklar ushlagichlarga o'rnatiladi va eritmaga botiriladi, kerakli vaqtdan keyin ularni olib tashlaydi. Ular, shuningdek, eritma uchun bir nechta yacheykali ko'rinishidagi kassetalardan foydalanadilar, ular ostida tagliklar bilan qo'shimchalar harakatlanadi. Natijalarning takrorlanishini yaxshilash va jarayonni yaxshiroq nazorat qilish uchun elektr toki bilan boshqariladigan suyuq fazali epitaksiya usuli ishlab chiqilgan. Taglik, masalan, GaP bilan bir xil manba plastinkasi o'rtasida eritma mavjud. Manba odatda katod bo'lib xizmat qiladi. Elektr toki yoqilganda, suyuqlik fazasining parametrlari va o'sish tezligi statsionar qiymatni oladi. Kristallanishning asosiy sababi galliy va fosfor ionlarining eritma orqali taglikga elektr uzatishidir. Elektr bilan boshqariladigan suyuq fazali epitaksiyaning afzalligi shundaki, qatlamning o'rtacha o'sish tezligi tok zichligiga bog'liq. Bu qatlam qalinligini oddiy va aniq nazorat qilish imkonini beradi va izotermik o'sish sharoitlari fizik xususiyatlari bo'yicha bir xil bo'lgan epitaksial qatlamlarni olish imkonini beradi.

2.3 Epitaksial tuzilmalardagi nuqsonlar

1. Epitaksial qatlamlarda dislokatsiyalarning shakllanishi. Epitaksial o'sish jarayonida taglikning morfologiyasi epitaksial qatlamda takrorlanadi, shuning uchun dastlabki yarimo'tkazgich plastinkasida mavjud bo'lgan dislokatsiyalar epitaksial qatlamga o'sadi. Epitaksial qatlamdagi dislokatsiya zichligi odatda taglikdagi dislokatsiya zichligidan oshib ketadi. Buning sababi shundaki, taglik-epitaksial qatlam chegarasi yaqinidagi hudud o'sayotgan qatlamning mukammalligiga ta'sir qiluvchi va dislokatsiya shakllanishining manbai bo'lib xizmat qiladigan kirishmalar, ifloslantiruvchi moddalar va sirt nuqsonlari mavjudligi bilan tavsiflanadi. Dislokatsiya zichligi epitaksial qatlam yuzasidan qatlam va taglik orasidagi chegara yo'nalishda ortadi. Chegara dislokatsiya zichligiga ega va unda xloridlar kabi begona qo'shimchalar kuzatiladi. Dislokatsiya zichligi yuqori bo'lgan nomukammal oraliq hududning shakllanishi taglik yuzasining holatiga bog'liq. Dislokatsiya zichligi past bo'lgan qatlamlarni olish uchun ehtiyotkorlik bilan mexanik ishlov berish, plastinkalarning sirtini

tozalash va suyuqlik yoki gaz bilan kimyoviy ishlov berish kerak.

Agar dislokatsiyasiz tagliklar o'sish uchun ishlatilsa va ularning yuzasi ehtiyotkorlik bilan qayta ishlansa va tozalansa, unda dislokatsiyalar hosil bo'lishi strukturalarga issiqlik bilan ishlov berishning turli bosqichlarida yuzaga keladigan termal va mexanik kuchlanishlarning ta'siri natijasida yuzaga kelishi mumkin. Mexanik kuchlanishlar taglik va o'sayotgan qatlamdagi kirishma miqdorida sezilarli farq bo'lganda paydo bo'ladi. Kremniyga kovalent radiuslari kremniy atomlaridan kichikroq bo'lgan bor yoki fosfor atomlari kiritilganda, panjara parametri kamayadi. Katta kovalent radiusli surma atomlarini kiritishda teskari ta'sir kuzatiladi. Epitaksial qatlamni o'stirish jarayonida taglik va qatlamning panjara parametrlaridagi farqlar tufayli mexanik kuchlanishlar paydo bo'ladi va struktura egiladi. Epitaksial qatlamning qalinligi oshishi bilan egilish ma'lum bir kritik qiymatga oshadi, shundan so'ng chegarada dislokatsiyalar hosil bo'ladi. Chegaradagi dislokatsiyasining shakllanishini epitaksial qatlamni ikki xil kirishma bilan legirlash orqali yo'q qilinadi. Ulardan birining kovalent radiusi kremniynikidan kattaroq, ikkinchisidiki esa kremniynikidan kichikroq. Bunda epitaksial qatlamning panjara konstantasini taglikning panjara konstantasiga yaqinlashtirish mumkin. Panjaradagi mexanik kuchlanish kompensatsiyasi legirlovchi kirishmalar sifatida bor yoki fosfor va kompensatsiyalovchi kirishmalar sifatida germaniy yoki qalay yordamida amalga oshiriladi. Surma bilan legirlash bo'lsa, uglerod kompensatsiya uchun ishlatilishi mumkin va legirlovchi kirishmalarning konsentratsiyasini strukturaga zarar bermasdan 10^{19} - 10^{20} sm⁻³ ga yetishi mumkin.

Kristalga mexanik kuchlanishlar ta'sir ettirilsa, agar hosil bo'lgan kuch dislokatsiya chizig'iga perpendikulyar bo'lsa, dislokatsiya sirpanishi sodir bo'ladi. Dislokatsiyalar o'rtasidagi o'zaro ta'sir kristallga tashqaridan tasir etayotgan mexanik kuchlanishlarning ta'sirini kamaytiradi va kristallni mustahkamlaydi. Kristalda joylashgan kirishma atomlari dislokatsiyalarga tortiladi va ular atrofida to'planishga moyil bo'lib, Kottrell atmosferasini hosil qiladi, bu esa legirlangan kirishmalarning taqsimlanishida mikro notekislikka olib keladi. Agar kirishmalarning atom radiusi kristall atomlarinikidan katta bo'lsa, u holda qirrali dislokatsiya yaqinidagi mexanik kuchlanish mintaqasiga tushib, elastik deformatsiyaning pasayishi tufayli kristalning erkin energiyasini kamaytiradi. Xuddi shu narsa siqilish hududidagi radiusi kichikroq atomlar uchun ham amal qiladi. Yuqori

haroratlarda Kottrell atmosferasi tarqab ketadi va pastroq haroratlarda u yana hosil bo‘ladi.

Vakansiyalar va tugunlararo atomlar chekka dislokatsiyalarga tortiladi. Natijada, nuqtaviy nuqsonlar dislokatsiyaga qarab harakat qiladi va u yerda annigilyatsiya qiladi (yo‘qoladi) va dislokatsiya o‘qi bir sirpanish tekisligidan ikkinchisiga o‘tadi. Vakansiya ortiqcha yarim tekislikdan hosil bo‘lgan zinaga yaqinlashganda, zina bir tekisliklararo masofaga siljiydi va vakansiya yo‘qoladi. Tugunlararo atomlar yutilganda, zina teskari yo‘nalishda siljiydi. Shuning uchun dislokatsiya chizig‘i nuqtaviy nuqsonlar uchun yutuvchi soha hisoblanadi. Shuningdek, u muvozanat atom nuqsonlarini yaratishning asosiy manbai bo‘lib xizmat qiladi.

Dislokatsiya chizig‘iga yaqin joylashgan atomlar kristalning buzilmagan qismiga nisbatan yuqori kimyoviy potentsialga ega, shuning uchun kristalning erishi va bug‘lanishi dislokatsiya chiziqlaridan boshlanadi.

2. Joylashish nuqsonlari. Monokristalli epitaksial qatlamning o‘sishi kristallanish markazlarining paydo bo‘lishi, atomlarning bu markazlarga birikishi, yon tomonlarga o‘sishi va alohida yassi shakllanishlarning bir butunga birikishidan iborat. Agar bironta atom o‘z qatlamidan chiqib ketsa, u joylashish nuqsonining rivojlanishi uchun boshlang‘ich nuqta bo‘lib xizmat qiladi, chunki keyingi o‘sish jarayonida atrofdagi atomlar ham butun hajmning monoatom qatlamlariga nisbatan siljiydi. Epitaksial qatlam yuzasidagi joylashish nuqsonlari teng tomonli yoki teng yonli uchburchaklar, kvadratlar, to‘g‘ri chiziqlar, ochiq uchburchaklar va kvadratlar ko‘rinishidagi yassi shakllarni hosil qiladi. Ba‘zan murakkab shakllar hosil bo‘ladi: uchburchaklar va chiziqlar, kvadratlar va chiziqlar kombinatsiyasi. Har bir chiziq oxirida dislokatsiya mavjud. Joylashish nuqsonlarining shakli epitaksial qatlamning kristallografik yo‘nalishiga bog‘liq. (111) tekislikga ega bo‘lgan tagliklarda o‘stirilgan qatlamlarda joylashish nuqsonlari teng qirrali uchburchaklar va alohida burchaklar shaklida paydo bo‘ladi. Teng yonli uchburchaklar (110) orientatsiyaga ega qatlamlarda, kvadratchalar va ularning kombinatsiyalari esa (100) tekislikda paydo bo‘ladi.

3. Sirpanish chiziqlari. Sirpanish chiziqlarining paydo bo‘lishining sababi plastinkaning qalinligi va maydoni bo‘ylab bir xil bo‘lmagan harorat taqsimoti tufayli yuzaga keladigan termik elastik kuchlanishlardir. Epitaksial qatlam o‘sish haroratida yuzaga keladigan

elastik kuchlanishlar dislokatsiyalarning paydo bo'lishi va ularning migratsiyasi uchun etarli bo'lib, bu kristalning plastik oqimi va sirpanish chiziqlarining shakllanishi bilan birga sodir bo'ladi. Agar plastik deformatsiya paytida taglik yuzasida zinalar paydo bo'lsa, epitaksial qatlamning o'sishi jarayonida ular ustida joylashish nuqsonlari paydo bo'lishi mumkin. Yetarlicha yuqori termik kuchlanishlarda dislokatsiyalarning paydo bo'lishi va harakati, sirpanish chiziqlari va joylashish nuqsonlari butun o'sish jarayonida sodir bo'ladi.

Epitaksiya uchun ishlatiladigan tagliklar ba'zan bir necha o'n mikrometrga teng egrilikka ega. Tagliklarning egilishi ularning qalinligi 200 mikrondan kamayishi bilan, shuningdek, plastinkaning ishchi va orqa tomonlarini turli xil mexanik ishlov berish bilan ortadi. Diametri 50 mm dan oshadigan tagliklarda egilish ehtimoli ko'proq. Xarakterli xususiyat plastinkalarning sferik egilishi bo'lib, epitaksial qatlam bukilgan tomonda joylashgan. Isitgich yuzasi bilan yaxshi termik kontakt yo'qligi taglikda haroratning bir xil bo'lmagan taqsimlanishiga olib keladi. Isitgichda bir tekis yotgan, mutlaqo tekis taglik ham qizdirilganda egilib qoladi, chunki uning yuqori tomoni pastki qismiga qaraganda kamroq isitiladi. Taglik qalinligi bo'yicha harorat farqi 20-50 K. Egri bo'lgan va notekis qizdirilgan taglikda paydo bo'ladigan mexanik kuchlanishlar dislokatsiyalarning shakllanishi va harakatlanishi uchun hamda $\{111\}$ tekisliklarning $\langle 110 \rangle$ yo'nalishda siljishi sirpanishi uchun yetarli. Plastinkaning markaziy qismida joylashgan sirpanish chiziqlari kimyoviy ishlovsiz ko'rinadi. Bu maydon matoviy ko'rinishda bo'ladi. Alohida chiziqlar plastinkaning markaziy sohasida paydo bo'ladigan siqilish kuchlanishlarining ta'siridan yuzaga keladigan zinalarni ifodalaydi. Sirpanish chiziqlari paydo bo'lishining oldini olish uchun jarayon haroratini plastik oqim sodir bo'ladigan darajadan pastga tushirish (kremniy uchun bu 1000 °C), shuningdek, dislokatsiyasiz tagliklardan foydalanish va ularni yaxshilab kimyoviy sayqallash zarur.

2.4. Epitaksial qatlamlarni nazorat qilish usullari

Yarimo'tkazgichli qurilmalar va integral mikrosxemalarni ishlab chiqarishda epitaksial qatlamning yaroqliligini aniqlaydigan asosiy parametrlar zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi, nuqsonlar zichligi va qatlam qalinligidir. Qatlamning qalinligini ko'ndalang kesim yuzasini, IQ nurlar interferensiyasini va joylashish nuqsonlarini kuzatish

yordamida o'lanadi.

1. Ko'ndalang kesim yuzasini tayyorlash. Bu usul $A^{III}B^V$ turdagi birikmalar va ularning qattiq eritmaları kabi mo'rt materiallar uchun keng tarqalgan. O'sib chiqqan epitaksial qatlamli plastinka tekis yuzaga qo'yiladi va uning chetiga pinset yoki skalpel bilan engil bosish orqali sindiriladi. Bo'linish tekislik bo'ylab sodir bo'ladi, shuning uchun plastinkaning chetidan 1-2 mm ga orqaga chekinib, oldingisiga parallel ravishda yana bir bo'linish amalga oshiriladi. Olingan namuna - kengligi 1-2 mm va qalinligi plastinka qalinligiga teng bo'lgan uzun bo'lakcha. Epitaksial qatlam-taglik chegarasini, shuningdek p-n o'tish joyini aniqlash uchun, agar u qatlamda mavjud bo'lsa, ko'ndalang kesim yuzasini qizil qon tuzining ishqoriy eritmasida 1-2 daqiqa yemiriladi:



Ushbu ishqoriy yemirgich $GaAs_{1-x}P_x$ birikmalari uchun ishlatiladi. Epitaksial qatlam-taglik chegarasi qorong'u chiziq shaklida ko'rinadi. Epitaksial qatlamning qalinligi MIM-7 mikroskop yordamida o'lanadi.

2. IQ nurlarining interferensiyasi. Infraqizil nurlarning aks etishi; 10-35 mkm to'liq uzunligi diapazonida nafaqat plastinka yuzasidan, balki epitaksial qatlam-taglik chegarasidan ham turli konsentratsiyali kirishmalarni o'z ichiga olgan taglik va epitaksial qatlamning sindirish ko'rsatkichlaridagi farqlar tufayli yuzaga keladi. Epitaksial qatlam qalinligini aks ettirilgan nurlarning interferensiyasidan aniqlash mumkin. Qatlamning qarshiligi 0,1 Om·cm dan yuqori bo'lsa va taglik qarshiligi 0,02 Om·cm dan kichik bo'lsa, ishonchli ma'lumotlar olinadi. Epitaksial atlamdagi kirishma konsentratsiyasi ortishi bilan IQ nurlarining yutilishi kuchayadi, taglikdagi kirishma konsentratsiyasi kamayishi bilan uning nurlarni o'tkazishi kuchayadi va ularning chegarada aks etishi kamayadi.

Qatlam yuzasida va taglik-qatlam chegarasida aks ettirilgan δ nurlarining yo'lidagi farq qatlam qalinligi h , uning sindirish ko'rsatkichi α va sinish burchagi φ bilan belgilanadi:

$$\delta = 2\alpha h \cos \varphi \quad (2.23)$$

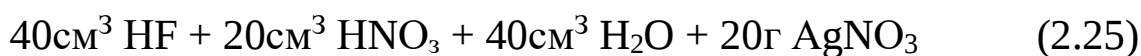
Interferensiyani kuzatish va yo'l farqini o'lchash orqali epitaksial qatlamning qalinligi hisoblanadi. Qatlam qalinligining bir hil bo'lmashligi yoki taglik-qatlam chegarasida kirishma taqsimotining bixillashishi interferensiya kontrastining yomonlashishiga olib keladi.

3. Joylashish nuqsonlarini kuzatish. Joylashish nuqsonlari asosan epitaksial qatlam-taglik chegarasida yuzaga kelganligi va muntazam tetraedrlarni hosil qilganligi sababli, bu tetraedrlarning balandligi qatlam qalinligiga teng. Taglik (111) tekislik bo‘ylab yo‘naltirilgan bo‘lsa, tetraedrning asosi tetraedrning balandligidir.

$$h=L\sqrt{2/3}=0.816L \quad (2.24)$$

Bu erda L - teng yonli uchburchak tomonining uzunligi.

Kremniydagi joylashish nuqsonlarini aniqlash quyidagi yemirgichda yemirish orqali amalga oshiriladi:



yoki



Yemirish 5-20 soniya davom etadi. Xuddi shu usul bilan qatlam birlik yuzasiga to‘g‘ri keladigan joylashish nuqsonlarining zichligini o‘rganishadi.

3. PLANAR TEXNOLOGIYADAGI HIMOYALOVCHI DIELEKTR PLYONKALAR

Himoya dielektrik plyonkalar planar texnologiyadan foydalangan holda yarimo'tkazgichli qurilmalar va integral mikrosxemalar ishlab chiqarishda muhim rol o'ynaydi. Ular donor va akseptor kirishmalarning mahalliy diffuziyalanishini amalga oshirishga imkon beradi, mikrosxemalarning faol va passiv elementlarini bir-biridan izolyatsiyalaydi, shuningdek p-n o'tish joylarini tashqi ta'sirlardan himoya qiladi. Shuning uchun planar texnologiyada himoya dielektrik plyonkalarga quyidagi asosiy talablar qo'yiladi: taglikning sirtini unga diffuziya qilinadigan elementlarning (bor, fosfor, surma, mishyak va boshqalar) kirib kelishidan to'liq himoya qilish; vaqt davomida kimyoviy tasirlarga chidamlilik va barqarorlik; bir jinsli va nuqsonsiz; yuqori elektr qarshilikka ega va katta elektr maydonga chidamli; mexanik mustahkam.

Himoya dielektrik plyonkalarni ishlab chiqarish uchun moddani tanlash ushbu talablarga javob berish bilan cheklangan. Shunday qilib, planar texnologiya talablariga toliq javob beradigan himoya dielektrik plyonka yaratish uchun universal moddani topish juda qiyin.

Himoya dielektrik plyonkalar ishlab chiqarish uchun boshlang'ich material sifatida kvarts, kremniy monooksidi va dioksidi, kremniy nitridi, alyuminiy oksidi va nitridi, bor nitridi va boshqalar ishlatilishi mumkin. Ammo hozirgi vaqtda sanoatda faqat ikkita turdagi materiallar keng qo'llaniladi: kremniy dioksidi va kremniy nitridi.

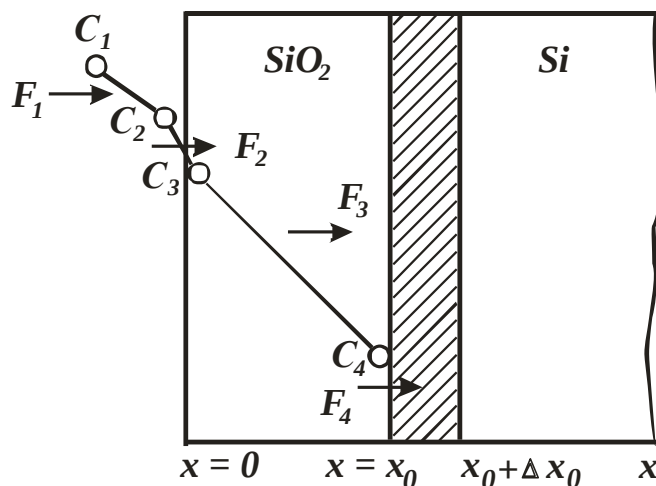
3.1. Kremniyning termik oksidlanish kinetikasi

Yarimo'tkazgichli asboblarda va integral mikrosxemalar ishlab chiqarish uchun planar texnologiyada eng keng tarqalgan usul kremniyning termik oksidlash usuli bo'lib, unda SiO_2 himoya dielektrik plyonkalar kremniy tagliklarini oksidlovchi muhitda qizdirish orqali olinadi. Ushbu usul bir xil qalinlikdagi, yuqori himoya va dielektrik xususiyatlarga ega yuqori sifatli niqob plyonkalarini olish imkonini beradi.

Kislorodli atmosferada kremniyning termik oksidlanishi jarayonida SiO_2 himoya dielektrik plyonkasi hosil bo'lish jarayonining kinetikasini ko'rib chiqamiz. Termik oksidlanish jarayonini tavsiflash uchun biz "oksidlagich oqimi" tushunchasini kiritamiz, bu orqali biz taglikning

birlik yuzasini birlik vaqtga kesib o'tadigan oksidlovchi molekular sonini nazarda tutamiz.

Rasm 3.1 da oksidlovchi muhit (gaz) - SiO_2 oksid qatlami (qattiq) – Si kremniy taglik tizimi bo'lgan kremniyning termik oksidlanish jarayoni modeli ko'rsatilgan. Ushbu tizim orqali to'rtta (C_1, C_2, C_3, C_4) oqimdan iborat "oksidlagich oqimi" o'tadi, ularning har biri oksidlovchi muhit - kremniy taglik tizimini o'rab turgan sohalardan biriga to'g'ri keladi.



3.1-rasm. Kremniyning termik oksidlanish jarayoni modeli

Rasm 3.1 dan ko'rinib turibdiki, F_1 oksidlovchining gaz fazali oqim massasi bo'lib, kremniy taglik yuzasiga yo'naltirilgan. Kremniy yuzasida har doim yupqa SiO_2 oksidli qatlam mavjud bo'lganligi sababli, F_1 oqim SiO_2 oksid yuzasiga yo'naltirilgan bo'ladi. Bu oqim massasi diffuziya jarayoni orqali ham, tashuvchi gaz oqimi yoki oksidlovchining o'zi bilan majburiy harakat orqali ham sodir bo'lishi mumkin.

Oqim tezligi oksidlanish jarayonining texnologik rejimiga bog'liq bo'ladi. Sanoat sharoitida kremniyni termik oksidlanish jarayoni uchun ma'lum bir tezlikda ish kamerasidan o'tuvchi oksidlovchining majburiy F_1 oqimi ishlatiladi:

$$F_1 = h(C_1 - C_2), \quad (3.1)$$

bu yerda h - oksidlovchining gazsimon massa almashish jarayonining tezlik konstantasi; C_1 - gaz fazasi hajmida oksidlovchining muvozanat konsentratsiyasi; C_2 - SiO_2 oksid yuzasida oksidlovchi moddaning konsentratsiyasi. Oksid yuzasiga yetib kelgan oksidlovchi modda shu sirtida adsorbsiyalanadi va unga qorishib ketadi. Bunday holda, gaz fazasidagi oksidlovchi moddaning konsentratsiyasi C_2 va qattiq fazada

qorishib ketgan oksidlovchi moddaning konsentratsiyasi C_3 o'rtasida taqsimlanish koeffitsienti bilan aniqlanadigan bog'liqlik o'rnatiladi. Oksidlovchining oksidda qorishib ketishi jarayonining harakatlantiruvchi kuchi gaz-oksidda sirt tizimidagi oksidlovchining konsentratsiya gradientidir. Shuning uchun oksidlovchi oqim

$$F_2 = \delta(C_2 - C_3), \quad (3.2)$$

bu yerda δ - oksidlovchining oksid qatlamida qorishib ketish tezligi konstantasi; C_3 - gaz fazasi bilan chegaradagi oksid qatlamidagi oksidlovchi moddaning konsentratsiyasi.

Oksid qatlamida qorishib ketgan oksidlovchi vosita gaz fazasi-oksidda chegarasidan oksid-kremniy taglik chegarasiga tarqaladi. Bu holda oksidlovchi oqimi F_3 oksid chegaralaridagi konsentratsiyalar farqiga proportsional va oksid qatlamining qalinligiga teskari proportsional bo'ladi. Shunday qilib, oksidlovchi oqim

$$F_3 = D(C_3 - C_4)/x_0 \quad (3.3)$$

bu erda D - oksidlovchining oksiddagi diffuziya koeffitsienti; C_4 - oksid-kremniy taglik chegarasida oksidlovchi moddalar konsentratsiyasi; x_0 - oksid qatlamining qalinligi.

Oksid qatlami orqali tarqalgan oksidlovchi modda oksid-kremniy chegarasiga yaqinlashadi va kremniy bilan reaksiyaga kirishadi. Kremniyning oksidlanishi natijasida yangi oksid qatlami hosil bo'ladi.

Oksidlovchi oqimi F_4 oksid-kremniy chegarasida sodir bo'ladigan kimyoviy oksidlanish reaksiyasining tezligini tavsiflaydi. Kremniy oksidlanish tezligi oksidlovchi moddaning konsentratsiyasiga proportsionaldir, shuning uchun

$$F_4 = k \cdot C_4 \quad (3.4)$$

bu yerda k - oksidlanish reaksiyasining tezlik konstantasi.

Muvozanat holatda barcha oqimlar teng bo'lgani uchun, ya'ni $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = F$, oqimlar tenglamalarini birgalikda yechish orqali barcha alohida oqimlar miqdorlarni hisobga olgan holda umumiy oksidlovchi oqimining (F) ifodasini olishimiz mumkin.

Tashuvchi gaz va oksidlovchining laminar oqimida gaz-qattiq jism chegarasida oksidlovchi konsentratsiyasining taqsimlanishi shartli

ravishda chiziqli bilan almashtirilishi mumkin:

$$C_1 = a \cdot C_2, \quad (3.5)$$

bu yerda $0 < a < 1$.

$F_2 = F_4$ shartidan topamiz

$$\delta(C_2 - C_3) = k \cdot C_4 \text{ yoki } \frac{k}{\delta} = \frac{C_2 - C_3}{C_4} \quad (3.6)$$

$F_3 = F_4$ shartidan topamiz

$$D \frac{C_3 - C_4}{x_0} = k C_4 \text{ yoki } \frac{k}{D} x_0 = \frac{C_3 - C_4}{C_4} \quad (3.7)$$

Ushbu ifodalarni qo'shib, biz C_4 ning C_1 ga bog'liqligini olamiz

($C_1 = a \cdot C_2$):

$$\frac{k \cdot x_0}{D} + \frac{k}{\delta} + 1 = \frac{C_3 - C_4}{C_4} + \frac{C_2 - C_3}{C_4} + 1, \quad (3.8)$$

$$C_4 = \frac{C_2}{1 + \frac{k}{\delta} + \frac{k \cdot x_0}{D}} = \frac{C_1 / a}{1 + \frac{k}{\delta} + \frac{k \cdot x_0}{D}}. \quad (3.9)$$

C_4 qiymatini F_4 oqimi ifodasiga almashtirsak, umumiy oksidlovchi oqimining ifodasi:

$$F = \frac{\frac{k}{a} \cdot C_1}{1 + \frac{k}{\delta} + \frac{k \cdot x_0}{D}} = k_{\phi} \cdot C_1 \quad (3.10)$$

Bu erda k_{ϕ} - oksidlanish jarayoni tezligining samarali konstantasi.

Oksidlanish reaksiyasi natijasida oksidlovchining N zarrachalari V oksidning birlik hajmini hosil qilgan deb faraz qilsak, oksid qatlamining o'sish tezligi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{dx_0}{dt} = \frac{F}{N} = F \cdot V = k_{\phi} \cdot C_1 \cdot V; \quad (3.11)$$

$$\frac{dx_0}{dt} = \frac{\frac{1}{a}C_1 \cdot V}{\left(\frac{1}{k} + \frac{1}{\delta}\right) + \frac{x_0}{D}} = \frac{\frac{1}{a}C_1 \cdot V \cdot D}{\left(\frac{1}{k} + \frac{1}{\delta}\right)D + x_0}. \quad (3.12)$$

Quyidagi belgini kiritamiz:

$$A = 2\left(\frac{1}{k} + \frac{1}{\delta}\right)D \quad \text{и} \quad B = 2\frac{1}{a}C_1 \cdot V \cdot D, \quad (3.13)$$

U holda

$$\frac{dx_0}{dt} = \frac{B}{A + 2x_0}. \quad (3.14)$$

O'zgaruvchilarni ajratish usuli yordamida tenglamaning ikkala tomonini integrallab

$$\int (A + 2x_0) dx = \int B dt \quad (3.15)$$

Yoki

$$x_0^2 + Ax_0 - Bt = 0 \quad (3.16)$$

Ushbu kvadrat tenglamani yechib, biz oksid qalinligining vaqt funksiyasi sifatida ifodasini olamiz

$$x_0 = -\frac{A}{2} + \frac{A}{2} \sqrt{1 + \frac{t}{A^2/(4B)}}, \quad (3.17)$$

Yoki

$$\frac{x_0}{A/2} = \sqrt{1 + \frac{t}{A^2/(4B)}} - 1. \quad (3.18)$$

Keling, kremniyning termik oksidlanish jarayonining ikkita cheklovchi holatini ko'rib chiqaylik. Oksidlanish jarayonining uzoq vaqt davomida, ya'ni $t \gg A^2/(4B)$ bo'lganda, biz olamiz

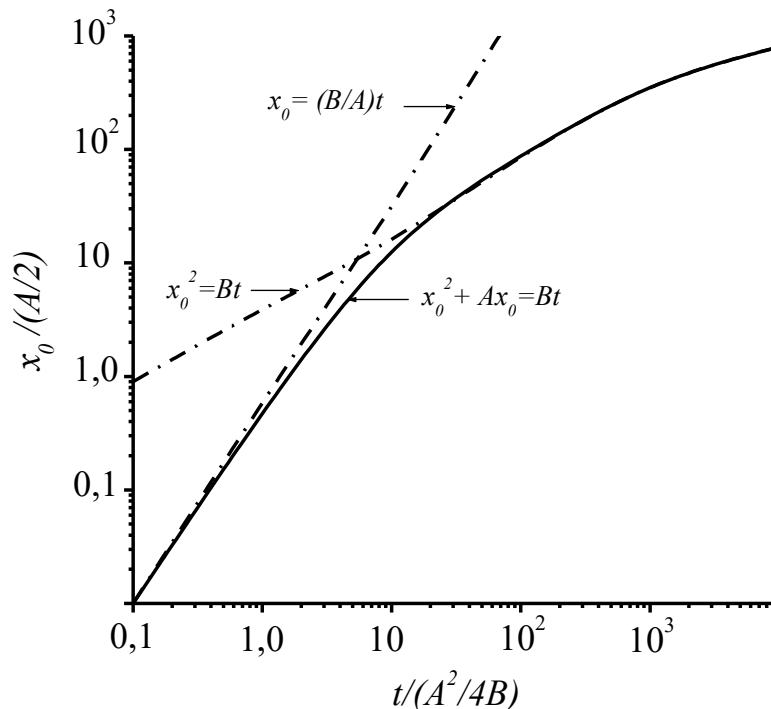
$$\left(\frac{x_0}{A/2}\right)^2 = \frac{t}{A^2/(4B)}, \quad \text{или} \quad x_0^2 = Bt \quad (3.19)$$

Shunday qilib, bu cheklovchi holatda termik oksidlanish jarayonining parabolik qonuni sodir bo‘ladi. B koeffitsienti oksidlanish tezligi konstantasi sifatida qabul qilinadi.

Boshqa cheklovchi holatda, nisbatan qisqa oksidlanish vaqtida, ya‘ni $t \ll A^2/(4B)$ shartida olamiz

$$\frac{x_0}{A/2} \approx \frac{1}{2} \left(\frac{t}{A^2/(4B)} \right); \quad x_0 = \frac{B}{A} t. \quad (3.20)$$

Rasm 3.2 da oksid qalinligining termik oksidlanish jarayoni vaqtiga umumiy bog‘liqligi va uning ikkita cheklovchi holati ko‘rsatilgan.



3.2-rasm. Kremniyni oksidlash jarayonini amalga oshirishda SiO_2 plyonka qalinligining vaqtga bog‘liqligi

3.2. Kremniyning suv bug‘ida termik oksidlanishi

Kremniyda himoya dielektrik plyonkalarni olish uchun toza suv bug‘ida (toza suvning solishtirma elektr qarshiligi $10 \div 20 \text{ M}\Omega \cdot \text{sm}$) termik oksidlanish qo‘llaniladi. agar bug‘ miqdori reaksiya tezligini cheklamasa Kremniyning suv bug‘i bilan yuqori haroratli reaksiyasi Kremniyning suv bug‘i bilan yuqori haroratli reaksiyasidan bug‘ miqdori reaksiya tezligini cheklamagan holatdagina foydalaniladi,

shuning uchun, ya'ni kremniy plastinkalari yuzasi yaqinida suv bug'ining kerakli partsial bosimini ushlab turish uchun, suvni isitiladi.

Oksid plyonkasining strukturaviy shakllanishi suvning oksid qatlami orqali kremniy yuzasiga diffuziyasi tufayli sodir bo'ladi. Oksid plyonkasining strukturaviy shakllanishiga oksidlanish reaksiyasi paytida hosil bo'lgan va plastinka ichiga chuqur tarqaladigan vodorod ta'sir ko'rsatadi. Vodorodning diffuziya koeffitsienti ($1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ da $2\cdot 10^{-6}\text{ sm}^2/\text{s}$) suvning diffuziya koeffitsienti ($1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ da $9\cdot 10^{-10}\text{ sm}^2/\text{s}$) dan sezilarli darajada katta bo'lgani uchun kremniy-oksidi chegarasida gidroksil guruhlari hosil bo'lishi nafaqat suv molekullari, balki vodorodning ham mavjudligi bilan izohlanadi.

Oksidlanish jarayonining $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan yuqori haroratlarida oksid qatlamining hosil bo'lishi parabolik qonun bo'yicha davom etadi va $x^2=Bt$ ifodasi bilan tavsiflanadi. $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan past haroratlarda oksid qatlamining o'sishi paraboldan farq qiladi va quyidagi qonun bo'yicha bo'ladi:

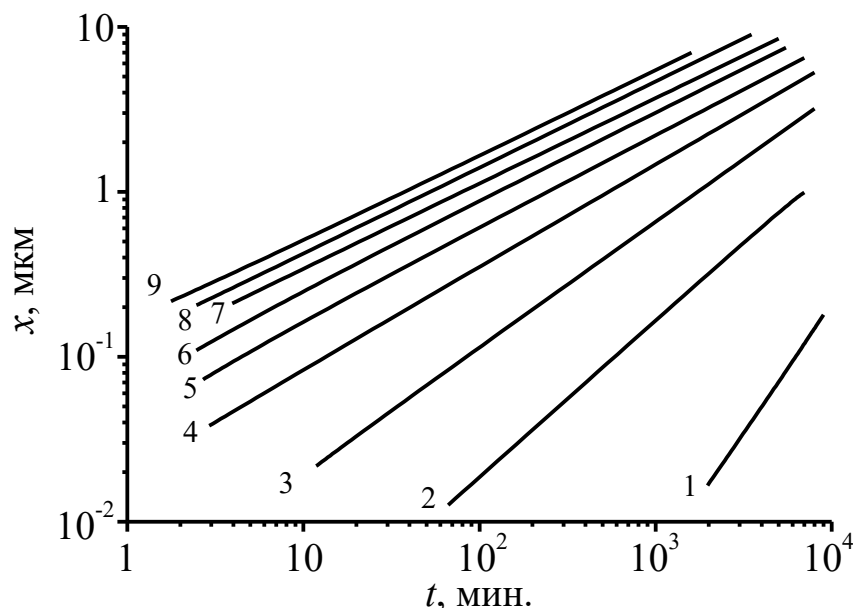
$$x^2 + b_1x = b_2t. \quad (3.21)$$

Oksidlanish jarayonining harorati qancha past bo'lsa, oksid qatlamining hosil bo'lish qonuni chiziqligiga shuncha yaqin bo'ladi. Oksid plyonkasining chiziqli o'sishi yuqori bosimli suv bug'ida ($2,5\cdot 10^5 \div 4,0\cdot 10^7\text{ Pa}$) $500 \div 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratda kuzatiladi.

Oksid plyonkasining chiziqli qonunga muvofiq o'sishi oksidlanish tezligi kremniy-oksidi chegarasidagi kimyoviy reaksiya tezligi bilan cheklangan bo'lsa sodir bo'ladi. Chiziqli o'sish hududida reaksiya tezligi kremniy-oksidi chegarasida suv molekullari bilan reaksiyaga kirisha oladigan kremniy atomlarining erkin bog'lanishlari soniga bog'liq.

Rasm 3.3 da suv bug'i atmosferasida oksid plyonkasi qalinligining oksidlanish vaqtiga bog'liqligi turli haroratlar uchun ko'rsatilgan. Taglikning kristall tekisligi yo'nalishi, elektr o'tkazuvchanligining turi va taglikdagi kirishma atomlari kontsentratsiyasi oksid plyonkasining o'sish tezligiga katta ta'sir ko'rsatadi.

Taglikdagi yuqori kirishma konsentratsiyasi kremniy-oksidi chegarasidagi oksidlanish reaksiyasining tezligiga yoki oksidlovchi moddalarning diffuziya koeffitsientlariga ta'sir qiladi. Shunday qilib, dastlabki taglikda fosfor mavjudligi, birinchi navbatda, oksidlanish reaksiyasining tezligiga ta'sir qiladi.



3.3-rasm. Suv bug‘i atmosferasida o‘stirilgan SiO_2 plyonkasi qalinligining oksidlanish vaqtiga bog‘liqligi, quyidagi haroratlar uchun $^{\circ}\text{C}$: 1 – 600; 2 – 700; 3 – 800; 4 – 900; 5 – 1000; 6 – 1100; 7 – 1200; 8 – 1300; 9 – 1400.

Fosfor kontsentratsiyasi yuqori bo‘lgan kristallning yuzasi fosfor kontsentratsiyasi kam bo‘lgan sirtga qaraganda tezroq oksidlanadi. Bu qonuniyat past harorat oralig‘i ($600\text{--}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$) uchun amal qiladi. Termik oksidlanish jarayonida o‘sayotgan oksid fosforni kremniy kristaliga chuqurroq suradi va shuning uchun oksid qatlamidagi fosfor kontsentratsiyasi juda past bo‘ladi. Bor uchun aksincha: o‘sib borayotgan oksid ko‘p miqdorda borni o‘z ichiga oladi, bu oksidlovchi moddalarning tez diffuziyalanishiga olib keladi. Shuning uchun yuqori bor konsentratsiyasiga ega bo‘lgan kremniy yuqori va past haroratlarda tezroq oksidlanadi.

Suv bug‘ida oksidlanish tezligi faqat past haroratlarda kremniy plastinkasining kristall yo‘nalishiga bog‘liq, bu holatda oksid plyonkasi o‘sishi parabola qonuniga bo‘ysunmaydi.

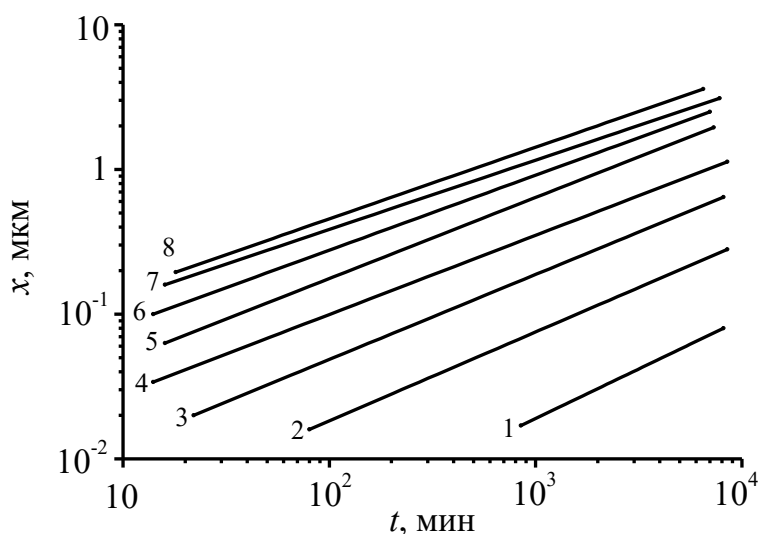
3.3. Quruq kislorodda kremniyning termik oksidlanishi

Quruq kislorodda oksidlanish usuli va suv bug‘idagi oksidlanish o‘rtasidagi farq shundaki, birinchi holatda o‘sib borayotgan oksid plyonkasi orqali tarqaladigan modda suv emas, balki kislorod ionlaridir.

Shuni ta'kidlash kerakki, oksid plyonkasidagi kislorodning diffuziya koeffitsienti ($1050\text{ }^{\circ}\text{C}$ da $2,8 \cdot 10^{-14}\text{ sm}^2/\text{s}$) bir xil sharoitlarda vodorod va suvdan sezilarli darajada kam. Shuning uchun quruq kislorodda oksid plyonkasining o'sish tezligi suv bug'iga qaraganda kamroq. Oksid plyonkalarini hosil qilish jarayonida vodorod va suv bug'lari yo'qligi sababli, o'stirilgan oksidning tuzilishida gidroksil guruhlari (OH) mavjud emas. Quruq kislorodda kremniy oksidlanish faollashuv energiyasining yuqoriligi va gidroksil guruhlarning yo'qligi hosil bo'lgan kremniy oksidi qatlamining tuzilishida kuchli kislorod-kremniy bog'larining paydo bo'lishiga olib keladi.

Suv bug'idagi oksidlanishda bo'lgani kabi, past haroratlarda oksidlanish kinetikasi kislorodning tarqalishiga qaraganda ko'proq kremniy-oksidi chegarasidagi reaksiya tezligi bilan belgilanadi. Oksid plyonkasi o'sish qonunining chiziqlilikka og'ishi odatda $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan past haroratlarda sodir bo'ladi.

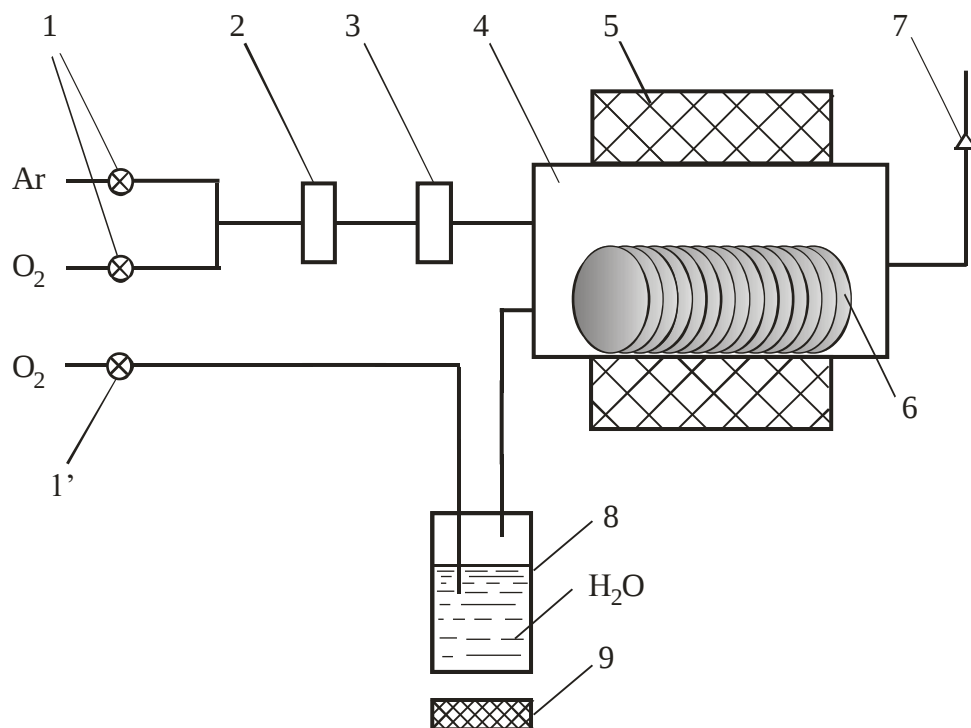
Rasm 3.4 da quruq kislorod atmosferasida oksid qatlam o'sishining oksidlanish vaqtiga bog'liqligi turli haroratlar uchun ko'rsatilgan.



3.4-rasm. Quruq kislorodli atmosferada o'stirilgan SiO_2 plyonkasi qalinligining haroratni ushlab turish vaqtiga bog'liqligi, $^{\circ}\text{C}$: 1 – 700; 2 – 800; 3 – 900; 4 – 1000; 5 – 1100; 6 – 1200; 7 – 1300; 8 – 1400.

Quruq kislorodda kremniy oksidlanish jarayoni 3.5-rasmda ko'rsatilgan qurilmada amalga oshiriladi. Kisloroddagi namlik miqdorini shudring nuqtasigacha kamaytirish uchun qurituvchi sifatida muzlatish uchun tuzoq, kimyoviy absorber yoki kombinatsiyalangan qurilma

ishlatiladi. Filtr chang zarralari va mexanik kirlarni olib tashlash uchun ishlatiladi.



3.5-rasm. Kremniyni termik oksidlash jarayonini o‘tkazish qurilmasi:
1, 1' - kranlar; 2 - qurituvchi; 3 - filtr; 4 - ish kamerasi; 5 - pech; 6 - kremniy plastinalar; 7 – ventilyatsiya; 8 - namlagich; 9 - isitgich.

3.4. Nam kislorodda kremniyning termik oksidlanishi

Nam kislorodda kremniy oksidlanish jarayoni avval muhokama qilingan ikkita oksidlanish jarayonining birikmasidir: suv bug‘ida va quruq kislorodda. Begona atomlardan tozalangan quruq kislorod suv vannasidan o‘tadi, u erda issiq suv bug‘lari bilan to‘yinadi va keyin ish kamerasiga beriladi. Kislorod oqimining namligi suv vannasining harorati va kislorod oqimi tezligi bilan belgilanadi.

Suv bug‘idagi oksid qatlamining hosil bo‘lish tezligi quruq kislorodga qaraganda ancha yuqori bo‘lganligi sababli, kremniy oksidlanish tezligi kislorod oqimidagi namlik miqdoriga bog‘liq.

Nam kislorodda kremniy oksidlanish jarayoni 3.5 rasmda ko‘rsatilgan qurilmada amalga oshiriladi. Ushbu usulning asosiy afzalligi shundaki, u kislorod oqimidagi suv bug‘ining konsentratsiyasini osongina o‘zgartirishga va oksidlanish tezligini 100% kislorod

miqdoriga mos keladigan qiymatdan 100% suv bug'iga mos keladigan qiymatga o'zgartirishga imkon beradi. Ushbu usulda kislorod va suv bug'ining aralashmasi oksidlovchi vosita bo'lib xizmat qiladi va bu komponentlarning nisbati keng chegaralarda o'zgartirilishi mumkin.

Oksidlanish jarayonining past tezligiga ega bo'lish zarur bo'lsa, u holda kislorod o'rniga argon yoki azot oqimi ishlatilishi mumkin (suv vannasining harorati xona haroratida bo'lishi kerak). Nam kislorodda oksidlanish reaksiyasining faollashuv energiyasi suv bug'ining kontsentratsiyasi ortishi bilan kamayadi. Faollashtirish energiyasi quruq kisloroddagi oksidlanish jarayoniga to'g'ri keladigan 1,3 eV dan, suv bug'lari atmosferasidagi oksidlanish jarayoniga to'g'ri keladigan 0,8 eV gacha oraliqda yotadi.

Yarimo'tkazgichli asboblari va integral mikrosxemalar ishlab chiqarishda kremniyni termik oksidlanishning ikki va uch bosqichli usullari keng qo'llaniladi. Bu usullar quruq kislorod, nam kislorod yoki suv bug'lari va yana quruq kislorodni oksidlovchi moddalar sifatida ketma-ket ishlatishga asoslangan.

Kremniy oksidining himoya dielektrik plyonkasini hosil qilishning ushbu texnologik jarayoni quruq kislorodli atmosferada o'stirilgan oksid plyonkasi mukammal tuzilishga lekin past o'sish tezligi ega, nam kislorod va suv bug'lari atmosferasida o'stirilgan oksid plyonkasi kamroq mukammal tuzilishga, lekin yuqori o'sish tezligiga ega. Shuning uchun ko'p bosqichli oksidlanish usulining birinchi bosqichi (quruq kislorodda) mukammal tuzilishga ega bo'lgan kremniy oksidining yupqa plyonkasini olishga qaratilgan, ikkinchi bosqich (nam kislorodda) oksidlanish jarayonini tezlashtirish va oksid plyonkaning etarli qalinligiga erishish va uchinchi bosqich (quruq kislorodda) - yana kremniy yuzasida mukammal oksid tuzilishini olish uchun.

Termik o'stirilgan plyonkaning maksimal qalinligi 1-1,5 mkm dan oshmaydi. Planar texnologiyani amaliy maqsadlari uchun oksidli himoya plyonkalarining qalinligi 0,2-0,8 mikron bo'lishi kerak. Buning sababi shundaki, qalinligi 0,8 mikrondan ortiq bo'lgan plyonkalardan foydalanganda, fotolitografiya jarayonida oksid qatlamni yemirishda yuzaga keladigan pona kattalashib ketadi va kerakli o'lchamdagi mikroshaklni olish imkoniyatini cheklaydi. Qalinligi 0,2 mkm dan kam bo'lgan oksid plyonkalarni ishlatganda, undagi teshiklar va g'ovaklarning paydo bo'lish ehtimoli ortadi, bu diffuziya paytida diffuzantning taglikga mahalliy kirib borishiga olib keladi.

3.5. Kremniy oksidi plyonkalarini piroliz usulida o‘stirish

Taglik materiallari ishtirokisiz kremniy oksidlarini hosil qilishning eng oddiy va texnologik jihatdan ilg‘or usuli - turli kremniyorganik birikmalarning piroliz parchalanishi. Binobarin, bu usul kremniy oksidi plyonkalarini deyarli har qanday taglik materiali yuzasida hosil qilish imkonini beradi. Ushbu usulning yana bir muhim afzalligi shundaki, u asl taglikda sodir bo‘lgan kirishmalarning qayta taqsimlanishini minimallashtirish, ya‘ni taglikning faol va passiv sohalarining geometrik o‘lchamlari va elektr parametrlarini saqlab qolish imkonini beradi. Usulning uchinchi afzalligi - jarayonning past harorati.

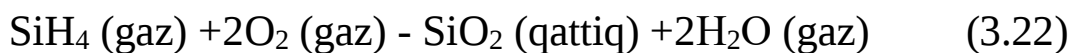
Keling, yarimo‘tkazgichli asboblarda va integral mikroshemalar ishlab chiqarishda keng qo‘llaniladigan ushbu usulning ikkita variantini ko‘rib chiqaylik.

1) *Tetraetoksisilan $Si(OC_2H_5)_4$ ning termik parchalanishi.* Ushbu jarayon to‘g‘ridan-to‘g‘ri taglik yuzasidan yoki reaksiya mahsulotlari taglikga o‘tkaziladigan alohida kamerada amalga oshirilishi mumkin. Tetraetoksisilanning parchalanish reaksiyasi 700-750 °C haroratda sodir bo‘ladi. Reaksiya natijasida kremniy dioksidi, kremniy oksidi, uglerod oksidi va organik radikallar gazsimon holda hosil bo‘ladi. Ushbu reaksiyada kislorod manbai tashqi manba emas, balki tetraetoksisilanning o‘zidir.

Agar tetraetoksisilanning parchalanish reaksiyasi taglik bilan bir kamerada amalga oshirilsa, u holda taglikning harorati piroliz haroratiga mos keladi. Agar parchalanish reaksiyasi bir kamerada sodir bo‘lsa va tagliklar boshqa kamerada bo‘lsa, u holda tagliklarning harorati piroliz haroratiga nisbatan sezilarli darajada kamayishi mumkin.

2) *Silanning kislorod bilan oksidlanishi.* Bu reaksiyaning oldingisidan afzalligi shundaki, bu holda gazsimon organik radikallar va uglerod hosil bo‘lmaydi va reaksiyaning o‘zi pastroq haroratda sodir bo‘ladi.

Yarimo‘tkazgich texnologiyasida monosilanni kislorod bilan oksidlash istiqbolli usul hisoblanadi, chunki bu kremniy oksidi plyonkalarini $A^{III}B^V$ va $A^{II}B^{VI}$ tipidagi intermetall birikmalarga ularning stexiometrik tarkibini buzmasdan joylashtirish imkonini beradi. Kremniy dioksid hosil bo‘lishining reaksiyasi uchun tashqi isitish talab qilinmaydi, ammo yuqori sifatli kremniy oksidi plyonkalarini olish uchun jarayon 150-300 °C haroratda amalga oshiriladi:



Ushbu jarayon uchun boshlang'ich materiallar gaz aralashmalari bo'lib, ular yuqori toza monosilan SiH_4 , argon yoki azot (tashuvchi gazlar) va kislorodni o'z ichiga oladi. Inert gaz (3-10%) bilan kuchli suyultirilgan silanning nazorat ostida oksidlanishi kremniy dioksidini keng harorat oralig'ida 10-50 nm / min tezlikda cho'ktirish imkonini beradi.

Kremniy oksidi plyonkalarini cho'ktirish uchun harorat oralig'i monosilan va oksidlovchi moddaning konsentratsiyasi bilan belgilanadi. Monosilan konsentratsiyasi 0,8 dan 0,015 hajmiy % o'zgarganda, doimiy nisbati uchun silan: oksidlovchi = 1: 3, cho'kma jarayonining harorati 140 dan 450 °C gacha oshirilishi kerak.

Cho'kish jarayonining minimal haroratiga alohida e'tibor berilishi kerak. Pastki harorat chegarasi ikki omil bilan chegaralanadi: kremniy dioksid plyonkasi g'ovakliligining monotonik o'sishi va gaz fazasida monosilanning bir hil oksidlanishi. Plenka g'ovakligining monoton o'sishi jarayon haroratining pasayishi bilan taglik tomonidan adsorbsiyalangan molekulalarning sirt migratsiyasi energiyasining kamayishi bilan bog'liq. To'plangan zarrachalarning kristallanishi tizimning minimal erkin energiyasidan tobora uzoqroq pozitsiyalarda sodir bo'ladi. Bu elektr mustahkamligi past bo'lgan bo'sh, g'ovakli plyonkalarining shakllanishiga olib keladi va taglikga yomon yopishadi. Cho'kish jarayonining harorati 150 °C dan past bo'lsa, kremniy dioksid zarralari mayda oq kukun shaklida cho'kadi.

Gaz fazasida monosilanning bir hil oksidlanishi, oksidli plyonkaning cho'kish harorati qanchalik past bo'lsa, oksidlanish mexanizmini amalga oshirish uchun monosilanning yuqori konsentratsiyasi zarur bo'ladi va shuning uchun monosilanning ortib borayotgan qismi gaz fazasida oksidlanadi, reaksiya kamerasini ifloslantiradi va natijada olingan plyonkaning sifati yomonlashadi.

Oksidlovchi sifatida kisloroddan tashqari N_2O , CO_2 , H_2O kabi kislorodli birikmalar ham ishlatilishi mumkin. Oksidlovchi moddalar sifatida azot oksidi va karbonat angidrididan foydalanish bir hil oksidlanishni amalda yo'q qilishga imkon beradi, ammo 200-350 °C harorat oralig'ida kremniy dioksid plyonkalarini cho'ktirishga erishish mumkin emas.

Inert gazlar juda ko'p qo'shilgan monosilanning (kislorodli)

boshqariladigan oksidlanishi SiO_2 plyonkalarini keng harorat oralig'ida (200-500 °C) olish imkonini beradi, plyonka cho'kish tezligi 50-100 nm/min darajaga etadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, bu usul bilan olingan SiO_2 plyonkalari plastinkaning butun yuzasi bo'ylab qalinligi bo'yicha bir xil bo'lib, etarli darajada bir xillik, kimyoviy tarkibning barqarorligi va diffuziya jarayonlarida yaxshi niqoblash qobiliyatiga ega. Ushbu usul bilan olingan SiO_2 plyonkalarining o'ziga xos xususiyati ularning katta tezlikda yemirilishidir.

3.6. Kremniyning anodli oksidlanishi

Kremniyning anodli oksidlanishi elektrolit va elektr toki ta'sirida plastinka yuzasida yuzaga keladigan asosiy elektrod reaksiyalaridan biridir. Anodli oksidlanish usuli ikkita modifikatsiyani o'z ichiga oladi: suyuq elektrolitda kremniy sirtining oksidlanishi va gaz plazmasida oksidlanish. Birinchi holda, jarayon elektrolitli anodlash deb ataladi, ikkinchisida - gazli anodlash.

1) *Elektrolitik anodlash.* Oddiy sharoitlarda kremniy plastinkalari yuzasi qalinligi taxminan 30 Å bo'lgan yupqa oksid plyonkasi bilan qoplangan. Ushbu oksid plyonkasi anodli oksidlanish reaksiyasida ishtirok etadigan moddalarni ajratib turadi. Shuning uchun oksid plyonkasining keyingi o'sishi reaksiyaga kirishuvchi moddalar ionlarining faqat ushbu plyonka orqali diffuziylanishi yoki migratsiyasi tufayli o'tkazilganda mumkin. Bu plyonkalarni eritmaydigan suyuq elektrolitda kremniy ustidagi SiO_2 plyonkalarining o'sish tezligi ion migratsiyasini rag'batlantiradigan oksid qatlamidagi elektrostatik maydonga bog'liq. Bu holatda mobil komponent kremniy ioni deb hisoblanadi. Shuning uchun anodli oksid plyonkalarini o'stirish jarayonini kremniy ionlarini oksid-kremniy chegarasi bo'ylab va oksid orqali oksidlanish reaksiyasi sodir bo'ladigan oksid-elektrolit chegarasiga o'tkazish jarayoni sifatida tavsiflash mumkin. Elektrolitda oksid bilan chegarada ionlarning mavjudligi oksidlanish tezligiga, shuningdek, oksid plyonkasining maksimal qalinligiga sezilarli ta'sir qiladi. Anodli oksidlanish vaqtida plyonka qalinligi buzilish kuchlanishi va ion oqimi bilan belgilanadi. Anodli oksidlanish vaqtida umumiy oqim qiymatini tartibga solish doimiy oqimda, doimiy kuchlanishda va bu qiymatlarning kombinatsiyasida amalga oshirilishi mumkin.

O'zgarmas tokda oksidlanishni ko'rib chiqaylik. Oksid orqali

doimiy ion oqimini ushlab turish uchun oksid plyonkasi qalinligi oshishi bilan bu plyonkadagi kuchlanish tushishi ortishi kerak. Shuning uchun o'zgarmas tokdagi anodizatsiya oksiddagi kuchlanishning ortish tezligi sifatida tavsiflanishi mumkin. Kuchlanishning o'zgarish tezligi taxminan tokning o'zgarishiga proporsionaldir. Shuning uchun ion tok zichligi qanchalik yuqori bo'lsa, kuchlanish tezroq ko'tariladi va oksid tezroq o'sadi. Bunday holda, ion tokining foydali chiqish koeffitsienti elektrolitik reaksiyalar chiqishining taxminan 1% ni tashkil qiladi. O'zgarmas tokdagi anodli oksidlanish elektrolitlar turiga va qurilma tuzilishiga qarab kuchlanish ma'lum bir qiymatga etgunga qadar davom etishi mumkin, shundan so'ng oksid plyonka teshilishi sodir bo'ladi.

Anod va katod o'rtasidagi doimiy kuchlanishda oksidning ion o'tkazuvchanligiga bog'liq bo'lgan dastlabki tok elektrolitning qarshiligi, kremniy plastinadagi dastlabki oksid qatlamining qalinligi va elektrolitda "ikkita qatlam" hosil bo'lishi bilan bog'liq polarizatsiya bilan aniqlanadi. Oksidning o'sishi bilan undagi elektr maydoni kamayadi, bu esa oksiddan o'tadigan ion tokining pasayishiga olib keladi. Natijada oksidning o'sishi sekinlashadi.

Anodli oksidlanishning takrorlanadigan natijalarini olishda elektrolitlarni tanlash va undagi namlik ulushi katta rol o'ynaydi. Natriy nitrat, kaliy nitrat, ammoniy dixromat va boshqalar qo'shilgan nitrat, borli yoki fosforli kislotalarga asoslangan turli xil elektrolitlar ishlatilishi mumkin.

2) *Kremniyning gazli anodlanishi* elektrolitik anodlashga o'xshaydi, yagona farq shundaki, elektrolit o'rniga gaz ishlatiladi. Bu usul qalin oksidli plyonkalarni o'stirish uchun ishlatiladi. Yuqori chastotali maydon bilan uyg'otilgan kislorod plazmasi manfiy zaryadlangan kislorod ionlarining manbai bo'lib xizmat qiladi. Plazmadagi kislorod ionlari kremniy plastinkasining yuzasi bilan o'zaro ta'sir qiladi. Oksidning o'sishi anodli oksidlanish rejimiga bog'liq: ishchi kamera ichidagi bosim, harorat va plazma zichligiga.

3.7. Kremniy nitridi plyonkalarini kimyoviy o'stirish

Kremniy dioksidining himoya dielektrik plyonkalari bilan bir qatorda, kremniy nitridi plyonkalari yarimo'tkazgichli asboblarda va integral mikrosxemalar ishlab chiqarishda tobora ko'proq foydalanilmoqda.

Kremniy nitridi plyonkalari an'anaviy planar texnologiyada

ishlatiladigan diffuzantlar uchun kremniy dioksid plyonkalariga qaraganda kamroq o'tkazuvchandir. Shuning uchun kremniy nitridi plyonkalari yupqaroq olinadi. Bu fotolitografiya uchun muhim omil bo'lib, uning aniqligini oshirishga yordam beradi.

Kremniy nitridli plyonkalar kremniy dioksid plyonkalariga qaraganda bir necha baravar tezroq va past haroratlarda o'stirilishi mumkin. Kremniy va azot o'rtasidagi reaksiya $3\text{Si} + 2\text{N}_2 \rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4$. Azotlanishning kimyoviy reaksiyasini amalga oshirish uchun $1100 \div 1300^\circ\text{C}$ harorat talab qilinadi.

Bu usul odatda kremniy nitridini qiyin eruvchi material sifatida olish uchun ishlatiladi. Bu reaksiyada sof azot ammiak bilan almashtirilishi mumkin, u yuqori haroratda dissotsiyanadi va molekulyar azotga qaraganda kremniy bilan oson reaksiyaga kirishadi.

4. FOTOLITOGRAFIYA

Fotolitografiya deganda yorug‘lik sezgir materiallardan foydalangan holda taglik yuzasidagi plyonkaning mahalliy himoya qismlarini (mikrotasvirni) shakllantirish jarayoni tushuniladi, ularning relyefi yarimo‘tkazgichli asbob yoki mikrosxemaning topologiyasi naqshini takrorlaydi va ushbu mikrotasvirni taglikka o‘tkaziladi. Fotolitografiya yarimo‘tkazgichli asboblari va integral mikrosxemalar ishlab chiqarishdagi asosiy texnologik jarayondir.

Fotolitografiya (FL) ning asosi quyidagidan iborat. Yarim utkazgichli plastina sirtiga yupqa qatlam yorug‘lik sezgir lak - fotorezist (FR) suriladi. FR qatlami quritilgandan song plastina ustiga fotoshablon (FSh) (plastinaga ko‘chirish kerak bo‘lgan mikrotasvir xosil qilingan shisha fotoplastinka) qo‘yiladi. FR surilgan yarim o‘tkazgichli plastinkaning ustiga FSh qo‘yib yoritilsa (binafsha, ultrabinafsha nur bilan), FR ning yorug‘lik tushgan soxalari:

- negativ FRlarda ochiltiruvchi (proyavitel)da erimaydigan bo‘lib qoladi, yoritilmagan soxalari erib ketadi;

- pozitiv FR larda esa yoritilgan soxalari eruvchan tuzga aylanadi va ochiltiruvchida erib ketadi, yoritilmagan soxalari erimaydi.

FR qatlamida xosil bo‘lgan darchalar orqali yarimo‘tkazgichli plastina yoki plenka kimyoviy yemiriladi.

Fotolitografiya jarayonining mohiyati quyidagicha. Maxsus ishlov berilgan plastinka (taglik) yuzasiga yupqa yorug‘lik sezgir material qatlami, fotorezist suriladi. Fotorezist quriganidan so‘ng, taglikda mustahkam plyonka hosil bo‘ladi. Ushbu fotorezist plyonkani unga jipslashtirilgan fotoshablon orqali (kontaktli bosib chiqarish) faollashtiruvchi yorug‘lik bilan yoritilishi uning xususiyatlarining o‘zgarishiga olib keladi. Faollashtiruvchi yorug‘lik fotorezistga ta‘sir qiluvchi va fotorezistning yoritilgan joylarining eruvchanligini o‘zgartirishga yordam beradigan fotokimyoviy reaksiyalarni keltirib chiqaradigan ko‘rinadigan yoki ultrabinafsha diapazonidagi yorug‘lik nurini anglatadi. Fotorezist plyonkaning tegishli eritgichda eritilishi unda kerakli mikrotasvir relyefini, ya‘ni plyonkaning ochiq (fotorezist plyonkadan xoli) va yopiq (fotorezist plyonka mavjud) sohalarini olish imkonini beradi. Fotorezist plyonkada hosil bo‘lgan ma‘lum bir mikrotasvirning relyefi taglikka o‘tkaziladi.

Fotorezist plyonkada hosil bo‘lgan "darchalar" bir qator muhim texnologik operatsiyalarni amalga oshirishga imkon beradi:

yarimo'tkazgich plastinkani lokal yemirish orqali mezastrukturalar hosil qilish, lokal diffuziya qilish uchun himoya dielektrik SiO_2 va Si_3N_4 qatlamlarda "darchalar" ni ochish, ya'ni ularni lokal yemirish, shuningdek, omik kontaktlar va murakkab geometrik shakllardagi tok o'tkazuvchan yo'llarini yaratish uchun metall qatlamlarni yemirish.

Fotolitografiya keng toifadagi yarimo'tkazgichli asboblardan va integral mikrosxemalar ishlab chiqarish texnologiyasi umumiy siklidagi asosiy jarayonlardan biridir. Bu jarayon diffuziya va ionli legirlash, epitaksiya va oksidlanish, vakuumli termik bug'lanish va kimyoviy ishlov berish kabi jarayonlar bilan bir qatorda turadi.

Fotolitografiya jarayonining afzalliklari universalligi, ko'p miqdorda ishlab chiqarish va avtomatlashtirish imkoniyatidir. Fotolitografiya yordamida bitta taglikda yarimo'tkazgichli asboblardan va mikrosxemalarning ko'p sonli elementlarini olish mumkin, bu esa oldindan tanlangan texnologik marshrut bo'ylab tagliklarga guruhli ishlov berishni amalga oshirish imkonini beradi.

Fotolitografiya jarayoni uzoq vaqtdan beri ma'lum. U poligrafiya sanoatida keng qo'llaniladi. Biroq, yarimo'tkazgichli asboblardan va integral mikrosxemalar ishlab chiqarish texnologiyasida u maxsus, chuqur rivojlantirildi. Fotolitografiya yordamida yarimo'tkazgich texnologiyasida elementlar o'lchamlari bir necha mm bo'lgan elektron platalarni ishlab chiqarish texnologiyasidan elementlarning o'lchamlari 1 mikrondan kam bo'lgan o'ta katta integral mikrosxemalarga sifatli o'tish amalga oshirildi.

Fotolitografiya ikki yo'nalishda rivojlanmoqda: mikrotasvirning shakli va hajmini izchil takrorlash uchun yuqori aniqlikdagi uskunalardan va texnologik jarayonlarni doimiy ravishda takomillashtirish va taglikda mikrotasvir yaratish jarayonining maksimal imkoniyatlarini kengaytirish uchun yangi usullarni ishlab chiqish. .

Fotolitografiya - mexanik, optik, fizik, fizik-kimyoviy va kimyoviy jarayonlarni o'z ichiga olgan murakkab integral texnologik jarayon. Bularga quyidagilar kiradi:

- dastlabki fotorezist material (fotorezist) ni tanlash, uni tozalash va qayta ishlash;
- tagliklarni tayyorlash (kimyoviy-dinamik tozalash);
- taglik yuzasida fotorezist plyonkalarini shakllantirish;
- issiqlik bilan ishlov berish, eksponirlash, ochiltirish, kimyoviy yemirish va boshqalar.

4.1. Fotorezistlar

Fotorezistlar - yorug'lik ta'sirida o'z xususiyatlarini, birinchi navbatda eruvchanligini o'zgartiradigan va kislota va ishqorli yemirgichlarga chidamli bo'lgan yorug'lik sezgir moddalar. Fotorezistlarning asosiy maqsadi yarimo'tkazgichli plastinka yoki boshqa har qanday taglik yuzasida kerakli mikrotasvir konfiguratsiyasiga ega yupqa himoya plyonka yaratishdir. Fotorezistning himoya plyonkasidagi mikrotasvirning relyefi plyonkaning alohida joylariga yorug'lik ta'siri va yoritilgan va yoritilmagan maydonlarning differentsial eruvchanligi natijasida olinadi. Yoritilgan fotorezist plyonkani ochiltirilgandan so'ng, uning bir qismi (kerakli mikrotasvir) taglikda qoladi va keyingi texnologik operatsiyalar paytida himoya niqobi sifatida xizmat qiladi, boshqa qismi esa olib tashlanadi.

Fotorezistlar - organik moddalarning murakkab monomer yoki polimer kompozitsiyalari. Monomer yorug'lik sezgir birikmalar tomonidan hosil qilingan fotorezist plyonkalarining himoya xususiyatlari past bo'ladi va fotolitografiya uchun monomerlar polimer asosiga qo'shimchalar sifatida ishlatiladi.

Yorug'lik ta'sirida fotorezistlarda sodir bo'ladigan jarayonlar asosiy fotokimyoviy qonunlarga bo'ysunadi:

- 1) yorug'likning fotorezist bilan o'zaro ta'sirida yutilgan yorug'lik nurlarigina fotokimyoviy faoldir;
- 2) yorug'likning kimyoviy ta'siri yorug'lik intensivligining uning ta'sir qilish vaqtiga ko'paytmasiga to'g'ri proportsionaldir;
- 3) yorug'likning har bir yutilgan kvantiga bitta reaksiyaga kirishuvchi molekula to'g'ri keladi.

Shuning uchun fotorezistda sodir bo'ladigan fotokimyoviy jarayonni tavsiflash uchun kvant chiqish tushunchasidan foydalanadilar, ya'ni reaksiyaga kirishgan molekulalar sonining yutilgan yorug'lik kvantlari soniga nisbati. Fotorezistda fotokimyoviy reaksiya sodir bo'lishi uchun foton energiyasi polimer molekulasidagi bog'ni uzish va atomlarni qayta tartibga solish uchun etarli bo'lishi kerak.

Kvant chiqish, fotokimyoviy reaksiyalar tezligi va ularning boshqarilishi ko'p jihatdan tushayotgan yorug'likning spektral tarkibi va intensivligi bilan belgilanadi va yoritilgan moddalarning kimyoviy tuzilishiga bog'liq. Spektral sezgirlikni boshqarish uchun fotorezistlarga maxsus moddalar - sensibilizatorlar qo'shiladi, ular yutilish maksimumini spektrning kerakli sohasiga siljitadi.

Yorug'lik energiyasini yutishda fotorezistlarda sodir bo'ladigan fotokimyoviy reaksiyalar murakkab va xilma-xildir. Modda molekulalarining fotokimyoviy o'zgarishlaridagi farq moddaning kimyoviy tuzilishi va nurlanish sharoitlari bilan belgilanadi.

Fotokimyoviy reaksiyalarning quyidagi turlari mavjud:

- fotoyemirilish;
- foto qayta tartibga solish;
- fotobiriktirib olish;
- foto ko'chish;
- foto tiklanish;
- fotosensibilizatsiya.

Fotoyemirilish - yorug'lik ta'sirida qo'zg'atilgan molekulaning faol qismlarga parchalanishi. Modda molekulasining tabiatiga qarab, fotodissosiyatsiya, ya'ni molekulaning neytral zarrachalarga - erkin radikallarga parchalanishi va fotoionlanish, ya'ni dastlabki molekulaning ionlarga parchalanishi farqlanadi.

Foto qayta tartibga solish - yorug'lik ta'sirida molekula skeletida atomlarning yangicha joylashishi (qayta joylashishi). Atomlarning ikki xil qayta joylashishi mumkin: fotoizomerlanish, ya'ni bir guruh atomlarning boshqasiga nisbatan aylanishi va fototaumerizatsiya, ya'ni alohida atomlarning molekulyar skeletning bir qismidan ikkinchisiga o'tishi.

Fotobiriktirib olish - qo'zg'aluvchi molekulaga boshqa molekula qo'shilishi. Fotobiriktirib olishning to'rt turi mavjud:

- *fotodimerizatsiya* - boshlang'ich moddaning ikkita molekulasidan yangi holat - dimer hosil bo'lishi;
- *fotokondensatsiya* - molekula tuzilishida yangi bog'lanishlar hosil bo'lishi;
- *fotogidroliz* - molekulaning suv bilan o'zaro ta'siri jarayoni;
- *fotooksidlanish* - qo'zg'atilgan molekulaga kislorod molekulasining qo'shilishi jarayoni.

Fotoko'chish - yorug'lik kvantini yutgan molekuladan elektronni uzib olish.

Fototiklanish - ba'zi moddalar bilan vodorod atomlarini osongina beradigan birikmalar ishtirokida sodir bo'lishi mumkin.

Fotosensibilizatsiya - qo'zg'alish energiyasini bir molekuladan ikkinchisiga yoki molekulaning bir qismidan ikkinchisiga o'tkazish.

Ko'p hollarda fotokimyoviy reaksiyalar bir vaqtning o'zida sodir

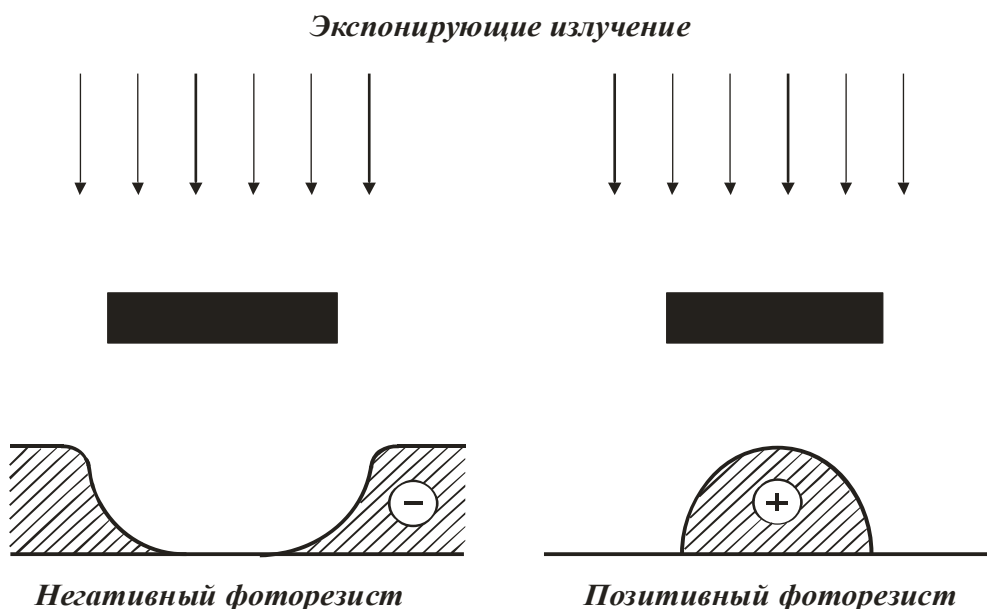
bo'lad. Molekulani qo'zg'atish uchun zarur bo'lgan energiya va demak, moddaning yutilish spektrining tabiati uning tuzilishiga bog'liq. Fotorezistlar ishlab chiqariladigan ko'plab polimer moddalar spektrning ultrabinafsha (UV) hududida yorug'likni yutadigan funktsional guruhlarni o'z ichiga oladi. Shunday qilib, karbonil guruhi uglerod-kislorod 270-360 nm mintaqada eng katta yutilishga ega va uglerod-uglerod guruhi 220-240 nm to'lqin uzunligi oralig'ida eng katta yutilishga ega.

Polimerning ichki fotosensitivligini unga maxsus qo'shimchalar - stabilizatorlar yoki sensibilizatorlarni kiritish orqali keng doirada o'zgartirish mumkin. Fotorezist plyonkaga tushgan yorug'lik nurlanishi unda faol markazlarni hosil qiladi, ular yorug'lik energiyasini fotorezist molekulasi tomonidan yutilishi natijasida faollashadi. Molekulalarning faollashuvi bevosita va sezgir bo'lishi mumkin. Birinchi holda, yorug'lik nurlanishini yutgan molekulalar to'g'ridan-to'g'ri reaksiyaga kirishadi, masalan, atomlarga ajraladi (fotoparchalanish) yoki boshqa molekulalar bilan birlashadi (fotoqo'shilish), ikkinchi holda, bu molekulalar reaksiyada qatnashmaydi, balki o'tadi. ularning energiyasi reaksiyaga qodir bo'lmagan normal holatdagi boshqa molekulalarga (fotosensibilizatsiya). Molekula yorug'likni o'zlashtirganda, u atrof-muhit bilan termodinamik muvozanatdan chiqib ketadi va boshqa molekulalar bilan to'qnashganda energiyani yo'qotadi va kimyoviy reaksiyalarni keltirib chiqaradi.

Shuni ta'kidlash kerakki, fotorezistning polimer bazasiga kiritilgan qo'shimchalarning ta'siri nafaqat qo'shimcha moddaning kimyoviy tuzilishi bilan, balki qo'shimchaning asl polimer bilan energetik o'zaro ta'siri bilan ham belgilanadi.

Turli polimerlar uchun bir xil qo'shimcha fotokimyoviy jarayonlarning stabilizatori va sezgirligi sifatida xizmat qilishi mumkin. Shunday qilib, polimerlarga organik birikmalarning qo'shilishi, ular yorug'likni yutib, qo'zg'aladi va qo'zg'alish energiyasini reaktiv polimer molekulalariga o'tkazadi, fotosensibilizatsiyalangan kimyoviy reaksiyaga sabab bo'lad, polimerning fotokimyoviy o'zgarishi paytida sensibilizatorning (qo'shimchaning) o'zi o'zgarishsiz qoladi.

Fotorezistlarda sodir bo'ladigan fotokimyoviy reaksiyalarning tabiatiga qarab, ular ikkita asosiy guruhga bo'linadi (4.1-rasm):



4.1-rasm. Ochiltirilgandan keyin fotorezistning tasviri

- 1) Salbiy (negativ) fotorezistlar fotopolimerizatsiya yoki fotokondensatsiya natijasida yorug'lik ta'sirida taglik yuzasida plyonkaning erimaydigan joylarini hosil qiladi, ular ochiltirishdan keyin sirtida qoladi. Taglik yuzasida qolgan fotorezistning namunasi (relyefi) yoritilgan fotoshablonning (fotomaska) salbiy tasviridir.
- 2) Ijobiy (pozitiv) fotorezist, aksincha, yorug'lik ta'sirida fotoparchalanish tufayli eriydigan joylarni hosil qiladi, ular odatda ochiltirish jarayonida taglik yuzasidan olib tashlanadi. Sirtida qolgan fotorezist qatlami yoritilgan fotoshablonning tasvirini aniq takrorlaydi

Pozitiv va negative fotorezistlar

Fotorezistlar (FR) kislota va ishqorlarga chidamli, ma'lum to'lqin uzunligidagi yorug'likka sezgir moddalardir.

Yorug'lik ta'sirida eruvchanligi ortuvchi FR lar pozitiv FR lar deyiladi, aksincha yorug'lik ta'sirida erimaydigan xolatga o'tuvchi FR lar negativ FR lar deyiladi.

Pozitiv FR dan foydalanilganda FSh dagi rasm yarim utkazgichli plastinada xuddi shunday xosil bo'ladi.

Negativ FR dan foydalanilganda rasmning aksi xosil bo'ladi.

Yarim utkazgichli IS lar texnologiyasida negativ FR sifatida polivinil sinnamat (PVS)- polivinil spirti murakkab efiri va korichna kislota ishlatiladi. Yorug'likka sezgirlik soxasi ultra binafsha nur. Kukun shaklida bo'lib oq yoki sariq rangga ega. Organik eritgichlar

toluol+xlorbenzol, atsetat metilinglikol+metoksilol aralashmalarida eriydi.

FR qatlamining kislotaga chidamliligi HF va HNO₃ kislotalarida katta emas. Ximoyalovchi FR qatlami qalinligi 0,5 mkm bo'lganda kremniyda yemirish mumkin bo'lgan chuqurlik 10 mkmdan, germaniyda 40 mkmdan oshmaydi.

Planar texnologiyasida polivinil sinnamat (PVS) FR ti SiO₂ qatlamini yemirgichdan ximoya qilish uchun ishlatiladi.

Pozitiv FR sifatida 1,2-naftoxinandiazit (2)-5-novolak sulfo efirining turli polimerlaridan iborat aralashma ishlatiladi. Eritgich sifatida spirtlar, ketonlar, aromat uglevodorodlar, dioksan ksilol ishlatiladi. Naftoxinandiazit (NXDA) FR tining yorug'likka sezgirligi ultra binafsha yorug'likda PVS FR tiga nisbatan katta to'lqin uzunligi tomonga surilgan. FR ning asosiy parametrlari:

- yorug'likka sezgirligi: xosil qilingan shaklning aniqligi.
- ajratish qobiliyati: FR yordamida 1mm da xosil qilish mumkin bo'lgan chiziqlar soni.
- kislotaga chidamliligi: ayrim nuqtalar va qirralarning kislotada yemirilish darajasi bilan baxolanadi.

Fotorezistlarning asosiy turlari va parametrlari

FR markasi	FR turi	FR rangi	Ajratish qobiliyati (chiziq/mm)	Ochiltiruvchiga chidamliligi (sekund)
FP-307	pozitiv	qizg'ish	500	90
FP-330	pozitiv	qizg'ish	400	60
FP-333	pozitiv	qizg'ish	500	180
FP-334	pozitiv	jigarrang	400	600
FP-383	pozitiv	qizg'ish	400	60
FP-RN-7-2	pozitiv	jigarrang	400	2400
FN-11	negativ	jigarrang	100	chidamli
FN-103	negativ	to'qqizil	50	chidamli
FN-106	negativ	sariq	200	chidamli
FN-108	negativ	qizg'ish	400	chidamli

4.2. Fotorezistlar uchun qo'llash mezonlari

Yarimo'tkazgichli qurilma va integral mikrosxemalar texnologiyasida fotorezistlarni qo'llashda e'tiborga olinishi kerak bo'lgan asosiy mezonlar - fotosezgirlik, ajratish qobiliyati, kislotaga chidamlilik, taglikga yopishish va ishlab chiqarishda qo'llash qobiliyati.

Har qanday fotorezistning fotosezgirliги eksponirlash va ochiltirish jarayonlarining funktsiyasidir. Eksponirlash jarayonining asosiy talabi fotorezistning spektral sezgirliги bo'lib, u fotosezgir materialning xususiyatlarini ma'lum bir o'lchash uchun zarur bo'lgan yutilgan yorug'lik energiyasiga teskari kattalik bilan o'lchanadi.

Fotorezistning spektral sezgirliги

$$S = 1/(E \cdot t) = 1/H, \quad (4.1)$$

bu erda E - fotorezistning yoritilishi, BT/M^2 ; t - yoritilish vaqti, sek;
 $H = Et$ - ta'sir qilish qiymati, $\text{BT} \cdot \text{sek.}/\text{M}^2$.

Shunday qilib, biz fotorezistlarning fotosezgirliги materialning fotosezgir qatlamining to'liq yoritilishi bilan bog'liq degan xulosaga kelishimiz mumkin. Biroq, fotolitografik jarayonning yakuniy maqsadi nafaqat fotorezistning to'liq yoritilishi, balki fotorezist qatlamida olingan mikrotasvir relefining yuqori sifatidir. Shuning uchun fotorezistlarning fotosezgirliğini yanada to'g'ri tavsiflash faqat ikkita jarayonni birgalikda ko'rib chiqish orqali berilishi mumkin: eksponirlash va ochiltirish.

Fotorezistni qo'llash usullari va rejimlari uning taglikga yopishishiga ta'sir qiladi. Taglik yuzasiga fotorezist qatlamini surishda fotorezist plyonkasi ostidan havo olib tashlanishini ta'minlash uchun vaqt talab etiladi.

Ishlab chiqarishda qo'llash qobiliyati sanoat sharoitida fotorezistlarning ishlab chiqarilishi istalgan tarkibdagi va kerakli fizik-kimyoviy xususiyatlarning fotorezistini tayyorlashning qulayligini anglatadi; uning taglik yuzasiga yupqa bir xil qalinlikdagi qatlam shaklida surilishi; fotorezist plyonkalarni quritish, ochiltirish va yemirish jarayonida ishlov berish qulayligi. Fotorezistlarni ishlab chiqarishda qo'llash qobiliyati, shuningdek, ularning fotosezgirliги va mexanik xususiyatlarini o'zgartirmasdan uzoq muddatli saqlashni ta'minlanishi. Ishlab chiqarishda muhim nuqta - fotorezistlarning o'zlari va ularni ochiltirish uchun ishlatiladigan eritmalarning zaharliligi. Ishlab chiqarish

qobiliyati fotorezistlardan foydalanish bilan bog‘liq jarayonlarni mexanizatsiyalash va avtomatlashtirish imkoniyatining mavjudligi:

- tayyorlash;
- nazorat;
- taglikka surish;
- quritish;
- eksponirlash;
- ochiltirish;
- taglikni yemirish;
- fotorezistni olib tashlash.

Yarimo‘tkazgichli asboblarni ishlab chiqarishning umumiy jarayonida fotorezistlardan foydalanish bilan bog‘liq xarajatlar qanchalik kam bo‘lsa, ular texnologik jihatdan rivojlangan.

4.3. Fotoshablonlar va ularni tayyorlash usullari

Planar texnologiyada fotolitografiya jarayonlarini amalga oshirish uchun fotoshablonlardan foydalaniladi. Yarimo‘tkazgichli asboblarni va integral mikrosxemalarni ishlab chiqarishda fotoshablon deb odatda shaffof materialdan yasalgan tekis-parallel plastinka ataladi, unda ma‘lum bir to‘lqin uzunligidagi yorug‘lik uchun shaffof va shaffof bo‘lmagan qismlardan tashkil topgan mikrotasvir mavjud bo‘lib, plastinkaning ishchi yuzasida mikrosxema yoki mikrosxemalar guruhining ko‘p marta takrorlangan topologiyasini tashkil qiladi.

Fotoshablonlar taglikga surilgan fotorezist qatlamida istalgan murakkablikdagi mikrotasvirlarni hosil qiladigan asosiy vositadir.

Fotoshablonning asosi optik oynadan iborat bo‘lib, mikrotasvir shisha yuzasiga fotografik usulda hosil qilinadi. Shisha plastinkadagi mikrotasvir yaratilgan materialga qarab, emulsiyali, metallashtirilgan va rangli (shaffof) fotoshablonlar deyiladi.

Emulsiyali fotoshablonlarda odatiy fotografiya usuli yordamida emulsiya qatlamida maksimal va minimal optik zichlikka ega mikrotasvir joylari yaratiladi. Ushbu turdagi fotoshablonlar uchun shaffof elementning zichligi (mikrotasvir maydoni) shisha taglik va kumush zarralari bo‘lmagan emulsiya qatlamining optik zichliklari yig‘indisiga teng.

Metallashtirilgan fotoshablonlarda mikrotasvir joylari yupqa xrom qatlami bilan yaratiladi. Ushbu fotoshablonlarda shaffof maydonlarning minimal optik zichligi shishaning optik zichligiga teng, maksimal

zichlik esa xromning deyarli shaffof bo'lmagan metall qatlamlariga to'g'ri keladi.

Metallashtirilgan fotoshablonlarning afzalliklari ularning ishqalanishga bardoshliligi, bu esa bir necha yuzgacha kontaktli eksponirlash imkonini beradi. Metallashtirilgan fotoshablonlarning kamchiliklari xrom plyonkasining yuqori aks ettiruvchiligi (50-60% gacha) va uning ko'rinadigan yorug'lik uchun shaffofmasligi.

Xrom qoplangan fotoshablonlar, shuningdek, xrom plyonkasidagi mikrorelefni yemirish jarayonida qirralarning kamroq notekis bo'lishi tufayli yuqori ajratish qobiliyatiga ega. Xrom plyonkasining yuqori aks ettirish xususiyati fotomaskaning shaffof bo'lmagan elementi ostida joylashgan fotorezistning periferik maydonlarining yoritilishiga olib keladi, bu esa asl naqshning shakli va hajmining o'zgarishiga olib keladi.

Xrom plyonkasining ko'rinadigan yorug'lik uchun shaffof bo'lmaganligi fotoshablon mikrotasvirini taglikdagi mikrotasvir bilan moslashtirishda sezilarli qiyinchiliklarga olib keladi, chunki fotoshablonning shaffof bo'lmagan joylari orqali moslashtirish elementini ko'rish mumkin emas.

Rangli fotoshablonlarda mikrotasvir temir oksidi plyonkasi yordamida amalga oshiriladi. Minimal optik zichlik, shuningdek, metallashtirilgan fotoshablonlar uchun shishaning optik zichligiga teng, maksimal zichlik esa ultrabinafsha diapazonida deyarli shaffof bo'lmagan temir oksidi plyonkalariga to'g'ri keladi.

Rangli fotoshablonlarning asosiy afzalliklari metallashtirilgan fotoshablonlarga nisbatan juda kam aks ettirish (10-15% gacha) va ko'rinadigan yorug'lik uchun shaffoflikdir.

Rangli fotoshablonlardan foydalanish kontaktli eksponirlash paytida yorug'lik aks etishi ta'sirini kamaytirish va shu bilan hosil bo'lgan mikrotasvirning sifatini sezilarli darajada yaxshilash imkonini beradi. Temir oksidi plyonkalarining ko'rinadigan yorug'likka shaffofligi rangli fotoshablon mikrotasvirini plastinkadagi mikrotasvir bilan oddiy va samarali tarzda moslashtirishga imkon beradi.

Fotoshablonlar mikrotasvir elementlarining tasviri qorong'u maydonda yorug' joylari ko'rinishida taqdim etilganda negativ (qorong'u maydon) va mikrotasvir elementlarining tasviri yorug'lik fonida shaffof bo'lmagan joylar shaklida taqdim etilganda pozitiv (yorug'lik maydoni) bo'lishi mumkin.

Fotoshablonlar uchun quyidagi asosiy talablar qo'llaniladi:

- mikrotasvir elementlarining geometrik o'lchamlarining yuqori aniqligi;

- fragmentlar orasidagi qadam o'lchamlarining aniqligi;
- vaqt o'tishi bilan mikrotasvir va uning o'lchamlari barqarorligi;
- ishqalanishga chidamliligi;
- ishchi yuzaning tekisligi;
- fotoshablonlar to'plamining o'zaro moslashishi.

Fotoshablon mikrotasvir elementlarining geometrik o'lchamlarining yuqori aniqligi yarimo'tkazgichli asboblarning faol elementlarini va mikrometrning o'ndan bir qismigacha bo'lgan o'lchamdagi integral sxemalarni olish zarurati bilan bog'liq. Fotoshablon mikrotasvirining alohida qismlari orasidagi qadamning aniqligi, birinchi navbatda, fotoshablonlar to'plamining bir-biri bilan moslashishi, shuningdek, planar texnologiyasining yakuniy bosqichida taglikni alohida parallelepipedlarga, ya'ni integral mikrosxemalarga bo'lish zarurati bilan belgilanadi.

Vaqt o'tishi bilan fotoshablon mikrotasviri va uning o'lchamlarining barqarorligi emulsiya fotoshablonlari uchun muhim talabdir, chunki uzoq muddatli saqlash va tashqi omillar (harorat, namlik) ta'sirida emulsiya plyonkasi deformatsiyalanishi mumkin.

Ishqalanishga chidamliligi barcha turdagi fotoshablonlar uchun asosiy talabdir. Buning sababi shundaki, mikrotasvirni fotoshablondan taglikga o'tkazish kontakt orqali amalga oshiriladi, ya'ni har bir eksponirlash jarayoni fotoshablon yuzasini plastinka yuzasiga kontaktli bosish bilan bo'ladi. Fotoshablonni taglikga qayta-qayta kontaktli bosish uning ishqalanishiga va fotolitografiya jarayoniga yaroqsiz holatga keladi.

Fotoshablon sirtining yuqori tekisligiga bo'lgan talab shundan kelib chiqadiki, kontaktli eksponirlash paytida fotoshablon va plastinka o'rtasida fotoshablondan o'tadigan yorug'likning sochilishiga olib keladigan bo'shliqlar bo'lmasligi kerak.

Fotoshablonlar to'plamining o'zaro moslashishi ularni yarimo'tkazgichli asboblardan va integral mikrosxemalar ishlab chiqarishda qo'llashning asosiy omilidir. Har bir fotoshablondagi mikrotasvirni o'zidan oldingi fotoshablondagi mikrotasvir bilan yuqori aniqlikda moslashtirish tayyorlanayotgan mikrosxemalarning parametrlari aynan bir hil va stabil bo'lishini ta'minlaydi.

Fotoshablonlar va ularni tayyorlash

Fotoshablon (FSh) fotolitografiya jarayonining asosiy quroli bo'lib, uning yordamida fotorezist (FR) qatlamini mikrosxema topologiyasiga mos xolda lokal yoritiladi.

FSh - ultra binafsha nurni yaxshi o'tkazuvchi ishchi yuzasiga mikrosxemaning malum bir qatlami topologiyasiga mos keluvchi plenkali (yorug'likni o'tkazmaydigan) mikrotasvir xosil qilingan tekis plastinka yoki egiluvchan polimer plenkadir. FSh tayyorlash uchun optik borosilikat shisha yoki polimer plenka ishlatiladi.

Plenkali mikrotasvir xosil qilish uchun kumush-galoidli fotoemul'siyadan foydalanilsa emul'siyali FSh deyiladi va ko'rinuvchi yorug'likni qisman o'tkazuvchi oksidlar yoki boshqa materiallar plenkasi foydalanilsa rangli FSh lar deyiladi.

FSh larni yarimo'tkazgich plastinasiga tez - tez jipslashtirish natijasida u yediriladi. Emulsion FSh lar 20 ta operatsiyaga yariydi, metall FSh lar 500 ta operatsiyaga yariydi.

FSh tayyorlashning bir qancha usullari mavjud. Optik mexanik usul bilan FSh tayyorlash uchun original rasmni $100 \div 1000$ marta kattalashtirib yorug'lik o'tkazmaydigan lak surilgan oynaga chiziladi. Lakni kesish uchun olmosli yoki karbid volframli keskichdan foydalaniladi. Original rasm o'tuvchi yorug'likda (tiniqlikni oshirish uchun) $50 \div 100$ marta kichraytirib fotoplastinkaga rasmga olinadi. Xosil qilingan foto original avtomat proeksiyalı fotoshtampga joylashtiriladi va foto originaldagi rasm kerakli o'lchamgacha kichraytirilgan xolda fotoshablonga tushiriladi va ko'paytiriladi (multiplikatsiyalanadi). Xosil qilingan etalon FSh ning ishchi nusxasini kontaktli qayta pechatlash orqali tayyorlanadi. Etalon FSh dan $20 \div 30$ ta nusxa ishchi FSh tayyorlash mumkin.

Emulsiyalı etalon FSh dan nusxa tayyorlash uchun optik shishaga xrom plenkasini vakuumda uchirib xosil qilinadi (qalinligi $\sim 1\text{mkm}$), FR suriladi va kontaktli pechat qilinadi (jipslashtirib yoritiladi-eksponirlanadi). Eksponirlab va ochiltirilgandan so'ng kislotada xrom yemiriladi. Tayyor bo'lgan FSh mustaxkamligini oshirish uchun $100 \div 150^\circ\text{C}$ da bir necha soat qizdiriladi, bunda xrom plyonkasining shishaga adgeziyasi (yopishqoqligi) ortadi.

Fotolitografiya jarayoni

Fotolitografiya jarayoni bir qancha operatsiyalardan iborat:

– Plastina sirtini tozalash. Buning uchun suyuq uch xlor etilenda (C_2Cl_3H) va uning bug‘ida yuviladi, azot kislotasida (HNO_3) qaynatiladi. Yuvish uchun toluol (C_7H_8), amilasetat, aseton (S_3N_6O) va etil spirti ishlatish mumkin.

– Fotorezist surish. Sentrofuga yordamida, purkash orqali, fotorezistga botirib va xakazo usullar bilan amalga oshiriladi.

– Fotorezist qatlamini quritish. $T=300\text{ K}$ da $15 \div 30$ minut, so‘ngra $T = 100 \div 120\text{ }^\circ\text{C}$ da $30 \div 60$ minut quritiladi. Infraqizil nurda yoki vakuumda xam quritish mumkin.

– Eksponirlash. Kontaktli usul bilan amalga oshiriladi. Yo‘ritilganda fotorezist qatlamining xossasi o‘zgaradi.

- Ochiltirish (proyavlenie). Negativ fotorezist bo‘lsa yoritilmagan (polimerlanmagan) soxalar fotorezistni tayyorlashda ishlatiladigan organik eritgichlar: toluol (C_7H_8), uchxlor etilen (C_2Cl_3H), xlorbenzol (C_6H_5Cl) da eritib yuboriladi.

Pozitiv fotorezistlarda yo‘ritilgan soxalarida indenkarbon kislota eruvchan tuzlarga aylanadi va kuchsiz ($0.3 \div 0.4$)% li ishqor NaOH yoki uch natriy fosfat eritmasida erib ketadi.

- Mustaxkamlash (zadublivaniya) – mikrotasvir xosil qilingan fotorezist plenkasini mustaxkamlash. Ishlatilayotgan fotorezist turiga qarab $130\text{ }^\circ\text{C}$ dan $260\text{ }^\circ\text{C}$ gachan oraliqdagi xaroratda bir soat davomida qizdiriladi.

- Xosil qilingan mikrotasvirning geometrik ulchamlarini mikroskop ostida tekshirish: eng ko‘p xosil bo‘ladigan fotolitografiya nuqsonlari mikrotasvir chetlarining notekisligi, fotorezist plenkasida teshiklar xosil bo‘lishi.

- SiO_2 qatlamini yemirish. Bu qatlamning fotorezist bilan ximoyalanmagan soxalari $30\text{ gr } NH_4F + 60\text{ ml } H_2O + 9\text{ ml } HF (48\%)$ yemirgichda yemiriladi. Tarkibida fosfor atomlari ko‘p bo‘lgan SiO_2 plenkasining HF da yemirilish tezligi toza SiO_2 yoki borli SiO_2 plenkasinikidan katta bo‘lgani uchun SiO_2 plenkasini HF da yemirish maqsadga muvofiq emas.

- Mustaxkamlangan fotorezist plenkasini ketkazish uchun sulfat kislotada (H_2SO_4) qaynatiladi yoki 10% li ishqor eritmasiga solinadi. Aluminiy plenkasini yemirish uchun negativ fotorezist bo‘lganda $5 \div 20\%$ li NaOH yoki KON ishlatiladi. Yemirish uchun $50 \div 80\text{ }^\circ\text{C}$ gacha qizdirish kerak, yemirish tezligi $200 \div 500\text{ A}^\circ/\text{min}$. Pozitiv fotorezist bo‘lganda aluminiyni yemirish uchun ortofosfor kislotasining 50 % li

eritmasiga solib, $60 \div 70$ °C gacha qizdiriladi. Quyidagi yemirgichdan xam foydalanish mumkin:

3.8 litr FeCl_3 +360 ml 38% li HCl

Xrom plenkasini yemirish uchun pozitiv fotorezist bo'lganda kuchsiz HCl dan foydalanish mumkin. Yemirish tezligi katta bo'ladi. Oltin plenkasini yemirish uchun pozitiv FR bulganda $1\text{HNO}_3+3\text{HCl}$ yemirgichdan foydalaniladi.

Tantal plenkasini yemirish uchun negativ fotorezist bo'lganda avval ishqorli eritmada tantal plenkasining oksid qatlami yemiriladi, so'ngra HF li yemirgichda tantal plenkasi yemiriladi.

4.4. Kontaktli fotolitografiya

Kontaktli fotolitografiya fotorezist surilgan taglikda mikrotasvir hosil qilish jarayonini o'z ichiga oladi. Bu jarayonda fotofablon bilan taglik bir-biriga jipslashtiriladi shuning uchun kontaktli fotolitografiya deb ataladi.

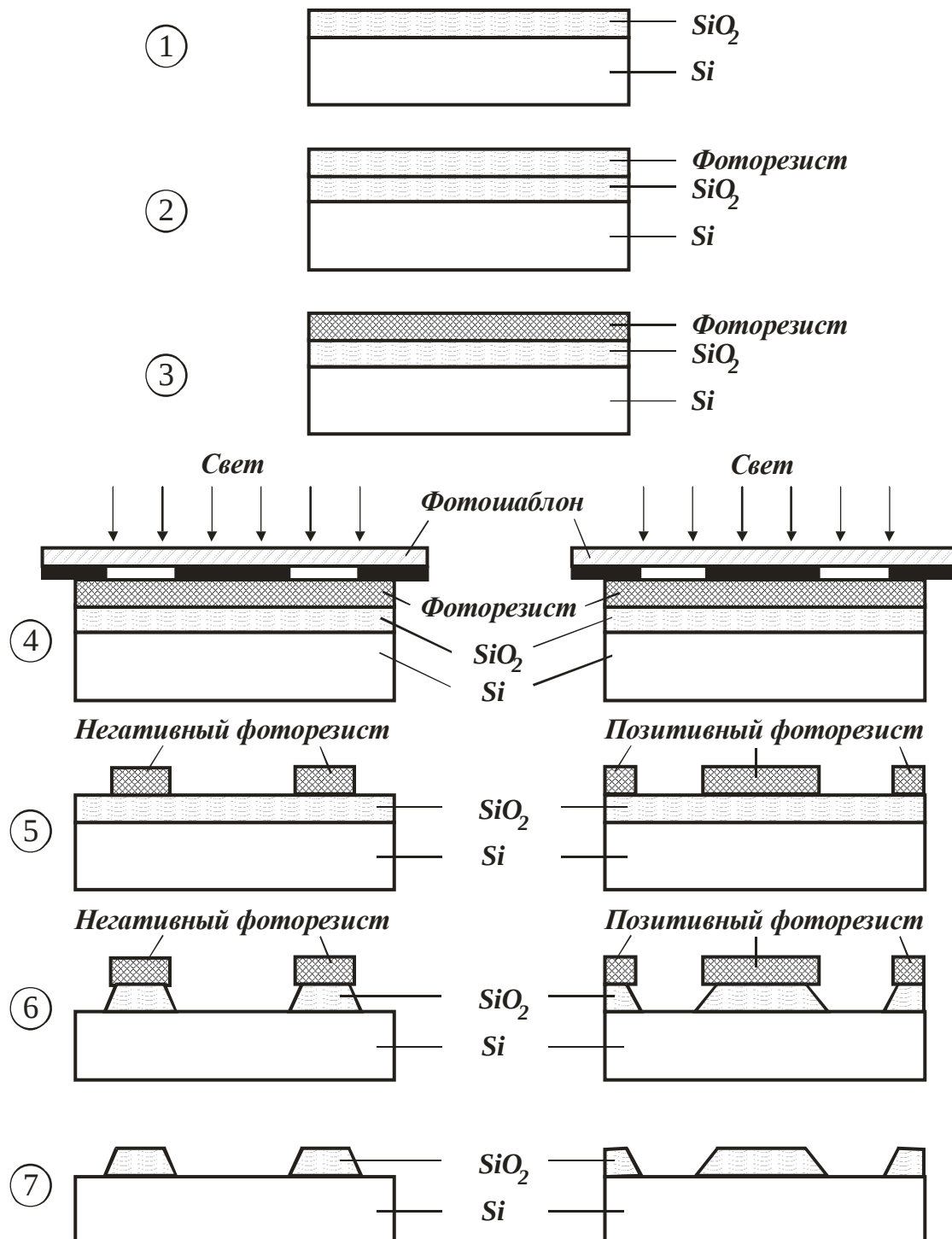
Planar texnologiyada fotolitografiyadan foydalanish bir taglikda ko'p sonli (o'nlab va yuz minglab) diskret elementlar va murakkab sxemalarni olish imkonini beradi.

Kontaktli fotolitografiyaning texnologik jarayoni 4.2-rasmda keltirilgan va quyidagi operatsiyalarni o'z ichiga oladi:

- 1 – taglik plastinkaning sirtini tayyorlash;
- 2 - taglikga fotorezist qatlamini surish;
- 3 - fotorezistni birinchi quritish - plyonka shakllanishi;
- 4 - fotoshablondagi mikrotasvirni taglikdagi mikrotasvir bilan moslashtirish va fotorezistni kontakt usuli bilan eksponirlash;
- 5 - fotorezistni ochiltirish va fotorezistni ikkinchi quritish - polimerizatsiyalash;
- 6 - taglikni yemirish;
- 7 - fotorezist plyonkani taglik yuzasidan olib tashlash.

Fotorezist plyonkasidagi mikrotasvir relyefini nazorat qilish mikroskop ostida vizual tarzda amalga oshiriladi. Taglikning butun ishchi yuzasini undagi fotorezist plyonkali mikrotasvir elementlari bilan tekshiriladi. Plenka sifatining quyidagi asosiy mezonlari nazorat qilinadi: fotorezist plyonkaning ish maydonining tozaligi, teshiklarning mavjudligi va ularning soni, relyef elementlarining geometrik

o'lchamlari, darchalardagi (pozitiv fotorezist bilan) yoki darchalar orqasida (negativ fotorezist bilan) fotorezistning to'liq olib tashlanmaganligi, mikrotasvir elementlari shaklining buzilishi, mikrotasvir relyefida g'ovak va pona mavjudligi.



4.2-rasm. Kontaktli fotolitografiya jarayonining sxemasi

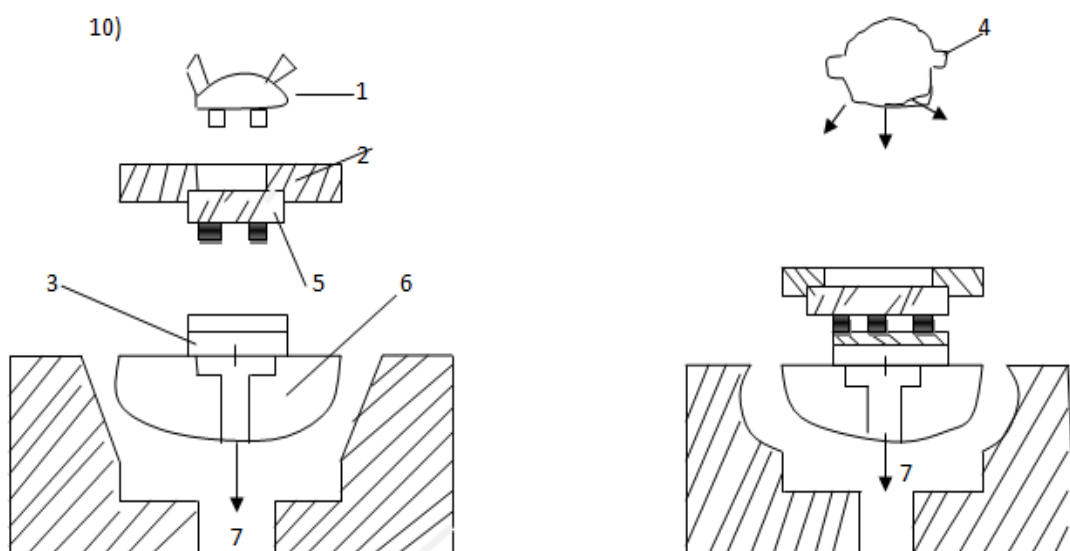
Agar fotorezist plyonkada nuqson aniqlansa, uning paydo

bo'lishining mumkin bo'lgan sabablarini tahlil qilish amalga oshiriladi. Shundan so'ng, fotolitografik jarayonning har-bir texnologik operatsiyasini tekshirish rejasi tuziladi.

Fotorezist plyonkadan mikrotasvirni yarimo'tkazgichli materiallardan (germaniy, kremniy, $A^{III}B^V$ tipidagi birikmalar va boshqalar) tayyorlangan taglikga, taglikda yotqizilgan dielektrik qatlamlar (SiO_2 va Si_3N_4), metall plyonkalar (Ni, Au, Al, Cu, Ag, Cr, Zn va boshqalar) va har xil turdagi qarshilik plyonkalariga o'tkazish mumkin. Har bir holat uchun ma'lum bir yemirgich tanlanadi va kimyoviy ishlov berishning optimal rejimi eksperimental ravishda tanlanadi.

Kontaktli eksponirlash (yoritish)

Integral sxema (IS) yaratish jarayonida fotolitografiya bir necha marta bajariladi. Ikkinchi fotolitografiyadan boshlab fotoshablondagi mikrotasvir bilan 1-fotolitografiyada yarimo'tkazgichli plastinka-taglikda xosil qilingan mikrotasvirni moslashtirish zarur bo'ladi. Moslashtirishni eksponirlashni amalga oshiruvchi qurilmada mikroskopda kuzatib turib oldingi fotolitografiyada yarimo'tkazgichli plastinkada xosil qilingan mikrotasvir bilan fotoshablondagi mikrotasvir fotoshablonni X va Y oqlari bo'yicha siljitish orqali moslashtiriladi.



4.3-rasm. Kontaktli eksponirlash qurilmasi

Qurilmanming asosiy qismlari quyidagilar:

- ikki soxani ko'ruvchi mikroskop (1)
- sferik asosga ega bo'lgan stol (6)
- fotoshablon o'rnatiladigan ramka (2)

- fotorezist surilgan yarimo'tkazgichli plastinka-taglik (3)
- ultrabinafsha nurli lampa (4)
- fotoshablon (5)
- Xavoni so'rib oluvchi sistema (7)

Fotoshablon bilan fotorezist qatlami yedirilmasligi (ishqalanmasligi), chizilib ketmasligi va sinmasligi uchun moslashtirish jarayonida fotoshablon bilan fotorezist oralig'ida 10 - 30 mkm bo'lgan mikrotirqish qoldiriladi. Moslashtirish aniqligiga bo'lgan talab ortishi bilan kattalashtirish qobiliyati yuqori bo'lgan (100 - 200^x) mikroskoplar ishlatiladi, bunda mos ravishda mikrotirqish kichrayadi. Ikki soxani ko'rsatuvchi mikroskop bir vaqtning o'zida yarimo'tkazgich plastina yuzasida bir - biridan uzoq ikki soxani ko'rish imkonini beradi.

Mikrotirqish o'rnatilgandan so'ng operator mikroskopda kuzatgan xolda nisbatan katta siljishlar bilan qator va ustun chiziqlarini moslashtiradi. So'ngra juda kichik siljishlar bilan moslashtirish uchun ishlatiladigan shakllarni moslashtiradi.

Moslashtirish bajarilgandan so'ng fotoshablon bilan yarimo'tkazgichli plastinka vakuum yoki havo bosimi yordamida jipslashtiriladi, ya'ni mikrotirqish yo'qotiladi.

Yorug'lik manbai-lampadan chiqayotgan nur spektridan fotorezistning yo'rug'likka sezgirlik spektrini ajratib olish uchun yo'rug'lik filtrlaridan foydalaniladi.

Ekspozitsionlashni bajarish jarayonida yarimo'tkazgichli plastinka yuzasidagi fotorezist plyonkasining butun yuzasi bir tekis yoritilishi uchun yorug'lik nurlarining parallel oqimi 1 ÷ 5 gacha kvars linzalaridan tashkil topgan kondensor yordamida xosil qilinadi.

Ekspozitsionlash vaqti elektromagnit bilan boshqariladigan yorug'likni to'sgich yordamida 0,05 ÷ 0,1 sek tezkorlik bilan amalga oshiriladi. Ekspozitsionlash vaqti 1 sekunddan 2 minutgacha bo'lgani uchun bu tezkorlik yoritish vaqti aniqligi yuqori bo'lishini ta'minlaydi.

Kontaktli ekspozitsionlashning kamchiliklari:

Emulsiyali fotoshablonning juda tez yedirilishi tufayli konveerni tez-tez to'xtatib fotoshablonni almashtirib turish kerak bo'ladi. Bu esa kontaktli ekspozitsionlash jarayonini avtomatlashtirish imkonini cheklaydi. Fotoshablon bilan yarimo'tkazgichli plastinka jipslashtirilganda fotoshablondagi chang zarralari, shishaning mikrozararlari fotorezist qatlamiga botadi. Fotoshablonga fotorezist zarralari yopishib qoladi. Fotoshablon bilan fotorezist o'rtasiga tushib qolgan ultrabinafsha nurni

o'tkazmaydigan xar qanday zarra xosil qilinayotgan fotorezistli maskada nuqsonlar xosil qiladi.

Amalda fotoshablon bilan fotorezistni to'liq jipslashtirib bo'lmaydi, chunki yarimo'tkazgichli plastinka ayniqsa epitaksial qatlamli, egrilangan bo'ladi, ya'ni jipslashtiriluvchi sirtlar ideal tekis emas. Jipslashtiriluvchi sirtlar orasida begona zarralar mavjud. Yarimo'tkazgichli plastinka sirtidagi plyonkalar va fotorezist qatlami qalinligi bir tekis emas.

Shunday qilib fotoshablon bilan yarimo'tkazgichli plastinkani jipslashtirganda ular orasida qisman xavo bo'shliqlari qoladi. Bu esa yorug'likning difraksiyalanishiga va natijada fotoshablondan fotorezistga ko'chirilayotgan mikrotasvir o'lchamlarining kattalashishiga sabab bo'ladi. Shuncha kamchiligiga qaramay kontaktli eksponirlash usuli keng qo'llaniladi. Chunki yetarli darajada o'rganilgan, narxi arzon va unumdorligi yuqori usuldir. Fotoshablon bilan fotorezist jipslashgani tufayli ko'chirilayotgan mikrotasvir aniqligi katta bo'ladi.

4.5. Proyeksiyali optik fotolitografiya

Kontaktli fotolitografiyadan farqli proektsiyali fotolitografiya usulidan foydalanib, mikrotasvirni fotoshablondan taglikga fotorezist plyonkasi yordamida o'tkazish mumkin. Proyeksiyali fotolitografiyadan foydalanganda fotoshablonni taglik bilan jipslashtirilmaydi. Bu holda fotoshablonlarning chidamliligi nazariy jihatdan cheksiz bo'ladi.

Proyeksiyali fotolitografiya usulida kontaktli fotolitografiyaga xos bo'lgan kamchiliklar bo'lmaydi. Shunday qilib, tasvirni uzatishning proyeksiya usuli bilan, fotoshablondagi mikrotasvir yuqori aniqlikdagi maxsus linzalar orqali taglik yuzasiga proektsiyalanadi va mikrotasvirlarni moslashtirish ham shu linza yordamida amalga oshiriladi. Linzalar maydonining chuqurligi muammosi va u bilan bog'liq bo'lgan fotoshablon va taglik o'rtasida kichik bo'shliqlarni o'rnatishning aniqligi muammosi ham yo'q qilinadi, chunki operator fotoshablonning bir tekisligida yoki taglik tekisligida mikrotasvirlarni moslashtirishi mumkin.

Shunday qilib, proektsion fotolitografiya usuli moslashtirishning aniqligini oshiradi, moslashtirish jarayonining o'zini soddalashtiradi va moslashtirish jarayonining vaqtini qisqartiradi. Proyeksiyali fotolitografiya uchta usulda amalga oshirilishi mumkin.

Birinchi usul fotoshablon mikrotasvirning barcha elementlarini bir vaqtning o'zida fotorezist surilgan taglik yuzasiga proektsiyalash orqali o'tkazishni o'z ichiga oladi.

Ikkinchi usul, fotorezist surilgan taglik yuzasiga alohida bo'laklar yoki modullarning ketma-ket element-element (bosqichma-bosqich) proektsiyasini o'z ichiga oladi.

Uchinchi usul, kompyuterdan ma'lum bir dastur tomonidan boshqariladigan, ma'lum bir o'lchamga yo'naltirilgan yorug'lik nurlari bilan taglikning fotorezist qatlamida mikrotasvirni ketma-ket chizishga asoslangan.

Birinchi usul proyeksiyali fotolitografiyada eng keng qo'llanilishini topdi. Ikkinchi usul foto shtamlarda fotoshablon mikrotasvirlarining alohida modullarini taglikning ish maydoni bo'ylab ko'paytirish uchun ishlatiladi. Uchinchi usul fotoshablonlarni ishlab chiqarishda qo'llaniladi.

Proyeksiyali fotolitografiya jarayonlarini amalga oshirishda optik tizimning alohida komponentlari: yorug'lik manbai - linza - fotorezistning muvofiqligi hisobga olinadi. Bu yorug'lik manbasini tanlash va uni ishlatiladigan fotorezistning spektral sezgirliги bilan moslashtirish uchun kerak.

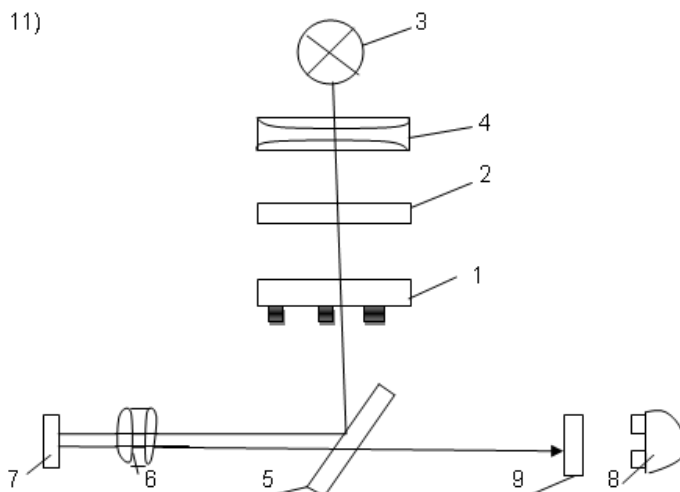
Proeksiyali eksponirlash.

Fotoshablondagi mikrotasvirlarning proeksiyasi maxsus ob'ektivli optik sistema yordamida fotorezist plenkasiga tushiriladi (yarimo'tkazgichli plastinka yuziga surtilgan). Fotoshablon bilan fotorezist surilgan yarimo'tkazgichli plastinka bir biridan uzoq joylashgani uchun fotoshablon yedirilmaydi.

Proeksiyali eksponirlash qurilmasi quyidagilardan iborat (4.4-rasm): 1- fotoshablon, 2- yorug'lik filtrlari, 3- yorug'lik manbai, 4- optik sistema (kondensor), 5- yarim shaffof shisha kuzgu, 6- proeksiyalovchi ob'yektiv, 7- fotorezist surilgan yarimo'tkazgichli plastinka, 8- mikroskop, 9- ekran.

Yorug'lik nuri kondensorda yigilib, fotoshablonga tushiriladi. Fotoshablondagi rasm yarim shaffof kuzgu yordamida proeksion ob'yektivga va undan yarimo'tkazgich plastinka yuzasidagi fotorezist plyonkasiga tushiriladi. Yarimo'tkazgich yuzasidan qaytgan nur ob'yektiv va shaffof kuzgu orqali o'tib ekranga tushadi va mikroskop orqali kuzatiladi. Mikroskopda kuzatib turib yarimo'tkazgichda oldingi

fotolitografiyada xosil qilingan mikrotasvir bilan fotoshablondagi mikrotasvir moslashtiriladi. Bunda yorug‘lik filtrlari yordamida fotorezistga ta’sir qilmaydigan nur bilan yoritiladi. So‘ngra yorug‘lik filtrlarini uzgartirib fotorezist plyonkasi eksponirlanadi.



4.4-rasm. Proeksiyalı eksponirlash qurilmasi sxemasi

Proeksion eksponirlashning cheklangan xolda qo‘llanilishiga sabab:

- katta yuzaga proeksiyalashda ishlatiladigan yuqori ajratish qobiliyatiga ega bo‘lgan ob’yektivlarni yaratishning murakkabligi.
- barcha texnologik jarayonlarda yarimo‘tkazgichli plastina sirtida tekislikni birday ta‘minlab bo‘lmaydi.
- fotorezist plyonkasi qalinligining bir tekisligiga va qaytadan shunday qiymatga ko‘p marta erisha olishga yuqori talab qo‘yiladi.

4.6. Fotolitografik jarayondagi nuqsonlar

Fotolitografiyaning turli bosqichlarida yuzaga keladigan barcha nuqsonlarni to‘rtta asosiy guruhga bo‘lish mumkin.

Birinchi guruh - fotoshablonlardan foydalanish bilan bog‘liq nuqsonlar - fotorezist plyonkada tasvir rel’yefi hosil bo‘lgan asosiy vositalar.

Ikkinchi guruh - fotorezist plyonkaning sifati va uni ishlab chiqarish usullari bilan bog‘liq nuqsonlar.

Uchinchi guruh - fotorezist plyonka ta’sirida paydo bo‘ladigan nuqsonlar.

To‘rtinchi guruh - bu tasvirni fotorezistli plyonkadan taglikga

o'tkazish jarayoni bilan bog'liq nuqsonlar, ya'ni taglikni mahalliy yemirish jarayonlari.

Fotoshablonlardagi nuqsonlar butun fotolitografiya jarayonining sifatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Fotoshablonlarning kamchiliklari sirtida mexanik shikastlanishlar (tirmalgan, chizilgan, siniqlar), mikrotasvirning qorong'i maydonidagi teshiklar va yorug'lik maydonidagi noaniq nuqtalar, notekis qirralar, mikrotasvir elementlarining shakli va o'lchamlarini asl ma'lumotlarga nisbatan fotoshablondagi farqi, fotoshablonlar to'plamidagi elementlarning mos kelmasligini o'z ichiga oladi. Ushbu nuqsonlarni diqqat bilan kuzatib borish va past sifatli fotoshablonlarni ishga tushirishdan oldin rad etish fotolitografiya operatsiyalaridagi nuqsonlarning umumiy foizini kamaytirishi mumkin.

Fotorezist plyonkadagi nuqsonlar uni taglik yuzasiga qo'llash paytida paydo bo'ladi va noto'g'ri tanlangan texnologik rejim bilan bog'liq. Fotorezist plyonka nuqsonlari orasida plyonka qalinligining ortiqcha yoki kamayishi, ish maydoni bo'ylab plyonka qalinligining o'zgarishi va taglikga plyonka yaxshi yopishmasligi kiradi.

Plyonkaning qalinligi va qalinligining o'zgarishi ham plyonkani qo'llash usuli bilan, ham taglik yuzasini oldindan ishlov berish bilan belgilanadi. Fotorezist plyonkaning notekisligini keltirib chiqaradigan asosiy omillar fotorezistning haddan tashqari qalinligi, sentrifuga diskining past aylanish tezligi, sentrifuga diskining gorizont tekislikdan chetlanishi va uning noto'g'ri joylashishi bo'lishi mumkin. Fotorezist plyonkaning taglikga yopishishi taglikning tozaligi, fotorezistning tozaligi va qo'llash usuli bilan ta'sir qiladi.

Shuni ta'kidlash kerakki, fotorezist plyonkada ushbu nuqsonlarning paydo bo'lishi ushbu operatsiyani bajarishda rad etish mezonini bo'lib xizmat qiladi. Rad etilgan fotorezist plyonkali tagliklar "fotorezistni olib tashlash" operatsiyasiga yuboriladi. Tegishli sirt tayyorlashdan so'ng ular yana "fotorezistni qo'llash" operatsiyasiga yuboriladi.

Shunday qilib, fotolitografiya jarayoni takrorlanadi, bu ma'lum iqtisodiy xarajatlarni talab qiladi, lekin taglikning dastlabki parametrlari o'zgarmaydi. Bu yarimo'tkazgichli qurilmalarning umumiy ishlab chiqarish siklida juda muhim nuqta.

Agar fotorezist plyonkaning sifati fotolitografiya jarayonining talablariga javob bersa, u holda u o'z nuqsonlari guruhini yaratishi mumkin bo'lgan operatsiyalarga yuboriladi. Ushbu operatsiyalar fotorezistning ta'siri va rivojlanishini o'z ichiga oladi.

Ekspozitsiya va ochiltirish operatsiyalari fotorezist plyonkada teshilishlar, diffraksiya, yorug'likning sochilishi va aks etishi ta'siri tufayli fotorezist plyonkaning nurlangan va nurlanmagan joylari hajmining o'zgarishi, mikrotasvir elementining notekis qirralari, pona hosil bo'lish kabi nuqsonlarga olib kelishi mumkin. Fotorezist plyonkadagi teshiklar ikki sababga ko'ra yuzaga keladi: fotorezist plyonkada begona qo'shimchalar mavjudligi va past sifatli yoki juda eskirgan fotoshablonlardan foydalanish. Mikrotasvir elementlarining geometrik o'lchamlarining o'zgarishi fotoshablon va fotorezistli taglik o'rtasida bo'shliq mavjudligi bilan bog'liq. Ekspozitsiya paytida elementlarning yomon jipslashishi yorug'lik diffraksiyasining ta'siri tufayli fotoshablondan taglikga o'tkaziladigan mikrotasvirning o'zgarishiga olib keladi. Fotorezist plyonkada 0,3-0,5 mkm o'lchamdagi subpolimer zarralari mavjudligi sababli elementning chetida o'simtlar va chuqurliklar ko'rinishidagi notekisliklar hosil bo'lishi mumkin. Bunday zarrachalarning paydo bo'lishi ishchi kompozitsiyalarda quruq fotorezistning to'liq eruvchanligi bilan bog'liq. Ushbu nuqsonni oldini olish uchun fotorezistni ehtiyotkorlik bilan filtrlash kerak. Fotorezist plyonkadagi pona shakllanishini ekspozitsiyani optimallashtirish va ma'lum turdagi ochiltirgichidan foydalanish orqali kamaytirish mumkin.

Ko'rsatilgan nuqsonlarga qo'shimcha ravishda, ekspozitsiya va ochiltirish jarayonlari etarli darajada bajarilmagan taqdirda, fotorezist plyonka qoldiqlari bilan bog'liq nuqsonlar bo'lishi mumkin, bu erda uni butunlay olib tashlash kerak bo'ladi va aksincha to'liq saqlanishi kerak bo'lgan joylardan fotorezistning bir qismini olib tashlash. Ushbu turdagi nuqsonni ekspozitsiya va ochiltirish vaqtini aniq tanlash orqali yo'q qilish mumkin.

Mikrotasvir fotorezist plyonkadan taglikga o'tkazilganda, ya'ni mahalliy yemirish jarayonida paydo bo'ladigan nuqsonlar yakuniy hisoblanadi va ularni tuzatib bo'lmaydi. Ushbu nuqsonlar yemirish jarayonida fotorezist plyonkaning taglikdan to'liq yoki qisman ko'chishini o'z ichiga oladi.

5. DIFFUZIYA USULI BILAN TUZILMALAR OLIISH

Yarimo‘tkazgichli kristallarga legirlash kirishmalarining diffuziyasi o‘tgan asrning 60-yillarida sanoat ishlab chiqarishida qollanila boshlandi va har xil turdagi yarimo‘tkazgichli asboblari va ISlarni ishlab chiqarishda elektr jihatdan geterogen tuzilmalarni yaratishning asosiy texnologik usuli hisoblanadi. Diffuziyani amalga oshirish uchun yarimo‘tkazgich plastinkasini diffuziya pechining yuqori haroratgacha qizdirilgan kvarts trubasiga joylashtiriladi. Kirishma moddasi bug‘lari kvarts truba orqali o‘tkaziladi, ular plastinka yuzasida adsorbsiyalanadi va yarim o‘tkazgichning kristall panjarasiga tarqaladi.

Planar texnologiyada diffuziyaning o‘ziga xos xususiyatlari shundaki, kirishmalar yarimo‘tkazgichli plastinkaga mahalliy ravishda himoya niqobi bilan cheklangan darchalar orqali kiritiladi va jarayonning o‘zi ikki bosqichda amalga oshiriladi: birinchi bosqichda kerakli miqdordagi kirishmani yupqa qatlamga kiritib olish va ikkinchi bosqichda bu qatlamdagi kirishmani kerakli chuqurlikgachan va kerakli konsentratsiyada tez tarqatish. Muhim texnologik omillar diffuziya usullari va diffuzantlarning turlari hisoblanadi.

Diffuziya tuzilmalarining texnologik hisob-kitoblari amaliyotida berilgan diffuziya rejimlari (diffuziya vaqti va harorati) uchun kirishmalarning tarqalish profillarini aniqlash masalalari va teskari masalalar - ma‘lum turdagi kirishmalar, uning konsentratsiyasi va p-n - o‘tish chuqurligi asosida diffuziyaning vaqti va haroratini aniqlash keng tarqalgan. ISni yaratish bitta taglikga joylashtirilgan alohida elementlarni izolyatsiya qilish uchun diffuziya usullarini ishlab chiqishni, shuningdek, nafaqat faol, balki passiv elementlarni (rezistorlar, kondensatorlar) ishlab chiqarishni talab qildi. Kirishma atomlarini diffuziya usuli bilan kiritish ularning yarimo‘tkazgichning kristall panjarasiga ta‘siri bilan birga keladi, bu esa diffuziya tuzilmalarida nuqsonlarning paydo bo‘lishiga olib keladi. Diffuziya jarayonini o‘zlashtirish uchun nuqsonlarning shakllanish xususiyatlarini va bunday nuqsonlarni bartaraf qilishning mumkin bo‘lgan usullarini bilish kerak. Bunga ko‘p jihatdan diffuziya tuzilmalarini kuzatish usullari yordam beradi: p-n - o‘tish chuqurligini, sirt qarshiligi va konsentratsiyasini, dislokatsiya zichligini o‘lchash.

5.1. Diffuziya jarayonida kirishma atomlarining taqsimoti

Kirishma atomlarining qattiq jismlarda diffuziyasi ular konsentratsiyasining kamaytishi yo'nalishi bo'yicha xaotik issiqlik harakati tufayli sodir bo'ladi. Atomlarning mikroskopik harakati bo'sh joylar yoki oraliqlar bo'ylab sodir bo'ladi. Yarimo'tkazgichlarda asosiy kirishma atomlarining diffuziyasi kristall panjara tugunlaridagi bo'sh joylar bo'ylab sodir bo'ladi, boshqa kirishmalar esa tugunlar orasidagi bo'shliqlar orqali sodir bo'ladi. Yarimo'tkazgich texnologiyasida ikkita holat eng katta qiziqish uyg'otadi:

1. Agar diffuziya boshlang'ich momentda cheksiz yupqa sirt qatlamida joylashgan **cheklangan miqdorga ega bo'lgan manbadan** amalga oshirilsa, u holda konsentratsiyaning taqsimot profili quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$C(x,t) = \frac{N}{\sqrt{\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right), \quad (5.1)$$

Bu erda N - diffuziya vaqtida doimiy, birlik sirt yuzasidagi kirishma atomlarining zichligi, at./sm²; x - berilgan konsentratsiyaga mos keladigan chuqurlik, sm; D - kirishma diffuziya koeffitsienti, sm²/c; t - diffuziya davomiyligi, s.

Diffuziya p-n - o'tish chuqurligi:

$$x_j = 2\sqrt{Dt} \sqrt{\ln(C_0/C_B)}, \quad (5.2)$$

bu erda C_B - yarimo'tkazgich plastinkadagi mavjud kirishma konsentratsiyasi. C_0 - diffuziya qilinayotgan kirishma atomlarining plastinka sirtidagi konsentratsiyasi (5.1da $x = 0$ bo'lsa):

$$C_0 = \frac{N}{\sqrt{\pi Dt}}. \quad (5.3)$$

Ko'pgina amaliy holatlar uchun p-n - o'tish chuqurligi:

$$x_j \approx 6\sqrt{Dt}. \quad (5.4)$$

1. Agar diffuziya C_0 kirishma atomlarining doimiy sirt konsentratsiyasiga ega bo'lgan manbadan amalga oshirilsa, u holda taqsimlanish quyidagi shaklga ega bo'ladi:

$$C(x,t)=C_0\operatorname{erfc}\frac{x}{2\sqrt{Dt}}. \quad (5.5)$$

Soddalashtirish uchun erfc funktsiyasi o'rniga quyidagi taxminiylikdan foydalanish mumkin

$$\operatorname{erfc}\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\approx\exp\left[-\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}+0.3\right)^2\right]. \quad (5.6)$$

Bunday holda, p-n – o'tish chuqurligi

$$x_j=2\sqrt{Dt}\left(\sqrt{\ln\frac{C_0}{C_B}}-0.3\right) \quad (5.7)$$

Bir qancha kirishmalarning ketma-ket diffuziyasida yarimo'tkazgich plastinkasi bir necha marta diffuziya sikllariga duchor bo'ladi. Bu holda $C(x,t)$ ni hisoblash uchun quyidagi yig'indidan foydalaniladi:

$$Dt = D_1t_1 + D_2t_2 + D_3t_3 + \dots \quad (5.8)$$

Diffuziya usuli bilan hosil qilingan elektron-kovak o'tishlarida kirishmalar silliq taqsimlanishiga ega bo'lib, uning tikligi konsentratsiya gradienti a bilan tavsiflanadi.

Silliq, shuningdek, keskin, p-n - o'tish tushunchasi ideallashtirilgan. Diffuziya chuqurligi ortib borishi va boshlang'ich plastinkada kirishma miqdori yuqori bo'lganda o'tish silliqroq va hajmiy zaryad sohasida (HZS) kirishmalarning chiziqli taqsimotiga ega bo'lgan p-n - o'tish modeliga yaxshiroq mos keladi. Diffuziya chuqurligi va dastlabki plastinkada kirishma konsentratsiyasi qanchalik kichik bo'lsa, o'tkir o'tishga yaqinlashish shunchalik yaxshi bo'ladi.

1. Planar texnologiyada diffuziya. Planar texnologiyada diffuziya ikki bosqichda amalga oshiriladi, bu ayniqsa yaxshi boshqariladigan past

sirt konsentratsiyasi kerak bo'lganda muhimdir. Avval cheksiz manbadan qisqa diffuziya amalga oshiriladi - haydash. Sirt konsentratsiyasi kirishmaning maksimal eruvchanligi yoki diffuzant manbadagi kirishmaning tarkibi bilan belgilanadi. Keyin plastinkalar diffuziya qurilmasidan chiqariladi va shishasimon qatlam yemiriladi, asosan oksidlovchi atmosferada haydash paytida kremniy yuzasida hosil bo'ladi va borosilikat yoki fosforilikat shishalariga yaqin tarkibga ega. Tozalangandan keyin plastinkalar diffuziyaning ikkinchi bosqichi uchun toza pechga joylashtiriladi – diffuziyani tezlashtirish, yuqori haroratda amalga oshiriladi, shuning uchun $D_2t_2 \gg D_1t_1$. Diffuziyaning birinchi bosqichida hosil bo'lgan yupqa diffuziya qatlami cheklangan miqdordagi kirishma manbaidir.

Planar p-n – o'tishlari o'zlarining geometrik konfiguratsiyasi bilan oddiy tekislikli p-n – o'tishlardan sezilarli farqqa ega. Planar texnologiyada p-n – o'tishi kremniy dioksidining himoya qatlamidagi darchalar orqali yarimo'tkazgichning asosiy qismiga kirishmalarning tarqalishi orqali hosil bo'ladi. Bunday holda, kirishma nafaqat chuqurlikka, balki himoya niqobining ostki yuzasi bo'ylab tarqaladi va shu bilan p-n - o'tishning plastinka yuzasiga chiqqan qismi himoya niqobining ostida qoladi va passivatsiya bo'ladi. Olingan p-n o'tish 5.1 rasmda ko'rsatilganidek, taxminan silindrsimon shaklga ega bo'lgan tekis qism va chekka hududlardan iborat (1-raqam o'tishning silindrsimon qismlarini belgilaydi). Himoya niqobining burchaklari borligi sababli, burchaklar yaqinidagi o'tish shakli sharsimonga yaqin. Ushbu joylar 5.1 rasmda 2 raqami bilan ko'rsatilgan. Agar p-n - o'tish joyi tor tirqish konfiguratsiyasiga ega bo'lgan darcha orqali diffuziya yo'li bilan olingan bo'lsa, uning kengligi diffuziya chuqurligiga yaqin bo'lsa, u holda p-n - o'tish yarim silindr shakliga ega. Dumaloq darcha orqali diffuziya natijasida hosil bo'lgan p-n - o'tish, agar darcha radiusi p-n - o'tish chuqurligiga teng yoki undan kam bo'lsa, yarim sharning shakliga ega.

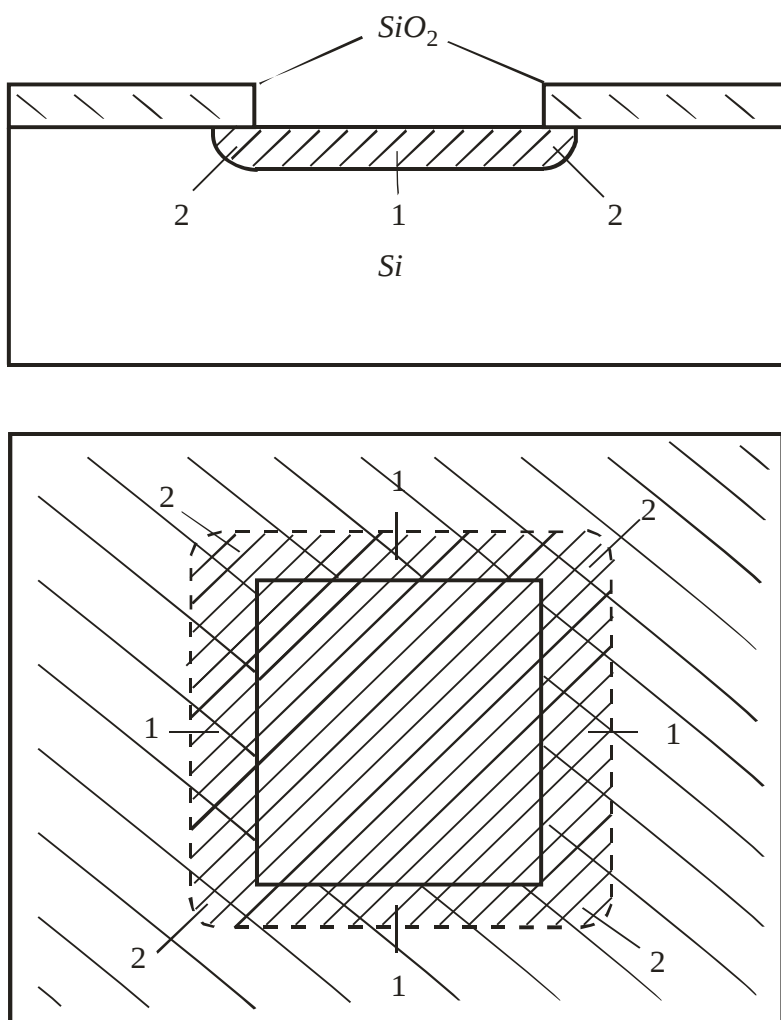
Planar p-n - o'tish joylarining sayoz chuqurligi, odatda 10 mkm dan oshmaganligi sababli, ular himoya niqobining chetida katta egrilikka ega; bu tok chiziqlarining qisqarishiga, elektr maydonining mahalliy o'sishiga va ko'chki teshilish kuchlanishining pasayishiga olib keladi. Yassi qismdagi kichik planar o'tishlarning tuzilishi keskin o'tishlarga o'xshaydi. Rasm 5.1, a, p-n - o'tish yon tomonlarining egrilik radiusi r_j taxminan p-n - o'tish chuqurligi x_j ga teng. p-n - o'tishning tekis qismi uchun egrilik radiusi cheksizlikka intiladi va teshilish kuchlanishi

maksimaldir. R_j ning ma'lum bir qiymatida va bir xil kirishma kontsentratsiyasida sferik p-n - o'tishning teshilish kuchlanishi silindrsimondan past bo'ladi.

Si, Ge, GaAs va GaP dagi planar p-n - o'tishlarning teshilish kuchlanishini hisoblash uchun quyidagi formuladan foydalaniladi:

$$U_{npob}^* = U_{npob} \left\{ \left[(n + \gamma + 1) \gamma^n \right]^{1/(n+1)} - \gamma \right\} \quad (5.11)$$

Bu yerda U_{prob} - p-n - o'tishning yassi qismining teshilish kuchlanishi, silindrsimon uchun $n=1$ va sferik o'tish uchun $n=2$; $\gamma = r_j/w$ (w - keskin p-n - o'tish joyining hajmiy zaryad sohasining kengligi).



5.1-rasm. Diffuziyali planar p-n - o'tish geometriyasi:
a – yon tomondan ko'rinishi, b – ust tomondan ko'rinishi.

Planar texnologiyada diffuziya p-n - o'tishlarini olishning yana bir xususiyati diffuziya operatsiyalaridan keyin amalga oshiriladigan bir

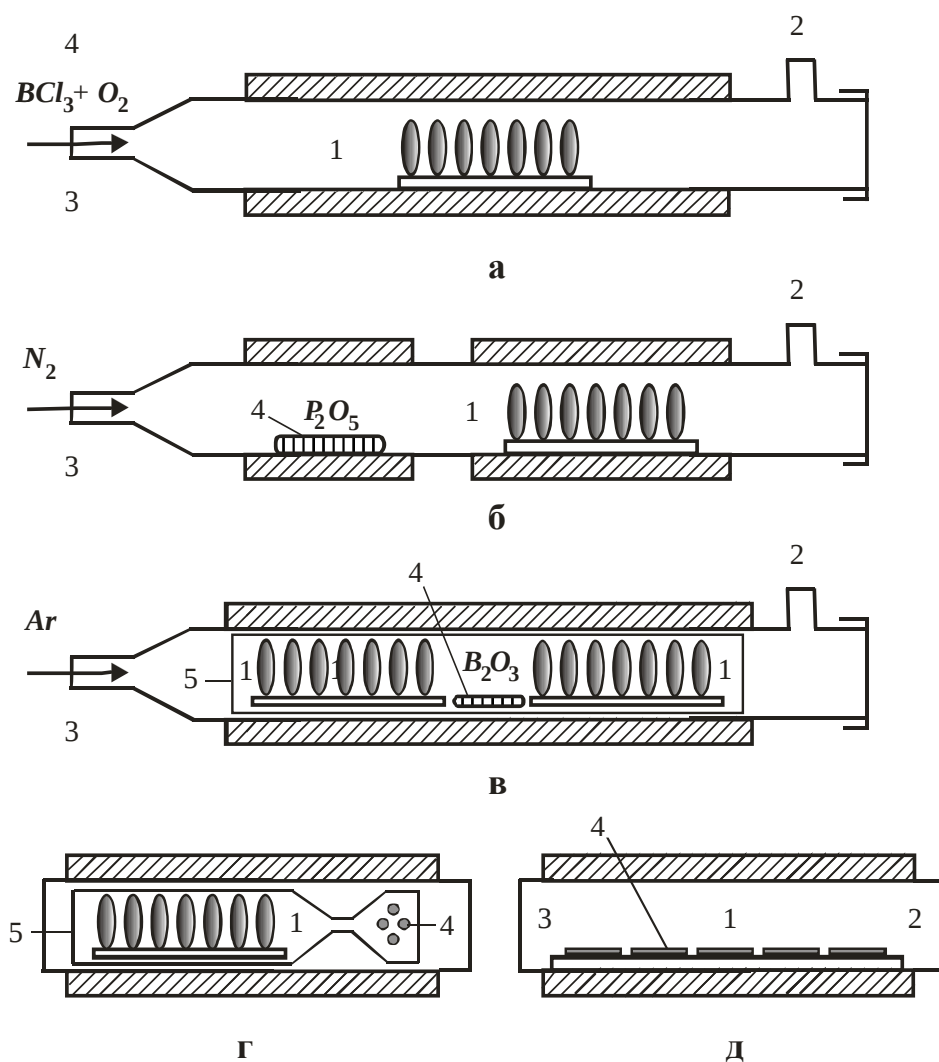
nechta oksidlanish operatsiyalarining mavjudligi bilan bog'liq. Kremniyda va hosil bo'lgan kremniy dioksidda tarqaladigan kirishmaning turli xil eruvchanligi tufayli kremniy-dioksid chegarasida kirishma kontsentratsiyasining sezilarli qayta taqsimlanishi sodir bo'ladi. Bor va alyuminiyning dioksiddagi eruvchanligi kremniyga qaraganda ko'proq, shuning uchun kremniy yuzasida bor va alyuminiy kamayadi, fosfor, surma va mishyakning eruvchanligi kremniyda SiO_2 ga qaraganda yuqori va kremniy yuzasi ushbu elementlar atomlari bilan boyiydi. Kirishmalar kamaytirilgan yoki boyitilgan kremniy qatlamlarining mavjudligi diffuziya tuzilmalarining elektr xususiyatlarining va birinchi navbatda, teshilish kuchlanishining o'zgarishiga olib keladi.

5.2. Diffuziya tuzilmalarini olishning texnologik usullari

1. Diffuziya qilish usullari. Diffuziya nisbatan cheklangan harorat oralig'ida amalga oshiriladi. Kremniy uchun, masalan, bu diapazon 1100-1300 °C yoki ikki bosqichli diffuziya paytida haydash jarayonini hisobga olgan holda, 1000 ÷ 1300 °C. Harorat 1000 °C dan past bo'lsa, diffuziya koeffitsientlarining qiymatlari juda kichik va diffuziya chuqurligi juda kam bo'ladi. 1300 °C dan yuqori harorat ta'sirida plastinkalar yuzasiga zarar etkazilishi sababli diffuziya qatlamlarining sifati qoniqarsiz bo'ladi. Agar yarimo'tkazgichli plastinka va kirishma elementi izolyatsiya qilingan hajmga joylashtirilsa va ma'lum bir haroratgacha qizdirilsa, u holda hajmdagi kirishma elementning sublimatsiyasi yoki bug'lanishi tufayli tez orada uning bug'ining ma'lum bir bosimi yuzaga keladi. Bug' molekulalari barcha sirtlar, shu jumladan plastinka yuzasi tomonidan adsorbsiyalanadi va etarlicha yuqori haroratda ular chuqurroq diffuziyalanadi. Umumiy holda, muvozanat kontsentratsiyasi bug' bosimi bilan mutanosibdir, shuning uchun kirishma atomlarining sirt kontsentratsiyasi bug' bosimini nazorat qilish orqali nazorat qilinadi. Agar sirtidagi muvozanat diffuziya vaqtidan qisqaroq vaqt ichida erishilsa, u holda sirt konsentratsiyasi doimiy bo'lib qoladi. Shuning uchun ko'p hollarda gaz fazasidan diffuziya paytida kirishmalarning taqsimoti xatoliklar integraliga qo'shimcha funksiya (erfc - funksiya) bilan tavsiflanadi. Diffuziya jarayonlari yopiq yoki ochiq quvurda amalga oshiriladi. "Ochiq quvur" atamasi diffuziya trubasining chiqish uchi atmosferaga tutashgan (5.2-rasm, a - b , δ). Atmosferaga tutashgan uchi orqali kremniy plastinkalari

“1” diffuziya zonasiga yuklanadi.

Atmosferadan ifloslanishni minimallashtirish uchun trubaning chiqishi “2” ustiga havoni tortish tizimi oʻrnatilgan. Diffuziya trubasining kirish uchi “3” tashuvchi gazni (azot, argon yoki kislorod) kiritish uchun xizmat qiladi. "Yopiq naycha" atamasi germetik yopilgan ampuladagi diffuziyani anglatadi (rasm 5.2, *z*). Yarimoʻtkazgich plastinkasi “1” va diffuzantning manbai “4” kvarts ampulasiga joylashtiriladi, kvarts ampuladagi havo soʻrib olinadi, germetik yopiladi va diffuzion pechga joylashtiriladi “5”. Diffuzant “4” plastinka yuzasiga suriladi (rasm 5.2, *o*) yoki bugʻ - gaz shaklida kiritiladi (rasm 5.2, *a*). Rasm 5.2, *o* da ochiq quvur usuli yordamida diffuzantning qattiq manbalaridan diffuziya qilish uchun asosan ishlatiladigan ikki zonali pechning diagrammasi koʻrsatilgan va rasm 5.2, *e* - quti usuli diagrammasi. Bu usulda plastinkalar va kirishma manbai bir zonali pechning yarim germetik idishida “5” joylashgan.



5.2-rasm. Diffuziya usullari

Eng keng tarqalgan bo‘lib, qattiq, suyuq va gazsimon manbalardan amalga oshiriladigan ochiq quvurli diffuziyadir. Kremniyga diffuziya paytida asosiy diffuzantlar fosfor va bordir. Planar yarimo‘tkazgichli asboblarda va integral mikrosxemalarni ishlab chiqarishda, ta‘kidlanganidek, diffuziya jarayoni odatda ikki bosqichda amalga oshiriladi. Birinchi bosqichda (kiritish) kremniy yuzasida erfc kirishma taqsimoti bilan yupqa diffuziya qatlami hosil bo‘ladi. Kiritish bir yoki ikkita harorat zonalarida bo‘lgan pechlarda haqiqiy diffuziyaga nisbatan past bo‘lgan haroratlarda amalga oshiriladi. Ikkinchi bosqichda (tarqatish) yarimo‘tkazgichli plastinkalar bir zonali pechda diffuzant atomlari bo‘lmagan atmosferada qizdiriladi.

2. Diffuzantlar. Gazsimon diffuzantlar - bor va fosfor gidridlari, suyuq diffuzantlar (bor va fosfor galogenidlari) va qattiq diffuzantlar (bor va fosfor oksidlari) keng tarqalgan.

Qattiq diffuzant manbadan diffuziya qilinganda fosforning eng keng tarqalgan manbai suvsiz fosfor pentaoksididir (fosfor anhidridi P_2O_5). Pentaoksid manba zonasiga joylashtiriladi va $230 \div 300^\circ C$ gacha qizdiriladi (rasm 5.2, 6). Tashuvchi gaz pentaoksid molekulalarini ushlaydi va ularni diffuziya zonasiga o‘tkazadi. Kremniy va P_2O_5 o‘rtasida kimyoviy reaksiya sodir bo‘ladi, buning natijasida elementar fosfor va kremniy oksidi ajralib, plastinka yuzasida shishasimon birikma hosil qiladi va undan diffuziya sodir bo‘ladi. Fosforning suyuq manbai (fosfor oksixloridi $POCl_3$) bir qator kerakli xususiyatlarga ega. U gigroskopik emas, kam iste‘molga ega va uzoq muddatli foydalanishda fosfor konsentratsiyasida barqarordir. Suyuq manbadan diffuziya mexanizmi P_2O_5 dan diffuziyaga o‘xshaydi, chunki suyuqlik manbalari ortiqcha kislorod bilan reaksiyaga kirishib, P_2O_5 hosil qiladi. Sirt konsentratsiyasiga $POCl_3$ oqim tezligi, manba harorati, diffuziya trubasining diametri, bug‘ qaytargichining konstruksiyasi va tashuvchi gazning tarkibi ta‘sir qiladi. Qoida tariqasida, suyuq fazali manbaga ega tizimlar qattiq fazali manbaga ega bo‘lgan tizimlarga qaraganda parametrlarning takrorlanishi va boshqarilishi jihatidan yaxshiroqdir. Fosfor trixloridi PCl_3 va fosfor pentaftoridi PF_5 ham xuddi shunday muvaffaqiyat bilan qo‘llaniladi.

Gazsimon manbadan ochiq quvurli fosfor diffuziya tizimlarida odatda fosfin PH_3 ishlatiladi. PH_3 dan diffuziya mexanizmi P_2O_5 bilan bir xil, chunki u qizdirilgan diffuziya kamerasiga kirganda oksidlanish natijasida fosfor anhidridiga aylanadi. Sirt konsentratsiyasini boshqarish uchun PH_3 ni inert gaz bilan aralashtirib qo‘llaniladi. Fosfin

gazi suvni shimmaydi. Ushbu tizim yordamida past sirt konsentratsiyasiga erishish mumkin, ammo fosfor angidridining kvarts naychalariga nazoratsiz yutilishi tufayli konsentratsiyani nazorat qilish qiyin.

Ochiq quvurda bor diffuziyasi uchun ishlatiladigan eng keng tarqalgan qattiq faza manbai bor angidridi B_2O_3 hisoblanadi. Bor kislotasi H_3BO_3 ham ishlatiladi, u yuqori haroratda osongina suvsizlanib, B_2O_3 hosil qiladi.

Quvurida bor manbasining harorati $T \approx 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ saqlanadi. Bor angidrid kvarts bilan ta'sirlashganda devitrifikatsiya sodir bo'ladi va kvarts yaroqsiz holga keladi. B_2O_3 yoki H_3BO_3 ning kamchiliklarini bartaraf etish uchun, B_2O_3 yoki H_3BO_3 tetraetil ortosilikat $SiO(CH_3CH_2)_4$ bilan birgalikda plastinka yuzasiga cho'ktirish usuli yordamida SiO_2 bilan aralashtiriladi. Bu usul sirt konsentratsiyasini keng diapazonda boshqarish imkonini beradi.

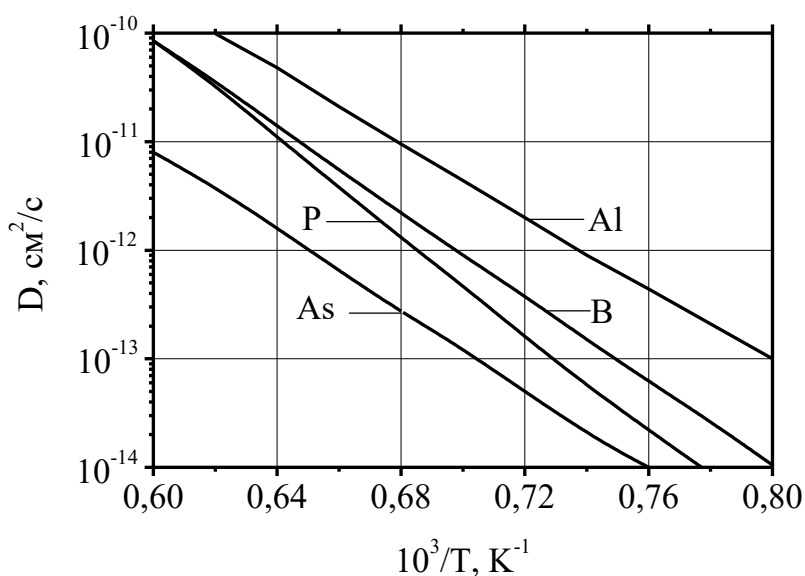
Ochiq quvurli bor diffuziya tizimlarida ishlatiladigan eng keng tarqalgan suyuq faza manbai bor tribromid BBr_3 hisoblanadi. Sirt konsentratsiyasi diffuziya harorati, manba harorati va tashuvchi gaz oqimi tezligini o'zgartirish orqali boshqariladi.

Bor xlorid BCl_3 xona haroratida gaz holatda bo'ladi. Neytral yoki tiklovchi muhitda yuqori haroratlarda u kremniy bilan o'zaro ta'sirlanib, uchuvchi birikmalar - kremniy tetraxloridi va vodorod xloridni hosil qiladi. BCl_3 oqimiga kislorod qo'shilsa, bor angidrid hosil bo'ladi va diffuziya huddi B_2O_3 dan diffuziyaga o'xshaydi. Kislorod qo'shilishi sirt konsentratsiyasini boshqarish imkonini beradi. Oqimdagi BCl_3 ning yuqori konsentratsiyasida kremniy plastinkalari yuzasida qora dog'lar hosil bo'ladi, ular taxminan B_6O tarkibdagi bor suboksidi bo'lib, hech qanday ma'lum erituvchilar yordamida yemirilmaydi. Ular parametrlarning takrorlanmasligiga olib keladi. So'nggi paytlarda BCl_3 ning kamchiliklariga ega bo'lmagan gazsimon bor ftorid BF_3 dan diffuziya jarayonlarini ishlab chiqishga katta e'tibor berildi.

Diffuziyani boshqarish uchun qulay manba diboran B_2H_6 hisoblanadi. U aralashma shaklida qaytaruvchi yoki neytral muhitda - 0,05% gacha diboranni o'z ichiga olgan argon, azot yoki vodorod oqimida qo'llaniladi. $T > 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ da B_2H_6 ning pirolizi elementar bor hosil bo'lishi bilan sodir bo'ladi. Eng yaxshi takrorlanish qobiliyatiga argon yoki azotda 0,01% gacha B_2O_6 va 2,5% gacha O_2 ni o'z ichiga olgan oksidlovchi muhitga ega tizimlar erishiladi. Diboran kislorod bilan

reaksiyaga kirishib, bor angidridi va suv hosil qiladi. Suvning mavjudligi bor angidridning bug‘lanish tezligini sezilarli darajada oshiradi, bu uchuvchi bor kislotalarining, ayniqsa metabor HBO_2 ning shakllanishi tufayli diffuzantning plastinka yuzasi bo‘ylab bir xil taqsimlanishini belgilaydi. B_2H_6 ning kamchiliklari 0,8% dan ortiq konsentratsiyada havoda toksiklik va oson yonuvchanlik, xlor bilan ta’sirlashganda portlashdir. Shaklda. Rasm 5.3 da kremniyda B, Al, P va As lar diffuziya koefitsientlarining haroratga bog‘liqligi ko‘rsatilgan.

3. $A^{III}B^V$ tipdagi birikmalarda diffuziya. $A^{III}B^V$ turdagi birikmalar uchun III guruh atomlaridan tashkil topgan panjaradagi diffuziya V guruh atomlaridan tashkil topgan panjaradagi diffuziyaga qaraganda kamroq faollanish energiyasi bilan tavsiflanadi. Agar diffuzion atomlar neytral yoki bir karra ionlangan bo‘lsa, u holda ularning harakati, masalan, galliy arsenidida, galliyning bo‘sh tugunlari bo‘ylab harakatga qaraganda, bo‘sh mishyak tugunlari bo‘ylab ko‘proq energiya sarflanadi. Buning sababi shundaki, Ga bo‘shlig‘ini hosil qilish uchun faqat uchta elektronni olib tashlash kerak, As bo‘shlig‘ini hosil qilish uchun esa beshta elektronni olib tashlash kerak. Bunga hissa qo‘shadi diffuziya tezligi nisbati va geometrik omil. Mishyakning kovalent radiusi (0,118 nm) galliyning kovalent radiusidan (0,126 nm) kichik bo‘lganligi sababli, galliy pastki panjarasidagi kirishmalar mishyak pastki panjarasiga qaraganda tezroq tarqalishi mumkin.



5.3-rasm. Kremniyda kirishma atomlari diffuziya koefitsientlarining haroratda bog‘liqligi

Galliy arseniddan sirt atomlarining diffuziya haroratida bug‘lanishi tufayli sirt qatlamida ko‘p miqdorda ortiqcha bo‘sh joylar hosil bo‘ladi. 637 °C dan yuqori haroratlarda As₂ va As₄ ning bug‘ bosimi Ga bug‘ bosimidan katta bo‘lganligi sababli, sirt stexiometrik bo‘lmagan bo‘ladi. n-tipli GaAs larda Ga vakansiyalari bo‘lgan akseptorlarning konsentratsiyasi ortadi. As bo‘sh o‘rinlari donor bo‘lganligi sababli ular torroq sirt sohasida to‘plangan, chunki ular pastroq diffuziya koeffitsientiga ega.

$A^{III}B^V$ tipidagi birikmalarda diffuziya jarayonining o‘ziga xos xususiyati qizdirilganda namunalar sirtida birikmalarning parchalanishiga yo‘l qo‘ymaslik uchun V guruhning uchuvchi komponentining ortiqcha bug‘ bosimini yaratish zarurati hisoblanadi. Shuning uchun diffuziya odatda berk kvarts ampulada amalga oshiriladi, unga kirishmaga qo‘shimcha ravishda fosfor yoki mishyak moddasi joylashtiriladi.

5.3. Kremniyga kirishmalar kiritish

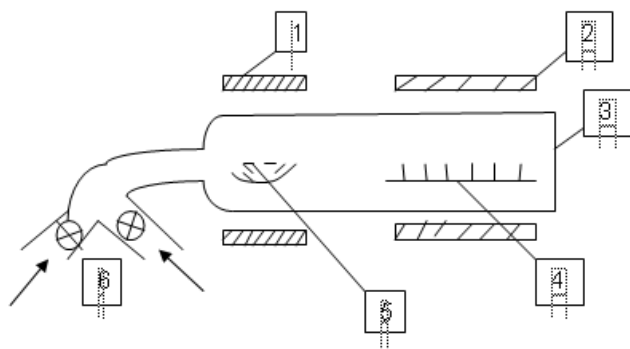
Diffuziya usuli: diffuziya usuli birinchi marta p-n – o‘tish xosil qilish uchun foydalanilgan bo‘lib xozirgi davrga qadar xam bu usul nazariy va amaliy tarzda takomillashtirilib kelinmoqda. Bundan maqsad diffuziya usuli bilan olingan qatlamlarning asosiy parametrlari - sirtqi qatlamdagi kirishma miqdori va xosil qilingan qatlam qalinligini - yuqori aniqlikda boshqarish imkoniyatlarini kengaytirish, texnologik jarayonlarning tan narxini pasaytirish.

Planar texnologiyasida ko‘p qo‘llaniladigan diffuziya usullaridan biri – tashuvchi gaz oqimida diffuziya qilish usullari. Bu xolda diffuzantlar manbai sifatida qattiq, suyuq, gaz moddalar ishlatilishi mumkin.

Diffuziya soxasi 30 sm bo‘lib, temperatura (700 ÷ 1300) °C ± 0,5 °C va diffuzant joylashgan soxa (6 sm) da temperatura (400 ÷ 1100) °C ± 2 °C oraliqda boshqariladi.

Kirishma manbayi – diffuzantlar qattiq, gazsimon, suyuq moddalar bo‘lib, u moddalar tarkibida kirishma atomlari mavjud. Diffuziya jarayonida kirishmalarni elementar atom shaklida qo‘llanilmaydi, chunki bor diffuziya temperaturasida juda kam to‘yingan bug‘ bosimiga ega, fosfor qizdirilganda yonib ketadi, mishyak yuqori darajada zaharli.

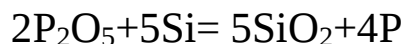
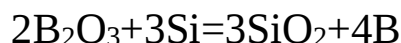
Qattiq diffuzantdan foydalanib diffuziya qilish qurilmasi (5.4-rasm):
 1, 2 – pechkalar mustaqil qizdiriladi, 3 – kvars trubaga, 4 – Si plastinkalari,
 5 – qattiq diffuzant, 6 – gaz oqimi.



5.4-rasm. Diffuziya pechi tuzilishi.

Qattiq diffuzantlar – bor oksidi B_2O_3 va ayniqsa fosfor oksidi P_2O_5 diffuziya temperaturasi juda katta bug‘ bosimi hosil qiladi, shuning uchun diffuziya jarayonini ikki zonali diffuziya qurilmasida amalga oshiriladi. Qattiq diffuzant kukuni solingan konteyner past temperaturali zonaga joylashtiriladi: bor oksidi B_2O_3 uchun $(950 \div 1050)^\circ C$ va fosfor oksidi P_2O_5 uchun $(200 \div 300)^\circ C$. Kremniy plastinkalari – yuqori temperaturali $(1000 \div 1300)^\circ C$ zonaga joylashtiriladi.

Kvars trubaga avval kislorod aralashtirilgan inert gaz yuboriladi, tozalash maqsadida. Trubada diffuziya temperaturasi o‘rnatilgandan so‘ng kremniy plastinkalari joylashtirilgan konteyner diffuziya zonasiga kiritiladi. Yuqori temperaturada diffuzant bug‘lanib, uning molekulalarini tashuvchi gaz (inert gazlar N_2 , Ar ,) oqimi diffuziya soxasiga olib keladi va diffuziya trubaga kislorod yuborib turgan holatda amalga oshiriladi. Bu kremniy plastinkalari yuzasini oksidlab borosilikat shisha $nB_2O_3 \cdot mSiO_2$ yoki fosfornosilikat shisha $nP_2O_5 \cdot mSiO_2$ hosil qilish uchun kerak. Kirishma manbai molekulari (B_2O_3 yoki P_2O_5) suyuq borosilikat yoki fosfornosilikat qatlamidan o‘tib kremniy plastinkasi yuzasiga keladi. Kremniy plastinkasi yuzasida kimyoviy reaksiya bo‘lib:



elementar bor B yoki fosfor P hosil bo‘ladi va kremniy plastinkasi ichiga kiradi.

Borosilikat shisha ($n\text{B}_2\text{O}_3 \cdot m\text{SiO}_2$) yoki fosfornosilikat shisha ($n\text{P}_2\text{O}_5 \cdot m\text{SiO}_2$) qatlami kremniyni eroziyadan va bug‘lanishdan saqlaydi.

Diffuziya jarayonida plastinka sirtida yupqa qatlamda xosil bo‘lgan kirishma miqdori:

- diffuzant temperaturasi;
- uning suv bug‘i bilan to‘yinganligiga;
- tashuvchi gaz tarkibiga;
- tashuvchi gaz oqish tezligiga bogliq bo‘ladi.

Bor angidridi B_2O_3 – 700 °C va fosfor angidridi P_2O_5 – 200 °C da intensiv bug‘lana boshlaydi.

Tashuvchi gaz tezligi odatda $\sim 1500 \text{ sm}^3/\text{min}$. bo‘ladi.

Sirtqi qatlamdagi kirishma miqdoriga tasir qiluvchi faktorlarning xammasini nazorat qilib bo‘lmaydi. Masalan, birinchi navbatda suv bug‘larini kuchli yutuvchi P_2O_5 va B_2O_3 moddalardagi suv bug‘lari miqdorini, ya‘ni bu moddalarni diffuziya uskunasi joylashtirishdan oldin suv bug‘laridan butunlay tozalash iloji yo‘q. Diffuzantlarda avvaldan suv bug‘i mavjudligi esa plastina sirtida kirishma miqdori notekis taqsimlanishiga sabab bo‘ladi, va bu qattiq diffuzantlarning asosiy kamchiligi.

Bu kamchilikni galogenidlardan iborat bo‘lgan suyuq diffuzantlardan foydalanish orqali bartaraf etish mumkin. Bu xolda diffuziya uskunasi bittagini yuqori temperaturali zonaga ega bo‘ladi, suyuq diffuzantni bug‘lantirish uchun (20 ÷ 40) °C yetadi. Eng ko‘p ishlatiladigan galogen birikmalari:

- trexxloristiy fosfor PCl_3
- xlorokis fosfor POCl_3
- trexbromistiy bor BBr_3

kvars trubaga uch xil gaz oqimi yuboriladi:

- 1) N_2 yoki Ar dan iborat asosiy gaz oqimi: tezligi $1000 \text{ sm}^3/\text{min}$.
- 2) Shu gazning kuchsiz oqimi (tezligi $10 \text{ sm}^3/\text{min}$) suyuq diffuzant orqali.
- 3) Kuchsiz ($\sim 15 \text{ sm}^3/\text{min}$) kislorod oqimi.

Suyuq diffuzant ishlatilganda tashuvchi-gaz tarkibidagi kislorod kirishma oksidini xosil qilishi uchun kerak.

BBr₃ uchun reaksiya:



PCl₃ uchun:



POCl₃ diffuziya zonasida parchalanadi va P₄O₁₀, PCl₃, Cl₂ xosil bo‘ladi. Bunda yuqoridagi (PCl₃ + O₂) reaksiyadan tashqari quydagicha reaksiya bo‘lishi mumkin:



Bu reaksiyalarda Si sirtini yemirishi mumkin bo‘lgan erkin xlor xosil bo‘ladi. Agar O₂ ko‘p bo‘lsa plastinka sirtida ximoyalovchi SiO₂ qatlam xosil bo‘ladi.

Suyuq diffuzantlardan foydalanishning kamchiligi: diffuzantlar xam, kimyoviy reaksiya maxsulotlari xam zaxarlovchi moddalardir.

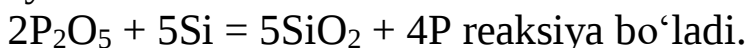
Gaz xolatdagi diffuzantlar – kirishma gidridlari (H bilan birikmalari), masalan PH₃ – fosfin, B₂H₆ – di boran, AsH₃ – arsin.

Fosfin diffuzantidan foydalanilganda tashuvchi-gaz sifatida PH₃, Ar va O₂ gazlarning aralashmasi ishlatilishi mumkin.

Diffuziya kamerasida $T \geq 440^\circ\text{C}$ da fosfin (PH₃) parchalanadi:

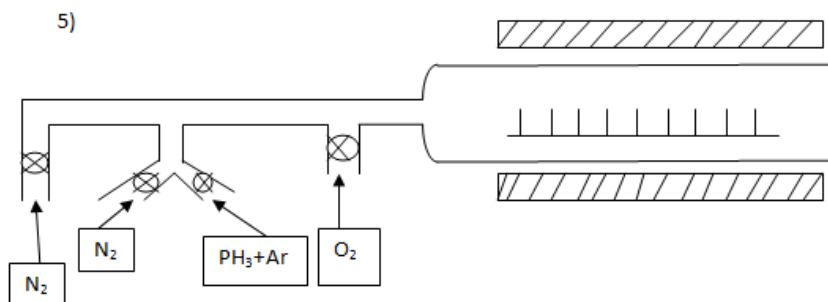


Kremniy sirtida:



Bu usulning ustunligi plastina sirtida xosil bo‘ladigan kirishma atomlari miqdorini, inert gaz tarkibidagi gidrid miqdorini o‘zgartirib, aniq boshqarishdir.

Kamchiligi- gaz xolatdagi diffuzantlarning zaxarliligidir.



5.5-rasm. Gaz xolatdagi diffuzantlar bilan diffuziya qilish.

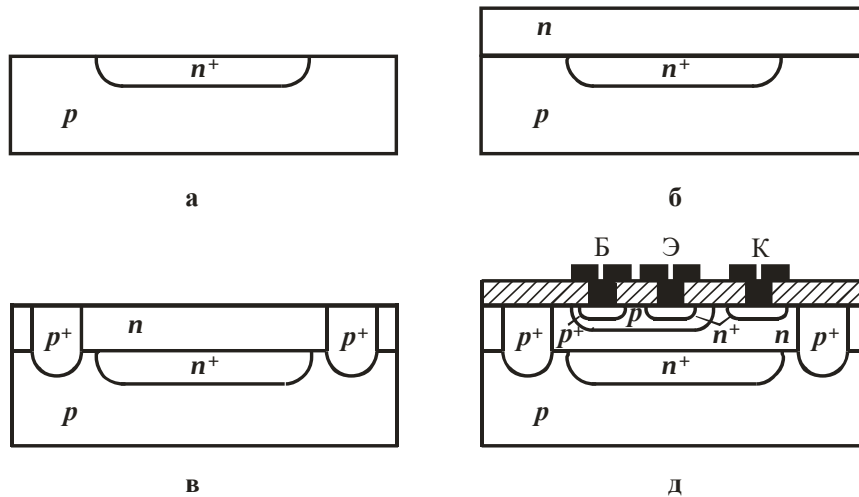
5.4. Integral sxemalar ishlab chiqarishda diffuziya jarayonlari

Yarimoʻtkazgichli integral sxemalar (IS) ning barcha faol va passiv elementlari bitta kristallda joylashganligi sababli ular oʻrtasida elektr zanjirida koʻzda tutilmagan qarshilik va sigʻimli ulanishlar mavjud. Shuning uchun yarimoʻtkazgichli integral mikrosxemalar yaratishda asosiy muammolardan biri parazit bogʻlanishlarni bartaraf etish uchun elementlarni izolyatsiya qilish muammosidir. Ikkita izolyatsiyalash usullari guruhi mavjud: teskari kuchlanish berilgan p-n - oʻtishlaridan foydalanish va dielektrikdan foydalanish. Izolyatsiya qiluvchi p-n - oʻtish joylari asosan diffuziya orqali yaratiladi. Teskari kuchlanish berilgan p-n - oʻtishlaridan foydalangan holda izolyatsiyalash usullarining afzalliklari yuqori ishlab chiqarish qobiliyati, ishlab chiqarish siklining qisqaligi va foydalanish mumkin boʻlgan (yaroqli) mikrosxemalarning nisbatan yuqori foizidir. IS elementlarini teskari kuchlanish berilgan p-n - oʻtishlar bilan izolyatsiya qilishning bir qator turlari mavjud: ajratuvchi diffuziya usuli, kollektorli izolyatsiyalovchi diffuziya, baza izolyatsiyalovchi diffuziya, uchta fotoshablon usuli, oʻz-oʻzini moslash usuli.

1. Ajratuvchi diffuziya usuli. Oddiyligi va arzonligi tufayli bu usul IS ishlab chiqarishda eng keng tarqalgan. Texnologiyaning asosiy bosqichlari quyidagilardan iborat. P- tipidagi elektr oʻtkazuvchanlikka ega boʻlgan kremniy plastinkasi mexanik va kimyoviy ishlov berilgandan soʻng oksidlanadi. Fotolitografiya yordamida kremniy dioksidida darchalar ochiladi, ularning oʻlchamlari kollektor oʻtishi maydonidan biroz kattaroqdir. kremniyda Zaryad tashuvchilarning yuqori konsentratsiyasini hosil qiladigan va past diffuziya koeffitsientiga ega boʻlgan kirishmalar mishyak yoki surma darchalar orqali kremniyga diffuziya qilinadi. Natijada, tranzistorning toʻyinish qarshiligini kamaytiradigan kollektor ostidagi yashirin n⁺-soha hosil boʻladi (rasm 5.6, a).

Dioksid plastinkaning butun yuzasidan yemirib tashlanadi va qalinligi $3 \div 10$ mkm boʻlgan n-tipli elektr oʻtkazuvchanlikka ega epitaksial qatlam oʻstiriladi (rasm 5.6, b). Ushbu qatlamda mikrosxemaning barcha faol va passiv elementlari yaratiladi. Epitaksial qatlamda SiO₂ plyonkasi oʻstiriladi va unda darchalar ochiladi. Bor darchalarga 5-12 mkm chuqurlikgacha diffuziya qilinadi, natijada paydo boʻlgan p⁺- qatlami p-Si taglik bilan ishonchli tarzda tutashadi va tranzistorning strukturasini va sxemaning boshqa qismlarini izolyatsiya

qiladi (rasm 5.6, b). Izolyatsiya qiluvchi p-n – o‘tish turli xil teshilish kuchlanishiga ega bo‘lgan uchta sohadan (p^+ -n, p-n va p- n^+) iborat. Minimal teshilish kuchlanishi ish paytida ishlatiladigan ISning maksimal kuchlanishidan katta bo‘lishi kerak. Keyingi texnologik operatsiyalar jarayonida p-baza, p-rezistor, n-emitter va kollektorga n^+ -kontakt sohalari hosil qilinadi (rasm 5.6, d).



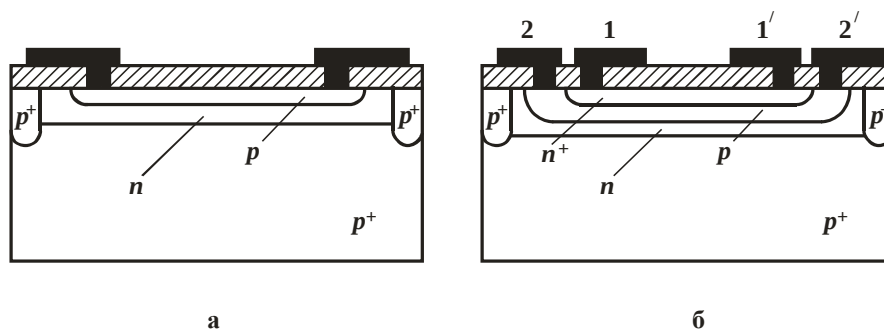
5.6-rasm. Ajratuvchi diffuziya usuli

2. Diffuzion rezistorlar. Yarimo‘tkazgichli IS larda rezistorlarni yaratish uchun tranzistorlarning baza yoki emitter diffuziya qatlamlari qo‘llaniladi. Odatda diffuzion rezistor tranzistor bazasi bilan bir vaqtning o‘zida n-tipli elektr o‘tkazuvchanligiga ega bo‘lgan taglikga akseptor kirishmasini diffuziya qilish orqali yaratiladi (rasm 5.7, a). Diffuziya qatlamining qarshiligi kirishmaning taqsimlanishiga, diffuziya chuqurligiga va diffuzion rezistor uzunligining uning kengligiga nisbatiga bog‘liq. Diffuzion rezistor nominal qiymati (R) sxemada beriladi, diffuzion rezistor uzunligini (L) ma’lum diffuzion qatlamning sirt qarshiligi R_S , rezistorning kengligi w va kontakt qarshiligi R_K dan hisoblanadi:

$$L = \frac{w(R - R_K)}{R_S}. \quad (5.12)$$

Baza diffuziyasi yuqori qarshilikli rezistorlarni olish imkonini beradi. Kam qarshilikka ega bo‘lgan rezistorlar emitter diffuziya jarayoni orqali olinadi (rasm 5.7 b, kontaktlar 1-1‘). 50 kOm dan yuqori qiymatlarga ega bo‘lgan rezistorlarni olish uchun emitter diffuziyadan so‘ng hosil bo‘ladigan “siqilgan” baza qatlamlardan foydalaniladi (rasm

5.7 6, kontaktlar 2-2'). Baza qatlamning kuchli legirlangan ustki qismi emitter diffuziya qatlamini olishda kompensatsiyalanadi va sirt qarshiligi ko'p marta ortadi. Bunday rezistorlarning qiymatlari diapazoni va qarshilikning harorat koeffitsienti (QHK) odatiy baza qatlamdagi an'anaviy rezistorlarga qaraganda kattaroqdir.



5.7-rasm. Diffuzion rezistorlar: a- baza qatlamida; b - emitter qatlamida (kontaktlar 1-1') va "siqilgan" baza qatlamida (kontaktlar 2-2')

Rezistor strukturasining muhim komponenti p-n – o'tish bo'lib, u rezistorni taglikdan ajratib turadi va taqsimlangan sig'imga ega. p-n – o'tishning teshilish kuchlanishi qarshilikka qo'llanilishi mumkin bo'lgan maksimal kuchlanishni cheklaydi. Umumiy taqsimlangan sig'im odatiy tuzilmalar uchun 2-20 pF ni tashkil qiladi va 10 MGts dan yuqori chastotalarda ishlaganda hisobga olinishi kerak. Rezistorning umumiy sig'imini aniqlaydigan maydonlarning o'lchamlari fotoshablonning mikrotasviriga bog'liq. Rezistor hududining talab qilinadigan maydoni yo'qotiladigan quvvatning qiymati bilan cheklangan. Katta qarshilikka ega bo'lgan rezistorlarni ularning maydonini oshirmasdan olish uchun diffuzion qarshilikning kengligi ba'zan kamayadi. Bunday holda, "siqilgan" rezistorlar ham ishlatiladi.

Diffuzion rezistorlar qarshiligi nominal qiymatiga nisbatan ko'p farq qiladi va qarshilikning katta harorat koeffitsientlariga ega. Diffuziya hududida kirishmalarning ma'lum konsentratsiyasi uchun qarshilik kovaklar yoki elektronlar harakatchanligining harorat ta'sirida o'zgarishiga bog'liq. Haroratning harakatchanlikka ta'siri diffuzion rezistorlarda qarshilikning harorat koeffitsienti (QHK) musbat bo'lishiga sabab bo'ladi. Sirt qarshiligi qanchalik katta bo'lsa QHK kirishma konsentratsiyasining o'zgarishiga shuncha ko'proq bog'liq bo'ladi.

P-n-p - tranzistorlarini yaratish uchun bazaviy diffuziya paytida hosil qilingan rezistorlar n-tipli rezistorlardir. Ular p-tipli rezistorlarda bo'lmagan ikkita asosiy kamchiliklarga ega. Birinchidan, sirt

qarshiligining maʼlum bir qiymatida, elektronlarning harakatchanligi katta boʻlganligi tufayli, n-tipli elektr oʻtkazuvchanligi boʻlgan qatlam pastroq kirishma konsentratsiyasiga ega. Kirishma konsentratsiyasining kam boʻlishi sirt qarshiligining bir hil boʻlmasligiga va nominal qarshilik qiymatining har-hil boʻlishiga olib keladi. Ikkinchidan, rezistorni oʻrab turgan p-tipli qatlam chiziqli boʻlmagan taʼsirlarni keltirib chiqaradigan sirt kanallarining paydo boʻlishiga koʻproq moyil boʻladi. P-n-p – tranzistorlarida kanallarni yoʻq qilish usuli bu taʼsirlarni kamaytiradi, ammo bu qoʻshimcha diffuziya jarayonlarini va katta taglik maydonini talab qiladi. Ushbu muammoni hal qilishning usullaridan biri p-n-p – tranzistorlari boʻlgan davrlarda oksid yuzasida yupqa plyonkali rezistorlar yaratilganda, kombinatsiyalangan texnologiyadan foydalanishdir. Sxemaning topologiyasi bir xil boʻlib qoladi, lekin qoʻshimcha fotoshablonlardan foydalanishni talab qiladi. Yarimoʻtkazgichli diffuzion rezistorlaridan foydalanishning eng yaxshi varianti qarshilik qiymatlari oʻrtasidagi munosabatni saqlab qolish muhim boʻlgan davrlardir, nominalning mutlaq qiymatlari unchalik ahamiyatli emas.

3. Diffuzion kondensatorlar. Yarimoʻtkazgich mikrosxemalaridagi kondensatorlar teskari kuchlanish berilgan p-n – oʻtishlar orqali hosil boʻladi. Diffuzion kondensatorlarning asosiy afzalligi shundaki, ular tranzistorli tuzilmalarning diffuziya hududlarini shakllantirish bilan bir vaqtda hosil boʻladi, shuning uchun oqilona ishlab chiqarilgan fotoshablonlar toʻplami bilan passiv elementlarni yaratish uchun qoʻshimcha operatsiyalar talab qilinmaydi. Sigʻim qiymati yarimoʻtkazgich materialining elektr oʻtkazuvchanligi turiga, p-n – oʻtish yuzasiga, kirishmalar taqsimotining tabiatiga va konsentratsiyasiga, shuningdek, kuchlanish yoʻnalishi va kattaligiga bogʻliq. Diffuzion kondensatorlar sigʻimining berilayotgan kuchlanishga bogʻliqligi maxsus mikrosxemalarni, masalan, kuchlanish bilan boshqariladigan generator sxemasini loyihalash imkonini beradi. Ammo baʼzi hollarda sigʻimning kuchlanishga bogʻliq boʻlmagani maqul.

5.5. Diffuziya tuzilmalaridagi nuqsonlar va ularni nazorat qilish usullari

1. Dislokatsiyalarning shakllanishi. Hosil qilingan diffuziya qatlamlari kutilganidan sezilarli darajada farq qiladigan elektr

xususiyatlariga ega bo'lishi mumkin. Bu nomuvofiqlik, asosan, diffuziya jarayonida diffuziya qatlamlarida nuqsonlarning paydo bo'lishi bilan bog'liq.

Yarimo'tkazgichning kristall panjarasiga kiruvchi kirishma atomlari, atom radiuslaridagi farqlar tufayli, panjaraning siqilishiga yoki kengayishiga olib keladi. Buning natijasida yuzaga keladigan mexanik kuchlanishlar ta'sirida dislokatsiyalar hosil bo'ladi. Dislokatsiyalar paydo bo'lishi uchun kritik qiymatga teng mexanik kuchlanishlarni keltirib chiqarmaydigan kremniy plastinka yuzasida kirishma bor atomlarining maksimal zichligi $5 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-2}$ ni tashkil qiladi. Agar bor diffuziyasi $T \sim 1000^\circ\text{C}$ da amalga oshirilsa, u holda sirt qatlamiga $3 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-2}$ atomlar kirishi mumkin, ammo diffuziya harorati $T \sim 1100^\circ\text{C}$ bo'lsa, bu miqdor $5 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-2}$ gacha oshadi. Fosforning kremniyga diffuziylanishida hosil bo'lgan dislokatsiyalar zichligi past bo'ladi, chunki fosfor tomonidan yaratilgan mexanik kuchlanishlar P va Si atom radiuslarining ko'proq mos kelishi tufayli past bo'ladi. Kirishma konsentratsiyasi diffuziya qatlamining chuqurligi bo'ylab o'zgarganligi sababli, dislokatsiya zichligi ham o'zgaradi. Odatda, dislokatsiya hududi p-n - o'tish joylariga etib bormaydi. Atom radiuslaridagi farqi bor va kremniy yoki fosfor va kremniydan kichikroq bo'lgan diffuzantlar yanada mukammal p-n - o'tishlarni hosil qiladi. Bunday diffuzantlarga mishyak, galliy va alyuminiy kiradi. Kuchli legirlangan dislokatsiyasiz qatlamni kremniyga nisbatan atom radiuslarida qarama-qarshi farqlarga ega bo'lgan ikkita kirishmani bir vaqtning o'zida diffuziya qilish orqali olish mumkin.

2. Kirishma atomlarining cho'kishi. Cu, Au va Fe kabi metallar qattiq kremniyda eruvchanligining keskin haroratga bog'liqligi bilan tavsiflanadi. Agar maxsus ehtiyot choralari ko'rilmasa, ular atrofdagi atmosferadan va diffuziya pechidan kremniy plastinkalariga kiradi. Kirishmalarni haydash va tarqatish temperaturalarida Cu, Au va Fe kabi metallarning diffuziya koeffitsientlari 10^{-7} - $10^{-6} \text{ sm}^2/\text{s}$ ni tashkil qiladi, shuning uchun diffuziya vaqtida ular kremniyning butun hajmiga kirib boradi. Bu atomlarning kremniydagi qattiq eritmalarining o'ta to'yinganligi natijasida sovutilganda, bu atomlar mikroklasterlar hosil qiladi. Mikroklasterlar asosan strukturaviy nuqsonlar va birinchi navbatda, dislokatsiyalar mavjud bo'lgan joylarda hosil bo'ladi. Natijada dislokatsiyalar plastinkaning yuzasidan ichiga tomon kirib borishi sababli, mikroklasterlar hisobiga p-n - o'tishlarni kesib o'tuvchi metall mikroko'priklar paydo bo'ladi. Buning natijasida p-n - o'tish

teskari toki teskari kuchlanish ortishi bilan $I \sim U^n$ qonun bo'yicha ortadi, ko'pincha bu erda $n = 5 \pm 2$ bo'ladi.

3. Getterlash. Yarimo'tkazgichning hajmidan keraksiz kirishmalarni olib tashlashga *getterlash* deyiladi. Getterlashni yarimo'tkazgich yuzasida hosil bo'lgan suyuq faza yordamida amalga oshirilishi mumkin. Yarimo'tkazgich, keraksiz kirishmalar va eritmalar tomonidan tashkil etilgan uchlik tizimlarda keraksiz kirishmalar Cu, Fe, Au ning taqsimlanish koeffitsienti birdan sezilarli darajada past bo'lganligi sababli ularni yarimo'tkazgichning hajmidan tortib olish mumkin bo'ladi. Shu tufayli suyuq fazaga faol ravishda o'tishni boshlaydigan kirishma atomlarining sezilarli kontsentratsiyali gradienti hosil bo'ladi. Germaniydan misni tortib olish uchun surma, qalay, qo'rg'oshin va indiy plyonkalari hosil qilinadi. Mis, oltin va temir kabi metallar kremniydan bor yoki fosfor angidridi bug'larining cho'kishi natijasida kremniy yuzasida hosil bo'lgan shishasimon oksidli qatlamlar (borosilikat shisha $nB_2O_3 \cdot mSiO_2$ yoki fosfornosilikat shisha $nP_2O_5 \cdot mSiO_2$) yordamida tortib olinadi. Kremniy yoki uning yuzasida doimo mavjud bo'lgan kremniy dioksid plyonkasi bilan bor yoki fosfor angidridi bug'larining o'zaro ta'siri natijasida suyuq borosilikat yoki fosfornosilikat shisha hosil bo'ladi. Kremniy hajmidagi Au, Cu, Fe atomlari sirtga diffuziyalanadi (gradiyent tufayli), shisha qatlamga o'tadi va u bilan fosfatlar yoki boratlar kabi kimyoviy birikmalar hosil qiladi. Bu jarayonni amalga oshirish harorati odatda 1050 °C.

5.6. Diffuziya qatlami parametrlarini nazorat qilish

Parametrlarni nazorat qilish yuqori sifatli diffuziya tuzilmalarini olish uchun asosdir. Asosiy boshqariladigan parametrlar diffuzion $p-n$ - o'tishning chuqurligi x_j , qatlamining sirt qarshiligi R_s va sirt yuzasidagi kirishma atomlari konsentratsiyasi C_0 .

1. P-n - o'tishning chuqurligini o'lchash. Diffuziya qatlamlari juda yupqa bo'lishi mumkinligi sababli (bir necha mikrometr yoki undan kam bo'lgan tartibda), ularni nazorat qilish uchun sferik shlif tayyorlanadi. $30 \div 100$ mm diametrli holda aylanadi. metall shar (sferik shlif) ning plastinka yuzasiga tegib turgan nuqtasiga olmos pastasi yoki xrom oksidi tomiziladi. Hosil bo'lgan sferik egrilikka ega chuqurlik $p-n$ - o'tishdan chuqurroq bo'lishi kerak, rang berilganda (agar diffuziya qatlami p -tipi elektr o'tkazuvchanligiga ega bo'lsa) chuqurlikda qorong'u halqa hosil bo'ladi. P -sohaga rang berish ftorid kislota (48%

li) ga 0,05-0,1% nitrat (70% li) kislota qo'shib tayyorlangan eritmada amalga oshiriladi. Hosil bo'lgan qorong'u halqa p- sohaning oksidlanishi tufayli, ya'ni kremniy oksidi hosil bo'lishi bilan bog'liq.

Mikrometrik o'lchagichli instrumental mikroskopdan foydalanib, rang berilgan maydonning kattaroq d_1 va kichikroq d_2 diametrlarini o'lchab, $p-n$ - o'tish chuqurligi topiladi:

$$x_j = \frac{(d_1^2 - d_2^2)}{4D} \quad (5.13)$$

bu erda D - sharning diametri.

$A^{III}B^V$ yarimo'tkazgichli birikmalar va ularning qattiq eritmalarida $p-n$ - o'tish chuqurligi ko'ndalang qirqishlar qilish orqali aniqlanadi.

2. Sirt qarshiligini o'lchash. Legirlangan qatlamning solishtirma qarshiligi kirishmaning konsentratsiyasiga teskari proportsionaldir, shuning uchun solishtirma qarshilik ρ ni o'lchab, yarimo'tkazgichdagi kirishmalar konsentratsiyasini aniqlash mumkin. Kirishma atolari konsentratsiyasi bir xil bo'lmagan diffuzion qatlam uchun qarshilik tushunchasi amaliy ma'nosini yo'qotadi va kirishma tarkibining aniq tavsifi bo'lib xizmat qila olmaydi. Diffuziya qatlamlarining legirlash darajasi ularning sirt qarshiligini o'lchash yo'li bilan baholanadi, ya'ni diffuziya qatlamining uzunligi bo'yicha qarshiligi.

Diffuziya qatlamining yuzasi bo'ylab qarshilik faqat qatlamdagi kirishma atomlari soniga bog'liq. Sirt qarshilik diffusion rezistor qarshiligi sifatida aniqlanadi, uning qalinligi $p-n$ - o'tish chuqurligi x_j ga teng, uzunligi va kengligi esa bir-biriga teng bo'lib, l tomonli kvadrat hosil qiladi. Bunday parallelepipedning qarshiligi ($\text{Om}/\square$)

$$R = \rho \frac{l}{lx_j} = \frac{\rho}{x_j} = R_s, \quad (5.14)$$

bu erda ρ - diffuziya qatlami solishtirma qarshiligining o'rtacha qiymati, R_s ni o'lchashda bilishimiz shart emas.

Sirt qarshilik kvadratning yon tomoni l ga bog'liq emas, chunki uzunlikning o'sishi tufayli R_s ning o'sishi kenglikning oshishi tufayli R_s ning teng pasayishi bilan qoplanadi, shuning uchun kvadratning qarshiligi birlik yuzaga emas, ixtiyoriy kvadratga tegishli. Ko'rinib turibdiki, R_s ni o'lchash uchun qatlamining ixtiyoriy ikkita qarama-qarshi lx_j kesim yuzalarinig biridan tok o'tkazish va unga kuchlanish tushishini o'lchash kerak. Bu maxsus konfiguratsiyaga ega bo'lgan rezistorlarni tayyorlashni talab qiladi. Bunday qilmaslik uchun har qanday diffuziya qatlamlarida R_s ni o'lchash to'rt zondli usul

yordamida amalga oshiriladi.

Maydon nazariyasi cheksiz o'tkazuvchan tekislikda nuqtaviy tok manbai I tomonidan r masofada hosil qilingan potentsialning ifodasini yozishga imkon beradi:

$$\varphi - \varphi_0 = -\frac{IR_s}{2\rho} \ln r, \quad (5.15)$$

I tok o'tadigan, u holda ixtiyoriy nuqtada bunday dipol tomonidan yaratilgan potentsial

$$\varphi - \varphi_0 = \frac{IR_s}{2\pi} \ln \frac{r_1}{r_2}, \quad (5.16)$$

bu yerda r_1 va r_2 - zondlarning har biridan berilgan nuqtagacha bo'lgan masofalar.

To'rt zondli usuldan foydalanganda zondlar bitta to'g'ri chiziqqa bir-biridan s teng masofada joylashtiriladi. Tok ikki tashqi zond orqali o'tkaziladi va potentsial farqi ichki ikkita zond o'rtasida o'lchanadi, shuning uchun $r_1=2s$, $r_2=s$ va ikkita ichki nuqtaviy zondlar orasidagi dipol tomonidan yaratilgan potentsiallar farqi,

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = U = \frac{IR_s}{2\pi} \ln \frac{r_1}{r_2} - \frac{IR_s}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{IR_s}{\pi} \ln 2. \quad (5.17)$$

Sirt qarshilik (Om/□)

$$R_s = \frac{\ln 2}{\pi} \frac{U}{I} = 4.53 \frac{U}{I}. \quad (5.18)$$

Bu hisoblash formulasi, agar $s \gg x_j$ shart bajarilsa va diffuziya qatlami bo'lgan plastinka diametri zondlar orasidagi masofadan ancha katta bo'lsa, to'g'ri bo'ladi.

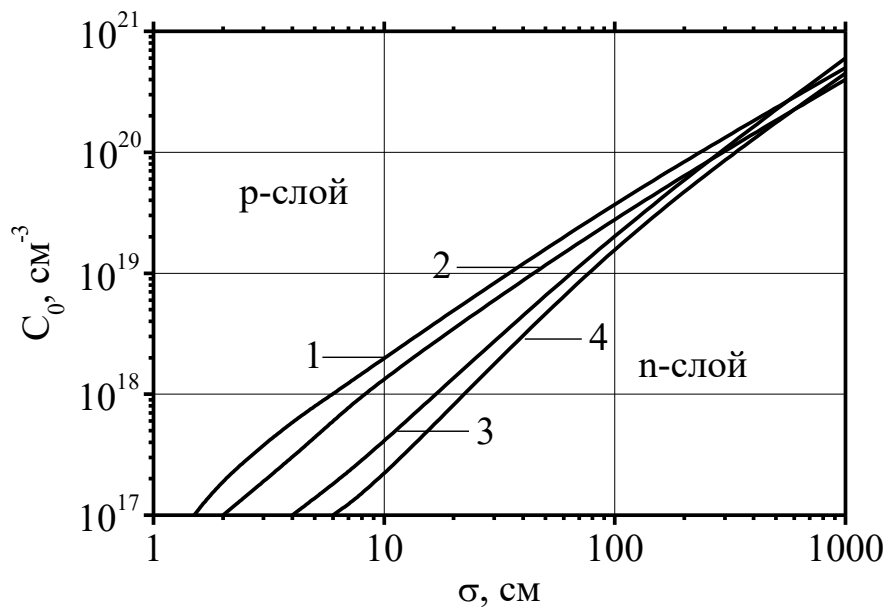
Transistorlarning asosiy diffuziya qatlamlari uchun sirt qarshiligining odatiy qiymatlari $150 \div 200$ Om/□, emitter qatlamlari uchun $R_s = 3 \div 5$ Om/□.

3. Sirdagi konsentratsiyani aniqlash. x_j va R_s o'lchangan ma'lumotlariga asoslanib, legirlangan qatlamdagi kirishmaning sirt konsentratsiyasi aniqlanadi. Sirt konsentratsiyasini bilib, kirishma konsentratsiyasining diffuzion qatlam qalinligi bo'yicha taqsimlanish profilini hisoblash va uning belgilangan talablarga muvofiqligini nazorat qilish mumkin.

$$\bar{\sigma} = \frac{q}{x_j} \int_0^{x_j} \mu(C) [C(x) - C_B] dx = \frac{1}{R_S x_j}. \quad (5.19)$$

Bu tenglama $R_S \cdot x_j$ ko'paytma bilan kirishma taqsimoti $C(x)$ o'rtasidagi bog'liqlikni va zaryad tashuvchilar harakatchanligining $\mu(C)$ kirishma konsentratsiyaga bog'liqligini ko'rsatadi.

Eksperimental ravishda olingan harakatchanlikning konsentratsiyaga bog'liqligidan foydalanish va konsentratsiya taqsimoti profilining shaklini bilgan holda, hisob-kitoblar yordamida sirt konsentratsiyasi C_0 ning diffuziya qatlamining o'rtacha elektr o'tkazuvchanligiga bog'liqligini olamiz $\sigma = 1/(R_S \cdot x_j)$. Ushbu egri chiziqlarga misollar 5.8-rasmda Gauss taqsimoti uchun va n va p tipidagi elektr o'tkazuvchanlikka ega qatlamlar uchun ko'rsatilgan.



5.8-rasm. Sirt konsentratsiyasining diffuziya qatlamlarining o'rtacha elektr o'tkazuvchanligiga bog'liqligi:

1 va 3 da – $C_0 = 1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$;

2 va 4 da – $C_0 = 1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

6. ION IMPLANTATSIYA USULI BILAN TUZILMALAR OLISH

O'tgan asrning 70-yillarida sanoat tomonidan o'zlashtirilgan ion implantatsiyasi usulidan foydalanmasdan yaxshi texnik va iqtisodiy xususiyatlarga ega bipolyar va MDYa O'KIS larini yaratish mumkin emas. Ion-nurli tezlatgichdagi musbat zaryadlangan kirishma ionlar oqimi yarim o'tkazgich kristalini bombardimon qiladi. Kristalga kirib, kirishma uni legirlash qiladi va shu bilan birga radiatsiyaviy nuqsonlarning shakllanishiga olib keladi. Kiritilgan ionlar kontsentratsiyasining taqsimlanishi Gauss egri chizig'i bilan tavsiflanadi, uning asosiy parametri tezlashtirilgan ionlarning yugirish masofasi hisoblanadi. Nurlanishning past dozalarida nurlanishdan shikastlanish yarimo'tkazgichning kristall tuzilishini o'zgartirmaydi, kirishma atomlaridan nurlanishning katta dozalari kristallning amorfizatsiyasiga olib keladi. Kristall panjara buzilishlarini bartaraf etish uchun va kiritilgan kirishma atomlari elektr faollashuvi uchun kristalni qizdirish kerak.

Ionlar implantatsiyasi diffuziya uchun zarur bo'lgan aniq miqdordagi kirishma atomlari manbaini shakllantirishda keng qo'llaniladigan usul. Bundan tashqari, implantatsiya bipolyar tranzistorlarning yupqa baza sohalarini yaratish, MOYa tranzistorlarining bo'sag'a kuchlanishlarini boshqarish va boshqa maqsadlarda qo'llaniladi. Ion-implantatsiya qilingan tuzilmalarni boshqarish uchun implantatsiya qilingan atomlarning tarqalish profillari o'rganiladi va zaryad tashuvchilarning effektiv sirt konsentratsiyasi o'lchanadi.

6.1. Implantatsiya jarayoni haqida fizik tasavvurlar

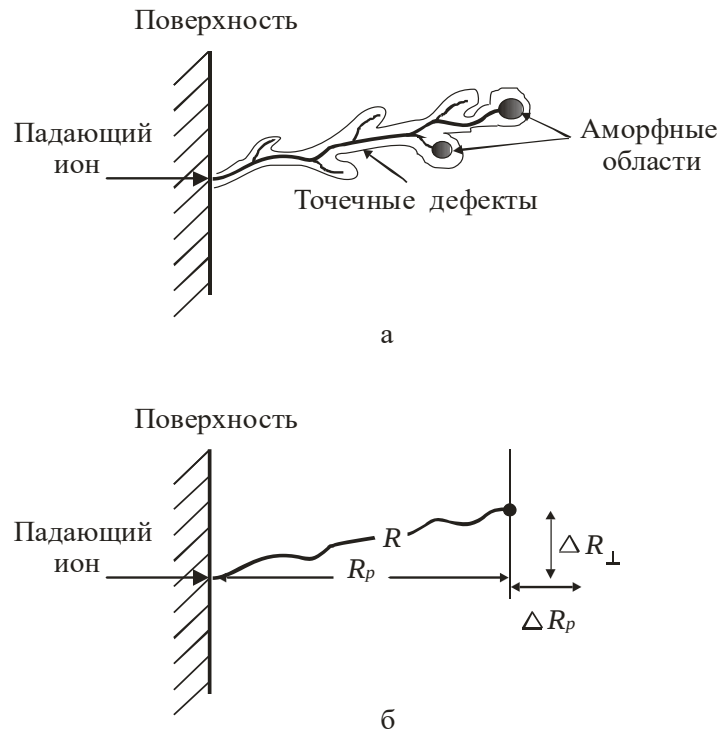
Ion implantatsiyasi usuli qattiq jismlarni xossalari va tuzilishini o'zgartirish uchun energiyalari 10 keV dan 1 MeV gacha bo'lgan tezlashtirilgan ionlar oqimi bilan bombardimon qilishdan iborat. Tezlashtirilgan ionlar atom yadrolarining musbat zaryadlarining itaruvchi qarama-qarshiligini yengib, kristall panjara ichiga kirib boradi. Ionlarning kirib borish chuqurligi ularning energiyasi ortishi bilan ortadi. Engil ionlar og'ir ionlarga qaraganda chuqurroq kirib boradi, ammo og'ir ionlarning traektoriyasi tog'ri chiziqqa yaqinroq. Ion nurlarining tushish yo'nalishi yarimo'tkazgich plitasining (100) yoki (111) kristallografik o'qlaridan biri bo'ylab aniq yo'naltirilgan bo'lsa,

ionlarning bir qismi atom qatorlari bo‘ylab harakatlanadi, ular orasida atomlardan xoli yetarlicha keng kanallar mavjud. Ushbu hodisa kanallanish deb ataladi. Kanalgacha kirgandan so‘ng, ionlar kamroq kuchli tormozlanishni boshdan kechiradi va yo‘naltirilmagan kirish holatiga qaraganda bir necha marta chuqurroq kiradi. Agar panjaradagi atomga o‘tgan energiya qattiq moddada atomlarning bog‘lanish energiyasidan oshsa, u holda atom joyni tark etadi. Natijada, Frenkel juftligi hosil bo‘ladi: “tugunda bo‘sh joy va tugunlar o‘rtasidagi atom” dan iborat nuqson. Sirt qatlamida joylashgan atomlar iondan energiya olib, monokristal yuzasiga chiqib o‘lishi mumkin. Bunday holda, Shottki nuqsoni hosil bo‘ladi: kristallning sirtiga yaqin sohasida “tugunda bo‘sh joy”. *Qaytaruvchi atom* deb ataladigan birlamchi siljigan atomning energiyasi nisbatan yuqori, shuning uchun uning harakat yo‘lida *qaytaruvchi* atomlar siljishlarining butun kaskadini hosil qiladi, buning natijasida kristalda $3 \div 10$ nm o‘lchamdagi tartibsiz zonalar yuzaga keladi. Ionlarni implantatsiya qilish jarayonida radiatsiya nuqsonlari ko‘payib boradi. Birlik yuzasiga kiritilgan ionlarning zichligi amorfizatsiya dozasi deb ataladigan kritik qiymatdan oshib ketganda, uzluksiz amorf qatlam hosil bo‘ladi.

Kiritilgan ion tugundagi bo‘sh joyga joylashib, donor yoki akseptorga aylanishi mumkin, ammo tugunga joylashish ehtimoli past. Ionlarning aksariyati tugunlar o‘rtasiga joylashadi va elektr faol bo‘lmaydi. Ularni tugunlarga joylashtirish va yarimo‘tkazgichning kristall tuzilishini tiklash uchun qizdirish amalga oshiriladi. Qizdirish jarayonida radiatsiya nuqsonlarining parchalanishi va yo‘q qilinishi sodir bo‘ladi va kiritilgan kirishmalar tugundagi bo‘sh joylarni egallaydi, natijada p yoki n tipidagi elektr o‘tkazuvchanligi bo‘lgan qatlam hosil bo‘ladi.

1. Implantatsiya qilingan ionlarning taqsimoti. Har bir implantatsiya qilingan ion elektronlar va kristall panjara atomlari bilan qayta-qayta to‘qnashganda energiyasini yo‘qotadi va to‘xtaydi. Ushbu to‘qnashuvlarning natijasida kristalda nuqtaviy nuqsonlar va hatto amorf, ya‘ni tartibsiz tuzilishga ega bo‘lgan hududlar hosil bo‘ladi (rasm 6.1, a).

Ionlarning plastinka sirtidan to‘ichiga kirib to‘xtaguncha bosib o‘tgan masofasi R – yugurish yo‘li deyiladi (rasm 6.1, b). Dastlabki yo‘nalishi bo‘yicha bosib o‘tgan masofasi proyeksiyasi esa R_p – yugurish yo‘li proyeksiyasi deyiladi.



6.1-rasm. a — implantatsiya qilingan ion hosil qilgan radiatsiya nuqsonlari "daraxti";

b — ion to'liq bosib o'tgan yo'lining sxematik ko'rinishi R ,
yo'l uzunligining proyeksiyasi R_p ,
 ΔR_p — R_p dan o'rtacha chetlashish
va $\Delta R_{\perp}$ — yon tomonga sochilish.

Kiritilgan ionlarning plastinka ichidagi to'qnashuvlari soni statistik jihatdan farq qiladi, shuning uchun alohida ionlarning to'xtashigachan bosib o'tgan masofasi proyeksiyasi ham har hil.

Proyeksiya qilingan yo'l qiymatlarining harhil bo'lishi tufayli ularning ortacha yugurish yo'li proyeksiyasi R_p dan chetlashishini ΔR_p bilan belgilaymiz. Bundan tashqari, ionlarning oxirgi holatida boshlang'ich harakat yo'nalishiga nisbatan chetlashishi mavjud bo'lib, bu yon tomonga sochilish $\Delta R_{\perp}$ deb ataladi.

Kiritilgan ionlarning plastinka chuqurligi bo'ylab taqsimlanishi yoki profili simmetrik Gauss taqsimot funktsiyasi yordamida aniqlanishi mumkin. Plastinkaga kiritilgan ionning kirgan masofasi x ga qarab implantatsiya qilingan ionlarning konsentratsiyasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

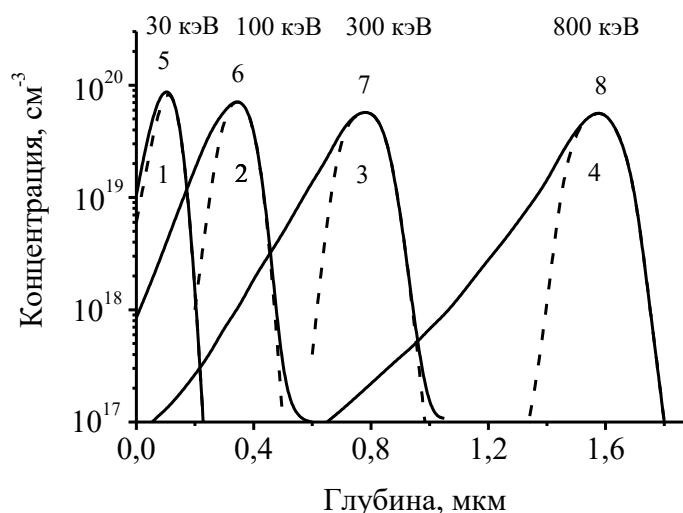
$$n(x) = n(R_p) \exp \left[\frac{-(x - R_p)^2}{2\Delta R_p^2} \right]. \quad (6.1)$$

bu erda implantatsiya qilingan ionlarning maksimal konsentratsiyasi $x = R_P$ masofadagi konsentratsiyaga to'g'ri keladi va ΔR_P – taqsimotning ortacha kvadratik og'ishi yoki taqsimotning sochilishi.

$\int_0^{\infty} n(x) dx$ integralning qiymati implantatsiya dozasini aniqlaydi va maksimal konsentratsiya $n(R_P)$ quyidagi munosabat bilan ifodalanishi mumkin:

$$n(R_P) = \frac{\Phi}{\sqrt{2\pi}\Delta R_P} \approx \frac{0.4\Phi}{\Delta R_P}. \quad (6.2)$$

Birinchi taxminga ko'ra, amorf yoki mayda donali polikristall taglikga kiritilgan ionlar konsentratsiyasining taqsimlanishi to'liq yo'l uzunligi proyeksiyasi R_P va uning normal (Gauss) sochilishi bilan aniqlanadi. Ba'zi eksperimental kuzatilgan taqsimotlar Gauss taqsimot funksiyasiga juda yaxshi mos kelgan. Taqsimotning maksimal qiymati yaqin kelishi deyarli har doim qoniqarli bo'lsa-da, implantatsiyaning haqiqiy taqsimotida assimetriya mavjud. Rasm 6.2 da kremniyga kiritilgan bor atomlarining eksperimental taqsimot profillari va tegishli nazariy profillar ko'rsatilgan. Kanal ta'sirini yo'qotish uchun bor ionlari mayda donali polikristall kremniy taglikga kiritilgan.



Rasm 6.2. Gauss taqsimotidan foydalangan holda hisoblangan (1-4) va implantatsiyadan so'ng qizdirilmagan holda o'lchangan bor atomlari taqsimoti (5-8).

Gauss taqsimoti implantatsiya qilingan borning profilini faqat past ion energiya qiymatlari uchun yaxshi tavsiflaydi. Tarqatish profilining

aniq assimetriyasi taglik yuzasiga qarab paydo bo‘ladi. Biroq, mishyak taqsimot profillari uchun profilning sirtidan uzoqda joylashgan qismida assimetriya aniqlanadi. Asimetriyaning turli shakllari kuch impulsini uzatishning turli tabiati bilan izohlanadi. Yengil ionlarning plastinka atomlar bilan to‘qnashganda, ionlarning orqaga sochilish miqdori nisbatan katta bo‘ladi. Natijada, taglik yuzasi (bor implantatsiyasi) tomonida taqsimlash profilining kesimida kirishma kontsentratsiyasining ortishi kuzatiladi. Og‘ir ionlar plastinka atomlari bilan to‘qnashganda, ko‘p sonli atomlar oldinga siljiydi. Bunday holda, implantatsiya qilingan atomlarning kontsentratsiyasi profilning taglik yuzasidan uzoqda joylashgan qismida oshadi, bu As implantatsiyasi paytida kuzatiladi.

Ionlar tormozlanishining juda muhim amaliy jihatlari ionlarning yon tomonga sochilish effekti. Yon tomonga sochilish istok va stok hududlari o‘rtasidagi legirlashni va shunga mos ravishda ion implantatsiyasi yordamida hosil bo‘lgan MOYa tranzistorlarida kanal uzunligini belgilovchi asosiy cheklovchi omil rolini o‘ynaydi.

6.2. Ion implantatsiya rejimlari

Ion implantatsiyasi rejimlarini aniqlashda asosiy parametrlar tezlashtirilgan ionlarning energiyasi va nurlanish dozasi hisoblanadi. Potensiallar farqi U (V) ta‘sirida q (Kulon) zaryadli ion E (Joul) energiya oladi:

$$E = qU. \quad (6.3)$$

Amalda, tezlashtirilgan ionlarning energiyasi haqida gapirganda, uni elektron voltlarda (eV) yoki kiloelektron voltlarda (keV) ifodalash odatiy holdir. Ionlanish darajasi $n = 1, 2$ yoki 3 elektron bo‘lgani uchun ionning zaryadi 1 dan $3e$ gacha o‘zgarishi mumkin. Umumiy holatda

$$q = ne. \quad (6.4)$$

Ionlanishning darajasini ko‘rsatish uchun "+" belgisi ishlatiladi, masalan, $^{31}\text{P}^+$, $^{31}\text{P}^{++}$, $^{31}\text{P}^{+++}$. 31 raqami fosfor ionining atom massasini bildiradi. Ba‘zida implantatsiya uchun monoatom ionlar emas, balki molekulyar ionlar ishlatiladi, masalan, $^{14}\text{N}_2^+$ - atom massasi 14 , molekulyar og‘irligi $2 \cdot 14 = 28$ bo‘lgan bir marta ionlangan ikki atomli azot molekulasini yoki BF_2^+ - bir marta ionlangan uch atomli bor fluorid molekulasini. Molekulyar ionlar kristall ichiga kiritilganda, odatda darhol alohida atomlarga parchalanadi. Molekulyar massasi M_{ion} bo‘lgan tezlashtirilgan ion tarkibiga kiruvchi M_1 massali har bir atom ega

bo'ladigan energiyani hisoblash uchun quyidagi munosabatdan foydalaniladi:

$$E_1 = EM_1/M_{ion}. \quad (6.5)$$

Radiatsiya dozasi Q - ma'lum vaqt ichida birlik sirtini bombardimon qiladigan ionlar soni. Doza nurlanish jarayoni tugagandan so'ng kristalda qoladigan ionlar soniga teng bo'lmasligi mumkin, chunki changlanish va sochilish hodisalari mavjud. Ko'pgina hollarda, bu hodisalar kiritilgan ionlar soniga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi. Nurlanish dozasi Q ($Kulon/m^2$) ion tokining zichligi j (A/m^2) va nurlanish vaqti t (sek) bilan aniqlanadi:

$$Q = jt. \quad (6.6)$$

Amalda ion tokining zichligi odatda mkA/sm^2 da ifodalanadi, shuning uchun nurlanish dozasi $mkKulon/sm^2$ da ifodalanadi. Q ning qiymati kristallga kiritilgan kirishma ionlarining sonini aniq aks ettirmaydi. Dozani birlik yuzaga kiritilgan ionlar soni N bilan ifodalash uchun Q ning qiymati bitta ionning zaryadi q ga bo'linadi:

$$N = Q/q = jt/(en). \quad (6.7)$$

$e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ *Kulon*, va Q ning $mkKulon/sm^2$ o'lchamiga ega ekanligini hisobga olsak, nurlanish dozasi (ion/sm^2)

$$N = 6.25 \cdot 10^{12} Q/n. \quad (6.8)$$

Ion implantatsiyasi usuli planar texnologiyada ikki bosqichli diffuziyaning birinchi bosqichida ionlarni aniq miqdorda kiritib olish uchun qo'llaniladi. Planar texnologiyada ion implantatsiya bilan diffuziya kombinatsiyasi bir xil kirishmalar va moddalardan foydalanish orqali osonlashtiriladi; fotolitografiya jarayoniga hech qanday ta'sir ko'rsatmaydigan bir xil qalinlikdagi niqoblash uchun bir xil materiallardan foydalanish; yuqori mahsuldorlikka ega bo'lgan radiatsiya dozalarini juda keng diapazonda (10^{10} dan 10^{17} ion/sm^2 gacha) boshqarish imkoniyati mavjud.

Ommaviy ishlab chiqarishda foydalanishga asoslangan ion implantatsiyasi usulining asosiy afzalliklari - kiritilgan kirishmaning umumiy miqdorini aniq nazorat qilish va plastinka yuzasida legirlashning yuqori bir xilligi. Diametri $50 \div 80$ mm bo'lgan plastinka yuzasiga kiritilgan kirishmaning zichlik taqsimotidagi farq 1% yoki undan kam, jarayondan jarayonga natijalarning takrorlanishidagi farq

3% dan oshmaydi. Yarimoʻtkazgich ishlab chiqarishning koʻpgina texnologik operatsiyalarida nazorat qilish aniqligi $1 \div 3\%$ ga etmaydi va $10 \div 20\%$ ni tashkil qiladi. Hatto dastlabki kremniy plastinkalarida ham kirishma konsentratsiyasidagi farq 30% ga etadi. Shu sababli, ion implantatsiyasi usuli bilan kiritilgan kirishmaning odatiy konsentratsiyasi kremniy plastinkasining dastlabki legirlash darajasidan yuqori boʻlishi kerak. Aniq ortiqcha kompensatsiya yoki haddan tashqari dozalash (elektr oʻtkazuvchanligidagi bir xil turdagi kirishmalar uchun) olish uchun ion implantatsiyasi usuliga xos boʻlgan aniqlik zaruriy shartdir.

6.3. Kuydirish va diffuziya

1. Ionlar implantatsiya qilingan qatlamlarni qizdirish. Texnologik amaliyotda ion implantatsiyasi jarayonlarining ikki guruhi qoʻllaniladi: kerakli tuzilmani amalga oshirish uchun keyingi diffuziya tezlashishi uchun kirishmani haydash bosqichi sifatida implantatsiya va kiritilgan kirishmaning diffuziya harakatisiz strukturani bevosita yaratish uchun implantatsiya. Ikkinchi holda, implantatsiyadan soʻng, qizdirish amalga oshiriladi, uning maqsadi radiatsiya buzilishlarini bartaraf etish va implantatsiya qilingan atomlarning elektr faollashuvini taʼminlashdir. Implantatsiya paytida kremniyda paydo boʻladigan kristall panjaradagi radiatsiya nuqsonlarining aksariyati $T < 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ da qizdiriladi. Ikki qizdirish rejimini ajratish mumkin, ularning har birida mavjud nuqsonlarning yarmi yoʻqoladi. Agar nurlanish dozalari kichik boʻlsa va zararning alohida guruhlarini bir-biriga toʻgʻri kelmasa, kremniyning kristalli tuzilishini tiklash $T \leq 260\text{ }^{\circ}\text{C}$ da sodir boʻladi. Yuqori nurlanish dozalari holatida uzluksiz amorf qatlam hosil boʻladi, uning qayta kristallanishi $T \geq 570\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratni talab qiladi. Birinchi rejimda qizdirish klasterlardan vakansiyalarni ajratib olish, yangi nuqsonlar (vakansiyalar assotsiatsiyasi, vakansiya-kirishma komplekslari) hosil boʻlishi va ularning parchalanishi bilan birga keladi. Ikkinchi rejimda qizdirish amorflangan qatlamning epitaksial qayta kristallanishi boʻlib, uning ostidagi monokristalli plastinka urugʻ (zatravka) rolini oʻynaydi.

Ionlar kiritilgan kremniy qatlamlari uchun "qizdirish" va "diffuziya" tushunchalari orasidagi chegara $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ atrofida yotadi. $T > 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan past boʻlsa, diffuziya jarayonlarini eʼtiborsiz qoldirish mumkin. Aksariyat kirishma atomlari uchun tugunlar orasidagi atomlarning kristall panjara tugunlariga oʻtib donor yoki akseptor

xususiyatlarini namoyon qilishi, 300 °C dan yuqori haroratlarda boshlanadi. $T = 400 \div 500$ °C da qizdirilganda klasterlarning mavjudligi va kristall panjaraning to'liq tiklanmaganligi zaryad tashuvchilarning past harakatchanligini va qatlamdagi donorlar va akseptorlar konsentratsiyasining haroratga kuchli bog'liqligini aniqlaydi. B, Al va P kiritilganda, zaryad tashuvchilarning harakatchanligi bir xil kirishma konsentratsiyasiga ega bo'lgan kompensatsiyalanmagan materiallarga qaraganda kamroq bo'ladi. 500 °C da qizdirilgandan so'ng, nuqsonlar klasterlarining ko'pchiligi parchalanishiga qaramay, kompensatsiyalovchi nuqsonlar va chuqur energetik sathli markazlar hali ham qatlamda qolmoqda, bu harakatchanlikka ozgina ta'sir qiladi, lekin zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasini sezilarli darajada kamaytiradi. Agar nurlangan hudud amorf bo'lib qoladigan darajada katta dozalarda ionlar kiritilsa, u holda $500 \div 650$ °C gacha bo'lgan qizdirish harorati oralig'ida zaryad tashuvchilar sonining keskin o'sishi kuzatiladi. Kirishmalarning elektr faollashuvining ushbu bosqichi amorflangan qatlamning qizdirilishiga to'g'ri keladi va uning epitaksial qayta kristallanishi bilan izohlanadi, bunda panjara tugunlaridagi bo'sh joylarini kirishma atomlari egallash ehtimoli yuqori bo'ladi.

Legirlangan qatlamning elektr faolligi qizdirilgandan so'ng zaryad tashuvchilarning effektiv sirt konsentratsiyasi qiymati bo'yicha baholanadi N_s , bu birlik sirt maydoni ostidagi qatlamdagi zaryad tashuvchilarning sonini tavsiflaydi. Har bir kiritilgan ion qizdirilgandan keyin elektr faol bo'lib qolsa, ya'ni kovak yoki o'tkazuvchan elektron hosil qiladi, u holda nurlanish dozasi $N = N_s$. Odatda $N > N_s$.

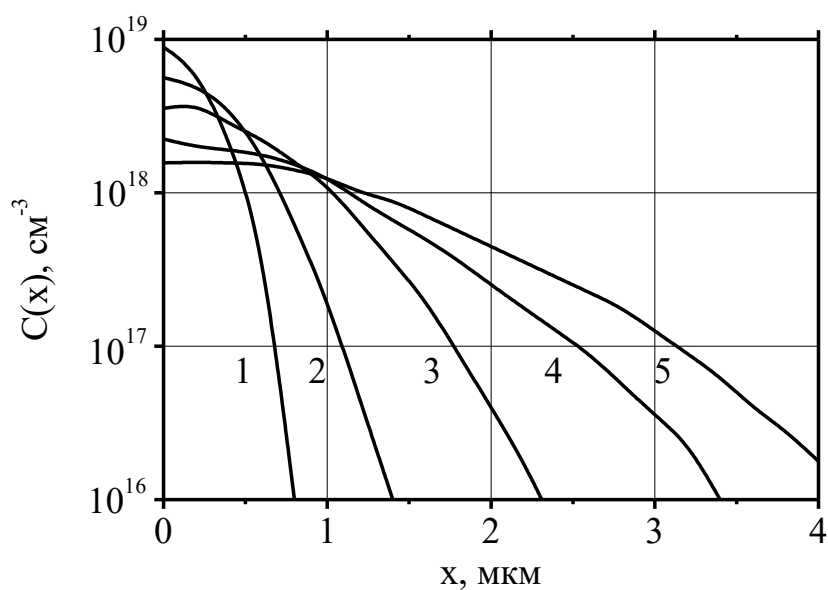
2. Ionlar kiritilgan qatlamdan kirishmalarning tarqalishi. Zamonaviy texnologiyalarning eng keng tarqalgan usullaridan biri bu ion implantatsiyasi va diffuziyaning kombinatsiyasi. Ion implantatsiyasi jarayondan jarayongacha yuqori takrorlanuvchanligi va nurlangan plastinalar yuzasida taqsimlanishining yuqori bir xilligi bilan qat'iy belgilangan miqdordagi kirishmani oldindan yuborish uchun ishlatiladi. Diffuziya $p-n$ - o'tishning zarur chuqurligi va zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasi bilan atomlarning istalgan taqsimot profilini ta'minlash uchun kiritilgan kirishmaning keyingi tezlashishiga xizmat qiladi. Asosan kam legirlangan joylarni yaratishda ion implantatsiyasidan foydalaniladi: tranzistorlar bazasi, rezistor elementlari va boshqalar.

Nurlanishning past $Q \leq 10^2$ mkKulon/sm² dozali ionli qatlamlaridan kirishmalarning diffuziyasi, xuddi cheklangan manbadan diffuziyalangan kabi bo'ladi. Ionlar implantatsiyasi bilan diffuziyani

birlashtirilgan taqsimot sifatida ifodalanishi mumkin

$$C(x,t) = \frac{N}{\sqrt{\pi(\sqrt{2}\Delta R_p + \sqrt{Dt})}} \exp \left[- \left(\frac{x - R_p}{\sqrt{2}\Delta R_p + 2\sqrt{Dt}} \right)^2 \right]. \quad (6.9)$$

Rasm 6.3 da argon atmosferasida 0,25 ÷ 16 soat davomida 1100 °C da haydalgandan so‘ng olingan bor konsentratsiyasining taqsimlanish profillari ko‘rsatilgan. Bor implantatsiyasi dozasi $N = 3 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-2}$ va $E = 30 \text{ keV}$ energiya bilan amalga oshirildi. Turli tezlashuv vaqtlaridan keyin diffuziya koeffitsienti past kirishma konsentratsiyasida oddiy diffuziya uchun ma‘lum bo‘lgan ma‘lumotlarga mos keladi. Doimiy diffuziya koeffitsientida amal qiladigan o‘tishning dastlabki joylashuvini hisobga olgan holda, p-n o‘tishning chuqurligi va tezlashuv davomiyligi o‘rtasida bog‘liqlik (5.2) mavjud. Yuqori nurlanish dozalarida hosil bo‘lgan qatlamlardan diffuziya paytida (5.2) munosabat buziladi. Rasm 6.4 da uzluksiz chiziqlarda 1150 °C da quritilgan azotda 1,5 soat davomida haydalgandan so‘ng kremniyga 40 keV energiyasi va $5 \cdot 10^{13}$ dan $6 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-2}$ gacha dozalari kiritilgan fosfor profillari ko‘rsatilgan.

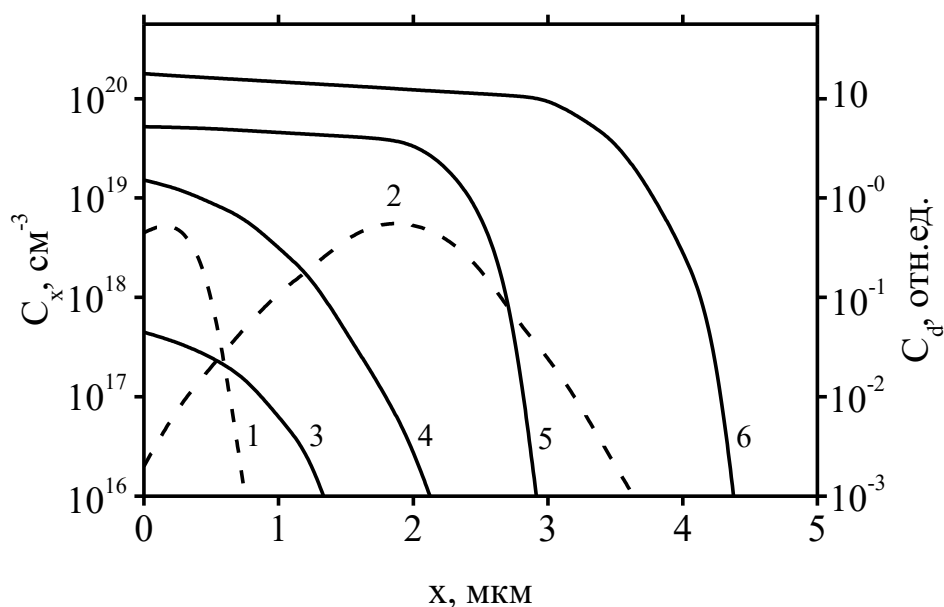


6.3-rasm. Kremniyda haydalgandan keyingi bor taqsimoti profillari:
1 – 0,25 soat, 2 – 1 soat, 3 – 4 soat, 4 – 8 soat, 5 – 16 soat.

Agar p-n - o‘tish chuqurliklarining $\sqrt{\lg N}$, nisbatini hisoblasak. (5.2) tenglama bo‘yicha bu chuqurliklar to‘g‘ridan-to‘g‘ri proporsional bo‘lishi kerak bo‘lgan kesishmalar va qiymatlar bo‘lsa, u holda o‘tish chuqurligi oddiy diffuziya uchun nazariy munosabatlardan kelib

chiqadigan nurlanish dozasi ortishi bilan tezroq oshadi. Tarqatish profillarining shakli - sirtga yaqin zonada kontsentratsiyaning nisbatan zaif pasayishi va qatlam chuqurligining keskin pasayishi - kirishma tarqalishi jarayonining kuchayishini ko'rsatadi. Tezlashtiruvchi omillar yuqori kirishma kontsentratsiyasi va ko'p miqdordagi radiatsiya nuqsonlarining mavjudligi bo'lib, ularning qizdirilishi bilan parchalanishi ortiqcha bo'sh joylar oqimining paydo bo'lishi bilan birga keladi. 10^{16} sm^{-2} dan yuqori dozalarda profillarning pog'onali shakli an'anaviy diffuziyaga xos bo'lib, legirlash hududida nomuvofiq dislokatsiyalar hosil bo'lishidan kelib chiqadi.

Dislokatsiya tarmoqlarining chuqurlik bo'yicha nisbiy birliklarda taqsimlanishi ikki eng yuqori doza uchun rasm 6.4 da nuqtali chiziqlar bilan ko'rsatilgan. Dislokatsiya tarmoqlarining tarqalish chuqurligi diffuziya chuqurligidan kamroq.



Rasm 6.4. Kremniyga $E = 40 \text{ keV}$ energiya va 5×10^{13} (3), 2×10^{15} (4), 1×10^{16} (5) va 6×10^{16} (6) sm^{-2} dozalari bilan kiritilgan fosforining C_x quritilgan azotda haydalgandan so'ng tarqalish profillari.

Kremniyda 5×10^{13} (1) va 6×10^{16} (2) sm^{-2} dozalari bilan fosfor implantatsiyasidan keyin hosil bo'lgan dislokatsiyalar C_d taqsimoti.

Yuqori nurlanish dozalarida chuqurroq diffuziya muvozanatsiz vakansiyalar oqimining paydo bo'lishi va dislokatsiyalarning o'zaro ta'siri va ularning dislokatsiya tarmog'i hududidan tashqariga tarqalishi bilan bog'liq. Ushbu ta'sirlarni ajratish deyarli mumkin emas.

6.4. Yarimo‘tkazgichlar texnologiyasida ion implantatsiyasi jarayonlaridan foydalanish

Ion implantatsiya texnologik jarayonlarining yuqori darajada o‘zlashtirilganligi yarimo‘tkazgichli asboblarning parametrlarini yaxshilash, ularning takrorlanishini, yaroqsiz mahsulotning kamayishiga va ishlab chiqarilgan mahsulot tannarxini sezilarli darajada yaxshilashga, shuningdek, ion implantatsiyasidan foydalanish ishlab chiqarish qiyin yoki imkonsiz bo‘lgan yangi turdagi asboblarni yaratishga imkon beradi. Kirishma atomlarni kiritish uchun implantatsiyadan foydalanish keng tarqalgan. 30-300 keV energiya diapazonida va 10^{11} - 10^{17} sm⁻² dozalarda implantatsiyadan foydalanish har xil turdagi diskret yarimo‘tkazgichli asboblarning va IS larni yaratishga imkon beradi: bipolyar tranzistorlar va IS, o‘ta yuqori chastotali tranzistorlar, maydonli MOY tranzistorlar, ko‘chki diodlari, sig‘imning kuchlanishga o‘ta keskin bog‘liqligi bo‘lgan varikaplar, fotodetektorlar va boshqalar. Yarimo‘tkazgichli asboblarning va IS larni rivojlantirishning keyingi istiqbollari element o‘lchamlari 1 mikrondan kichikroq tuzilmalarni shakllantirish bilan bog‘liq, buning uchun elektron va rentgen litografiyasiga asoslangan submikron texnologiyasini yaratish zarur, bu ion implantatsiyasidan foydalanmasdan mumkin emas. Yarimo‘tkazgichlar ishlab chiqarishida ion implantatsiyasidan foydalanishning asosiy yo‘nalishlarini ko‘rib chiqaylik.

1. Bipolyar tranzistorlar. Bipolyar tranzistorlar ishlab chiqarishda ion implantatsiyasi emitter, baza, kollektor, kollektor va baza kontaktlari uchun kuchli legirlangan sohalar, ajratish diffuziyasi, yashirin n⁺-sohalari va boshqalarni hosil qilish uchun ishlatiladi. Baza sohasini yaratishda nurlanish dozasini o‘zgartirish emitter tokini uzatish koefitsientini boshqarish imkonini beradi va bazada kirishma atomlarining taqsimot profilini shakllantirish jarayonida ion energiyasini o‘zgartirish - baza kengligini boshqarish va shu bilan asboblarning chastotaviy xarakteristikalarini sozlash imkonini beradi. Yuqori tok uzatish koefitsientiga ega bipolyar tranzistorlarni yaratish uchun ikkita usul qo‘llaniladi, p-bazani hosil qilish uchun yuqori energiyada past dozada borni kiritishga va sayoz emitter sohasini hosil qilish uchun yuqori dozada mishyakni kiritishga asoslangan. Birinchi holda kiritilgan kirishma profilini o‘zgarmagan holda saqlashga va emitter qatlamini 900 ÷ 950 °C haroratda 10 ÷ 15 daqiqa davomida qizdirish paytida kirishmaning yuqori elektr faolligini ta‘minlashga intiladi. Ikkinchi

holda, emitter sohada kirishmani yuqori haroratda qisqa vaqtda diffuziya qilishda qo'llaniladi. Emitter o'tishi bu holda implantatsiya ta'sir qilmaydigan va zaryad tashuvchilarning yashash vaqti panjara buzilishi tufayli kamaymagan materialda joylashgan, shuning uchun emitterning effektivligi yuqori. Sanoat ishlab chiqarishida o'zining yuqori samaradorligini ko'rsatgan ion implantatsiyasi texnologiyasining birinchi amaliy qo'llanilishidan biri MOYa tranzistorlari bilan bog'liq. Implantatsiyadan foydalanish tranzistor parametrlarining yuqori bir xilligi va takrorlanishini ta'minlaydi va foydalanish mumkin bo'lganlar foizini sezilarli darajada oshirishi mumkin. Implantatsiyadan foydalanish MOYa tranzistorlarining ishonchliligini oshiradi, bunga zatvor osti oksidi qalinligini oshirish va oksid orqali kirishma ionlarini kiritib bo'sag'a kuchlanishni kerakli qiymatga kamaytirish orqali erishiladi. MOYa tranzistorlarining volt-amper xarakteristikasining ishonchliligi va etarli darajada tikligini ta'minlash nuqtai nazaridan zatvor osti oksidining optimal qalinligi 0,1-0,15 mikronni tashkil qiladi. Ion implantatsiyasining eng muhim qollanishlaridan biri bo'sag'a kuchlanishini o'zgartirish uchun implantatsiya qilinayotgan kirishma atomlari kontsentratsiyasini nazorat qilishdir. Ion implantatsiyasi yordamida bo'sag'a kuchlanishini nazorat qilish MOYa tranzistorining sirt zaryadini o'zgartirish bilan bog'liq. Dioksid-kremniy chegara sohasiga kiritilgan kirishmalar sirt holatlarining zaryadini kamaytiradi yoki oshiradi va shunga mos ravishda dielektrik plyonkaning ma'lum bir qalinligi uchun bo'sag'a kuchlanishini oshiradi yoki kamaytiradi. Ushbu usulning afzalligi shundaki, u asbobning boshqa parametrlarini sezilarli darajada o'zgartirmasdan, kamaytirish va boyitish rejimlarida ishlaganda tuzilmalarning bo'sag'a kuchlanishini sozlash imkonini beradi. Ushbu holatda ion implantatsiyasi usuli nafaqat MOYa transistor va IS larning yanada yaxshi konstruksiyasini ta'minlabgina qolmay, balki standart MOYa texnologiyasiga osongina mos kelishini ham isbotladi.

2. Rezistorlar. Implantatsiya qilinib qizdirilgandan keyin olingan legirlangan qatlamlar, aslida, sirt qarshiligining yuqori bir xilligiga ega bo'lgan tayyor rezistiv elementlardir. Nurlanish dozasini va qizdirish haroratini o'zgartirish orqali rezistiv qatlamning sirt qarshiligi $10 \text{ Om}/\square$ dan $100 \text{ kOm}/\square$ gacha boshqariladi. Rezistor texnologiyasi bipolyar tranzistor va IS texnologiyasiga mos keladi. Rezistorlarning shakllanishi ko'pincha baza soha yoki emitter qatlamining shakllanishi bilan birlashtiriladi. Rezistorning konfiguratsiyasi kremniy dioksidda ochilgan darchalar topologiyasi bilan belgilanadi va dioksid yoki fotorezist

himoya niqobi sifatida xizmat qiladi. Kontakt maydonchalari implantatsiyadan oldin diffuziya usuli yordamida yaratiladi. Rezistor qarshiligining bir xilligiga erishishda cheklovchi omil sifatida fotolitografiyaga bardoshlilikidan foydalaniladi.

3. Chiziqli profillarni shakllantirish. Ba'zi hollarda texnolog yoki konstruktorning oldiga nisbatan katta chuqurlikdagi kirishmalar taqsimotining chiziqli profilini olish vazifasi qoyiladi. Kirishmaning ma'lum bir taqsimot profilini olish uchun bir nechta dozalar va energiyalar bilan bir nechta implantatsiyalar amalga oshiriladi. Bu bir jinsli, shuningdek, bir xilda ortib boruvchi yoki kamayuvchi profillarni olish imkonini beradi. Energiyalar va dozalarni tanlash kompyuterda umumiy profilni modellashtirish orqali amalga oshiriladi. Avval, kerakli chuqurlik uchun ion energiyasi va ushbu chuqurlikda kerakli konsentratsiyani ta'minlaydigan doza aniqlanadi. Keyin konsentratsiyalar farqi ruxsat etilgan qiymat chegarasida bo'lgan umumiy profilni olish uchun nurlanish dozalari turli ion energiyalari uchun tanlanadi.

6.5. Ion implantatsiya tuzilmalarini nazorat qilish usullari

Yarimo'tkazgichlar ishlab chiqarishiga ion implantatsiyasi texnologiyasini joriy etish ionlar implantatsiyasi tuzilmalarini nazorat qilishning bir qator o'ziga xos usullarini ishlab chiqishga sabab bo'ldi, bu kiritilgan kirishma atomlarining xatti-harakatlarini aniqlashga va radiatsiyaviy nuqsonlarning shakllanishiga qaratilgan.

1. Zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining legirlangan qatlam chuqurligi bo'ylab taqsimotini aniqlash. Ushbu tadqiqot yupqa qatlamlarni yemirish va Holl koeffitsientini o'lchash orqali amalga oshiriladi. Kremniyning yupqa qatlamlari anodli oksidlash va oksid plyonkani ftorid kislotada yemirish orqali amalga oshiriladi. Oksidlanish uchun elektrolit: 498 g etilenglikol ($C_2H_6O_2$) va 2 g kaliy nitrat (KNO_3 – kaliyli selitra) dan iborat. Kremniy namunasi anoddir. Anod kuchlanishi $100 \div 250$ V, boshlang'ich momentda anod toki 100 mA gacha ko'tariladi va jarayon oxirida namuna maydoni ~ 1 sm² bo'lganda $1 \div 2$ mA ga tushadi. Oksid plyonkasi qalinligi lazer ellipsometrik mikroskop yoki interferentsiya ranglari yordamida aniqlanadi. Olib tashlangan kremniy qatlamining qalinligi kremniy dioksididagi kremniyning massa ulushiga qarab hisoblanadi:

$$M_{Si} : M_{SiO_2} = \Delta x : \Delta_{SiO_2} = 28 : 60 = 0,465. \quad (6.10)$$

Deyarli mumkin bo'lgan xatolik bilan, olib tashlangan kremniy qatlamining qalinligi anod kuchlanishiga chiziqli bog'liq va ko'rsatilgan rejimlar uchun $\Delta x = KU$ munosabati amal qiladi, bu erda $K = 0,2 \text{ nm} / \text{V}$.

Kirishmalarning bir xil bo'lmagan taqsimlanishiga ega bo'lgan qatlamlar sirt Holl ko'effitsienti R_{HS} bilan tavsiflanadi, bu ko'effitsient butun qatlamning qalinligi x_j bo'yicha Holl kuchlanishining o'rtacha qiymatini o'z ichiga oladi. Qatlamidagi o'rtacha zaryad tashuvchilar konsentratsiyasi C ni qatlam qalinligi x_j ga ko'paytmasi ($C \cdot x_j$) legirlangan qatlamining birlik yuzasidagi zaryad tashuvchilar soni N_S (sm^{-2}) ga teng. Bu qiymat zaryad tashuvchilarning effektiv sirt konsentratsiyasi deb ataladi:

$$N_S = C \cdot x_j. \quad (6.11)$$

Sirt Holl ko'effitsienti N_S ifodasi bilan quyidagicha bog'langan

$$N_S = \frac{r}{eR_{HS}}, \quad (6.12)$$

Bu erda r - Holl omili, ya'ni Holl va dreyf harakatchanliklarining nisbati. Holl omilining aniq qiymati odatda noma'lum bo'lganligi sababli, ionli qatlamlar uchun u 1 ga teng deb qabul qilinadi. Bu N_S ni hisoblashda haqiqiy qiymatlardan: elektronlar uchun kam tomonga va kovaklar uchun ko'p tomonga 20-30% xatolikka olib kelishi mumkin.

Holl o'lchovlari uchun plastinkalar ixtiyoriy shaklda bo'lishi mumkin. Ikki ta juft qarama-qarshi kontaktlar namunaning qirralarida hosil qilinadi va 1, 2, 3, 4 raqamlari bilan belgilanadi. Sirt Holl doimiy R_{HS} (sm^2/Kulon) 2 va 4 kontaktlardan I_{24} (A) tok oqib turganda va namuna tekisligiga perpendikulyar B (Tesla) magnit maydoniga kiritilganda $\Delta U_{13}(B)$ kuchlanishining o'zgarishi bilan aniqlanadi:

$$R_{HS} = \frac{10^4 \Delta U_{13}}{BI_{24}} \quad (6.13)$$

Xoll ko'effitsientini aniqlab, effektiv sirt konsentratsiyasi topiladi:

$$N_S = \frac{6.25 \cdot 10^{18}}{R_{HS}} \quad (6.14)$$

Keyin kremniyning yupqa qatlamli yemiriladi va N_S yana o'lchanadi. Ushbu jarayon ko'p marta takrorlanadi. Qalinligi Δx bo'lgan

i-chi yemirib tashlangan qatlamdagi tok tashuvchilarning konsentratsiyasi C_i (sm^{-3}) quyidagi munosabatdan topiladi:

$$eC_i\mu_i\Delta x = \sigma_{si} - \sigma_{s(i+1)}, \quad (6.15)$$

By erda

$$C_i = \frac{\Delta\sigma_{si}}{e\mu_i\Delta x}. \quad (6.16)$$

2. Ikkilamchi ion massa spektroskopiyasi (IIMS). Ushbu usul kiritilgan ionlarning qatlam chuqurligi bo'ylab tarqalish profillarini aniqlash imkonini beradi. IIMS dan foydalanganda namuna to'htovsiz ravishda argon ionlari bilan bo'mbordimon qilinib changlatiladi. Kirishma atomlarining ikkilamchi ionlari massa bo'yicha ajratgichdan o'tadi. O'lchovchi qurilmaning chiqishida qayd qilingan ion toki changlatilgan yarimo'tkazgichning ma'lum atom qatlamidagi kirishma konsentratsiyasiga proportsionaldir va changlatish vaqti uning chuqurligiga proportsionaldir.

Qurilmaning sezgirliigi kirishma turiga bog'liq, ammo barcha ionlar uchun u 10^{16} sm^{-3} darajasida yotadi. Birlamchi argon ionlarining energiyasi $3 \div 6 \text{ keV}$ oralig'ida sozlanishi mumkin. Odatda kremniyning changlanish tezligi $0,6 \text{ nm/s}$ ni tashkil qiladi. Olingan ion toki $i(t)$ ning vaqtga bog'liqligini $C(x)$ ga kalibrlash uchun taqsimot egri chizig'i Gauss deb faraz qilinadi, shuning uchun ion implantatsiyasining dozasi $i(t)$ egri chizig'i ostidagi maydonga to'g'ri keladi, va maksimal konsentratsiya

$$C_{\max} = \frac{0.94N}{w}, \quad (6.17)$$

Bu erda $w - C = 0.5C_{\max}$ darajasidagi Gauss egri chizig'ining to'liq kengligi.

3. Oje elektronlar spektroskopiyasi (OES). Oje elektronlar spektroskopiyasi usuli qalinligi $0,3$ dan 3 nm gacha bo'lgan kristallar va amorf jismlarning sirt qatlamlaridagi kirishmalarning tarkibi va miqdori haqida ma'lumot beradi. Vodorod va geliydan tashqari barcha elementlar aniqlangan. Atomlarning ichki qobiqlari tezlashtirilgan elektronlar nurlari bilan qo'zg'atilganda, ikkilamchi elektronlar chiqish jarayoni kuzatiladi. Agar namunaga tushgan birlamchi elektronlar ichki K-energetik sathni ionlashtirsa va bu energetik sathda paydo bo'lgan kovakni yuqori L_1 energetik sathdagi elektron to'ldirsa, u holda L_1 -K

o'tish paytida chiqarilgan energiya L_2 energetik sathdagi elektronga berilishi mumkin. Bu energiya elektronni L_2 energetik sathdan vakuumga chiqarish uchun etarlicha yuqori. L_2 energetik sathidan vakuumga chiqadigan bunday elektron oje-elektron (OE) deb ataladi. OE emissiyasi natijasida atom ikki marta ionlangan holatda bo'ladi (bitta elektronni birlamchi electron urib chiqardi, ikkinchi electron ortiqcha energiya olgani tufayli vakuumga o'zi chiqib ketdi). Ikkilamchi elektronlar detektorining sezgirligi etarlicha yuqori bo'lganda ikkilamchi elektronlarning energiya taqsimoti egri chizig'ida bir nechta piklar alohida-alohida ajralishi mumkin, ularning ba'zilar chiqarilgan OE energiyasini tavsiflaydi. OE ning energiyasi birlamchi elektronlarning energiyasiga bog'liq emas. OE pikining energiyasiga qarab Element aniqlanadi va aniqlangan Element atomlarning konsentratsiyasi emissiya intensivligi bilan baholanadi.

OES yordamida kamida 10^{18} sm^{-3} konsentratsiyali kirishma tarkibi aniqlanadi. Aniqlanishi mumkin bo'lgan minimal konsentratsiya 10^{16} sm^{-3} . Yarimo'tkazgichning yupqa qatlamlarini ketma-ket olib tashlash va OES tahlilini o'tkazish orqali chuqurlik bo'yicha kirishma konsentratsiyasining taqsimlanishi profillari olinadi. Usulning yuqori aniqligi OE ning faqat $1 \div 5$ atom qatlamidan, ya'ni $0,5 \div 3 \text{ nm}$ chuqurligidan chiqishi bilan bog'liq.

7. P-N - O'TISHLAR SIRTINI HIMOYA QILISH

7.1. Sirt holatining qurilmaning elektr parametrlariga ta'siri

Yarimo'tkazgichli kristall yoki yarim o'tkazgich plastinkasi (taglik) yuzasiga chiqqan qismi $p-n$ – o'tishning yuzasi deyiladi. $p-n$ – o'tish chiqadigan yarimo'tkazgich materiali sirtining holati (uning mukammallik darajasi, ishlov berishning tozaligi va tashqi muhitdan yuqori sifatli himoyasi) qurilmalarning elektr parametrlariga $p-n$ - o'tishning qolgan qismi joylashgan yarimo'tkazgich hajmining fizikaviy xususiyatlariga qaraganda kuchliroq ta'sir qiladi. Yarimo'tkazgichli kristall ichidagi $p-n$ - o'tish tashqi ta'sirlardan ishonchli himoyalangan bo'lsa, uning kristall yuzasiga chiqqan qismi qo'shimcha himoyasiz bu ta'sirlarga qarshi turolmaydi. Bundan tashqari, yarimo'tkazgich materialining sirt tuzilishi cheksiz davom etadigan kristallning ma'lum bo'lgan energetik zonasi bilan solishtirganda boshqa, sifat jihatidan farq qiladigan energetik zona tuzilishiga ega. Sirt tuzilishi qisman uzilgan boq'larga ega bo'lgan atomlardan iborat. Har bir atomda kovalent bog'lanish uchun yetarlicha "sheriklar" bo'lmaganligi sababli, bu bog'lar to'yinmagan bo'lib qoladi, bu taqiqlangan energetik zonada joylashgan energiya holatlarini hosil qiladi. Atomlar elektronlarni ushlash orqali o'z bog'larini to'ldirishga harakat qilganligi sababli, hosil bo'lgan energiya holatlari elektron yetishmasligi tufayli yarimo'tkazgich materialining asosiy qismining elektr o'tkazuvchanligi turidan qat'iy nazar, akseptorli bo'ladi.

Ko'rib chiqilgan energiya holatlari bilan bir qatorda yarim o'tkazgich materialida begona moddalar atomlarining gazlar va suyuqliklar shaklida adsorbsiyasi natijasida qo'shimcha sirt holatlari paydo bo'lishi mumkin. Adsorbsiyalangan atomlarning xossalari ko'ra, yangi paydo bo'lgan energiya holatlari akseptor yoki donor bo'lishi mumkin. Agar elektronlarni ushlaydigan atom yoki molekula yarim o'tkazgich material yuzasida adsorbsiyalangan bo'lsa, akseptor energiya holatlari hosil bo'ladi. Yarimo'tkazgich materiali elektron o'tkazuvchanlikka ega bo'lsa, u holda o'tkazuvchanlik zonasidan yoki donor sathidan elektronlar Fermi darajasidan past bo'lgan akseptor energiya holatlarini to'ldirishga moyil bo'ladi. Bu yarimo'tkazgichli materialning yuzasiga yaqin joyda joylashgan yupqa qatlami, erkin elektronlar yo'qolib, u erda qolgan donor markazlar tomonidan musbat zaryadlangan bo'lishiga olib keladi. Buning natijasida hosil bo'lgan

elektr maydoni shunday yoʻnalganki, u yarimoʻtkazgich materialining xajmidan keladigan elektronlarni qaytaradi va ular uchun energiya toʻsigʻini hosil qiladi. Bunday holda, yarimoʻtkazgich-tashqi muhit chegarasida energiya zonasining egrilanishi va yarimoʻtkazgich materiali yuzasida inversiya qatlamlarning paydo boʻlishi kuzatiladi.

Gaz yoki bugʻ molekulalarining adsorbsiyasi fizik yoki kimyoviy boʻlishi mumkin. Fizik adsorbsiya holatida bugʻlar va gazlar qattiq jismning ionlari va qutblanadigan gaz yoki bugʻ molekulalari oʻrtasidagi Kulon oʻzaro taʻsir kuchlari tufayli yarim oʻtkazgich materialining yuzasida saqlanadi.

Kimyoviy adsorbsiya (xemosorbtsiya) holatida molekulalar atomlarga ajraladi va ular bilan yarimoʻtkazgich materialining sirt atomlari oʻrtasida valent elektronlarning qayta taqsimlanishi, barqaror kimyoviy bogʻlanishlar sodir boʻladi. Shunday qilib, suv bugʻi yarimoʻtkazgichli materiallar yuzasida ikkala mexanizm yordamida adsorbsiyalanadi, birinchi ikki yoki uch atom qatlamida (kimyoviy bogʻlanish) yarim oʻtkazgich panjarasining atomlari bilan mustahkam bogʻlangan va harakatsiz boʻlib, keyingi qatlamlarda (fizik bogʻlanish) suv molekulalari yarimoʻtkazgich materialining yuzasi boʻylab harakatlanishi mumkin.

Shunday qilib, har xil gazlar va bugʻlarning adsorbsiyasi yarimoʻtkazgichning sirtga yaqin yuzasida fazoviy zaryadning paydo boʻlishiga olib keladi. Eng faol xemosorbtsiyalangan gazlar, ayniqsa kislorod va suv bugʻlari. Kislorod, ozon va xlorning adsorbsiyasi manfiy sirt zaryadini hosil qiladi. Suv bugʻlari, spirt va asetonning adsorbsiyasi, aksincha, musbat zaryad hosil boʻlishiga olib keladi. Yarimoʻtkazgich material yuzasiga adsorbsiyalangan namlik tarkibida metall ionlari boʻlishi mumkin (masalan, natriy $\sim 1 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-2}$ gacha) va ion oʻtkazuvchanlik boʻlishi mumkin. Bunday yarimoʻtkazgich yuzasida p-n - oʻtish joyiga tashqi elektr maydoni qoʻyilganda, sirtida ionli tok paydo boʻladi, u p-n - oʻtishning hajimdagi tokidan bir necha marta oshib ketishi mumkin.

Ion tokidan tashqari, qurilmalarning elektr parametrlarini oʻzgartirishda invers qatlamlar (kanallar) hosil boʻlishidan yuzaga keladigan sirqish toklari muhim rol oʻynaydi. Shunday qilib, yarimoʻtkazgich materialining qayeridadir hosil boʻlgan va yuzaga chiqqan p-n - oʻtish bilan tutashgan invers qatlam p-n - oʻtishning effektiv maydonini oshiradi va qurilmaning teskari tokining oshishiga sabab boʻladi.

Shunday qilib, qurilmaning teskari toki ion yoki kanal o'tkazuvchanligi tufayli sezilarli darajada oshishi mumkin. Teskari tok o'zgarishining tabiatiga qarab, qaysi mexanizm ustunligini aytish mumkin. Ion toklari uchun bog'liqlik chiziqligiga yaqin; kanal toklari berilayotgan kuchlanishning kvadrat ildizdagi qiymatiga proportsional ravishda o'zgaradi.

P-n – o'tishning buzilish kuchlanishining pasayishi ham kanallar mavjudligi bilan bog'liq. Kanalga yaqin joydagi p-n – o'tishning buzilish kuchlanishi hajmdagiga qaraganda kamroq, chunki kanalning o'tkazuvchanligi asosiy materialning o'tkazuvchanligidan kattaroqdir.

Yarimo'tkazgich materialining sirt holati ta'sir qiladigan muhim parametr asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning sirt rekombinatsiyasi tezligidir. Yarimo'tkazgichning sirtidagi uzilgan bog'lar va adsorbsion mexanizmlar ta'siri tufayli sirt rekombinatsiyasi tezligi hajmdagi rekombinatsiyadan sezilarli darajada yuqori. Shu sababli, asosiy bo'lmagan zaryad tashuvchilarning haqiqiy yashash vaqti faqat hajmiy nuqsonlar bilan belgilanadigan yashash vaqtdan sezilarli darajada kamroq. Transistorlarda sirt rekombinatsiyasining ortishi zaryad tashuvchilar ko'chirilish koeffitsientining pasayishiga va kuchaytirish koeffitsientining pasayishiga olib keladi.

Qurilmalarning uzoq muddatli ishlashi vaqtida ularning elektr parametrlarining yomonlashishi, birinchi navbatda, p-n o'tishlari bo'lgan yarimo'tkazgich kristall sirt holatining o'zgarishi bilan bog'liq. Yarimo'tkazgich kristall sirt holatining o'zgarishi atrof-muhitning o'zgarishi va uning yarim o'tkazgich materialiga ta'siri bilan bog'liq. Shuning uchun, faqat tayyor qurilmalarning elektr parametrlari emas, balki ularning ishonchliligi va xizmat muddati ham yarimo'tkazgich kristalining p-n - o'tishli sirtini himoya qilish sifatiga bog'liq.

Yarimo'tkazgich texnologiyasida p-n - o'tishi bo'lgan yarimo'tkazgich kristalining yuzasiga tashqi agressiv muhitning ta'sirini oldini olish uchun turli xil usullar va texnologik operatsiyalar qo'llaniladi, bu esa tayyor qurilmaning ishlashi paytida elektr parametrlarini barqarorlashtirishga va uzoq muddatli saqlashga imkon beradi.

Suyuq kremniyorganik laklar va kompaundlarni p-n - o'tishlari bo'lgan yarimo'tkazgich kristall yuzasiga surib quritish, sirtini himoya qilishning birinchi usullaridan biri bo'lgan va bugungi kungacha qo'llanilmoqda. Bu usul birinchi navbatda planar bo'lmagan turdagi qurilmalarni (qotishma, qotishma-diffuziya, meza-qotishma va

mezadiffuziya) ishlab chiqarishda qoʻllaniladi.

7.2. Kremniy oksidi va nitrid plyonkalari bilan himoya qilish

Kremniy dioksidi va nitridi himoya plyonkalari planar va planar-epitaksial texnologiya yordamida ishlab chiqarilgan yarimoʻtkazgichli asboblarda va IS ishlab chiqarishda keng qoʻllanilishini topdi. Asboblarni ishlab chiqarishning planar versiyasida kremniy dioksidi (SiO_2) va kremniy nitridi (Si_3N_4) himoya plyonkalari p-n – oʻtishlarni yaratish boshlanishidan oldin kremniy plastinka – taglikda hosil qilinadi. SiO_2 va Si_3N_4 himoya plyonkasi orqali mahalliy diffuziyani amalga oshirish yarimoʻtkazgich materialining yuzasiga p-n – oʻtishlarning chiqishini izolyatsiya qilish va shu bilan uni tashqi taʼsirlardan himoya qilish imkonini beradi.

P-n - oʻtishlari boʻlgan kremniy kristallari yuzasida himoyalovchi oksid plyonkalarni kuchli kimyoviy oksidlovchi moddalarda ishlov berish orqali olish mumkin. Nitrat kislota koʻpincha oksidlovchi sifatida ishlatiladi. Kremniy yuzasida hosil boʻlgan himoya plyonkalarining qalinligi va bir xilligi koʻp jihatdan kimyoviy oksidlanish rejimlariga bogʻliq.

Himoyalovchi oksid plyonkalarini p-n - oʻtishlari boʻlgan yarimoʻtkazgichli plastinka yuzasiga kislorodli birikmalarning suvli eritmalarini qoʻllash orqali olish mumkin. Ushbu birikmalar kremniy bilan oʻzaro taʼsirlashishi natijasida kislorod ajralib chiqadi va kremniyning yuzasini oksidlaydi, yupqa himoyalovchi plyonka hosil qiladi. Bunday eritmalar sifatida 100 ml suv va 50 mg natriy atsetat aralashmasidan foydalanish mumkin; 200 ml suv va 70 ml ortofosfor kislotasi; 100 ml suv va 50 ml sulfat kislota; 150 ml suv va 10 g ikkinatriy fosfat va boshqalar. Bu aralashmalarda ishlov berish $10 \div 15$ soat davomida $250 \div 350^\circ\text{C}$ haroratda amalga oshiriladi.

Bir jinsli SiO_2 himoya plyonkalarini karbonat angidrid atmosferasida yoki katalizator ishtirokida karbonat angidrid chiqishiga yordam beruvchi moddada p-n - oʻtishlari boʻlgan kremniy plastinkalari va kristallarini ishlov berish orqali olish mumkin. Katalizator odatda vodorod yoki metan yoki etilen kabi vodorodni oʻz ichiga olgan birikma hisoblanadi. Ushbu usul qotishma olish yoki diffuziya jarayonlarini amalga oshirgandan soʻng himoya plyonkalarni olish imkonini beradi.

8. INTEGRAL SXEMALAR TAYYORLASH TEXNOLOGIYASI

8.1. Bipolyar integral sxemalar tayorlash texnologiyasi

Bipolyar integral sxemalar (IS) elementlari bir- biridan va taglikdan izolyatsiyalangan soxalarda - chuntaklarda xosil qilinadi. Ko'pgina integral sxemalar uchun dastlabki material sifatida yashiringan n^+ - soxalarga ega bo'lgan epitaksial qatlamli yarimo'tkazgich plastinkalari ishlatiladi. Yashiringan n^+ - soxa kollektor qarshiligini kamaytirish uchun xizmat qiladi. Bitta texnologik jarayonda xam tranzistorlar, xam diodlar, xam rezistor va kondensatorlar xosil qilinadi. Texnologik jarayon so'ngida metallash bajariladi: aktiv soxalarga kontaktlar (tutashuvlar), tok o'tkazuvchi yo'llar tashqi oyoqchalarga ulanadigan kontakt maydonchalari.

Ximoyalovchi maska sifatida kremniy ikki oksidi (SiO_2) qatlami xosil qilinadi. Kremniy ikki oksidi qatlami akseptorli kirishmalardan faqat bor (B) atomlari uchun to'siq bo'lishi mumkin. Al, In va Ga kremniy ikki oksidi (SiO_2) qatlamida tez diffuziyalanadi. Bu atomlar uchun to'siq vazifasini kremniy nitrati (Si_3N_4) qatlami bajaradi.

Donorli kirishmalardan ko'pincha fosfor ishlatiladi. U surma (Sb) va mishyak (As) ka nisbatan kremniyda katta diffuziya koeffitsientiga ega va surmaga nisbatan kremniydagi eruvchanligi katta.

Akseptorli kirishmalarga nisbatan donorli kirishmalar kremniyda sekinroq diffuziyalanadi va bir tekis joylashadi. Shuning uchun kremniyli n-p-n tranzistorlar p-n-p tranzistorlarga nisbatan ko'proq tarqalgan. Emitter soxalarini xosil qilish uchun fosfordan foydalaniladi, chunki kremniydagi eruvchanligi katta bo'lganligi uchun (10^{21} sm^{-3}) injeksiya koeffitsienti yuqori bo'ladi. n^+ - emitter soxalarini xosil qilish bilan bir vaqtda kollektor soxasining kontakt xosil qilinadigan qismida xam n^+ - soxa xosil qilinadi, bu soxa kontakt qarshiligini kamaytirishga xizmat qiladi.

8.2. Elementlari p-n – o'tish soxalari bilan izolyatsiyalangan bipolyar integral sxema texnologiyasi.

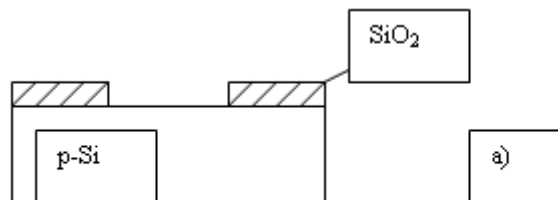
Epitaksial qatlamning butun qalinligiga diffuziya qilish orqali izolyatsiya xosil qilinadi. Diffuziya natijasida tagidan va yon tomonlaridan p-n - o'tish soxasi bilan chegaralangan chuntaklar xosil bo'ladi. Mikro sxema ishlayotganda taglikka eng katta manfiy potensial

beriladi. Shuning uchun p-n – o‘tish soxasi qarshiligi keskin ortib ketadi va cho‘ntaklarda xosil qilingan elementlar (tranzistor, diod, va x.k.) uzaro va taglikdan izolyatsiyalangan bo‘ladi.

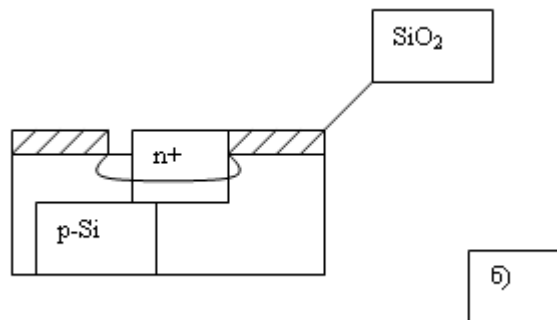
Texnologik jarayon 2 bosqichdan iborat:

- n^+ - yashiringan soxali epitaksial struktura tayyorlash.

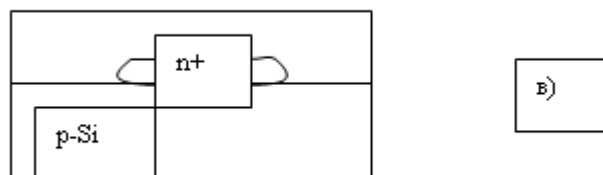
p-Si taglikda termik oksidlash usuli bilan SiO_2 qatlam xosil qilish va fotolitografiya yordamida SiO_2 qatlamda darcha ochish.



Diffuziya yordamida darcha bor joylarda n^+ - soxa xosil qilish.

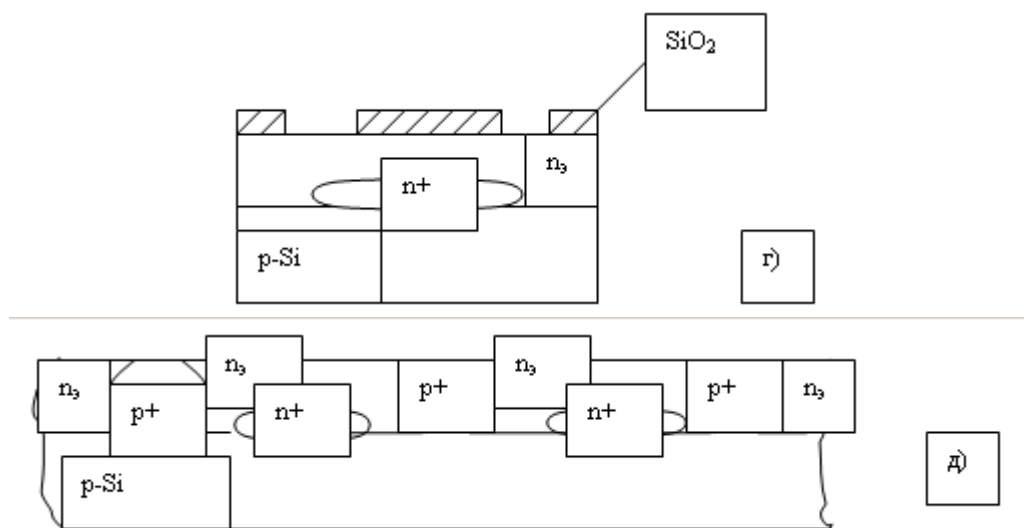


SiO_2 qatlamni yemirib tashlab, epitaksial Si qatlami (n_e) o‘stirish.

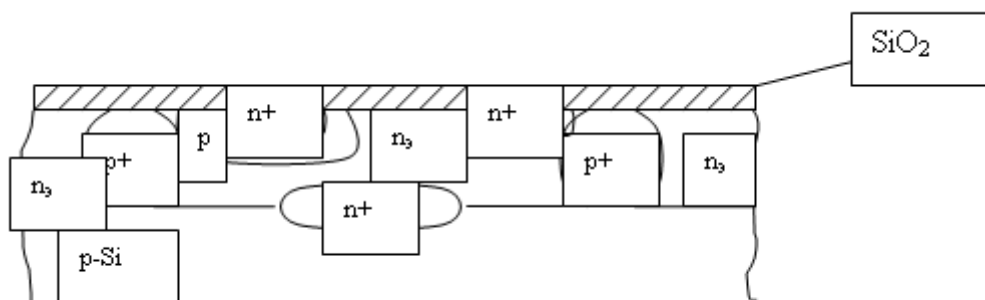


-xosil qilingan strukturada bipolyar IS tayyorlash.

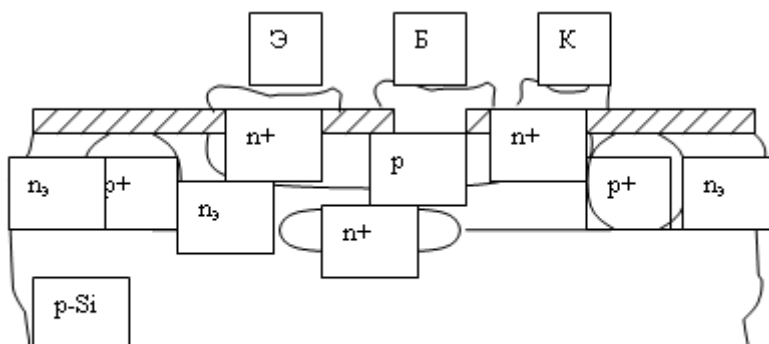
Strukturada termik oksidlash usuli bilan SiO_2 qatlam xosil qilish. fotolitografiya yordamida SiO_2 qatlamda darcha ochish.



Epitaksial qatlam (n_e)ning butun qalinligi bo'yicha akseptorli kirishma darcha ochilgan joylarda diffuziya bulib, p^+ -soxalar xosil qiladi. Natijada p-n – o'tish bilan o'ralgan cho'ntak xosil bo'ladi.



Xamma cho'ntaklarda bir vaqtda tranzistorlar xosil qilamiz. Buning uchun termik oksidlab SiO₂ qatlam xosil qilamiz, fotolitografiya yordamida darcha ochamiz va akseptorli kirishma diffuziya qilib bipolyayar tranzistorning bazasi (p-soxa)ni xosil qilamiz.



Termik oksidlab SiO_2 qatlam xosil qilamiz, fotolitografiya yordamida emitter soxasi va kollektor kontakt soxalari uchun donor kirishma diffuziya qilish uchun darcha ochamiz. Diffuziya qilamiz va n^+ - emitter va n^+ -kontakt soxasi xosil bo‘ladi.

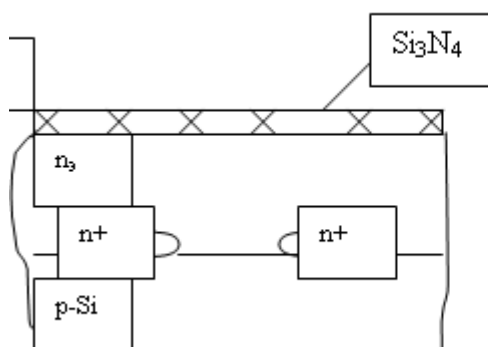
Termik oksidlab SiO_2 qatlam xosil qilamiz, vakuumda qizdirib uchirish usuli bilan Al plenkasi xosil qilamiz. Fotolitografiya yordamida Al plyonkasini faqat "E","B","K" soxalarida, tok oquvchi yo‘lchalarda va kontakt maydonchalarida qoldirib, qolgan joylardagi Al plenkasini yemirib tashlaymiz.

8.3. Kombinatsiyali izolyatsiyalangan bipolyar integral sxema

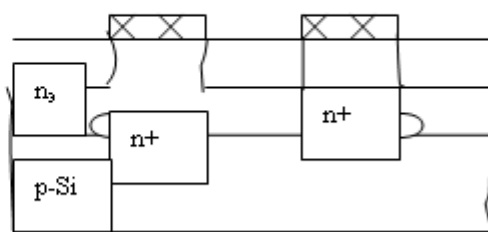
Kombinatsiyalangan izolyatsiya chuntakning tagini p-n – o‘tish bilan va yon tomonlarini dielektrik qatlam bilan izolyatsiyalashdir.

“Izoplanar -1” jarayoni kremniy epitaksial qatlamini butun qalinligi bo‘yicha lokal oksidlash texnologiyasidir. Bunda epitaksial qatlam qalinligi 1 mkm dan oshmasligi kerak, chunki 1 mkm dan qalin oksid (SiO_2) o‘stirish jarayoni juda sekin bo‘ladi: 1mkm qalinligigachan oksid tez o‘sadi(chiziqli), so‘ngra sekin o‘sadi (parabola qonuniyati bo‘yicha).

Cho‘ntakning pastki qismida izolyatsiya yashiringan n^+ -soxa bilan p-Si taglik o‘rtasidagi n^+ -p – o‘tish soxasi xisobiga bo‘ladi. Kremniyni lokal yemirish va oksidlashda bitta Si_3N_4 – maskadan foydalaniladi. Bu esa texnologik operatsiyalar sonini kamaytirishga yordam beradi:



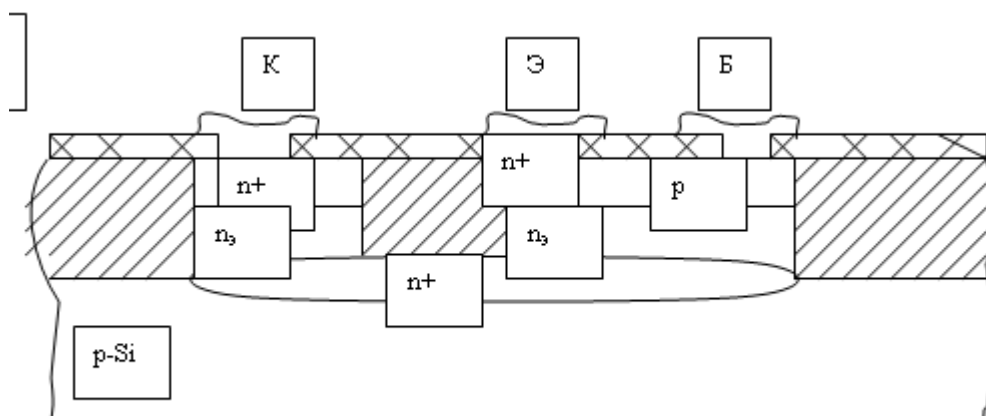
Si_3N_4 – plyonkasini o‘stirish



fotolitografiya va lokal yemirish



“Izoplanar-II” - jaryonida bipolyar tranzistorning emitter soxasi yon tomondagi izolyatsiyalovchi SiO_2 qatlamga chiqadi. Kollektor soxasining kontakt osti n^+ -soxasi aloxida cho‘ntakda joylashgan bo‘lib, emitter-baza joylashgan cho‘ntak bilan n^+ -yashiringan soxa orqali tutashgan:



Bu texnologik jarayonda moslashtirishga bo'lgan talab ancha susayadi. Chunki emitter soxasini xosil qilish uchun ochilgan darchani yon tomondagi izolyatsiyalovchi SiO_2 qatlamga surish mumkin, kirishma SiO_2 qatlamga diffuziyalanmaydi. Baza soxasini xosil qilish uchun diffuziyani chuntakning xamma yuzasiga qilinadi.

Izoplanar texnologiya planar va meza texnologiyalarning afzalliklarini o'zida jamlagan, ya'ni planar texnologiyada xosil qilingan p-n – o'tish chekkalarida mavjud bo'ladigan elektr maydonining notekis taqsimotidan qutilish mumkin, strukturalar aktiv soxalari o'rtasidagi parazit sigimlarni kamaytirish mumkin, izolyatsiya sifati ortadi va IS integratsiya darajasi ortadi.

8.4. Metall-oksid-yarimo'tkazgich (MOYa) - strukturali integral sxemalar texnologiyasi.

MOYa – integral sxemalar planar va epitaksial – planar texnologiya yordamida tayyorlanadi. MOYa – tranzistorlar konstruksiyasi sodda va elementlari o'z – o'zidan izolyatsiyalangan bo'lgani uchun umumiy texnologik jarayonlar soni, bipolyar integral sxemalar texnologiyasidagiga nisbatan kam bo'ladi. Bu esa ishlab chiqarish unumdorligi oshishiga (yaroqsiz IS soni kamayishiga) va IS lar narxining arzonlashuviga olib keladi.

MOYa - integral sxemalarning texnologiyasida eng murakkab va muxim jarayonlar:

- Zatvor osti oksidini xosil qilish,
- Zatvor bilan kanalni aniq moslashtirish,
- Kanali juda qisqa bo'lgan MOYa IS lar tayyorlash.

Zatvor osti oksidi – MOYa IS aktiv elementining asosiy qismi bo'lib, unga qo'yiladigan talab to'siq sifatida ishlatiladigan oksid qatlam SiO_2 ga qo'yiladigan talabdan ancha yuqori, masalan:

- Elektr maydonga chidamliligi katta bo'lishi kerak
- SiO_2 xajmida va Si - SiO_2 sistema chegarasida zaryadlar miqdori kam bo'lishi kerak.

- Xossalari o'ta turg'un bo'lishi kerak va boshqalar.

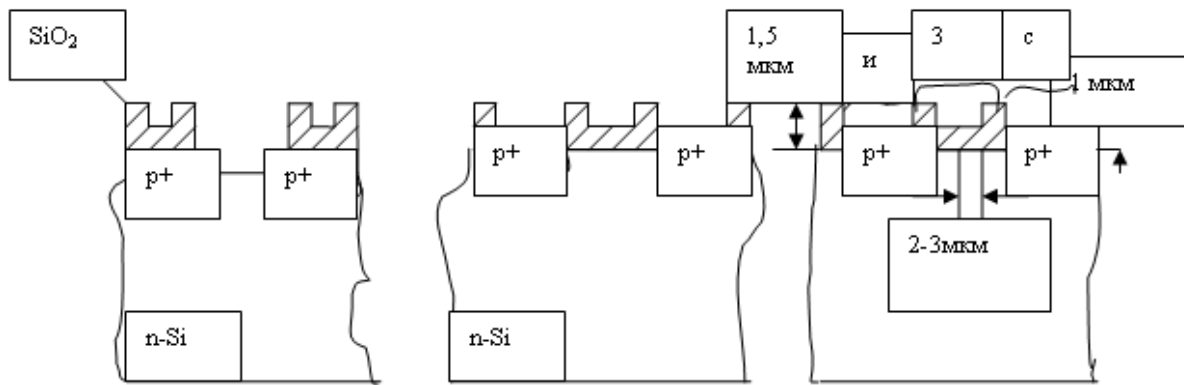
Kremniy odatda $\langle 100 \rangle$ kristall tekisligida sirt zaryadlar zichligi: $1,4 \cdot 10^{-8}$ kulon/ sm^2 , $\langle 111 \rangle$ da $8 \cdot 10^8$ kulon/ sm^2 ga teng. Shuning uchun Si li MOYa – IS ni $\langle 100 \rangle$ tekislikda xosil qilish maqsadga muvofiqdir.

Zatvor – istok va stok soxalarini qoplamasligi kerak, aks xolda parazit sigimlar xosil bo'lib IS tezkorligini pasaytiradi. Agar zatvor uzunligi kanal uzunligidan kalta bo'lsa istok - stok zanjiri uzilib qoladi.

Kanal uzunligiga tok tashuvchilarning istokdan stokga borish vaqti, ya'ni MOYa – IS tezkorligi bog'liq. MOYa – IS lar tezkorligi oshsa ularning qo'llanish soxasi ko'payadi va bitta element egallagan joyning kamayishi, texnologiyaning soddaligi IS integratsiya darajasini keskin oshirish imkonini beradi. MOYa – strukturalar katta va o'ta katta IS larning asosini tashkil qiladi.

8.5. Qalin oksidli p-MOYa – IS va n-MOYa – IS tayyorlash

p-kanalli MOYa – IS larni planar texnologiya asosida tayyorlanadi. Lokal diffuziya va qalin oksid qatlam o'stirishni bir vaqtda yoki alohida - alohida bajarish mumkin. Ikkinchi xolda oksid qatlam bug'-gaz muxitida o'stiriladi.



Istok va stok soxalari ustidagi oksid qalinligi — 1mkm, boshqa soxalarida — 1,5 mkm.

Texnologiya jarayonining murakkab qismi yupqa oksid o'stirish uchun darcha ochish (2-fotolitografiya) va qalin oksidni yemirish (3-fotolitografiya). Metall qatlamning tagida qalin oksid xosil bo'lgani uchun IS parametrlari sezilarli yaxshilanadi. Lekin qalin oksid qatlami bo'lganda istok va stok soxalarining zatvor bilan qoplanishini juda kichik qilib olish qiyin, chunki zatvor bilan kanalni moslashtirish bu yerda fotolitografiya bilan bajariladi va

1) istok va stok yon tomonlaridagi p-n – o'tish soxalari o'rni noaniq

2) qalin oksid qatlamini yemirishda aniqlik yo'qoladi (2-fotolitografiya).

Zatvor osti oksidining qalinligi 0,1 mkm bo'lganda kanal bilan zatvorning qoplanishi $2 \div 3$ mkm bo'ladi. Mana shu murakkabliklarga

qaramay p-MOYa – IS tayyorlash texnologiyasi nisbatan oddiy, yaroqsiz IS chiqishi kam, tannarxi arzon. p-MOYa – IS lar kalkulyatorlarda ko‘p ishlatiladi.

Unga nisbatan n-MOYa – IS lar texnologiyasi murakkabroq. Chunki xosil bo‘ladigan n-invers soxalar elementlarning o‘zaro izolyatsiyasiga va tranzistorlarning ostona kuchlanishi (porogovoe napr.)ga ta‘sir qilmasligi uchun maxsus choralar ko‘riladi.

n-MOYa – IS texnologiyasining p-MOYa – IS nikidan farqi, istok va stok soxalar xosil qilingandan so‘ng, ularning sirt tomonidan bor ionlari implantatsiya qilinadi. Qalin oksid qatlamini o‘stirish jarayonida bor ionlari aktivlashib p⁺-soxa xosil qiladi. Bu soxa oksid qatlam ostida n- invers soxa xosil bo‘lishiga yo‘l qo‘ymaydi va elementlar bir-biridan izolyatsiyalanib turadi.

8.6. Komplementar MOYa-KNS – integral sxemalar

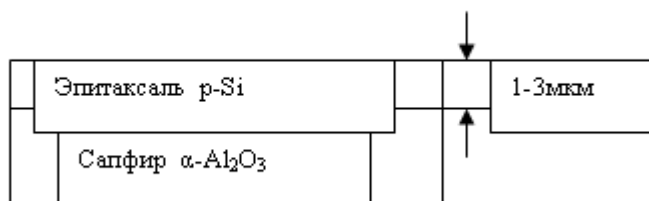
Bunday strukturali integral sxemalarda parazit sigimlar va sizib o‘tuvchi toklar kichik bo‘ladi.

Elementlar o‘lchamining va ichki sigimlarning kamayishi IS larning tezkorligini, radiatsiyaga chidamliligini, integratsiya darajasini keskin oshiradi, quvvatning sochilishini kamaytiradi.

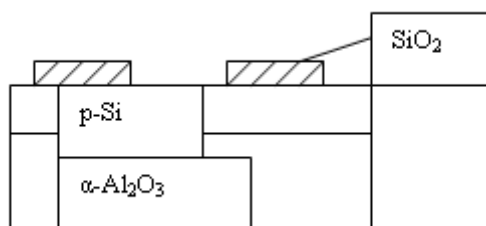
Taglik sifatida ishlatiluvchi sapfir bilan epitaksial qatlam bo‘lgan kremniy strukturalari bir-biriga mos kelmaganligi tufayli, sapfir yuzasini epitaksial qatlam o‘stirishdan oldin obdon ishlov beriladi. Kremniyli tagliklardan farqli ravishda sapfirli tagliklar yuqori temperaturalarda ishlov berilganda deformatsiyalanmaydi. Ularning yaroqsiz (brak) bo‘lganlarini qayta ishlash mumkin.

Sapfirli taglikda kremniy epitaksial qatlami o‘stiriladi (geteroepitaksial struktura KNS).

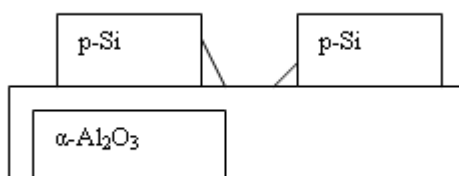
KNS struktura yuzasida p- va n-Si li orolchalar xosil qilinib, bu orolchalarda n-va p-kanalli MOYa tranzistorlar yaratiladi: KNS – struktura (yuzasi tozalanadi).



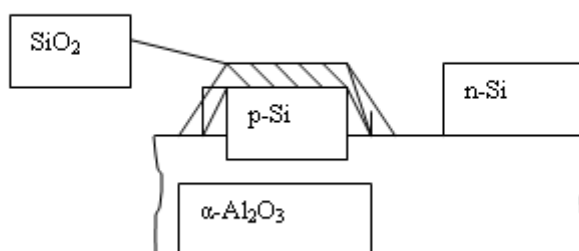
SiO₂ – tosiq xosil qilish.



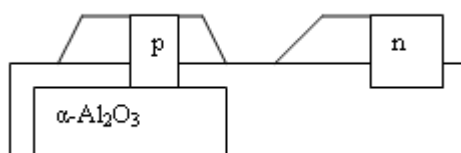
Epitaksial p-Si ni lokal yemirish va SiO₂ - tosiqni yemirish.



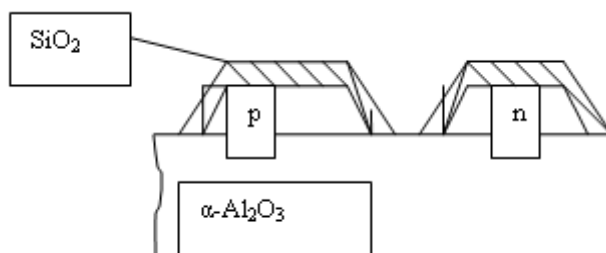
Orolchanning biriga tosiq xosil qilish va ikkinchisiga fosfor diffuziya qilish (yoki ionli legirlash).



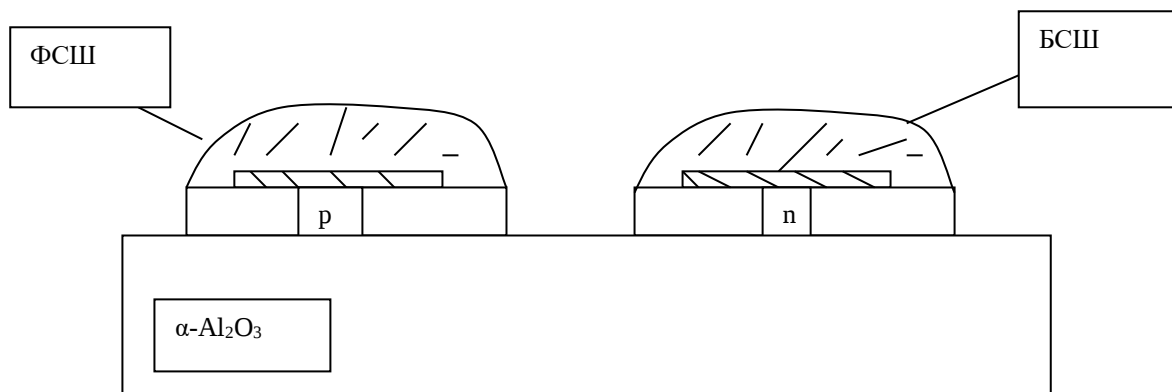
Tusiqni yemirish.



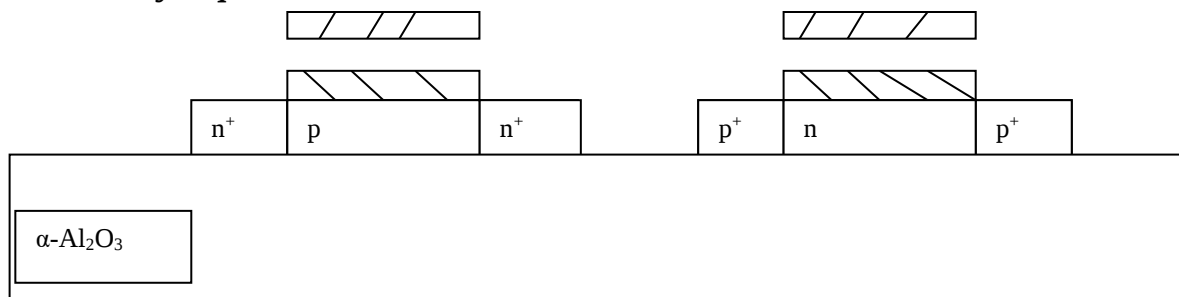
Yupqa zatvor osti oksidi o'stirish (SiO₂) va polikristall kremniy qatlami xosil qilish.



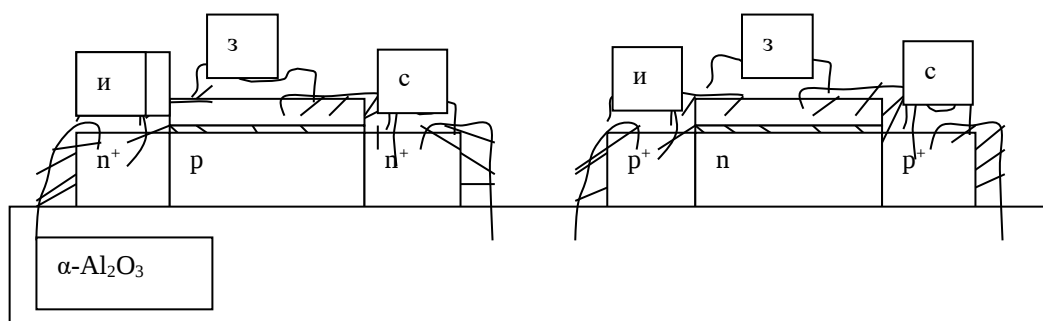
Fotolitografiya qilish, Fosforosilikat va Borosilikat shisha surish.



Diffuziya qilish va shishani tozalash.



Oksid qatlam oʻstirish, Fotolitografiya bilan darcha ochish, metallash.



KMOP-KNS – IS larning keng qoʻllanilishiga toʻsqinlik qiluvchi asosiy faktorlar:

- sapfirning narxining qimmatligi
 - qattiq boʻlgani uchun mexanik ishlov berishning murakkabligi.
 - kristall strukturasi Si nikidan farq qilgani uchun epitaksial qatlam oʻstiradigan yuzasini tayyorlashga qoʻyiladigan talablar juda yuqori.
- Shuning uchun amorf tagliklarda kremniy epitaksial qatlami KNA-strukturalar yaratiladi.

8.7. Gibril yubqa plenkali integral sxemalar tayyorlashning texnologik jarayonlari

Plyonkali integral sxemalarda elementlar dielektrik taglikka yupqa plyonkalar xosil qilib tayyorlanadi. Taglik integral sxemaning mexanik asosi bo'lib xizmat qiladi.

Xozirgi davrda yupqa plyonkali texnologiya asosida faqat passiv elementlar, integral sxemaning asosan rezistorlari va kondensatorlarini tayyorlanadi. Plyonkali integral sxema tagligiga diskret aktiv elementlar diod, tranzistor, yarimo'tkazgichli integral sxemalar o'rnatilsa, bunday plyonkali integral sxemalarni gibril integral sxema (GIS) deyiladi. Gibril integral sxemalarning passiv (rezistor, kondensator) va aktiv (diod, tranzistor, yarimo'tkazgichli integral sxema) elementlari bir-biriga bog'liq bo'lmagan aloxida texnologik jarayonlarda tayyorlanadi. Bu esa gibril integral sxema (GIS) ning quyidagi ustunligini ta'minlaydi:

- tayyorlash texnologiyasi soddalashadi
- kam mexnat sarf qilinadi
- ishlab chiqarish jarayoni qisqaradi
- tannarxi arzon bo'ladi.

Katta gibril integral sxemalarda aktiv elementlar sifatida yarimo'tkazgichli integral sxemalardan foydalanish, passiv elementlarni ko'p qavatli joylashtirish sxemotexnik imkoniyatlarni kengaytiradi.

1. Taglik sifatida ishlatiluvchi materiallar.

Taglik materialining xossalari plyonkali elementlarning parametrlari va xarakteristikalariga ta'sir qilmasligi kerak. Taglik sifatida ishlatiladigan materiallar:

1. Borsilikatli shisha - SiO_2 (80%), B_2O_3 (12%) va boshqa oksidlar (Na_2O , K_2O , Al_2O_3).
2. Alyumosilikatli shisha - SiO_2 (60%), Al_2O_3 (20%) va boshqa oksidlar (Na_2O , CaO , MgO , B_2O_3).
3. "Polikor" tipidagi Alyumooksid keramika - Al_2O_3 (99,8%), B_2O_3 (0,1%), MgO (0,1%).
4. Berilliy keramikasi - BeO (98% - 99,5%).
5. Sitallar - shisha keramik materiallar bo'lib, shishaga termik ishlov berish (kristallash) orqali olinadi. Ko'pgina sitallarning tarkibi quyidagi oksidlardan iborat:

- 1) Li_2O - Al_2O_3 - SiO_2 - TiO_2

2) RO - Al_2O_3 - SiO_2 - TiO_2 ; (RO - CaO, MgO yoki BaO lardan biri).

6. Sapfir - Al_2O_3 ning α – modifikatsiyasi toza monokristall.

Bu materiallarni uzaro solishtirib, quyidagi xulosani qilish mumkin:

Shishalar mexanik mustaxkamligi kam va kimyoviy taʼsirga chidamsiz; qizdirilganda kuchli gaz ajralib chiqadi. Ularda ishqoriy metallarning oksidlari boʻlgani uchun tashqi elektr maydoni qoʻyilganda koʻchib yuradigan ishqoriy metall ionlari xosil boʻlishi mumkin. Bu koʻchib yuruvchi ionlar taglikning xamda IS elementlarining (rezistor va kondensator) xossalari turgʻun boʻlmasligiga sabab boʻladi. Shishaning issiqlik oʻtkazuvchanligi kam.

Keramika ayniqsa berilliy keramikasi, shishaga nisbatan yuqori issiqlik oʻtkazuvchanlik va mexanik mustaxkamlikka ega. Keramik materiallarning zarralari oʻlchami katta boʻlgani sababli yupqa plyonkali IS lar uchun zarur boʻlgan silliq sirt xosil qilish (mikrorelyef) qiyin. Shuning uchun koʻproq qalin plyonkali IS larga taglik sifatida ishlatiladi.

Sitallar mexanik mustaxkamligi shishadan $2 \div 3$ marta yuqori. Yaxshi presslanadi, tortiladi, prokatlanadi. Dielektrik xossalari xam shishadan yaxshi va keramika bilan deyarli bir xil.

Sapfir – dielektrik xossalari juda yaxshi, lekin sitallarga nisbatan narxi qimmat.

Dielektrik va mexanik xossalari, sirt mikrorelyefi, kimyoviy taʼsirga chidamliligi boʻyicha yupqa plyonkali IS lar uchun eng yaxshi taglik material sitallar, qalin plyonkali IS lar uchun esa 96% li alyumooksid keramika.

2. Yupqa plyonkali integral sxemalar plyonkasi uchun ishlatiladigan materiallar.

Yupqa plyonkali rezistorlar tayyorlash uchun ishlatiladigan materiallarni uch guruxga boʻlish mumkin:

- metallar
- metall qotishmalar
- metall-dielektrik aralashmalar – kermetlar.

Yupqa plyonkali metalli rezistorlar tayyorlashda xrom (Cr) va tantal (Ta) ishlatiladi. Tantalning koʻp qoʻllanilishiga sabab kimyoviy anodlash usuli bilan oson oksidlash mumkin. Tantal plyonkasini qisman

oksidlab rezistor qalinligini kamaytirish va bir vaqtda ximoyalovchi qatlam sifatida foydalanish mumkin. Ayrim kirishma atomlari kiritilganda tantal plyonkasi elektr qarshiligi keskin ortadi va elektr qarshilikning temperatura koeffitsienti qiymati kichikligicha qoladi. Kirishma sifatida azot ishlatilganda yaxshi natija beradi.

Yarimo'tkazgich materiallar plyonkalari elektr qarshiligining temperatura koeffitsienti katta manfiy qiymatga ega bo'lgani uchun plyonkali rezistorlar yaratishda ishlatilmaydi. Plyonkali rezistor yaratishda solishtirma qarshiligi katta bo'lgan metall qotishmalardan nikel bilan xrom qotishmasi - nixrom ($\rho \approx 10^{-4} \text{ Om}\cdot\text{sm}$) va nixromga boshqa materiallar qoshilgan qotishmalar masalan Ni (74 %), Cr (20 %), Fe (3 %), Al (3 %) qotishma $\rho \approx 1,3\cdot 10^{-4} \text{ Om}\cdot\text{sm}$.

Kermetlar sifatida quyidagi aralashmalar tekshirilgan va yaxshi natijalar olingan: Cr – SiO, Al – SiO₂, Pt – Ta₂O₅, bularning ichida eng yaxshisi Cr – SiO.

3. Yupqa plyonkali kondensatorlar uchun materiallar.

Yupqa plyonkali kondensatorlar parametrlari asosan dielektrik qatlam materialining xossasi bilan aniqlanadi. Dielektrik materialning asosiy xossalariga:

1) solishtirma sigim: $S = \epsilon\epsilon_0/h$, ($\epsilon\epsilon_0$ – dielektrik doimiy, h – dielektrik qatlam qalinligi).

2) Elektr maydoniga chidamliligi $E_d = U_d/h$, (U_d – teshilish kuchlanishi).

Katta yuzada nuqsonsiz plyonka olish qiyin bo'lgani uchun yupqa plyonkali kondensator yuzasi kattaligi cheklangan bo'ladi. Yuzasi kichikligi esa xosil qilish kerak bo'lgan sigim qiymatining qanday aniqlikda olinishiga bog'liq. Dielektrik plyonkaning eng kichik qalinligiga xam cheklanish mavjud bo'lgani uchun (plyonkadagi teshiklar uning elektr maydoniga chidamliligiga ta'sir qiladi), dielektrik plyonkaning materiali dielektrik singdiruvchanligiga ma'lum talablar qo'yiladi. Plyonkaning eng kichik qalinligi $h = 0,1 \text{ mkm}$ va maksimal yuzasi $S = 10 \text{ mm}^2$ bo'lsa 10^6 pf sigim olish uchun dielektrik materialning dielektrik singdiruvchanligi 10 dan katta bo'lishi kerak. Dielektrik materialning elektr mustaxkamligi teshilish kuchlanishi qiymati bilan aniqlanadi. $U_d = E_d\cdot h$, demak eng katta ishchi kuchlanishi shu bilan belgilanadi.

Dielektrik plyonka olish uchun metall va yarim utkazgich oksidlari ishlatiladi. Masalan: SiO_2 , SiO , GeO (dielektrik singdiruvchanligi katta).

SiO_2 kam ishlatiladi, chunki 1) dielektrik singdiruvchanlik kichik. 2) vakuumda qizdirib uchirish usuli bilan plyonkasini xosil qilish qiyin, chunki $T = 1600^\circ\text{C}$ da bug'larining bosimi SiO nikidan taxminan 10^5 marta kichik.

Qiyin eruvchi metall oksidlari Ta_2O_5 , TiO_2 boshqa metall oksidlaridan ancha yuqori dielektrik singdiruvchanlikka ega. Ta_2O_5 plyonkasini olish texnologiyasi yaxshi o'rganilgan bo'lgani uchun ko'proq yupqa plyonkali kondensatorlar dielektrik qatlami sifatida ishlatiladi.

4. Yupqa plyonkali tok o'tkazgichlar.

Yupqa plyonkali tok o'tkazgichlar yupqa plyonkali integral sxemalarda passiv yupqa plyonkali elementlarni ulash va maxkamlanadigan aktiv elementlar ulanadigan kontakt maydonchalari xosil qilish uchun xizmat qiladi. Yupqa plyonkali tok o'tkazuvchi materiallar quyidagi xossalarga ega bo'lishi kerak:

- katta elektr o'tkazuvchanlikka
- taglikka yaxshi adgeziya berishi kerak
- kovsharlash yoki payka olishi kerak
- kimyoviy inert bo'lishi kerak.

Yuqori elektr o'tkazuvchanlikka ega metallar: oltin, kumush, alyuminiy, mis. Lekin bular yuqoridagi talablarni to'liq bajarmaydi. Masalan: Au , Ag – taglikka adgeziyasi yomon. Al – kovsharlash va payka qilish qiyin. Cu – oson oksidlanadi.

Shuning uchun yupqa plyonkali tok o'tkazgichlar xosil qilish uchun yupqa qatlamli kompozitsiyalardan foydalaniladi. Bu kompozitsiya quyidagidan iborat:

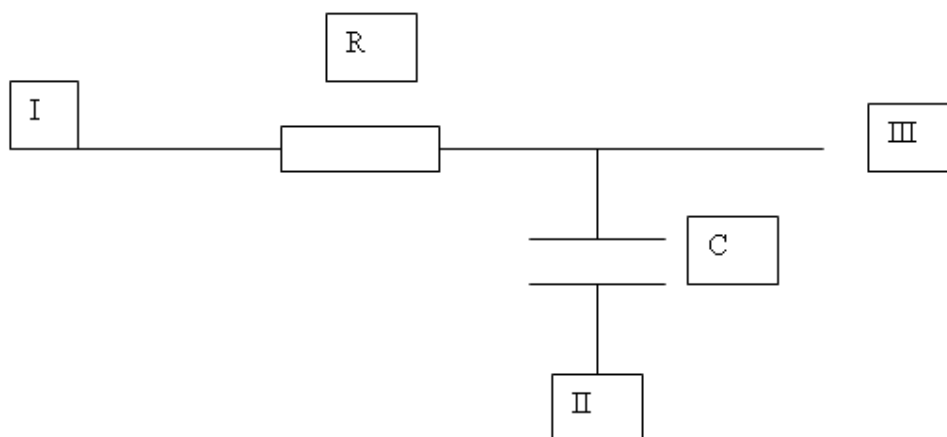
- pastki qatlam qalinligi $(1 \div 3) \cdot 10^{-2}$ mkm, taglikka yaxshi adgeziyal materialdan qilinadi.
- o'tkazuvchi qatlam elektr o'tkazuvchanligi katta bo'lgan materialdan $0,4 \div 0,8$ mkm qalinlikda qilinadi.
- ximoyalovchi qatlam kovsharlash va payka qilish mumkin bo'lgan kimyoviy inert materialdan qalinligi $(5 \div 8) \cdot 10^{-2}$ mkm bo'lgan qatlam.

Tok o'tkazuvchi qatlam	ximoyalovchi qatlam	qatlam qarshiligi, $\text{Om}/\square$
Au	— — —	$0,03 \div 0,04$
Cu	Ni	$0,02 \div 0,04$
Cu	Ag	$0,02 \div 0,04$
Al	Ni	$0,1 \div 0,2$

8.8. Yupqa plyonkali integral sxemalar tayyorlash texnologik marshruti.

Yupqa plenkali RC-IS strukturasini tayyorlash.

Prinsipial elektr sxemasi:



Yupqa plyonkali RC-IS topologiyasi:

1- rezistor R(xrom)

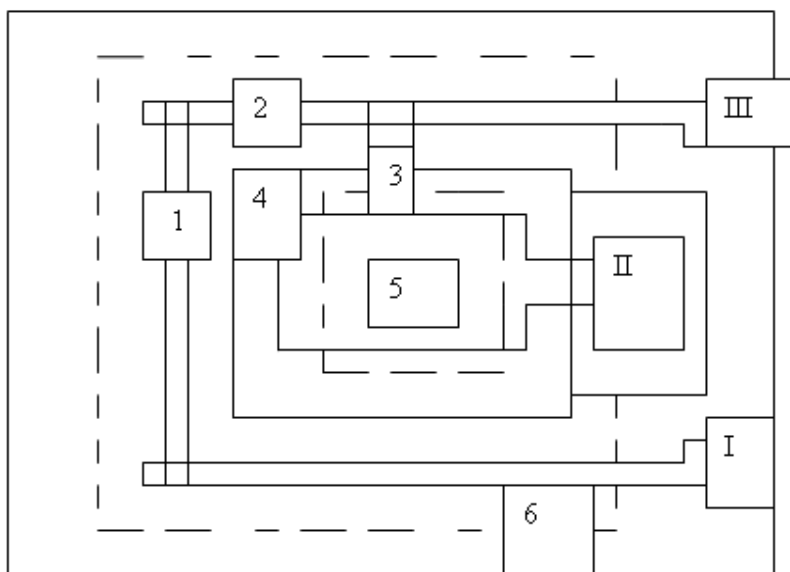
2- tok o'tkazuvchi yo'lchalar va kontakt maydonchalari (mis, tagida xrom qatlami)

3- kondensatorning pastki qoplamasi (Al)

4- kondensatorning dielektrik qatlami (germaniy monooksidi GeO)

5- kondensator ustki qoplamasi (Al)

6- ximoyalovchi qatlam (kremniy monooksidi SiO).



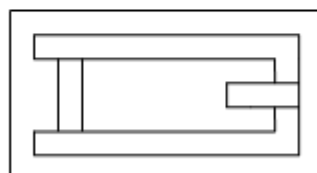
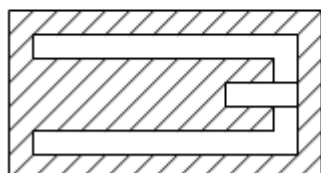
Yupqa plyonkali RC- strukturani erkin to'siq (maska) yordamida tayyorlashni 2 bosqichga bo'lish mumkin:

- I. Rezistiv va tok o'tkazuvchi plyonkalarni vakuum kamerasida uzluksiz jarayonda bajariladi.

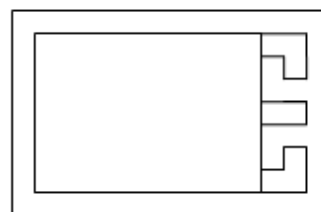
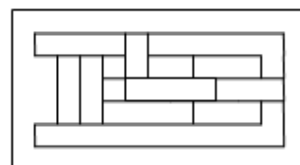
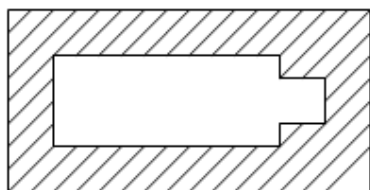
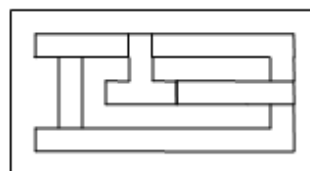
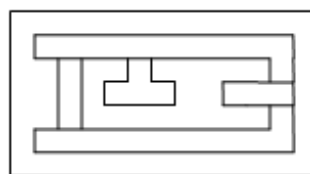
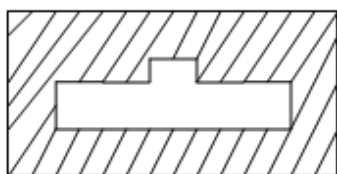
Xrom (Cr) plyonkasini uchirib xosil qilish jarayonida qoldiq kislorod bilan ta'sirlashib, xosil bo'lgan xrom (Cr) plenkasining solishtirma qarshiligi ortadi. Taglik temperaturasi $200 \div 250$ °C bo'ladi. Xrom uchirgichini qizdirilganda vakuum sifati yomonlashadi, chunki uchirgich sirtidan va xrom parchasidan yutilgan gazlar ajralib chiqadi. Gaz ajralish to'xtagandan so'ng vakuum ko'tarilib, yaxshilanadi. Shundan so'ng parda olib tashlanib taglik yuzasiga va tekshiruvchi sirtga xrom plyonkasi uchiriladi. Kerakli qalinlikdagi xrom plyonkasi xosil qilingandan so'ng, parda to'siladi va bu taglik o'rniga boshqa taglik o'rnatiladi va xrom uchiriladi va xokazo barcha tagliklarga shu holda xrom plyonkasi hosil qilinadi (rezistorlar).

Xromdan farqli xolda misni suyuq xolatdan uchiriladi. Mis qiyin eruvchi metallar bilan o'zaro ta'sirlashmaydi. Qiyin eruvchi metallardan uchiruvchi sifatida molibden ishlatiladi, chunki mexanik ishlov berish nisbatan onson va issiqlikni yaxshi o'tkazadi. Misni qizdirish jarayoni, uning sochilishi bo'lmasligi uchun bosqichma - bosqich olib boriladi: avval eritib olinadi, so'ngra uchiruvchidan o'tayotgan tokni sekin - asta oshirib boriladi (bir tekisda) to kerakli uchirish xaroratiga erishguncha, so'ngra parda ochiladi va taglikka mis plyonkasi xosil qilinadi (tok o'tkazuvchi qatlam va yo'lchalar).

Rezistor va tok o'tkazuvchi plyonkalarni xosil qilish:



Kondensator qatlamlari va ximoyalovchi qatlam plyonkasini xosil qilish:



Kondensator qatlamlari va ximoyalovchi qatlamni boshqa qurilmada xosil qilinadi. Bu usul xosil qilingan rezistor va tok o'tkazuvchi plyonkalarni taglikni vakuum kamerasidan olib parametrlarini tekshirish va to'g'rilash imkonini beradi.

Ximoyalovchi qatlam SiO - monooksid plyonkasi tantal yoki molibdenli uchirgich yordamida xosil qilinadi. Monooksid juda yuqori adsorbsiyalash xossasiga ega bo'lgani uchun, monooksid plyonkasini xosil qilishdan oldin taglik qizdirilib, uni yutilgan gazlardan yaxshilab tozalanadi vakuum yaxshilangandan so'ng taglikda monooksid plyonkasi xosil qilinadi.

9. YARIMO‘TKAZGICH ASBOBLARNI VA INTEGRAL SXEMALARNI YIG‘ISH

9.1. Integral sxemalarni metallash

Yarimo‘tkazgichli strukturalarni yaratishning oxirgi jarayoni metallash bo‘lib, xozirgi davrda ishlab chiqarishda qo‘llaniladigan metallash sistemalarini quyidagi turlarga bo‘lish mumkin:

- bir qatlamli
- ko‘p qatlamli
- ko‘p qavatli

Bir qatlamli Al li metallash kichik va o‘rta integratsiya darajasiga ega bo‘lgan, kam quvvatli, ~ 1 GGs chastotagacha ishlovchi, chidamliligi katta bo‘lmagan IS larda qo‘llaniladi. Boshqa metallarga nisbatan Al metallashga qo‘yiladigan talablarga ko‘proq javob beradi. Al yuqori elektr o‘tkazuvchanlikka ega, p - va n⁺- Si ga qarshiligi kichik bo‘lgan kontakt xosil qiladi, Si ga adgeziyasi yaxshi (SiO₂ ga xam). Ishlatish qo‘lay, arzon, egiluvchan bo‘lganligi uchun temperatura o‘zgarishlarga chidamli. Al metalli IS lar radiatsiyaga chidamli.

Al li metallash texnologiyasi jarayoni quyidagilar:

Al - plenkasini xosil qilinish, fotolitografiya qilinish va plyonka ustiga ximoyalovchi qatlam qilinish. Al plyonkasini uchirishda avval xosil qilingan struktura ustida SiO₂ - tosiq o‘stiriladi, bu tosiqda darchalar ochiladi (kontakt qilinadigan soxalarda).

Al plyonkasini olish uchun vakuumda qizdirib uchirish, magnetron changlatish, bug - gaz muxitidan cho‘ktirish usullaridan foydalanish mumkin.

Vakuumda qizdirib uchirish usuli bilan sifatli va toza Al plyonkasini xosil qilish qiyin. Al- metalining sirtida alyuminiy oksidi plyonkasi bo‘lib, Al ning bug‘lanishiga tosqinlik qiladi, shuning uchun yuqori temperaturada qizdirib eritish kerak. Erigan Al esa eritgichning materiali bilan uchuvchi birikmalar xosil qiladi.

Elektron - nur bilan bug‘latib xosil qilingan Al- plyonkasi nisbatan toza bo‘ladi, mexnat unumdorligi oshadi, lekin qurilmaning konstruksiyasi murakkablashadi. Tigel sifatida ishlatiluvchi materiallardan bor nitrati (BN) va alyuminiy nitrati (Al(NO₃)₃), bor titanli (TiB₂) bilan alyuminiy eritmasi kam tasirlashadi. Bu tigellar induksion toklar (yuqori chastotali) bilan qizdirilsa, ko‘pga chidaydi.

Magnetron changlatish usuli bilan Al plyonkasi xosil qilish tezligi katta (1 mkm/soat) va sifatli bo'lgani uchun hozirgi davrda keng qo'llanilmoqda.

Al-plyonkasini bug'-gaz muxitida cho'ktirishni hozirgi davrda laboratoriya sharoitida qo'llanilmoqda.

Al-plyonkasini xosil qilish sharoitlari (rejimlari) shunday tanlab olinadiki, metallanish adgeziyasi yaxshi bo'lishi kerak, plyonka tartibli strukturaga ega bo'lishi kerak, Al-plyonkasi tagidagi SiO₂ - plyonkada elektr zaryadi eng kam bo'lishi kerak, Si-SiO₂-Al sistemada mexanik kuchlanishlar eng kam bo'lishi kerak.

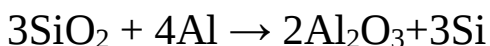
Al-plyonkasidan fotolitografiya yordamida aktiv soxalarga kontakt maydonchalari va tok oquvchi yo'lchalar topologiyasi xosil qilinadi.

Fotorezistli to'siqni olib tashlash uchun kislotalardan foydalanish mumkin emas. Fotorezistni qaynoq dimetil formamid [(CH₃)₂NC(O)H yoki C₃H₇NO] da yoki kislorod plazmasida olib tashlanadi. Alyuminiyli metallashning kamchiliklari:

- qattiq fazada kremniy Al da ko'p eriydi (T = 500 °C da - 1% gacha), sovitilganda erigan kremniy atomlari kontakt chegaralaridagi soxalarga oltirib, kontaktning mexanik mustaxkamligini kamaytiradi.

- past evtektika temperaturasiga ega Al-Si, 577 °C.
- yumshoqligi tufayli mexanik mustaxkamligi past.
- Al ning chiziqli kengayish tempertura koeffitsienti Si va SiO₂ nikidan katta.

- 45 °C dan boshlab SiO₂ bilan kimyoviy ta'sirlasha boshlaydi va 500 °C da juda tezlashadi:



- kislota va ishqorlarga chidamliligi past, korroziyalanadi.
- yuqori temperaturalarda Au bilan mo'rt intermetall birikmalar Au₂Al, AuAl₂ xosil qiladi. Bu birikmalar xosil bo'lish jarayonida Al oltin ichiga Au alyuminiy ichiga diffuziyalangandan ko'ra tezroq diffuziyalanishi natijasida bo'shliqlar va yoriqlar xosil bo'ladi. Bu esa Al-kontakt maydonchasiga oltin simini kovsharlangan joylar mustaxkamligini yanada susaytiradi. Au ning Al bilan xosil qilgan intermetall birikmalari Si ni eritadi.

- Al plyonkasiga sim payka qilib bo'lmaydi.
- Al plyonkasini elektroliz usuli bilan olib bo'lmaydi.

Ko'p qatlamli metallash

Kontakt qatlami-kremniyda xosil qilinadigan birinchi qatlam bo'lib, bu qatlam kremniy kam kiradigan, kremniy bilan maqsadga muvofiq bo'lmagan ta'sirlashuvda bo'lmaydigan, kremniyda kam eriydigan va diffuziya koeffitsienti kichik shu bilan birga kremniyga va SiO_2 ga yaxshi adgeziyalanuchi, kontaktdan tok o'tish qarshiligi kichik bo'lgan metall bo'lishi kerak. Bu qatlam uchun W, Mo, Cr, Ni, Al, Ti, Pd, qiyin eruvchi metallarning kremniy bilan birikmasi, polikremniy, Pt va Pd ning kremniy bilan birikmasi ishlatilishi mumkin. Qiyin eruvchi metallarning kremniy bilan birikmasi polikremniyga nisbatan 10 marta katta elektr o'tkazuvchanlikka ega. Termik ishlovlarga chidamli, xossalari o'zgarmas, bunday birikmalarni xosil qilish IS tayyorlash texnologiyasi bilan mos tushadi.

Silitsid birikmalar plenkasini quyidagi usullar bilan olinadi.

- silitsidli nishonni katodli changlatish bilan;
 - vakuumda bir vaqtda metall va Si ni qizdirib uchirish bilan;
 - bug'-gaz muxitdan cho'ktirish bilan;
- qiyin eruvchi metallni plyonkasini Si da xosil qilinib, so'ngra qizdirish yo'li bilan, masalan lazer nurlari bilan.

Tok oquvchi qatlam - eng oxirida xosil qilinadigan qatlam bo'lib, yaxshi elektr o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi kerak, kontakt maydonchalarini IS oyoqchalariga sifatli va mustaxkam ulanishini ta'minlash kerak. Bu qatlam uchun mis, aluminiy, oltin ishlatiladi.

Ikki qatlamli sistemalar Alyuminiyli metallashdan eng katta tok zichligi bilan va ishdan chiqquncha ishlash vaqtining ko'pligi bilan, bir xil sharoitda ishlatilganda, farq qiladi.

Ajratuvchi (ximoyalovchi) qatlam kontakt qatlam bilan tok oquvchi qatlam metallari o'zaro kimyoviy ta'sirlashadigan xollarda ular o'rtasida ximoyalovchi qatlam sifatida xosil qilinadi. Bu qatlam Cr bilan Au, Ti bilan Au, Cr bilan Cu o'rtasida xosil qilinadi. Bir qatlamdagi metallning ikkinchi qatlamga diffuziyasiga tosiq vazifasini xam bajaradi. Chunki bunday diffuziya kontaktning qarshiligini uzgarishiga va mexanik mustaxkamligining kamayishiga sabab bo'ladi. Ajratuvchi qatlam sifatida kumush, oltin, molibden, volfram, nikel, palladiy ishlatiladi. Oxirgisi eng yuqori xususiyatlarga ega.

Ko'p qavatli metallash

Katta va o'ta katta IS larda qo'llaniladi. Bunday IS larda elementlar sonining ortishi elementlar ulanadigan maydonlarning ortishiga olib keladi. Shuning uchun elementlarni ulovchi yulchalarni bir necha o'zaro izolyatsiyalangan qavatlarda xosil qilinadi va kerakli joylarda o'zaro ulangan bo'ladi. Ko'p qavatli sistemalarning metall qoplamalari bir qatlamli va ko'p qatlamli bo'lishi mumkin va bir qavatli sistemalardagi talablarga javob berishi kerak.

Izolyatsiyalovchi dielektrik plyonkalar katta teshilish kuchlanishiga ega bo'lishi kerak, dielektrik doimiysi kichik, tagidagi va ustidagi plyonkalar bilan kimyoviy ta'sirlashuvi kuchsiz, mexanik kuchlanishlar darajasi past, bog'langan elektr zaryadlar zichligi kam bo'lishi kerak.

Metallash texnologiyasi quyidagilardan iborat:

- birinchi qavat metallash xosil qilingandan so'ng izolyatsiyalovchi qatlam xosil qilinadi, bu qatlamda pastgi qavat bilan ustki qavatni tutashtiruvchi darchalar ochish, ikkinchi qavat metallashni xosil qilish va xokazo. Ko'pgina katta IS larda Alyuminiyli metallash ishlatiladi, izolyatsiyalovchi qatlam sifatida SiO_2 , Al_2O_3 , Si_3N_4 va boshqalar ishlatiladi.

Al- SiO_2 -Al metallash IS tayyorlash texnologiyasiga yaxshi moslashadi.

Al- Al_2O_3 - Al - metallash mustaxkamroq. Al_2O_3 izolyatsiyalovchi xususiyatlari yaxshiroq. Bu plyonka natriy ionlarini o'tkazmaydi, atmosfera ta'siriga chidamli, suv bug'lari va radiatsiyaga chidamli.

Al_2O_3 qatlamni $T=300\text{ K}$ da Al plyonkasini anodli oksidlash orqali xosil qilinadi.

Xajmiy kontakt oyoqchalar

Bir vaqtda elementlar aktiv soxalariga kontaktlar va kontakt oyoqchalar vazifasini bajaradi, ya'ni kontakt maydoncha va kontakt oyoqcha yaxlit bitta bo'ladi. Xajmiy kontakt oyoqchalarni gibril IS lar kristallarida xosil qilinadi.

9.2. Yig'ish jarayonining xususiyatlari

Yarimo'tkazgichli qurilmalar va integral mikrosxemalarni yig'ish umumiy ishlab chiqarish siklidagi eng ko'p mehnat talab qiladigan va muhim texnologik bosqichdir. Elektr parametrlarining barqarorligi va

tayyor mahsulotlarning ishonchliligi ko'p jihatdan montaj ishlarining sifatiga bog'liq.

Yig'ish bosqichi planar texnologiya yordamida yarimo'tkazgichli plastinkalarni guruhli qayta ishlash va ularni alohida elementlarga (kristallarga) ajratish tugagandan so'ng boshlanadi. Ushbu kristallar oddiy (diod yoki tranzistor) tuzilishga ega bo'lishi yoki murakkab integral sxemani (ko'p sonli faol va passiv elementlarga ega) o'z ichiga olishi mumkin va diskret, gibrid yoki monolit kompozitsiyalarni yig'ish uchun ishlatiladi. Yig'ish jarayonining qiyinligi shundaki, diskret qurilmalar va IS larning har bir klassi o'ziga xos dizayn xususiyatlariga ega bo'lib, ular juda aniq montaj operatsiyalari va ularni amalga oshirish rejimlarini talab qiladi.

Yig'ish jarayoni uchta asosiy texnologik operatsiyani o'z ichiga oladi: kristallni korpus asosiga ulash; tok o'tkazuvchi oyoqchalarni yarimo'tkazgich kristalining faol va passiv elementlariga va korpusning ichki elementlariga ulash; kristallni tashqi muhitdan germetik yopish.

1. Kristallni korpus asosiga ulash. Yarimo'tkazgichli asbob kristallipini yoki ISni korpus asosiga biriktirish payka qilish, evtektik qotishma yordamida eritib yopishtirish va kleylash jarayonlari yordamida amalga oshiriladi. Kristalni biriktirish operatsiyasining asosiy talabi kristall va korpusning poydevori o'rtasida yuqori mexanik mustahkamlikga hamda yaxshi elektr va issiqlik o'tkazuvchanligiga ega bo'lgan biriktirishni amalga oshirishdir.

Payka ikki xil metalni eritmasdan pripoy deb ataladigan uchinchi komponent yordamida birlashtirish jarayonidir. Payka qilish jarayonining o'ziga xos xususiyati shundaki, pripoy suyuq holatda, ulanadigan qismlar esa qattiq holatda bo'ladi.

Payka qilish jarayonining mohiyati quyidagicha. Agar ulanadigan qismlar orasiga pripoy joylashtirilsa va butun kompozitsiya pripoyning erish haroratigacha qizdirilsa, u holda quyidagi uchta fizik jarayon sodir bo'ladi. Birinchidan, eritilgan pripoy ulanadigan qismlarning sirtlarini qoplaydi. Qoplangan joylarda pripoy va u qoplangan ikkita materialning har biri o'rtasida atomlararo o'zaro ta'sir jarayonlari sodir bo'ladi. Qoplanganda ikkita jarayon bo'lishi mumkin: qoplangan material va pripoyning erishi yoki ularning o'zaro diffuziyasi. Isitilgan kompozitsiyani sovutgandan so'ng, pripoy qattiq holatga aylanadi. Bu pripoy qoplangan material va pripoy o'rtasida mustahkam birikishni hosil qiladi.

Payka qilish yaxshi o'rganilgan oddiy jarayon, murakkab va qimmat

uskunalarni talab qilmaydi. Elektron mahsulotlarni ko'plab ishlab chiqarishda yarimo'tkazgich kristallarini korpus asoslariga payka qilish yuqori mahsuldorlikka ega bo'lgan konveyer pechlarida amalga oshiriladi. Payka qilish vodorodli (qaytaruvchi) yoki neytral (azot, argon) muhitda amalga oshiriladi.

Kristalni pripoy bilan biriktirish jarayoni past haroratli (400 °C gacha) va yuqori haroratli (400 °C dan yuqori) ga bo'linadi. Past haroratli pripoy sifatida surma yoki vismut qo'shimchalari (2% gacha) bo'lgan qo'rg'oshin va qalayga asoslangan qotishmalar ishlatiladi. Qalay-qo'rg'oshin pripoyiga surma yoki vismut qo'shilishi, ularni ishlatish va uzoq muddatli saqlash paytida tayyor yarimo'tkazgichli asboblarning va IS larda "qalay vabosi" paydo bo'lishining oldini olishga imkon beradi.

Payka qilish jarayoni diskret yarimo'tkazgichli asboblarni (diodlar, tranzistorlar, tiristorlar va boshqalar) yig'ishda eng ko'p qo'llaniladi. Buning sababi shundaki, payka qilish jarayoni yarimo'tkazgich kristali va korpusning kristall ushlagichi o'rtasida yaxshi elektr va issiqlik kontaktini hosil qilish imkonini beradi va kontakt maydoni juda katta bo'lishi mumkin (katta quvvatli yarimo'tkazgich asboblari uchun).

Payka qilish jarayoni "teskari o'girilgan kristal" texnologiyasidan foydalangan holda integral mikrosxemalarni yig'ish jarayonida yanada rivojlantirildi. Ushbu texnologiya IS kristalining planar tomonida pripoy yoki qalay bilan qoplangan misli "sharsimon oyoqchalar" yoki "kontakt tepaliklari" ni oldindan yaratishni o'z ichiga oladi. Bunday kristall taglik yuzasiga yoki korpusning tagiga shunday joylashtiriladiki, tepaliklar ma'lum joylarda u bilan kontakt hosil qiladi. Shunday qilib, kristall ag'dariladi va uning planar tomoni tepaliklar orqali korpus poydevorining yuzasiga tegadi.

Bunday kompozitsiyani qisqa vaqt davomida qizdirganda, yarimo'tkazgich kristalining kontaktli chiqishlari va korpusning asosi o'rtasida kuchli birikish paydo bo'ladi. Shuni ta'kidlash kerakki, korpus yuzasining tepaliklar bilan birikadigan joylari ham oldindan qalaylanadi. Shuning uchun, qizdirish vaqtida korpus asosining pripoylari kontakt chiqishlarining pripoylariga ulanadi.

Evtektik qotishmalardan foydalangan holda eritib yopishtirish - yarimo'tkazgichli kristallning sirt qatlami va korpus asosining metall qatlamida erigan zonaning shakllanishiga asoslangan korpusning poydevoriga biriktirish usuli.

Kleylash - bu yarimo'tkazgich kristallari va korpus asoslari (metall, shisha yoki keramika) o'rtasida mexanik jihatdan mustahkam bog'lanishlarni olish imkonini beruvchi ma'lum materiallarning yopishqoq xususiyatlariga asoslangan elementlarni bir-biriga ulash jarayoni. Kleylanish mustahkamligi kley va elementlarning kleylangan sirtlari orasidagi yopishish kuchi bilan aniqlanadi.

Integral mikrosxemalarning turli elementlarini kleylash turli xil kombinatsiyalarda turli xil materiallarni kleylash, yarimo'tkazgichli asboblarda va IS larning dizaynini soddalashtirish, uning og'irligini kamaytirish, qimmatbaho materiallar sarfini kamaytirish, pripyol va evtektik qotishmalardan foydalanishning oldini olish va murakkab yarimo'tkazgichli asboblarda va IS larni yig'ishning texnologik jarayonlarini sezilarli darajada soddalashtirish imkonini beradi.

Kleylash natijasida elektr izolyatsiyalovchi, optik va o'tkazuvchan xususiyatlarga ega bo'lgan armatura va murakkab kompozitsiyalarni olish mumkin. Gibrid, monolit va optoelektron sxemalar elementlarini yig'ish va o'rnatishda kristallarni yopishtiruvchi jarayon yordamida korpusning asosiga biriktirish ajralmas hisoblanadi.

2. Kontakt oyoqchalarini ulash. Zamonaviy yarimo'tkazgichli asboblarda va integral mikrosxemalar, ularda kontakt maydonchalarining o'lchami bir necha o'nlab mikrometrga teng, ularga simlarni ulash jarayoni eng ko'p mehnat talab qiladigan texnologik operatsiyalardan biridir. Hozirgi vaqtda integral mikrosxemalarning kontakt maydonchalariga simlarni ulash uchun uchta turdagi payvandlash qo'llaniladi: termokompressiya, elektr kontaktli va ultratovush.

Termokompressiyali payvandlash qalinligi bir necha o'nlab mikrometrlar bo'lgan elektr simlarini diametri kamida $20 \div 50$ mkm bo'lgan kristallarning ohmik kontaktlariga ulash imkonini beradi va elektr simi to'g'ridan-to'g'ri yarimo'tkazgich yuzasiga ulanishi mumkin. Kristalga yupqa oltin yoki alyuminiy sim qoyiladi va qizdirilgan sterjen bilan bosiladi. Qisqa ta'sirdan so'ng, sim kristall yuzasiga mahkam yopishadi. Yopishish yarimo'tkazgich kristalga ta'sir etuvchi va uning buzilishiga olib kelmaydigan past o'ziga xos bosimlarda ham sirtdagi mikrotepalliklarda mahalliy bosim juda katta bo'lishi mumkinligi sababli yuzaga keladi. Bu mikrotepalliklarning plastik deformatsiyasiga olib keladi, bu ma'lum bir metall va yarimo'tkazgich uchun evtektikadan past haroratgacha qizdirilishi bilan osonlashadi, bu kristall strukturasida o'zgarishlarga olib kelmaydi. Mikrotepalliklar va mikrochuqurliklarning sodir bo'lgan deformatsiyasi (oqishi) van der Waals yopishtiruvchi

kuchlari tufayli kuchli yopishish va ishonchli kontakti ta'minlaydi va harorat oshishi bilan birlashtirilayotgan materiallar o'rtasida kimyoviy bog'lanish ehtimoli ko'proq.

Termokompression payvandlash quyidagi afzalliklarga ega: a) qismlar payvandlanayotgan materiallarni eritmasdan ulanadi; b) kristallga qo'llaniladigan solishtirma bosim yarimo'tkazgich materialining mexanik shikastlanishiga olib kelmaydi; c) ulanishlar ifloslanishsiz olinadi, chunki priпойlar va flyuslar ishlatilmaydi. Kamchiliklari jarayonning past mahsuldorligini o'z ichiga oladi.

Elektr kontaktli payvandlash metall simlarni yarimo'tkazgichli asboblardan va integral mikroshemalar kristallarining kontakt maydonchalariga ulash uchun ishlatiladi. Elektr kontaktli payvandlash jarayonining fizik mohiyati elektrodlar qo'llaniladigan mahalliy joylarda ulanadigan elementlarni isitishdir. Bog'langan elementlarning mahalliy joylarini isitish, ular orqali elektr toki o'tganda materialning elektrod bilan aloqa qilish joylarida yuzaga keladigan maksimal elektr qarshiligi tufayli sodir bo'ladi. Elektr qarshilik payvandlash jarayonining asosiy parametrlari - payvandlash tokining qiymati, tokning ortish tezligi, tokning birlashtirilayotgan elementlarga ta'sir qilish vaqti va elektrodni birlashtirilgan qismlarga bosish kuchi.

Hozirgi vaqtda integral mikroshemalarning kontakt maydonchalariga o'tkazgichlarni ulash uchun elektr kontaktli payvandlashning ikkita usuli qo'llaniladi: ikkita elektrodning bir tomonlaman joylashishi va bitta qo'shaloq elektrodning bir tomonlaman joylashishi bilan. Ikkinchi usul birinchisidan farq qiladi, chunki ishchi elektrodlar bir-biridan izolyatsiyalovchi qistirma bilan ajratilgan ikkita oqim o'tkazuvchi element shaklida amalga oshiriladi. Ayni paytda bunday elektrod sim o'tkazgichga bosiladi va natijada paydo bo'lgan tizim orqali elektrod toki o'tkaziladi, kontakt nuqtasida katta miqdorda issiqlik chiqariladi. Tashqi bosim qismlarni plastik yoki erish haroratiga qizdirish bilan birgalikda ularning kuchli ulanishiga olib keladi.

Ultratovushli payvandlash simlarni yarimo'tkazgich asboblardan va integral mikroshemalar kontakt maydonchalari bilan ulash uchun ishlatiladi va quyidagi afzalliklarga ega: ulanayotgan elementlarning isitilmasligi, payvandlash vaqtining qisqarishi, bir-biriga o'xshamaydigan va payvandlash qiyin bo'lgan materiallarni payvandlash qobiliyati. Isitishning yo'qligi payvandlanadigan qismlarni eritmasdan ulanishlarni olish imkonini beradi. Qisqa payvandlash vaqtlari yig'ish jarayonining unumdorligini oshirishga imkon beradi.

Ultratovushli payvandlashda sim va kontakt maydoncha o'rtasidagi kontaktni shakllantirish mexanizmi plastik deformatsiya, ifloslanishni olib tashlash, o'z-o'zidan diffuziyaning va sirt taranglik kuchlari bilan belgilanadi. Ultratovushli payvandlash jarayoni uchta asosiy parametr bilan tavsiflanadi: ultratovush tebranishlarining amplitudasi va chastotasi, qo'llaniladigan bosimning qiymati va payvandlash jarayonining vaqti.

9.3. Kristallni qutiga o'rnatish va undan ulovchi simlar chiqarish

Yarim utkazgichli asboblarda va IS larni qutiga joylashtirishda kristall yoki taglik quti asosiga joylashtirilib, undan ulash uchun simlar chiqariladi. Simlar kristalldagi metall plyonka xosil qilingan -kontakt maydonchalariga ulanadi.

Bunday ulashlarning murakkabligi

1) metall plyonkalar yupqaligi ($0,25 \div 2,0$ mkm) va adgeziyasining mustaxkam emasligi;

2) kontakt maydonchalar yuzasining kichikligi va ulanuvchi simlarning qalinligi ($25 \div 180$ mkm) tufaylidir.

Kontakt maydonchasi plyonkasi qalinligi bilan ulanuvchi sim qalinligi orasidagi nisbat 1:100 bo'lgani uchun kontakt maydonchasi plyonkasi qizib ketadi yoki ulanuvchi sim yetarlicha qizimasligi tufayli ulanish mustaxkam bo'lmaydi.

Kley yordamida ulashni tokni yaxshi o'tkazuvchi kley (kontaktola) yordamida bajariladi. Bunday kleylar epoksid yoki poliefir smolasiga mayda (~ 1 mkm) metall kukuni (Au, Ag, Pd, Ni yoki boshqalar) qo'shib tayyorlanadi va solishtirma qarshiligi $\rho = (2 \div 100) \cdot 10^{-4}$ Om•m bo'ladi. Bunday kleyning quyidagi kamchiliklari undan foydalanishni cheklab qo'yadi:

1) kley tarkibining bir jinsli emasligi (bir tomchidan ikkinchisi solishtirma elektr qarshiligi bilan farq qiladi);

2) foydalanish muddatining qisqaligi (suyultiruvchi qismi tez bug'lanib ketadi);

3) namlik va xaroratga chidamli emas;

4) ayrim metall sirtlariga yopishqoqligi (adgeziyasi) yomon;

5) ichki mexanik kuchlanishlar xosil bo'ladi;

6) sovutganda cho'kadi;

7) kleylanuvchi qismlarining chiziqli kengayish temperatura koeffitsienti (ChKTK)dan keskin farq qiluvchi va katta ChKTK tiga egaligi;

8) kleylanuvchi sirt yuzasining kattaligi ($0,2 \div 0,3 \text{ mm}^2$).

Qalaylash- ikki metallni qattiq xolatda orasidagi bo'shliqlarni qalay bilan to'ldirib ulash. Qalaylashda ulanuvchi metallar va qalay, qalay erish xaroratidan yuqori xaroratgacha qizdiriladi. Erigan qalay ulanuvchi sirtlarda yoyilib sirt ichiga kichik chuqurlikka diffuziyalanadi. Ulanuvchi sirtlar esa qalayda qisman eriydi.

1) Qalaylashda ko'pincha POS-61 [61% Sn; 38,2% Pb; 0,8% Sb] qotishmasidan foydalaniladi. Erish xarorati $183 \div 194 \text{ }^\circ\text{C}$.

2) Agar kontakt maydonchasidagi metall plyonka qalayda kuchli erisa, u xolda PSrOS 3-58 [3%Ag; 0,5% Sb; 57,8% Sn; 38,7% Pb] qotishmadan foydalaniladi.

3) Issiqlikka chidamsiz bo'lgan qismlari erish xarorati past bo'lgan ($142 \div 145 \text{ }^\circ\text{C}$) qotishma POSK 50 [50% Sn; 18% Cd; 0,2% Sb; 0,008% Cu; 31,792% Pb] bilan qalaylanadi.

Metallni va qalayli qotishmani oksidlashdan asrash uchun passiv flyuslardan foydalaniladi yoki flyussiz qalaylanadi. Flyuslarda qalaylangandan so'ng yuvish zarurati bo'lmaydiganlari maqsadga muvofiq:

FKS_n (kanifol - $10 \div 60\%$ massali; etil spirti $90 \div 40\%$ massali)

FPE (poliefir smola $15 \div 20 \%$ massali; metil etilketon yoki etilatsetat $80 \div 85\%$ massali)

Qalaylashni kam quvvatli ($U = 6\text{V}$, $P = 6\text{Vt}$, $T = 260 \text{ }^\circ\text{C}$) elektrik mikropayalnik yordamida $2 \div 3$ sek. davomida bajariladi [temperaturani avtomatik ravishda boshqariladigan yoki ikki elektrodli 1 sek davomida impulsli qizdiriladigan payalnik].

Qalayli qotishma dumaloq $\phi 0,8 \text{ mm}$, qalinligi $0,08 \div 0,1\text{mm}$ bo'ladi.

Bu usulning kamchiliklari:

1) ulash puxta bo'lmaydi;

2) ulanish yuzasi nisbatan katta;

3) ayrim metallarnigina qalaylash mumkin;

4) ulash tezkorligi past;

undan foydalanishni cheklab qo'yadi.

Qalaylash ko'proq kristall yoki taglikni quti asosiga maxkamlashda qo'llaniladi.

Yumshoq qotishmalar yoki evtektik qotishmalardan foydalanib qalaylash quyidagi talablarga javob beradi:

- 1) ulanish soxasining qarshiligi kichik bo‘ladi;
- 2) quti materiali bilan qotishma chiziqli kengayish temperatura koeffitsienti bir-biriga yaqin bo‘lib, xosil bo‘ladigan mexanik kuchlanishlar kichik bo‘ladi;
- 3) Issiqlik o‘tkazuvchanligi yaxshi va mexnik mustaxkam bo‘ladi.

Bunday qotishmalarga erish xarorati 280 °C bo‘lgan Au-Sn va 300°C bo‘lgan Pb-Sn-Ag qotishmalar kiradi. Kristallning qutiga maxkamlanadigan qismi xrom va uning ustidan Au, Ag yoki Ni bilan qoplanadi. Quti asosi Ni yoki Ag bilan qoplanadi. Kristall bilan quti asosi orasiga erish temperaturasi 370 °C bo‘lgan evtektik qotishma Au-Si (Au 94% va Si 6% massada yupqa dumaloq tugmacha shaklida) qoyiladi. Ulanish mustaxkam bo‘lishi uchun qizdirish xarorati $390 \div 420$ °C, bosim $1 \div 3$ Nyuton/mm² bo‘lgan xolda $3 \div 5$ sek ushlab turish kerak. Shisha bilan ulash faqat kristallarni qutiga maxkamlashda ishlatiladi. Yengil eruvchi S84-1, S88-1, S89-3, S90-1 shishalarning chiziqli kengayish temperatura koeffitsienti $(8,4 \div 9,0) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ va yumshash xarorati 550 °C dan katta emas. Shishadan foydalanilganda kristall qutidan izolyatsiyalangan bo‘ladi.

9.4. Kovsharlash usullari

Mikrokavsharlash - ulanuvchi qismlarni eritish yoki deformatsiyalash orqali ajralmaydigan xolda biriktirish. Bunda ulanuvchi materiallar atomlari orasida mustaxkam bog‘ xosil bo‘ladi.

Qalaylashdan farqli ravishda kavsharlashda ifloslanish va gaz bilan to‘yinish, flyus ishlatilmagani tufayli kam bo‘ladi.

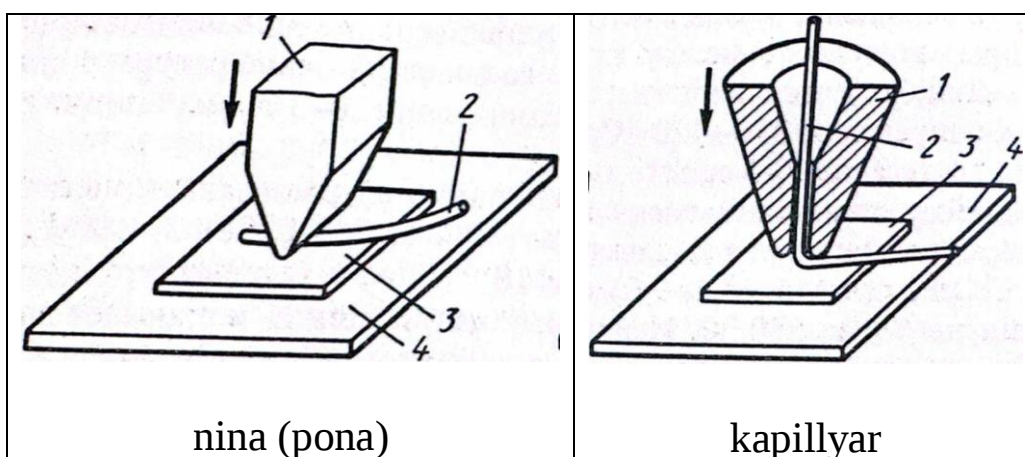
Bosim bilan kavsharlash - (qizdirilgan xolda presslash, impulsar bilan qizdirib, ultratovush yordamida) bir vaqtda ulanuvchi qismlarga xarorat va bosim ta’sir ettirilishga asoslangan. Bunda ulanuvchi qismlar erimaydi, faqat ularning pachoqlanuvchanligi ortadi. Plastik deformatsiyalanish natijasida ulanuvchi qismlarning atomlari orasida metall bog‘lanish fizik tutashish yuzaga keladi, va ulanuvchi moddalarning atomlari bir-biriga diffuziyalanadi. Metall qismlarni metall yoki metall bo‘lmagan qismlar bilan yuqori bosim va xarorat ta’sirida ulash termokompressiya deyiladi.

Bu usul bilan yassi va silindrsimon shakldagi sim (o‘tkazgich) larni oson sinuvchi (mo‘rt) taglikka o‘tkazilgan yupqa metall plyonkaga kavsharlash mumkin.

Termokompressiya usuli bilan oltin va alyuminiy simlarni kontakt maydonchalarida xosil qilingan Au, Al, Si, Ge va boshqa plyonkalarga kavsharlaydi. Oltin sim bilan Al li plyonka uchun termokompressiya rejimi quyidagicha:

xarorat $350\text{ }^{\circ}\text{C}$, bosim 10^8 Nyuton/m^2 , vaqt $0,5 \div 3\text{ sek.}$ deformatsiya kattaligi $30 \div 60\%$ ni tashkil qiladi.

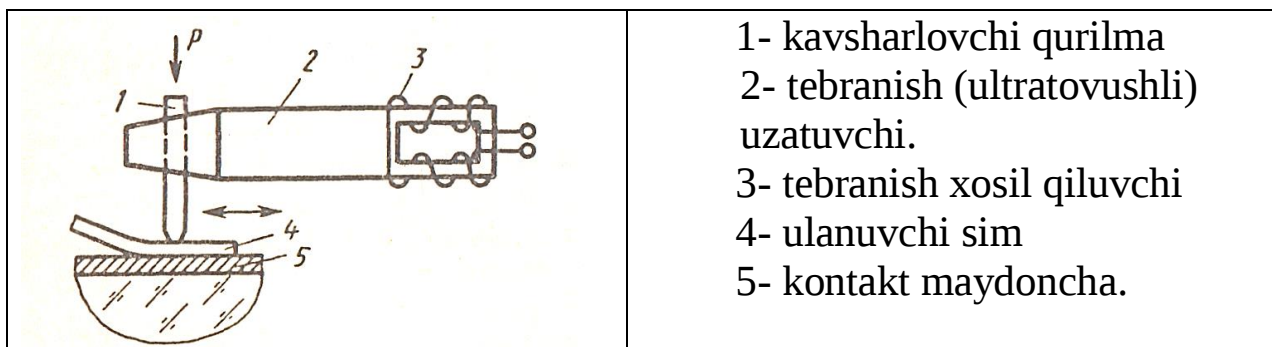
Kavsharlovchi qurilma qattiq qotishmalar VK-6M, VK-15, berilliy oksidi yoki sintetik korunddan nina (pona) yoki kapillyar shaklida tayyorlanadi:



- 1-kavsharlovchi qurilma
- 2-ulanuvchi sim
- 3-kontakt maydoncha
- 4-taglik

Termokompressiya usuli bilan xamma materiallarni xam kavsharlab bo'lmaydi. Kavsharlanuvchi sirtni kimyoviy yemirib, yog'sizlantirib, oksidlanishdan ximoya qilib tayyorlash kerak.

Agar kavsharlanuvchi sirtlar mustaxkam, qalin oksid plyonka bilan qoplangan bo'lsa (aluminium plyonkasi), ulanish sifatsiz bo'ladi. Bu xolda oksid plyonkani buzish uchun ultratovushli kavsharlashdan foydaniladi:



- 1- kavsharlovchi qurilma
- 2- tebranish (ultratovushli) uzatuvchi.
- 3- tebranish xosil qiluvchi
- 4- ulanuvchi sim
- 5- kontakt maydoncha.

Metallokeramik yoki karbid titandan tayyorlangan kavsharlovchi qurilma (1) sim (4)ni $P = 20 \div 150$ Nyuton/mm² bosim bilan kontakt maydoncha (5)ga siqib turadi. Elektr tebranish (ultratovushli) xosil qiluvchi (3) dan tebranishlar tebranish uzatuvchi (2) orqali kavsharlovchi qurilmaga (1) ga uzatiladi, mexanik ultratovush xosil bo'ladi. Bu tebranish kavsharlanuvchi sirt yuzasida tarqaladi. Tebranishlar amplitudasi $0,5 \div 5$ mkm va chastotasi $20 \div 60$ kGs bo'lganda sirdagi mikro notekisliklar silliqalanadi, oksid plyonka buziladi (mexanik) va ulanuvchi soxada intensiv issiqlik ajralib chiqadi. Ulanuvchi materiallar erish xaroratining $0,3 \div 0,5$ qismiga teng xaroratda 1 sek. dan kamroq vaqtda ulanuvchi materiallar yumshoqlanib qoladi va kovsharlanadi.

Bu usulning avzalligi:

- 1) Turli materiallarni (dielektriklarni xam) qalinligi bilan keskin farq qiluvchi kavsharlash mumkin.
- 2) Kavsharlanuvchi sirtlar tozaligiga qo'yiladigan talab katta emas.
- 3) Lokal qizish natijasida kavsharlash soxasida yuz beradigan strukturaviy uzgarishlar juda kam.

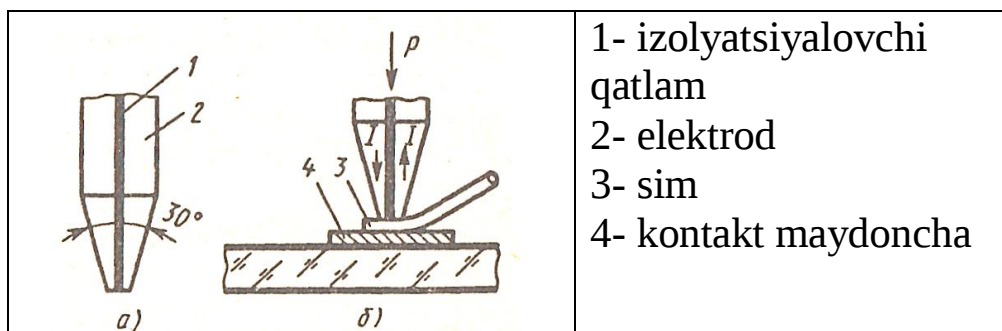
Qurilmada ultra tovush tebranish chastotasi avtomatik boshqariladi, shuning uchun optimal rejim tanlash mumkin.

Eritish orqali kavsharlash- (juft elektrod yordamida, lazer nuri bilan, elektron nur bilan) kavsharlanuvchi qismlarni erish xaroratigacha qizdirishga asoslangan.

Juft elektrod yordamida kavsharlashda IS larda ulash bir tekislikda amalga oshirilishi xisobga olingan. Ikki elektrod o'zaro yupqa slyuda yoki sintetik korund (qalinligi $30 \div 220$ mkm) bilan izolyatsiyalangan mustaxkam qurilma shaklida bo'ladi. Ulanuvchi sim diametri ($30 \div 150$ mkm) ga qarab xar bir elektrodning yuzasidagi eni $80 \div 600$ mkm va bo'yi $20 \div 100$ mkm gacha bo'ladi. Elektrodni volfram, molibden yoki qattiq qotishma VK-8 dan qilinadi. Bunday elektrodlar $30 \div 40$ ming kovsharlashgachan chidaydi.

Kavsharlash jarayonida sim-kontakt maydoncha soxa elektr zanjirining bir qismi bo'ladi va kontakt soxasidan tok o'tayotganda qiziydi. Elektrodning bosim kuchi $3 \div 10$ Nyuton, kavsharlash vaqti 0,005 dan 0,02 sekundgacha.

Lazer nurida kavsharlashda ulanuvchi materiallar qismlari katta zichlikdagi elektromagnit nurlanish ta'sirida eriydi, sovutgandan so'ng qotib kavsharlanib qoladi.



Lazerli kavsharlash avzalliklari:

Qisqa vaqt ichida katta energiyani kichik yuzaga yigish mumkinligi ($10^5 \div 10^6 \text{ Vt/sm}^2$). Bu esa xar qanday metallni metall shisha va metall keramika ulanishlarga yaqin soxada kavsharlash imkonini beradi.

Maxsus muxit xosil qilinmaydi (vakuum, ximoyalovchi atmosfera va boshqalar), 0,25 ÷ 1 mm li diametrgacha lazer nurini fokuslash oson va optik shaffof moddalardan yutilmay o'tib ketadi (shisha, kvars va boshqalar). Bular xammasi lazer nuri bilan kavsharlash usulini mikroelektronika texnologiyasida qo'llash qo'lay ekanligini ko'rsatadi.

Elektron-nur bilan kavsharlash. Elektron-nur bilan moddalarni bug'lantirishning fizik prinsiplariga asoslangan.

9.5. Kristallni germetik yopish

Yarimo'tkazgichli kristall quti asosiga o'rnatilgandan so'ng va uning kontakt maydonchalariga simlar ulangandan so'ng, u atrof-muhit ta'siridan himoyalangan bo'lishi kerak - uning atrofida germetik va mexanik jihatdan mustahkam qobiq yaratilishi kerak. Bunday qobiqni yarimo'tkazgich kristalini qoplaydigan va uni tashqi muhitdan ajratib turadigan korpus asosiga maxsus qopqoqni (balon) yopishtirish yoki korpus asosini uning ustida joylashgan yarim o'tkazgich kristall bilan birgalikda plastmassa bilan qoplash orqali yaratish mumkin, bu ham kristalni tashqi muhitdan ajratib turadi.

Korpusning asosini qopqoq yoki silindr bilan mahkam biriktirish uchun (yarim o'tkazgichli qurilmalarning diskret versiyasi) payka, elektr kontaktli va sovuq payvandlash keng qo'llaniladi va ushlagichga yopishtirilgan kristalni germetizatsiya qilish uchun - plastmassa bilan to'ldirib preslanadi.

Payka diskret qurilmalarni ham, IS larni ham germetizatsiya qilish

uchun ishlatiladi. Ushbu jarayon diodlar va tranzistorlar korpuslarini yig'ish va germetizatsiya qilishda eng katta amaliy qo'llanilishini topdi. Korpuslarning konstruktiv qismlari metall-metall, metall-keramika va metall-shishalarni payka qilish yordamida olingan alohida birikmalar va bloklarni o'z ichiga oladi.

Elektrkontaktli payvandlash yarimo'tkazgichli asboblari va integral mikrosxemalar korpuslarini germetizatsiya qilish uchun keng qo'llaniladi. U birlashtirilgan metall qismlarning ma'lum joylaridan elektr toki o'tganda erishiga asoslangan. Elektrkontaktli payvandlash jarayonining mohiyati shundan iboratki, payvandlanadigan qismlarga ikkita elektrod ulanadi va ularga ma'lum bir kuchlanish beriladi. Elektrodning maydoni payvandlanadigan qismlarning maydonidan sezilarli darajada kichikroq bo'lganligi sababli, elektr toki butun tizim bo'ylab o'tganda, payvandlanadigan qismlarning elektrodlar ostidagi kontakt nuqtasida katta miqdorda issiqlik chiqariladi. Bu payvandlanadigan qismlarning kichik hajmdagi materialida katta tok zichligi tufayli yuzaga keladi. Katta tok zichligi ma'lum boshlang'ich materiallar eriguncha kontakt joylarini isitadi. Tok to'xtaganda kontakt joylarining harorati pasayadi, bu eritilgan zonaning sovishi va uning qayta kristallanishiga olib keladi. Shunday qilib olingan qayta kristallanish zonasi bir hil va o'xshash bo'lmagan metall qismlarni bir-biriga germetik tarzda biriktiradi.

Sovuq payvandlash korpuslarning dastlabki qismlarini germetizatsiya qilishda ularni isitish mumkin bo'lmagan va jarayonning yuqori tozaligi talab qilinadigan hollarda sovuq payvandlash - bosimli payvandlashda keng qo'llaniladi. Bundan tashqari, sovuq payvandlash eng ko'p ishlatiladigan o'xshash bo'lmagan metallar (mis, nikel va po'lat) o'rtasida mustahkam, germetik biriktirishni ta'minlaydi. Ushbu usulning kamchiliklari birlashtirilgan qismlarning sezilarli deformatsiyalanishi yuzaga keladi, bu esa tayyor mahsulotlarning shakli va umumiy o'lchamlarini sezilarli darajada o'zgartirishga olib keladi.

Plastmassa bilan germetizatsiya qilish shisha, metall-shisha, metall-keramika va metall korpuslarni yopish uchun ishlatiladi. Ba'zi hollarda, bu qurilmalar va IS larning ishonchliligini oshiradi, chunki yarimo'tkazgich kristalining korpus ichida joylashgan gaz muhiti bilan aloqasi yo'q qilinadi.

Plastmassa bilan germetizatsiya qilish kristalni tashqi ta'sirlardan ishonchli tarzda izolyatsiyalash imkonini beradi va strukturaning yuqori mexanik va elektr quvvatini ta'minlaydi. IS larni yopish uchun epoksid,

kremniyorganik va poliefir smolalar asosidagi plastmassalar keng qo'llaniladi.

Qurilmalarni yig'ish va germetizatsiya qilish muammosini hal qilishning eng istiqbolli usuli - bu kristallarni metall lentada faol elementlar bilan yopishtirish, keyin esa plastmassa bilan yopishtirishdir. Ushbu germetizatsiya qilish usulining afzalligi har xil turdagi IS larni yig'ish jarayonlarini mexanizatsiyalash va avtomatlashtirish imkoniyatidir. Plastmassa korpusning asosiy konstruktiv elementi metall lentadir. Metall lenta profilini tanlashda kristallarning o'lchamlarini, qurilmalarning issiqlik xususiyatlarini, tayyor qurilmalarni elektron sxema bosma platasiga montaj qilish imkoniyati, korpusdan ajratishning maksimal mustahkamligi va konstruksiyasining soddaligi e'tiborga olinadi.

XULOSA

Biz ilmiy-texnika taraqqiyotining eng qiziqarli bosqichida turibmiz: atigi olti-yetti o'n yillikda yarimo'tkazgichlar elektr energiyasini turlantirish (konvertatsiya) va elektronikaning deyarli barcha yo'nalishlarini egalladi. So'nggi yillarda bu sohadagi ilmiy-texnologik yutuqlar energiya ishlab chiqarish texnologiyalarida ham yangi davrni boshlab berdi.

Ushbu darslikda yarimo'tkazgichli asboblari va integral sxemalar texnologiyasi, ilg'or yechimlar, yangi konstruksiyalar hamda zamonaviy qurilmalar bo'yicha tizimli ma'lumotlar beriladi. Shuningdek, qurilmalarni tayyorlash bosqichlari, ularni sinash va tekshirish usullari, hamda amaliy qo'llanish sohalari batafsil yoritilgan.

Darslik Belarus davlat universiteti professor-o'qituvchilari bilan hamkorlikda tayyorlangan bo'lib, oliy ta'lim muassasalarining bakalavr va magistr talabalari, doktorantlar hamda pedagoglar uchun mo'ljallangan.

GLOSSARIY

O'zbekcha atama	Inglizcha nom/qisqartma	Qisqa ta'rif
Toza xona	Cleanroom (ISO Class)	Chang zarrachalari qat'iy nazorat qilinadigan ishlab chiqarish xonasi.
Jarayon marshruti	Process flow	Qurilmani tayyorlash uchun ketma-ket texnologik bosqichlar to'plami.
Plastina	Wafer	Qurilmalar bunyod qilinadigan yupqa kremniy diski.
Chip / Mikrosxema	Die / Chip	Plastinadan kesib olingan yakka integral qurilma.
Hosildorlik	Yield	Nuqsonsiz chiplar ulushi; iqtisodiy samaradorlik ko'rsatkichi.
Kremniy	Silicon (Si)	Mikroelektronikaning asosiy yarimo'tkazgichi.
Galliy nitridi	Gallium Nitride (GaN)	Yuqori chastota va quvvat qurilmalarida ishlatiladi.
SOI	Silicon-on-Insulator	Izolyator ustidagi kremniy; parazitlar effektlar kamayadi.
Yuvish/ Tozalash	Cleaning (RCA)	Organik, metall va zarrachalarni ketma-ket kimyoviy vannalarda yo'qotish.
Sirt faollashtirish	Surface activation	Adgeziya yoki reaktivlikni oshiruvchi ishlov (plazma, UV-ozon).
CVD	Chemical Vapor Deposition	Gaz reaktivlardan qattiq qatlam hosil qilish.
PECVD	Plasma-Enhanced CVD	Plazma yordamida past haroratda CVD.
ALD	Atomic Layer Deposition	Atom darajasida qalinlik nazorati bilan qatlam o'stirish.
PVD	Physical Vapor Deposition	Bug'lantirish yoki sputtering orqali cho'ktirish.
Epitaksiya	Epitaxy	Kristall panjaraga uyg'un holda qatlam o'stirish.
Termik oksidlash	Thermal oxidation	Si yuzasida SiO ₂ hosil qilish (quruq O ₂ /suv bug'i).
Kuydirish	Anneal (RTA/RTP)	Defektlarni tuzatish/aktivatsiya uchun qizdirish.

Litografiya	Lithography	Yuzaga naqsh tushirish jarayonlari majmui.
DUV/EUV	Deep/Extreme UV	193 nm / 13.5 nm diapazonlarda yuqori aniqlikda naqsh.
Fotorezist	Photoresist	Nurlanishga sezgir polimer (ijobiy/salbiy).
Kritik o'lcham	Critical Dimension (CD)	Naqshning minimal kengligi.
Ho'l yemirish	Wet etch	Kimyoviy eritmalarda selektiv eritish.
Quruq yemirish	Dry etch (RIE)	Plazma yordamida yo'naltirilgan yemirish.
ALE	Atomic Layer Etching	Qatlam-qatlam boshqariladigan nozik yemirish.
Diffuziya	Diffusion doping	Yuqori haroratda kirishmalarni tarqatish.
Ion implantatsiyasi	Ion implantation	Kirishmalarni ion nuri bilan kiritish.
Aktivatsiya	Activation anneal	Kiritilgan ionlarni elektr faol holatga o'tkazish.
MOSFET	MOSFET	Metall-oksid-yarimo'tkazgich tranzistori.
CMOS	CMOS	Komplementar n-MOS va p-MOS; past quvvat sarfi.
FinFET	FinFET	"Qanotcha" kanalli 3D tranzistor.
GAAFET	Gate-All-Around FET	Kanal to'liq o'ralgan tranzistor geometriyasi.
Ellipsometriya	Ellipsometry	Yupqa qatlam qalinligi/optik konstantalarini aniqlash.
AFM	Atomic Force Microscopy	Nanomasshtabdagi relyef va qo'pollikni o'lchash.
SEM/TEM	Scanning/Transmission EM	Elektron mikroskopiya (yuzaki/ichki).
To'rt nuqtali o'lchov	4-point probe	List qarshilikni o'lchash.
C-V / I-V	Capacitance-Voltage / Current-Voltage	MOS/diod/tranzistor elektr xarakteristikalari.

ILOVALAR

1-jadval

Baʼzi bir yarimoʻtkazgichli materiallarning asosiy kattaliklari

Materiallar	Ge	Si	GaAs
1sm ³ kristalldagi atomlar soni	4,42·10 ²²	5,0·10 ²²	4,42·10 ²²
Atom ogʻirligi	72,60	28,09	144,63
Teshilish kuchlanishi, V/sm	~10 ⁵	~3·10 ⁵	~4·10 ⁵
Kristall strukturasi	Olmos	Olmos	Rux obmankasi
Zichligi, g/sm ³	5,3267	2,328	5,32
Dielektrik sindiruvchanligi	16,0	11,9	13,1
Oʻtkazuvchanlik zonada elektronlarning joylashish zichligi, N _c , sm ⁻³	1,04·10 ¹⁹	2,8·10 ¹⁹	4,7·10 ¹⁷
Valent zonada kovaklarning joylashish zichligi, N _v , sm ⁻³	6,0·10 ¹⁸	1,04·10 ¹⁹	7,0·10 ¹⁸
Elektronlarning effektiv massasi m*/m ₀	m _i [*] =1,64 m _i [*] =0,082	m _i [*] =0,98 m _i [*] =0,19	0,067
Kovaklarning effektiv massasi m*/m ₀	m _{lh} [*] =0,044 m _{hh} [*] =0,28	m _{lh} [*] =0,16 m _{hh} [*] =0,49	m _{lh} [*] =0,082 m _{hh} [*] =0,45
30K taqiqlangan zona energetik qiymati, eV	0,66	1,12	1,424
Xususiyl konsentratsiyasi, sm ⁻³	2,4·10 ¹³	1,45·10 ¹⁰	1,79·10 ⁶
Debay erkin yoʻl uzunligi, mkm	0,68	24	2250
Solishtirma qarshiligi, Om·sm	47	2,3·10 ⁵	10 ⁸
Panjara doimiysi, Å	5,64613	5,43095	5,6533
Erish harorati, °C	937	1415	1238
Asosiy boʻlmagan tok tashuvchilar yashash vaqti, s	10 ⁻³	2,5·10 ⁻³	~10 ⁻⁸
Dreyf harakatchanligi, sm ² /(V·s) elektronlar kovaklar	3900 1900	1500 450	8500 400

Fononlarning oʻrtacha yugurish yoʻl uzunligi λ_0 , Å	105	76 (elektron) 55 (kovak)	58
Solishtirma issiqlik, $D_j/(g \cdot ^\circ C)$	0,31	0,7	0,35
30K da issiqlik oʻtkazuvchanligi, $Vt/(sm \cdot ^\circ C)$	0,6	1,5	0,46
Issiqlik diffuziya koeffitsiyenti, sm^2/s	0,35	0,9	0,44

2-jadval

Eng koʻp ishlatiladigan texnologik kirishma atomlarining Si, Ge va GaAs da diffuziya koeffitsiyenti

Birikma	Kirishma	T, °C	D ₀ , sm ² /sek	Q, eV
CdS	Cd	750 ÷ 1150	3	2,0
		400 ÷ 730	$1,1 \cdot 10^{-5}$	0,62
	S	-	-	2
	Cu	400 ÷ 730	$1,5 \cdot 10^{-3}$	0,76
		380 ÷ 500	25	1,2
		146 ÷ 400	$2 \cdot 10^3$	0,96
	Ag	300 ÷ 500	0,24	0,8
			25	1,2
	Au	500 ÷ 800	200	1,8
	Li	610 ÷ 960	$3 \cdot 10^{-6}$	0,68
CdSe	Cd		$6 \cdot 10^{-5}$	0,99
	Se	950 ÷ 1430	$1,3 \cdot 10^5$	4,43
	P	800 ÷ 1000	-	2,1
	Cd		3,26	2,67
			1,58	2,44
			1,37	0,67
	Se	680 ÷ 900	$1,7 \cdot 10^{-4}$	1,35
	In	450 ÷ 1000	$4,1 \cdot 10^{-2}$	1,6
	Au	330 ÷ 720	67	2
	Ag		10 ÷ 100	0,61
	Cu	97 ÷ 300	$3,7 \cdot 10^{-4}$	0,67
ZnS	Zn	900 ÷ 930	$3 \cdot 10^{-4}$	1,52
		940 ÷ 1030	$1,5 \cdot 10^{-4}$	3,26
		1030 ÷ 1075	10^{16}	6,52
	S	700 ÷ 890	-	3,4
ZnSe	Zn	720 ÷ 810	10^{13}	3,45

	Al		-	2
	Cu	200 ÷ 950	$1,7 \cdot 10^{-5}$	0,56
ZnTe	Zn	782 ÷ 950	10^{-2} 14	1,9 2,69
	Te	730 ÷ 1000	$2 \cdot 10^{-4}$	3,8
	Al		-	2
HgTe	Cd	250 ÷ 350	$3,1 \cdot 10^{-4}$	0,69
	Hg			0,59

3-jadval

Baʼzi bir texnologik kirishma atomlarining Si,Ge va GaAs eruvchanligi

Kirishma	Maksimal eruvchanlik at/sm ⁻³	Degradatsiya koeffitsiyenti, %	Maksimal harorat, °C
Cu	$3 \cdot 10^{18}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	1300
Ag	$2 \cdot 10^{17}$		1350
Au	$1 \cdot 10^{17}$	$3 \cdot 10^{-5}$	1250
Li	$4 \cdot 10^{19}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	1200
B	10^{20}	0,9	1200
Al	$1,7 \cdot 10^{20}$	10^{-1}	1200
In	10^{19}	$5 \cdot 10^{-4}$	1200
P	$2 \cdot 10^{20}$	0,35	1200
As	10^{20}	0,3	1200
Sb	10^{20}	0,4	1200
Zn	10^{17}	$4 \cdot 10^{-4}$	1250
Mg	10^{16}		1250
Cd	10^{16}		1250
Hg	10^{16}		1270
Sc	10^{16}		1250
V	10^{16}		1250
Sn	10^{21}		1350
Ge	10^{22}		1430
Cr	10^{16}		1200
Fe	$5 \cdot 10^{16}$	$8 \cdot 10^{-6}$	1250
Co	$2 \cdot 10^{16}$		1250
Ni	$7 \cdot 10^{17}$		1250
Mn	$2 \cdot 10^{16}$		1250

Re	10^{16}		1250
Ru	10^{17}		1260
Os	10^{16}		1300
Rn	10^{16}		1250
Ir	$5 \cdot 10^{16}$		1250
Pd	$4 \cdot 10^{16}$		1250
Pt	10^{16}		1300
Sm	10^{18}		1300
Gd	10^{18}		1250
Ho	10^{17}		1250
O	$1,7 \cdot 10^{18}$		1250
S	$5 \cdot 10^{16}$		1250
Se	10^{17}		1250
Te	$5 \cdot 10^{17}$		1250
Mo	10^{15}		1200
W	10^{15}		1200

ADABIYOT

1. Нанотехнология в ближайшем десятилетии: Прогноз направления исследований. М.: Мир, 2002.
2. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике, под ред. А.Л. Асеева. Новосибирск: СО РАН, 2004.
3. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов. М.: Лаборатория базовых знаний, 2000.
4. Пасынков В.В. Материалы электронной техники: Учебник для студентов вузов. СПб.: Лань, 2003
5. Малышева И.А. Технология производства интегральных микросхем. М.: Радио и связь, 1991.
6. Пилипенко В.А. Быстрые термообработки в технологии СБИС. Мн.: БГУ. 2004.
7. Крапухин В.В., Соколов И.А., Кузнецов Г.Д. Технология процессов полупроводниковой технологии. М.: МИСИС, 1995.
8. Технология радиоэлектронных устройств и автоматизация производства: Учебник для студентов вузов, под ред. А.П. Достанко. Мн.: Высшая школа, 2002
9. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии: Учебное пособие для вузов. М.: Техносфера, 2004.
10. Электронная техника и радиоэлектроника: Справочное пособие. М.: Изд-во стандартов, 1991.
11. Электроника. Энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1991.
12. Kurnosov A.I., Yudin V.V. Texnologiya proizvodstva poluprovodnikovyx priborov i integralnykh sxem. - M.: Vyssh.shk., 1989
13. Gotra Z.Yu. Texnologiya mikroelektronnykh ustroystv. Spravochnik. - M.: Radio i svyaz, 1991.
14. Rosado L. Fizicheskaya elektronika i mikroelektronika. - M.: Vyssh.shk., 1991.
15. Till U., Lakson Dj. Integralnye sxemy. Materialy, Pribory, Izgotovlenie. Perevod s ang. pod red. M.V. Galperina. - M.: Mir, 1988
16. Koledov L.A. Texnologiya i konstruirovaniye mikrosxem, mikroprotsses-sorov i mikrosborok. - M.: Radio i svyaz, 1989
17. Texnologiya SBIS. Per. s ang. pod red. S. Zi. - M.: Mir, 1986
18. Chernyaev V.N. Texnologiya proizvodstva integralnykh mikrosxem i mikroprotssessorov. - M.: Radio i svyaz, 1987.

MUNDARIJA

KIRISH	4
1. YARIMO‘TKAZGICHLARNI ISHLAB CHIQARISH TEXNOLOGIYASI	5
1.1. Yarim o‘tkazgichli mikroelektronikaning rivojlanishida texnologiyaning o‘rni	5
1.2. Texnologik marshrut	7
1.3. . Yarimo‘tkazgichli materiallar	10
1.4. Yarimo‘tkazgichli materiallarga mexanik ishlov berish	22
1.5. IS tagliklarini tayyorlash uchun texnokimyoviy jarayonlar	42
1.6. Yarim o‘tkazgichli plastina sirtiga kimyoviy ishlov berish	46
2. EPITAKSIAL O‘STIRISH USULLARI BILAN TUZILMALAR OLISH	53
2.1. Epitaksial o‘stirishning asosiy usullari	53
2.2. Si va Ge epitaksiya texnologiyasining o‘ziga xos tomonlari	57
2.3. Epitaksial tuzilmalardagi nuqsonlar	73
2.4. Epitaksial qatlamlarni nazorat qilish usullari	76
3. PLANAR TEXNOLOGIYADA HIMOYALOVCHI DIELEKTRIK PARDALAR	79
3.1. Kremniyni termik oksidlash kinetikasi	79
3.2. Kremniyni suv bug‘ida termik oksidlash	84
3.3. Kremniyni quruq kislorod muhitida termik oksidlash	86
3.4. Kremniyni nam kislorod muhitida termik oksidlash	88
3.5. Kremniy oksidi pardalarini pirolitik usulda hosil qilish	90
3.6. Kremniyni anodli oksidlash	92
3.7. Nitrid kremniy pardasini kimyoviy usulda hosil qilish	93
4. FOTOLITOGRAFIYA	95
4.1. Fotorezistlar	97
4.2. Fotorezistlar uchun qo‘llash mezonlari	102
4.3. Fotoshablonlar va ularni olish usullari	103
4.4. Kontaktli fotolitografiya	108
4.5. Proyeksiyali optik fotolitografiya	112
4.6. Fotolitografiya jarayonidagi nuqsonlar	114
5. DIFFUZIYA USULI BILAN TUZILMALAR OLISH	117
5.1. Diffuziya jarayonida kirishma atomlarining taqsimoti	118
5.2. Diffuziya tuzilmalarini olishning texnologik usullari	122
5.3. Kremniyga kirishmalar kiritish	127
5.4. Integral sxemalar ishlab chiqarishda diffuziya jarayonlari	131

5.5. Diffuziya tuzilmalaridagi nuqsonlar va ularni nazorat qilish usullari	134
5.6. Diffuziya qatlami parametrlarini nazorat qilish	136
6. ION IMPLANTATSIYASI USULI BILAN TUZILMALAR OLISH	140
6.1. Implantatsiya jarayoni haqida fizik tasavvurlar	140
6.2. Ion implantatsiya rejimlari	144
6.3. Kuydirish va diffuziya	146
6.4. Yarimo'tkazgichlar texnologiyasida ion implantatsiyasi jarayonlaridan foydalanish	150
6.5. Ion implantatsiyasi tuzilmalarini nazorat qilish usullari	152
7. P-N-O'TISHLAR SIRTINI HIMOYA QILISH	156
7.1. Sirt holatining qurilmaning elektr parametrlariga ta'siri	156
7.2. Kremniy oksidi va nitrid plyonkalari bilan himoya qilish	159
8. INTEGRAL SXEMALAR TAYORLASH TEXNOLOGIYASI	160
8.1. Bipolyar integral sxemalar tayorlash texnologiyasi	160
8.2. Elementlari p- n -utish soxalari bilan izolyatsiyalangan bipolyar IS texnologiyasi	160
8.3. Kombinatsiyali izolyatsiyalangan bipolyar integral sxema	163
8.4. Metall - oksid - yarim utkazgich (MOP) - strukturali IS texnologiyasi	165
8.5. Qalin oksidli p- MOP-IS va n-MOP-IS tayyorlash	166
8.6. Komplementar MOP-KNS-IS	167
8.7. Gibrid yubqa plenkali integral sxemalar tayyorlashning texnologik jarayonlari	170
9. YARIMO'TKAZGICH ASBOBLARNI VA INTEGRAL SXEMALARNI YIG'ISH	178
9.1. Integral sxemalarni metallash	178
9.2. Yig'ish jarayonining xususiyatlari	181
9.3. Kristallni qutiga o'rnatish va undan ulovchi simlar chiqarish.	186
9.4. Kovsharlash usullari	188
9.5. Kristallni germetik yopish	191
XULOSA	194
GLOSSARIY	195
ILOVALAR	197
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI	201

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ	5
1.1. Роль технологии в развитии полупроводниковой микроэлектроники	5
1.2. Технологический маршрут	7
1.3. Полупроводниковые материалы	10
1.4. Механическая обработка полупроводниковых материалов	22
1.5. Технохимические процессы подготовки подложек ИС	42
1.6. Химическая обработка поверхности полупроводниковых пластин	46
2. ПОЛУЧЕНИЕ СТРУКТУР МЕТОДАМИ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО НАРАЩИВАНИЯ	53
2.1. Основные методы эпитаксиального роста	53
2.2. Особенности технологии эпитаксии Si и Ge	57
2.3. Дефекты в эпитаксиальных структурах	73
2.4. Методы контроля эпитаксиальных слоёв	76
3. ЗАЩИТНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЛЁНКИ В ПЛАНАРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ	79
3.1. Кинетика термического окисления кремния	79
3.2. Термическое окисление кремния в паре воды	84
3.3. Термическое окисление кремния в сухом кислороде	86
3.4. Термическое окисление кремния во влажном кислороде	88
3.5. Пиролитическое получение плёнок диоксида кремния	90
3.6. Анодное оксидирование кремния	92
3.7. Получение плёнок нитрида кремния химическими методами	93
4. ФОТОЛИТОГРАФИЯ	95
4.1. Фоторезисты	97
4.2. Критерии применения фоторезистов	102
4.3. Фотошаблоны и методы их изготовления	103
4.4. Контактная фотолитография	108
4.5. Проекционная оптическая фотолитография	112
4.6. Дефекты фотолитографического процесса	114
5. ПОЛУЧЕНИЕ СТРУКТУР МЕТОДОМ ДИФФУЗИИ	117
5.1. Распространение примесей при диффузии	118
5.2. Технологические способы получения диффузионных структур	122
5.3. Введение примесей в кремний	127
5.4. Диффузионные процессы в производстве ИС	131
5.5. Дефекты диффузионных структур и методы их контроля	134
5.6. Контроль параметров диффузионного слоя	136

6. ПОЛУЧЕНИЕ СТРУКТУР МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ	140
6.1. Физические представления о процессе имплантации	140
6.2. Режимы ионной имплантации	144
6.3. Отжиг и диффузия	146
6.4. Применение процессов ионной имплантации в технологии полупроводников	150
6.5. Методы контроля структур, полученных ионной имплантацией	152
7. ЗАЩИТА ПОВЕРХНОСТИ p–n-ПЕРЕХОДОВ	156
7.1. Влияние состояния поверхности p–n-перехода на электрические параметры прибора	156
7.2. Защита плёнками диоксида и нитрида кремния	159
8. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ	160
8.1. Технология изготовления биполярных ИС	160
8.2. Биполярные ИС с изоляцией областями p–n-переходов	160
8.3. Комбинированная изоляция биполярных ИС	163
8.4. Технология ИС на основе структуры металл–оксид–полупроводник (МОП)	165
8.5. Изготовление p-МОП-ИС и n-МОП-ИС с толстым оксидом	166
8.6. Комплементарные МОП-ИС на КНС (кремний-на-сапфире)	167
8.7. Технологические процессы изготовления гибридных тонкоплёночных ИС	170
8. СБОРКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ	178
9.1. Металлизация интегральных схем	178
9.2. Особенности процессов сборки	181
9.3. Монтаж кристалла в корпус и вывод проволочных соединений	186
9.4. Методы пайки	188
9.5. Герметизация кристалла	191
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	194
ГЛОССАРИЙ	195
ПРИЛОЖЕНИЯ	197
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	201

CONTENTS

INTRODUCTION	4
1. TECHNOLOGY OF SEMICONDUCTOR MANUFACTURING	5
1.1. The role of technology in the development of semiconductor microelectronics	5
1.2. Technological route	7
1.3. Semiconductor materials	10
1.4. Mechanical processing of semiconductor materials	22
1.5. Techno-chemical processes for preparing IC substrates	42
1.6. Chemical treatment of semiconductor wafer surfaces	46
2. FORMATION OF STRUCTURES BY EPITAXIAL GROWTH METHODS	53
2.1. Principal methods of epitaxial growth	53
2.2. Specifics of Si and Ge epitaxy technologies	57
2.3. Defects in epitaxial structures	73
2.4. Methods for controlling (characterizing) epitaxial layers	76
3. PROTECTIVE DIELECTRIC FILMS IN PLANAR TECHNOLOGY	79
3.1. Kinetics of thermal oxidation of silicon	79
3.2. Thermal oxidation of silicon in water vapor	84
3.3. Thermal oxidation of silicon in dry oxygen	86
3.4. Thermal oxidation of silicon in moist oxygen	88
3.5. Pyrolytic formation of silicon dioxide films	90
3.6. Anodic oxidation of silicon	92
3.7. Chemical formation of silicon nitride films	93
4. PHOTOLITHOGRAPHY	95
4.1. Photoresists	97
4.2. Criteria for the use of photoresists	102
4.3. Photomasks and their fabrication methods	103
4.4. Contact photolithography	108
4.5. Projection optical photolithography	112
4.6. Defects in the photolithography process	114
5. FORMATION OF STRUCTURES BY DIFFUSION	117
5.1. Impurity transport during diffusion	118
5.2. Technological methods for obtaining diffusion structures	122
5.3. Doping of silicon	127
5.4. Diffusion processes in IC manufacturing	131

5.5. Defects in diffusion structures and their control methods	134
5.6. Control of diffusion-layer parameters	136
6. FORMATION OF STRUCTURES BY ION IMPLANTATION	140
6.1. Physical concepts of the implantation process	140
6.2. Ion implantation regimes	144
6.3. Annealing and diffusion	146
6.4. Use of ion-implantation processes in semiconductor technology	150
6.5. Methods for controlling structures formed by ion implantation	152
7. PROTECTION OF p–n JUNCTION SURFACES	156
7.1. Influence of p–n junction surface condition on device electrical parameters	156
7.2. Protection with silicon dioxide and silicon nitride films	159
8. TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING INTEGRATED CIRCUITS	160
8.1. Fabrication technology of bipolar ICs	160
8.2. Bipolar ICs with isolation by p–n junction regions	160
8.3. Bipolar ICs with combined isolation	163
8.4. IC technology based on the metal–oxide–semiconductor (MOS) structure	165
8.5. Fabrication of thick-oxide p-MOS and n-MOS ICs	166
8.6. Complementary MOS ICs on SOS (silicon-on-sapphire)	167
8.7. Technological processes for hybrid thin-film ICs	170
8. ASSEMBLY OF SEMICONDUCTOR DEVICES AND INTEGRATED CIRCUITS	178
9.1. Metallization of integrated circuits	178
9.2. Features of assembly processes	181
9.3. Die attach and wire bonding (mounting the die in the package and forming leads)	186
9.4. Soldering methods	188
9.5. Hermetic sealing of the die	191
CONCLUSION	194
GLOSSARY	195
APPENDICES	197
LIST OF REFERENCES	201

**X.M.Iliyev, Z.T. Kenjayev, S.V.Koveshnikov,
V.B.Odjayev, V.S. Prosolovich**

YARIMO‘TKAZGICHLI ASBOBLAR VA INTEGRAL SXEMALAR TEXNOLOGIYASI



Litsenziya AI № 032465 / 15.07.2022

Bosishga ruxsat etildi: 17.11.2025 Ofset qog‘oz.

Qog‘oz bichimi 64x84 1/16 Times garniturası. Shartli bosma tobog‘i
13.125 Nashr hisob tobog‘i 12,20. Adadi 50

«ZAMON POLIGRAF» OK
bosmaxonasida chop etildi.

Manzil: Toshkent shahri, Yunusobod tumani,
Bobodehqon mahallasi, 45 uy.