

Список литературы

1. Альфа-, бета- и гамма-спектроскопия /Под ред. К. Зигбана. М., 1969. Т. 3.
2. Ли Мунгир Ульпе Л. Р. // Расширенные тез. докл. VIII Всесоюз. конф. ренц. по локальным рентгеноспектральным исследованиям и их применению (21—23 09.82.). Черногловка, 1982. С. 122.
3. Перцев А. Н., Ходасевич В. В., Касько И. В., Ермолкевич Е. Э. // Изв. АН БССР. Сер. физ.-энерг. наук. 1984. № 2. С. 29.
4. Воробьев С. А. Прохождение бета-частиц через кристаллы. М., 1975.

Поступила в редакцию 20.01.86.

УДК 621.315.592

Д. И. БРИНКЕВИЧ, Н. И. ГОРБАЧЕВА,
В. В. ПЕТРОВ, В. С. ПРОСОЛОВИЧ, Б. М. ТУРОВСКИЙ

ТЕРМИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТЫ В КРЕМНИИ, ЛЕГИРОВАННОМ ГЕРМАНИЕМ

Легирование кремния изовалентными примесями (ИВП), в частности германием, весьма перспективно для целенаправленного управления свойствами кристаллов, чувствительными к присутствию структурных нарушений. Введение ИВП может привести к изменению ансамбля точечных центров и к возникновению в решетке полей упругих напряжений, неоднородность которых существенно влияет на диффузию дефектов и примесей [1, 2]. Эти обстоятельства могут сказываться на преципитации кислорода (ПК) и генерации термодоноров (ТД) при 823—1173 К. Целью настоящей работы явилось изучение данных процессов в $\text{Si} < \text{Ge} >$.

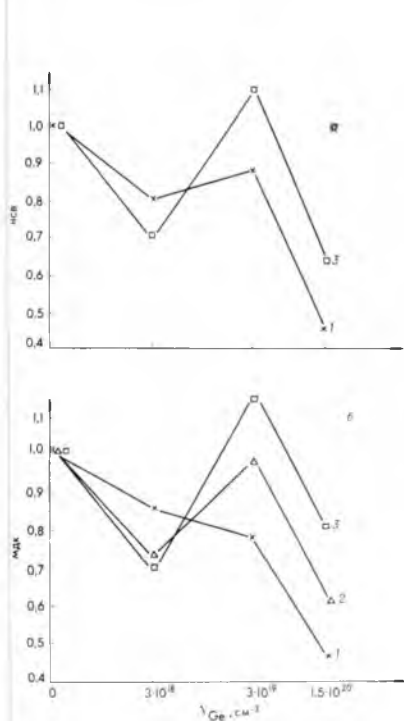


Рис. 1. Зависимости НСВ (а) и МДК (б), нормированные на их значения в контрольном материале, от концентрации германия. Температура отжига и длительность ПТО:

1 — 923 К, 120 ч; 2 — 1073 К, 175 ч;
3 — 1073 К, 350 ч

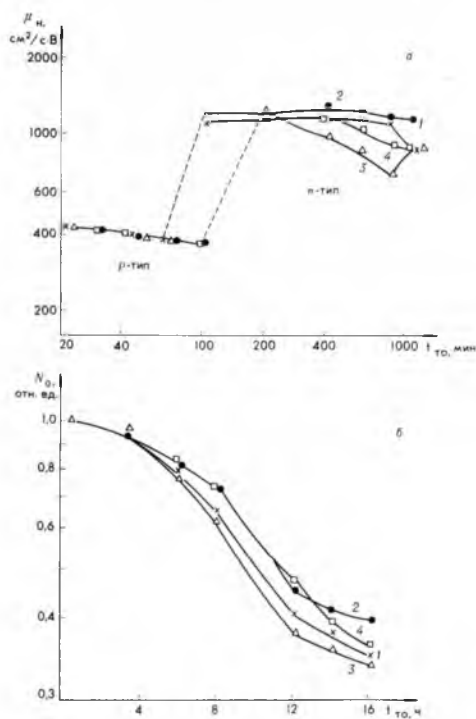


Рис. 2. Изменение μ_n (а) и концентрации междоузельного кислорода (б) в ходе отжига при 1073 К, $t_{\text{пто}}=350$ ч. Номера кривых соответствуют номерам образцов

Наряду с контрольным материалом (образец № 1) исследовался *p*-Si, легированный Ge в процессе выращивания из расплава по методу Чохральского. Концентрация германия (N_{Ge}), определенная методом нейтронно-активационного анализа, в образце № 2 составляла $3 \cdot 10^{18}$; № 3 — $3 \cdot 10^{19}$; № 4 — $1,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Во всех кристаллах концентрации междоузельного кислорода и углерода в положении замещения, определенные по полосам ИК поглощения при 9,1 и 16,5 мкм, составляли $9,0 \cdot 10^{17}$ и $5,6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ соответственно; концентрация свободных носителей заряда — $7,1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$. Измерения эффекта Холла и проводимости выполнялись в температурном интервале 80—300 К, спектров ИК поглощения — при 80 и 300 К на спектрометре UR-20. Однородность распределения Ge в кристаллах контролировалась методом локального зондового микроанализа на растровом электронном микроскопе «Nanolab-7». Термообработка (ТО) проводилась на воздухе при 923 и 1073 К. Для устранения возможных различий в термической предыстории кристаллов и для стимулирования генерации ТД часть образцов подвергалась предварительной термообработке (ПТО) при 723 К длительностью ($t_{\text{пт}}$) до 350 ч. В кристаллах, не подвергнутых ПТО, генерация ТД в ходе отжига при 1073 К длительностью ($t_{\text{то}}$) до 80 ч не наблюдалась. Отметим ряд характерных особенностей, вытекающих из наших данных (рис. 1 и 2).

1. Начальная скорость введения и максимально достижимая концентрация ТД монотонно зависят от содержания Ge для всех рассмотренных видов термообработки.

2. В ходе ТО имело место уменьшение холловской подвижности носителей заряда (μ_{H}), наиболее выраженное в образце № 3 (рис. 2, а).

3. Скорость удаления кислорода из междоузельного положения монотонно зависит от N_{Ge} (рис. 2, б).

4. С помощью метода локального зондового микроанализа установлено, что с ростом N_{Ge} уменьшается однородность распределения ИВП.

5. В ходе ТО не было обнаружено введения электрически и оптически активных центров, включающих в свой состав атомы Ge.

Наличие экстремумов на кривых зависимости свойства — концентрация ИВП можно объяснить на основании модели [1]. Как известно, ковалентный радиус атома Ge превышает соответствующую величину для атома Si. При малой концентрации Ge (образец № 2) в кристалле возникает неоднородное упругое поле деформации, что приводит к уменьшению скорости диффузии кислорода и в конечном итоге к подавлению процессов его преципитации и генерации ТД. При увеличении N_{Ge} (образец № 3) локальные поля напряжений перекрываются и происходит эффективное усреднение упругого поля в кристалле. В этом случае условия диффузии кислорода близки к условиям, реализуемым в контрольном кристалле. Скорость его диффузии по сравнению с образцом № 2 возрастает, и, следовательно, ускоряются процессы ПК и генерации ТД. При увеличении N_{Ge} до $1,5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ вследствие неоднородности распределения Ge, а возможно, и его кластерирования вновь проявляется «рельефность» потенциала, вызывающая замедление диффузии кислорода. Указанное обстоятельство определяет подавление ПК и генерации ТД.

Уменьшение μ_{H} в процессе ТО Si<Ge> можно объяснить, предположив, что термодфекты концентрируются вокруг областей скоплений Ge, создавая области пространственного заряда (ОПЗ). Появление ОПЗ и вызывает заметное уменьшение μ_{H} [3]. При увеличении длительности термообработки ОПЗ могут перекрываться, что приводит к восстановлению μ_{H} (см. рис. 2, а, кривая 3). В образце № 4 этот эффект выражен слабее вследствие меньшей концентрации ТД и подавления процессов ПК. В контрольном кристалле термодфекты, по всей вероятности, группируются на границах преципитатов, что также приводит к созданию ОПЗ и падению μ_{H} , но при более длительных ТО. В образце № 2 областей с повышенным содержанием Ge не наблюдалось; ПК замедлена

(рис. 2, б), вследствие этого образование ОПЗ затруднено и уменьшение μ_n незначительно.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о сложности рассмотренных процессов. На их протекание могут оказывать влияние взаимодействие атомов кислорода и Ge между собой, наличие повышенной концентрации вакансий вблизи ИВП, а также присутствие углерода и других технологических примесей.

Список литературы

1. Соловьева Е. В., Мильвидский М. Г. // ФТП. 1983. Т. 17. Вып. 11. С. 2022.
2. Соловьева Е. В., Лазарева Г. В., Лейферов Б. М., Лотоцкий А. Г., Мильвидский М. Г., Рытова Н. С., Твирина Э. А. // ФТП. 1984. Т. 18. Вып. 9. С. 1573.
3. Gossik B. R. // J. Appl. Phys. 1959. V. 30. № 8. P. 1214.

Поступила в редакцию 27.01.86.

УДК 621.396.67 (024)

Л. Н. ДАЙНЕКО, И. М. ПОЛЕЩУК

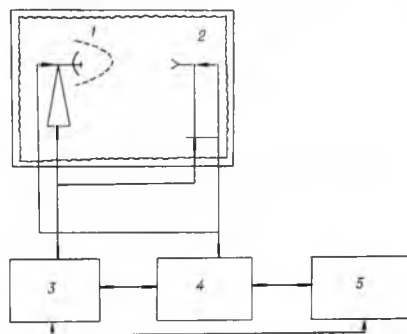
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНТЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Одной из характерных особенностей развития антенной техники в настоящее время является повышение требований к точности и оперативности отработки характеристик антенных систем. Вследствие больших объемов получаемой измерительной информации и трудоемкости операций измерения характеристик антенных систем измерительные комплексы, используемые для исследования этих характеристик, должны иметь высокую степень автоматизации, обладать достаточными вычислительными возможностями и иметь хорошо развитое математическое обеспечение [1—3].

В настоящей работе описывается автоматизированный измерительно-вычислительный комплекс (АИВК) для исследований характеристик антенн и антенных обтекателей. АИВК состоит из сканирующего устройства исследуемой антенной системы 1, сканирующего устройства передающей антенны 2, блока управления сканированием 3, измерительного устройства 4 и микро-ЭВМ типа «Электроника» с необходимыми периферийными устройствами 5 (см. рисунок).

Исследуемая антенна или обтекатель размещаются на сканирующем устройстве 1, которое обеспечивает их сканирование по двум угловым координатам. Сканирующее устройство передающей антенны позволяет перемещать передающую антенну в вертикальной плоскости. Оба указанных устройства размещены в безэховой камере. Сканирующие устройства управляются от блока управления сканированием, который в автономном режиме или под управлением микро-ЭВМ формирует управляющие воздействия на шаговые двигатели приводов сканирующих устройств.

Измерительное устройство включает в себя специализированный амплифазометр и комплект стандартной измерительной аппаратуры. Амплифазо-



Структурная схема автоматизированного измерительно-вычислительного комплекса для антенных измерений