

№3

2013

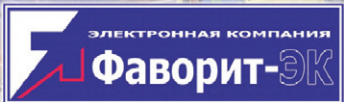
март

**Научно-практический
журнал для специалистов**

Республика Беларусь, г. Минск

ЭЛЕКТРОНИКА

Комплексные поставки электронных компонентов для предприятий ВПК



**ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПАНИЯ
Фаворит-ЭК**
поставка электронных компонентов

109029, Россия, г. Москва, ул. Скотопрогонная, д. 29/1.
Тел./факс: +7 (495) 627-76-24.
Представительство в Республике Беларусь:
220024, г. Минск, пер. Корженевского, д. 2а, пом. 6.
Тел./факс: +375 (17) 207-01-85, тел.: +375 (17) 298-90-86.
E-mail: info@favorit-ec.ru

ПОДПИСКА В БЕЛАРУСИ: «Белпочта» – 00822

ПОДПИСКА В РОССИИ: «Роспечать» – 00822

«АРЗУ – Почта России» – 91654

ISSN 1999-7515

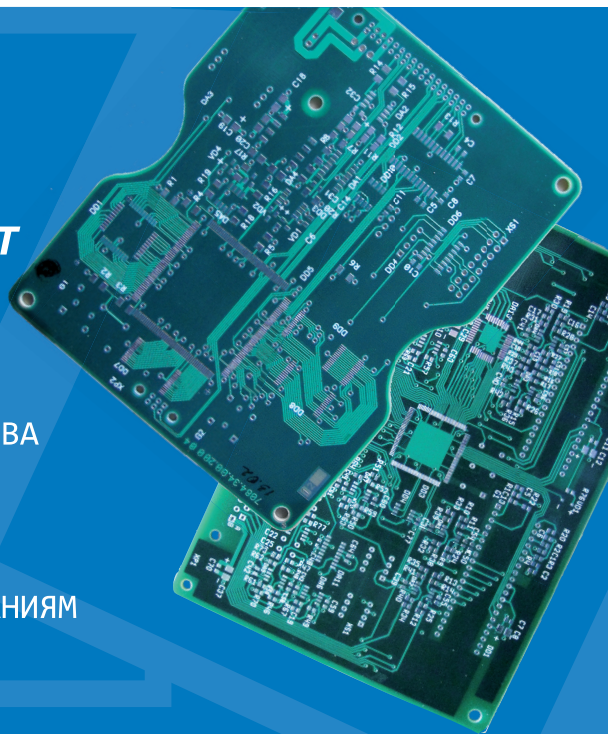


9 771999 1751006 13003



ПРОИЗВОДСТВО ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

ПОДГОТОВКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ
ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТ ОДИНОЧНЫХ ОБРАЗЦОВ
И ОПЫТНЫХ ПАРТИЙ
МНОГОУРОВНЕВАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
ПРИЕМКА ПЗ "5"
ВИДЫ ПЛАТ: ОПП, ДПП, МПП
КОЛИЧЕСТВО СЛОЕВ 1-22
КЛАСС ТОЧНОСТИ – 4
СИСТЕМА КАЧЕСТВА СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ
СТБ ИСО 9001-2009



mpovt.by
e-mail: contact@mpovt.by

Республика Беларусь
220140, г. Минск,
Ул. Притыцкого, 62
Тел. : (+375 17) 253 65 04
(+375 17) 253 74 32
Факс: (+375 17) 253 60 75

СВЕТОДИОДНАЯ ПРОДУКЦИЯ

Светодиодные экраны • Светодиодные табло • Светодиодные вывески
Табло "бегущая строка" • Информационные табло
Светодиодная продукция для освещения

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОД ЗАКАЗ
для помещений и уличного исполнения
СОБСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО • ГАРАНТИЯ КАЧЕСТВА
ДОСТУПНОСТЬ • НАДЕЖНОСТЬ • ОПЕРАТИВНОСТЬ



ЭЛЕКТРОКОНТИНЕНТ
КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
ЭЛЕКТРОНИКИ

www.elcontinent.by

Республика Беларусь, 220026, г. Минск, пер. Бехтерева, 8, офис 35
тел. (+375 17) 205 06 94, 296 31 61, Velcom (+375 29) 115 35 75
e-mail: info@elcontinent.com

**ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКЕ ФАКУЛЬТЕТА РАДИОФИЗИКИ
И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БЕЛГОСУНИВЕРСИТЕТА.
ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В СПИСОК НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ ВАК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

электроника
инфо

**International magazine
of amateur and professional electronics
№3 (93) март 2013**

Зарегистрирован
Министерством информации
Республики Беларусь

Регистрационный №71
от 05 марта 2009 года

Главный редактор:
Раковец Леонид Иванович
e-mail: electronica@nsys.by

Заместитель главного редактора
Асмоловская Ирина Михайловна
i.asmalouskaya@electronica.by

Технический редактор:
Бензарь Валентин Кузьмич, д.т.н.

Редакционная коллегия:

Председатель:
Чернявский Александр Федорович
академик НАН Беларуси, д.т.н.

Секретарь:
Садов Василий Сергеевич, к.т.н.
e-mail: sadov@bsu.by

Члены редакционной коллегии:
Беляев Борис Илларионович, д.ф.-м.н.
Борздов Владимир Михайлович, д.ф.-м.н.
Голенков Владимир Васильевич, д.т.н.
Гончаров Виктор Константинович, д.ф.-м.н.
Есман Александр Константинович, д.ф.-м.н.
Ильин Виктор Николаевич, д.т.н.
Кугейко Михаил Михайлович, д.ф.-м.н.
Кучинский Петр Васильевич, д.ф.-м.н.
Мулярич Степан Григорьевич, д.т.н.
Петровский Александр Александрович, д.т.н.
Попечиц Владимир Иванович, д.ф.-м.н.
Рудницкий Антон Сергеевич, д.ф.-м.н.
Отдел рекламы и распространения:
Антоневич Светлана Геннадьевна
тел./факс. +375 (17) 204-40-00
e-mail: asg@nsys.by

Учредитель:
ТЧУП «Белэлектрониконтракт»
220015, Республика Беларусь,
г. Минск, пр. Пушкина, 29 Б,
тел./факс: +375 (17) 210-21-89,
+ 375 (17) 204-40-00
www.electronica.by

© Перепечатка материалов, опубликованных
в журнале «Электроника инфо», допускается
с разрешения редакции

За содержание рекламных материалов редакция
ответственности не несет

Подписной индекс в РБ:
00822 (индивидуальная),
008222 (ведомственная)

Цена свободная

Подготовка, печать:

299 экз. отпечатано
тип. ООО «Полиграф»
г. Минск, ул. Кнорина, 50/4-401А
Лицензия №02330/0494199 от 03.04.2009 г.
Подписано в печать 19.03.2013 г.
Заказ №

СЛАВНЫЕ ИМЕНА «ОТЕЦ» МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ.....	2
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ.....	3
НЕМНОГО ИСТОРИИ ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ УСТРОЙСТВ ПАМЯТИ.....	5
МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ MISROCHIP ЗАПУСТИЛ ПЕРВЫЙ В ОТРАСЛИ АНАЛОГОВО-ЦИФРОВОЙ КОНТРОЛЛЕР ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СО ВСТРОЕННЫМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ.....	9
РЕЦЕНЗИРУЕМЫЕ СТАТЬИ.....	10-32
МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТОННЫХ ПУЧКОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ МИКРО-, НАНО- И ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ В ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДАХ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ И ПРИБОРНЫХ СТРУКТУР Ф.Ф. Комаров, О.В. Мильчанин.....	10
МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ФЛУКТУАЦИЙ ТОКА СТОКА В СУБМИКРОННОМ МОП-ТРАНЗИСТОРЕ О.Г. Жевняк, В.В. Буслюк, В.М. Борздов.....	20
КОМПЛЕМЕНТАРНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ IGBT-СТРУКТУРЫ С ВЫСОКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ ПРОБОЯ И.Ю. Ловшенко, В.Р. Стемпицкий, А.С. Турцевич, И.М. Шелибак.....	23
РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ В КАЛЛОИДНОМ РАСТВОРЕ Е.П. Микитчук.....	27
ИОННО-ЛУЧЕВОЙ СИНТЕЗ КОНТАКТОВ МЕТАЛЛ-GaAs С ПОВЫШЕННОЙ ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬЮ Е.В. Телеш.....	30
НАШИ ИНТЕРВЬЮ ЭФФЕКТ ВНЕДРЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ.....	34
НАУКА НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА: ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ Е.П. Микитчук.....	36
СВЕТОТЕХНИКА ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ОТ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ S. Stella.....	43
ТЕХНОЛОГИИ МОБИЛЬНЫЕ CMOS-КАМЕРЫ С. Сысоева.....	46
МЕХАТРОНИКА В ДЕЙСТВИИ ОПТИМИЗИРОВАННАЯ УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ДЛЯ ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ Д. Васильев.....	55
ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ КВАРЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ (МАРКИРОВКА, ЕМКОСТЬ НАГРУЗКИ...) А. Лапиков.....	60
ПРАЙС-ЛИСТ.....	64

СПИСОК РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ

«Адвик-Строй».....	19, 64	«Фесто».....	58
«Алнар».....	63, 64	«ФЭК».....	64
«Альфалидер групп».....	64	«Чип электроникс».....	64
«БелПлата».....	32	«ЭкоСнабГрупп».....	54
«Вектор-Систем».....	22	«Экнис».....	19, 45
«Вектор Технологий».....	35	«ЭлектроКонтинент».....	32
«ГорнТрейд».....	22		
«Евроавтоматика».....	59	Обложки, цветные вставки	
«Минский часовой завод».....	4	Microchip.....	IV вст.
«МПОВТ».....	33	«Альфасофт».....	III вст.
«Нанотех».....	42	«МПОВТ».....	II обл.
«Полдень Плюс».....	19	«Рейнбоу Электроникс».....	II вст.
«Приборостроительная компания».....	64	«Светоприбор».....	III обл.
«Промтехсервисснаб».....	22	«ФЭК».....	I обл., I вст.
«СветЛед решения».....	64	«ЭлектроКонтинент».....	II, IV обл.
«Стелла Монтис».....	22	«Элтикон».....	IV обл.
«Тиком».....	45		

«ОТЕЦ» МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

«Доктор Кеонджян был здесь при рождении транзисторного радио и продолжил изыскания по применению микроэлектроники. Он сосредоточился на маломощной технике, заложив основы нынешней портативной электроники».

Основатель фирмы «Intel» доктор Гордон Э. Мур

Эдуард Мкртичевич Кеонджян (1909-1999 годы), профессор Аризонского университета, действительный член Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE).

Эдуард Кеонджян родился в Тифлисе в 1909 году. Учился в армянской школе, интересовался техникой. В 1924 году Кеонджян первым в городе построил детекторный приемник. Окончив школу, поступил в Грузинский политехнический институт, а через год, в 1928 году, перевелся в ЛЭТИ (Ленинградский электротехнический институт). После его окончания Кеонджян напряженно работал, защитил кандидатскую диссертацию и опубликовал книгу об автоматическом управлении в радиоприемниках – первую книгу этого рода, которая сделала его известным.

В 1936 году Эдуард Кеонджян женился на Вергине Мегерян. Они пережили сталинский террор (домашний арест на 14 месяцев). В июне 1941 года Кеонджян отправил жену с сыном Кареном в Анапу и должен был присоединиться к ним позже, но началась война. Эдуард Кеонджян пережил 9 месяцев ленинградской блокады и чудом спасся от смерти. Истощенный, он заболел дизентерией и, будучи принят за мертвеца, был закопан в снег. Его добрый друг Клара Холмквист, узнав от коллег из ЛЭТИ о смерти Кеонджяна, поспешила к месту захоронения и увидела руку с шевелящимися пальцами, торчащую из-под снега. Так Эдуард Кеонджян родился во второй раз. После эвакуации в Минводы Кеонджян нашел семью. Позже немцы, отступая, отвезли их в рабочий лагерь в г. Кобленц, Чехословакия. В начале 1945 года они бежали из лагеря и 18 февраля 1947 года семья Кеонджян доплыла до Нью-Йорка.

Поработав в «City College of New York» преподавателем электротехники и подучив язык, Эдуард Кеонджян был принят на фирму «General Elektrik» и включен в группу схемотехников. Это стало поворотным пунктом в его карьере. Группа за несколько лет издала две книги: «Principles of Transistor Circuits» (1953) и «Transistor Circuit Engineering» (1957). Эти книги были первыми в этой области и выдержали много изданий.

В 1954 году Эдуард Кеонджян построил первый в мире портативный радиопередатчик с питанием от солнечной батареи, который в 1986 году был выставлен в Смитсоновском Музее американской истории среди других технических достижений.

В июне 1954 года Кеонджян стал членом весьма видного и почетного Научно-исследовательского общества Америки. Кеонджян перешел в «American Bosch Arma» и занялся миниатюризацией компьютеров ракеты «Атлас».

В 1959 году Кеонджян разработал прототип интегральной схемы (ИС), представляющий собой компьютерный сумматор. Изготовление «ИС» выполнили в фирме «Texas Instrument». Это было настоящим прорывом в технике. Доклад об этой «ИС» на Международной конференции в Вашингтоне в октябре 1959 года рассматривался как «самый важный из 3 докладов, посвященных ИС в этом году». 12 лет он проработал в Консультативной группе по исследованиям и разработкам в области авионики НАТО в качестве представителя США в области авионики.



В 1963 году Кеонджян издал книгу «Microelectronics: Theory, Design and Fabrication». Она, как и две вышеупомянутые, переведена на несколько языков, в том числе на русский, и была издана общим тиражом более миллиона экземпляров. В этом же году Эдуард Кеонджян перешел в фирму «Grumman Aerospace Corp», которая выиграла контракт на

«LEM» (Модуль исследования луны). Эдуард Кеонджян стал руководителем лаборатории анализа отказов электронных деталей для проекта «Apollo.LEM», построенный для «Apollo-11», 20 июля 1969 года произвел посадку на Луне.

Эдуард Кеонджян показал чрезвычайную важность уменьшения мощности рассеяния микросхем для достижения наивысшей надежности аппаратуры и в 1964 году издал книгу «Micropower Electronics». Эта книга также переведена на русский. Профессиональные достижения Эдуарда Кеонджяна не остались без внимания. 1 января 1965 года ему была присуждена престижная премия IEEE (Институт инженеров по электротехнике и электронике США). В октябре 1966 года Эдуард Кеонджян председательствовал на симпозиуме по микроэлектронике в Мюнхене.

Программа «Apollo» подошла к завершению, и Эдуард Кеонджян ушел из «Grumman». Он стал экспертом ООН по электронике в Индии, потом в Египте, работал также профессором Каирского университета, сблизился с представителями местной армянской диаспоры.

Вернувшись в Нью-Йорк, Эдуард Кеонджян получил несколько контрактов на работу консультантом. В 1984 году он женился на Марии Сафарян (первая жена умерла), француженке по происхождению. Через некоторое время они переехали в Аризону, в уютный городок Велли Грин. До отъезда в Аризону Эдуард Кеонджян во вновь построенной армянской церкви Сурб Саркис в Дугластоне, Лонг-Айленде (Нью-Йорк), установил памятник, посвященный своей спасительнице Кларе Холмквист.

В 1994 году Эдуард Кеонджян со своей женой основал «Кафедру микроэлектроники Эдуарда и Марии Кеонджянов» в Университете Аризоны США.

В 1997 году вышла в свет его автобиографическая книга «Выжить, чтобы рассказать».

Эдуард Кеонджян был весьма впечатлен оживленной академической жизнью в Университете Аризоны. Это побудило его сделать пожертвование, за счет которого ежегодно выделялся грант имени Э. Кеонджяна одному или двум специалистам из США или других стран для проведения исследований по микроэлектронике в Университете Аризоны.

В августе 1999 года Эдуарду Кеонджяну исполнилось 90 лет. В день рождения его по телефону лично поздравил президент США...

golos.am

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Естественно-научная концепция развития микроэлектронных технологий

Электроника – наука о взаимодействии электронов с электромагнитными полями и о методах создания электронных приборов и устройств (вакуумных, газоразрядных, полупроводниковых), используемых для передачи, обработки и хранения информации. Возникла она в начале 20 века. На ее основе были созданы электровакуумные приборы.

С начала 50-х годов интенсивно развивается твердотельная электроника, прежде всего полупроводниковая. В начале 60-х годов возникла микроэлектроника – наиболее перспективное направление электроники, связанное с созданием приборов и устройств в микроминиатюрном исполнении и с использованием групповой технологии их изготовления. Возникновение микроэлектроники вызвано непрерывным усложнением функций и расширением областей применения электронной аппаратуры, что требовало уменьшения ее габаритов и массы, повышения быстродействия и надежности.

Основу электронной базы микроэлектроники составляют интегральные схемы, выполняющие заданные функции блоков и узлов электронной аппаратуры, в которых объединено большое число микроминиатюрных элементов и электрических соединений, изготавливаемых в едином технологическом процессе. Микроэлектроника развивается в направлении уменьшения размеров, содержащихся в интегральной схеме элементов (до 0,1-1,0 мкм), повышения степени интеграции, плотности упаковки, а также использования различных по принципу действия приборов (опто-, акусто-, криоэлектронных, магниторезисторных и др.). В последнее время ведутся интенсивные работы по созданию интегральных схем, размеры элементов которых определяются нанометрами, то есть постоянно набирает силу наноэлектроника – наиболее важное направление микроэлектроники, характеризующее современный этап развития естествознания.

Развитие твердотельной электроники

Еще в 19 веке выдающийся физик Фарадей столкнулся с первой загадкой: с повышением температуры электропроводность исследуемого образца возрастала по экспоненциальному закону. К тому времени было известно, что электрическое сопротивление многих проводников линейно увеличивается с ростом температуры. Спустя некоторое время А.С. Беккерель обнаружил, что при освещении «плохого» проводника светом возникает электродвижущая сила – фотоЭДС, – это была вторая загадка.

Кроме того, было обнаружено изменение сопротивления селеновых стержней под действием света, что в определенной степени подтвердило сущность второй загадки, связанной с фотоэлектрическими свойствами «плохих» проводников.

В 1906 году физик К.Ф. Браун сделал важное открытие: переменный ток, проходя через контакт свинца и пирита, не подчиняется закону Ома; более того, свойства контакта определяются величиной и знаком приложенного напряжения. Это была 3-я физическая загадка.

В 1879 году физик Холл открыл явление возникновения электрического поля в проводнике с током, помещенном в магнитное поле, направленное перпендикулярно току. Электрическое поле возникало и в полупроводниках. Предполагалось, что направление данного поля определяют электроны и какие-то положительно заряженные частицы. Открытие Э. Холла – четвертая загадка «плохих» проводников.

Созданная Максвеллом теория электромагнитного поля не объясняла ни одну из четырех загадок.

В 1922 году был создан генерирующий детектор, способный усиливать и генерировать электромагнитные колебания. Основой его служила контактная пара: металл-полупроводник.

В полупроводниковой электронике 4 загадки оставались неразгаданными почти 100 лет.

Исследовательские работы существенно активизировались после создания зонной теории полупроводников. В верхней зоне – проводимости – находятся свободные заряды. Нижняя зона, в которой заряды связаны, валентная. Между ними – запрещенная зона. Если ее ширина велика, то в твердом теле электропроводность отсутствует, и оно относится к диэлектрикам. Если не велика, то электроны могут возбуждаться и переходить из валентной зоны в более высокоэнергетическую. На освободившихся от электронов местах образуются дырки, которые эквивалентны носителям положительного заряда.

Выяснилось, что существуют полупроводники с электронным типом проводимости (n-тип), для которого эффект Холла отрицателен, и с положительным эффектом Холла, имеющие дырочный тип проводимости (p-тип). Первые называются донорными, вторые – акцепторными.

В результате многих экспериментов удалось изготовить образец, включающий границу перехода между двумя типами проводимости. И удалось разгадать все 4 загадки «плохих» проводников.

Истоки современной микроэлектронной технологии

К 1955 году была налажена технология изготовления транзисторов со сплавными и p-n-переходами. Потом появились разновидности сплавных транзисторов: дрейфовые и сплавные с диффузией.

В конце 50-х годов была разработана технология создания планарных транзисторов, конструкция которых имеет плоскую структуру. Особенность этой технологии – возможность создания множества приборов на одной подложке. Такая технология открыла путь к групповой технологии производства транзисторов и его автоматизации.

Развитие дискретной полупроводниковой техники, возможность автоматизации производства привели к интеграции. В 1960 году был предложен метод изготовления транзисторов в тонком эпитаксиальном слое, выращенном на монокристаллической подложке. Таким способом удавалось на прочной толстой подложке создать транзисторы с тонкой базой. Было предложено использовать транзисторы с тонкопленочными проводниками в пределах одной пластины. Такие транзисторы получили название интегральных, а кристаллы стали называть интегральными схемами.

Таким образом, наряду с дискретной твердотельной электроникой появилась интегральная электроника, основанная на тонкопленочной групповой технологии.

Повышение степени интеграции и новые технологии

Быстрому распространению интегральных схем способствовала хорошо отработанная технологическая база при групповом производстве транзисторов. Таким образом, с момента изобретения транзистора до изготовления первых интегральных схем, поступивших на рынок, прошло чуть более 10 лет и далее последовало очень быстрое развитие микроэлектроники.

В начале своего пути транзисторы применялись, главным образом, для военных целей, также, как, впрочем, и предшествовавшие им электронные лампы, и последующие за ними интегральные схемы. Кроме того, они способствовали развитию техники радиовещания и телевидения, а впоследствии и компьютерной техники уже для более широкого применения.

Основная продукция микроэлектроники за последние десятилетия – разнообразные интегральные схемы. Возможно 3 пути роста интеграции. Первый связан с уменьшением топологического размера и соответственно повышением плотности упаковки элементов на кристалле. Второй – увеличение площади кристалла. Третий – оптимизация конструктивных приемов компоновки элементов.

Характерные размеры элементов интегральных схем становятся близкими к микрометру. Переход к еще меньшим размерам элементов требует нового подхода. Пришлось отказаться от ряда технологических операций. Фотографию заменили электронной, ионной и рентгеновской литографией; диффузионные процессы заменили ионной имплантацией и т.д. Появилась молекулярно-инженерная технология, позволяющая строить приборы атом за атомом. Использование лучевых методов совместно с вакуумной технологией позволяет получить приборы с размерами до 10-25 нм.

Сфокусированные ионные потоки – инструмент, позволяющий создавать принципиально новые конструкции приборов. Рентгеновские установки позволяют реализовать тиражирование изображений с размерами микроэлементов, недоступных световой оптике.

С развитием микроэлектроники происходит усложнение схем и уменьшение размеров рисунка (ширина линий 0,5 мкм).

Сейчас основным материалом полупроводниковых приборов – кремний. Переход к нанoeлектронике заставляет обратиться и к другим материалам: арсениду галлия, фосфиду индия и т.д. Нанoeлектроника позволяет создавать трехмерные – многослойные структуры. Развивается новое направление электроники – функциональная электроника. В первую очередь, это оптоэлектроника (размеры структур до 100 нм – доли длин световых волн). Широким фронтом ведутся работы по использованию длинных молекул в качестве элементов микросхем.

Перспективы развития микроэлектроники

Основные усилия разработчиков ИМС направлены на совершенствование уже сложившихся принципов создания ИМС, на улучшение их электрических и эксплуатационных характеристик. Работы ведутся, главным образом, в направлении повышения быстродействия схем (уменьшения

энергии, расходуемой внешним источником на одно переключение логического устройства) и их степени интеграции. Решение этих проблем связывают с усовершенствованием технологии получения микроэлектронных структур минимально возможных размеров.

Дальнейшее развитие микроэлектроники связано с принципиально новым подходом, позволяющим реализовать определенную функцию аппаратуры без применения стандартных базовых элементов, используя различные физические эффекты в твердом теле. Такое направление получило название «функциональная микроэлектроника». Используются оптические явления (оптоэлектроника), взаимодействие электронов с акустическими волнами в твердом теле (акустоэлектроника), эффекты в новых магнитных материалах (магнетоэлектроника), электрические неоднородности в однородных полупроводниках, явление холодной эмиссии в пленочных структурах, явления живой природы на молекулярном уровне (бионика, биоэлектроника, нейристорная электроника) и др.

Литература:

1. Батушев, В. А. Электронные приборы. – М.: Высшая школа, 1980. – 383 с.
2. Ефимов, И.Е. Основы микроэлектроники / И.Е. Ефимов, И.Я. Козырь – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1983. – 384 с.
3. Также при подготовке этой работы были использованы материалы с сайта <http://www.studentu.ru>

dipland.ru

Качество и компетентность в мире печатных плат

ОАО «Минский часовой завод»

ВАШ НАДЕЖНЫЙ ИЗГОТОВИТЕЛЬ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

220095, г. Минск,
пр. Независимости, 95,
т./ф. +375 (17) 280-49-55
моб. +375 (29) 750-45-50
bogdashich@mail.ru

Срок изготовления от 2 дней до двух недель

Типы плат

- ДПП, МПП (до 24 слоев) любого класса точности
- Гибкие печатные платы
- Платы для ВЧ/СВЧ
- Платы на алюминиевой подложке
- Платы для смарт-карт

Возможности

- Проектирование плат
- Технологическая поддержка
- Покрyтия: HASL, иммерсионное золото, иммерсионное олово, ПОС, NI-B
- Формирование контура любой формы
- Материалы: FR-4, Rogers, Duroid, алюминий, лавсан

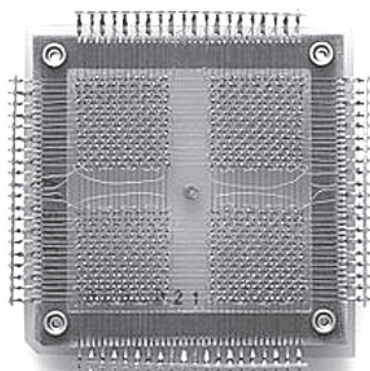
Качество

- Сертификат соответствия BV/112 05.01.0030030

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ УСТРОЙСТВ ПАМЯТИ

Какой была машинная память в начале своего пути и как она развивалась – об этом краткий исторический очерк.

Разнообразие первых запоминающих устройств было большим – от перфокарт до цифровых схем на электронных лампах, способных хранить 4096 битов.



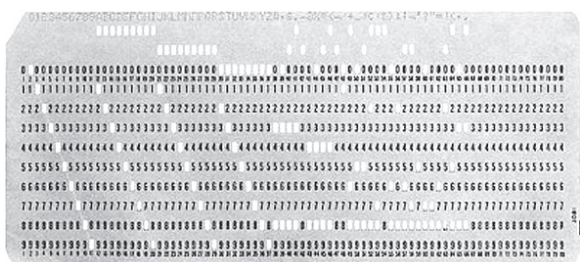
Интегральная память

«640 килобайт достаточно для любых целей», – произнес однажды Билл Гейтс свою знаменитую фразу, имея в виду ОЗУ в персональных компьютерах. По крайней мере, молва приписывает ему это высказывание. Сам же он отрицает свою причастность, а первоисточники, способные пролить свет на появление данного эпизода, канули в лету. Тем не менее, когда-то 640 килобайт действительно казались огромным объемом. Ведь в то время у пользователей в распоряжении было, как правило, всего 64 килобайта памяти. А еще были времена, когда память стоила по доллару за бит!

Взглянем на историю развития устройств хранения данных и проследим, как менялась их информационная емкость.

Перфокарты

До появления магнитной и электронной памяти инженеры использовали перфокарты. С конца 18 века до конца 19 века перфокарты и перфорированные ленты использовались для программирования ткацких станков и других промышленных механизмов. Герман Холлериф использовал их для хранения данных переписи 1890 года. Изначально в его картах содержались массивы круглых отверстий 12×24. В 1928 году IBM выпустила обновленную версию с квадратными отверстиями, расположенными массивами 10×80 или

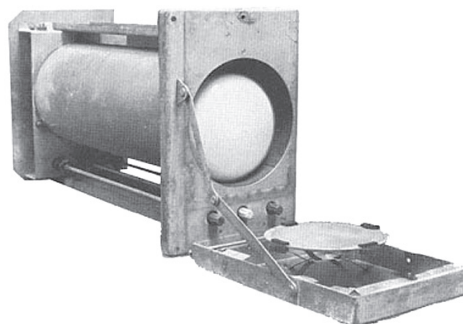


Перфокарта IBM

12×80. В компьютерах IBM 1401 используются 3 колонки для кодирования 36-разрядных слов.

Трубка Уильямса

В 1946 году была разработана запоминающая электронно-лучевая трубка (ЭЛТ), или трубка Уильямса-Килберна. Когда поток электронов сталкивается с экраном ЭЛТ, возникает положительный заряд, представляющий собой бит данных. Так происходит запись. Для стирания бита электронный пучок направляется в смежную со светящейся областью точку и поглощается. Металлическая сигнальная пластина сохраняет импульс напряжения каждый раз, когда заряд стирается или записывается. Таким образом, система считывает данные. Поскольку заряд утекает со временем, данные должны периодически обновляться. В трубке Уильямса требуется очень точное управление положением пучка. Необходимо следить за температурой, чтобы избежать преждевременного отказа.



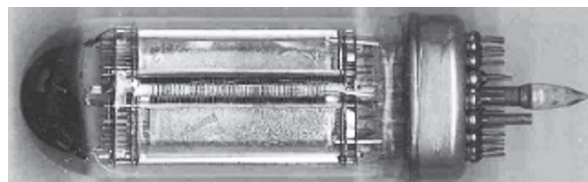
Запоминающая электронно-лучевая трубка

Устройства имели емкость 1024 бита. В вычислительных машинах IBM 701 использовался массив из 72 трубок диаметром три дюйма. Общая емкость составляла 2048 слов по 36 разрядов в каждом.

Селектрон

В 1946 году Жан Райхман с коллегами из Американской радиовещательной корпорации разработал селектрон – цифровое устройство на основе ЭЛТ, которое хранит информацию в статическом заряде.

Селектрон состоит из катода, окруженного цилиндрической сеткой проводов и многослойной структурой из металлических пластин, которые производят запись и чтение. Проводная сетка делит пластину для записи на глазки-ячейки для хранения битов информации. Накопление (запись) или высвобождение (чтение) статического



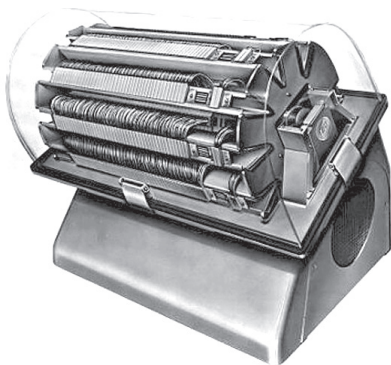
Селектрон

заряда производится путем выборочной подачи напряжения на соответствующую данному биту пару ортогональных проводов. Пластина записи захватывает поток электронов для считывания данных. Диаметр селектрона составлял 76 мм, длина – 250 мм, информационная емкость – 4096 бит.

Память на магнитном барабане

Энергонезависимая память широко применялась в ранних компьютерах. Память на магнитном барабане состоит из вращающегося цилиндра, обернутого лентами из ферромагнитного материала. Вокруг него расположен ряд неподвижных записывающих и считывающих головок, по одной на каждую ленту. В некотором смысле это 3D-аналог вращающегося жесткого диска. Технология была недорогой и обеспечивала существенный скачок в емкости и скорости.

Память на магнитном барабане стала причиной успеха суперкомпьютера IBM 650, выпущенного в 1953 году. Барабан длиной 16 дюймов и диаметром 4 дюйма вращался с частотой 750 кГц и мог хранить 8,5 килобайт данных. Для осуществления доступа к данным система ожидает, пока они не подойдут к головке. Возникающая задержка может



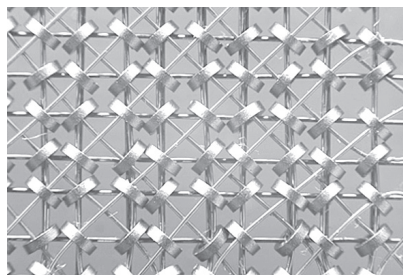
Память на магнитном барабане

быть использована эффективно – код записывался так, чтобы инструкции, осуществляющие обращение к памяти, вызывались через интервалы времени, равные времени ожидания команды. В результате, когда барабан переставал вращаться и возвращался к биту данных, операция была закончена, и процессор был готов записать результат.

Магнитная память

Магнитная память доминировала в вычислительной технике до появления полупроводниковой памяти, примерно с середины 50-х до середины 70-х годов. Она состоит из стека двумерных массивов из ферритовых тороидов, которые независимо переключались между двумя магнитными состояниями под действием приложенного поля напряженностью H_s . Для выбора бита по соответствующим проводам X и Y пускался ток $As/2$. Каждый провод создавал поле $H_s/2$. Таким образом, только на бит, лежащий на пересечении этих проводов, действовало магнитное поле с напряженностью, достаточной для переключения магнитного состояния тороида.

Память на магнитных сердечниках содержит еще два провода: выбранный и запретный. Чтобы считать данные, пропусклся ток по всему массиву проводов X и Y, устанавливая все биты 0. Поскольку те, что были в состоянии 1,



Магнитная память

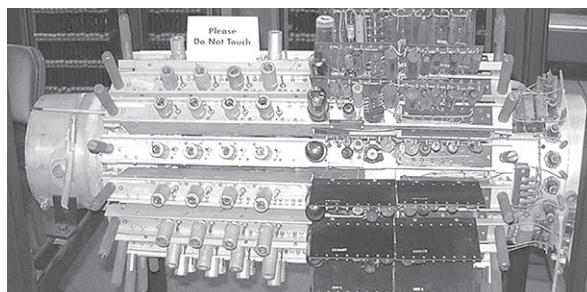
переключались, переменное магнитное поле вызывало всплеск тока в выбранном проводе.

Для уменьшения задержки, упрощения схемы запуска и увеличения емкости несколько двумерных массивов стали наслаивать так, чтобы первый бит слова был сверху, второй – на втором слое и т.д. Провода X и Y проходили на всех уровнях. На каждом слое имелся отдельный массив запретных проводов, гарантирующий независимость операций чтения и записи, которые производятся в каждом бите слова.

Линия задержки

Память на линиях задержки – это последовательная структура, преобразующая электрические импульсы в волны, которые распространяются через линию задержки до того момента, пока не будут обнаружены на другом конце. В отличие от рассмотренных выше подходов память на линиях задержки работает по принципу FIFO – первый вошел, первый вышел. Ее емкость определяется количеством бит, которые могут находиться в линии задержки в один момент времени.

В середине 50-х в компьютерах UNIVAC I линии задержки изготавливались из ртутных трубок. Для записи процессор

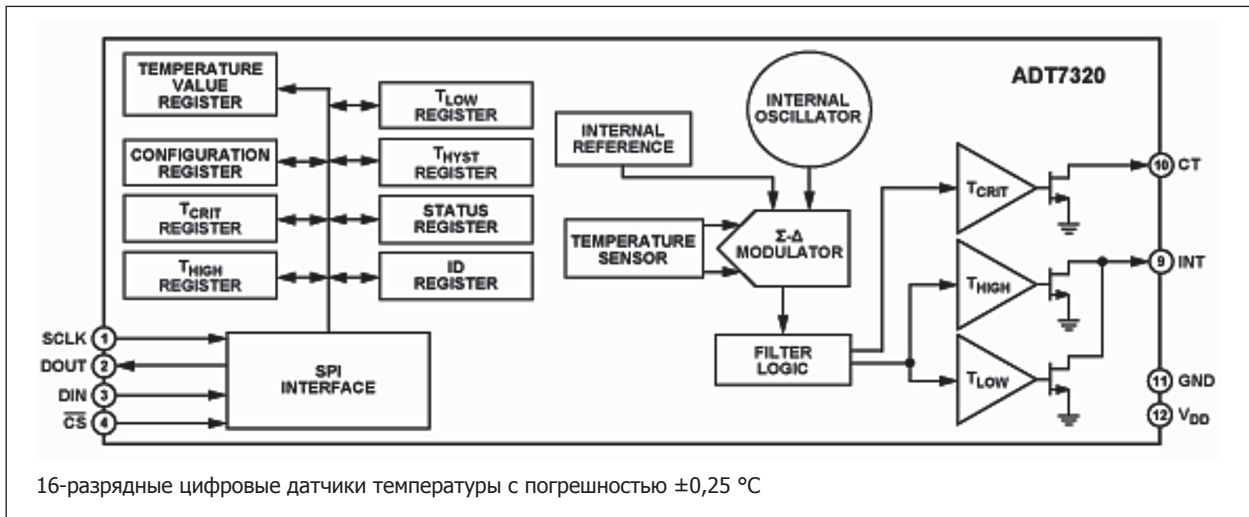


Память на линиях задержки

включал пьезоэлектрические преобразователи, которые генерировали механические волны, распространяющиеся через жидкую ртуть. В UNIVAC I использовался массив из семи 35-дюймовых трубок диаметром 8,5 дюймов. В каждой имелось 18 каналов, всего 126 каналов. Сто из них использовались для данных (1000 слов), остальные – резервные, для хранения промежуточных результатов или для контроля температуры. Последний элемент использовался в качестве ключа для обеспечения детерминированности – механические волны должны были распространяться с постоянной скоростью. Соответственно, температура ртути должна постоянно поддерживаться на отметке 38°C.

EE Times.com

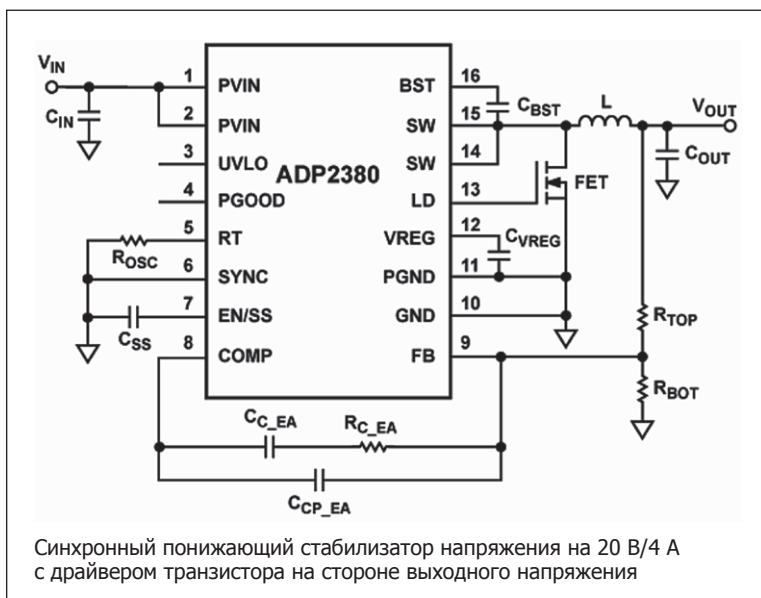
АКСЕЛЕРОМЕТРЫ, ГИРОСКОПЫ И ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ



ADT7320 и ADT7420 – это обладающие высокой точностью цифровые датчики температуры, которые включают в себя источник опорного напряжения на запрещенной зоне, датчик температуры и 16-разрядный АЦП, комбинация которых позволяет измерять температуру окружающей среды с разрешением до $0,0078^\circ\text{C}$. Датчики обеспечивают стабильные и достоверные показания температуры с дрейфом $\pm 0,0072^\circ\text{C}$ и повторяемостью измерений $\pm 0,015^\circ\text{C}$. Компоненты являются полностью интегрированными и не требуют дополнительной обработки сигналов, тестирования характеристик или калибровки. Два выхода сигнала тревоги с открытым стоком, которые могут работать в режиме ком-

паратора или режиме прерывания, становятся активными, когда температура превышает программируемое пользователем критическое значение или выходит за пределы программируемого окна. Передача команд и данных осуществляется через совместимый с SPI интерфейс в ADT7320 и совместимый с I2C интерфейс ADT7420. ADT7320/7420 работают от одного напряжения питания в диапазоне от 2,7 В до 5,5 В, потребляя 210 мкА в нормальном режиме, 46 мкА при частоте преобразования 1 SPS (отсчет в секунду) и 2 мкА в режиме отключения. Компоненты выпускаются в 16-выводном корпусе LFCSP, рабочий температурный диапазон составляет от -40°C до $+150^\circ\text{C}$.

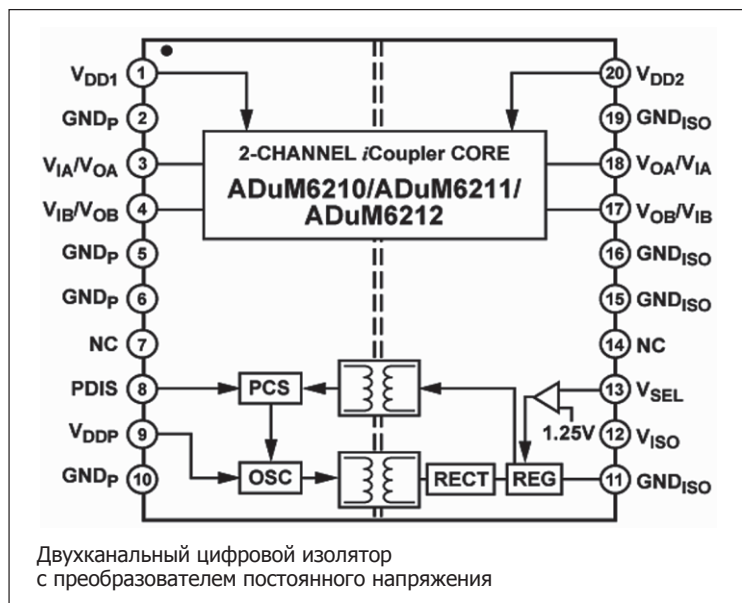
УПРАВЛЕНИЕ ПИТАНИЕМ И ТЕПЛОВОМ РЕЖИМОМ



Понижающий преобразователь напряжения ADP2380 включает в себя полевой МОП транзистор цепи питания с сопротивлением 44 мОм и драйвер транзистора на стороне

выходного напряжения, что позволяет получить компактное, интегрированное решение с высоким КПД. Компонент работает с входным напряжением в диапазоне от 4,5 В до 20 В, обеспечивая ток до 4 А при стабилизированном выходном напряжении от 0,6 В до 90% от входного напряжения. Частота коммутации может программироваться в диапазоне от 250 кГц до 1,4 МГц, быть зафиксирована на уровне 290 кГц или 540 кГц, а также синхронизирована с внешним тактовым сигналом для минимизации шума в системе. Функции внешней компенсации и мягкого запуска повышают свободу проектирования, а выход «питание в норме» позволяет реализовать безопасную последовательность включения/отключения питания. Этот устойчивый компонент также обладает функциями блокировки при просадке напряжения (undervoltage lockout, UVLO), защиты от повышенного напряжения (overvoltage protection, OVP), защиты от повышенного тока (overcurrent protection, OCP) и отключения при перегреве (thermal shutdown, TSD). ADP2380 выпускается в 16-выводном корпусе TSSOP, рабочая температура перепада составляет от -40°C до $+125^\circ\text{C}$.

ИНТЕРФЕЙСНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

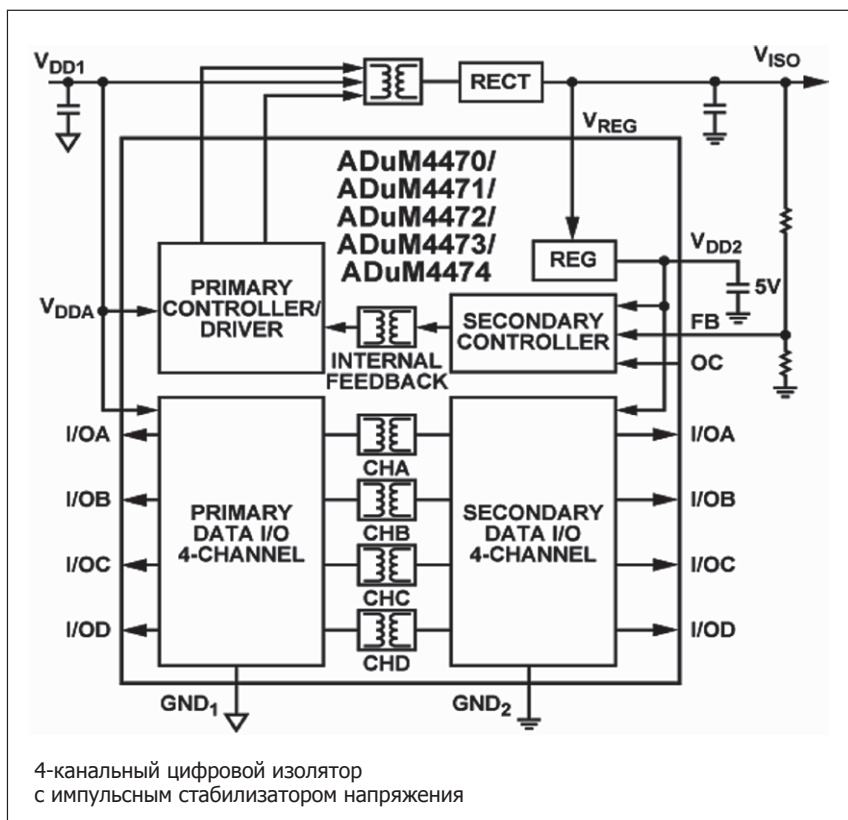


ADuM6210, ADuM6211 и ADuM6212 – это двухканальные цифровые изоляторы с интегрированным изолированным преобразователем постоянного напря-

жения isoPower®. Преобразователь постоянного напряжения, построенный на базе технологии iCoupler®, обеспечивает гальваническую развязку и формирует регулируемое в диапазоне от 3,15 В до 5,25 В стабилизированное напряжение. Он работает с входными напряжениями в диапазоне как значительно выше, так и чуть ниже требуемого выходного напряжения, что избавляет от необходимости применения отдельного изолированного преобразователя постоянного напряжения в малопотребляющих схемах с гальванической развязкой. Для гальванической развязки логических сигналов и реализации магнитных компонентов преобразователя постоянного напряжения применяется технология миниатюрных трансформаторов iCoupler, которая обеспечивает полностью изолированное решение с малым форм-фактором. Все три модели компонента имеют по два независимых канала гальванической развязки и отличаются конфигурацией каналов и пропускной способностью. ADuM621x выпускаются в 20-выводных корпусах

SSOP с минимальным путем поверхностной утечки 5,3 мм, рабочий температурный диапазон составляет от -40 °C до +105 °C.

В ADuM4470, ADuM4471, ADuM4472, ADuM4473 и ADuM4474 применяется технология миниатюрных трансформаторов iCoupler®, позволяющая совместить в одном корпусе четырехканальный цифровой изолятор и изолированный импульсный стабилизатор напряжения. Стабилизатор включает в себя драйвер полевого МОП транзистора, изолированный контур обратной связи с сигналом ШИМ от вторичной стороны и полнофункциональную схему компенсации контура, что позволяет полностью отказаться от применения оптопар. Стабилизатор работает с входным напряжением 3,3 В или 5 В, обеспечивая стабильное выходное напряжение в диапазоне от 3,3 В до 24 В с гальванической развязкой при мощности до 2,5 Вт и КПД до 80 %. Выпускается пять моделей изоляторов с четырьмя независимыми каналами гальванической развязки в различных конфигурациях, поддерживающие скорости передачи данных до 25 Мбит/с. Архитектура компонентов, обладающая повышенной надежностью, обеспечивает гальваническую развязку при среднеквадратических напряжениях до 5 кВ и устойчивость к коротким синфазным импульсам со скоростью изменения более 25 кВ/мкс, а также имеет функции мягкого запуска, защиты от повышенного тока

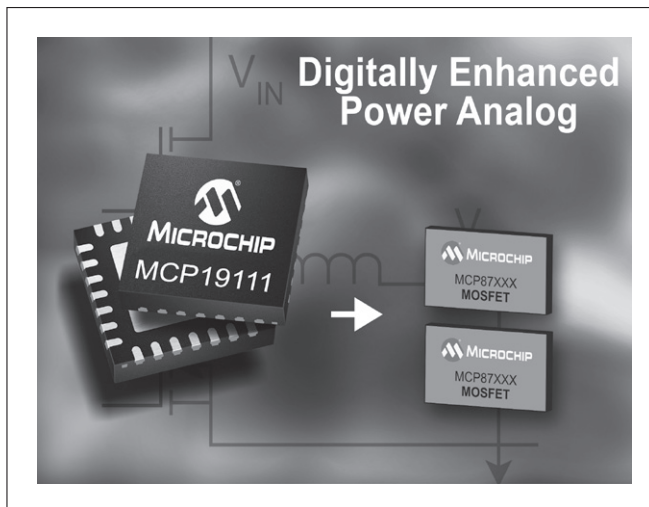


и отключения при перегреве. ADuM447x выпускаются в 20-выводных корпусах SOIC, рабочий температурный диапазон составляет от -40 °C до +105 °C.

MICROCHIP ЗАПУСТИЛ ПЕРВЫЙ В ОТРАСЛИ АНАЛОГОВО-ЦИФРОВОЙ КОНТРОЛЛЕР ИМПУЛЬСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СО ВСТРОЕННЫМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ

Особенности:

- Аналоговый ШИМ-контроллер с цифровым управлением и встроенным Flash-микроконтроллером;
- Гибкость цифрового контроля вкупе со скоростью, производительностью и разрешением аналогового управления;
- Недорогая отладка с высокоскоростными MOSFET;
- Расширяет линейку продукции Microchip в области решений для DC/DC преобразования.



Microchip представляет MCP19111 – первый в мире аналоговый ШИМ-контроллер с цифровым управлением. В пару к нему запущено в производство семейство MOSFET – MCP87018, MCP87030, MCP87090 и MCP87130. Рассчитанные на 25 В, они имеют следующие сопротивления канала: 1,8 мОм, 3 мОм, 9 мОм и 13 мОм, логическое управление и оптимальны для импульсных источников питания. Сочетание высокопроизводительного ШИМ и ключей с малыми потерями позволяет создавать высокоэффективные DC/DC преобразователи для широкого круга задач.

Диапазон напряжений работы новой микросхемы MCP19111 составляет 4,5..32 В и добавляет гибкости в разрабатываемую схему, в отличие от стандартных вариантов. Это первый в отрасли смешанный аналого-цифровой контроллер для импульсных преобразователей, состоящий из аналогового ШИМ-контроллера и микроконтроллера управления. Аналоговый ШИМ имеет высокую скорость работы и разрешение, а микроконтроллер им гибко управляет. Этот контроллер работает до 32 В и имеет встроенный MOSFET-драйвер, ориентированный на синхронное понижающее преобразование. В сочетании с новыми MOSFET, можно

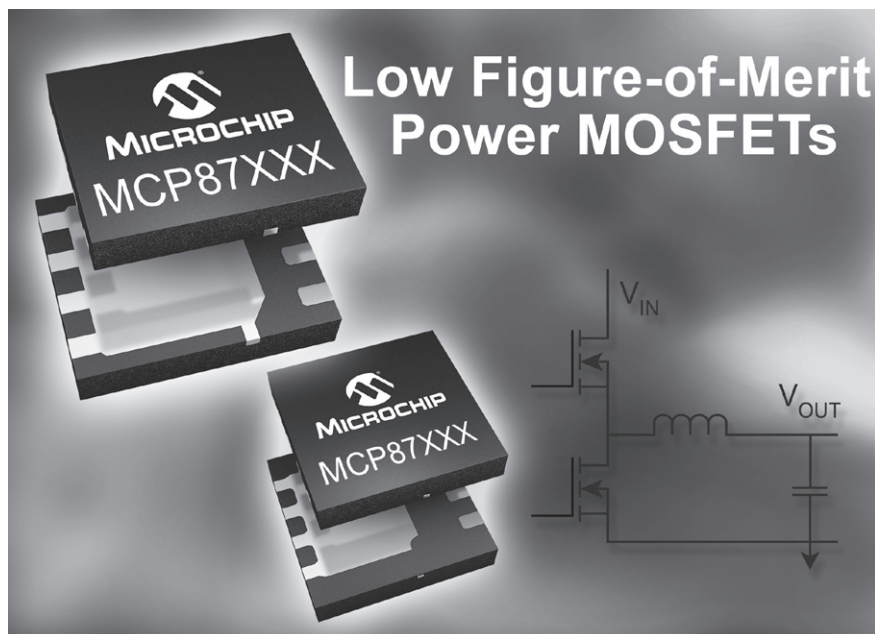
разработать импульсный преобразователь с необходимыми характеристиками.

Отладочная плата ADM00397 имеет в своем составе MCP19111 и MOSFET. Она доступна для заказа, управление платой осуществляется с помощью plug-in модуля MPLAB X. Такое сочетание позволяет разработчику импульсного источника питания испытать и проверить характеристики полученного решения.

Силовые MOSFET ключи MCP87030/090/130/018 и MCP19111 доступны для заказа.

MCP19111 поставляется в корпусе 28 QFN 5*5 мм, MCP87030 и MCP87018 – 8 PDFN 5*6 мм, MCP87090 и MCP87130 – 8 PDFN 5*6 мм и 3,3*3,3 мм.

Дополнительная информация –
по ссылке
www.microchip.com/MCP19111



ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТОННЫХ ПУЧКОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ МИКРО-, НАНО- И ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ В ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДАХ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ И ПРИБОРНЫХ СТРУКТУР

УДК 539.2:621.38

Ф.Ф. Комаров, О.В. Мильчанин
БГУ, г. Минск

Аннотация

Представлен ряд разработок, доведенных до технологического исполнения, позволяющих получать уникальные структуры микро-, нано- и оптоэлектроники с использованием протонных ионных пучков. Рассмотрена уникальная система неразрушающего элементного и структурного анализа материалов с нанометровым разрешением по глубине.

Введение

В последнее время в современных технологиях создания СБИС и оптоэлектронных полупроводниковых приборов можно уверенно выделить тенденцию использования ионной имплантации примесей, не относящихся к легирующим. В данном случае используются эффекты накопления и трансформации дефектов для создания локальных областей полупроводника, обладающих специфическими (требуемыми) свойствами. Можно говорить и о появлении целого класса технологий, где используются протонные пучки. Использование протонной имплантации обусловлено уникальными свойствами атомов водорода. Благодаря большой химической активности, водород может образовывать специфичный тип дефектов как с атомами матрицы, так и с атомами легирующей примеси, а также собственные водородо-индуцированные дефекты, которые при определенных условиях остаются стабильными даже при высоких температурах отжига. С другой стороны, благодаря малой массе ионов водорода, имплантационные слои, за исключением области остановки ионов (вблизи проективного пробега ионов R_p), остаются практически бездефектными. Все эти уникальные свойства протонных пучков позволили разработать ряд новых технологий, использующих эффекты примесно-дефектной инженерии [1, 2]. В данной работе авторами представлен ряд разработок, доведенных до технологического исполнения, позволяющих получать уникальные структуры с использованием протонных пучков. Рассмотрены также реализованные в нашей лаборатории методы элементного и структурного анализа материалов приборных структур с нанометровым разрешением по глубине.

Создание структур кремний на изоляторе

Структуры кремний на изоляторе обладают следующими преимуществами перед другими известными типами КНИ-структур и обычными полупроводниковыми подложками:

- повышение радиационной и термической стойкости;
- увеличение выхода годных (меньшая площадь элементов и чипов снижает вероятность попадания ростового дефекта в активную область);
- увеличение плотности компоновки элементов из-за формирования на поверхности полупроводниковых элементов субмикрпрофильных «канавок» шириной 0,1–0,2 мкм;

– упрощение: полное отсутствие эффекта защелкивания за счет отсутствия изоляцией p-n-переходами, создаваемыми имплантацией; упрощение изоляции и уменьшение ее размеров в 3–5 раз (и всего чипа); сочетание многих функций на одном чипе (например, логических, телекоммуникационных и силовых для мобильной связи или управления);

– лучшими свойствами: двух-трехкратное увеличение быстродействия и/или снижение энергопотребления при низком напряжении (менее 1,5 В); работа при ультранизком напряжении питания (порядка 5 В); работа при высоких температурах, вплоть до 500 °С за счет уменьшения токов утечек переходов меньших размеров.

Предлагаемая технология КНИ-структур может быть реализована на типовом оборудовании, имеющемся практически на любом предприятии – изготовителе электронных изделий. Использование изготавливаемых КНИ-структур в указанных приборах обеспечит существенную экономию энергоресурсов, даст дополнительную экономию за счет большей надежности, позволит решить некоторые принципиально новые задачи при создании объектов, работающих в экстремальных условиях.

Среди десятка различных методов производства КНИ-пластин можно выделить два доминирующих и достигших промышленного освоения: SIMOX [3] и Smart-Cut [4]. При оценке стоимости конечных КНИ-пластин, возможности варьирования их свойств, использования стандартного технологического оборудования и техпроцессов, наиболее простым и перспективным выглядит метод Smart-Cut, сочетающий процессы прямого соединения окисленных пластин и прецизионного ионного отслоения. Авторами выполнены работы по отработке, развитию и адаптации к существующему технологическому оборудованию на НПО «Интеграл» технологии производства КНИ-пластин («по мотивам» метода Smart-Cut) [5–12].

В качестве исходных использовали стандартные пластины кремния диаметром 100 и 150 мм (100)-ориентации, легированные бором (КДБ-12). Исходные пластины отбирались с учетом минимальных прогиба (< 5 мкм) и неплоскостности (< 10 мкм) пластин. Имплантация ионов водорода проводилась на ускорителе Skanibal-128S, имеющем газовый источник. Режимы имплантации: энергия 80–100 кэВ, доза $4\text{--}5 \times 10^{16}$ $\text{H}_2^+/\text{см}^2$, температура мишени < 50 °С. Имплантация проводилась в структуры $\text{SiO}_2(20\text{--}300 \text{ нм})/\text{Si}$. Набор дозы осуществлялся поэтапно, в несколько шагов, с выдержкой пластин между режимами имплантации в вакууме при комнатной температуре в течение 6–8 часов. Для очистки пластин и формирования гидрофильных поверхностей использовались в различных вариациях процедуры плазменной обработки, химической и гидромеханической очистки. Были отработаны оригинальные методики подготовки химически

чистых оксидированных поверхностей пластин с высокой степенью гидрофильности [10]. Процедура связывания имплантированных пластин со структурами SiO_2 (20–200 нм) / Si проводилась вручную с использованием специально разработанной оснастки. Контроль качества связывания осуществлялся напросвет в ближнем ИК-диапазоне электромагнитного излучения [12]. Для усиления связи между пластинами, а также для исследований влияния дополнительных низкотемпературных обработок (НТО) на качество получаемых КНИ-пластин, отжиги проводили при температурах 80–200 °С с различными длительностями (вплоть до 24 часов). Для термически-вызываемого полного скола по водородо-индуцированному дефектному слою проводили отжиг при температурах 450–550 °С в течение 20–60 мин. Для части образцов использовался неполный отжиг (длительность 1–15 мин.) с последующим механическим сколом по дефектному слою. Финишная термообработка получаемых КНИ-структур (для полного отжига дефектов структуры в верхнем кристаллическом слое кремния) проводилась при температурах 1050–1100 °С в среде кислорода или азота.

На рисунке 1 представлены ПЭМ микрофотографии поперечных сечений образцов после имплантации ионов водорода и последующей термообработки [10]. Дефектный слой, формируемый имплантацией ионов водорода с дозами $4\text{--}5 \times 10^{16} \text{ H}_2^+/\text{см}^2$, достаточно протяженный и состоит

из кластеров точечных дефектов. Отжиг при 450 °С уже в течение 5 мин. приводит к существенному уменьшению толщины дефектного слоя. При этом по всей толщине этого слоя формируются микротрещины (рисунок 1 Б). Увеличение длительности термообработки приводит к формированию макротрещины параллельно поверхности пластин (рисунок 1 В). Отжиг имплантированных пластин кремния ионами водорода (с дозами $4\text{--}5 \times 10^{16} \text{ H}_2^+/\text{см}^2$) при температурах 400 °С не всегда приводил к формированию макротрещин даже при больших длительностях (60 минут). При использовании термообработок при более высоких температурах (500–600 °С) макротрещины формируются быстрее, однако в этом случае наблюдается больший разброс их местоположения в дефектном слое. Отжиг пакета связанных пластин (имплантированной водородом и окисленной) при температуре 450 °С и длительности до 15 мин. не приводил к разъединению по водородо-индуцированному слою. Но пластины удавалось разделить механически. Исследования методом РЭМ сразу после отжига не выявили отличий в шероховатости поверхностей образцов КНИ-структур, полученных как полным термическим, так и механическим сколом. Но при этом в образцах сколотых механически были обнаружены протяженные дефекты (трещины) в переносимом слое, по-видимому, за счет напряжений при механическом воздействии.

Финишная термообработка сколотых от пластин доноров КНИ-структур при температурах 1050–1100 °С приводит к полному отжигу структурных дефектов в поверхностном слое (рисунок 2 А). На рисунке 2 Б представлен типичный профиль элементного состава в КНИ-структуре, полученный методом ОЖЕ-спектроскопии в сочетании с послойным травлением образца [9]. Можно

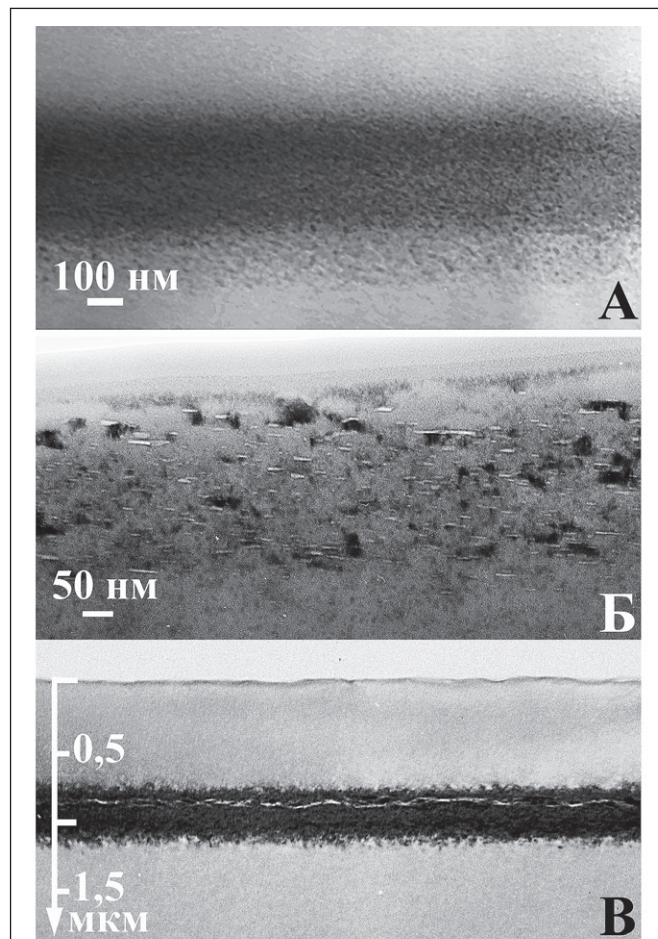


Рисунок 1 – Светлопольные ПЭМ микрофотографии дефектного слоя в кремниевых пластинах после имплантации ионов водорода (А) и отжига при 450 °С: 5 минут (Б) и 10 минут (В)

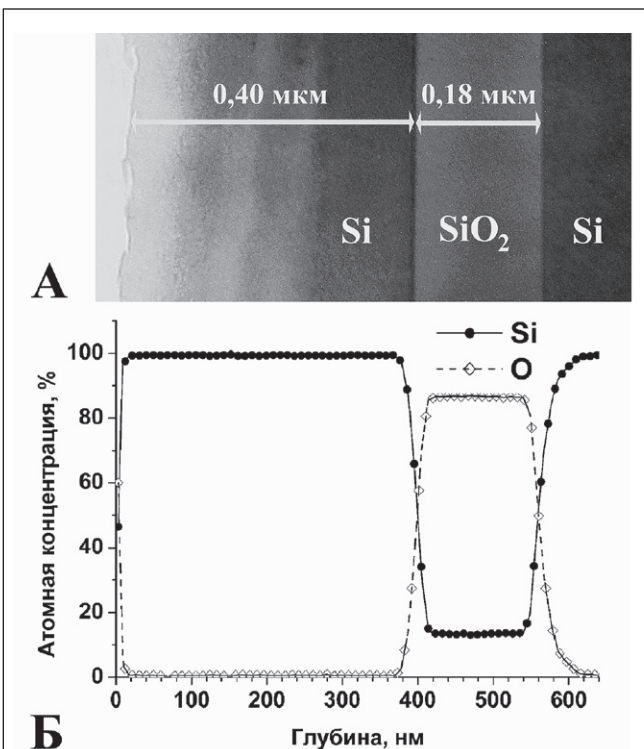


Рисунок 2 – ПЭМ фотография сечения КНИ-пластины (А) и ОЖЕ-профиль элементного состава (Б)

выделить резкие ступеньки атомной концентрации на границах раздела в КНИ-структуре. Симметричность профиля примеси относительно захороненного оксидного слоя свидетельствует о сравнимых границах раздела Si/SiO₂ и SiO₂/Si. Результаты ПЭМ-исследований хорошо согласуются с ОЖЕ-профилями. Можно отметить высокое качество и однородность слоев и границ раздела в КНИ-структуре. По структурным свойствам верхний кристаллический слой КНИ-пластин сравним с исходными пластинами кремния – не выявлено образования дополнительных дефектов структуры в слое при формировании КНИ-структур. Исследования КНИ-образцов методом АСМ показывают, что шероховатость верхнего кристаллического слоя кремния в образцах, изготавливаемых без дополнительного низкотемпературного отжига, не превышает 7–7,5 нм. Это значение ниже, чем известные из литературы (10–20 нм) [4, 13, 14]. Данный факт, вероятно, связан с большим отжигом радиационных дефектов во время имплантации за счет ступенчатого набора дозы и длительной выдержки между этапами имплантации [1]. И, как результат, финальный дефектный слой становится более узким (по сравнению с одностадийным набором дозы). Минимальная шероховатость поверхности (на уровне 2 нм) зарегистрирована для образцов, где использовались также и режимы НТО.

Таким образом, продемонстрирована возможность создания качественных КНИ-пластин с использованием стандартного технологического оборудования. С использованием многоступенчатого набора дозы имплантации водорода, а также дополнительных низкотемпературных отжигов, в работе показана возможность существенного снижения шероховатости поверхности КНИ-пластин (изготавливаемых в сочетании методов прямого связывания окисленных пластин и прецизионного ионного скола) вплоть до 2 нм. К настоящему времени получено два патента Республики Беларусь на указанную технологию.

Создание внутренних геттерирующих слоев в кремнии

Проектируемая спецификация будущих кремниевых приборов предполагает максимальное содержание примесей металлов не более $2,5 \times 10^9$ ат./см² [15]. Поэтому, при создании Si-приборов, производители все чаще дополняют строгий регламент чистых комнат процессами геттерирования. Традиционно, для очистки активных областей от примесей металлов и дефектов применяются геттерирующие слои, создаваемые на непланарной стороне пластины. Но, для уменьшения глубины залегания р-п-переходов требуются более низкие температуры термообработки и короткие времена отжига, что приводит к снижению

эффективности геттерирующих слоев, сформированных на непланарной стороне пластины. Поэтому, создание геттерирующих слоев, локализованных в непосредственной близости к активным элементам, стало в последнее время объектом интенсивных исследований. Интересными для промышленного применения являются методы создания внутреннего геттерирующего слоя, основанные на внедрении средних доз ионов Н⁺ и Нe⁺. Недавние исследования по формированию микропустот (пор) при имплантации ионов водорода или гелия в кремний продемонстрировали высокую эффективность геттерирования таких примесных металлов как Cu, Ni, Co, Fe, Ag, Au, Pd [16–17]. Но, следует отметить, что эффективность геттерирования, как правило, определяют на модельных экспериментах. Авторами работ [6, 8, 9] было исследовано влияние создаваемого геттерирующего слоя с использованием протонной имплантации на работу тестовых структур, максимально приближенных к реальным полупроводниковым приборам.

В качестве исходных использовались пластины Cz-Si (001)-ориентации n-типа проводимости (КЭФ-4,5) и структуры, содержащие эпитаксиальные слои Si (2 мкм, 1 Ом·см) на (111)-Si (КЭФ-0,01). Режимы формирования внутренних геттерирующих слоев представлены в таблице 1. Для конкретной энергии имплантации водорода выбирали дозы,

Таблица 1 – Режимы формирования геттерирующих слоев

№	Тип подложки	Энергия и доза имплантации Н ⁺	Режимы термического отжига
1	Si (2 мкм, 1 Ом·см)/ (111)Cz-Si (КЭФ-0,01)	215 (Н ₂ ⁺) кэВ, 2,5·10 ¹⁶ см ⁻²	1) 800 °С, 5 мин. 2) 800 °С, 30 мин. 3) 900 °С, 5 мин. 4) 1000 °С, 5 мин. 5) 900 °С, 15 мин.
2	Si (2 мкм, 1 Ом·см)/ (111)Cz-Si (КЭФ-0,01)	215 (Н ₂ ⁺) кэВ, 3·10 ¹⁶ см ⁻²	1) 800 °С, 5 мин. 2) 800 °С, 30 мин. 3) 900 °С, 5 мин. 4) 1000 °С, 5 мин. 5) 900 °С, 15 мин.
3	(001)Cz-Si (КЭФ-4,5)	75 (Н ⁺) кэВ, 2,5·10 ¹⁶ см ⁻²	900 °С, 30 мин.
4	(001)Cz-Si (КЭФ-4,5)	75 (Н ⁺) кэВ, 3,5·10 ¹⁶ см ⁻²	900 °С, 30 мин.

при которых концентрация водорода в области максимума распределения достаточно высока для создания структурных дефектов, но ниже критической ($1,5\text{--}2 \times 10^{21}$ см⁻³), когда происходит выделение большого количества газовых пузырьков уже после имплантации, что приводит к появлению микротрещин и других нежелательных дефектов структуры. Для определения оптимальных условий формирования геттерирующих слоев, последующий термический отжиг образцов проводился при различных температурах. Для исследований образцов с геттерирующими слоями были

Таблица 2 – Режимы формирования тестовых структур

№	Проводимая операция	Описание режимов операции	Температура обработки
1	Формирование диодов Шоттки	1. Напыление пленки металла (Ni) испарения 2. Формирование силицида никеля (NiSi)	< 50 °С 450 °С
2	Формирование контактных областей	1. Напыление пленки металла (Al) 2. Вжигание алюминия для формирования контакта	< 50 °С 450 °С

изготовлены специальные тестовые структуры, содержащие диоды Шоттки. Режимы получения тестовых структур представлены в таблице 2.

Были проведены структурные исследования слоев кремния, содержащих водородо-индуцированные слои и дефекты как после имплантации, так и после термообработок. На рисунке 3 а представлено светлопольное ПЭМ изображение структуры внутреннего дефектного слоя, сформированного имплантацией ионов водорода с выбранными режимами (таблица 1). Детальный анализ структуры показывает, что данный барьерный слой состоит из мелких водородо-вакансионных комплексов и кластеров точечных дефектов. Последующая термическая обработка при температурах ниже 600 °С (в течение 15–120 мин.) не приводит к существенным изменениям струк-

туры и перераспределению примеси в имплантированных водородом слоях кремния. Лишь при температурах отжига выше 650 °С наблюдается отжиг радиационно-индуцированных дефектов вблизи R_p . Плотность дефектов в области R_p значительно уменьшается и наблюдается формирование только двух типов водородо-индуцированных дефектов: «пластинчатых» и «петлеподобных» дефектов структуры, размер которых составляет 10–60 нм и 150–250 нм соответственно. Дальнейшее увеличение температуры отжига до 800 °С (в течение 5 мин.) приводит к сильному снижению концентрации «пластинчатых» дефектов (рисунок 3 б). С другой стороны, зарегистрировано увеличение слоевой плотности и размеров петлеподобных дефектов. При этом, в центральной части отдельных больших петлеподобных дефектов наблюдается формирование микропустот. При более высоких температурах обработки или увеличении длительности отжига происходит практически полный отжиг водородо-индуцированных дефектов вблизи R_p . На рисунке 3 в представлено изображение структуры кремния имплантированного ионами водорода после отжига при температуре 900 °С в течение 15 мин. Наблюдается узкий дефектный слой вблизи R_p , содержащий большое количество микропустот, которые соединены дефектами дислокационного типа. При этом, структурное качество кремниевой матрицы от поверхности до дефектного слоя сравнимо с чистыми исходными подложками, что подтверждается РОР-исследованиями в сочетании с канализованием.

Исследования тестовых диодов Шоттки, сформированных в эпитаксиальном кремнии, содержащем внутренние геттерирующие слои, проводили с использованием CV-измерений. Результаты исследований можно обобщить следующим образом:

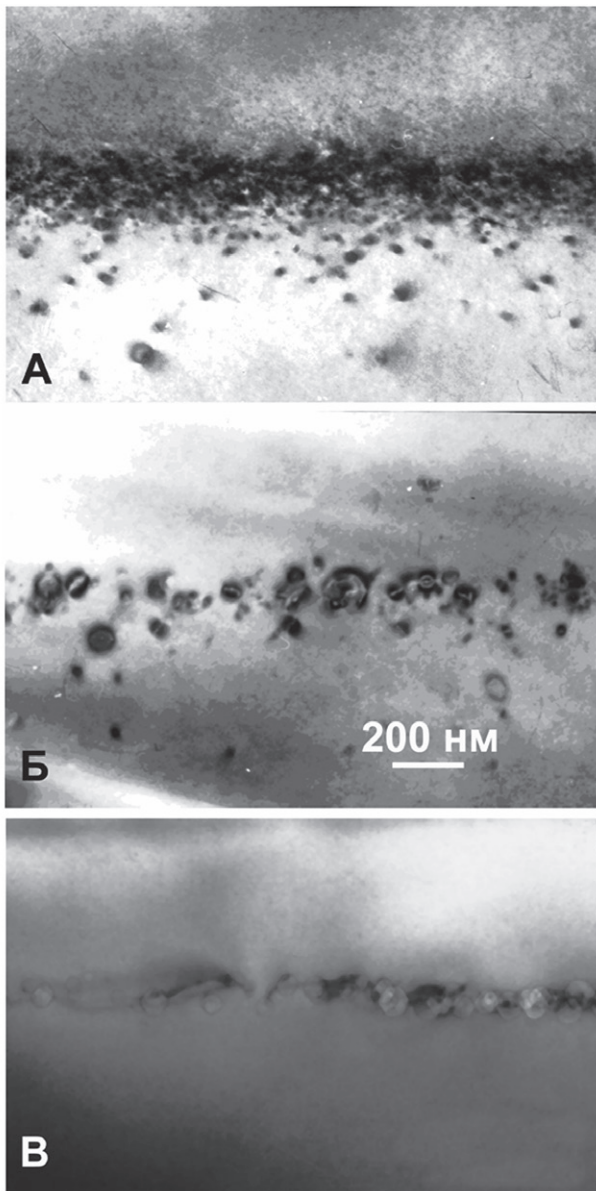


Рисунок 3 – Светлопольные ПЭМ-изображения в поперечном сечении структуры внутреннего дефектного слоя в кремнии после имплантации (140 кэВ, 10^{16} см $^{-2}$) ионов водорода (А) и последующего термического отжига: 800 °С, 5 мин. (Б); 900 °С, 15 мин. (В)

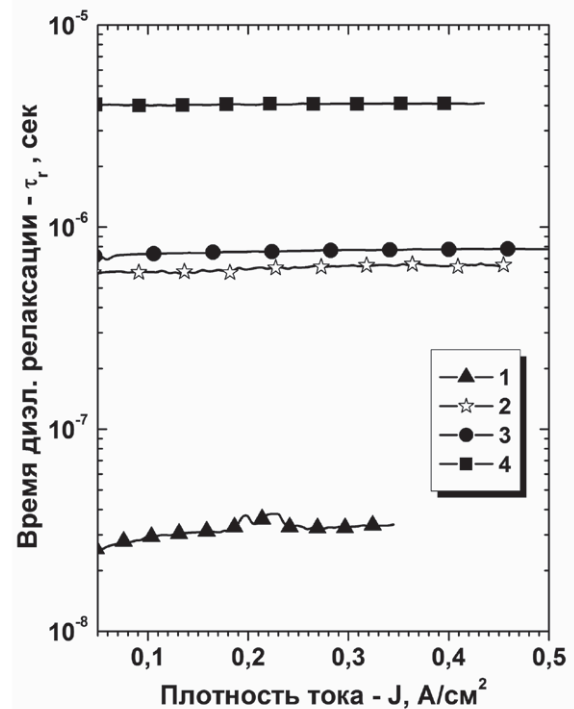


Рисунок 4 – Зависимость времени жизни не основных носителей заряда от плотности тока обратно смещенного диода Шоттки в образцах без (1) и с внутренним геттером (2–4), полученным имплантацией ионов водорода (215 кэВ, $2,5 \times 10^{16}$ см $^{-2}$) и последующим термическим отжигом: 2–1000 °С, 5 мин.; 3–800 °С, 30 мин.; 4–900 °С, 15 мин.

– Наблюдается сильное уменьшение высокочастотной проводимости при измерениях в обратносмещенных диодах Шоттки в образцах с геттерирующими слоями по сравнению с исходными, что связано с уменьшением центров захвата для не основных носителей заряда.

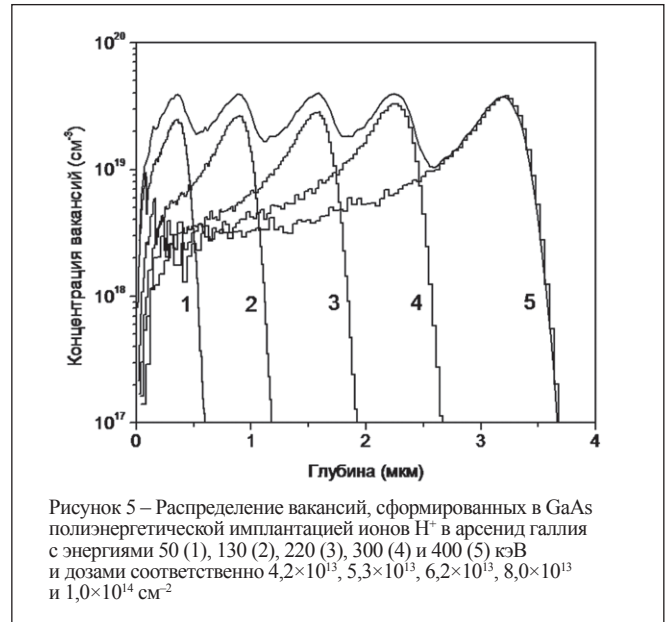
– Геттерирующая эффективность увеличивается как с повышением температуры, так и длительности отжига (рисунок 4). Время жизни не основных носителей заряда существенно увеличивается (в 160 раз, что более, чем на 2 порядка величины больше чем для исходных структур) в случае формирования геттера в режимах: имплантация ионов водорода – 215 кэВ, $2,5 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$, последующий отжиг в среде N_2 при температуре 900 °С в течение 15 мин.

Данные DLTS-исследований находятся в хорошем согласии с результатами CV-измерений. В тестовых структурах диодов Шоттки, созданных на эпитаксиальных слоях кремния, обнаруживаются глубокие уровни, связанные с ловушечными состояниями для носителей заряда, что приводит к появлению пиков DLTS-спектров. При наличии геттера наблюдается практически полная аннигиляция глубоких уровней в тестовых диодах Шоттки.

Таким образом, были разработаны основные режимы формирования в кремниевых пластинах внутреннего геттера, состоящего из узкого барьерного слоя, содержащего большое количество микропустот. Результаты исследований методами DLTS и C-V-измерений свидетельствует о повышении структурного совершенства эпитаксиальных слоев кремния (за счет геттерирования) в тестовых диодах Шоттки. Установлено, что использование геттерирующих слоев позволяет на 2 порядка снизить концентрацию глубоких уровней в эпитаксиальных слоях кремния, связанных с наличием дефектов и нежелательных металлических примесей.

Применение имплантации протонов для изоляции приборов на полупроводниках A³B⁵

Ионная модификация полупроводниковых кристаллов бинарных и тройных полупроводниковых соединений, таких как GaN, GaAs, InP, AlGaAs делает возможным формирование в них изолирующих областей. Внедряемые ионы, передавая энергию атомам материала, создают дефекты структуры кристалла, которым соответствуют глубокие уровни-ловушки в запрещенной зоне полупроводника, захватывающие свободные носители заряда, в результате чего материал становится изолирующим [18–22]. Преимущество ионной имплантации перед традиционным методом изоляции – мезатравлением, состоит в сохранении планарности, даже при интеграции приборов вертикальной структуры (PIN-диоды) с планарными приборами (FET). В настоящее время технология изоляции с помощью имплантации протонов используется для создания гетероэпитаксиальных транзисторов, фотодетекторов,



лазеров, волноводов, а также для электрической изоляции приборов в монолитных интегральных схемах [22].

Для создания изоляции необходимого качества требуются равномерные по толщине эпитаксиального слоя распределения дефектов с концентрацией, специфической для типа полупроводника и уровня его легирования. Дозы внедряемых ионов при этом должны соответствовать оптимальной концентрации создаваемых дефектов. При более низких дозах ионного облучения скорость удаления носителей оказывается недостаточной для подавления проводимости; при повышенных дозах плотность дефектов становится настолько высокой, что сопротивление уменьшается из-за включения механизма прыжковой проводимости. Чем выше уровень легирования, тем большая концентрация дефектов требуется для создания изолирующей области.

Таким образом, широкое практическое использование ионной имплантации для формирования изоляции в бинарных и тройных полупроводниковых соединениях возможно только при условии, что для заданных типов полупроводников определены оптимальные параметры ионного легирования и термообработок. В связи с этим, нами разработана физико-математическая модель, позволяющая рассчитать оптимальные энергии и дозы для имплантации заданного типа ионов в заданный материал исходя из формы профиля

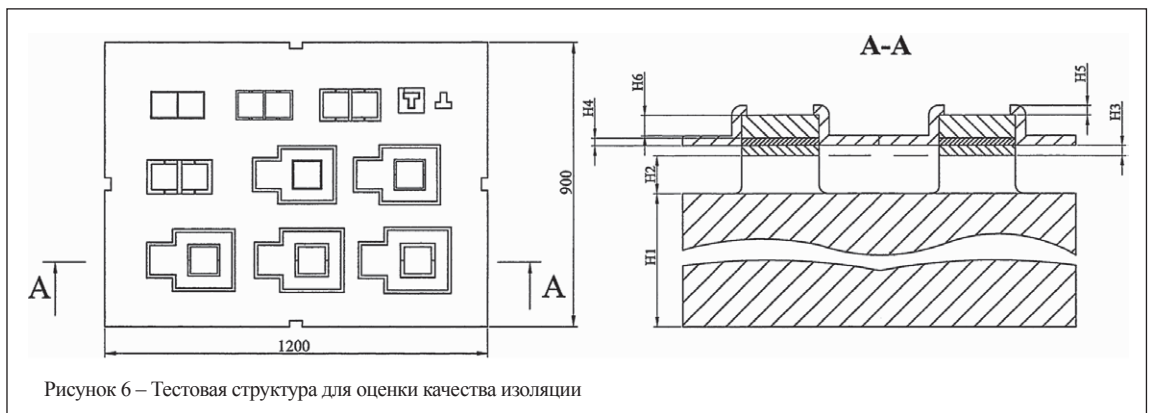


Рисунок 6 – Тестовая структура для оценки качества изоляции

радиационных дефектов (обратная задача полиэнергетической ионной имплантации) [23, 24]. Применительно к задаче формирования изолирующих областей в полупроводниках бинарных и тройных полупроводниковых соединений, искомый профиль является равномерным распределением дефектов кристаллической структуры до заданной глубины эпитаксиального слоя [21]. Пример расчета распределения вакансий при имплантации протонов с оптимальными энергиями и дозами приведен на рисунке 5. Видно, что для получения равномерного распределения вакансий по глубине от 0 до 3,5 мкм достаточно провести полиэнергетическую имплантацию ионов H^+ энергиями от 50 до 400 кэВ.

Изготовлены экспериментальные образцы на эпитаксиальных структурах GaAs n-типа (рисунок 6) и измерены электрофизические параметры сформированных изолирующих областей [25–29]. Проведены испытания стабильности созданной изоляции. В допустимых пределах не обнаружено изменения электрофизических свойств созданной изоляции. Результаты испытаний: термостабильность изоляции – не менее 300 °С; пробивное напряжение при ширине изолирующего слоя не менее 4 мкм – не менее 200 В; ток утечки при напряжении 5 В – не более 10 нА.

Нами также исследовалась зависимость слоевого сопротивления изолирующих слоев, полученных имплантацией протонов в GaAs n-типа, от температуры постимплантационного отжига, а также частотная зависимость проводимости до и после отжига.

Полиэнергетическая имплантация протонов в образцы кристаллического GaAs n-типа (толщина 400 ± 20 мкм, сопротивление $0,55 \pm 0,05$ Ом·см, концентрация носителей $2,7 \pm 0,4 \times 10^{15}$ см⁻³, подвижность носителей 4180 см²В⁻¹с⁻¹) проводилась на ускорителе Van de Graaf (рисунок 7), с поддержанием плотности ионного тока $0,15$ мА/см². Предварительно на поверхность пластин GaAs были нанесены слои омических контактов (слой эвтектического сплава 88 ат. % Au + 12 ат. % Ge толщиной $0,15$ мкм, слой Ni толщиной $0,5$ мкм и слой Au толщиной $0,1$ мкм) и дополнительно слой Au толщиной 1 мкм на обратную сторону пластин. Энергии (400, 300, 220, 130 и 60 кэВ) и дозы (2×10^{14} , $1,5 \times 10^{14}$, $1,2 \times 10^{14}$, $1,1 \times 10^{14}$ и $1,0 \times 10^{14}$ см⁻² соответственно) имплантируемых протонов были рассчитаны с помощью разработанной нами программы PROFCON исходя из усло-

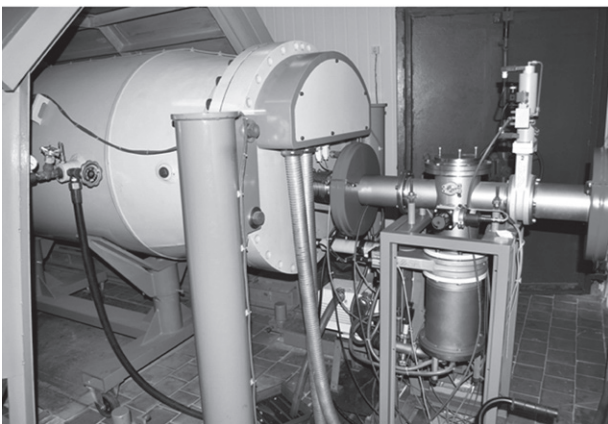


Рисунок 7 – Ускоритель ионов AN-2500 системы Van de Graaf

вия получения равномерного распределения радиационных повреждений на глубине до 3,7 мкм от поверхности GaAs. Отжиг производился в течение 15 мин. при температурах в диапазоне 50–500 °С. Проводимость при постоянном и переменном токе измерялась с помощью системы НЮКИ 3532, с ошибкой не более 0,1 %. Частота переменного тока изменялась в пределах от 50 Гц до 1 МГц.

На рисунке 8 приведены зависимости слоевого сопротивления от температуры отжига, измеренные при частотах 1, 10, 100 кГц и 1 МГц переменного тока (AC) и при постоянном токе (DC). Видно, что сразу после имплантации протонами слоевое сопротивление образцов составляет примерно 10^8 Ом·см. При отжиге сопротивление увеличивается и достигает максимума 5×10^8 Ом·см при 320 °С для постоянного тока. Из частотной зависимости сопротивления можно сделать вывод о том, что проводимость обусловлена прыжковым механизмом. При увеличении температуры отжига прыжковая проводимость подавляется, при температуре более 380 °С зонный механизм проводимости становится основным, а роль прыжкового механизма снижается, что соответствует отжигу радиационных дефектов.

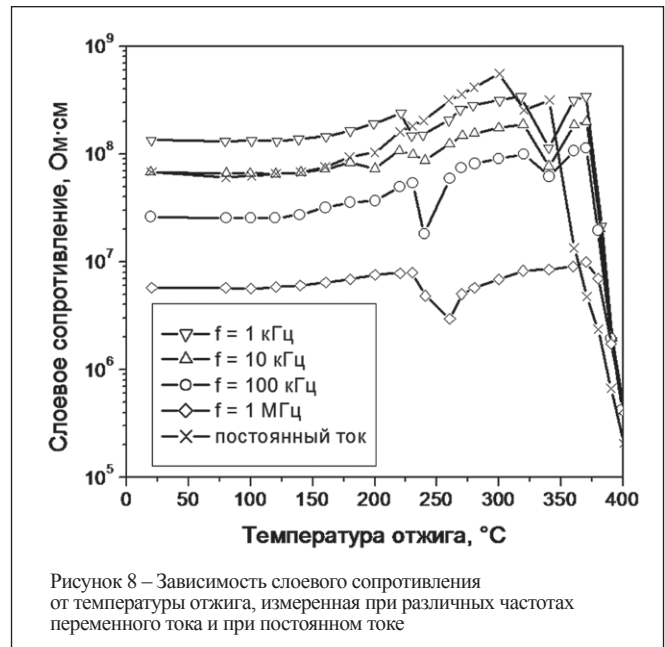


Рисунок 8 – Зависимость слоевого сопротивления от температуры отжига, измеренная при различных частотах переменного тока и при постоянном токе

Для групп образцов, отожженных при различных температурах, на частоте 1 МГц была измерена зависимость проводимости от температуры, что позволило определить энергию активации ΔE прыжковой проводимости. Для образцов, отожженных при низких температурах (160 °С), получена величина $\Delta E = 0,4$ эВ. Температуре 240 °С соответствуют две величины энергии активации: 0,2 эВ и 0,5 эВ. Для 340 °С энергия активации составляет 0,65 эВ. Такие значения энергии активации прыжковой проводимости характерны для переходов электронов через потенциальный барьер между уровнями дефектов. Энергия активации 0,65 эВ соответствует уровню E4 (0,67 эВ), связанному с дефектным комплексом AsGa + VAs. Уровень с энергией активации 0,39–0,40 эВ, наблюдавшийся в облученном протонами GaAs n-типа, также связан с комплексным дефектом.

Таким образом, проведенные исследования имплантированного протоном GaAs n-типа, а также на линейке фотодетекторов ИК-диапазона на этом материале, позволили получить изоляцию достаточного качества и сделать выводы о механизмах переноса заряда в облученных слоях.

Комплекс для элементного анализа твердотельных материалов

В основу функционирования разработанного комплекса для элементного анализа примесного состава твердотельных материалов положен принцип регистрации и математической обработки энергетических спектров обратного рассеяния ионов. При измерении энергетических спектров заряженных частиц с использованием газовых или твердотельных детекторов одним из основных измерительных узлов является анализатор импульсов. Это связано с тем, что амплитуда импульса на выходе вышеуказанных типов детекторов прямо пропорциональна выделенной в них энергии и задачей измерения является построение зависимости скорости счета (количества зарегистрированных импульсов в единицу времени) от их амплитуды, т.е. энергии частиц.

В случае использования электростатического анализатора энергии ионов (ЭСА) измеряется скорость счета в зависимости от напряжения питания ЭСА. При фиксированном питании ЭСА вырезает из спектра полосу, ширина которой (ширина канала) определяется конструкцией анализатора. Амплитуда импульса на выходе полупроводникового детектора, работающего в режиме счета импульсов, пропорциональна энергии регистрируемых частиц, поэтому для расширения энергетического диапазона в сторону меньших энергий необходимо максимально уменьшить уровень шумов спектрометрического тракта.

Известно, что движение заряженных частиц в однородных электростатических полях неизбежно сопровождается изменением энергии иона. Поэтому, для получения преломляющей системы, не меняющей энергии ионного пучка, используется неоднородное поле цилиндрического конденсатора. На рисунке 9 приведен схематический чертеж ЭСА.

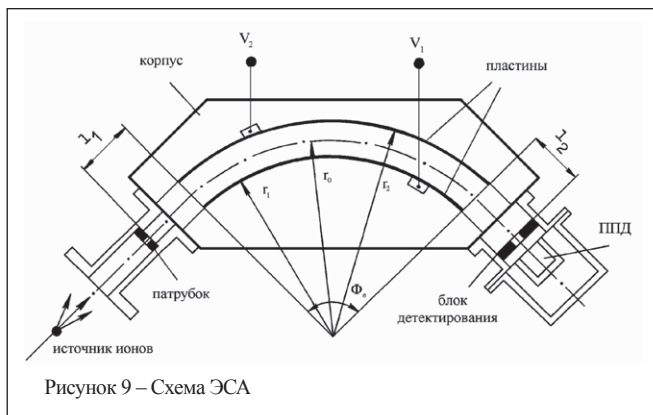


Рисунок 9 – Схема ЭСА

Известно, что потенциал, подаваемый на обкладки цилиндрического конденсатора, линейно связан с энергией частицы, двигающейся по окружности с радиусом r_0 . Коэффициент пропорциональности определяется только геометрическими размерами конденсатора, то есть:

$$U_{\text{ЭСА}} = 2U_{\text{уск}} \cdot \ln(r_2/r_1),$$

где $U_{\text{уск}}$ – ускоряющий потенциал ускорителя ионов.

Секторное электрическое поле может фокусировать по направлению ионный пучок определенной энергии с малым углом раствора при любых значениях угла Φ_e . Для построения хода лучей необходимо принять, что угол сектора равен $\Phi_e/2^{0.5}$, а радиус кривизны траектории сектора равен $r_0/2^{0.5}$. Данная система эквивалентна оптической линзе в сочетании с призмой, преломляющий угол которой равен $\Phi_e/2^{0.5}$. Таким образом, задавая значения r_0 , r_2 , r_1 и Φ_e , получим расстояние от границ сектора ($l_1 = l_2$), на котором необходимо устанавливать входную и выходную диафрагмы, а также коэффициент пропорциональности между кинетической энергией частицы и потенциалом, подаваемым на пластины анализатора.

Энергетическое разрешение ЭСА определяется выражением:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{s_1 + s_2}{r_0}, \quad (1)$$

где s_1 , s_2 – ширина входной и выходной диафрагм, соответственно; r_0 – радиус центральной траектории движения ионов в ЭСА.

Конструктивно ЭСА состоит из трех узлов: входного переходника, корпуса с электродами и блока детектирования.

Таким образом, основные отличия при измерении энергетического спектра заряженных частиц при использовании ЭСА по сравнению с твердотельными и газовыми спектрометрическими детекторами заключается в следующем:

- электростатический анализатор энергии ионов селективирует частицы определенной энергии интенсивметром, а не анализатором импульсов;
- для реализации измерения спектра требуется прецизионный, регулируемый с малым шагом, высоковольтный источник питания;
- нормировка натекающего на мишень заряда в случае ЭСА должна проводиться для каждого канала, что обу-

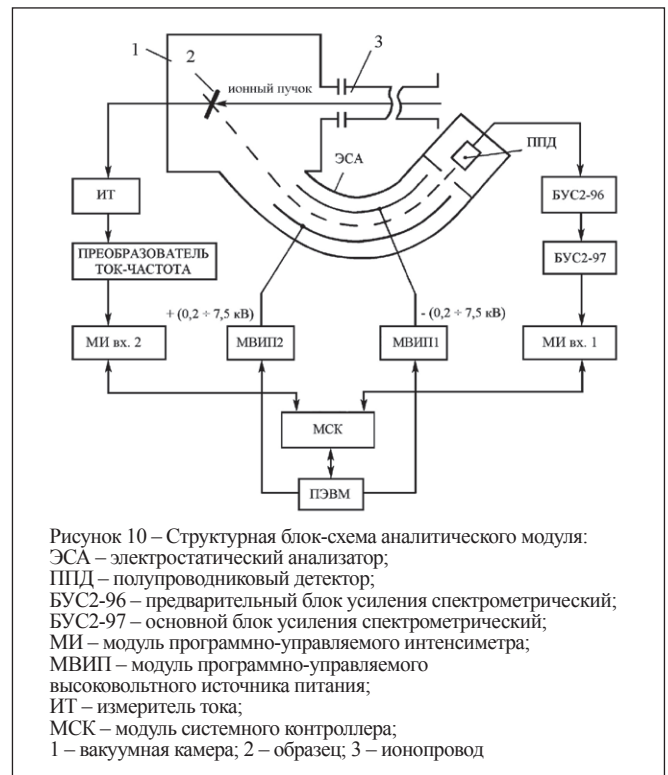


Рисунок 10 – Структурная блок-схема аналитического модуля:

ЭСА – электростатический анализатор;
ППД – полупроводниковый детектор;
БУС2-96 – предварительный блок усиления спектрометрический;
БУС2-97 – основной блок усиления спектрометрический;
МИ – модуль программно-управляемого интенсивметра;
МВИП – модуль программно-управляемого высоковольтного источника питания;
ИТ – измеритель тока;
МСК – модуль системного контроллера;
1 – вакуумная камера; 2 – образец; 3 – ионопровод

словлено слабой светосилой и поканальным измерением спектра, на что требуются большие затраты времени измерений, в течение которых колебания тока ионного пучка могут быть достаточно большими (более 1 %).

В состав комплекса входят: ионопровод с системой коллимации пучка; электростатический анализатор энергии ионов; вакуумная камера с гониометром, на котором установлен держатель образца; система регистрации и управления. На рисунке 10 приведена структурная блок-схема аналитического модуля.

Функционально электрическая часть комплекса делится на две подсистемы – регистрации и управления. Первая из них составляет основу информационно-измерительного комплекса. Она включает в себя объединенные локальной информационной шиной (системной магистралью): БУС2-97 – спектрометрический усилитель; МОД – модуль программируемого одноканального дискриминатора; МИ – модуль программируемого интенсиметра; ИП – источник питания подсистемы.

Подсистема управления включает в себя два программируемых модуля высоковольтных источников питания МВИП (до 7,5 кВ) и источник питания ИП.

Связь подсистем с управляющей персональной ЭВМ реализуется через интерфейс USB при помощи концентратора. Предусмотрена возможность подключения модулей высоковольтных источников и системного контроллера подсистемы регистрации непосредственно к USB-портам ПЭВМ.

Для определения соответствия значения подаваемого на ЭСА высокого напряжения энергии регистрируемых ионов проводилась его калибровка. Имеются два варианта проведения этой процедуры.

Первый заключается в следующем. На место мишени ставится образец, представляющий собой пленку достаточно тяжелого металла, напыленную на более легкую подложку. Затем измеряются энергетические спектры рассеянных пленкой ионов при четырех-пяти значениях энергии падающего на образец ионного пучка и проводится оценка соответствия между положением точки на половине высоты высокоэнергетической границы измеренного спектра и значением потенциала, подаваемого на анализатор. Разность между положениями этих точек при разных значениях энергии анализирующего пучка на шкале энергий, деленные на разности потенциалов, соответствующих этим точкам, $\Delta U/7,5$ дадут искомую ширину канала анализатора.

Во втором способе при фиксированной энергии измеряются спектры с нескольких образцов, на которые напылена пленка металла с разным Z , например, Au и Cr, и определяются расстоянием между границами спектров в единицах энергии ионов и напряжения, подаваемого на анализатор. Разделив эту разность в шкале энергий на $\Delta U/7,5$, определяем энергетическую ширину канала анализатора, т.к. 7,5 В – минимальный шаг, с которым может изменяться высокое напряжение на ЭСА. Эта операция производится для трех-четырех значений энергии. После этого ширина канала определяется как среднее этих измерений.

Второй способ предпочтительнее, т.к. два измерения ведутся при фиксированной (с точностью установки) энергии, и в слагаемые ошибок войдет только одно значение погрешности установки энергии, а не два, как в первом случае.

При калибровке анализатора мы использовали второй способ. В качестве мишеней использовали кремниевые пластины с напыленными на них пленками золота и хрома толщиной 200 и 300 ангстрем соответственно.

Изменение энергии пучка дает возможность определить зависимость ширины канала от энергии. На рис. 11 и 12 приведены экспериментальные спектры от пленок золота и хрома на кремнии для энергий пучка ионов водорода 240 кэВ. Такие же спектры были получены для энергий протонов 190, 220, 260 и 280 кэВ. Во всем измеренном диапазоне энергий регистрируемых рассеянных ионов ширина канала постоянна и составляет 281 ± 5 эВ.

Для определения энергетического разрешения всего спектрометрического тракта, включая анализатор ЭСА, воспользуемся рис. 11. Разрешение определяется крутизной спада высокоэнергетической границы спектра, которая соответствует однократному рассеянию падающих на мишень ионов атомами поверхности и приповерхностного слоя толщиной в несколько десятков ангстрем. За его величину принимается ширина пика производной dN/dE на полувысоте. На рис. 11, 12 приведены эти производные. Таким образом, измеренные

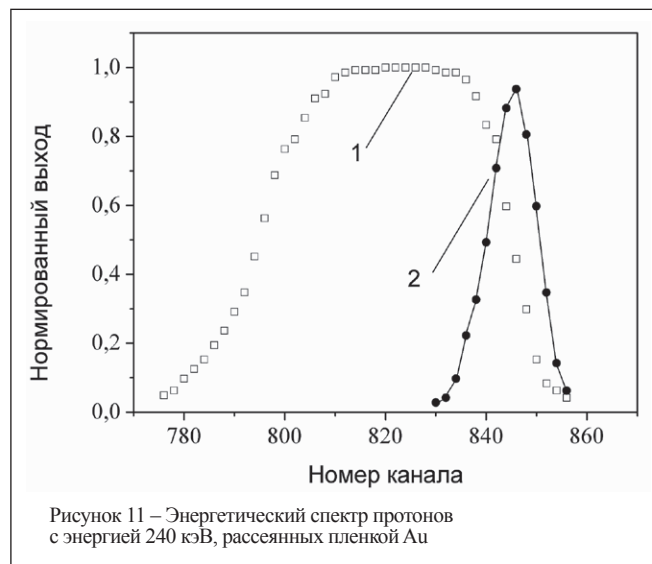


Рисунок 11 – Энергетический спектр протонов с энергией 240 кэВ, рассеянных пленкой Au

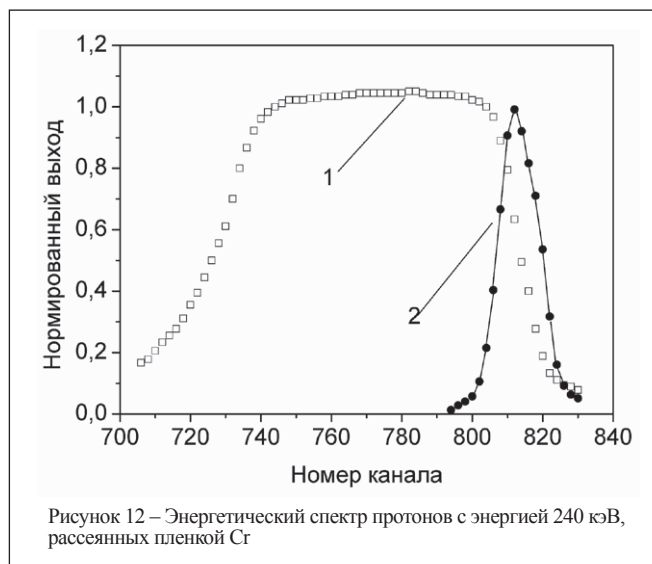


Рисунок 12 – Энергетический спектр протонов с энергией 240 кэВ, рассеянных пленкой Cr

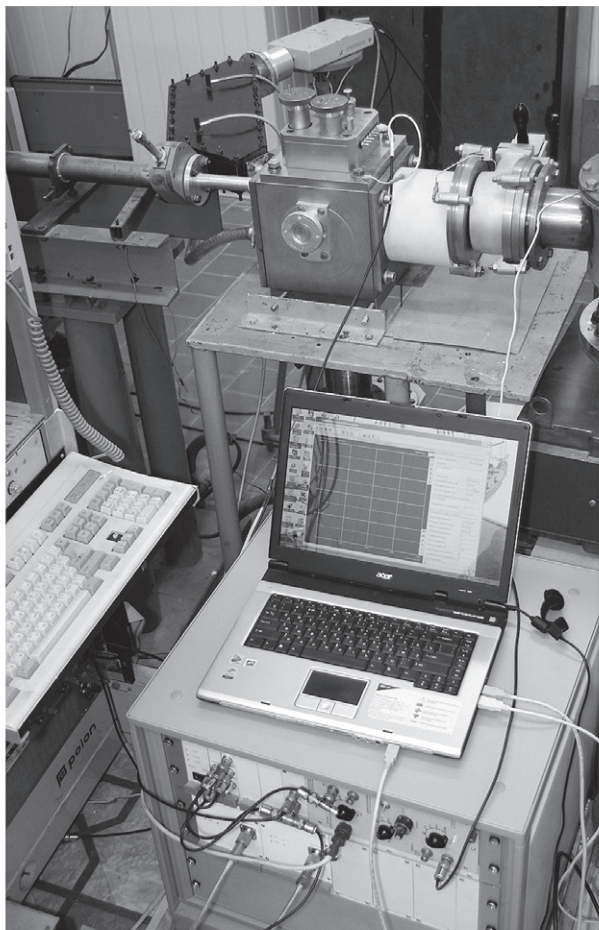


Рисунок 13 – Измерительный комплекс для элементного анализа твердотельных материалов методом резерфордского обратного рассеяния ионов с нанометровым разрешением по глубине

ширины спектров для пленок Au и Cr соответственно равны: $\Delta E_{Au} = 3,1$ кэВ (1,3 %) и $\Delta E_{Cr} = 3,9$ кэВ (1,6 %). Отличие в ширине спектров обусловлено различным качеством поверхности пленок золота и хрома.

Таким образом, разработан и изготовлен измерительный комплекс для элементного анализа твердотельных материалов (рисунок 13), позволяющий регистрировать спектры резерфордского обратного рассеяния с энергетическим разрешением 1,3 %, что соответствует минимальной толщине регистрируемого слоя 1,5 нм. В целом, он позволяет вести элементный анализ структурного состояния материалов и приборных структур (включая наноматериалы) с разрешением 1–2 нм.

Литература:

1. Chelyadinskii, A.R. Defect-impurity engineering in implanted silicon. *Physics-Uspekh* / A.R. Chelyadinskii, F.F. Komarov. – 2003. – Vol. 46. – N 8. – P. 789–820.
2. Кадыржанов, К.К. Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов / К.К. Кадыржанов, Ф.Ф. Комаров, А.Д. Погребняк, В.Ф. Русаков, Т.Э. Туркебаев. – М.: МГУ, 2005. – 642 с.
3. Izumi K., Doken M. and Ariyoshi H. // *Electron. Lett.* – 1978. – N 14. – P. 593–596.
4. Bruel, M. // *Electron. Lett.* – 1995. – N 31. – P. 1201–1204.
5. Komarov, F. Formation of silicon-on-insulator structures with low surface roughness. / F. Komarov, O. Milchanin. // *Proceed. Intern. Conf. «Micro- and nanoelectronics 2005»*, Russia, Zvenigorod, October 3–7th. 2005. – P. 2–35.
6. Комаров, Ф.Ф. Применение протонных пучков в современной микро- и оптоэлектронике / Ф.Ф. Комаров, О.В. Мильчанин, А.М. Миронов, А.И. Купчишин. – Электроника, 2006. – № 10. – С. 30–35.
7. Boyko, E.B. Interaction of fast hydrogen ions with silicon surface at glancing angles of incidence. / E.B. Boyko, A.S. Kamyshan, F.F. Komarov, A.E. Lagutin. – *Nucl. Instr. Meth.* – 2007. – B256, N 2. – P. 359–362.
8. Комаров, Ф.Ф. Формирование водородно-индуцированных дефектов и их применение в технологии микро- и оптоэлектроники / Ф.Ф. Комаров, О.В. Мильчанин, А.М. Миронов. – Вестник БГУ, 2006. – Сер. 1. – № 3. – С. 56–62.
9. Комаров, Ф.Ф. Формирование структур микро- и оптоэлектроники с использованием протонных пучков. Материалы и структуры современной электроники / Ф.Ф. Комаров, О.В. Мильчанин, А.М. Миронов, А.И. Купчишин. – Минск: БГУ, 2006. – С. 123–133.
10. Комаров, Ф.Ф. Развитие технологии формирования структур кремний на изоляторе / Ф.Ф. Комаров, О.В. Мильчанин // Доклады НАН Беларуси. – 2006. – Т. 50. – № 2. – С. 41–45.
11. Комаров, Ф.Ф. Формирование протяженных дефектов в кремнии при высокодозной имплантации ионов водорода / Ф.Ф. Комаров, О.В. Мильчанин, В.В. Пилько, Ю.Г. Фоков. – Поверхность, 2008. – № 4. – С. 27–30.
12. Комаров, Ф.Ф. Устройство для соединения пластин / Ф.Ф. Комаров, О.В. Мильчанин, В.В. Пилько // Патент РБ на полезную модель, №5197, 2009.01.05.
13. Bruel, M. // *Nucl. Instr. and Meth.* – 1996. – Vol. B108. – P. 313–319.
14. Tong M., Gan Q., Hudson G. // *Appl. Phys. Lett.* – 2003. – Vol. 83. – N 23. – P. 4767–4769.
15. The National Technology Roadmap for Semiconductors, Semiconductor Industry Assoc., San Jose, CA, 1994. – P. 10–131.
16. Fichtner P.F., Kaschny J.R., Yankov R.A. et al. // *Appl. Phys. Lett.* – 1997. – Vol. 70. – P. 732–734.
17. Petersen G.A., Myers S.M., Follstaedt D.M. *Nucl. Instr. Meth.* – 1997. – Vol. 127/128B – P. 301–306.
18. Pearton, S.J. Ion implantation for isolation of III-V semiconductors // *Mater. Sci. Rep.* 4. – 1990. – P. 313–367.
19. Pearton, S.J. Ion implantation in III-V semiconductor technology // *Intern. J. of Mod. Phys. B7*. – 1993. – P. 4687–4761.
20. Ahmed, S. The effect of substrate temperature on the isolation of n-type GaAs layers using MeV boron implantation / S. Ahmed, A.P. Knights, R. Gwilliam, B.J. Sealy. // *Semicond. Sci. Technol.* 16(3). – 2001. – P. L17–L19.
21. Komarov, F.F. Formation of device isolation in GaAs with polyenergetic ion implantation / F.F. Komarov, A.S. Kamyshan, A.M. Mironov, A.E. Lagutin, I.S. Martynov. // *Vacuum* 63. – 2001. – P. 577–579.
22. Huang, T.-C. Field-induced waveguides and their application to modulators / T.-C. Huang, Y. Chung, L.A. Coldren, N. Dagli // *IEEE J. Quantum Electron.*, 29. – 1993. – P. 1131–1143.
23. Комаров, Ф.Ф. Формирование однородных легированных слоев в металлах и полупроводниках методом

полиэнергетической высокодозной ионной имплантации / Ф.Ф. Комаров, А.Ф. Комаров, А.М. Миронов // Доклады НАН Беларуси. – 2007. – Т. 51. – № 3. – С. 52–56.

24. Komarov, F.F. Characteristics of the implant-isolated GaAs layers after annealing. / F.F. Komarov, A.M. Mironov, P. Zukowski. // Proceed. Intern. Conf. «Micro- and nanoelectronics 2005», Russia, Zvenigorod, October 3–7th 2005. – P. 3–28.

25. Колтунович, Т. Температурная стабильность вертикальной изоляции GaAs, созданной имплантацией ионов водорода. / Т. Колтунович, П. Жуковски, П. Венгерек, Я. Партыка, Ф.Ф. Комаров, Л.А. Власукова // Материалы и структуры современной электроники. – Минск: БГУ, 2006. – С. 193–196.

26. Komarov, F.F. Characteristics of the implant-isolated GaAs layers. / F.F. Komarov, A.M. Mironov, P. Zukowski, T. Koltunowicz. // Mater. of the 5th Intern. Conf. «New Electrical and Electronic Technologies and Their Industrial Implementation», Lublin University of Technology, Zakopane, Poland, June 12–15, 2007. – P. 126–127.

27. Didyk, A. Structure changes in InP and GaAs crystals double irradiated with electrons and swift heavy ions. / A. Didyk,

F. Komarov, L. Vlasukova, V. Yuvchenko. – Vacuum, 2007. – Vol. 81. – N 10. – P. 1175–1179.

28. Zukowski, P. Dielectric properties and model of hopping conductivity of GaAs irradiated by H^+ ions / P. Zukowski, T. Koltunowicz, J. Partyka, P. Wegierek, F.F. Komarov, A.M. Mironov, N. Butkiewith, D. Freik. Vacuum, 2007. – Vol. 81. – N 10. – P. 1137–1141.

29. Комаров, Ф.Ф. Формирование дефектов структуры в GaAs, облученном быстрыми протонами и их применение для создания межприборной изоляции / Ф.Ф. Комаров, А.М. Миронов, П. Жуковски // Сб. докл. Межд. конф. «Актуальные проблемы физики твердого тела». – Минск: изд. А.Н. Вараскин, 2009. – Т. 3 – С. 79–81.

Abstract

A few important implementations of ion beams to produce unique structures of microelectronics and optoelectronics are presented. A novel system for non-destructive elemental and structural analysis with the nanometer depth resolution is also treated.

Поступила в редакцию 22.02.2013 г.

www.polden.by
ПОЛДЕН
ПАЯЛЬНО-РЕМОНТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

(017)222-50-23
(017)222-51-02
(029)648-71-31



ООО
«АДВИК-СТРОЙ»

Поставка импортных
электронных компонентов
от ведущих производителей

220015, г. Минск,
ул.Одоевского 117, оф. 315
тел./факс +375 17 269-93-33

E-mail: info@advik.by
Web: www.advik.by
тел./факс. +375 17 269-93-34



ЭКНИС
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ

Автоматизация технологических процессов и комплексное решение проблем ресурсосбережения

ABB drives alliance
Sales and Support

ООО «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ «ЭКНИС» ВЫПОЛНЯЕТ:

- Техническое консультирование.
- Выбор технического решения.
- Разработку проектной документации.
- Комплексную поставку согласованного оборудования.
- Шеф-монтажные и пуско-наладочные работы.
- Сервисное техническое консультирование.
- Гарантийное и послегарантийное обслуживание.





Плавный пуск, частотное регулирование, экономия энергии, автоматическое управление, многодвигательные установки, оптимизация технологических процессов

ООО «Электротехническая компания «ЭКНИС» г. Минск УНП 190575885

Тел.: +375 (17) 288-15-22, +375 (29) 689-18-90, www.ecnis.biz, e-mail: office@ecnis.biz

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО ФЛУКТУАЦИЙ ТОКА СТОКА В СУБМИКРОННОМ МОП-ТРАНЗИСТОРЕ

УДК 621.382.537.33:621.317

О.Г. Жевняк, В.В. Буслюк, В.М. Борздов, БГУ, г. Минск

Аннотация

В статье проанализированы шумы, возникающие вследствие флуктуаций тока стока в канале субмикронных МОП-транзисторов, а также физические механизмы, их вызывающие. Сделан вывод о том, что основным механизмом таких шумов является ударная ионизация, осуществляемая разогревающимися электронами в канале МОП-транзистора. С помощью моделирования электронного переноса методом Монте-Карло исследованы флуктуации тока стока в тестовом МОП-транзисторе с длиной канала 0,25 мкм. При этом учет ударной ионизации осуществлялся по модели Келдыша с «жестким» и «мягким» порогами. Анализ результатов моделирования показал, что для исследуемого режима работы прибора модель «мягкого» порога дает лучшее совпадение средних значений тока стока с экспериментальными данными по сравнению с моделью «жесткого» порога.

Введение

При разработке и проектировании ИС сверхбольшой и ультрабольшой степени интеграции на МОП-транзисторах очень важно учитывать шумовые характеристики этих приборов, обусловленные токовыми флуктуациями [1]. Хорошо известно, что основными видами шумов, которые влияют на работу n-канальных МОП-транзисторов, особенно в аналоговом режиме, являются фликер-шум и тепловой шум [1–3].

Физическим механизмом фликер-шума является захват и освобождение носителей заряда ловушками в подзатворном окисле транзистора. Интенсивность процесса захвата ловушками значительно возрастает при разогреве электронного газа в канале, что характерно для субмикронных интегральных n-МОП-транзисторов, в каналах которых напряженности неоднородного электрического поля достигают высоких значений. Последнее приводит к образованию значительного числа электронов, называемых «горячими», которые способны преодолеть потенциальный барьер на границе раздела окисел-полупроводник и проникнуть в подзатворный окисел.

Важнейшим источником теплового шума в n-канальных субмикронных МОП-транзисторах является изменение дрейфовой скорости электронов вследствие различных процессов их рассеяния в канале прибора и, прежде всего, рассеяния на фононах и ионизированной примеси. Рассеяние на ионах примеси следует учитывать по причине значительного увеличения концентрации этой примеси, вызванного повышением степени легирования канала транзистора. Последнее связано с необходимостью выполнения правил масштабирования при уменьшении проектных норм ИС.

С повышением рабочей частоты величина фликер-шума оказывается пренебрежимо малой, и доминирующим становится тепловой шум, который содержится не только

в спектре тока канала, но и в спектре токов затвора и подложки. При еще более значительном уменьшении канала для так называемых глубокосубмикронных приборов (с длиной канала менее 0,25 мкм [1]) часть электронов способна преодолевать весь свой путь от истока к стоку без рассеяния. Присутствие таких баллистических электронов в канале будет являться непосредственным источником дробового шума.

При значительном разогреве электронного газа в канале субмикронных МОП-транзисторов важнейшим источником шума являются процессы ударной ионизации, приводящие к образованию электронно-дырочных пар (вторичных носителей) и локальному изменению концентрации носителей заряда. Этот механизм наряду с шумом, связанным с захватом и освобождением заряда на ловушечных центрах, можно отнести к генерационно-рекомбинационному виду шумов. А поскольку при очень высоких напряженностях электрического поля, существующих в предстоковой области канала транзистора, интенсивность процессов ударной ионизации резко возрастает, влияние этого физического процесса на образование флуктуаций тока стока в субмикронных МОП-транзисторах очень малых размеров играет важнейшую, ключевую роль.

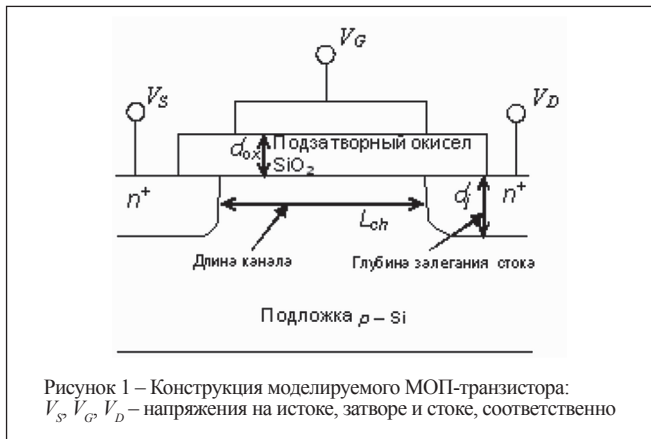
Количественные характеристики шума в различных режимах работы транзистора теоретически рассчитываются, как правило, с использованием различных аналитических выражений, описывающих физические механизмы шума и связывающих эти характеристики с рядом конструктивно-технологических и электрофизических параметров прибора [1, 4, 5]. В настоящее время одним из наиболее перспективных и эффективных численных методов моделирования и расчета шумовых характеристик полупроводниковых приборов является метод Монте-Карло, поскольку позволяет учесть с необходимой точностью все основные физические механизмы, приводящие к шумовым флуктуациям токов в приборе, в том числе процессы ударной ионизации [6–10].

В данной статье проведено численное моделирование многочастичным методом Монте-Карло флуктуаций тока стока в канале интегрального субмикронного МОП-транзистора с длиной канала 0,25 мкм с целью установления влияния на них процесса ударной ионизации, описываемого широко известной пороговой моделью Келдыша [8, 15].

Моделируемая структура

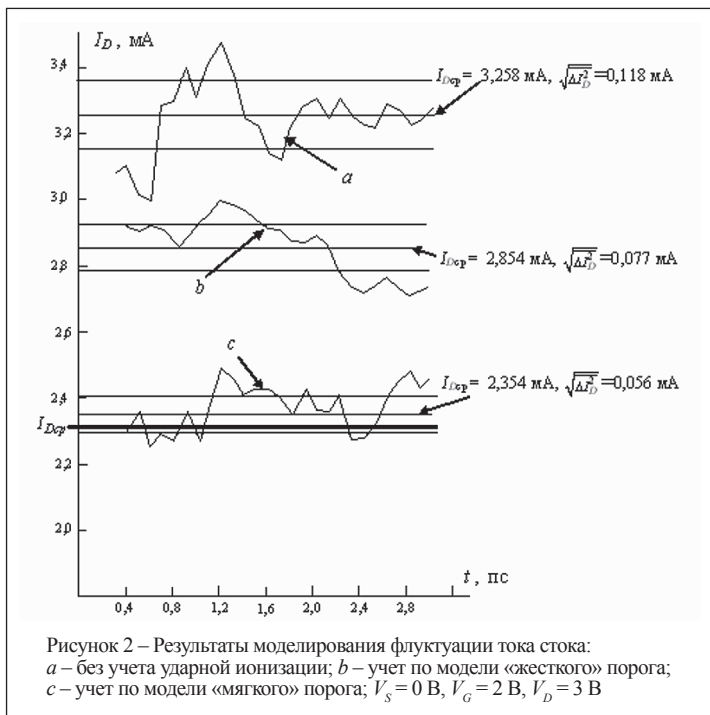
На рисунке 1 схематически приведена моделируемая структура n-канального субмикронного МОП-транзистора и показаны ее основные элементы. В настоящей работе с помощью метода Монте-Карло проведено моделирование дрейфа носителей заряда при температуре $T = 300$ К в конкретном МОП-транзисторе со следующими конструктивно-технологическими параметрами: длина

канала $L_{ch} = 0,25$ мкм, ширина канала $W_{ch} = 2,2$ мкм, толщина подзатворного окисла $d_{ox} = 3,6$ нм, глубина залегания истоковой и стоковой областей $d_j = 150$ нм, концентрация донорной примеси в этих областях $N_D = 8 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$, концентрация акцепторной примеси в подложке $N_A = 8 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$. При этом были использованы алгоритмы и процедуры кинетического моделирования методом Монте-Карло, разработанные и описанные в [9]. В построенной модели переноса учитывались следующие механизмы рассеяния электронов в канале: на акустических и оптических фононах, на границе раздела окисел/полупроводник, на ионах ионизированной примеси, а также ударная ионизация по модели Келдыша.



Результаты моделирования и их обсуждение

На рисунке 2 приведены результаты моделирования флуктуаций тока стока в исследуемом МОП-транзисторе без учета ударной ионизации (а) и с ее учетом по модели «жесткого» (б) и «мягкого» порогов (с). Для того, чтобы оценить степень влияния процесса ударной ионизации



на величину тока стока и его флуктуаций, а также адекватность каждой из двух моделей ударной ионизации, полученные результаты моделирования сравнивались с экспериментально измеренным средним значением тока стока МОП-транзистора в стационарном режиме работы прибора, взятым из работы [12]. На рисунке 2 полученное экспериментальное значение тока отмечено жирной линией.

Сравнение результатов моделирования с результатами экспериментальных измерений, представленных на этом рисунке, показывает, что наиболее существенные флуктуации тока стока наблюдаются в случае, когда процесс ударной ионизации вообще не учитывается. Этот, на первый взгляд парадоксальный результат объясняется тем, что в данном случае наблюдаемые флуктуации тока связаны, главным образом, с изменениями дрейфовой скорости электронов вследствие возникновения в канале значительного числа «горячих» носителей заряда ввиду отсутствия такого сдерживающего разогрев электронов процесса, как ударная ионизация. Учет же последней поочередно с каждой из используемых моделей («жесткого» и «мягкого» порогов) дает уже заметно меньшие амплитуды флуктуаций, что подтверждается величиной среднеквадратических отклонений тока стока $\sqrt{\Delta I_D^2}$, показанных на рисунке 2.

Как видно из этого рисунка, учет модели «мягкого» порога дает лучшее совпадение результатов расчета среднего значения тока с экспериментальными данными. При этом среднее значение тока стока с использованием модели «мягкого» порога отличается от экспериментально измеренного значения менее чем на 5 %, тогда как для модели «жесткого» порога это отличие составляет более 20 %. Это свидетельствует о том, что данная модель более адекватно описывает влияние ударной ионизации на дрейф электронов и флуктуации тока стока в рассматриваемых условиях работы исследуемого МОП-транзистора.

Заключение

Таким образом, в настоящей работе рассмотрен важнейший механизм возникновения шума в короткоканальных МОП-транзисторах, связанный с межзонной ударной ионизацией электронов при их дрейфе в канале прибора. С помощью моделирования электронного переноса методом Монте-Карло исследованы флуктуации тока стока в тестовом МОП-транзисторе с длиной канала 0,25 мкм. Сравнение результатов моделирования флуктуаций тока стока с экспериментально полученным средним значением этого тока для исследуемого режима работы прибора позволяет сделать вывод о том, что модель ударной ионизации по механизму «мягкого» порога достаточно адекватно описывает флуктуационные явления в короткоканальных МОП-транзисторах, обусловленные процессами межзонной ударной ионизации.

Литература:

1. Денисенко, В.В. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро- и нанoeлектронике. – М.: Физматлит, 2010. – Гл. 2. – П. 2.10.8. – С. 108–110.
2. Ван-дер-Зил, А. Флуктуационные явления в полупроводниках. – М.: Изд-во иностранной лит-ры, 1960. – 232 с.

3. Зеерер, К. Физика полупроводников / под ред. Ю.К. Пожелы. – М.: Мир, 1977. – Гл. 4. – П. 15. – С. 150–152.

4. Klaasen, F. M. Thermal noise of MOS transistors / F.M. Klaasen, J. Prins // Philips Res. Reports. – 1967. – Vol. 22. – P. 504–514.

5. Cheng Y. et al. BSIM3 version 3.1 User's Manual. – University of California, Berkely, Memorandum NUCB / ERL M97/2, 1997.

6. Jacoboni, C. The Monte Carlo method for the solution of charge transport in semiconductors with application to covalent materials / C. Jacoboni, L. Reggiani // Rev. Mod. Phys. – 1983. – Vol. 55, N3. – P. 645–705.

7. Хокни, Р. Численное моделирование методом частиц / Р. Хокни, Дж. Иствуд // М.: Мир, 1987. – 640 с.

8. Иващенко, В. М. Моделирование кинетических явлений в полупроводниках. Метод Монте-Карло / В.М. Иващенко, В.В. Митин // Киев: Наукова думка, 1990.

9. Борздов, В. М. Моделирование методом Монте-Карло приборных структур интегральной электроники / В.М. Борздов, О.Г. Жевняк, Ф.Ф. Комаров, В.О. Галенчик // Минск: БГУ, 2007. – 187 с.

10. Zimmerman, J. Application of Monte Carlo techniques to hot carrier diffusion noise calculation in unipolar semiconducting components / J. Zimmerman, E. Constant // Solid State Electron. – 1980. – Vol. 23, N 9. – P. 915–925.

11. Келдыш, Л. В. К теории ударной ионизации в полупроводниках // ЖЭТФ. – 1965. – Т. 48, № 6. – С. 1692–1707.

12. Jeng, M.-C. et al. Performance and hot-electron reliability of deep-submicron MOSFET'S // IEDM. – 1989. – N 1. – P. 710–713.

Abstract

In this paper the noise caused by the drain current fluctuations in submicron MOSFETs is analyzed. The principal physical mechanisms of current fluctuations in such devices are considered. The conclusion that impact ionization produced by hot electrons in the transistor channel is key mechanism responsible for the noise is drawn. The current fluctuations are investigated by means of Monte Carlo transport simulations of nMOSFETs with 0,25 mm channel length. Impact ionization process is simulated according to Keldysh

model with «hard» and «soft» thresholds. Simulations show that for the considered transistor operation modes the «soft» threshold model gives the results which coincide better with experimental data on average values of the drain current.

Поступила в редакцию 26.02.2013 г.



поставка электронных компонентов

контрактное производство

тел.: +375 17 290 0082

факс: +375 17 290 0084

e-mail: info@horntrade.net



1. Ремонт, модернизация металлообрабатывающего оборудования с программным управлением
2. Модернизация электроэрозионных станков
3. Внедрение электронных устройств ввода-вывода информации в УЧПУ
4. Замена устаревших приводов постоянного тока на экономичные частотные преобразователи с векторным управлением общепромышленными асинхронными электродвигателями
5. Установка электронных измерительных систем и устройств цифровой индикации
6. Комплексное решение задач автоматизации производства
7. Внедрение современных технологий и инструмента в металлообработку

г. Гомель, ул. Троллейбусная, д.5, к.6, тел./факс: +375 232 57-34-73
GSM: (8-10-375) 297-35-61-62, 296-66-29-16,
E-mail: stanok-cnc@yandex.ru www.vector-sys.com

ПТСС ЗАО «Промтехсервиснаб»

г. Минск, ул. Богдановича, 120 Б, ком. 6,
e-mail: uslugi@zapservis.by,
www.zapservis.by

Тел.: 266-23-94; 266-23-92,
моб.: (029) 676-02-56,
моб.: (044) 773-72-04,
факс: 266-23-94.

Контрактное производство РЭА:

- ✓ Автоматизированный монтаж SMD-компонентов любой сложности.
- ✓ Комбинированный монтаж с использованием компонентов DIP (выводных), а также SMD (планарных).
- ✓ Сборка корпусных деталей и узлов.
- ✓ Ультразвуковая отмывка печатных плат и узлов высококачественными импортными растворами.
- ✓ Нанесение влагозащитных покрытий.

*Высокотехническое импортное оборудование обеспечивает высокое качество производимой продукции.

Продажа неликвидов ПК для РЭА:

- ✓ Резисторы, конденсаторы, транзисторы, микросхемы и т.д.



МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ
ФОТОРЕЗИСТ, ЗАЩИТНЫЕ МАСКИ И ТД.

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПАЙКИ И МОНТАЖА
ПАЯЛЬНАЯ ПАСТА, ПРИПОЙ, ФЛЮС-ГЕЛЬ

ЗАЩИТНЫЕ ЛАКИ CRAMOLIN:
ТЕРМО, ВЛАГО и ЭМИ

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ
ПРИБОРЫ И АКСЕССУАРЫ

АНТИСТАТИЧЕСКАЯ МЕБЕЛЬ
И ОБОРУДОВАНИЕ

ФОТОТЕХНИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ

ТЕЛ./ФАКС +375 17 2458431, 2458252; GSM: +375 29 6458431
WEB: WWW.STELLAMONTIS.COM E-mail: info@stellamontis.com



КОМПЛЕМЕНТАРНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ IGBT-СТРУКТУРЫ С ВЫСОКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ ПРОБОЯ

УДК (621.382.3: 546.28): 537.852

И.Ю. Ловшенко, В.Р. Стемпицкий, А.С. Турцевич, И.М. Шелибак, БГУИР, г. Минск

Аннотация

Силовые полупроводниковые приборы являются важными компонентами электронных систем, характеризующихся специфической функциональностью для энергетических приложений, а также размером и стоимостью. Среди перспективных силовых приборов важное место занимает биполярный транзистор с изолированным затвором (Isolated Gate Bipolar Transistor, IGBT). Критической характеристикой этого класса приборов микроэлектроники является напряжение пробоя V_{BV} . В работе представлены результаты конструктивно-технологической оптимизации IGBT-структуры для достижения высокого значения V_{BV} . Особенность предлагаемой в работе комплементарной методологии состоит в использовании дополняющих друг друга технологий охранных колец и полевых обкладок, обеспечивающих изменение распределения напряженности электрического поля в структуре и, следовательно, напряжения пробоя. Результаты получены с использованием программного комплекса компании Silvaco, предназначенного для приборно-технологического моделирования и проектирования систем микроэлектроники.

Введение

Мощные полупроводниковые приборы являются существенными компонентами, определяющими эффективность, размер и стоимость систем силовой электроники. Быстро увеличивающаяся потребность в контролируемых силовых электронных системах стимулирует исследования новых материалов, структур и топологий для таких приборов. Дальнейшее совершенствование IGBT-структур сегодня направлено на повышение как быстродействия, так и предельных значений коммутируемых токов и напряжений в приборах этого класса. В статье представлены и обсуждаются результаты конструктивно-технологической оптимизации IGBT-структуры с точки зрения достижения высокого значения напряжения пробоя V_{BV} .

Методы повышения напряжения пробоя высоковольтных структур

Известно, что напряжение пробоя р-п-перехода (а именно, коллекторный переход IGBT-структуры является самым «слабым» местом с этой точки зрения [1]) зависит от концентрации носителей заряда в областях по обе стороны р-п-перехода, распределения области пространственного заряда (ОПЗ) и заряда на границе раздела Si-SiO₂. В стандартной практике для повышения напряжения пробоя р-п-перехода используются различные методы, в том числе формирование в полупроводниковых структурах охранных колец [2] или полевых обкладок [3].

При использовании технологии формирования IGBT-структуры с использованием только полевых обкладок значение напряжения пробоя хотя и повышается, но оказывается

гораздо ниже величины, характерной для высоковольтных приборов, что подтверждается результатами, представленными в настоящей работе.

Дополнительное повышение величины напряжения пробоя может быть достигнуто посредством введения в IGBT-структуру охранных колец (рисунок 1 а, б, в).

Показанная на рисунке 1 структура, обеспечивающая повышение величины напряжения пробоя, характерна для IGBT-прибора, предложенного компанией Advanced Power Technology [2–4]. Основная особенность такой структуры связана с использованием буферного n⁺ слоя (Punch Through, PT device). Такой PT IGBT-прибор обладает уникальными характеристиками в высокочастотном диапазоне функционирования. В работе [5] приведены результаты исследования зависимости напряжения пробоя элементарной PT IGBT-ячейки от типа структуры затвора (планарного «planar» или «канавочного» (trench)). Показано, что «канавочный» тип затвора оказывается предпочтительным независимо от наличия (PT IGBT) или отсутствия (NPT IGBT) буферного n⁺ слоя.

Базовые конструктивные и технологические параметры IGBT-структуры, исследованной в данной работе, основаны на информации, представленной в работе [6]. Наиболее оптимальной, с точки зрения повышения величины напряжения пробоя IGBT-структуры, является методика, заключающаяся в том, что расстояние между охранными кольцами W_{br} (рисунок 1 а) после добавления последующего кольца должно быть равным определенному оптимальному расстоянию между р-п-переходом и кольцом для структуры с одним кольцом. Таким оптимальным расстоянием оказывается значение W_{br}^* при котором достигается максимум напряжения пробоя. Таким образом, добавление каждого нового охрannого кольца с выполнением приведенного выше условия приводит к дальнейшему повышению напряжения пробоя р-п-перехода. Очевидно, что количество охранных колец в приборной структуре и, следовательно, возможности повышения напряжения пробоя с использованием методологии охранных колец ограничены ее площадью.

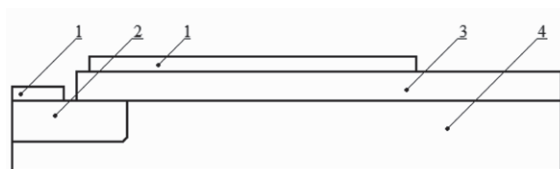
Суть представленной здесь комплементарной методологии формирования IGBT-структуры с повышенным напряжением пробоя состоит в совместном использовании преимуществ технологий формирования IGBT-структуры с несколькими охранными кольцами и полевыми обкладками.

Моделируемая структура

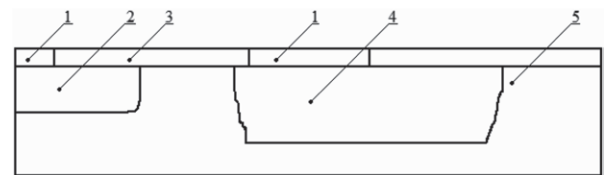
Исследования зависимости величины напряжения пробоя IGBT от различных технологических параметров ее формирования проводились для структуры, представленной на рисунке 1 г (в скобках указаны названия областей для рnp-транзистора). При расчете напряжения пробоя коллекторного перехода вертикального рnp-транзистора как составной части исследуемой IGBT-структуры нет необходимости проводить моделирование структуры всего транзистора. На рисунке 1 г



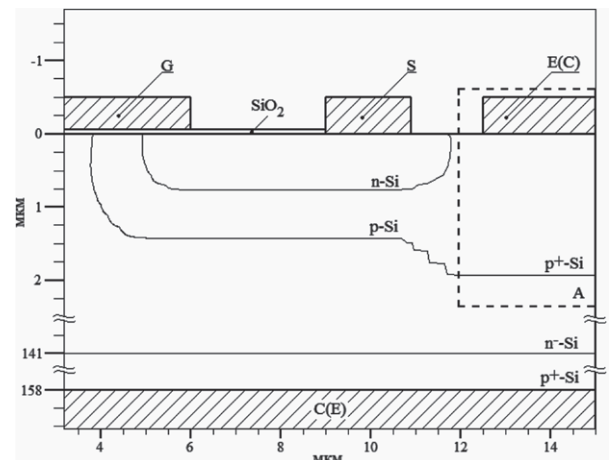
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1 – Структуры с охранными кольцами и полевой обкладкой (а, б, в) и исследованная IGBT-структура (г)

показана область моделирования (она обозначена как А), использованная при исследовании зависимости напряжения пробоя от различных комбинаций технологических параметров охранных колец и полевых обкладок, а также их количества и взаимного расположения. Такими технологическими параметрами для охранный кольца являются расстояние между кольцами, ширина кольца и глубина залегания p-n-перехода. Для полевой обкладки – ее длина и толщина.

Толщина эпитаксиального слоя моделируемой структуры была выбрана равной 141 мкм, а толщина p⁺-коллекторного слоя – 17 мкм, как и в работе [4].

Оптимизация исследуемой конструкции, с точки зрения достижения максимальной величины напряжения пробоя, проводилась отдельно для структур с охранным кольцом и структур с полевой обкладкой.

Структура с охранным кольцом, для которой проводилось исследование напряжения пробоя, представлена на рисунке 1 б.

Процедура оптимизации напряжения пробоя в структуре с охранным кольцом проводилась в три этапа, включающих:

- определение оптимального расстояния между охранным кольцом и p-n-переходом база-коллектор (W_{br});
- расчет оптимальной ширины охранный кольца (W_r) при полученном оптимальном значении W_{br} ;
- исследование влияния глубины залегания p-n-перехода

охранного кольца на напряжение пробоя с геометрией структуры, рассчитанной на предыдущих этапах.

Структура с полевой обкладкой показана на рисунке 1 в. Оптимизация геометрии такой структуры с напряжением пробоя в качестве целевой функции проводилась в два этапа, включающих:

- определение оптимальной длины полевой обкладки (L);
- расчет оптимальной толщины оксида (t_{ox}) при оптимальном значении L .

Результаты конструктивно-технологической оптимизации напряжения пробоя IGBT-структуры

Технологический процесс формирования исследуемой IGBT-структуры, а также ее электрические характеристики, в том числе напряжение пробоя, моделировались с использованием программного комплекса приборно-технологического проектирования компании Silvaco [7].

Рассчитанные зависимости тока I_c коллектора от напряжения на коллекторе V_c для структур с разными расстояниями между охранным кольцом и p-n-переходом W_{br} приведены на рисунке 2 а.

Данные, представленные на рисунке 2 а, позволяют сделать вывод о немонотонном повышении напряжения пробоя V_{BV} с увеличением расстояния между охранным кольцом и p-n-переходом база-коллектор W_{br} . При дости-

жении критического значения W_{br} (обозначим его L_{cr}) величина V_{BV} начинает снижаться при дальнейшем увеличении W_{br} . Для исследуемой структуры значение L_{cr} оказалось равным примерно 15 мкм. Выявленную закономерность можно объяснить тем, что величина V_{BV} определяется распределением ОПЗ, а именно для структуры с $W_{br} < L_{cr}$ ширина ОПЗ наименьшая в области охранного кольца, а для $W_{br} > L_{cr}$ – в области перехода база-коллектор.

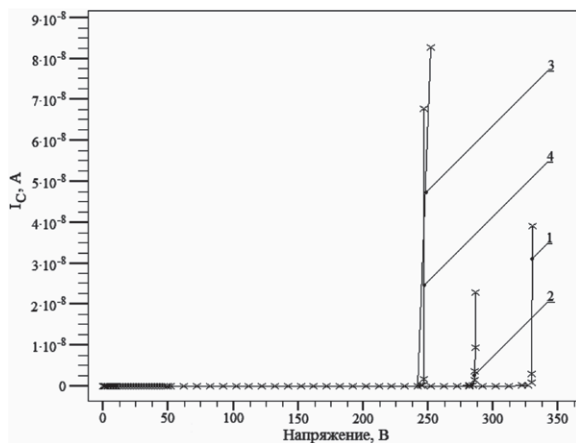
Зависимости тока коллектора I_c от напряжения на коллекторе V_c для структур с разными значениями ширины охранного кольца W_r приведены на рисунке 2 б. Видно, что увеличение значения W_r приводит к повышению V_{BV} , что можно объяснить уменьшением кривизны («выпрямлением») ОПЗ р-п-перехода охранного кольца.

Зависимости тока коллектора I_c от напряжения на коллекторе V_c для структур с разными значениями глубины залегания р-п-перехода охранного кольца приведены на рисунке 2 в. Представленные результаты моделирования показывают, что увеличение глубины залегания р-п-перехода охранного

кольца x_j приводит к повышению величины V_{BV} . Чем больше глубина залегания р-п-перехода при толщине эпитаксиальной пленки, не ограничивающей ОПЗ, тем выше величина V_{BV} , поскольку радиус кривизны ОПЗ при этом увеличивается. В противном случае радиус кривизны ОПЗ уменьшается и, следовательно, величина V_{BV} понижается.

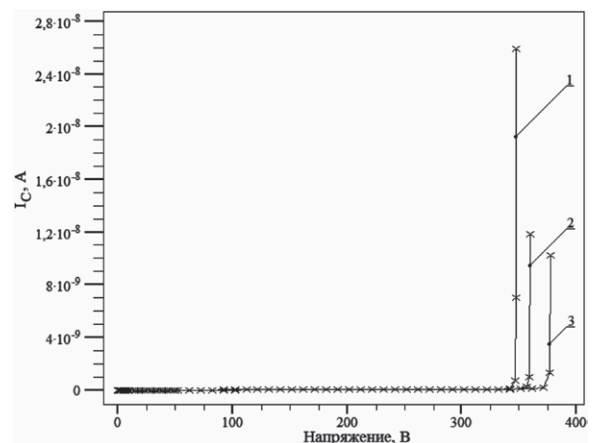
Зависимости тока коллектора I_c от напряжения на коллекторе V_c для структур с разными длинами L полевой обкладки приведены на рисунке 2 г. Представленные данные показывают, что величина напряжения пробоя V_{BV} повышается с увеличением длины полевой обкладки L . Однако при достижении определенной величины L ($L=10$ мкм на рисунке 2) отмечается уменьшение величины V_{BV} при дальнейшем увеличении длины полевой обкладки L . Как и для зависимости V_{BV} от расстояния между охранным кольцом и р-п-переходом (рисунок 2, б), такая закономерность объясняется изменением распределения ОПЗ.

Все зависимости, представленные на рисунке 2, характеризуются величиной V_{BV} меньше, чем 450 В. Очевидно, что



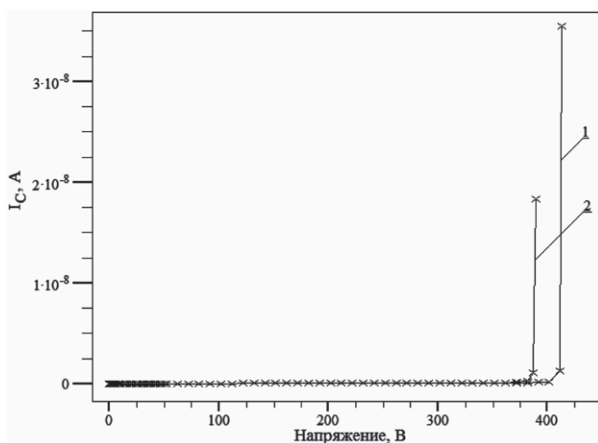
$W_{br} = 5$ мкм (1); 15 мкм (2); 35 мкм (3) и 65 мкм (4)

а)



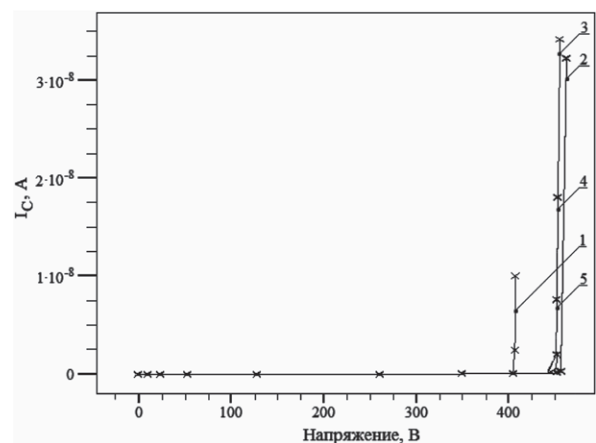
$W_r = 15$ мкм (1); 20 мкм (2) и 30 мкм (3)

б)



$x_j = 1,8$ мкм (1) и 2,4 мкм (2)

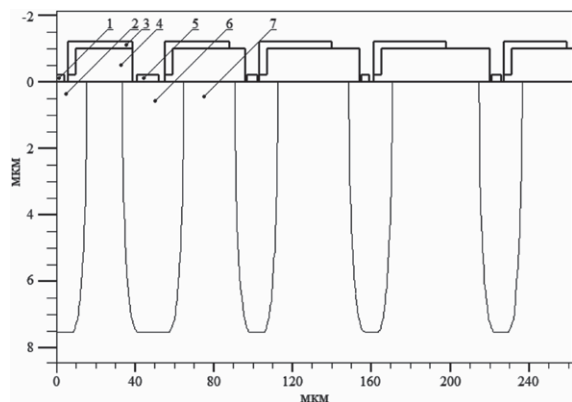
в)



$L = 20$ мкм (1); 10 мкм (2); 30 мкм (3); 45 мкм (4) и 5 мкм (5)

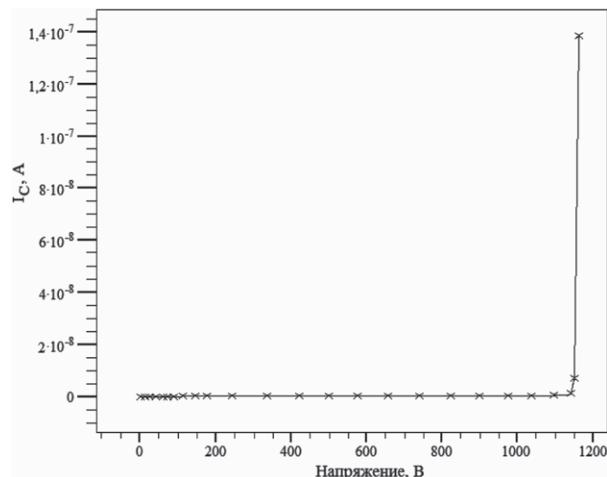
г)

Рисунок 2 – Зависимости тока коллектора I_c от напряжения на коллекторе V_c для структур с разными расстояниями между охранным кольцом и р-п-переходом W_{br} (а), с разными значениями ширины охранного кольца W_r (б), с разными глубинами залегания р-п-перехода охранного кольца x_j (в) и с разными длинами полевой обкладки L (г)



1 – контакт к истоку; 2 – исток; 3 – первая полевая обкладка;
4 – SiO₂; 5 – контакт к первому охранным кольцу;
6 – первое охранным кольцо; 7 – подложка

а)



б)

Рисунок 3 – Оптимизированная IGBT-структура с четырьмя охранными кольцами и пятью полевыми обкладками (а) и зависимость тока коллектора I_C от напряжения на коллекторе V_C для этой структуры (б)

для повышения величины V_{BV} целесообразно рассмотреть комбинирование охранных колец и полевых обкладок и их количества. В представленном здесь примере исследована структура, состоящая из четырех охранных колец и пяти полевых обкладок (рисунок 3 а). На рисунке 3 б приведена полученная зависимость тока коллектора I_C от напряжения на коллекторе V_C для данной структуры.

Напряжения пробоя для такой структуры приближается к более высокой величине – 1150 В.

Закключение

Представлены результаты систематического исследования способов повышения напряжения пробоя биполярного транзистора как элемента IGBT-структуры. Предложена комплементарная методология формирования IGBT-структуры, обеспечивающая повышение величины напряжения пробоя структуры посредством комбинированного применения технологий охранных колец и полевых обкладок.

Идея методологии подтверждена результатами моделирования технологического маршрута формирования IGBT-структуры с оптимизированными конструктивно-технологическими параметрами и ее вольт-амперными характеристиками. Показана возможность достижения напряжения пробоя исследованной структуры до 1150 В, что более, чем в два раза, превышает эту величину для стандартной конструкции IGBT-прибора.

Благодарности

Авторы выражают признательность профессору В.В. Неласу за основополагающие идеи и конструктивные предложения при обсуждении результатов исследований.

Работа выполнялась в рамках задания 1.1.03 подпрограммы «Электроника» Белорусской государственной программы научных исследований «Электроника и фотоника».

Литература:

1. Vellvehi, M. Design and optimization of suitable edge terminations for 6.5 kV IGBTs / M. Vellvehi, D. Flores, X. Jorda,

S. Hidalgo, J. Rebollo, L. Coulbeck, P. Waind, D. Newcombe // *Microelectronics Journal*. – 2002. – 33. – P. 765–769.

2. Еременко, А. Двухмерное приборно-технологическое моделирование. Оптимизация конструкции высоковольтного биполярного рpn-транзистора / А. Еременко, Н.Зайцев, А. Новоселов, И. Романов // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес*. – 2002. – № 4. – С. 58–60.

3. Dodge, J. IGBT tutorial / J. Dodge, J. Hess // *Application Technology APT0201 Rev. B*. – 2002. – July 7. – 15 pp.

4. Dodge, J. Latest technology PT IGBTs vs. power MOSFETs // *Application Technology APT0302 Rev. B*. – 2003. – April 4. – 6 pp.

5. Щукина, И. Новая технология PT IGBT против мощных МОП-транзисторов / И. Щукина, М. Некрасов // *Силовая электроника*. – 2004. – № 1. – С. 14–16.

6. Designing a high-voltage IGBT stucture with TCAD // *The Simulation Standard*. – 2010. – April–June. – P. 1–3.

7. <http://silvaco.com> [Электронный ресурс]: Silvaco. – Электронные данные. – Режим доступа: IWCМ2011_Silvaco.pdf.

Abstract

Power semiconductor devices are important components of electronic systems for energetic application with specific functionality, sizes and cost. Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) is most perspective device between them. Breakdown voltage is the critical characteristic of that device. The influence of structural and technological parameters of the IGBT structure on its breakdown voltage is discussed in the paper. Various techniques are used for the increase of the p-n junction breakdown voltage in conventional practice. The main from these is the formation of either field plates or guard rings and their combined using. Particularity of the proposed complementary methodology is common use of both means provided the change of the electric field distribution in the structure and, consequently, breakdown voltage. Calculations are performed with use Silvaco package intended for device and technology design and simulation of microelectronics circuits and systems.

Поступила в редакцию 26.02.2013 г.

РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОЧАСТИЦ В КОЛЛОИДНОМ РАСТВОРЕ

УДК 53.072.11

Е.П. Микитчук, БГУ, г. Минск

Аннотация

Экспресс-анализ концентрации наночастиц (НЧ) является простой альтернативой электронной микроскопии в процессе синтеза и исследования коллоидных растворов. В статье предложен метод оценки концентрации наночастиц Ag с использованием оптической спектроскопии, рефрактометрии и теории Ми.

Введение

В последние десятилетия наблюдается значительное увеличение числа исследований в области нано- и микро-размерных структур, при этом значительная часть работ посвящена синтезу, исследованию и применению коллоидных растворов наночастиц Ag. Существующая проблема количественной оценки концентрации наночастиц Ag [1] в коллоидных растворах решается путем непосредственного подсчета и статистической обработки данных электронной микроскопии, что требует значительных затрат времени и дорогостоящего оборудования.

В статье предложен метод экспресс-оценки концентрации наночастиц Ag в коллоидных растворах на основе математического моделирования спектров поглощения с использованием компьютерной программы MiePlot v421. Исходные параметры для моделирования получены посредством оптической спектроскопии с помощью спектрофотометра Specord M-40 и оптической рефрактометрии с использованием рефрактометра ИРС 454 БМ. Также в данной статье проведено сравнение результатов оценки концентрации наночастиц Ag в коллоидных растворах, полученной статистической обработкой данных просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и дифракции (ПЭД) с просвечивающего электронного микроскопа ЭМ-125, и оценки концентрации с помощью разработанного метода.

Методика эксперимента

Экспериментальные образцы коллоидных растворов наночастиц серебра были приготовлены боргидридным методом, в котором в качестве неорганического восстановителя НЧ серебра из нитрата серебра (AgNO_3) использовался боргидрид натрия (NaBH_4). В реакционную емкость вводили 5,00 мл раствора AgNO_3 (10^{-3} моль/л), 10,00 мл водного раствора поливинилового спирта (ПВС) 1 % и 37,25 мл дистиллированной воды. Затем к полученному раствору по каплям добавляли 0,32 мл раствора NaBH_4 (10^{-3} моль/л). ПВС использовался в качестве компонента, стабилизирующего гранулярное и структурно-фазовое состояние НЧ серебра [2]. В течение синтеза коллоидного раствора НЧ серебра его окраска с увеличением содержания коллоидного серебра менялась от светло-желтой до коричневой. Синтез НЧ проводился при температуре 20 °С в условиях затемнения и непрерывного перемешивания раствора. Данная методика синтеза обеспечивает протекание следующей химической реакции [3]:



После приготовления, небольшое количество коллоидного раствора НЧ Ag капалось на медную сеточку из стеклянной пипетки с объемом капли 0,04 см³ для дальнейшего анализа с помощью просвечивающей электронной микроскопии. Толщина не высохшей капли была порядка 100 мкм. Далее капля высушивалась при температуре 23 °С.

Экспериментальные исследования

Синтезированные образцы коллоидных растворов наночастиц исследовались на предмет присутствия в них металлического серебра с помощью ПЭД, проведенной непосредственно после приготовления коллоидных растворов и на протяжении всего времени наблюдения. Анализ данных просвечивающей электронной дифракции подтвердил, что химический состав наночастиц не изменялся и соответствовал серебру. Далее проводилось исследование коллоидного раствора с помощью ПЭМ с целью установления формы и размеров НЧ, показавшее, что в коллоидных растворах форма НЧ близка к сферической, а размер НЧ Ag составлял от 27 нм до 40 нм.

Другая группа исследований с помощью оптической спектроскопии и рефрактометрии проводилась с целью разработки метода экспресс-оценки концентрации наночастиц в коллоидном растворе.

Важно отметить, что оптические спектры НЧ Ag в коллоидном растворе характеризуются интенсивным оптическим поглощением в области длины волны 430 нм,

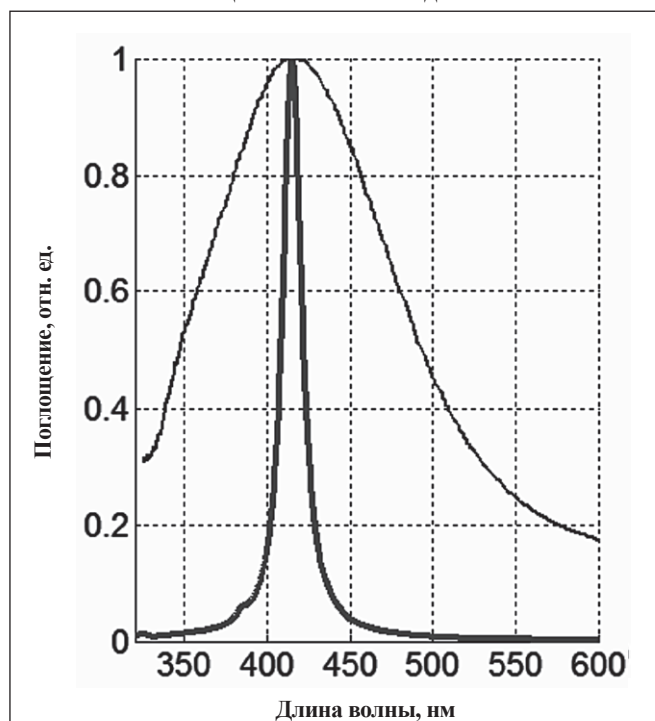


Рисунок 1 – Экспериментальный спектр поглощения (широкая кривая) и теоретический расчет спектра поглощения для монодисперсных наночастиц (узкая кривая)

что соответствует пику поверхностного плазмонного резонанса (ППР) наночастиц Ag [4]. Исследования с помощью рефрактометра позволили определить значение действительной части показателя преломления всего раствора $n_{eff} = 1.3354$. Также для устранения аппаратной погрешности измерялась действительная часть показателя преломления воды, которая составила $n = 1.3330$. Теоретический расчет показал, что коллоидные растворы НЧ Ag состоят на ~98 % из воды, что и объясняет близкие значения показателей преломления воды и раствора. Мнимую часть показателя преломления коллоидного раствора не учитывали ввиду того, что она на пять порядков меньше действительной части [5].

Экспресс-оценка размера наночастиц серебра и объемной концентрации Ag в коллоидном растворе

Расчет концентрации наночастиц Ag в коллоидном растворе проводился с учетом следующих допущений: все НЧ взвешены в растворе и имеют правильную круглую форму; раствор состоит на ~98 % из воды, а сами НЧ окружены слоем стабилизатора, в частности ПВС. Так же считается, что диэлектрическая проницаемость окружения наночастиц под воздействием внешних факторов не изменяется и равняется $\epsilon_d = 1.5300^2$ [3].

Для оценки концентрации НЧ необходимо найти, во-первых, размер наночастиц серебра и, во-вторых, объемную концентрацию Ag в коллоидном растворе. Теория Ми позволяет получить точное аналитическое решение задачи о дифракции плоской волны на сфере [1] с заданным показателем преломления $\epsilon_d \approx n_d^2 \approx 1.5300^2$. Путем варьирования размера наночастиц при моделировании по теории Ми возможно совместить максимум экспериментального спектра поглощения и пик ППР монодисперсных

наночастиц серебра. Совмещение пиков ППР, полученных на основе моделирования по теории Ми и оптической спектроскопии представлены на рисунке 1. Размер наночастиц, при котором смоделированный пик ППР совпадает с максимумом экспериментального спектра поглощения, является оценкой значения среднего размера НЧ в исследуемых коллоидных растворах.

В таблице 1 показаны результаты расчета размера НЧ по микрофотографиям и данные, полученные путем совмещения результатов математического моделирования и оптической спектроскопии.

Таблица 1 – Теоретический и экспериментальный расчет размера наночастиц Ag в исследуемых коллоидных растворах

№ образца раствора	1	2	3	4	5	6
Размер НЧ, нм (на основе микрофотографий)	28	28	28	35	40	35
Размер НЧ, нм (на основе описанной методики)	27	27	27	34	40	33

Для вычисления концентрации НЧ помимо размеров наночастиц, необходимо оценить объемную концентрацию Ag в коллоидном растворе. Известно [5], что в дипольном приближении взаимодействия электромагнитного излучения с наночастицами Ag объемную концентрацию серебра (как вещества) в исследуемых коллоидных растворах можно рассчитать по формуле:

$$p = \frac{(\epsilon_{eff} - \epsilon_d)(\epsilon_{Ag} + 2\epsilon_d)}{3\epsilon_d(\epsilon_{Ag} - \epsilon_d)} \ll 1. \quad (2)$$

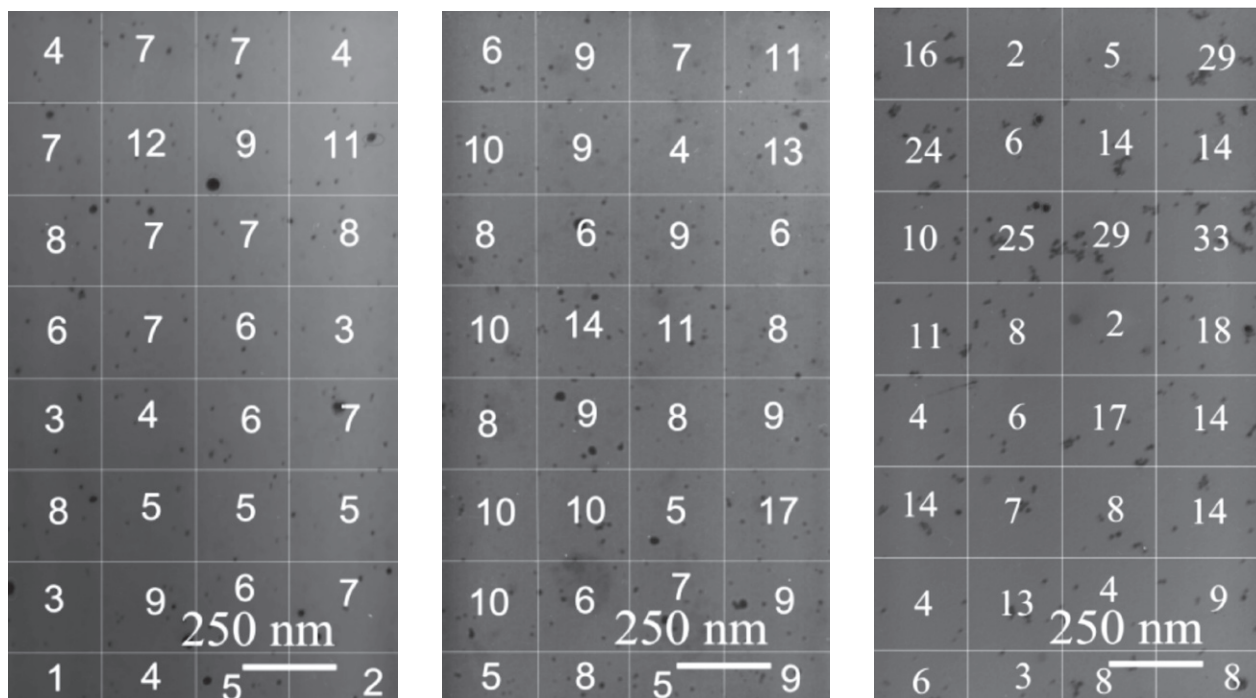


Рисунок 2 – Расчет концентрации НЧ Ag в коллоидном растворе по ПЭМ микрофотографиям. В окружностях показаны скопления НЧ

Посредством оптической рефрактометрии измерялась действительная часть показателя преломления всего коллоидного раствора которая составила $\varepsilon_{\text{eff}} = 1.3354^2$. С использованием табличных данных [6] и оценки среднего размера наночастиц серебра, была получена плазменная частота для исследуемых наночастиц серебра которая, соответственно, составила, а на ее основе рассчитана и диэлектрическая проницаемость ε_{Ag} [6].

Экспресс-оценка концентрации НЧ Ag в коллоидном растворе и сравнение ее с оценкой на основе микрофотографий

На основе данных о размере наночастиц, полученных выше, вычислялся объем одной НЧ. Объемная концентрация серебра, поделенная на объем наночастицы, является концентрацией наночастиц. Результаты расчетов концентрации НЧ дали значения порядка $1,6-2,1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ для образцов №№1–4 и около $1,1-1,6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ для образцов №№5–6.

Оценка концентрации НЧ в коллоидном растворе осуществлялась с помощью данных микрофотографий с использованием следующей формулы:

$$C = \frac{n}{Sk^2h}, \quad (3)$$

где S – площадь рассчитываемого образца, n – количество частиц, k – масштаб исследуемой микрофотографии, h – толщина нанесенной капли ($h \sim 100 \text{ мкм} = 10^{-2} \text{ см}$).

Как отмечалось выше, процесс непосредственного подсчета количества наночастиц проводится по микрофотографиям (рисунок 2). Результаты статистической обработки микрофотографий показаны в таблице 2. Как видно из сравнения результатов экспресс-оценки с данными таблицы 2, концентрации наночастиц, полученные независимыми методами, по порядку величины соответствует друг другу для всех исследованных образцов.

Таблица 2 – Расчет концентрации наночастиц серебра в коллоидном растворе

№ эксперимента	$S, \text{ см}^2$	N	$k, 10^{-7}$	$P, 10^{12} \text{ см}^{-3}$
1	31.99	1332	500	1.67
2	31.59	1439	500	1.82
3	31.63	385	250	1.95
4	31.71	1746	500	2.20
5	31.27	286	250	1.46
6	31.40	193	250	0.98

Заключение

В статье предложен метод экспресс-оценки концентрации наночастиц Ag в коллоидных растворах на основе математического моделирования спектров поглощения с параметрами, полученными посредством оптической спектроскопии и рефрактометрии. Разработанный метод экспресс-оценки концентрации наночастиц Ag в коллоидных растворах показал достаточно хорошее соответствие с данными статистического анализа микрофотографий для концентраций наночастиц в пределах $1,0-2,1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ и может быть использован для быстрой оценки концентрации наночастиц Ag.

Литература:

1. Synthesis and properties of silver nanoparticles: advances and prospects / Yu A Krutyakov [et al.] // Russian Chemical Reviews. – 2008. – №. 3. – P. 233–257.
2. Оленин А.Ю., Лисичкин Г.В. // Успехи химии. – 2011. – Т. 80. – № 7. – С. 635.
3. Сборник Материалов 68-й научной конференции студентов и аспирантов БГУ, Минск, 16–19 мая 2011 г. / БГУ: В.И. Шевцова, Е.П. Мацкевич [и др.] – Минск, 2011. – С. 216–220.
4. Особенности агрегации наночастиц серебра в коллоидных растворах, синтезированных боргидридным методом / Е.П. Мацкевич [и др.] // Вестник БГУ. – 2012. – № 2. – С. 52–56.
5. Bonsak, J. Chemical synthesis of silver nanoparticles for light trapping applications in silicon solar cells: thesis submitted for the degree of master of science / J. Bonsak. – Oslo, 2010. – 137 p.
6. Natalia Del Fatti Arnaud Arbouet, Cyril Guillon, Pierre Langot, Fabrice Vallée [Electronic resource] Mode of access: <http://www.mpi-pks-dresden.mpg.de/~cophen04/Talks>. – Date of access: 25.05.2012.

Abstract

Express estimation of the concentration of nanoparticles using Mie theory and optical spectroscopy is simple alternative to electron microscopy in the synthesis and study of colloidal solutions. In this article method for estimating the concentration of Ag nanoparticles using the methods of optical spectroscopy and refractometry with Mie theory is proposed.

Поступила в редакцию 12.03.2013 г

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Присылайте Ваши статьи на электронный адрес редакции i.asmalouskaya@electronica.by или по адресу 220015, Минск, ул. Пономаренко, 35 А, к. 302 для публикации в журнале «Электроника инфо».

Все статьи должны сопровождаться следующей информацией: название на русском и на английском языках, фамилия и полное имя автора, почтовый адрес и адрес электронной почты, телефон, наиболее подходящая рубрика, в которой вы желаете разместить статью, а также ответ на вопрос: претендуете ли Вы на гонорар за статью.

ИОННО-ЛУЧЕВОЙ СИНТЕЗ КОНТАКТОВ МЕТАЛЛ-GaAs С ПОВЫШЕННОЙ ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬЮ

УДК 621.382.22

Е.В. Телеш, БГУИР, г. Минск

Аннотация

Проведено исследование влияния режимов ионно-лучевого синтеза на воспроизводимость высоты барьера $\Delta\phi_b$ контактов с барьером Шоттки на арсениде галлия. Обнаружено улучшение воспроизводимости $\Delta\phi_b$ с ростом тока мишени. В тоже время изменение ускоряющего напряжения на аноде ионного источника не привело к снижению $\Delta\phi_b$. Установлено, что оптимальная величина тока мишени должна составлять 50–70 мА. Ионная очистка позволила значительно уменьшить разброс величины ϕ_b контактов по сравнению с химической. Проведено исследование влияния ионной бомбардировки растущей пленки металла на параметры контакта Ni/n-GaAs. Установлено, что $\Delta\phi_b$ зависит как от энергии, так и от тока ионного пучка, бомбардирующего пленку металла. Ионная бомбардировка способствовала уменьшению $\Delta\phi_b$. Это связано с уменьшением относительной толщины промежуточного слоя между металлом и арсенидом галлия до $1,48 \cdot 10^{-8}$ м.

Введение

Развитие технологии полупроводниковых приборов и ИС на основе арсениде галлия выдвигает ряд требований по обеспечению их надежности, стабильности и воспроизводимости, которые во многом определяются конструкцией и технологией формирования контактов металл-GaAs с барьером Шоттки. Актуальной проблемой является получение контактов с воспроизводимой по площади подложки высотой барьера ϕ_b [1].

Метод нанесения материала контакта с барьером Шоттки сильно влияет на характеристики получаемых контактов и их воспроизводимость. Это объясняется тем,

что закрепление уровня Ферми на поверхности полупроводника зависит от плотности поверхностных состояний, которая определяется условиями конденсации первых монослоев металла. Одним из перспективных методов формирования контактов с барьером Шоттки является ионно-лучевое распыление [2].

Основными условиями получения высокой воспроизводимости является наличие чистой поверхности полупроводника и формирование на последней качественной пленки металла. Арсенид-галлиевая технология использует различные виды очисток поверхности, однако, ионная очистка является наиболее приемлемой. Ионная бомбардировка GaAs вызывает распыление поверхностных слоев вместе с оксидами, остаточными загрязнениями и адсорбированными газами [3]. Главное преимущество применения ионной очистки – это существенное увеличение воспроизводимости ϕ_b . Так, в работе [4] было проведено исследование влияния ионной очистки на воспроизводимость ϕ_b контакта Au/Ti/n-GaAs. Диоды, изготовленные на травленной ионным распылением поверхности GaAs с последующей термообработкой, обладали $\Delta\phi_b$ не более 10 мэВ, в то же время без ионной очистки – 25 мэВ.

Свойства контакта Шоттки сильно зависят от условий формирования пленки металла, прежде всего от энергии конденсирующихся атомов металла. Введение дополнительной энергии в зону конденсации за счет ионной бомбардировки растущей металлической пленки может существенно изменить параметры контакта. Ионная бомбардировка способствует увеличению адгезии пленки металла к GaAs, снижению уровня загрязнения в пленке и уменьшению ее удельного сопротивления. Важным

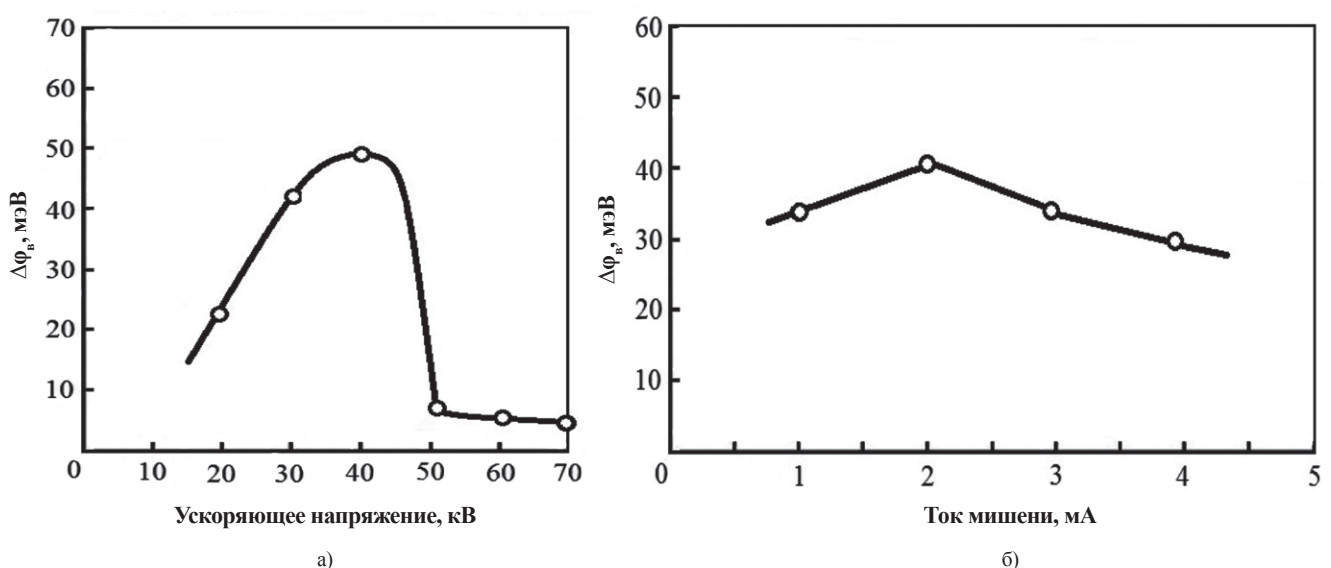


Рисунок 1 – Влияние тока мишени (а) и ускоряющего напряжения (б) на воспроизводимость высоты барьера контактов Al/n-GaAs

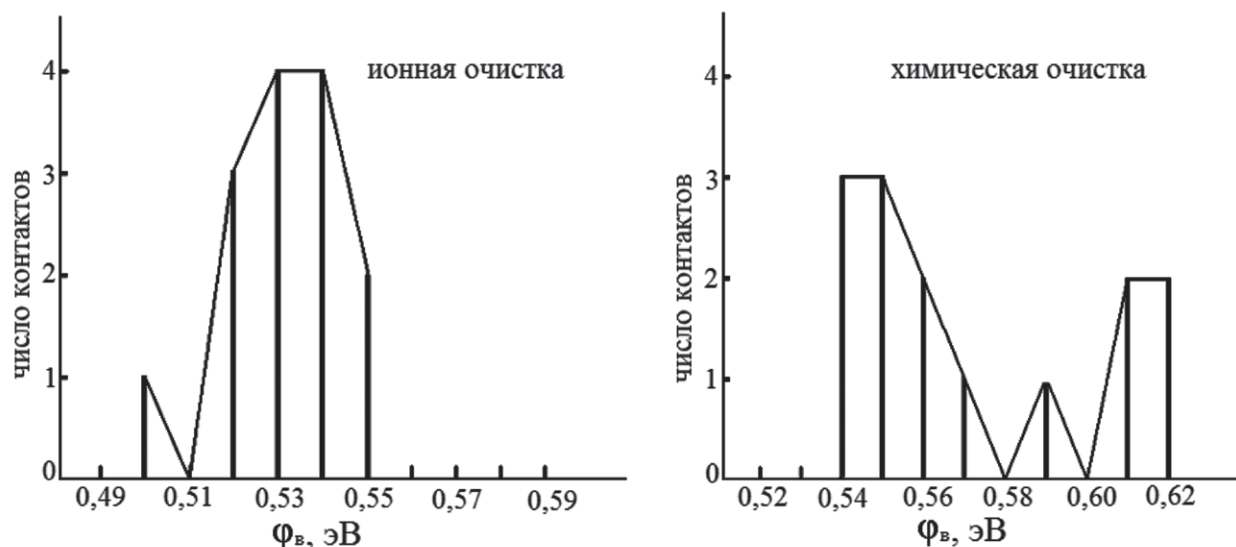


Рисунок 2 – Влияние метода очистки на воспроизводимость контактов

эффектом ионной бомбардировки является образование псевдоморфной границы раздела металл-GaAs за счет радиационно-стимулированной диффузии, что может существенно повысить воспроизводимость характеристик контакта Шоттки.

Задачей исследований являлось изучение влияния режимов ионно-лучевого распыления металлической мишени, ионной очистки поверхности GaAs и ионной бомбардировки растущей пленки металла (ионно-лучевой синтез) на воспроизводимость высоты барьера контакта с барьером Шоттки.

Основная часть

Для исследования влияния режимов ионного распыления на воспроизводимость ϕ_b использовались тестовые образцы, представляющие собой структуры полевых транзисторов с барьером Шоттки. В качестве материала контактов применялся алюминий. Конфигурацию контактов получали взрывной фотолитографией. Перед нанесением металла поверхность полупроводника освежалась в аммиачно-перекисном травителе и промывалась дистиллированной водой.

Воспроизводимость высоты барьера по площади пластины составила 30–40 мэВ и почти не зависела от ускоряющего напряжения (рисунок 1 а). В тоже время ток мишени при распылении оказывает значительное воздействие на характеристики контактов (рисунок 1 б).

Так, увеличение I_m с 30 до 60 мА приводит к снижению разброса ϕ_b с 50 до 3 мэВ. Это, по-видимому, связано с увеличением степени облучения подложки положительно заряженными частицами. При $I_m > 50$ мА плотность потока заряженных частиц в области подложки составляет около 0,3–0,5 мА/см² [5], поэтому оптимальный ток мишени должен быть в диапазоне 50–70 мА.

Исследование влияния режимов ионной очистки на воспроизводимость проводилось с использованием контактной системы Al/TiB₂/n-GaAs. Контакты размером 0,3×0,2 мм² наносились ионно-лучевым распылением. Поверхность GaAs перед нанесением контактов очищалась с использованием травления в аммиачно-перекисном травителе и бомбардировки ионами аргона. Термообработка контактов осуществлялась в вакууме при 573–1173 К в течение 30 мин. Ионная очистка позволила значительно уменьшить разброс величины ϕ_b контактов по сравнению с химической. На рисунке 2 приведены гистограммы распределения ϕ_b при использовании этих методов очистки.

Проведено исследование влияния ионной бомбардировки растущей пленки металла на параметры контакта Ni/n-GaAs. Перед процессом проводилась ионная очистка поверхности арсенида галлия. Результаты экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследований по влиянию ионной бомбардировки на параметры контактов с барьером Шоттки

Режимы ионной очистки		Режимы ионной бомбардировки		j_e , эВ	n	Δj_e , мэВ
U_o , кВ	I_o , мА	U_o , кВ	I_o , мА			
1,0	30	–	–	0,461	1,1	43
1,0	30	1,0	40	0,500	1,08	31
1,0	30	2,0	80	0,512	1,18	23
1,0	30	2,0	120	0,470	1,06	10
1,0	30	3,0	140	0,492	1,1	18

Анализ полученных результатов показывает, что ионная бомбардировка приводит к увеличению высоты барьера контакта по сравнению с ионной очисткой. В то же время влияние бомбардировки на коэффициент идеальности неоднозначно. Исследование воспроизводимости высоты барьера контактов показало, что $\Delta\phi_b$ зависит как от энергии, так и от тока ионного пучка, бомбардирующего пленку ни-

кея. Установлено, что ионная бомбардировка способствует уменьшению $\Delta\phi_b$. Это связано со снижением относительной толщины переходного слоя между GaAs и металлом. Измерение дало значение толщины переходного слоя $1,48 \cdot 10^{-8}$ м [6].

Заключение

Таким образом, результаты исследований показывают, что использование ионно-лучевого синтеза для формирования контактов с барьером Шоттки на арсениде галлия способствует формированию контакта с малой толщиной переходного слоя и, как следствие, повышению воспроизводимости высоты барьера контактов.

Литература

1. Стриха, В.И. Физические основы надежности контактов металл-полупроводник в интегральной электронике / В.И. Стриха, Е.В. Бузанева. – М.: Радио и связь, 1987. – 256 с.: ил.
2. Телеш, Е.В. Ионно-лучевое формирование контактов металл-арсенид галлия / Е.В. Телеш // Взаимодействие ионов с поверхностью: Матер. научно-техн. конф. – Москва, 1993. – С. 121.
3. Lindstrom, C. Cleaning of GaAs surface with low-damage effects using ion beam milling / C. Lindstrom // IEEE, ED-30, 1983. – N 6. – P. 711–713.
4. Sharma, B.L. Metal-semiconductor Schottky barriers junctions / B.L. Sharma, S.C. Gupta // Solid State Technology, 1980. – Vol. 13. – N 5. – P. 165–170.

5. Ланин, В.Л. Формирование токопроводящих контактных соединений в изделиях электроники / В.Л. Ланин, А.П. Достанко, Е.В. Телеш. – Минск: изд. центр БГУ, 2007. – 574 с.: ил.

6. Телеш, Е.В. Исследование влияния ионной бомбардировки на толщину переходного слоя контакта Ni/n-GaAs / Е.В. Телеш // Взаимодействие излучений с твердым телом: Тезисы докл. науч. конф. – Минск, 1995. – С. 96.

Abstract

Examination of influence modes of ion-beam synthesis on reproducibility of barrier height $\Delta\phi_b$ contact electrodes to a Schottky barrier on gallium arsenide is carried out. Reproducibility improvement $\Delta\phi_b$ with growth of a current of a target is revealed. During too time change of an accelerating voltage on the anode of the ion source has not led to decrease $\Delta\phi_b$. Is positioned, that the optimum current magnitude of a target should make 50–70 mA. Ion-cleaning process has allowed to reduce considerably scatter of quantity ϕ_b contact in comparison with the chemical. Examination of influence of ion bombardment of a growing metal film on contact electrode Ni/n-GaAs parametres is carried out. It is positioned, that $\Delta\phi_b$ depends both on energy, and from a current of the ion beam bombarding a film of metal. The ion bombardment promoted reduction $\Delta\phi_b$. It is related to reduction of the relative thickness of interlayer between metal and gallium arsenide to $1,48 \cdot 10^{-8}$ m.

Поступила в редакцию 12.03.2013 г.


БелПлата

тел. +375 17 287 85 66
 факс +375 17 287 85 65
 тел. моб. +375 29 684 43 09
 220068, г. Минск, ул. Некрасова, 114,
 оф. 238, 2 этаж, e-mail: info@belplata.by

Разработка и поставка печатных плат:
любой класс точности, широкий спектр покрытий, изготовление образцов от 5 дней.

Поставка фотошаблонов

Поставка трафаретов:
из нержавеющей стали и латуни.

Материалы для печатных плат:
защитные маски, маркировочные краски, фоторезисты, паяльные пасты.

Поставка изделий из феррита:
любые виды сердечников CI, EE, EEM, EP, EER, ETD, EC, EF, ED, EFD, EI, EPO, EPX, EPC и т.д.

Поставка электронных компонентов:
STMicroelectronics, NXP Semiconductors, Vishay, Holtek Semiconductor.

www.belplata.by

БЕЛОРУССКИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНИКИ



ЭЛЕКТРОКОНТИНЕНТ

Республика Беларусь, 220026, г. Минск, пер. Бехтерева, 8, офис 35
 тел. (+375 17) 205 06 94, 296 31 61, Velcom (+375 29) 115 35 75
 e-mail: info@elcontinent.com
www.elcontinent.by

- КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОНИКИ
- АВТОМАТИЧЕСКИЙ И РУЧНОЙ МОНТАЖ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ
 - ПОСТАВКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ
 - ПОСТАВКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ
- ПОСТАВКА ТРАФАРЕТОВ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ
 - РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОНИКИ НА ЗАКАЗ
 - СВЕТОДИОДНАЯ ПРОДУКЦИЯ :
 - СВЕТОДИОДНЫЕ ЭКРАНЫ, СВЕТОДИОДНЫЕ ТАБЛО,
 - СВЕТОДИОДНЫЕ ВЫВЕСКИ,
 - ТАБЛО "БЕГУЩАЯ СТРОКА", ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТАБЛО,
 - СВЕТОДИОДНАЯ ПРОДУКЦИЯ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ

- Современное оборудование
- Передовые технологии
- Большой положительный опыт – позволяет обеспечить высокое качество нашей продукции
- Оптимальные сроки
- Приемлемые цены

GOOGLE РАСКРЫЛ FCC ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРА В ФОРМЕ ОЧКОВ

Компания Google раскрыла Федеральной комиссии по коммуникациям США (FCC) технические спецификации прототипа носимого компьютера в форме очков Glass и его схематическую диаграмму, однако, попросила комиссию в течение полугода не разглашать отдельные аспекты устройства, включая его фотографии и инструкцию по применению.

Документы описывают прототип Google Glass Explorer Edition ценой 1500 долл. США, предзаказ на который разработчики ПО могли оформить с июня прошлого года. Подача документов в FCC является одной из типовых процедур для вывода нового беспроводного устройства на рынок в США, поэтому западные СМИ сообщают о возможном начале доставки прототипов по предзаказам в ближайшее время.

Компания сообщила FCC ключевые технические характеристики устройства – к примеру, компьютер в форме очков будет поддерживать Wi-Fi-соединение и оснащено модулем Bluetooth 4.0. Кроме того, в Google Glass будет предусмотрена передача звука на основе костной проводимости черепа



с помощью вибрационных датчиков – в результате работа устройства может быть бесшумной для окружающих.

На сайте FCC доступна и схема устройства, однако, фотографии Google Glass и его «начинки», а также инструкцию по применению компания попросила сохранить в тайне на 180 дней. Отметим, что Google подала документы в FCC сразу после первых семинаров для ознакомления разработчиков с Glass, прошедших в Сан-Франциско. До начала этих мероприятий участники подписывали договор о неразглашении деталей Google Glass.

Прототип Glass оснащен небольшим дисплеем, закрепленным на оправе напротив правого глаза носителя, в правую дужку встроен аккумулятор. В устройстве реализованы функции фото- и видеосъемки, а также доступа к онлайн-информации, однако пока не предусмотрены технологии дополненной реальности. Впервые Google показала устройство в апреле 2012 года, а его выход на массовый рынок ожидается не ранее 2014 года.

russianelectronics.ru



ПРОИЗВОДСТВО ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ОАО «МПОВТ»
основано в 1978 году.

Прогрессивное оборудование в сочетании с высоким уровнем технологии и накопленным производственным опытом позволяет изготавливать в серийном производстве по доступным ценам многослойные печатные платы с отличными техническими характеристиками.

Предприятие производит так же сверла и фрезы для обработки печатных плат и широкую гамму изделий из твердого сплава. Изделия и заготовки производятся с допусками, согласованными с заказчиком.

Если Вы нуждаетесь в высококачественных печатных платах, твердосплавном инструменте для их обработки, изделий из твердого сплава – производство печатных плат к Вашим услугам!

ОАО «МПОВТ»
Производство печатных плат

Республика Беларусь
220140, г. Минск,
Ул. Притыцкого, 62

Тел.: (+375 17) 253 65 04
(+375 17) 253 74 32
Факс: (+375 17) 253 60 75

e-mail: contact@mpovt.by
mpovt.by

Технические характеристики изготавливаемых печатных плат:

- Максимальные габариты плат: 460×510 мм;
- Количество слоев – 1÷22;
- Соотношение толщины платы к диаметру отверстия – 6:1;
- Минимальный диаметр металлизированного отверстия – 0,3 мм;
- Минимальная ширина проводников – 0,1 мм;
- Гальваническое покрытие КПК: Ni 6;
- Минимальное расстояние между проводниками – 0,12 мм;
- Покрытие под пайку: HALS;
- Защитная маска: жидкая сеткографическая, жидкая фотоформируемая;

- Обработка контура ПП: фрезерование (ЧПУ), вырубка, скрайбирование;
- Маркировка – сеткографическая.

Приемка плат осуществляется по ГОСТ 23752-79 и в соответствии с техническими требованиями заказчика. Возможно изготовление печатных плат с приемкой «5». На предприятии используются сертифицированные базовые материалы.

ЭФФЕКТ ВНЕДРЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Пономарев Андрей Николаевич родился в 1946 году в Ленинграде. В 1964 году после окончания физико-математической школы поступил на физический факультет Ленинградского Государственного Университета, который и окончил в 1970-м по специальности «инженер-физик».

По окончании ЛГУ в течение полутора лет работал инженером в Центральном Рентгено-Радиологическом Институте в г. Ленинграде. С 1971 по 1973 года – офицер Советской Армии, служил на Дальнем Востоке. Во время службы поступил в заочную аспирантуру ВНИИ Физико-Технических и Радиотехнических Измерений.

С 1974 по 1993 год работал в головном технологическом научно-исследовательском институте радиопромышленности – ЛНПО «Авангард».

В 1979 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидат технических наук – по полной программе, с внедрением разработки нового химического пленочного дозиметра на уровне Госстандарта СССР. Был начальником головного отдела физико-химической технологии, руководителем сектора технологии радиационной микролитографии.

Изобретатель СССР. После распада СССР и упразднения министерства радиопромышленности в 1993 году организовал АОЗТ «Астрин» и занялся созданием производства фуллеренов в России, сначала с неудачными попытками продажи производимых с 1993 года на фирме фуллеренов С-60 и С-70, а затем перешел к проведению



широкого круга НИОКР по практическому использованию фуллеренов и других углеродных нанокластеров в различных задачах прикладного материаловедения.

В 1995–1999 годах участвовал в создании нелинейных оптических сред для ограничения мощного лазерного излучения и в разработке идей фуллерен-кислородного лазера.

В 2003 году Решением аттестационной комиссии МАИС (Пасадена) была присуждена ученая степень доктора науки и техники. После реорганизации АОЗТ «Астрин» в ЗАО «Астрин-Холдинг» спектр прикладных работ расширился и за период

1999–2009 годов по тематике прикладных нанотехнологий в различных изданиях было опубликовано более 80 работ и получено более 14 патентов на изобретения.

С 2005 года головным научным предприятием холдинга является ООО «НТЦ прикладных нанотехнологий», которое возглавляет Андрей Николаевич по настоящее время.

Автор более 140 печатных работ, параллельно в течение 5 лет работал профессором кафедры физики СЗПИ, с 2008 года и по настоящее время – профессор кафедры ТО и ЭС ГОУ СПбГПУ.

С 2008 года – член Президиума Центрального Правления НОР России.

С 1999 года – Действительный член Международной Академии Наук Экологии, Безопасности Человека и Природы.

О проблемах и перспективах развития «Наноиндустрии»

рассказал Андрей Николаевич Пономарев,

Генеральный директор ЗАО «НТЦ Прикладных Нанотехнологий», профессор СПбГПУ,

Вице-Президент Нанотехнологического Общества России.

– Первый вопрос связан с Вашей деятельностью, как действительного члена Международной АН Экологии, безопасности человека и природы. Каким образом «Наноиндустрия» может способствовать улучшению экологии на Земле, ведь не секрет, новые материалы иногда только усугубляют ситуацию. Например, внедрение в практику пластиковой посуды привело к значительному загрязнению природы.

– Во-первых, слово «нанотехнология» совершенно не отражает сути процессов, происходящих в мире науки в последние десятилетия и, само по себе, просто вырвано из контекста. Скорее и правильнее, на мой взгляд, говорить о прикладных аспектах наук, изучающих физико-химические закономерности формирования мезоструктуры вещества. Потребность в этих знаниях продиктована, в первую очередь, необходимостью резкого снижения энерго- и материалопотребления современного производства элементов техносферы обитания человечества.

Повышение свойств материалов, используемых в этом производстве в сотни и тысячи раз, ведут к резкому облегчению

всевозможных конструкций, машин и механизмов и, соответственно, резкому сокращению объема техногенных отходов.

Вот это и есть настоящий экологический эффект внедрения так называемых нанотехнологий.

А рассуждения о возможной канцерогенности наноматериалов и т.п. – это вопросы, возникающие от серьезного непонимания природы окружающей среды, которая состоит отнюдь не только из макрообъектов. Существует довольно простое понятие о ПДК (предельно допустимых концентрациях) самых разных веществ, как простых, так и сложных. Для наноразмерных материалов, которые нас окружают и окружали задолго до появления этих модных теперь слов, существуют (или будут установлены) ограничения по их абсолютному количеству на рабочих местах. Вот, собственно, и все.

– Что мы ожидаем от «Наноиндустрии» в самом широком смысле?

– От «наноиндустрии» в широком смысле мы и ожидаем резкого снижения экологической нагрузки от всех

видов производств на окружающую природу и повышение комфортности среды обитания человечества. Ну и, конечно же, прогресса в расширении номенклатуры всевозможных объектов техники, стремительно входящих в наш мир. Что касается оптимизма в настроениях относительно энергетических революций – здесь лично я был бы более сдержан, но зачастую реальное развитие науки опережает самые смелые фантазии.

– Какие проблемы «Наноиндустрия» ставит перед современным обществом?

– Эти самые, так всеми ожидаемые, перспективы развития наноиндустрии, в первую очередь, ставят серьезнейшие задачи по совершенствованию образования и подготовки квалифицированных кадров в области естественных наук. При этом, отмечу, что имеющиеся тенденции по переходу рычагов управления в руки юристов и экономистов могут поставить жирный крест на этих надеждах, поскольку подготовить хорошо и складно вещающих что-то специалистов в этих ремеслах можно довольно быстро, а подготовить и развить научные школы в естественных науках – это десятилетия упорной последовательной работы. Т.е. главный вызов времени сейчас – успеть обучить и подготовить тех людей, которые смогут понять и принять вновь формирующиеся представления о материальном мире и сумеют приложить

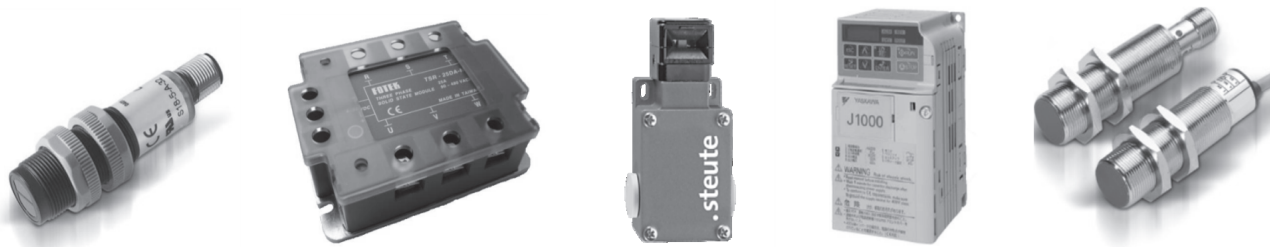
себя в поле тех возможностей, которые так стремительно открываются перед нами.

– Что ожидает электронная отрасль России от широкого внедрения нанотехнологий? Есть ли уже в этой сфере существенные достижения?

– Электронная отрасль России за последние двадцать лет чуть было не прекратила свое существование вообще, если понимать под этим термином тенденции в отечественной планарной электронике. Однако, именно достижения экспериментальной физики в области понимания характера поведения мезоструктур вещества показывают ростки совершенно новых подходов в архитектуре функциональной электроники, возможно, вовсе и не планарной. Например, появились данные об аномально сильных полосах поглощения некоторых новых нанокластеров в терагерцовой области частот. А раз есть интенсивные полосы поглощения, то, возможно, и интенсивное излучение в этой новой, мало освоенной области электромагнитных колебаний и волн. Создание малогабаритных когерентных источников такого рода уже не кажется утопией. А ведь это – уже дорога к новым средствам диагностики окружающего мира и к новым средствам обработки информации. И прогнозировать что-то при высоком темпе появления новых знаний – дело неблагодарное. Эксперимент и жизнь покажут.

VECTOR OF TECHNOLOGIES

**Предлагаем поставки со склада и под заказ:
ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ, СЕРВОДВИГАТЕЛЕЙ,
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, ИНДУКТИВНЫХ ДАТЧИКОВ, ФОТОДАТЧИКОВ,
ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ РЕЛЕ И ДРУГОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ОТ ВЕДУЩИХ МИРОВЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ.**



**Компания «Вектор Технологий»
является официальным дистрибьютором
на территории Республики Беларусь компаний
YASKAWA, DATALOGIC, STEUTE, FDTEK, WEG и VIPA.**

Наши специалисты с радостью помогут решить ваши задачи.
Tel: +375-17-265-60-15, fax: +375-17-265-60-16, mob: +375-29-685-60-15
Web: <http://www.vec-tech.by>

НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА: ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА, ПРИМЕНЕНИЕ

Е.П. Микитчук, г. Минск

Введение

В последние десятилетия стремительно развиваются исследования в области физики низкоразмерных структур. Наноструктурированные материалы являются объектом растущего интереса для фундаментальной и прикладной науки [1–16], поскольку, с уменьшением характерных размеров их структурных единиц до наноуровня они зачастую приобретают новые свойства, обусловленные квантово-размерными эффектами и возрастающей ролью поверхностных атомов и взаимодействий [3–5].

Устойчивый интерес к коллоидным растворам наночастиц серебра в течение последних десятилетий [4] обусловлен их уникальными свойствами и возможностью практических применений. Современный интерес к этой наиболее динамично развивающейся области физики связан как с принципиально новыми фундаментальными научными проблемами и физическими явлениями, так и с перспективами создания на основе уже открытых явлений совершенно новых квантовых устройств и систем с широкими функциональными возможностями для медицины и биологии, опто- и наноэлектроники, измерительной техники, информационных технологий нового поколения, средств связи [1–15].

Стабильность характеристик таких структур является одним из условий их применимости. Известно [3], что наночастицы (НЧ) серебра легко окисляются и агрегируют даже при относительно невысоких температурах. В первую очередь, стабильность характеристик коллоидных растворов определяется методами их получения, типом стабилизирующего вещества, а также зависит от температуры и других условий формирования и хранения. Из перечисленного необходимо выделить оптическое облучение, как фактор постоянного действия. Роль оптического облучения в изменении формы и размеров НЧ серебра исследовалось в недавних работах [3], [4]. В частности, сообщалось об особенностях трансформации формы НЧ серебра от сферической к призматической при оптическом облучении коллоидных растворов частиц серебра, полученных цитратным методом. В качестве возможных механизмов этого процесса рассматривались как кинетические процессы на поверхности частиц (ориентационная зависимость кристаллического роста), так и изменение энергетических состояний на границе раздела НЧ/раствор. В последнем случае поглощение фотонов может приводить к агрегации и формированию сложных ансамблей частиц. Вместе с тем, необходимо отметить, что литературные данные по исследованию процессов трансформации НЧ в коллоидных растворах при оптическом облучении достаточно противоречивы и разрознены.

1 Первые применения наночастиц

Металлические наночастицы из-за своих уникальных оптических свойств нашли широкое применение еще в древности [1]. Самый известный пример – чаша Ликурга, изготовленная в 4 веке н.э. Исследование чаши показало,

что ее стекло содержит наночастицы серебра и золота с диаметром от 50 нм до 100 нм [2] (рисунок 1.1). Именно они отвечают за необычную окраску кубка. Это явление объяснено так [3]: «Благодаря плазмонному возбуждению электронов металлических частиц, распределенных в стекле, чаша поглощает и рассеивает синее и зеленое излучение видимого спектра (короткие волны). Когда источник света находится снаружи чаши, и мы видим отраженный свет, то рассеяние, обусловленное эффектами взаимодействия оптического излучения с плазмонами, придает чаше зеленоватый цвет. Когда источник света внутри чаши, то она кажется красной, поскольку стекло поглощает синюю и зеленую составляющие спектра, а более длинная красная проходит».

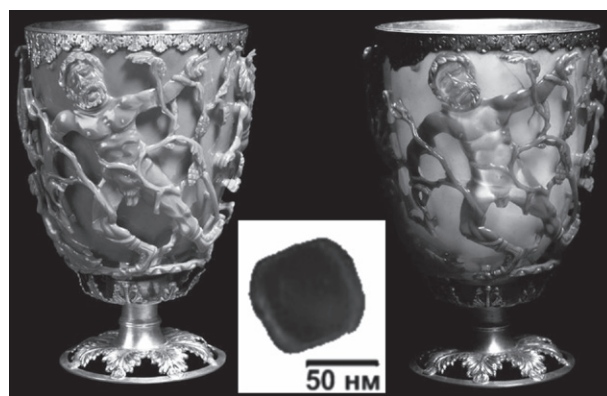


Рисунок 1.1 – Чаша Ликурга меняет свой цвет в зависимости от того, где находится источник света: снаружи (слева) или внутри (справа). Посередине рисунка – наночастицы из образца стекла чаши Ликурга [2]

1.2 Применение наночастиц серебра

Как было отмечено выше, важным свойством металлических наночастиц является проявление оптических свойств, связанных с колебаниями электронов проводимости в НЧ и взаимодействием этих колебаний со светом [4] с последующим возбуждением плазмонных колебательных мод. Данная особенность и способность серебрянных наночастиц не разрушаться под действием длительного облучения позволили наночастицам серебра и коллоидным растворам на их основе найти широкое применение в современной науке и технике [5–16].

Среди наиболее значительных областей применения НЧ и коллоидных растворов НЧ Ag следует выделить:

- диагностику и лечение опухолей [5], [6];
- создание антибактериальных препаратов широкого спектра действия [7], [8];
- создание эффективных спектрально-селективных покрытий [9, 10];
- создание коллоидных чернил с НЧ Ag, обладающих устойчивым дисперсионным составом в долговременной перспективе [11];

- контроль ДНК наноразмерных объектов путем исследования комбинационного рассеяния НЧ в растворах [13];
- образование гибридных наноструктур на основе ДНК и их идентификация [14], [15];
- увеличение адгезии при использовании покрытий, включающих в свой состав НЧ Ag [16] и др.

1.3 Применение коллоидных растворов наночастиц серебра в медицине и биологии

Развивая тему использования наночастиц и коллоидных растворов, следует отметить, что в современной литературе наблюдается стремительное оживление интереса исследователей к проблемам применения НЧ в современной медицине [5–8]. В частности, НЧ применяются для диагностики и лечения злокачественных опухолей.

Известно [17], что за счет плазмонного резонанса НЧ отлично нагреваются инфракрасным светом подходящей частоты. Частота резонансных колебаний электронов связана с размером наночастицы и такова, что может возбуждаться электромагнитными колебаниями оптического излучения. В частности, волны ИК-излучения достаточно свободно проходят сквозь тело человека. Если ввести в организм к раковым клеткам препарат из металлических наночастиц (Ag, Au) с прикрепленными к ним антителами, то антитела прочно прикрепляются к раковым клеткам наночастицы. Под действием импульсов ИК-лазера наночастицы нагреваются и, расширяясь уничтожают раковые клетки (рисунок 1.2). Процесс сопровождается появлением ультразвука, который можно легко зафиксировать.

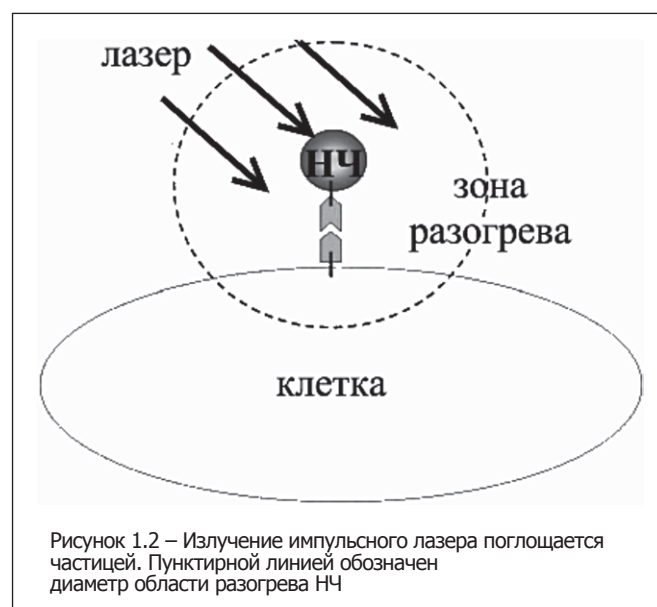


Рисунок 1.2 – Излучение импульсного лазера поглощается частицей. Пунктирной линией обозначен диаметр области разогрева НЧ

Из литературных источников [7], [8] следует, что наночастицы серебра размером до 25 нм имеют чрезвычайно большую удельную площадь поверхности, что увеличивает область контакта серебра с бактериями или вирусами, значительно улучшая его бактерицидные действия. Таким образом, применение серебра в виде наночастиц позволяет в сотни раз снизить концентрацию серебра с сохранением всех бактерицидных свойств. Бактерицидная добавка на основе наночастиц серебра является одним

из последних достижений отечественной науки в области нанобиотехнологии [18] (например широко используемый препарат протаргол).

1.4 Применение коллоидных растворов наночастиц серебра в фотовольтаике

Другой значительной областью применения наночастиц является фотовольтаика. В качестве примера необходимо отметить исследования группы ученых из университета Нового Южного Уэльса, где был предложен способ повышения эффективности тонкопленочных солнечных батарей (до 13–15 %). На поверхность солнечной батареи наносится тонкая пленка серебра толщиной порядка 10 нм, который затем нагревается до температуры 200 °C [9]. При этой температуре сплошная пленка разрушается, превращаясь в островки сплюснутой сферической формы диаметром около 100 нм. Падающий на эти островки свет (электромагнитное излучение) вызывает в серебряных наночастицах коллективные колебания свободных электронов (плазмонов). Плазмоны переизлучают свет в нижележащий слой кремния, что в целом увеличивает поглощение света солнечной батареей.

2 Основные свойства наночастиц серебра и их коллоидных растворов

Особое значение в физико-химических, медицинских и биологических исследованиях уделяется оптическому воздействию и оптическому манипулированию наночастицами [19]. Данная тематика во многих аспектах исследований на сегодняшний день является актуальной и одновременно малоизученной [4].

При уменьшении размеров металлических частиц происходит изменение их оптических свойств. Объяснение этого эффекта обычно описывается двумя различными подходами: первый говорит о квантовании энергии [20], второй рассматривает оптические характеристики наночастиц с точки зрения поверхностного плазмонного резонанса [4]. Далее в работе рассматривается именно этот аспект наночастиц серебра.

2.1 Плазмоны

Плазма – среда с практически равными концентрациями положительных и отрицательных зарядов, из которых хотя бы один тип заряда подвижный. Плазмоны – кванты колебаний плазмы.

Плазмоны связывают с частицами, которые имеют металлические свойства, т.е., которые имеют свободные электроны. Поэтому рассмотрим металлические наночастицы серебра при условиях равновесия их подвижных отрицательных зарядов и стабилизированных в решетке положительных ионов (катионов). Данная модель известна как модель «желе в металлах» [3]. Введение внешнего электромагнитного поля приводит к неоднородному распределению зарядов (кулоновскому взаимодействию) и, следовательно, внутреннему полю НЧ (рисунок 2.1).

Подвижные электроны проводимости частиц (электронное облако) сместятся относительно положительно заряженных ионов металлов решетки [21]. Это смещение (рисунки 2.2, 2.3) носит коллективный характер, при котором движение электронов согласованно по фазе. Если размер частицы много меньше длины волны падающего

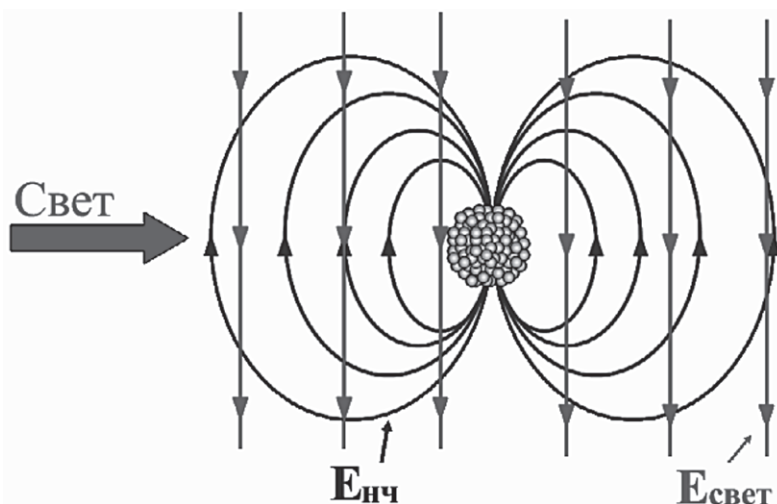


Рисунок 2.1 – Электрическое поле падающего света и электронные колебания вблизи наночастиц

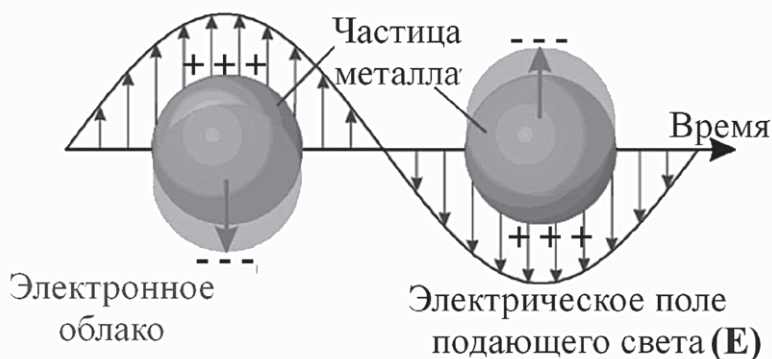


Рисунок 2.2 – Смещение электронного облака относительно ядер при плазменных колебаниях

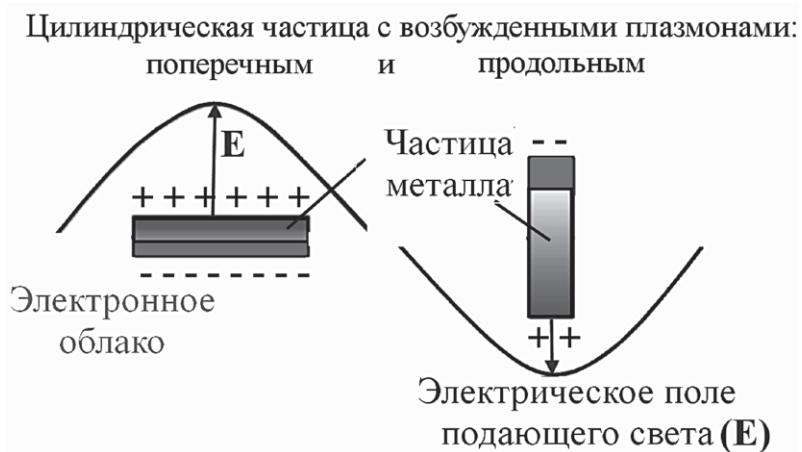


Рисунок 2.3 – Схема образования поверхностного плазмонного резонанса для наночастиц в виде стержней (цилиндров)

света, то перемещение электронов приводит к возникновению диполя. В результате возникает сила, стремящаяся вернуть электроны в положение равновесия. Величина возвращающей силы пропорциональна величине смещения, как для типичного осциллятора [20], поэтому можно говорить о наличии собственной частоты коллективных колебаний электронов в частице. Если частота колебаний падающего света совпадает с собственной частотой колебаний свободных электронов вблизи поверхности металлической частицы, наблюдается резкое увеличение амплитуды колебания электронной плазмы, квантовым аналогом которой является плазмон [22]. Данное явление получило название поверхностный плазмонный резонанс.

2.2 Поверхностные и объемные плазмоны

Различают плазмоны, которые существуют в объеме и на поверхности металлов [23].

Объемные плазмоны – колебания электронов проводимости внутри ионной решетки кристалла. Для таких плазмонов рассматривают продольные колебания свободных электронов в металлической бесконечной среде. Частота такого коллективного колебания называется плазменной частотой ω_p и имеет вид [24]:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{nq^2}{\epsilon_0 m}}, \quad (2.1)$$

где n – концентрация электронов, q – заряд электрона, m – масса электрона, ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость среды.

Объемные плазмоны не дают вклад в оптические свойства поверхностных плазмонов твердых тел. Также вероятность возбуждения плазмонов в объеме материала мала, так как энергия света дает слишком малый импульс электрону в кристалле. Таким образом, электроны проводимости при облучении светом в оптическом диапазоне просто возвращаются в состояние равновесия [4].

Поверхностный плазмон – колеблющийся диполь, образовавшийся вблизи поверхности при смещении электронов проводимости. В достаточно малых системах (наночастицах) электроны «чувствуют» присутствие границ и изменяют соответствующим образом свое коллективное поведение. Поверхностные плазмоны могут быть возбуждены в тонких пленках [25]. Аналогичный объемному плазмону в пленке – это плазмон, ограниченный подвижными электронами поверхности. При возбуждении таких плазмонов (поверхностных возмуще-

ний), связанных с фотонами, и происходит образование квазичастиц поверхностных плазмонных поляритонов. Существуют два важных различия ПППл и фотона: во-первых, ПППл и захваченный фотон имеют разные импульсы, во-вторых электромагнитные поля ПППл, вызванные колебаниями фотона, имеют свой максимум на поверхности и экспоненциально затухают в глубину [26]. Можно сказать, что ПППл – это безызлучательные волны на поверхности (рисунок 2.4).

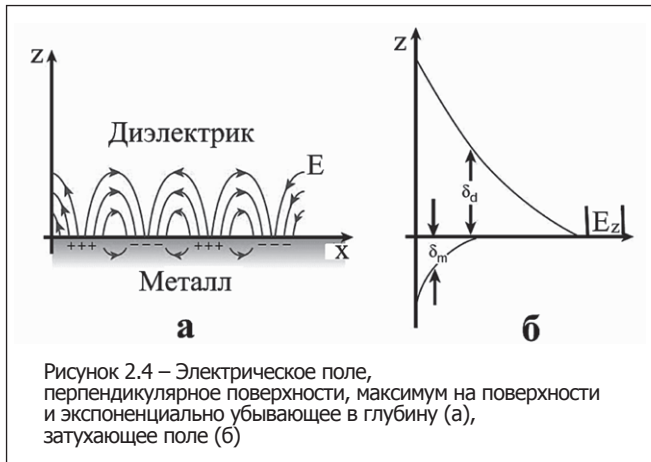


Рисунок 2.4 – Электрическое поле, перпендикулярное поверхности, максимум на поверхности и экспоненциально убывающее в глубину (а), затухающее поле (б)

В плоских металлических поверхностях возбуждение ПППл возможно только в слое металл-диэлектрик при помощи специальной конфигурации электромагнитного поля, которая обеспечивает заданный волновой вектор, соответствующий длине света поверхностной волны.

Рассмотрим плоскую металлическую поверхность. Введем кривизну или шероховатость этой поверхности – ограничение в конфигурации, с которой связаны поверхностные плазмоны, что приведет к возбуждению плазмона. ПППл распространяется как поверхностная волна вдоль поверхности раздела между тонкой, плоской металлической пленкой и диэлектриком.

Локализованный поверхностный плазмон расположен вблизи поверхности металлических объектов, таких как малые частицы металлов или пустоты в металлических конструкциях. ЛПП характеризуются частотами, которые зависят от размера, формы и диэлектрической проницаемости объекта, где ограничен поверхностный плазмон. ПППл может быть возбужден только в том случае, если частота и волновой вектор возбуждающего света совпадают с частотой ПППл. В отличие от ПППл, ЛПП может быть возбужден резонансным светом соответствующей частоты (и поляризации), независимо от волнового вектора возбуждающего света [27].

Для возбуждения ЛПП нужно, чтобы геометрия, в которой ограничен плазмон, была конечна и определенного размера. Изменения в размере и форме конфигурации будут влиять на интенсивность, а так же и на сдвиг пика рассеивания частицами или металлическими поверхностями. Интерпретация ЛПП действительна только тогда, когда размер частицы много меньше длины волны возбуждающего света. Рассматривая малую частицу металла, будем считать положительные заряды фиксированным, а отрицательные заряды движущимися под действием внешнего поля. Это внешнее поле теперь будет приводить к смещению поло-

жительных и отрицательных зарядов, как это показано на рисунке 2.4. Электрическое поле $\vec{E}(t) \approx \text{const}$ световой волны на наночастице называют квазистатическим, если оно взаимодействует с наночастицей с размером много меньше длины волны. Дипольный момент наночастицы определяется следующим образом [24]:

$$\vec{p} = \epsilon_m \epsilon_0 \alpha \vec{E}, \quad (2.2)$$

где ϵ_0 – диэлектрическая постоянная вакуума, ϵ_m – диэлектрическая проницаемость наночастицы, α – поляризуемость частицы.

Внутреннее поле наночастицы имеет вид [28]:

$$E_i = E_0 \frac{3\epsilon_d}{\epsilon_m + 2\epsilon_d}, \quad (2.3)$$

где ϵ_d – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрической среды, в которой расположены наночастицы, ϵ_m – комплексная относительная диэлектрическая проницаемость частицы, которая определяется как $\epsilon_m = \epsilon'_m + i\epsilon''_m$. Это связано с комплексным показателем преломления $N = n + ik$, где $\epsilon'_m = n^2 - k^2$ и $\epsilon''_m = 2nk$. В данном случае действительная часть n описывает поляризуемость, мнимая часть k связана с поглощением и рассеиванием энергии частицы [29].

Мнимая часть показателя преломления может быть непосредственно связана с коэффициентом поглощения. Материалы, имеющие отрицательные значения для действительной части показателя преломления обладают высокой отражательной способностью и малой диссипацией (рассеиванием), т.е. $\epsilon''_m / \epsilon'_m \ll 1$. Металлические наночастицы демонстрируют данное свойство при частоте, ниже плазменной частоты для макрообразца [30].

Чаще всего используется дипольное приближение для рассматриваемого взаимодействия и считается, что электроны приводятся в движение с поверхности частицы, как показано на рисунке 2.4. Данное приближение, однако, применимо только к очень мелким частицам, т.к. когда частицы станут больше, то на распределение заряда будут влиять и мультиполи высших порядков [31]. При более подробном анализе поляризацию сферы можно найти таким образом:

$$\alpha = 3V\epsilon_0 \frac{\epsilon_m - \epsilon_d}{\epsilon_m + 2\epsilon_d}, \quad (2.4)$$

где V – объем частицы.

Поляризуемость самая большая, когда знаменатель в уравнении (2.4) равен нулю или как можно меньше. Из уравнения (2.4) видно, что происходит сильное взаимодействие сферы с полем на той частоте, где $|\epsilon_m + 2\epsilon_d|$ минимальная величина. Эта частота соответствует поверхностному плазмонному резонансу и определяется по формуле:

$$\omega_{sp} = \frac{\omega_p}{\sqrt{1 + 2\epsilon_d}}. \quad (2.5)$$

В случае пустот в объеме металла, частоту ЛПП частиц $\omega_{particle}$ и полостей ω_{void} той же самой формы можно оценить друг относительно друга, они связаны как [32]:

$$\omega_{particle}^2 + \omega_{void}^2 = \omega_p^2. \quad (2.6)$$

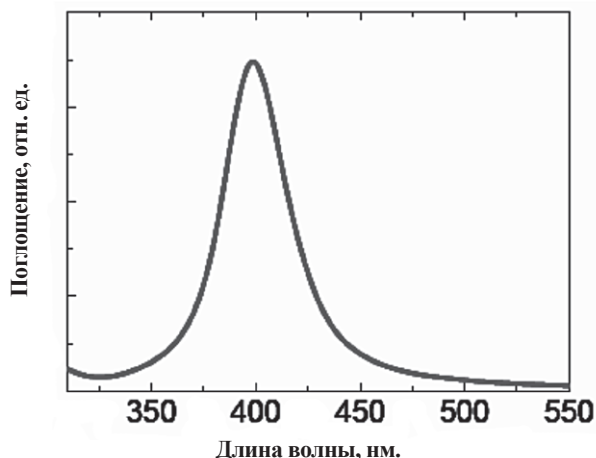


Рисунок 2.5 – Оптический спектр поглощения наночастиц серебра с диаметром 10 нм, встроенных в кварцевое стекло

Так как ЛПП заключен между частицами, это может привести к селективности поглощения фотонов, рассеянию и значительному усилению электромагнитного поля в окрестностях частиц, тогда объем, в котором локализован плазмон, получается очень малым.

Усиление в 100–10 000 раз падающего поля наблюдается около малых металлических наночастиц с пространственным разрешением порядка 10–50 нм [3].

2.3 Поверхностный плазмонный резонанс

В спектре поглощения света наноразмерными частицами появляется пик ППР [4]. Для частиц благородных металлов, в частности серебра, с размером порядка 10–100 нм ППР наблюдается в видимой области спектра и в ближнем инфракрасном диапазоне (рисунок 2.5).

Положение и интенсивность пика ППР зависит от размера, формы наночастиц и локального диэлектрического окружения (рисунки 2.6–2.7).

Эмпирическая зависимость параметров пика ППР позволяет настроить его в соответствии с областью применения. Следует отметить, что плазменная частота металла и показатель преломления окружающей среды определяют положение максимума поглощения коллоида, а его амплитуда зависит от объемной доли металла, полуширина же определяется частотой электронных столкновений, которая зависит от размера наночастиц.

2.4 «Настройка» плазмонного резонанса

Одним из больших преимуществ металлических наночастиц является то, что их оптические свойства сильно зависят от материала, размера и формы частиц, которые в свою очередь позволяют настроить резонансный пик в соответствии с областью применения. Помимо характеристик одиночных частиц, среда, в которой частицы рассеивают, также имеет отношение к оптическим свойствам. Расстояние между соседними частицами, а также показатель преломления окружающей среды влияют на спектральные свойства.

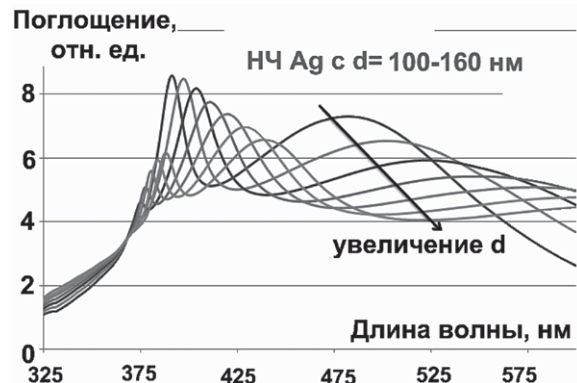
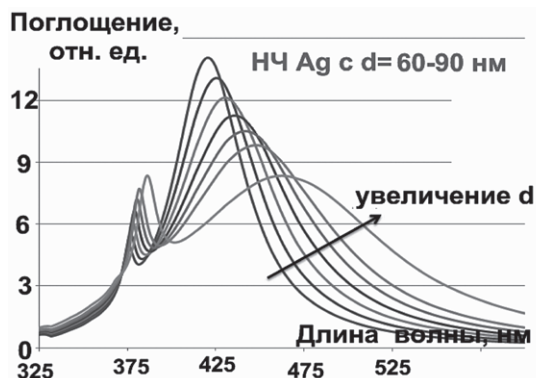
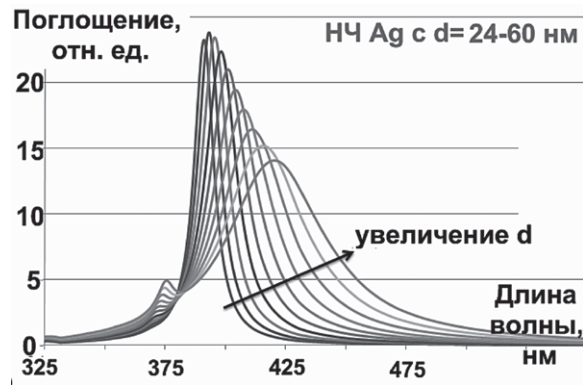
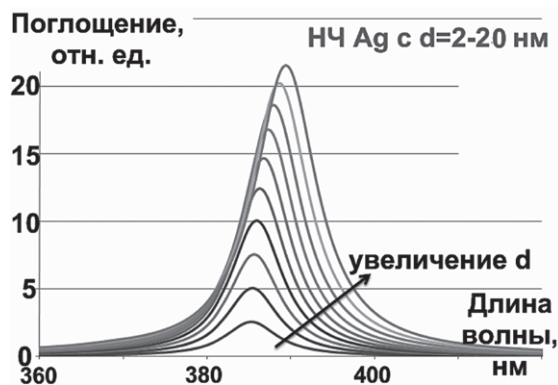


Рисунок 2.6 – Моделирование по теории Ми сферических наночастиц серебра в воде: увеличение размера НЧ дает изменение в спектре поглощения коллоидных растворов наночастиц серебра

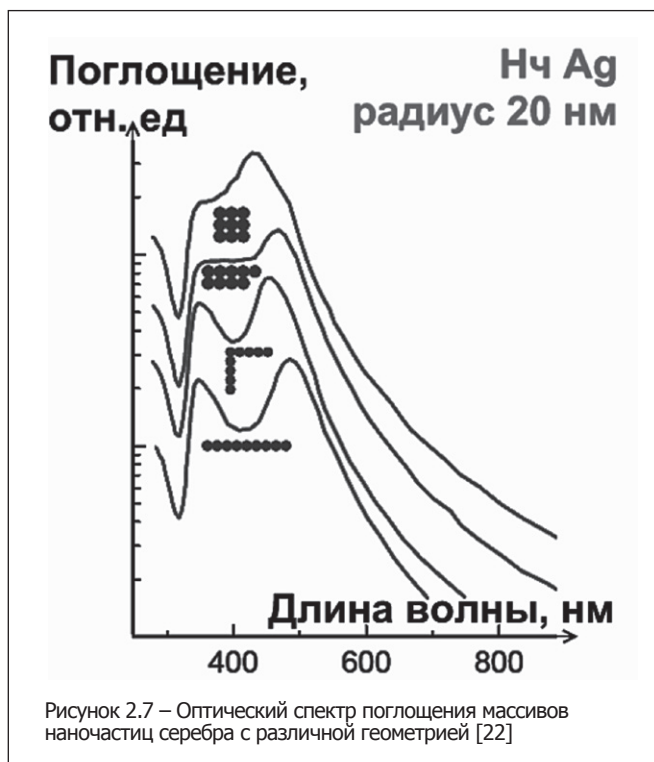


Рисунок 2.7 – Оптический спектр поглощения массивов наночастиц серебра с различной геометрией [22]

2.4.1 Выбор материала наночастиц

Поскольку частота поверхностного плазменного резонанса частиц в основном зависит от концентрации свободных электронов в частице, резонанс может быть смещен путем изменения материала. Частота поверхностного плазменного резонанса смещается в красную область с уменьшением плотности свободной энергии электронов, это является причиной существования ППР для серебра в видимой части спектра [3].

Рисунок 2.8 показывает диэлектрическую проницаемость серебра. У сферических серебряных и алюминиевых частиц есть интенсивные поверхностные плазмонные пики поглощения, потому что ϵ_m малая величина при частоте, на которой $\epsilon_m = -2$, в то время как золото и медь поглощают сильнее из-за большего значения ϵ_m [36].

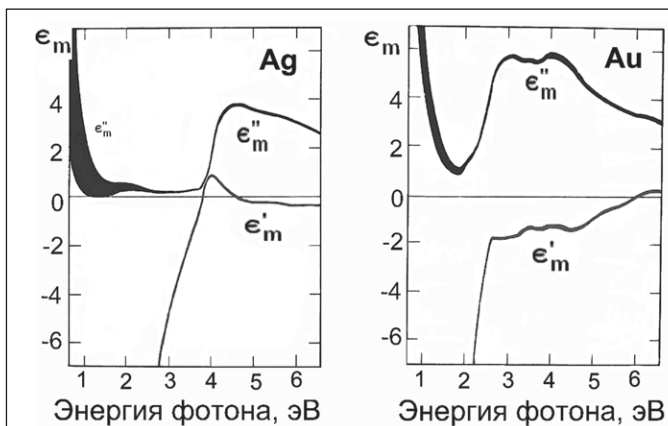


Рисунок 2.8 – Диэлектрическая проницаемость серебра и золота, где действительная часть (ϵ'_m) показана тонкой линией и мнимая часть (ϵ''_m) – широкой линией. Ширина кривых представляет инструментальную погрешность измерений [24]

2.4.2 Размер и форма частиц

Уменьшение размеров частиц накладывает ограничения на длину свободного пробега электронов из-за того, что частицы имеют границы [37]. Это приводит к тому, что пик поглощения становится более резким (крутым). Но как только частицы увеличиваются, происходит увеличение и интенсивности резонансного пика из-за роста сечения экстинкции, при этом, никакого существенного сдвига резонансной частоты не наблюдается. Как только диаметр частицы достигает определенного значения в зависимости от диэлектрических свойств материала, то резонансный пик расширяется и сдвигается в сторону меньших энергий (больших длин волн) из-за эффектов запаздывания и возбуждения мультиполей более высоких порядков [18]. Эти мультипольные возбуждения наблюдаются в виде плеч или отдельных пиков в спектрах поглощения [4].

Путем изменения размеров и форм частиц, нормированная экстинкция может быть настроена на большой диапазон [38]. Этот диапазон лежит в интервале от ближнего УФ до дальней ИК-области (до 4000 нм).

2.4.3 Влияние диэлектрической среды

Как видно из уравнения (2.4) для плазмонного резонанса, диэлектрическая проницаемость окружающей среды играет большую роль в определении поляризуемости металлических частиц. Увеличение диэлектрической проницаемости снижает частоту поверхностных плазмонов и, следовательно, происходит красное смещение резонанса [2, 18].

Литература:

1. Agarwal, A. Optical Properties and Application of Metallic Nanoparticles and their assembled superstructures: a dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy / A. Agarwal. – Michigan, 2010. – 145 p.
2. An investigation of the origin of the colour of the Iycurgus cup by analytical transmission electron microscopy / D.J. Barber // Archaeometry. – 1990. – N 1. – P. 33–45.
3. Bonsak, J. Chemical synthesis of silver nanoparticles for light trapping applications in silicon solar cells: thesis submitted for the degree of master of science / J. Bonsak. – Oslo, 2010. – 137 p.
4. Особенности агрегации наночастиц серебра в коллоидных растворах, синтезированных боргидридным методом / Е.П. Мацкевич [и др.] // Вестник БГУ. – 2012. – № 2.
5. The Promise of Plasmonics / H.A. Atwater // Scientific American. – 2007. – N 296. – P. 56–62.
6. Development of Nanoparticles for Antimicrobial Drug Delivery / L. Zhang [et al.] // Current Medicinal Chemistry. – 2010. – N 6. – P. 585–594.
7. Synthesis and antibacterial properties of silver nanoparticles / C. Baker [et al.] // J Nanosci Nanotechnol. – 2005. – N 2. – P. 244–249.
8. Nanotechnology in medicine and antibacterial effect of silver nanoparticles: / M. Singh [et al.] // Journal of Nanomaterials and Biostructures. – 2008. – N 3. – P. 115–122.
9. Нанотехнологическое сообщество [Электронный ресурс] / Новые солнечные батареи увидят свет. – Минск, 2011. – Режим доступа: http://www.nanometer.ru/2007/04/28/solar_cell.html. – Дата доступа: 25.05.2012.
10. Microwave absorber based on silver nanoparticle-embedded polymer thin film / G.V. Ramesh [et al.] // Journal Nanosci Nanotechnol. – 2009. – N 9 – P. 261–266.

11. Preparation of aqueous Ag Ink with long-term dispersion stability and its inkjet printing for fabricating conductive tracks on a polyimide film / S. Jeong // Journal Appl. Phys. – 2010. – N 10. – P. 102–805.
12. Plasmonic nanostructure design for efficient light coupling into solar cells / V. E. Ferry [et al.] // Nano letters. – 2008. – N 12. – P. 4391–4397.
13. Plasmonic nanostructure design for efficient light coupling into solar cells / V. E. Ferry [et al.] // Nano letters. – 2008. – N 12. – P. 4391–4397.
14. Optoelectronic Signatures of DNA-Based Hybrid Nanostructures / M. Vasudev // Nanotechnology. – 2011. – N 1. – P. 35–43.
15. Shaping hybrid nanostructures with polymer matrices: the formation mechanism of silver-polypyrrole core/shell nanostructures formation of hybrid nanostructures based on DNA nanoparticles Ag / D. Muñoz-Rojas [et al.] // Journal of Materials Chemistry. – 2011. – N 7. – P. 2078–2086.
16. New Strategies in the Development of Antimicrobial Coatings: The Example of Increasing Usage of Silver and Silver Nanoparticles / L.W. Menno // Polymers. – 2011. – N 3. – P. 340–366.
17. Медицинская информационная сеть [Электронный ресурс] / Золото и нанотехнологии. – Минск, 2011. – Режим доступа: <http://medinform.net/biochemistry/zoloto1.htm>. – Дата доступа: 25.05.2012.
18. Synthesis and properties of silver nanoparticles: advances and prospects / Yu A Krutyakov [et al.] // Russian Chemical Reviews. – 2008. – N 3. – P. 233–257.
19. Optical manipulation of nanoparticles: a review / K. Dholakia [et al.] // Journal of Nanophotonics. – 2008. – N 2. – P. 21–875.
20. Теоретическая физика: в 5 т. / Л.Д. Ландау [и др.]. – М.: Квантовая механика, 1948. – Т 5: Нерелятивистская теория – 567 с.
21. The optical properties of metal nanoparticles: The influence of size, shape, and dielectric environment / K.L. Kelly [et al.] // J Phys Chem – 2003. – N 107. – P. 668–677.
22. Surface plasmons in metallic nanoparticles: Fundamentals and applications / M. A. Garda // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2011. – N 44. – P. 1–43.
23. Генерация объемных и поверхностных терагерцевых волн движущимися нелинейными источниками: дис. На соискание ученой степени кандидат физ.-мат. наук: 01.04.21 / М.В. Царев. – Н. Новгород, 2009. – 127 с.
24. Optical Constants of the Noble Metals / P.B. Johnson [et al.] // Physical review. – 1972. – N 12. – P. 4370–4379.
25. Microwave absorber based on silver nanoparticle-embedded polymer thin film / G.V. Ramesh [et al.] // Journal Nanosci Nanotechnol. – 2009. – N 9. – P. 261–266.
26. Renger, J. Excitation, Interaction, and Scattering of Localized and Propagating Surface Polaritons: Dr. rer. nat.: 14.11.1976 / Jan Renger. – Dresden, 2006. – 129 p.
27. Near-field photonics: surface plasmon polaritons and localized surface plasmons / A.V. Zayats [et al.] // Journal of Optics A: Pure and Applied Optics. – 2003. – N 5. – P. 824–830.
28. Scattering of electromagnetic waves / Leung Tsang [et al.] // online library. – 2001. – N 0-471-22430-8 (Electronic). – P. 1–705.
29. Penninkhof, J. J. Tunable plasmon resonances in anisotropic metal nanostructures: PhD / J.J. Penninkhof. – Netherlands, 2006. – 175 p.
30. Pillai, S. Surface plasmons for enhanced thin-film silicon solar cells and light emitting diodes.: Doctor of Philosophy / S. Pillai. – New South Wales, Australia, 2007. – 198 p.
31. Plasma losses by fast electrons in thin films / R.H. Ritchie // Phys. Rev. – 1957. – N 5. – P. 874–881.
32. Surface plasmons in metallic nanoparticles: Fundamentals and applications / M. A. Garda // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2011. – N 44. – P. 1–43.
33. Plasma losses by fast electrons in thin films / R.H. Ritchie // Phys. Rev. – 1957. – N 5. – P. 874–881.
34. Far-field plasmonic resonance enhanced nanoparticle image velocimetry within a microchannel / Zh. Zhang // Review of Scientific Instruments. – 2011. – N 2. – P. 23116–23117.
35. Surface-enhanced Raman spectroscopy: a brief retrospective / M. Moskovits // Journal of raman spectroscopy. – 2005. – N 36. – P. 485–496.
36. Far-field plasmonic resonance enhanced nanoparticle image velocimetry within a microchannel / Zh. Zhang // Review of Scientific Instruments. – 2011. – N 2. – P. 23116–23117.
37. The limitation of electron mean free path in small silver particles / U. Kreibitz [et al.] // Zeitschrift für Physik. – 1969. – N 24. – P. 307–323.
38. Сборник Материалов 68-й научной конференции студентов и аспирантов БГУ, Минск, 16–19 мая 2011 г. / БГУ: В.И. Шевцова, Е.П. Мацкевич [и др.] – Минск, 2011. – С. 216–220.

ПОДПИСКА-2013

Подписку на журнал «Электроника инфо» можно оформить в отделении связи по месту жительства, а также в редакции с любого месяца.

ПОДПИСКА В БЕЛАРУСИ: «Белпочта»
(подписной индекс – 00822).
ПОДПИСКА В РОССИИ: «Роспечать»
(подписной индекс – 00822),
«АРЗИ – Почта России»
(подписной индекс – 91654).

Читатели также могут подписаться по национальным каталогам: агентств «МК-Периодика», «Информнаука», «Интерпочта-2003» и «Урал-Пресс»; «Пресса» (Украина).

НАНОТЕХ

pcb@pcb.by www.pcb.by
г. Минск, ул. Седых 12А, пом. 2Н

Печатные платы

(одно-, двухсторонние, многослойные, на алюминиевой подложке)

Трафареты для пасты

(лазерной резкой из нержавеющей стали)

Паяльные пасты

(безотмывочные, канифольные, водосмываемые, и др.)



тел: +375 17 237 29 34
тел: +375 17 237 29 35
тел/факс: +375 17 237 29 36
тел/факс: +375 17 281 35 36
тел. моб: +375 29 101 35 36
тел. моб: +375 29 876 35 36

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ОТ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ

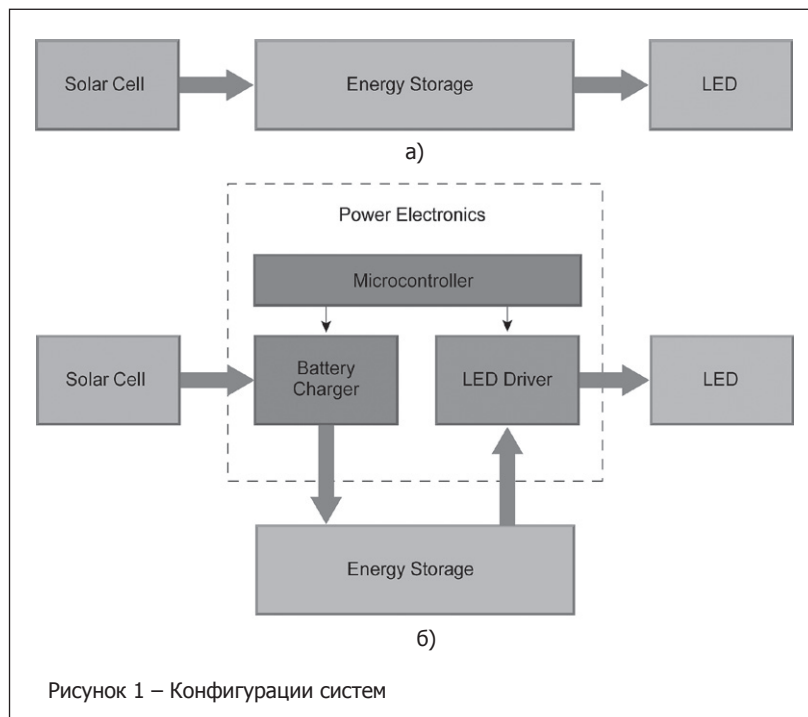
Stephen Stella, Product Marketer,
Analog & Interface Products Division Microchip Technology Inc.

Солнечные электрические панели повышают эффективность светодиодного освещения. Использование комбинации этих современных технологий открывает новые возможности для проектировщиков, а также позволяет не только расширить области применения светодиодного освещения, но и получить высокий КПД всей системы. Производители солнечных панелей создают новые высокоэффективные и гибкие источники электрического тока, которые могут быть использованы для создания более эффективных источников света на основе светодиодов. В статье проанализированы некоторые подходы для разработки такой системы.

Солнечные панели для генерации постоянного электрического тока широко применяются в качестве источников питания для источников света, основанных на различных физических принципах с использованием электроэнергии, от карманных фонариков, настольных ламп до полномасштабного уличного и производственного освещения. Эти источники питания являются экологически чистыми и надежными. Солнечные гальванические панели и светодиоды стали неотъемлемой частью современных технологий, являются всеобъемлющими и глобальными. Базовыми компонентами для каждой из этих систем являются:

- солнечные батареи – источники электроэнергии;
- электрические батареи – аккумулялирование электроэнергии;
- светодиоды – источники света.

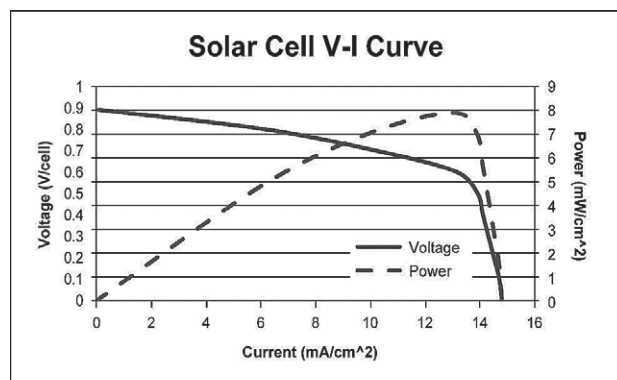
Конфигурация систем схематически показана на рисунке 1.



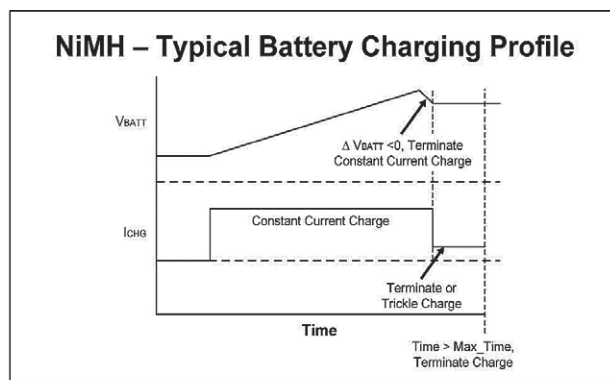
Для придания работоспособности схеме необходима согласованность элементов системы, что подразумевает согласование выходной характеристики солнечного фотоэлемента с режимом заряда-разряда батареи и требуемыми характеристиками светодиода.

Обзор компонентов

На рисунке 2 изображены параметры каждого элемента системы. Как видим, каждый элемент имеет узкие границы рабочих параметров. Одна пластина солнечной панели при

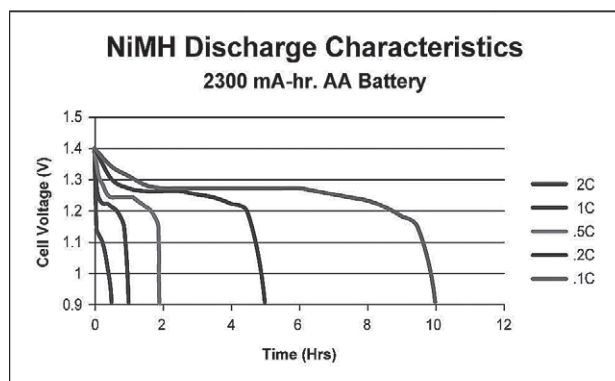


а)

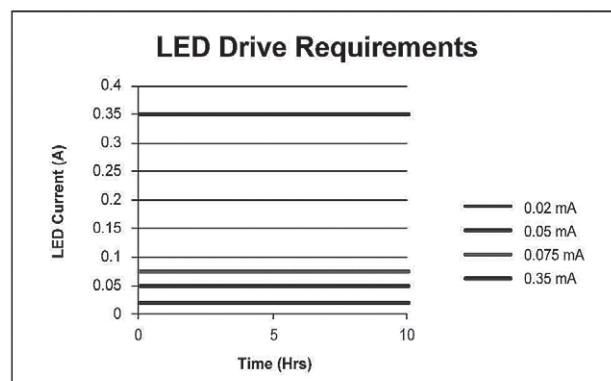


б)

Рисунок 2 (а, б) – Вольт-амперные характеристики питающих элементов и параметры светодиода



в)



г)

Рисунок 2 (в, г) – Вольт-амперные характеристики питающих элементов и параметры светодиода

оптимальном освещении имеет на выходе напряжение около 1 В, одна банка NiMH аккумулятора имеет пределы изменения напряжения от 0,9 В до 1,4 В, прямое напряжение светодиода обычно выше 3 В. Кроме того, для увеличения срока эксплуатации аккумулятора надо не превышать оптимальный ток потребления. При реализации системы работа каждого элемента должна быть согласована по параметрам. Это означает, что выходное/текущее напряжение солнечной батареи должно иметь одинаковый уровень с напряжением зарядки аккумулятора, а ток разряда батареи должен соответствовать параметрам панели светодиодов. У интерфейса, который обеспечивает непосредственное взаимодействие всех этих компонентов, имеются существенные ограничения, влияющие на общую эффективность и надежность всей системы.

На рисунке 1 б представлена альтернативная схема системы, которая нивелирует эти ограничения. Интерфейс электроники питания между каждым из трех базовых элементов позволяет реализовать более высокую степень гибкости и оптимизировать работу всей системы.

В этом случае применение микроконтроллера не столь важно. Автономная интегральная схема (ИС) зарядного устройства NiMH батареи может обеспечить ее оптимальный режим работы, а драйвер LED ICS может преобразовать напряжение батареи в источник постоянного тока. Однако гибкость конфигурации без микроконтроллера ограничена: у устройств, возможно, будет довольно узкий рабочий диапазон, который ограничивает технические возможности системы. Если конфигурация солнечной батареи будет изменена, то ИС зарядки аккумулятора должна быть заменена, также ИС зарядки аккумулятора и ИС драйвера LED заменяются, если технология аккумулирования энергии или ее режимы изменены. Наконец, если тип LED или их мощность будут изменены, то ИС драйвера LED должен быть перенастроен. Учитывая темпы обновления элементной базы, такая структура позволяет получить более быстрые ответы на изменяющиеся требования и реализовать новые возможности. Гибкость всей системы определяется программой микроконтроллера, вместо того, чтобы вводить существенные аппаратные изменения, которые требуют интенсивной модернизации и перенастройки.

Предложенная реализация

Микроконтроллер позволяет разработчику использовать в своих интересах большую производительность

каждого из базовых компонентов, и создавать фундаментальную архитектуру всей системы. Рисунок 3 представляет предложенную реализацию.

Есть три преимущества этого подхода.

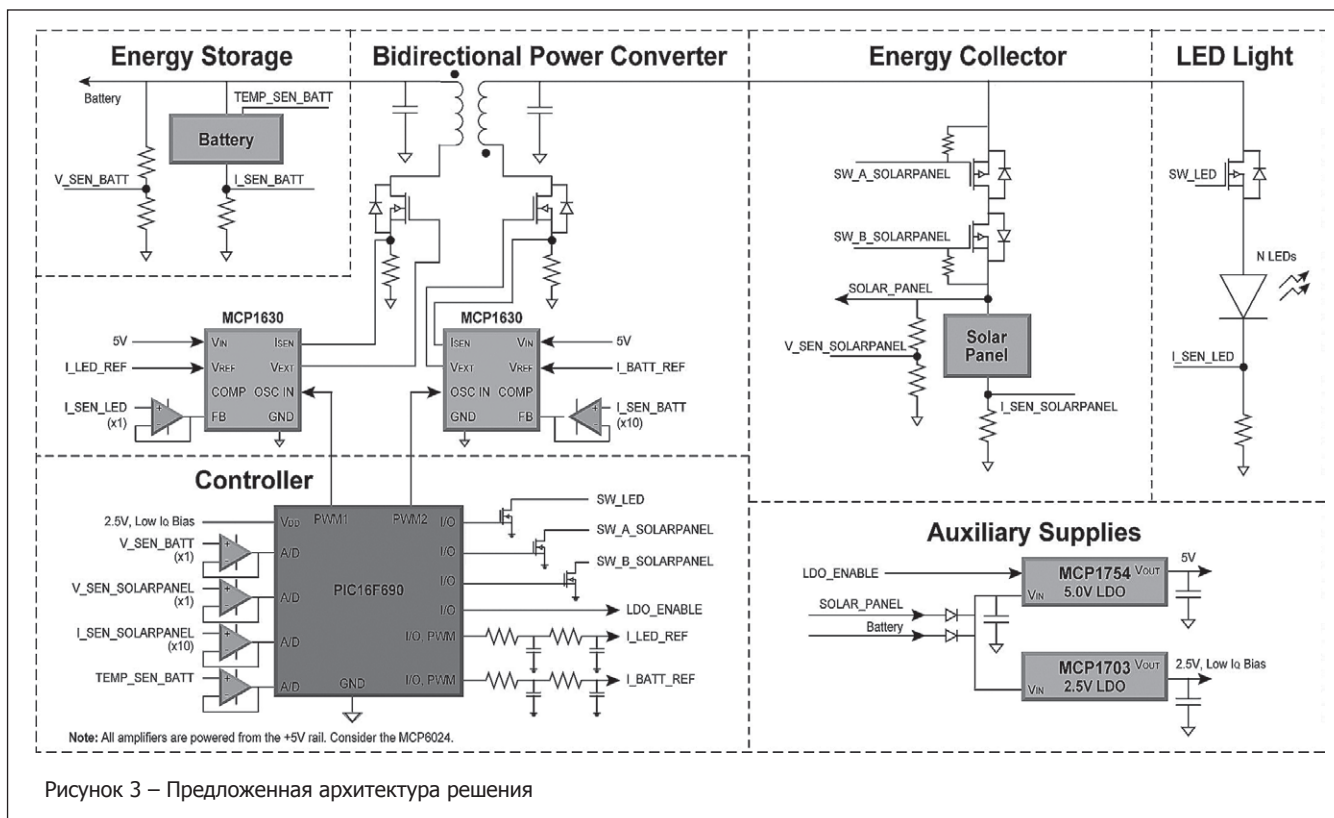
1. Быстрая и простая системная оптимизация.

В этом решении есть четыре основных компонента: светодиод, аккумуляторная батарея, солнечная батарея и электроника. Режимом зарядки аккумулятора нужно управлять, чтобы улучшить его эффективность, а также время жизни. Однако эффективность зарядки также зависит от оптимального режима работы солнечной батареи. Включение режима MPPT в алгоритм преобразования питания должно увеличить полную эффективность преобразования интенсивности освещения панели в генерируемую ЭДС. Результатом этого является уменьшение размера солнечной батареи. Уменьшение размера влияет на массу-габариты продукта и предоставляет возможности разработчику улучшить его визуальные характеристики. Качество освещения может быть критической характеристикой в целевом приложении, как, например, при чтении. Качество освещения может быть изменено при разной форме тока управления возбуждением светодиода LED или при использовании режима серого освещения. Реализация с микроконтроллером позволяет инженерам-конструкторам оптимизировать эффективность работы всей системы при полной устойчивости в течение всего жизненного цикла.

2. Масштабируемость и функционирование в широком диапазоне мощностей.

Единственная солнечная батарея, стандартные перезаряжающиеся батареи NiMH и несколько светодиодов при токе 20–75 мА могут привести в действие компактный, переносимый фонарь для чтения. Замена компонентов, включая легко доступные МОП-ТРАНЗИСТОРЫ и преобразователи, гарантирует, что в этом проекте можно быстро изменить номинальную мощность, чтобы обеспечить коммерческую потребность в освещении для обеспечения общественной безопасности. Для получения интенсивного освещения при высоком напряжении светодиодных панелей и токе более 350 мА, число солнечных батарей может быть увеличено, стандартные батареи NiMH могут быть заменены аккумуляторными батареями с большой емкостью.

3. Гибкость платформы для адаптации к быстрому технологическому изменению.



Созданы новые солнечные батареи и новое поколение светодиодов. Потребительская обратная связь может управлять дополнительными, неосновными требованиями к таким системам. Поэтому технологическая гибкость превращается в диагностическую функциональность, которая позволяет в устройстве использовать алгоритмы его рационального обслуживания.

Заключение

Основанное на микроконтроллере решение преобразователя питания обеспечивает высокую гибкость при совмещении двух таких технологий как солнечные электрогальванические

батареи и светодиоды. Решение обеспечивает быструю реализацию улучшений, которые удовлетворяют потребностям свойствам.

Программаторы для любых микросхем

EEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM
EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM
EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM
FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH
PIC
MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU
PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL

+375 (17) 266-32-09 www.chipstar.ru



Наилучшее оборудование, высокая компетенция и богатый опыт - для наилучшего решения ваших производственных задач

ABB drives alliance
Sales and Support

ООО «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ «ЭКНИС» ВЫПОЛНЯЕТ:

- Техническое консультирование
- Выбор технического решения
- Разработка проектной документации
- Комплексная поставка согласованного оборудования
- Шеф-монтажные и пуско-наладочные работы
- Сервисное техническое консультирование
- Гарантийное и послегарантийное обслуживание.



ООО «Электротехническая компания «ЭКНИС» г. Минск УНП 190575885

Тел.: +375 (17) 288-15-22, +375 (29) 689-18-90, www.ecnis.biz, e-mail: office@ecnis.biz

МОБИЛЬНЫЕ CMOS-КАМЕРЫ ТРЕХМЕРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Светлана Сысоева
Dr.Gold@sysoeva.com

В статье представлен обзор передовых технологий камер для мобильных устройств, уровень которых за последние годы значительно повысился. Миниатюрные камеры характеризуются двузначным числом мегапикселей, автофокусировкой, оптическим зумом и электронным затвором, способностью захватывать HD-видео, более высокой чувствительностью в условиях яркого солнечного света, более высоким уровнем функциональной и системной интеграции интеллектуальности – и это при дальнейшем снижении размеров датчиков, потреблении мощности, системных шумов и цены.

Повышение качества визуализации потребовало системных усовершенствований мобильных камер: вначале на уровне пикселей, оптики, процессоров и ПО для обработки изображений. Новые технологии мобильных датчиков изображения включают 3D-интеграцию (стекирование) таких датчиков с оптикой и схемами обработки изображений и 3D-визуализацию. Все это плюс всеобъемлющая цифровая конвергенция позволяет говорить о необходимости в дальнейшем комплексного или 3D-подхода к вопросам системных усовершенствований, что обозначило новый этап эволюции в сегменте мобильных камер.

Введение

Растущий пользовательский спрос на цифровые (DSC) и видеокamеры, смартфоны, как устройства «все в одном» (all-in-one) и секьюрити-камеры, стал предпосылкой для развития технологий датчиков изображения и возникновения новых применений в потребительской, домашней, промышленной и медицинской электронике.

Рынок датчиков изображения активно развивается, и ведущие производители стремятся превзойти предшествующие технологические достижения в плане повышения числа и снижения размера пикселей, повышения качества изображения параллельно с дальнейшей миниатюризацией модулей камер.

В мобильных телефонах и DSC сегодня ярко проявляется тенденция гонки производителей за высоким разрешением. Это становится возможным благодаря технологии CMOS датчиков изображения с задним освещением (подсветкой) пикселей (Backside Illumination, BSI). Хотя технология BSI повышает цену производства на 20%, она допускает повышение чувствительности и позволяет снижать размеры пикселя. Технология BSI – это также ключ к 3D-интеграции датчиков изображения, что явно демонстрируют последние разработки.

Цифровая конвергенция – следующая ключевая тенденция на рынке потребительской электроники. Достижения в различных цифровых технологиях позволяют производителям легко интегрировать различные функции в одно компактное устройство, что было прежде невозможно. Речь, в первую очередь, идет о смартфонах, которые оснащаются встроенными камерами, но не только. Это также позволяет уникально дифференцировать на рынке продукт, оснащенный цифровой камерой и сопутствующими функциями. К примеру, мобильный фотоаппарат Samsung обладает не только функциями цифровой съемки и последующего показа снимков, но и GPS-метками для фото, а также возможностью беспроводного Wi-Fi-подключения (рисунок 1). Цифровой формат позволяет запоминать, архивировать, извлекать файлы и перенаправлять их с устройства на устройство в электронном виде.

Например, Samsung позволяет беспроводным способом передавать файлы на компьютер с установленным ПО в зоне действия Wi-Fi-сети. Некоторые цифровые камеры оснащаются GSM-трансиверами и SIM-картами.

Устройства типа «все в одном» становятся особенно популярными, что дает в результате повышенные объемы производства для модулей датчиков изображения – как CCD, так и CMOS. Все это соответствует более широкому использованию датчиков изображения в промышленности: производители применяют датчики изображения в своих продуктах, изначально представляющих собой устройства без цифровых камер. Так как аутсорсинг позволяет OEM-компаниям снижать цену производства, это допускает



Рисунок 1 – Смарт-камера Samsung WB850F 16,2 Мп с 23 мм линзой и 21x оптическим зумом, с функцией Full HD захвата видео, оснащенная GPS/Wi-Fi:
а) корпус DSC-камеры; б) камера в работе; в) активная функция GPS

широкое распространение на рынке недорогих продуктов с модулями камер, что приводит к общему увеличению рынка датчиков изображения.

Три быстро растущих сегмента могут управлять ростом рынка до ожидаемого CAGR свыше 30%: это планшеты, автомобильные устройства и смарт-ТВ. Четвертым по величине сегментом рынка являются медицинские эндоскопы.

Если внедрение технологии BSI начиналось с потребительских рынков – сотовых телефонов, камкордеров, DSC, то в дальнейшем, как ожидается, эта технология будет находить применение в рыночных сегментах более высокого уровня, в которых CMOS конкурируют с CCD.

В ближайшем будущем на рынок выйдут новые технологии датчиков изображения, а именно методы 3D захвата изображений – Time-of-Flight, Structured Light и стереоскопические методы, а также вычислительные способы получения изображений, пленки на квантовых точках и однофотонные детекторы.

Потенциальные виды применения 3D-визуализации:

- обнаружение жестов;
- инспекция качества в промышленной автоматизации;
- 3D-визуализация в фото- и видеокамерах;
- анализ изображений в автомобильной электронике, камеры наблюдения и биометрия.

Технологии, как и требования, предъявляемые к датчикам, весьма разнятся в зависимости от применения. В этой статье мы сконцентрируемся на технологиях мобильных камер.

Мобильные камеры. CMOS против CCD

Датчики изображения подразделяются на следующие основные категории:

- CCD-датчики;
- линейные датчики изображения;
- рентгеновские датчики изображения.

Линейные датчики изображения далее сегментируются на CMOS и NMOS, а также InGaAs датчики изображения. Линейные датчики изображения показывают наиболее высокие объемы продаж вследствие распространения CMOS, доля которых в сегменте линейных датчиков составляет 90%.

Производители камер выбирают одну из двух основных технологий камер, которые представлены CCD (charge-coupled device, они же ПЗС-приборы с зарядовой связью) и CMOS (complementary metal oxide semiconductor) датчиками изображения, они же CIS – CMOS imaging sensors.

И CCD, и CMOS используются в качестве датчиков изображения в цифровых камерах DSC и видеокамерах. И те, и другие включают массив фотодиодов, который преобразует в цифровую форму изображения, поступающие в камеры через линзы. Главное структурное различие между CMOS- и CCD-датчиками состоит в том, что каждый пиксельный фотодиод в CMOS-датчике имеет индивидуальный встроенный усилитель, который еще на уровне пикселя преобразует электрический заряд в выход напряжения. В CCD-датчиках каждая строка фотодиодов выступает как прибор для переноса зарядов, который собирает и передает заряд на выходную ступень, где он преобразуется в напряжение посредством усилителя: то есть на уровне пикселя и всей матрицы данные об изображении остаются в зарядовой форме.

CMOS долгое время были широко известны как тип датчиков изображения, имеющих ряд преимуществ над

CCD, включая высокую степень интеграции CMOS-датчиков с электроникой, высокую скорость считывания данных, цифровой формат визуализации, совместимость с логикой БИС, однокристалльную интеграцию многих функций и малое потребление мощности. CCD присущи малые шумы, но CMOS могут достигать снижения уровня шумов за счет более высокой способности к интеграции. CMOS-датчики допускают однокристалльную интеграцию с процессором обработки изображений. Но обеспечить получение изображений особо высокого качества они не могли – вследствие структуры и процесса производства.

В частности, важной характеристикой датчика изображения является уровень сигнала, формируемого датчиком на единицу оптической энергии. CMOS и CCD показывают низкие уровни, но CMOS в этом плане превосходят CCD вследствие того, что усилительные элементы размещены на CMOS-матрице.

Некоторые потребительские применения, например, камеры сотовых телефонов, планшетов и ПК, предъявляют особые требования к датчикам изображения. Всем им необходимы недорогие, миниатюрные и маломощные датчики изображения. По сравнению с CCD-датчиками CMOS, во-первых, потребляют меньше мощности, а во-вторых, им нужно меньше внешних компонентов.

Впрочем, у CMOS есть и недостатки. Каждый пиксель CMOS-датчика имеет собственные элементы для преобразования заряда в напряжение, встроенные усилители, шумовую коррекцию, схему оцифровки. Эти дополнительные элементы усложняют дизайн, для захвата света доступна меньшая пиксельная площадь, а неоднородность снижается от пикселя к пикселю. Согласно промышленным источникам, чтобы разработать новый CMOS-кристалл, необходимо около 18 месяцев, а разработка нового CCD-кристалла занимает примерно восемь месяцев.

В CCD-датчиках заряд каждого пикселя поступает к одиночному выходному узлу, в котором тот преобразуется в напряжение, и после буферизации выходит в виде аналогового сигнала. Большая часть пиксельной области остается доступной для захвата света, что приводит к высокой чувствительности и однородности.

Вследствие структуры CCD одной из важнейших проблем этого типа датчиков является так называемый блюминг (blooming, выцветание) – явление, возникающее при варьировании световых условий, когда изображения могут быть чрезмерно экспонированными. Блюминг CCD дает на изображении засвеченные области. CMOS-датчики обладают нативной устойчивостью к блюмингу вследствие метода преобразования света в сигнал напряжения в пикселе. Но и CCD различных производителей достигают этой способности с применением методов антиблюминга или локального удаления заряда. CCD-датчики, представленные на потребительском рынке, уже обладают этой способностью, хотя камеры для промышленных и исследовательских применений обычно не используют данные методы.

CCD могут также показывать вертикальные полосы в условиях яркого освещения, а CMOS устойчивы к такому артефакту. Но CMOS-датчики, оборудованные затворами rolling shutter, которые прочитывают строку за строкой, при изменении изображения могут показывать смещение, сдвиг горизонтальных линий, неполное экспонирование. CCD-датчики устойчивы к таким эффектам. Но и CMOS-датчики,

оборудованные затвором global shutter, также устойчивы к подобным артефактам.

Благодаря лучшим способностям к интеграции и низкой цене компонентов, CMOS-датчики получили широкое распространение на массовых рынках – автомобильном и потребительском. Цена CMOS-датчиков изображения, например, для недорогих камер DSC, сотовых телефонов и планшетов, составляет 4–10 долл. США. CCD-датчики изображения дороже (средняя цена CCD – 8 долл. США за шт.) и выпускаются в меньших объемах с использованием специализированных процессов производства. Системная цена применения CCD в high-end и профессиональных электронных потребительских продуктах вполне приемлема.

Со временем CMOS-датчики изображения достигли высокого уровня характеристик и высокого разрешения и качества изображений. Сегодня CMOS-датчики уже используются в телевизионных камерах и профессиональных зеркальных SLR цифровых камерах. Но и цена high-end CMOS-устройств сравнима с ценой CCD.

Обе технологии имеют перспективы применения в high-end сегменте потребительской и мобильной электроники.

Но разница от использования CMOS вместо CCD в low-end потребительской электронике допускает значительное ценовое снижение для OEM-компаний, что помогает им снижать цену производства.

Потребностям мобильного рынка соответствуют следующие технологические изменения в сегменте CMOS:

- постепенное смещение к меньшему размеру пикселя;
- увеличение числа пикселей;
- улучшенная чувствительность для условий яркого и недостаточного солнечного света;
- уменьшенный размер датчика;
- сниженные системные шумы;
- повышенная интеграция кристалла.

Мы рассмотрим ключевые технологические новации, позволяющие производителям CMOS-датчиков изображения соответствовать растущим потребностям мобильного рынка.

Проблемы CMOS-датчиков и способы их решения.

Компромисс между разрешением и чувствительностью

Потребительская электроника характеризуется спросом на цифровые камеры, одновременно дающие возможности захвата и высокоразрешающих фотоизображений, и HD-видео. Естественно, что и то, и другое создает потребность в высокоразрешающих датчиках, имеющих большое число пикселей. В то же время проблема увеличения разрешения должна решаться так, чтобы увеличение числа пикселей не приводило к увеличению размера датчика.

На первый взгляд, единственным решением является уменьшение размера пикселя. Но уменьшение размера будет снижать и чувствительность пикселя, поскольку будет доступна меньшая фоточувствительная область для воздействия светового излучения, модулированного объектами изображения. Напротив, для получения изображений более высокого качества логично повышать чувствительность и размер пикселей без увеличения их общего числа. Но больший размер пикселей и матрицы вступает в противоречие с требованиями компактности для мобильных и портативных пользовательских устройств. Тем

не менее, нашлись другие решения. Лидирующие производители камер разработали технологии, которые позволяют создавать компактные цифровые и видеокамеры, обладающие способностями одновременно получать более высокоразрешающие изображения и захватывать видео высокой четкости в различных условиях освещения.

Внешние условия, в первую очередь интенсивность окружающего освещения оказывают влияние на качество изображений. CMOS-камеры прекрасно функционируют в условиях яркого солнечного освещения, что стало главной причиной для широкого использования CMOS-датчиков за пределами помещения, то есть в пользовательской мобильной технике. Хотя чувствительности к недостаточному или плохому освещению у них нет. Проблемы возникают при недостаточном уровне освещения и съемке подвижных объектов: изображения получаются затемненными или смазанными.

Чувствительности CMOS-датчиков к свету препятствует то, что отдельные фотодиоды в матрице заслоняются схемой, встраиваемой в пиксели для фильтрации шумов и выполнения других функций. Отношение части пикселей, собирающей свет, к общей площади пикселей называется фактором заполнения пикселя, и для CMOS он по определению ниже, чем для CCD, имеющих фактор заполнения пикселя, близкий к 100%.

Низкий пиксельный фактор заполнения означает, что датчик менее чувствителен к свету, а значит, для него необходима либо большая по размеру фоточувствительная область пикселя, либо более длительное время экспонирования или вспышки. Это осложняет использование CMOS-датчиков во внешних условиях с недостаточным освещением. Производители сейчас предпринимают различные шаги для того, чтобы повысить чувствительность CMOS.

Для решения проблем компромисса разрешения, размера, фактора заполнения пикселей и чувствительности, ключевой является технология освещения пикселя с задней стороны (Backside Illumination, BSI), которую приняли практически все лидирующие производители датчиков изображения – Sony, OmniVision, Samsung, Sony и ST.

Следующей возможностью является интеграция с пиксельной частью камеры более мощной электроники обработки изображения, что позволяет повысить характеристики менее чувствительных датчиков и адаптировать их с учетом выполняемых ими функций.

Технологии повышения чувствительности также включают оптическое объединение датчиков изображения с фокусирующими линзами и пикселей с микролинзами. Качество изображения, как комплексная характеристика, зависит не только от числа, размера и чувствительности пикселей, но и от оптических условий – оптической системы и освещения.

Линзы телефонов камер имеют ограничения по размеру в связи с размером мобильного устройства, поэтому для улучшения качества оптической системы необходимы более «продвинутые» технологии линз.

Более высокого качества изображения можно достичь со стеклянными линзами, но для недорогих телефонов применяются полимерные линзы с фиксированным фокусом. Линзы в масштабе пластины имеют технологические преимущества с точки зрения производства и допускают меньший размер модулей. Микролинзы компенсируют потерю чувствительности на уровне пикселя, направляя

максимум света непосредственно в фотодиод, таким образом, он минует металлические отражающие слои, типичные в FSI-архитектуре (front side illumination).

Технологии повышения качества изображений включают автофокусировку – Extended Depth of Field (EDOF) и MEMS-автофокусировку, зуммирование, оптическую стабилизацию изображений, электронный затвор. Сюда относится также улучшение паттерна Байера за счет включения вместе с красными, зелеными и синими пикселями, уже присутствующими в датчике, панорамных или чистых (белых) пикселей, которые чувствительны ко всем значениям длины волны и собирают больше света.

Потребители ожидают от мобильных камер того же качества, что демонстрируют DSC и цифровые видеокамеры DVC, и набора дополнительных функций, например, снижения эффекта «красных глаз», стабилизации изображений. Поэтому абсолютно все технологии, разработанные прежде для пользовательских и профессиональных камер, находят отражение при разработке модулей камер устройств типа «все в одном».

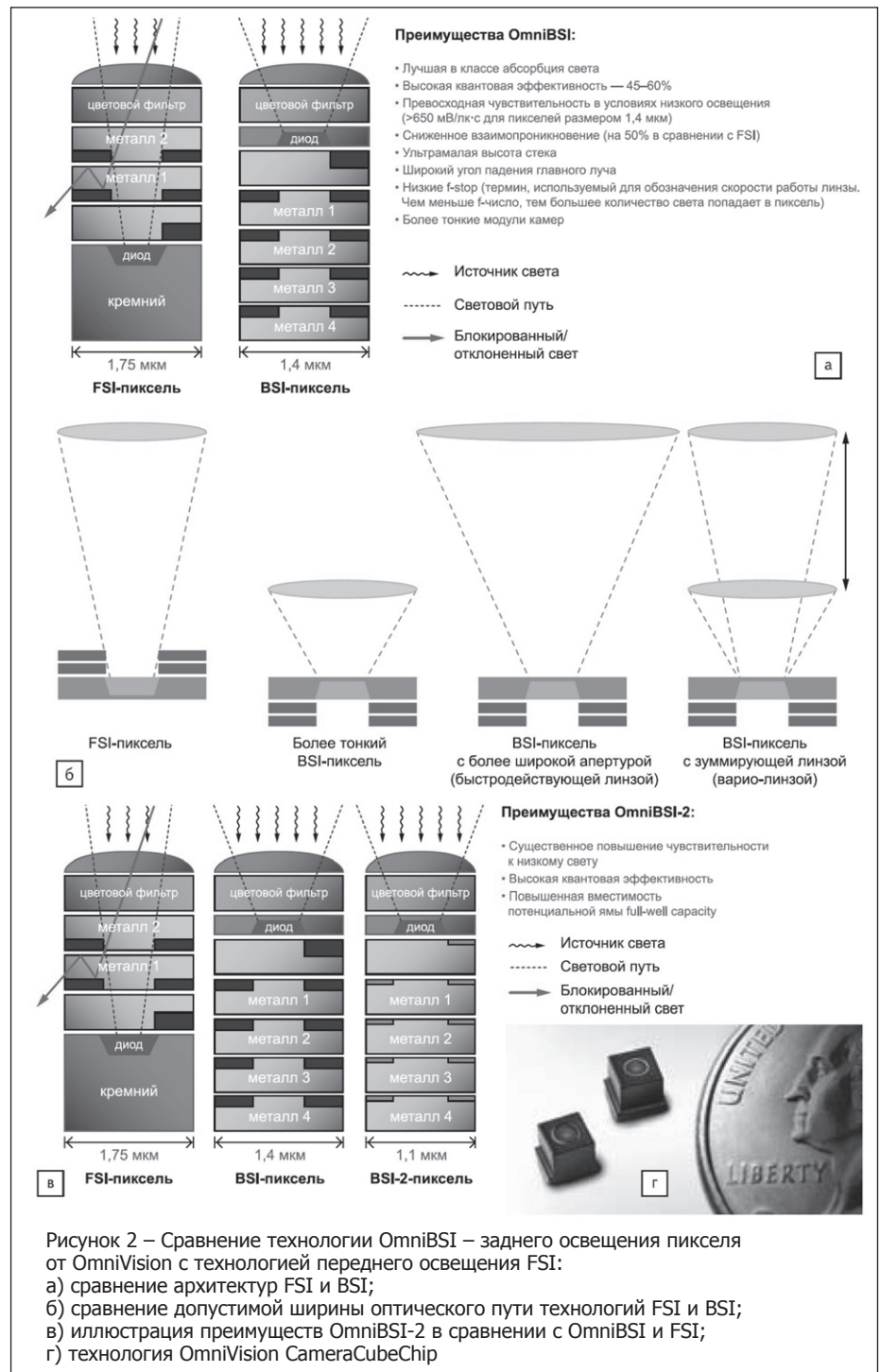
Технология освещения пикселя с задней стороны

Классической для технологии CMOS-камер долгое время была архитектура front side illumination (FSI), согласно которой свет падает на фоточувствительную область с фронтальной (передней) стороны пикселя. Вследствие этого для технологии FSI характерно наличие препятствий на уровне пикселей для света в виде транзисторов, диэлектрических слоев, металлической схемы, что блокирует свет, снижая тем самым фактор заполнения пикселей, или отклоняет свет в соседние пиксели, создавая проблему оптического взаимоперекрестного наводок – эффекта crosstalk).

Суть технологии заднего (тыльного) освещения (подсветки) пикселей Backside Illumination (BSI), которую ввели прежде других компании OmniVision и Sony, состоит в повороте фотодиодов датчика на 180°, или фронтальной стороной фотодиода вниз относительно его размещения, принятого в архитектуре FSI. В результате перераспределения слоев свет собирается через ту сторону сенсорного массива, которая в архитектуре FSI была тыльной. Металлические и диэлектрические слои при таком размещении оказываются под фотодиодным массивом, непосредственно поверх которого теперь

размещены цветочные фильтры и микролинзы (рисунок 2). Технология BSI обеспечивает кратчайший путь света в пиксель и оптимизирует фактор заполнения.

После введения технологии BSI промышленность CMOS датчиков изображения пережила очередной эволюционный виток. Хотя технология BSI повышает цену производства на 20%, она же допускает впечатляющее повышение сенсорной чувствительности, которая позволяет далее снижать размеры пикселя, поддерживая, таким образом, стремление производителей к высокому разрешению в мобильных телефонах и DSC.



В свою очередь, более высокий фактор заполнения повышает чувствительность к недостаточному освещению, качество изображения и воспроизведения цветов.

Технология OmniBSI продемонстрировала 50%-ное повышение чувствительности и квантовой эффективности¹ (процента фотонов, преобразованных в результате фотоэффекта в электроны, на фоне общего числа входных фотонов) в сравнении с технологией освещения с фронтальной стороны. При этом, также на 50% были снижены перекрестные наводки пикселей, что позволило достичь большей резкости изображений и лучшего воспроизведения цветов. Оптические перекрестные помехи создают смазанные объекты, снижают SNR, чувствительность в условиях плохого освещения, а также цвета и качество цветопередачи, так как каждому пикселю поставлены в соответствие цветные фильтры. Технология BSI снижает эффект crosstalk благодаря своей архитектуре, а при FSI для уменьшения рассеивания и отклонения света необходимо применять толстые линзы.

Но для мобильных телефонов существует компромисс между высотой линзы и так называемым CRA (chief ray angle) – под этим названием известен конусный угол передачи света через центр линзы. Линзы мобильных телефонов формируют лучи света в виде относительно плоского конуса. Мобильные микролинзы дают CRA порядка 20–30°, а применение тонких линз еще больше его увеличивает. Для сравнения: типичный для DSC CRA составляет порядка 5°. Поэтому в архитектуре FSI чрезвычайно важно выравнивать микролинзу относительно пути прохождения света в пиксель, а BSI уменьшает эту проблему. OmniBSI не только повышает характеристики, но и дает более низкую высоту стека, что означает возможность применения большего угла CRA, меньшей высоты линз и, следовательно, более тонких модулей камер (рисунок 2 б).

Обеспечение высокой чувствительности в условиях малой освещенности – важнейшая задача для мобильных камер, а одним из решений является использование линз с большой апертурой (также более быстродействующей, характеризующейся меньшим f-числом). Но такие линзы больше в диаметре и выше. Поэтому производители ищут различные варианты для создания более компактных решений.

Вследствие более высоких допусков для вариаций угла CRA допускается более простое осуществление зуммирования (рисунок 2 б). Такое тщательное согласование CRA, как для FSI, не требуется. В конечном счете, все это приводит к простому и более прочному дизайну мобильного телефона.

Архитектура пикселей, освещаемых с задней стороны, также позволила OmniVision снизить размер пикселей без ущерба для характеристик. Размеры OmniBSI пикселей снижены до 1,75 и 1,4 мкм. OmniVision предлагает датчики OmniBSI в виде кристалла на плате (COB) или в корпусе в масштабе кристалла (CSP), что дает гибкость при их использовании клиентом.

Выборочные примеры датчиков изображения на основе технологии OmniBSI с размерами пикселей в 1,75 и 1,4 мкм включают:

– OV14810 – 14,6-Мп RAW-датчик для цифровых камер и high-end смартфонов;

– OV8820 – 8-Мп RAW-датчик для смартфонов;
– OV5650 – 5-Мп датчик для цифровых камер и high-end смартфонов;
– OV5642 – 5-Мп SoC-датчик для массовых рынков мобильных телефонов;
– OV2665 – 2-Мп SoC-датчик для массовых рынков мобильных телефонов.

Спустя три года после введения компаниями Sony и OmniVision технологии BSI ее применение все еще ограничено малым числом игроков: лидерами на рынке мобильных телефонов. По данным Yole, датчики изображения BSI составляют порядка 25% от общих продаж CIS в 2012 году. Но ожидаемое экспертами быстрое внедрение технологии BSI позволит достигнуть к 2017 году рыночной доли BSI CIS порядка 70%, что соответствует повышению доходности этого сегмента до 7,7 млрд. долл. США.

Распространение технологии BSI началось с потребительских рынков: сотовых телефонов, камкордеров, DSC. Но BSI имеет перспективы применения в рыночных сегментах более высокого уровня, в которых CMOS конкурируют с CCD. С расчетом на high-end-сегменты специалисты израильской фабрики TowerJazz разработали специализированную производственную линию BSI.

В плане совершенствования характеристик своих CMOS-датчиков изображения компании OmniVision и Sony пошли еще дальше. OmniVision разработала следующее поколение технологии BSI и предложила новые усовершенствования технологии фронтального освещения. Sony представила новое поколение технологии BSI, используя разработанные ранее методы повышения чувствительности, разрешения и скорости работы.

Дальнейшие технологические достижения компании OmniVision

OmniVision сохраняет техническое лидерство благодаря тому, что эта компания непрерывно инвестирует в технологию CMOS датчиков изображения и другие технологии. Сейчас OmniVision предлагает широкий выбор технологий CMOS-датчиков и компонентов для рынка мобильных телефонов. Собственная технология OmniVision – OmniBSI – это только первое ее предложение для рынка мобильных телефонов.

Компания работает над тем, чтобы далее снижать размер пикселей для повышения разрешения и создания более компактного дизайна. В планах развития OmniVision – субмикронный (менее 1 мкм) размер пикселей.

Следующим поколением является технология OmniBSI-2, которая отличается меньшим размером BSI-пикселей – до 1,1 мкм и более высокой чувствительностью к недостаточному освещению (рисунок 2 в). Технология OmniBSI-2 улучшает также следующие характеристики: темновой ток, пиксельную схему, изоляцию, значительно снижены и оптические перекрестные помехи (crosstalk). В сравнении с первым поколением технологии OmniBSI эти усовершенствования дают лучшее качество изображений, воспроизведение цветов, а в общем – более высокие характеристики камер в ультрамалом форм-факторе.

Технологию OmniBSI-2 можно также применять в устройствах с большим числом пикселей для достижения

¹ Квантовая эффективность – физическая величина, характеризующая чувствительность датчика/пикселя, равная отношению числа фотонов, поглощение которых образцом вызвало образование квазичастиц (фотонов, вызвавших колебания электронов), к общему числу поглощенных фотонов.

характеристик, превышающих текущие для датчиков на основе технологий BSI и FSI.

Как было объявлено в начале 2012 года, новая пиксельная технология OmniVision OmniBSI+ позволяет достичь размеров пикселя в 1,4 мкм. С ее помощью можно получить значительные улучшения в плане характеристик и цены в сравнении с OmniBSI, включая 60%-ное повышение емкости потенциальной ямы (full-well capacity²), 10%-ное повышение квантовой эффективности и 10%-ное улучшение чувствительности в условиях недостаточного освещения. Все это дает более высокое качество изображения в условиях хорошего и плохого освещения и позволяет OmniVision продолжать улучшать характеристики технологий BSI при сохранении ее стоимостной эффективности.

Первый датчик на основе OmniBSI+ (8-мегапиксельный OV8825 CameraChip) был анонсирован в январе 2012 года.

OmniVision также представила другие новые датчики на основе архитектуры OmniBSI+, которая в сравнении с OmniBSI повышает емкость потенциальной ямы на 60% и значительно улучшает характеристики в условиях недостаточного освещения.

В конце августа 2012 года OmniVision анонсировала разработку малого датчика VGA CameraChip с высокими рабочими характеристиками для фронтальных камер мобильных устройств. OV7695 OmniVision в формате 1/13 выполнен на основе пиксельной архитектуры OmniBSI+ с размером пикселей в 1,75 мкм. Он выпускается в ультракомпактном корпусе 2,4×2,3 мм.

OV7695 имеет лучшую чувствительность, более высокую емкость потенциальной ямы, более низкие переключательные помехи и более низкий шум считывания в сравнении с традиционными пиксельными архитектурами FSI OmniVision. Датчик демонстрирует значительное улучшение характеристик в условиях хорошего и плохого освещения и динамического диапазона, который переводится в более высокое качество цветного видео. VGA-видеодатчик захватывает изображение с частотой 30 кадров/с и использует технологию OmniVision для улучшения качества «картинки» посредством снижения или исключения обычных источников ее загрязнения. Датчик поддерживает интерфейс MIPI для высокоскоростной передачи данных в смартфонах и планшетах следующего поколения.

OV7695 сейчас доступен для оценивания, его массовое производство запланировано на 1 квартал 2013 года.

Также в конце августа OmniVision объявила о выпуске OV5648 — датчика CameraChip на 5 Мп для смартфонов и планшетов с использованием пиксельной архитектуры 1,4 мкм OmniBSI+. OV5648 представлен как технологический апгрейд прежде успешного на рынке датчика OV5647. Новый датчик объединяет малый размер кристалла с возможностью высококачественной фотографии и HD-видео. Кроме того, он может входить в состав модуля с фиксированным фокусом размерами 6×6×4,5 мм.

OV5648 в формате 1/4 захватывает изображения, 720p HD-видео со скоростью 60 FPS и 1080p HD-видео на 30 FPS. Датчик поддерживает двухполосный MIPI-интерфейс и обе-

спечивает полнокадровые, оконные или объединенные (в результате биннинга³) 10-битные изображения в RAW RGB формате с возможностью пользовательского контроля.

Технологии сборки датчиков и линз для повышения качества изображения.

Интегрированные кристаллы модулей камер

На примере OmniVision можно показать, как датчики и линзы, выпускаемые как независимые компоненты, могут быть объединены при сборке, и точность, достижимая в процессе производства, может повлиять на цену и качество изображения. OmniVision создала новое решение для осуществления модульного подхода под названием CameraCubeChip, используя свои ноу-хау в технологиях CIS, корпусирования на уровне кристалла (Chip Scale Packaging, CSP) и оптики на уровне пластины (Wafer Level Optics, WLO). Решение OmniVision основано на стекировании — для производства оптических элементов как слоев структуры пластины. Оптические структуры CameraCubeChip на уровне пластины включены в процесс корпусирования CIS, что позволяет выпускать продукты, интегрированные на кристалле, которые отличаются полной функциональностью CMOS-камер кремниевых кристаллов с возможностью автоматической пайки, малыми фут-принтами и низкими профилями.

CameraCubeChip может запаиваться непосредственно на плате без сокетов и выдерживать температуру до +260 °С. Для повышения устойчивости к ЭМИ и электростатическому разрушению могут быть добавлены дополнительные защитные процессы. Устройства выдерживают испытания на падение и надежность.

OmniVision представила два устройства CameraCubeChip (рисунок 2 г):

- OVM7690 — однокристалльный датчик изображения с полной функциональностью, встроенным процессором и оптикой на уровне пластины в компактном корпусе 2,5×2,9×2,5 мм. OVM7690 потенциально востребован в ультратонких мобильных телефонах. Пиксельное разрешение OVM7690 составляет 640×480 (VGA). В OVM7690 для контроля качества изображения осуществлены цветовое насыщение, гамма-коррекция, коррекция оттенков, резкости, линз, дефектных пикселей, отмена шумов.

- OVM7692 — датчик с функциональностью OVM7690 с дополнением детектирования 50/60 Гц и интегрированного решения по повышению электромагнитной устойчивости в корпусе размерами 2,8×3,2×2,5 мм.

Процесс производства камер на уровне пластины от OmniVision упрощает цепочку поставок и дает клиентам преимущества в плане более быстрой разработки и вывода устройств на рынок, снижения их цены и оптимизации характеристик.

OmniVision планирует выпустить ряд продуктов специально для рынка мобильных телефонов, но параллельно разрабатывает технологии для других рынков датчиков изображения — с тем, чтобы более широко использовать их преимущества.

² Максимальная сумма заряда, которая может запасаться в потенциальной яме и передаваться без перетока в соседние ямы. От англ. charge-handling capacity — пропускная способность заряда; full-well capacity — (фотонная) емкость потенциальной ямы.

³ Биннинг (binning) — это процесс суммирования зарядов N смежных ячеек в один суперпиксель в результате считывания информации из ПЗС-матрицы. При этом происходит увеличение чувствительности в N раз, разрешение уменьшается, а кадровая частота увеличивается.

OVM7690 и OVM7692 основаны на технологии OmniPixel3-HS – это самое последнее и наиболее «продвинутое» поколение архитектуры FSI OmniPixel. Хотя технология FSI принципиально проигрывает BSI по чувствительности, на практике она является весьма развитой и допускает низкую цену модулей камер. OmniPixel3-HS обладает вдвое более высокой чувствительностью в сравнении с архитектурой OmniPixel3 – до 960 мВ/лк·с. Поэтому технология OmniPixel3-HS применяется для производства датчиков с чувствительностью от 960 до 12 000 мВ/лк·с.

Характеристики новой архитектуры OmniPixel3-HS с размером пикселей в 1,75 мкм значительно повышают захват изображения в условиях очень плохого освещения и могут обеспечивать компактные решения камер для мобильных хэндсетов, ноутбуков, компьютеров и других применений.

Как и архитектура OmniPixel3, OmniPixel3-HS включает в себя собственный процесс CMOS толщиной 0,11 мкм. Шумы снижены в два раза, повышено внутреннее пиксельное усиление и квантовая эффективность для истинного воспроизведения цветов, чувствительности в условиях недостаточного освещения и оптимальных характеристик в любых условиях освещения. Симметричный пиксельный дизайн исключает затенение цветов и, ввиду низкой высоты стека, дает возможность получать резкое, четкое и точное цветное изображение.

Кроме пиксельной архитектуры, OmniVision также предлагает широкий набор передовых технологий по обработке сигнала – image signal processing (ISP), встроенных в датчики типа SoC. High-end SoC используют собственную технологию OmniVision TrueFocus, которая значительно улучшает характеристики камер, качество изображения, воспроизведение цветов и повышает глубину расширенной фокусировки (extended depth of field, EDoF). Встроенная обработка изображения ISP также предлагает производителям недорогую альтернативу для high-end датчиков изображения взамен стандартного двухкристального решения для внешней схемы ISP.

OmniVision имеет широчайшее в промышленности портфолио датчиков изображения для рынка мобильных телефонов. По мере того, как этот рынок растет и происходит его дальнейшая сегментация – от high-end телефонов, представляющих собой камеру с телефоном, до телефонов с камерами с низким разрешением, OmniVision стремится предлагать камеры для всех сегментов – от CIF до 14-мегапиксельных камер в оптических форматах от 1/13 до 1/2,3 дюймов.

Линейки продукции OmniVision быстро обновляются. Например, уже в ноябре текущего года был выпущен OV5656 – 5-мегапиксельный CameraChip датчик с высокими характеристиками для растущих применений в смартфонах, планшетах и цифровых видеокамерах. OV5656 основан на архитектуре OmniBSI+ и обеспечивает высокоразрешающую и высокоскоростную фотографию со скоростью 30 кадров/с.

Технологии Sony: эволюция от FSI-технологий на уровне пикселя и параллельной обработки столбцов Exmor к Exmor R BSI и далее к Exmor RS – стекированному BSI CIS

Технология Sony Exmor – быстрое действие и качество FSI пикселей

Технология Sony CMOS-датчиков Exmor была вначале разработана для FSI и использует метод параллельного АЦП столбцов (Column-Parallel A/D Conversion Technique) –

для создания изображений, включающих много деталей. Exmor комбинирует скорость работы, типичную для CMOS-датчиков, с сенсорными технологиями CCD, позволяющими получать изображения высокого качества. Результат состоит в повышенном разрешении в пространстве и во времени.

Высокоскоростной датчик изображения должен комбинировать высокую чувствительность с низкими шумами, высокую скорость и высокое качество изображения. Sony достигла прежде несовместимых целей – высокой скорости и качества изображения, применяя оптимизацию состава и размещения для каждой схемы – пикселя, считывающей схемы, АЦП и контроллера, которые размещены на одном кристалле.

Хорошо известный путь повышения чувствительности состоит в увеличении размера фотодиода. Кроме того, устройство должно включать оптическую систему для перенаправления максимального количества света на фотодиод. Каждый пиксель Sony включает интегрированные на кристалле микролинзы, интегрированный цветовой фильтр, линзу во внутреннем слое, проводные соединения, фотодиод. Микро- и внутренняя линзы проводят свет точно в пиксель размером в 1,75 мкм. Чтобы снизить толщину проводного слоя и увеличить количество света, проникающего в пиксель, Sony ввела медные электрические соединения, которые на 40% тоньше обычных.

Высокий SNR был достигнут за счет уменьшения темнового тока. При наличии дефектов в кремнии для каждого пикселя результирующее тепловое возбуждение электронов будет вызывать шум, известный как темновой ток. Снижение темнового тока достигается уменьшением дефектов и загрязнений, а также экранированием областей.

Ключ для повышения скорости – параллельная обработка сигнала. Sony продемонстрировала, что скорость работы повышается при АЦП-преобразовании «строка – столбец – строка».

Пиксельные сигналы прочитываются как выход транзисторов пикселей. Вариации пороговых напряжений для транзисторов полностью исключаются посредством прочтения оригинального пиксельного сигнала, получаемого как разница между начальным значением и уровнем сигнала при входящем свете с применением метода коррелированной двойной дискретизации.

Exmor R – BSI CMOS-датчики изображения для мобильных телефонов на основе объединения технологий Exmor и BSI

В 2010 году компания Sony представила Exmor R – CMOS датчики изображения для мобильных телефонов с задней подсветкой на основе объединения технологий Exmor и BSI. Анонсирована эта технология была еще ранее – в 2008 году. Первые BSI CMOS-датчики IMX081PQ на основе данной технологии достигли эффективного разрешения в 16,41 Мп и самого малого в промышленности на тот момент размера пикселей – 1,12 мкм.

Датчики продемонстрировали высокую чувствительность и низкие шумы благодаря BSI и, в особенности, высокую чувствительность в условиях плохого освещения, допускающую работу без вспышки.

На основе двух представленных моделей датчиков Exmor R Sony представила два компактных модуля – IU081F и IU105F2 с автофокусирующими линзами. IU081F на момент

выпуска был самым малым и тончайшим в промышленности автофокусирующим модулем для сотовых телефонов, его размеры составляли 10,5×10,5×7,9 мм. При комбинации CMOS BSI датчика и линзы с малым f-числом (IU105F2) была достигнута удвоенная чувствительность FSI-датчика.

Метод параллельного АЦП столбцов, согласно которому каждый столбец имеет собственный АЦП, позволил достичь скорости пиксельного сканирования в 15 кадров/с и Full-HD захват видео.

Следующее поколение BSI-датчиков – стекированный датчик Sony Exmor RS

Корпорация Sony в начале этого года объявила о разработке, а в конце лета – о начале производства Exmor RS, первого в мире датчика изображения на основе уникальной стекированной структуры (рисунок 3). В стекированном датчике изображения слоями размещены пиксельная секция, включающая структуру BSI-пикселей, и схемная

секция, которая располагается в месте поддерживающих субстратов обычных BSI CMOS-датчиков изображения. CMOS-стекированные датчики изображения, которые представила компания Sony, характеризуются набором преимуществ: повышенным качеством изображений, продвинутой функциональностью и компактным размером. CMOS-стекированные датчики Sony, продажи которых начались в октябре этого года, символизируют следующий эволюционный этап в развитии технологий датчиков для мобильных камер.

Признаки стекированного CMOS-датчика изображений включают:

- Встроенные схемы обработки сигнала большого масштаба – для более высокого качества изображений и функциональности;
- Более компактный размер кристалла датчика изображения;
- Более высокое качество изображения на уровне пиксельной секции – за счет процессов производства;

– Более высокую скорость работы и низкое энергопотребление – за счет процессов производства схемной секции.

Sony позиционирует стекированные BSI CMOS-датчики изображения, как следующее поколение устройств для смартфонов и планшетов, популяризация которых привела к широкому использованию камер для различных сцен и условий освещения. Это достигается посредством встроенной «продвинутой» функциональности, включая уникальные функции Sony RGBW Coding – для малошумящего захвата изображений высокого качества в условиях плохого освещения и HDR (High Dynamic Range) Movie – функции, позволяющей получать яркие цвета изображений даже при съемках против яркого света.

Sony ввела три модели Exmor RS стекированных CMOS-датчиков изображения и три соответствующих модуля для получения изображений, включая эти датчики (рисунок 3 а).

Сравнение новой стекированной структуры Sony с традиционными BSI-структурами показано на рисунке 3 б, в. Обычные CMOS-датчики изображения отличаются тем, что пиксельная секция и аналого-цифровая схема монтируются на одном кристалле, что накладывает ограничения при

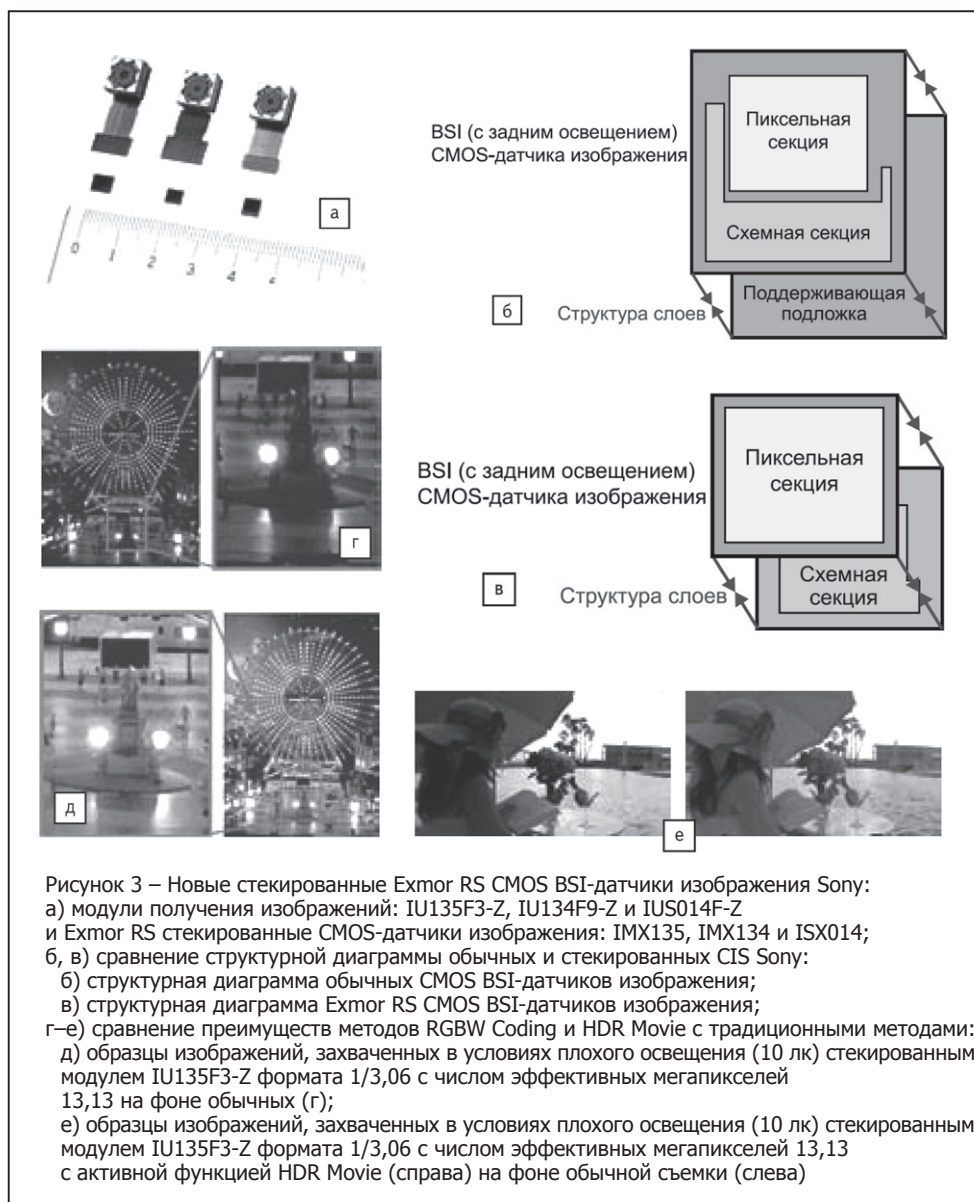


Рисунок 3 – Новые стекированные Exmor RS CMOS BSI-датчики изображения Sony:

а) модули получения изображений: IU135F3-Z, IU134F9-Z и IUS014F-Z

и Exmor RS стекированные CMOS-датчики изображения: IMX135, IMX134 и ISX014;

б, в) сравнение структурной диаграммы обычных и стекированных CIS Sony:

б) структурная диаграмма обычных CMOS BSI-датчиков изображения;

в) структурная диаграмма Exmor RS CMOS BSI-датчиков изображения;

г-е) сравнение преимуществ методов RGBW Coding и HDR Movie с традиционными методами:

д) образцы изображений, захваченных в условиях плохого освещения (10 лк) стекированным модулем IU135F3-Z формата 1/3,06 с числом эффективных мегапикселей 13,13 на фоне обычных (г);

е) образцы изображений, захваченных в условиях плохого освещения (10 лк) стекированным модулем IU135F3-Z формата 1/3,06 с числом эффективных мегапикселей 13,13 с активной функцией HDR Movie (справа) на фоне обычной съемки (слева)

монтаже схем большого масштаба (рисунок 3 б). Для них должны приниматься встречные меры в плане сохранения размера кристалла, подавления шумов, оптимизации характеристик пикселей и схемных транзисторов.

Sony достигла успеха в создании структуры, которая разделяет на слои пиксельную секцию и кристалл обработки сигнала. Одним из слоев уникальной стекированной CMOS-структуры Exmor RS (рисунок 3 в) является пиксельная секция, включающая пиксели, освещаемые с обратной стороны кристалла, размещенная над кристаллом со смонтированными схемами, который размещен вместо поддерживающих подложек, используемых для обычных CMOS-датчиков изображения.

Применение стекированной структуры дало возможность уменьшить площадь кристалла для крупномасштабных схем. Пиксельная и схемная секции создаются как независимые кристаллы, что позволяет разделять и специализировать производственные процессы, достигая на уровне производства высокого качества изображений и высокой функциональности – вместе с компактным размером по результатам сборки пластин. Также на уровне производства можно добиться быстрого срабатывания и низкого энергопотребления кристаллов, содержащих схемы.

Две Exmor RS модели Sony, а именно:

- IMX135, модель формата 1/3,06 с числом эффективных мегапикселей 13,13;
- IMX134, модель формата 1/4 с числом эффективных мегапикселей 8,08.

Они имеют функции RGBW Coding и HDR Movie. Сравнение преимуществ этих методов с традиционными технологиями приведено на рисунке 3 г, д, е. Функция кодирования RGBW позволяет захватывать резкие, четкие изображения даже при съемках в условиях плохого освещения, например, в темной комнате или ночью, – посредством добавления белых W-пикселей в дополнение к RGB-пикселям и использования собственной технологии Sony для устройств и обработки сигнала. Все это позволяет повышать чувствительность без компромисса с разрешением. Функция видеосъемки с высоким динамическим диапазоном (High Dynamic Range, HDR Movie) допускает при захвате кадров для одного экрана конфигурирование двух различных условий экспонирования, выполняет сглаженную обработку для генерации оптимальных изображений с широким динамическим

диапазоном и яркими цветами, даже когда съемка изображения осуществляется против яркого света.

Третьей Exmor RS моделью является ISX014 (формата 1/4 с числом эффективных мегапикселей 8,08), которая отличается встроенной функцией обработки сигнала камеры.

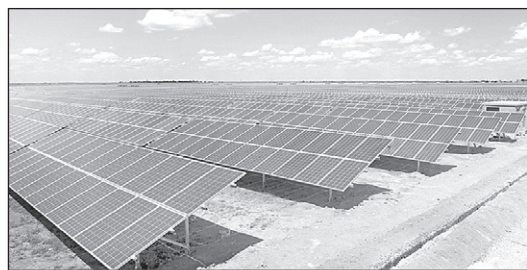
Помимо высокого качества изображений и повышенной функциональности использование стекированной структуры помогло Sony достигнуть более компактного размера модулей.

Sony также выпустила на рынок три компактных автофокусирующих модуля с новыми датчиками изображений, оборудованных блоками линз и имеющих механизм автофокусировки: это IU135F3-Z, IU134F9-Z и IUS014F-Z (рисунок 3 а). Эти три модуля получения изображений включают в себя вновь разработанные линзы, оптимизированные для достижения минимального в промышленности пиксельного размера в 1,12 мкм с целью достижения высокого разрешения.

IU135F3-Z представляет собой автофокусирующий модуль для получения яркого и высокоразрешающего изображения, объединяющий линзу F2,2. Модуль IU134F9-Z тонкий и компактный: его размеры вместе с гибкой печатной схемой составляют 8,5×8,5×4,2 мм. IUS014F-Z – модуль для получения изображения типа «все в одном», объединяющий датчик изображения со встроенной функцией обработки сигнала камеры и имеющий встроенные функции автофокусировки и настройки изображения.

Преследуя цели дальнейшей разработки ядровой технологии и расширения линейки продуктов Exmor RS стекированных CMOS-датчиков изображения, корпорация Sony намерена усиливать свои производственные мощности для выпуска CMOS-стекированных датчиков изображения. Sony сообщает о своих планах представить на рынок другие модули для получения изображения, достигающие высокого качества изображения, «продвинутой» функциональности и еще более компактного размера. Это отвечает потребности в больших экранах смартфонов, для которых оставшийся объем пространства для встраивания модулей датчиков изображения ограничен. Sony намерена далее расширять продуктовую линейку датчиков изображения для достижения лучшего соответствия потребностям клиентов, утверждая свои позиции глобального лидера в производстве CMOS-датчиков изображения.

Продолжение следует



ООО «ЭкоСнабГрупп»



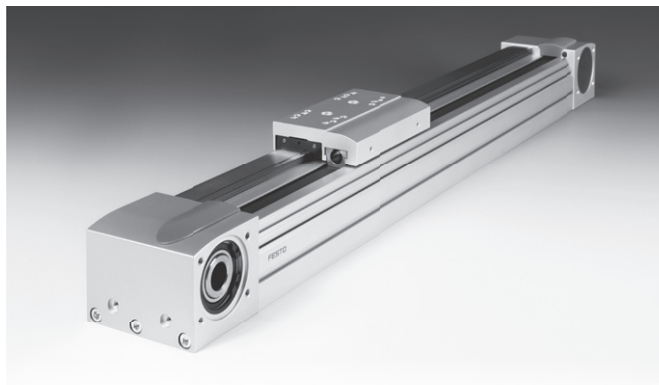
220118, г. Минск,
ул. Машиностроителей,
д. 29, офис 236.
www.esg.by
info@esg.by

Энергосберегающие системы
Системы экономии газа
Альтернативные источники энергии

Тел/факс: +375(17)387 0299,
GSM: +375 29 223 0732,
+375 29 394 8594,
+375 33 333 0303

ОПТИМИЗИРОВАННАЯ УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ДЛЯ ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Дмитрий Васильев, компания Festo



Мехатроника FESTO

Тенденции современного информационного общества, стремительное развитие техники и сплетение различных областей знаний воедино дают мощный толчок для использования системного подхода в разработке средств автоматизации вообще и систем управления движением в частности. Таким системным подходом для FESTO является концепция Мехатроники, в рамках которой разработан оптимизированный набор компонентов (пневматических, механических, электрических и электронных), программные средства для расчета и выбора элементов системы перемещения, а также для конфигурирования, настройки и программирования. Все механические, электрические и электронные интерфейсы стандартизованы, благодаря чему можно гибко подбирать состав системы перемещения под конкретную задачу. Базовые компоненты системы дополнены исчерпывающим набором опций и переходных элементов, что позволяет решать задачи построения мехатронных систем в комплексе.

Оптимизированная универсальность

Появление линейных электрических приводов с кареткой на FESTO происходило на базе конструкции бесштоковых пневмоцилиндров. В частности, несущая профильная конструкция была взята лишь с незначительными изменениями. Для середины 90-х годов прошлого века такой подход был весьма прогрессивен и позволял решать гораздо более широкий круг задач, чем на базе пневматики. Но к середине первой декады 21 века назрела необходимость в более универсальном и оптимизированном продукте, который при тех же габаритах имел бы лучшие характеристики по усилиям, по жесткости, удобству монтажа и т.д. Таким образом, появился оптимизированный и универсальный линейный привод с кареткой EGC.

Конструкция и комплектация EGC

Принцип действия

Линейный привод EGC – это система линейного перемещения с кареткой, которая позволяет осуществлять управляемое движение объектов внутри рабочей зоны с помощью подключаемых к ней электродвигателей. Профили движения и точки позиционирования задаются произвольно, исходя из требований задачи. Конструкция линейного привода EGC предусматривает два типа привода: шариковинтовая пере-

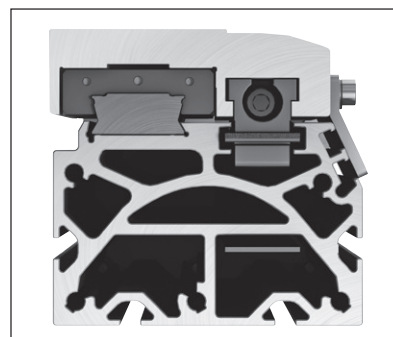
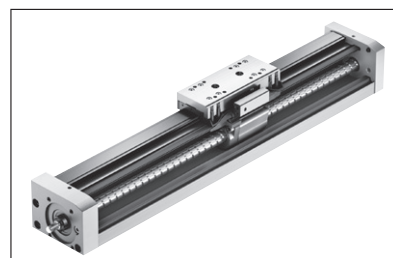
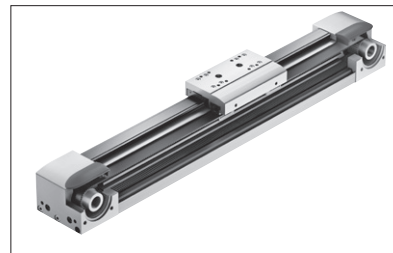
дача (ШВП) и зубчатый ремень. ШВП – для силовых, точных и плавных перемещений, зубчатый ремень – для высокоскоростных и производительных. Линейный привод EGC в общем случае включает три базовых элемента: основание, линейная направляющая, каретка и приводная система (на базе ШВП или зубчатого ремня).

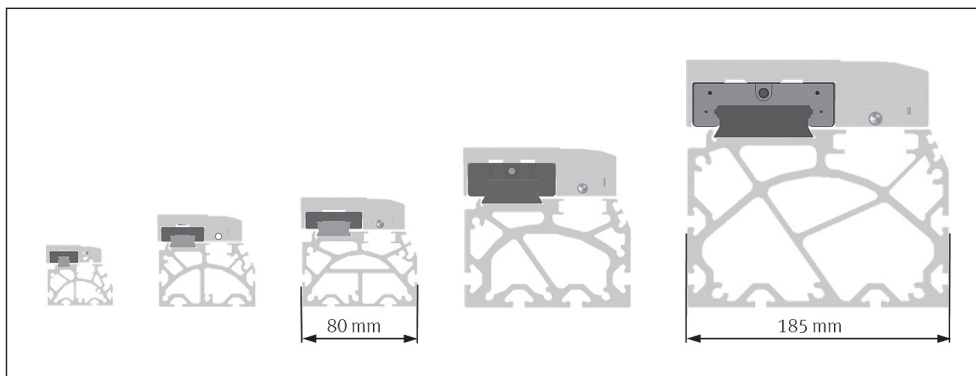
Основание исполнено из высокоточного алюминиевого профиля высокой жесткости. На профиль крепится шариковая линейная направляющая, элементы привода, концевые датчики и другое дополнительное оборудование. В силу оптимизированного сечения профиля, EGC может быть использован как часть конструкции машины или механизма.

Рельсовая линейная направляющая клеена и завальцована с внешней верхней стороны основания. Расположение линейной направляющей и ее тип (широкая и небольшой высоты) выбрано для максимального приближения центра масс нагрузки к оси направляющей, что позволяет уменьшить динамические моменты, приходящиеся на каретку. А это дает возможность использовать меньшие типоразмеры линейного привода. Также такое расположение позволяет следить за состоянием направляющей при проведении техобслуживания.

Вклеивание и прикатывание направляющей является более технологичным, быстрым и экономичным способом крепления, чем притягивание винтами направляющей к основанию, а отсутствие каких бы то ни было углублений или выступов позволяет справиться с накоплением излишней смазки или загрязнения на профиле направляющей и эффективно проводить очистку ее поверхности с помощью скребков.

Каретка линейного привода EGC выполнена из алюминиевого сплава. К ней крепятся два шариковых блока линейной направляющей, элементы привода (ШВП или зубчатый ремень), а также флаг бесконтактных концевых датчиков. Для установки нагрузки предусмотрены резьбовые отверстия сверху и сбоку каретки.





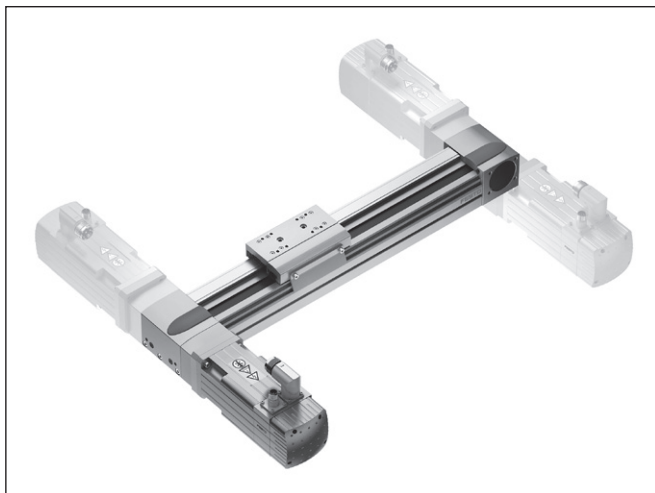
Линейный привод EGC представлен в 5-ти типоразмерах с зубчатым ремнем (50, 70, 80, 120, 185 – ширина профиля основания) и 4-х типоразмерах с ШВП (70, 80, 120, 185). Широкий ряд типоразмеров позволяет наиболее точно подобрать линейный привод и его характеристики по задаче.

Зубчатый ремень изготовлен из полихлоропренового каучука, армированного стекловолокном, что дает высокую гибкость и одновременно жесткость. Зубчатый ремень устанавливается на двух шкивах, каждый из которых может быть приводным, упрощая монтаж двигателя.

ШВП крепится к основанию с помощью подшипниковых опор. Для каждого типоразмера существует возможность выбирать шаг винта для оптимальной реализации линейного перемещения. Для защиты ШВП используется специальное линейное уплотнение (аналогичное бесштоковым пневмоцилиндрам).

Монтаж двигателей. Типы двигателей

Одна из основных отличительных особенностей линейного привода EGC с зубчатым ремнем – это возможность монтажа электродвигателей (или двигателей с редуктором) с любой из четырех сторон. Это возможно благодаря идентичному механическому интерфейсу крепления, а также конструкции шкивов – оба могут быть приводными. Монтаж с любой стороны упрощает проектирование – легче вписать привод в конструкцию, упрощает заказ – не нужно задумываться расположении приводных и не приводных валов, а также упрощает монтаж непосредственно на установке – в случае необходимости возможно перенести двигатель в любую из четырех точек.



Двигатели (или двигатели с редуктором) крепятся к EGC с помощью стандартных монтажных комплектов, что позволяет получать законченную электромеханическую систему линейного перемещения.

В зависимости от задачи и требований по скорости, ускорению и точности, предъявляемых к системе перемещения, линейный привод EGC может быть совмещен с одним из двух типов сервоприводов:

– Комплектный шаговый привод: двигатели EMMS-ST и сервоусилители CMMS-ST. Может быть использован как разомкнутый шаговый привод без датчика положения или как сервопривод с относительным энкодером и полным контролем над позицией, скоростью и моментом, а как следствие и контролем над потреблением энергии;

– Комплектный синхронный сервопривод: серводвигатели EMMS-AS и сервоусилители CMMx-AS. Полноценные сервоприводы с двигателями на постоянных магнитах, абсолютными энкодерами на валу и богатым набором функций.

Типоразмеры линейных приводов, двигателей и сервоусилителей оптимизированы друг под друга.

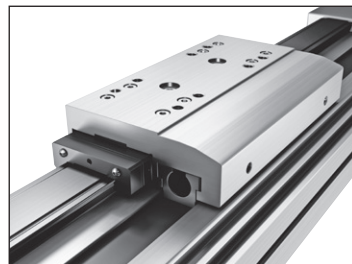
Опции

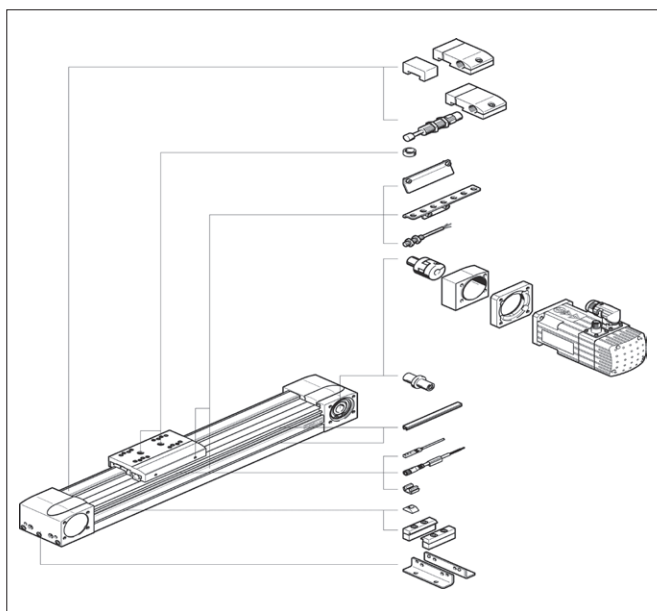
Линейные привода EGC снабжены широким набором опций.

Для увеличения нагрузочных характеристик по усилиям и моментам линейные приводы возможно укомплектовать дополнительными пассивными каретками или удлиненной кареткой.

Для дополнительной защиты от внешней среды кареток и линейных направляющих предусмотрена опция защитных скребков. Скребки состоят из трех слоев: металлический – грубая очистка, набор тонких ламелей – тонкая очистка, резиновое уплотнение – удержание смазки. Такие скребки эффективно удаляют пыль и даже влагу. Конструктивные опции призваны упростить и ускорить монтаж и проектирование: монтажные комплекты для двигателей, торцевые и боковые крепления.

Также предусмотрены бесконтактные концевые выключатели (утапливаемые в паз или цилиндрические), которые можно установить в любую точку.





Технические характеристики

Тип	EGC-TB с зубчатым ремнем	EGC-BS с ШВП
Типоразмеры (ширина профиля)	50, 70, 80, 120, 185	70, 80, 120, 185
Макс. ход, [мм]	8500	3000
Макс. скорость, [м/с]	5	2
Макс. ускорение, [м/с ²]	50	15
Повторяемость, [мм]	0,08	0,02
Макс. осевая сила, [Н]	2500	3000
Макс. момент M _x , [Нм]	529	
Макс. моменты M _y /M _z , [Нм]	1820	

В случае необходимости повышения безопасности работы устанавливают каучуковые ограничители хода или гидравлические амортизаторы.

Применения

Линейный привод EGC используется для решения широкого диапазона задач:

- для повышения производительности и функциональности упаковочных и технологических машин в пищевой промышленности (замена одного или нескольких пневматических приводов);
- для автоматизации непрерывных технологических и упаковочных линий (портальные манипуляторы);
- для построения автоматизированных измерительных комплексов (одно- или много- осевые системы перемещения);
- для реализации контурных движений резки, сварки, склейки, специализированной обработки листовых материалов (раскройные координатные столы, сварочные установки).

Расчет и ввод в эксплуатацию

Для сокращения времени расчета и ввода в эксплуатацию, для оптимального выбора и максимального удобства в работе разработаны специализированные программные продукты для расчета и подбора элементов систем перемещения и программные средства для конфигурирования и ввода в эксплуатацию. Подробные характеристики линейного привода EGC введены в базу программного обеспечения.

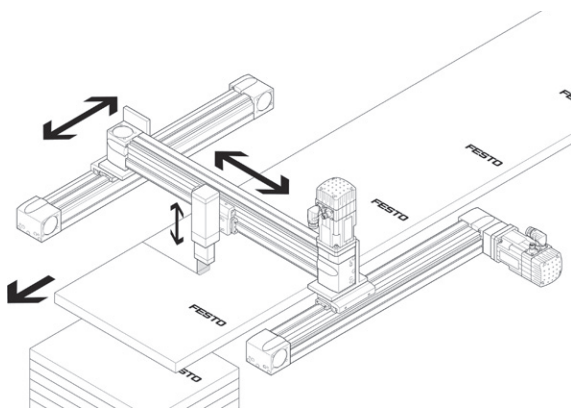
Подбор и расчет

PositioningDrives простая и одновременно мощная программа для расчета и подбора систем электропривода позволяет исключить ошибки, сократить время и оптимизировать решение.

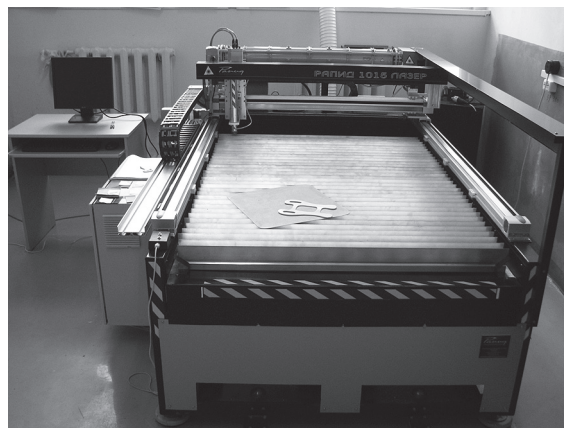
Исходные данные: ход, масса, повторяемость, направление перемещения необходимо ввести в программу. Предусмотрено ограничение требуемого времени перемещения, а также предварительный выбор типа привода и вариантов комплектации.

Для удобства выбора, подобранные варианты можно отсортировать по типам двигателя и привода, функции компонентов, продолжительности цикла или стоимости.

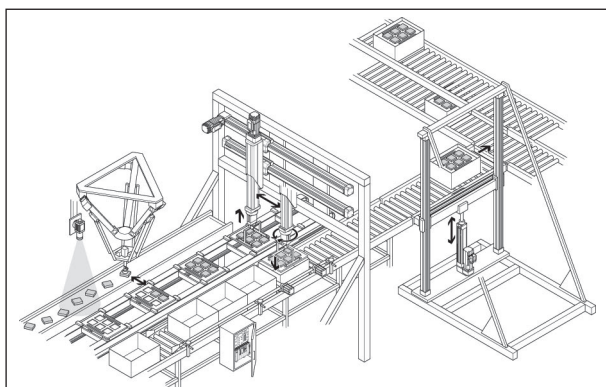
Программа также выдает подробные результаты, такие как: графики движения, результаты расчета динамики, параметры системы, характеристики и список компонентов.



Трёхкоординатный порталный манипулятор с функцией «летающая пила». Сначала приводы по оси X догоняют материал или транспортер, а затем при одновременном движении включаются в работу оси Y и Z и осуществляют технологическую операцию (резку материала или установку объектов на транспортер)



Координатный стол лазерного раскроя листового материала. Движение в плоскости (X, Y) реализовано на базе EGC. Взаимосвязанное управление по осям происходит с помощью контроллера с 2,5D интерполяцией CECX



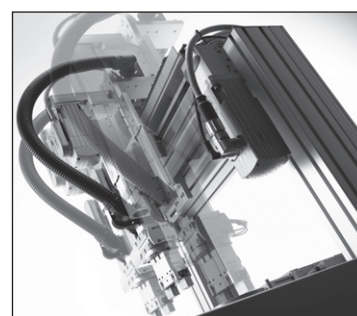
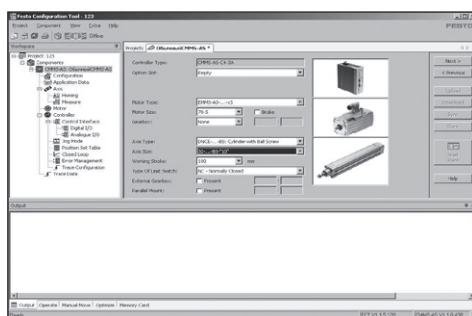
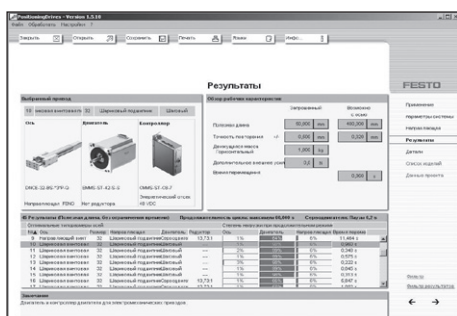
Автоматическая упаковочная линия. В ее составе манипулятор-трипод с системой машинного зрения (на базе EGC), два транспортера, Y-Z-манипулятор (ось Y на базе EGC), рольганг, лифт на базе электрического цилиндра DNCE

Ввод в эксплуатацию

Программа конфигурирования FCT FESTO для ввода в эксплуатацию. Управление и сохранение всех параметров приводной системы можно осуществлять в одном общем проекте. Управление проектом и данными для всех типов поддерживаемых устройств. Простота в использовании благодаря графически поддерживаемому вводу параметров. Универсальный режим работы для всех приводов. Работа в автономном режиме, сидя за компьютером, или в оперативном режиме находясь непосредственно рядом со станком.

Программные продукты Positioning Drives и FCT доступны для свободного скачивания на сайте www.festo.com

Линейный привод EGC является высокотехнологичным продуктом для решения задач одно- и многокоординатного управляемого перемещения. Благодаря оптимизированной жесткой конструкции, широкому ряду типоразмеров, наличию двух вариантов привода (зубчатый ремень и ШВП), удобству монтажа двигателя и богатому набору опций, линейный привод EGC подходит для решения именно Вашей задачи.



ТЕМЫ СЕМИНАРОВ:

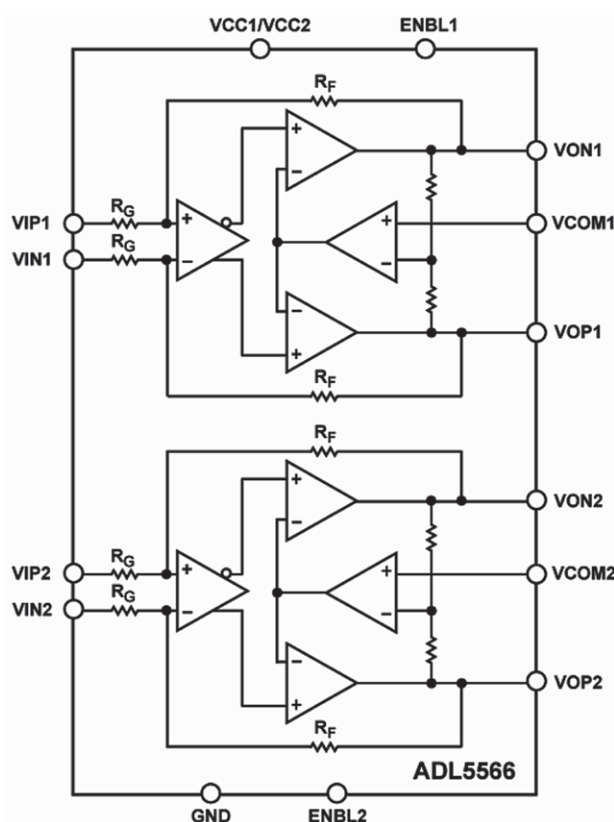
- Квалифицированное обслуживание пневматических систем
- Квалифицированное обслуживание гидравлических систем

КОМПЛЕКСНОЕ ОБУЧЕНИЕ ПО SIEMENS:

- Программирование контроллеров Siemens (STEP7)
- Программирование панелей оператора Siemens (WinCC)
- Промышленные сети. Profibus-DP
- Регулирование на базе частотного преобразователя MicroMaster

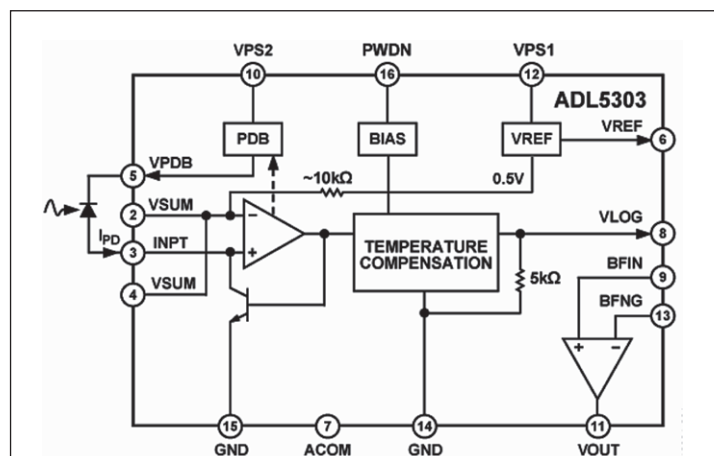
ВЧ и ПЧ КОМПОНЕНТЫ, КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ СИСТЕМ БЕСПРОВОДНОЙ И ШИРОКОПОЛОСНОЙ СВЯЗИ

Высококачественный двухканальный дифференциальный усилитель ADL5566 предназначен для работы с постоянными сигналами и сигналами ПЧ. Он обладает фиксированным коэффициентом усиления 16 дБ, шириной полосы 4,5 ГГц, скоростью нарастания 16 В/нс, временем установления 2,5 нс, входным шумом 1,3 нВ/√Гц и уровнем искажений – 103 дБ при частоте сигнала 10 МГц, что делает его идеальным для применения в схемах входного интерфейса с быстродействующими 16-разрядными АЦП. Коэффициент поддерживает работу с дифференциальными или несимметричными входными сигналами и имеет дифференциальный выход. При помощи двух внешних резисторов для каждого канала можно реализовать перестройку коэффициента усиления в диапазоне от 0 дБ до 16 дБ для дифференциального входного сигнала и от 0 дБ до 14 дБ для несимметричного входного сигнала. Каналы усиления хорошо согласованы, и при частоте сигнала 100 МГц погрешность рассогласования коэффициентов усиления составляет 0,1 дБ, а фаз – 0,06°. Этот компонент, оптимизированный для поддержания широкой полосы, низких искажений и малого шума, имеет превосходный свободный от побочных составляющих динамический диапазон (spurious-free dynamic range, SFDR) в полосе рабочих частот, что делает его идеальным выбором для усиления входных сигналов различных смесителей, аттенюаторов и фильтров. ADL5566 работает от напряжения питания в диапазоне от 2,8 В до 5,2 В, потребляя 70 мА на канал при 3,3 В и 3,5 мА в неактивном состоянии. Компонент выпускается в 24-выводном корпусе LFCSP, рабочий температурный диапазон составляет от –40°C до +85°C.



Двухканальный дифференциальный усилитель с полосой 4,5 ГГц и крайне широким динамическим диапазоном

Логарифмический детектор ADL5303 оптимизирован для измерения мощности сигналов низких частот



Недорогой логарифмический преобразователь с динамическим диапазоном 160 дБ

в волоконно-оптических системах. Компонент обеспечивает динамический диапазон 160 дБ (от 100 пА до 10 мА) и поддерживает отклонение от логарифмического закона не более 0,1 дБ в диапазоне от 1 нА до 1 мА. Установленный при помощи лазерной подгонки наклон логарифмической характеристики 10 мВ/дБ (200 мВ на декаду) можно отрегулировать в соответствии с имеющимся размахом входного сигнала, а точка пересечения с осью абсцисс может быть изменена при помощи интегрированного источника опорного напряжения. Адаптивная схема смещения уменьшает темновой ток фотодиода при очень малых уровнях освещенности. Ширина полосы пропорциональна входному току и увеличивается от 2 кГц при 1 нА до максимального значения, равного 10 МГц. ADL5303 работает с напряжением питания в диапазоне от 3,0 В до 5,5 В, потребляя 45 мА в нормальном режиме и 60 мкА в неактивном состоянии. Компонент выпускается в 16-выводном корпусе LFCSP, рабочий температурный диапазон составляет от –40°C до +85°C.

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ КВАРЦЕВЫХ РЕЗОНАТОРОВ (МАРКИРОВКА, ЕМКОСТЬ НАГРУЗКИ ...)

А. Лапиков,
директор УП «Алнар»

Еще совсем недавно, около 15 лет назад, на рынке кварцевых изделий стран бывшего СССР безраздельно господствовали несколько отечественных производителей кварцевых резонаторов, кварцевых генераторов и кварцевых фильтров со своей добротной, но, к сожалению, технически устаревшей продукцией. Несомненным плюсом для потребителей того времени была абсолютная определенность типов, технических требований, параметров качества и надежности, установленными в соответствии с ТУ и ГОСТами для большинства кварцевых изделий, имеющихся на рынке и производимых несколькими заводами, ранее входившими в концерн «Фонон».

Ситуация кардинально изменилась с открытием западных и, особенно, восточных рынков, когда на отечественных производителей электронной аппаратуры буквально обрушился поток предложений по поставке кварцевых резонаторов, кварцевых генераторов и кварцевых фильтров со всевозможных стоковых складов и разного рода малоизвестных фирм, большинство которых позиционируют себя на рынке самостоятельными производителями, хотя таковыми не являются.

С одной стороны, в этом был и есть очевидный прогресс для отечественного рынка комплектующих изделий, так как появился выбор – основа рыночных отношений. Ведь те потребители, которых не особо заботят качество и надежность выпускаемой продукции, могут без проблем использовать дешевые резонаторы со стоковых складов из числа тех, от которых по понятным причинам отказались зарубежные производители электронной техники. Такие кварцевые изделия, а также изделия сомнительного или неизвестного происхождения, как правило, характеризуются:

- невысокой номенклатурой типоразмеров, среди которых большинство составляют устаревшие материалоемкие металлические и пластмассовые корпуса;
- низкой ценой (зачастую ниже требуемой себестоимости, которая бывает при производстве качественных кварцевых резонаторов);

- отсутствием оригинальной технической документации и оригинальных сопроводительных документов или изготовленных с помощью компьютерных технологий теми, кто продает их на нашем рынке;

- совершенно неопределенными электрическими параметрами, которые отсутствуют в «part number» для конкретной партии, например: HC49/S-12.00000MHz или SMD5032-25.0000MHz

- неизвестной датой выпуска (отсутствует в маркировке) или очень старыми датами выпуска (может превышать 20 и более лет);

- отсутствием гарантии нормальной работоспособности и некоторыми другими видимыми и скрытыми признаками, о которых пойдет речь в этой статье.

Автор предлагает их в виде сравнительной таблицы по отношению к качественным и надежным кварцевым резонаторам крупнейшего брендового производителя, философия которого основывается на следующих постулатах: постоянный технический прогресс, высочайшее качество, конкурентная цена, техническая поддержка на всех стадиях применения.

Возможно, у каждого читателя будет свое личное мнение «who is who» по признакам, приведенным в этой таблице. Еще более любопытной представляется общая картина возможных отзывов читателей на данную статью о полезности приведенных материалов и определения главных «фигурантов».

Характеристика	Дешевые кварцевые резонаторы сомнительного или неизвестного происхождения	Качественные кварцевые резонаторы крупнейшего брендового производителя (далее КБП)	Комментарии
Внешний вид	На первый взгляд, нет внешних видимых отличий по сравнению с высококачественными кварцевыми резонаторами. Более детальное изучение показывает наличие упрощенного конструктива крепления кристалла, применение низкокачественных сортов сырья для производства кварцевых пластин, корпусных деталей и других материалов, применяемых в производстве таких резонаторов.	Внешний вид кварцевых резонаторов КБП всегда соответствует требованиям из PDF-спецификации или каталога производителя по типам, размерам, маркировке, упаковке и т.п.	Поверхностный контроль внешнего вида дешевых резонаторов зачастую бывает ошибочным, так как по внешнему виду невозможно определить истинные параметры изделия, его качественные и надежность характеристики. Вывод: применение резонаторов сомнительного или неизвестного происхождения не могут гарантировать нормальной работы изделия в аппаратуре заказчика и поэтому требуют 100% дополнительного входного контроля по определению истинных параметров на соответствие требованиям конкретной конструкции и схемы р/э прибора, в котором планируется применение таких резонаторов.

Маркировка	Присутствует только обозначение частоты, зачастую с множеством нулей после запятой. Нет обозначения: - нагрузочной емкости; - принадлежности к заводу-изготовителю; - даты изготовления. Маркировка наносится или некачественной краской (частично размазана, плохо читается и смывается спиртовым раствором) или присутствует лазерная маркировка с нечеткими переходами, часто наблюдается наличие коррозии особенно после длительного хранения на складе.	Маркировка строго соответствует требованиям PDF-спецификации на конкретный тип резонатора. Маркировка содержит: - цифровую информацию о частоте в МГц; - кодовое буквенное обозначение емкости нагрузки; - кодовое буквенно-цифровое обозначение принадлежности к КБП, кодовое буквенно-цифровое обозначение даты изготовления. Только лазерная маркировка и только с четкими границами легко читается, не стирается и не поддается коррозии.	Маркировка краской может нарушаться под воздействием температуры, активных сред и т.д. Плохо читаемая маркировка, в том числе и некачественная лазерная маркировка, способствует многочисленным ошибкам при применении резонаторов. Наличие такой маркировки в резонаторах, установленных в изделия потребителя кварцев, снижает имидж компании производителя готового изделия. Вывод: отсутствие в маркировке емкости нагрузки способствует грубому ошибочному применению резонатора у клиента, что, как правило, приводит к перемежающимся отказам аппаратуры в процессе эксплуатации с течением времени и при изменении температурных условий эксплуатации. Некачественная маркировка, отсутствие принадлежности к производителю и даты выпуска исключает не только гарантийные претензии к производителю, но и способствует применению резонаторов с истекшим сроком хранения. Плохо читаемая маркировка способствует многочисленным ошибкам в процессе производства, хранения и эксплуатации аппаратуры потребителя.
Электрические параметры			
Стандартные параметры	Неизвестная и, как правило, низкая температурная стабильность частоты. Производятся с неизвестным и очень широким отклонением начальной установки частоты в процессе производства при температуре 25 °С. Емкость нагрузки неизвестна и, как правило, возможны только 2-3 значения емкости нагрузки даже в одной партии резонаторов. Неизвестное и высокое динамическое сопротивление. Возможны резонансы на побочных частотах, отличных от номинальной требуемой частоты.	Высокая стандартная частотная стабильность от +/-10 ppm для -20/+70 °С для большинства резонаторов из широкой номенклатуры типов. Возможно производство резонаторов с отклонением частоты +/- 3 ppm и выше с любыми значениями емкости нагрузки от 6 пФ. Низкое динамическое сопротивление в зависимости от типов корпусов и применяемых частот, соответствующее применению качественных сортов кварцевого сырья и других материалов и современных технологических процессов. Нет побочных срабатываний. Эти параметры гарантированы 100% проверкой всех определяемых параметров по новейшим технологиям измерений. При применении таких резонаторов не требуется входной контроль на предприятии потребителя.	Гарантия надежной работы кварцевых компонентов и изделий может следовать только из точного определения параметров, т.е. при применении дешевых резонаторов необходимо наличие дополнительного входного 100% контроля для выявления истинных параметров стабильности, емкости нагрузки динамического сопротивления и др. Вывод: плохая стабильность частоты, высокое сопротивление, неизвестная емкость нагрузки, побочные срабатывания являются причиной нестабильного функционирования и непрогнозируемых случайных отказов аппаратуры.
Задержка на срабатывание	Возникают очень длительные задержки выхода на нормальный режим работы.	Отсутствие задержек на срабатывание у резонаторов КБП обеспечивается 100 % тестированием на задержки срабатывания (28 точек измерения)	Задержки на срабатывание обусловлены загрязнением пластин (частицы, пыль, инородные включения, некачественное дешевое сырье и материалы и др.). Задержки на срабатывание могут нанести вред безопасности и функционированию электрических схем, случайным непредсказуемым отказам аппаратуры. Вывод: работоспособность электрических схем потребителя не может быть гарантированной.

Эксплуатационные параметры			
Температурный диапазон работы	Температурный диапазон работы резонаторов неизвестен, как правило, он ограничен диапазонами (0.. +/ -40°C) или (0.. +/ -60°C).	В своем производстве КБП использует только высококачественное кварцевое сырье и материалы для производства кварцевых резонаторов. Технологическое тестирование в камерах тепла и холода в процессе производства обеспечивает безотказную гарантированную работу резонаторов в температурном диапазоне от -40 до +125 °C. Стандартными диапазонами температур являются от -40 до +85 °C.	Недостаточный температурный диапазон работы из-за применения дешевого сырья и материалов может быть причиной отклонений и пропадаания генерации при работе аппаратуры в диапазоне температур, начиная от -10 до +70°C. Эти проявления, как правило, появляются после некоторого времени, вследствие деградации дешевых материалов под воздействием температуры. Вывод: применение кварцевых резонаторов с неизвестным рабочим диапазоном температур недопустимо для изделий с любыми минусовыми температурами и температурами свыше +40 °C.
Удары и вибрации	Параметры не определены, тестирование не проводится. Конструкция кварцевых резонаторов не выдерживает повышенных механических нагрузок за счет применения жесткой примитивной конструкции кристаллодержателя и дешевых низкокачественных паяльных паст.	Эксплуатационные параметры при механических воздействиях определены, имеются в каталоге и соответствуют стандартам AEC-Q200-REV B: MIL-STD-202 Метод 213 MIL-STD-202 Метод 204 Применена специальная виброудароустойчивая конструкция кристаллодержателя. Применены самые современные виброустойчивые высокотемпературные клеящие и паяльные пасты.	Устойчивость к ударам и вибрациям является важным фактором, связанным с внешними воздействиями, как: транспортировка, автоматизированная установка, ультразвуковая очистка, работа в движущейся аппаратуре на авто и авиа транспортных и др. средствах. Вывод: применение кварцевых резонаторов, не удовлетворяющих требованиям к возимой и авиа аппаратуре с повышенными механическими воздействиями, обязательно приведет к прогнозируемым отказам при эксплуатации.
Влагостойкость и герметичность	Параметры не определены, тестирование не проводится	Влагостойкость уровень 1 MIL-STD-202 Метод 106. Проверка на герметичность конструкции проводится с помощью теста на утечку гелия и пробы на гигроскопичность. Постоянно проверяется вся продукция.	Влажность является причиной коррозии, утечек, постепенного ухудшения электрических параметров вследствие деградации внутриконструктивных соединений. Вывод: применение кварцевых резонаторов без контроля на влагостойкость, герметичность и гигроскопичность недопустимо в изделиях, где возможны повышенная эксплуатационная влажность или резкие изменения температуры, которые способствуют появлению влажной среды.
Тестирование в активных средах	Имеются следы коррозии. Корпус и основание резонаторов в металlostеклянных выводных корпусах выполнены из низкосортной никелированной стали. Выводы могут быть облужены и плохо паяются.	Гарантированная устойчивость к коррозии Корпус – нейзильбер (сплав меди с цинком и никелем). Вывод: Ковар + SnAgCu покрытие обеспечивают великолепную паяемость для выводных резонаторов.	Активная среда – причина окислений, коррозии, утечек, ухудшения электрических параметров. Вывод: требуется 100 % дополнительный входной контроль на паяемость и контроль на устойчивость к коррозии при применении резонаторов сомнительного или неизвестного происхождения.
Тест на эксплуатационный срок службы	Нет данных.	MIL-STD-202 Метод 108. Тест установлен перед началом массового производства.	Конструктив, технология производства и функционирования кварцевых изделий КБП верифицированы и сертифицированы в соответствии с ISO-9001. Вывод: При соблюдении допустимых норм эксплуатации кварцевых изделий КБП отказы последних практически исключены.
Параметры применения			
Устойчивость к температуре пайки. Пригодность к пайке	Температура пайки до 230 °C max. Точные параметры пайки не определены.	Допускаются любые виды пайки. Наличие точных режимов пайки: температура пайки до 260 °C в соответствии с J-STD-002.	В соответствии с требованиями Европейского Союза о не применении свинца (RoHS) и WEEE + отсутствие свинца (Pb-free), установленными к исполнению на 1 июля 2006 года, необходимо увеличение температуры пайки. Она вырастет до 260 °C. Этим обеспечивается надежность соединения без причинения ущерба параметрам резонатора.

Упаковка	Упаковка россыпью в коробки (пластиковые пакеты). Частично на ленте в катушке. Отсутствие на упаковке принадлежности к конкретному производителю. Упаковочные коробки из неударопрочного дешевого картона. Отсутствие на упаковке ТХ на изделия, штампов ОТК и паспортов на партию.	Упаковка в коробки из специального ударопрочного картона с этикеткой и обозначением всех параметров, обязательное присутствие штампов ОТК. Упаковка на подложке. Упаковка на стандартной ленте в катушке. КБП использует для упаковки только 100 % экологически чистые материалы. Упаковочные материалы оптимизированы и предполагают защиту от ударов и вибраций, предназначены для длительной транспортировки.	Материалы и методы упаковки должны гарантировать сохранность и защиту от ударов при транспортировке, а также быть экологически чистыми. Упаковка должна иметь четкие признаки завода изготовителя, а также этикетку с указанием всех необходимых ТХ в соответствии с требованиями каталога. Вывод: отсутствие вышеизложенного наносит не только ущерб потребителю, но и окружающей среде.
Сервис и поддержка			
Сервис и поддержка	Нет данных.	Техническая поддержка по оптимальному применению. Информационная техническая поддержка и поддержка по качеству. Центр тестирования и измерений. Ежедневный буферный запас на складе. Оперативная отправка продукции заказчику.	Наличие набора сервисных услуг позволяет оптимизировать применение кварцевых изделий в аппаратуре заказчика с учетом критериев ТХ-КАЧЕСТВО-ЦЕНА-ДОСТУПНОСТЬ ПОСТАВКИ. Вывод: отсутствие этого вызывает дополнительные затраты у потребителя, которые значительно превышают сомнительные выгоды от закупки дешевых резонаторов сомнительного или неизвестного происхождения.

Данная таблица предназначена, прежде всего, для разработчиков и производителей электронной аппара-

туры, строящих свою техническую и маркетинговую и хозяйственную политику на применении самых современ-



УП «АЛНАР»
Директор
Лапиков Александр Петрович

- Кварцевые резонаторы, генераторы, фильтры.
- Пьезокерамические и ПАВ-резонаторы, фильтры.
- Литиевые элементы питания.
- Технические консультации по оптимальному применению.

Тел./факс: +375 (17) 209-69-97, 202-65-80, тел. моб.: +375 (29) 644-44-09.
E-mail: alnar@tut.by – для конструкторов,
alnar@alnar.net – для служб обеспечения.
www.alnar.net

ных комплектующих, для которых качество, надежность и гарантии работоспособности аппаратуры являются основой для продвижения своего продукта на рынки и залогом дальнейшего развития. Приведенные в таблице сведения помогут конструкторам избежать многих ошибок при применении того или иного кварцевого резонатора, а работникам служб комплектации и маркетинга невосполнимых материальных и значительных временных потерь при их закупках.

НОВОСТИ

GARTNER: В 2013 ГОДУ РЫНОК МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ ВОССТАНОВИТСЯ

Мировой объем продаж микросхем в 2012 году составил 298 млрд долл. США, что на 3 % ниже по сравнению с прошлым годом, но аналитики Gartner полагают, что в 2013 году рост все-таки возобновится. По последним прогнозам, в 2013 году объем рынка может достичь 311 млрд долл. США. Ранее в Gartner предсказывали рост до 330 млрд долл. США, но общее положение в экономике и факт наличия больших запасов на складах вынудили аналитиков понизить прогноз. Даже на устойчиво растущем рынке микросхем для смартфонов отмечено замедление роста, хотя он остается ведущим фактором роста мирового рынка микроэлектроники.

У корпорации Intel – крупнейшего в мире производителя микросхем – продажи в 2012 году упали на 2,7 %, отмечают в Gartner. Причины этого аналитики видят в низком спросе на персональные компьютеры, как из-за слабости экономики, так и из-за переориентации потребителей на планшеты и смартфоны.

У Samsung Electronics, являющейся вторым по величине производителем в мире, продажи упали на 8,7 %. Зато Qualcomm удалось увеличить их на 29,6 % по сравнению с прошлым годом и переместиться с шестого на третье место в мире. Четвертой стала Texas Instruments, а пятой – Toshiba.

osp.ru

НАИМЕНОВАНИЕ ТОВАРА	ЦЕНА	НАЗВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ	АДРЕС, ТЕЛЕФОН
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ			
Индукционные лампы Saturn 40, 80, 120, 150, 290, 300W. В комплекте электронный балласт	80-380 у.е.	ООО «ФЭК»	г. Минск. Тел./ф.: 200-34-23, тел.: 200-04-96. E-mail: lighting@fek.by
Индукционные лампы Smart Dragon 40, 80, 120, 150, 200, 300W.	80-380 у.е.		
Дроссели, ЭПРА, ИЗУ, пусковые конденсаторы, патроны и ламподержатели для люминесцентных ламп	Договор	ООО «Альфалидер групп»	г. Минск. Тел./ф.: 391-02-22, тел.: 391-03-33. www.alider.by
Мощные светодиоды (EMITTER, STAR), сборки и модули мощных светодиодов, линзы ARLIGHT	Договор	ООО «СветЛед решения»	г. Минск. Тел./ф.: 214-73-27, 214-73-55. E-mail: info@belaist.by www.belaist.by
Управление светом: RGB-контроллеры, усилители, диммеры и декодеры			
Источники тока AC/DC для мощных светодиодов (350/700/100-1400 mA) мощностью от 1W до 100W ARLIGHT			
Источники тока DC/DC для мощных светодиодов (вход 12-24V) ARLIGHT			
Источники напряжения AC/DC (5-12-24-48V/ от 5 до 300W) в металлическом кожухе, пластиковом, герметичном корпусе ARLIGHT, HAITAIK			
Светодиодные ленты, линейки открытые и герметичные, ленты бокового свечения, светодиоды выводные ARLIGHT			
Светодиодные лампы E27, E14, GU 5.3, GU 10 и др.			
Светодиодные светильники, прожектора, алюминиевый профиль для светодиодных изделий			
КВАРЦЕВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ, ГЕНЕРАТОРЫ, ФИЛЬТРЫ, ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ			
Любые кварцевые резонаторы, генераторы, фильтры (отечественные и импортные)	от 0,10 у.е.	УП «Алнар»	г. Минск. Тел./ф.: 209-69-97, тел. (029) 644-44-09. E-mail: alnar@alnar.net www.alnar.net
Кварцевые резонаторы Jauch под установку в отверстия и SMD-монтаж	от 0,10 у.е.		
Кварцевые генераторы Jauch под установку в отверстия и SMD-монтаж	от 0,50 у.е.		
Термокомпенсированные кварцевые генераторы	от 2,20 у.е.		
Резонаторы и фильтры на ПАВ			
Пьезокерамические резонаторы, фильтры, звонки, сирены	от 0,04 у.е.		
СПЕЦПРЕДЛОЖЕНИЕ			
Большой выбор электронных компонентов со склада и под заказ	Договор	ЧТУП «Чип электроникс»	г. Минск. Тел./ф.: 269-92-36. E-mail: chipelectronics@mail.ru www.chipelectronics.by
Широчайший выбор электронных компонентов (микросхемы, диоды, тиристоры, конденсаторы, резисторы, разъемы в ассортименте и др.)	Договор	ООО «Альфалидер групп»	г. Минск. Тел./ф.: 391-02-22, тел.: 391-03-33. www.alider.by
Мультиметры, осциллографы, вольтметры, клещи, частотомеры, генераторы отечественные и АКИП, APPA, GW, LeCroy, Tektronix, Agilent	1-й поставщик	ООО «Приборо-строительная компания»	г. Минск. Тел./ф.: 284-11-18, тел.: 284-11-16. E-mail: 4805@tut.by
Широкий выбор электронных компонентов от ведущих производителей	Договор	ООО «Адвик-Строй»	г. Минск. Тел./ф.: 269-93-34. E-mail: advik@advik.by www.advik.by

ЧУП "Светоприбор" ОО "БелТИЗ" - белорусский производитель электроустановочных изделий. Под торговой маркой **"Bylectrica"** мы реализуем широкий ассортимент выключателей, розеток, электроустановочных блоков, монтажных коробок, удлинителей высокого качества и по низким ценам.



Электробезопасность

Розетки и удлинители с УЗО (устройством защитного отключения)

Эффективная защита от утечки тока и короткого замыкания. Применение данных изделий поможет сохранить жизнь Вашим работникам!



Энергосбережение

Выключатели на базе датчика движения Опτικο-акустические выключатели Светодиодные светильники Светодиодные прожекторы

Использование наших технологий поможет Вашему предприятию повысить свою производительность и энергоэффективность, существенно снизив затраты на электроэнергию и сэкономив денежные средства.

Это реальная экономия электроэнергии!



ЧУП "Светоприбор" ОО "БелТИЗ"
220018, г.Минск, ул.Якубовского, 52
тел. +375 (17) 258-69-21, 258-85-32
факс +375 (17) 258-85-35
sbyt@bylectrica.by
www.bylectrica.by



Производство электроустановочных изделий

БЕЛОРУССКИЙ**ПРОИЗВОДИТЕЛЬ****ЭЛЕКТРОНИКИ**

Контрактное производство электроники
 Автоматический и ручной монтаж печатных плат
 Поставка печатных плат
 Поставка электронных компонентов
 Поставка трафаретов из нержавеющей стали
 Разработка электроники на заказ

ЭЛЕКТРОКОНТИНЕНТ
 КОНТРАКТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО
 ЭЛЕКТРОНИКИ

www.elcontinent.by

**ПОЛНЫЙ КОМПЛЕКС УСЛУГ,
 ИЗГОТОВЛЕНИЕ
 ОТ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ -
 ДО КРУПНЫХ СЕРИЙ**

Республика Беларусь, 220026, г. Минск, пер. Бехтерева, 8, офис 35
 тел. (+375 17) 205 06 94, 296 31 61, Velcom (+375 29) 115 35 75
 e-mail: info@elcontinent.com



**ВСЁ НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
 ПРОЦЕССОВ И ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ**

Группа компаний **ЭЛТИКОН**

- Промышленные компьютеры, серверы, центры обработки и хранения данных;
- Встраиваемые и бортовые вычислительные системы, в т.ч. для жестких условий эксплуатации;
- ПЛК и микроконтроллеры, распределенные системы управления и сбора данных;
- Средства операторского интерфейса: мониторы, панели оператора, консоли управления, клавиатуры, трекболы, указательные устройства, информационные табло и мониторы для уличных применений;
- АУЩП, ЦАП, решения для управления движением, нормализаторы сигналов;
- Сетевое и коммуникационное оборудование для различных сетей, шлюзы данных, коммутаторы Ethernet, медиа-конвертеры, сетевые контроллеры, модемы, удлинители сетей, преобразователи интерфейсов, протоколов и т.п.;
- Датчики для различных применений;
- Источники вторичного электропитания для промышленных, медицинских, бортовых и специальных применений, инверторы электропитания, программируемые источники питания;
- Решения на основе полупроводниковых источников света для уличного освещения и архитектурной подсветки;
- Специализированные датчики, контроллеры и устройства для «умного дома»;
- Корпуса, конструктивы, субблоки в стандарте евромеханика, шкафы, стойки, компьютерные корпуса;
- Крепежные элементы, клеммы, монтажный инструмент, провода и кабели, кабельные вводы, соединители;
- Программное обеспечение всех уровней АСУТП, SCADA-система Genesis, OPC-серверы и средства их разработки

ADVANTECH

ADLINK
 TECHNOLOGY INC.

XP

ProSOFT[®]
 АВТОРИЗОВАННЫЙ ДИЛЕР

Akiwa Technology, Inc.
 SUBSIDIARY OF GUANGSHING INDUSTRIAL - TAIWAN

iKey

OCTAGON
 SYSTEMS

Getac

ICONICS

LITEMAX

BELDEN
 SENDING ALL THE RIGHT SIGNALS

TDK-Lambda

APC
 by Schneider Electric

iBASE

PEPPERL+FUCHS
ELCON

IEE

Transcend

WEINTEK

EtherWAN

rttd

SCAIME
 CLAMPING PRESS - TECHNICAL EQUIPMENT

INNO-DISK[®]
 Beyond your imagination

Schroff[®]

CEHCO

ifm electronic

WAGO[®]

PLANAR

XLight
 ИКСЛАЙТ

Fastwel

DATAFORTH[®]

mcn
 mikro elektronik
 gmbh - nürnberg

VIPA
 art of automation

InduKey
 Industrial Input Devices

TRI-M
 ENGINEERING

- ✓ Более 50 вендоров в программе поставок
- ✓ Широкий диапазон продукции "из одних рук"
- ✓ Сервисный центр и послегарантийное обслуживание продукции

- ✓ Компетентный анализ технических решений с гарантией совместимости и работоспособности конфигурации
- ✓ Наличие сертификатов и ГТД

- ✓ Развитая система логистики, нестандартные схемы поставок, склады в Минске, Москве и Гамбурге
- ✓ Производство промышленных компьютеров, шкафов автоматизации, сборка телекоммуникационных шкафов

220125 Минск, пр-т Независимости, 183 • Тел. (017) 289-6333 • Факс (017) 289-6169 • E-mail: info@elticon.ru • Web: www.elticon.ru

УНП 191092652