

УДК 621.382.333

Г. Е. АПВАЗЯН, Г. С. БАБАЯН, А. Г. БАХШЕЦЯН

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТОК НА ОБРАЗОВАНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ДЕФЕКТОВ УПАКОВКИ В КРЕМНИИ

С помощью метода селективного травления исследовано влияние высокотемпературных обработок на образование окислительных дефектов упаковки в кремнии. Показано различие в плотности, размерах и распределении указанных дефектов на поверхности и в объеме образцов. Предложен механизм образования дефектов упаковки.

Наз. в Библиогр.: 5 назв.

*Հնարարական համաժամանակ մեթոդի օգտագործմամբ ուսումնասիրվել է քարտեզ զերմաստիճանա-
վեր ճշգրտմանը ազդեցությունը սիլիցիումում օքսիդացման գրգռիչ գործոնների որոշումների
ուսումնասիրման վրա: Քննվել է սրբած նյութի արտադրության, չափանշի և բովանդակի ստեղծ-
չիտմանը նմուշների մակերեսային վրա և ծավալում: Առաջարկվում է վախճանագրման
արտադրի առարկայի մեխանիզմը:*

Окислительные дефекты упаковки (ОДУ), формирующиеся при высокотемпературных обработках, оказывают заметное влияние на электрофизические параметры интегральных схем и полупроводниковых приборов [1, 2]. Изучение этих дефектов позволяет непосредственно воздействовать на процессе их образования и аннигиляции.

Цель настоящей работы—исследование влияния высокотемпературных обработок на образование и распределение ОДУ в объеме и на поверхности кремния. Исходными образцами служили пластины бездислокационного кремния с удельным сопротивлением 35 Ом·см (легирующая добавка—фосфор). Кремний ориентацией (111) был выращен методом Чохральского. Максимальная концентрация кислорода, определенная методом ИК-спектроскопии, составляла $1,0 \cdot 10^{16}$ см⁻³. Термообработка осуществлялась в различных средах, включая кислород, воздух, азот и в кислороде с хлорсодержащей добавкой (HCl). Температура обработок изменялась от 1000 до 1220°C.

Для выявления структурных дефектов использовался метод селективного травления поверхности сколов образцов и травителя Сюртля. Сколы изготавливались в кристаллографических направлениях $\langle 110 \rangle$ с выходом на плоскости (111). Концентрация и линейный размер ОДУ определялись с помощью оптического микроскопа высокого разрешения. Ошибка в определении длины ОДУ составляла 0,5 мкм.

На рис. 1 представлен характерный вид ОДУ, выявляемых селективным травлением. Видно, что следы травления рассматриваемых дефектов имеют форму удлиненных канавок, пересекающих поверхность пластины по кристаллографическим направлениям $\langle 110 \rangle$ и составляющих между собой угол 60°. Канавки лежат как в «компла-

парных», так и в «наклонных» плоскостях $\{111\}$, располагающихся под углом $70^{\circ}32'$ к поверхности. Наряду с ОДУ в процессе термообработки возникают и другие дефекты, следы травления которых имеют вид плоскодонных треугольных ямок различных размеров (рис. 2). Эти фигуры травления интерпретируются как следы преципитационно-дислокационных комплексов, состоящих из преципитатов SiO_2 ($X \approx 2$) и выдавленных призматических дислокационных петель [3]. Немедленно в окрестности ОДУ преципитационно-дислокационные комплексы отсутствуют, хотя в большом количестве образуются в соседних областях. Наблюдения показали, что концентрация отмеченных микродефектов хорошо коррелирует с плотностью ОДУ.

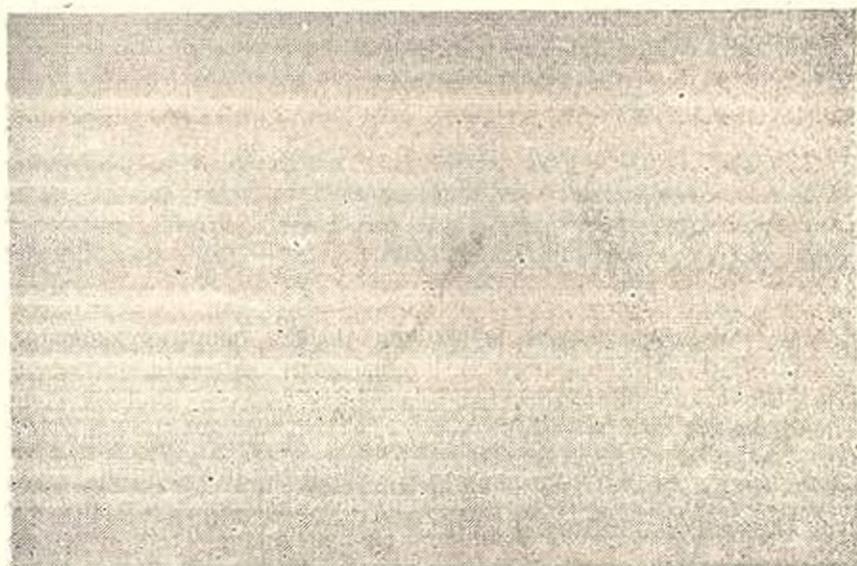


Рис. 1. Характерный вид ОДУ, выявляемых селективным травлением ($\times 500$).

Макрокартина распределения термически наведенных дефектов в объеме кремния представлена на рис. 3, она отвечает слоистому распределению ростовых свирля-дефектов, что, в свою очередь, отражает условия выращивания бездислокационного кремния [4]. При этом плотность объемных ОДУ на витке свирля на несколько порядков выше, а их размер значительно меньше, чем в «пустой» прослойке. После наиболее продолжительной и высокотемпературной обработки ($t = 144$ ч, $T = 1220^{\circ}\text{C}$) средний размер ОДУ в областях их свирлевого распределения составил 55 мкм, плотность— $2 \cdot 10^4$ см $^{-2}$. Концентрация изолированных преципитационно-дислокационных комплексов, разрешаемых с помощью селективного травления, достигла при этом $5 \cdot 10^6$ см $^{-2}$. В «пустой» прослойке выявляются только отдельные микродефекты с размером 80 мкм.

На рис. 4 приведена зависимость плотности объемных ОДУ на витке свирля от продолжительности термообработки при 1220°C . Чем

длительнее процесс, тем больше увеличивается плотность ОДУ, причем скорость дефектообразования через некоторое время начинает уменьшаться. Замечено также, что плотность и размер объемных ОДУ практически не зависят от среды термообработки, но возрастают с увеличением температуры.

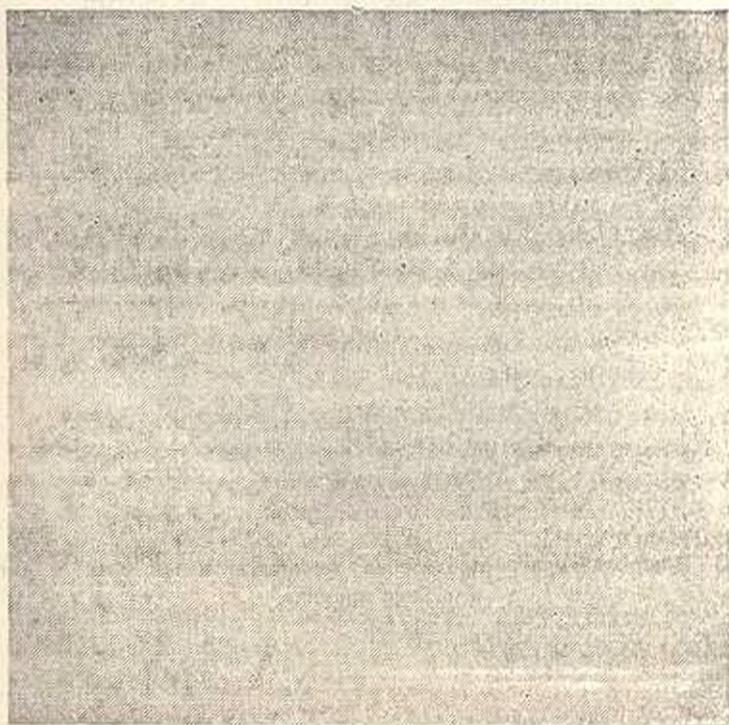


Рис. 2. Образование структурных дефектов в кремнии после термообработки (15).

Исследование же поверхностных ОДУ показало, что они имеют примерно одинаковый размер и сосредоточены в приповерхностном слое толщиной в несколько мкм. Плотность этих дефектов существенно зависит от качества механической подготовки поверхности пластины и изменяется в широком интервале (от 10^1 до 10^5 см⁻²). Формирование поверхностных ОДУ, в отличие от объемных, не связано с термовоздействием в чистом виде и интенсивное дефектообразование наблюдается в процессе термообработок в окислительной среде. При введении хлорсодержащей добавки в кислород образование ОДУ частично подавляется.

Согласно существующим представлениям, ОДУ являются дефектами внедренного типа и ограничены частичными связанными дислокациями Франка. Зародыши этих дефектов образуются из избыточных междоузельных атомов кремния на некоторых напряженных центрах в объеме и на поверхности пластины [1—3].

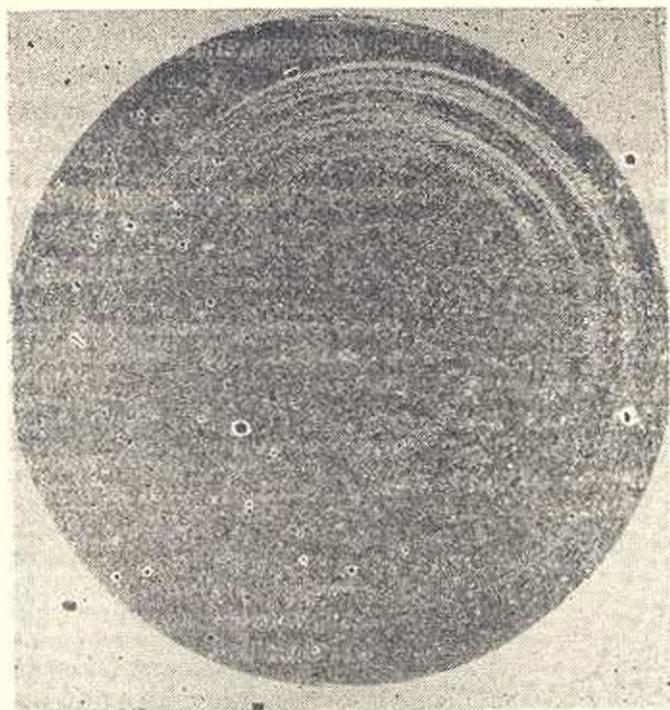


Рис. 3. Макрокартина распределения термически наведенных дефектов в объеме кремния.

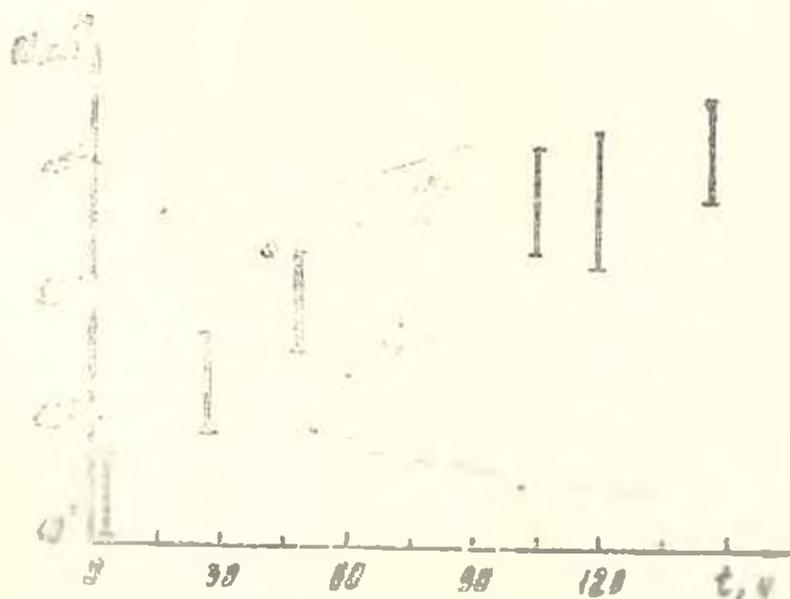


Рис. 4. Зависимость плотности объема ОДУ от продолжительности термообработки

Ярко выраженное слоистое распределение объемных ОДУ указывает на участие в их образовании ростовых сдвигов. Известно, что при термообработках эти дефекты (А- и В-кластеры) являются центрами коагescенции междоузельных атомов растворенного кислорода и образования преципитатов SiO_2 [2]. Вероятнее всего, окружающие SiO_2 атомы кремния отесняются движущейся фазовой границей и вследствие этого вблизи границы частица-матрица возникает избыточная концентрация междоузельных атомов кремния. В итоге испускаемые атомы образуют призматические дислокационные петли и дислокации Фрэнкля, содержащие ОДУ. В пользу описанного механизма свидетельствует также обнаруженная взаимосвязь между плотностью объемных ОДУ и концентрацией преципитационно-дислокационных комплексов. Рост плотности и размеров ОДУ возможен за счет повторной преципитации и поглощения междоузельных атомов дислокациями Фрэнкля. С увеличением продолжительности термообработок возрастают вероятность образования и концентрация частиц SiO_2 .

Существенное различие между ОДУ на поверхности и в объеме кремния, по-видимому, связано с экстракцией междоузельных атомов кремния и кислорода из приповерхностного слоя в результате термовоздействий. Одновременно протекает конкурирующий процесс, т. е. увеличивается концентрация междоузельных атомов вследствие не полного окисления кремния и возникновения больших внутренних напряжений на границе SiO_2 - Si [5]. Большая подвижность образованных атомов приводит к их скоплению в локальных напряженных центрах, которыми являются механические нарушения. Здесь же, как показывает эксперимент, закладываются и растут поверхностные ОДУ. При введении хлоридсодержащей добавки в кислород на поверхности пластины образуется избыток водорода (атомы водорода взаимодействуют молекулами HCl), что приводит к частичной аннигиляции ОДУ. Представленные на рис. 4 временные зависимости плотности и размеров ОДУ показывают, что зародышеобразование дефектов является динамическим процессом. Косвенным доказательством тому служит сосуществование преципитационно-дислокационных комплексов различных размеров.

Таким образом, плотность, размер и характер распределения ОДУ зависят от структурного совершенства исходного кремния и режимов проведения термообработок. Появление ОДУ и сопутствующих им преципитационно-дислокационных комплексов можно объяснить генерацией междоузельных атомов кремния и кислорода. Разные условия протекания этого процесса на поверхности и в объеме кремния обуславливают различные характеристики объемных и поверхностных ОДУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рейно К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кристалле. Пер. с англ./Под ред. С. И. Гершица.—М.: Мир, 1984.—475 с.

2. *Yu S. M. Defects in silicon substrate* // J. Vac. Sci. Technol. — 1977. — V. 14, № 1. — P. 17—30.
3. Образование дислокаций в бездислокационном Si, подвергнутом геттеризирующей термообработке // В. П. Алексин, Л. А. Игнатьева, Ю. М. Литвинов и др. // Микророзлектроника. — 1985. — Вып. 5. — С. 415—419.
4. Шабоян С. А., Бахшицян А. Г., Долмазян С. Г. Влияние тепловых условий выращивания на совершенство кристаллической структуры бездислокационного кремния // Изв. АН АрмССР. Сер. Физика. — 1979. — № 4. — С. 144—146.
5. Айвазян Г. Е., Скалорцов А. М. Расчет внутренних напряжений в системе слой-подложка // Электронная техника. Сер. 3. Микророзлектроника. — 1986. — Вып. 1. — С. 117—120.

ИППО «Тринэстор»

5. XI 1990

Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLIV, № 5—6, 1991, с. 216—222

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 621.762.621.91

С. Г. АГБАЛЯН, Г. А. АСАТЯН, Г. Г. МКРТЧЯН, Р. Г. САМВЕЛЯН, С. А. АСИЛА

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЕЧЕННОЙ СТАЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ЧУГУННОЙ СТРУЖКИ

Исследованы структуры и механические свойства спеченных сталей из стального порошка, полученных из чугуной стружки методом содового рафинирования и из его смеси с железным порошком при различных сочетаниях. Установлено, что с увеличением содержания стального порошка прочность спеченных сплавов возрастает. Оптимальные механические свойства достигаются при соотношении 35:65. Максимальные свойства спеченных изделий ($\Pi = 0\%$) достигаются при ВТМО ($\tau_0 = 1500 \text{ МПа}$), сочетающей экструзию и немедленную закалку с низким отпуском, при этом структура представляет собой бесструктурный мартенсит. Выявлено, что структура порошковых сталей полностью соответствует структурам стандартных сталей без каких-либо аномалий.

Ил. 4. Библиогр.: 6 назв.

Ուսումնասիրվել է թույր օւաչեղներին սողալով հարստացնելու մէթոդով սաւացված պողպատի փոշոյը, ինչպէս նաև պողպատի և Լըկաթի փոշիների տարրեր հարաբերակցութեամբ խառնուրդից Լուսկայված պողպատների կառուցվածքը և մեխանիկական հատկութիւնները: Զիմնագործել է, որ պողպատի փոշու քանակութեան ավելացման դեպքում եռակայված պողպատի ամրութիւնը բարձրանում է: Մեխանիկական հատկութիւններին լափազույն արժէք տալով է բաղադրիչների 35:65 հարաբերութեան գեւարում: Առակայված պողպատների ($\Pi = 0\%$) առաջնուղույն հատկութիւններ ստացվում են բարձր օքսիդատիճանային մշակման դեպքում ($\tau_0 = 1500 \text{ ՄՊա}$), որն իր մէջ ընդգրկում է սառ արտումը (Լքստրուդիա և անմիջական միում հետագա դանք միամէղճամբ): Այս դեպքում ստացվում է խիստ մանր անեղնավոր մարտենսիտային միկրոկառուցվածք: Ազատուցվել է, որ մետաղափոշիներից սաւացված պողպատների կառուցվածքը ամրոցութեամբ համապատասխանում է ստանդարտ կառուցվածքներին տաանց սրելով փոփոխութեան:

Как известно, в стране отходы черных металлов в виде стружки превышают 9...10 млн тонн в год, в том числе чугуной стружки 2,0...2,5 млн тонн. Чугунная стружка по существу является почти готовым сырьем для порошковой металлургии и легко измельчается