

06;10;12

## Низкотемпературное радиационно-стимулированное геттерирование примесей и дефектов в кремнии слоями пористого кремния

© А.В. Куликов, В.А. Перевощиков, В.Д. Скупов, В.Г. Шенгуров

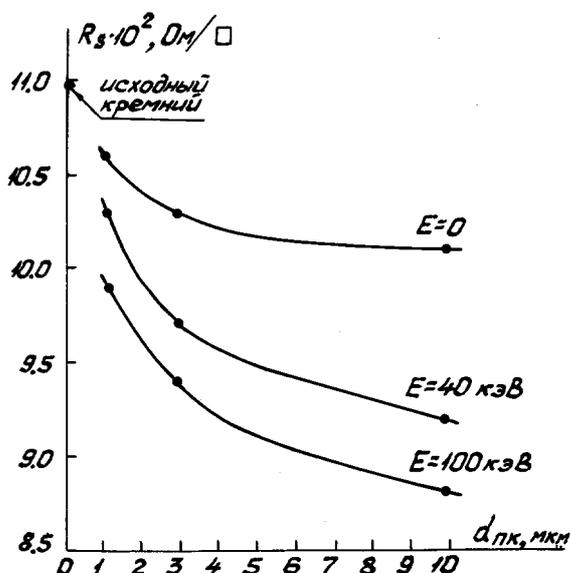
Научно-исследовательский физико-технический институт  
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского

Поступило в Редакцию 18 февраля 1997 г.

Изложены экспериментальные результаты по низкотемпературному геттерированию примесей и дефектов в полупроводниковых пластинах кремния слоями его пористой структуры с последующим облучением их ионами аргона. Показано, что эффект геттерирования обусловлен простейшими подвижными точечными дефектами (вакансиями) и упругими волнами.

Известно [1], что слои пористого кремния эффективно геттерировуют примеси и дефекты кластерного типа из монокристаллических кремниевых подложек при высокотемпературных отжигах структур в газовой среде или в вакууме. Вместе с тем приведенные в [2] результаты послыного масс-спектрометрического анализа структур пористый кремний–монокристаллический кремний свидетельствуют о геттерировании примесей, хотя и слабом, уже при комнатных температурах во время электрохимического формирования слоев пористого кремния и при последующей выдержке образцов в нормальных условиях. Цель настоящей работы состояла в исследовании возможностей усиления эффекта низкотемпературного геттерирования облучением слоев пористого кремния ионами средних энергий.

Объектами исследований служили структуры, сформированные анодной обработкой кристаллов кремния марки КДБ-0.005 (111) в растворе:  $\text{HF}:\text{H}_2\text{O}:\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}=1:1:2$  (об. части) при плотности анодного тока  $10 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ . Формировались слои пористого кремния с пористостью ~35% толщиной 1, 3 и 10 мкм. Далее структуры со стороны пористого кремния облучались ионами аргона с энергией 40 и 100 кэВ дозой  $1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ . После облучения пористый кремний удалялся в 15%-



**Рис. 1.** Изменение поверхностного сопротивления монокристаллической подложки после облучения ионами аргона дозой  $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  слоев пористого кремния различной толщины.

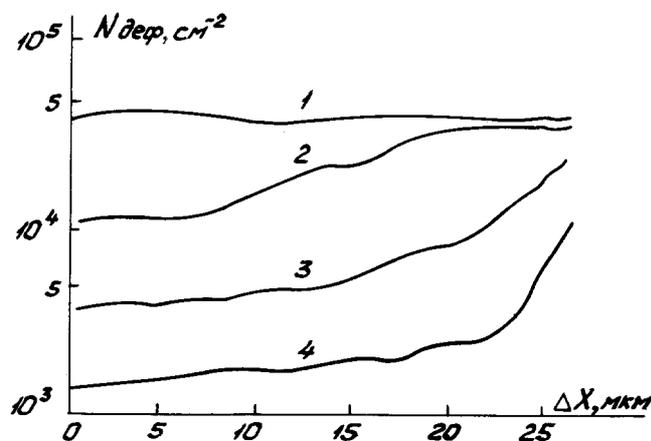
ном растворе КОН и на контактировавшей с ним стороне подложек проводились послойные измерения поверхностного электрического сопротивления в диапазоне температур 77–375 К и плотности микродефектов по картинам химического селективного травления в растворе: HF (48%): = 1 : 2 (об. части).

Эксперименты показали, что в результате анодной обработки и последующего облучения пористого кремния ионами  $\text{Ar}^+$  происходит уменьшение поверхностного сопротивления монокристаллической подложки вблизи границы раздела с пористым кремнием, причем изменения выражены тем сильнее, чем больше толщина пористого кремния и энергия внедряемых ионов (рис. 1). Одновременно с уменьшением среднего значения по поверхности сопротивления обнаружено и снижение дисперсии значений  $R_s$ : после анодной обработки и травли пористого кремния — на 9–10%, а после облучения и удаления пористого

кремния — на 25–30%. Это указывает на повышение однородности в распределении компонентов примесно-дефектного состава в приповерхностном слое монокристалла. На температурных зависимостях поверхностного сопротивления необлученных и облученных структур пористый кремний–монокристаллический кремний в пределах точности измерений не выявлено особенностей, отличающих их от зависимостей для исходных подложек. Это может означать, что, во-первых, анодирование и последующее ионное облучение пористого кремния не изменяет заметным образом спектр энергетических уровней в запрещенной зоне, свойственных исходному кремнию, и, во-вторых, уменьшение поверхностного сопротивления обусловлено главным образом возрастанием подвижности носителей заряда вследствие снижения суммарной концентрации рассеивающих центров в монокристалле вблизи границы с пористым кремнием. Глубина, до которой при послойном травлении подложек кремния прослеживается изменение поверхностного сопротивления после анодной обработки и облучения, возрастает с увеличением толщины пористого кремния и энергии ионов. В таблице приведены значения глубины, на которой электрическое сопротивление в пределах доверительного интервала  $\pm 3\%$  (при надежности 0.95) совпадает с  $R_s$  для исходных подложек кремния, т. е. эффективная глубина геттерирования.

Эффективная глубина геттерирования в структурах пористый кремний–монокристаллический кремний при различных энергиях ионов аргона

Толщина пористого кремния, мкм	Энергия ионов при облучении, кэВ	Глубина геттерирования, мкм
1	0	4–6
1	40	8–10
1	100	16–18
3	0	8–10
3	40	13–15
3	100	18–20
10	0	17–20
10	40	22–24
10	100	25–28



**Рис. 2.** Зависимость плотности микродефектов от расстояния до границы раздела пористый кремний–монокристаллический кремний для исходных кристаллов (1), после формирования пористого кремния (2) и после облучения пористого кремния ионами аргона с энергией 40 кэВ (3) и 100 кэВ (4).

С данными электрических измерений коррелируют результаты сплошного определения плотности микродефектов в приповерхностной зоне, выявлявшиеся по картинам селективного химического травления в виде плоскодонных ямок травления. На рис. 2 в качестве иллюстрации представлены зависимости плотности микродефектов от глубины травленного слоя для структур с толщиной слоя пористого кремния 10 мкм. С уменьшением толщины пористого кремния область пониженной плотности микродефектов приближается к границе раздела пористый кремний–монокристаллический кремний.

Полученные результаты можно объяснить на основе представлений о низкотемпературном геттерировании примесей и дефектов в монокристаллическом кремнии слоями пористого кремния, при электрохимическом формировании которого и последующем облучении ионами в приповерхностную зону подложки инжектируются потоки неравновесных собственных точечных дефектов, прежде всего вакансий [2,3]. Возникновение точечных дефектов происходит на стадии локального растворения кремния в области микропор во время анодной обработки, в процессе

последующего активного низкотемпературного окисления пористого кремния в атмосфере воздуха [1] и при облучении. Ионное облучение усиливает релаксационные процессы, протекающие в термодинамически неравновесной системе пористый кремний–монокристаллический кремний, как перераспределение примесей и растворение микродефектов после анодирования и при окислении. Поскольку толщина слоев пористого кремния на исследованных структурах намного превышает пробег ионов аргона (с учетом меньшей плотности пористого кремния пробег ионов с энергией 100 кэВ составляет  $0.43 \pm 0.04$  мкм), то следует предположить, что обнаруженный эффект усиления геттерирования обусловлен простейшими подвижными точечными дефектами и упругими волнами, генерируемыми в зоне торможения ионов, локализованной в пористом кремнии [4]. В ходе дальнейших исследований планируется выявление конкретных закономерностей влияния режимов анодирования и облучения на эффективность радиационно-стимулированного геттерирования слоями пористого кремния.

## Список литературы

- [1] *Лабунов В.А., Бондаренко В.П., Борисенко В.Е.* // Зарубежн. электрон. техн. 1978. № 15. С. 3–47.
- [2] *Перевоицков В.А., Скупов В.Д., Шенгуров В.Г.* // Электрон. техн. Сер. 7. ТОПО. В. 1(182). С. 10–13.
- [3] *Перевоицков В.А., Скупов В.Д.* Особенности абразивной и химической обработки поверхности полупроводников. Н. Новгород: изд. ННГУ, 1992. 198 с.
- [4] *Павлов П.В., Семин Ю.А., Скупов В.Д., Тетельбаум Д.И.* // Физ. и хим. обработки материалов. 1991. № 6. С. 53–57.