

УДК 621.383.4/5

Внутренний геттер в ходе отжига, проводимых при изготовлении приборов с зарядовой связью

Е. В. Костюков, М. А. Поспелова, Т. Ф. Русак, Г. И. Никитина
ФГУП «НПП "Пульсар"», Москва, Россия

Во время отжига, проводимых при изготовлении приборов с зарядовой связью (ПЗС), в объеме кремниевых пластин продолжается образование микродефектов. Предварительно созданная свободная зона остается бездефектной. Оказалось, что после первого длительного отжига в пластинах, прошедших полный цикл создания внутреннего геттера, эффективный геттер успевает образоваться уже при содержании кислорода больше, чем $6,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, а в пластинах, прошедших только отжиг при $1150 \text{ }^\circ\text{C}$, — больше чем $7,4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Это позволяет либо расширить диапазон начальных концентраций кислорода, либо проводить только отжиг при $1150 \text{ }^\circ\text{C}$.

Введение

Качество многих полупроводниковых приборов значительно улучшается, если в объеме кремниевой пластины сформирован внутренний геттер — совокупность преципитатов окиси кремния и других микродефектов, а приповерхностная область бездефектна. Формирование микродефектов происходит в ходе последовательности высокотемпературных отжига как проводимых специально для создания внутреннего геттера, так и самопроизвольно в ходе изготовления приборов.

Цель данной работы — проследить за изменением внутреннего геттера во время отжига, проводимых при изготовлении ПЗС.

Экспериментальная часть

Пластины, на которых был предварительно проведен применяемый нами полный цикл создания внутреннего геттера (6 ч при $1150 \text{ }^\circ\text{C}$, 6 ч — при $700\text{--}800 \text{ }^\circ\text{C}$ и 3 ч — при $1000\text{--}1050 \text{ }^\circ\text{C}$) или только отжиг при $1150 \text{ }^\circ\text{C}$, а также пластины без геттера подставлялись как спутники на термические операции процесса изготовления ПЗС.

Отжиги пластин проводили на заводе "Микрон" в стандартных термодиффузионных печах. Перед первым отжигом при $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ на пластинах выращивали тонкий окисел [1]. Работу проводили на пластинах марок КДБ20 и КЭФ20 с ориентацией (100), изготовленных в 1986 и 1990 гг. из кремния, выращенного по методу Чохральского. Концентрацию кислорода в пластинах измеряли по ИК-спектрам пропускания на ИК Фурье-спектрометре ФСМ1201 с использованием коэффициента

пересчета $2,45 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Содержание углерода в пластинах было меньше чем $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ [1, 2].

Как известно, действие любого геттера состоит в захвате примесей, способных ухудшать параметры приборов, и соответственно, в удалении этих примесей из областей расположения приборов. Этот процесс состоит из трех стадий:

освобождение примеси из ловушки, оказавшейся в области расположения приборов, и перевод примеси в подвижное состояние;

диффузия примеси по пластине к месту расположения специально созданного геттера;

захват примеси геттером.

Для осуществления первых двух стадий нужна температура достаточно высокая чтобы разорвать связь примеси с ловушкой и обеспечить высокую скорость диффузии. Захват примеси геттером, наоборот, осуществляется при понижении температуры. Таким образом, при любом отжиге происходит геттерирование примесей, попадающих в пластины в ходе технологических операций. Поэтому важно, чтобы геттер был сформирован к моменту охлаждения после первого длительного высокотемпературного отжига.

В таблице приведены данные, полученные при первых отжигах из последовательности отжига, проводимых при изготовлении ПЗС, которые отличались для пластин *p*- и *n*-типов. Большая часть экспериментальных пластин прошла указанные в таблице циклы отжига, заканчивающиеся первым длительным отжигом.

Параметры	Цикл отжига <i>p</i> -типа			Цикл отжига <i>n</i> -типа			
	920	850	950	920	1000	850	1150
Температура, $^\circ\text{C}$	920	850	950	920	1000	850	1150
Время, мин	140	40	12 ч	140	50	40	23 ч

Внутренний геттер характеризовали в соответствии с ASTM F 1239-94 [3], степенью преципитации, которая определялась как убыль содержания кислорода. В работе [1] было выяснено, что когда убыль концентрации кислорода становится больше $2,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, плотность геттерирующих центров достигает значения 10^{10} см^{-3} . По данным работы [4], такая плотность геттерирующих центров уже достаточна для эффективного геттерирования. Использование пластин с плотностью геттерирующих центров ($10^{10} \div 10^{11}$) см^{-3} позволяет изготавливать линейные фоточувствительные ПЗС с неравномерностью темнового сигнала меньше 0,2 % (время накопления 1 мс).

Как видно из рис. 1, а, для отжигов *p*-типа зависимость общего падения концентрации кислорода от начальной его концентрации сильно отличается для разных предварительных обработок. Для пластин, прошедших предварительно полный цикл создания внутреннего геттера или высоко-температурный отжиг, эти зависимости близки к прямой линии, а не *S*-образной кривой, характерной для процесса создания внутреннего геттера [2]. Для пластин с предварительно созданным внутренним геттером прямая расположена выше, убыль кислорода достигает значения $2,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ уже при содержании его в количестве $6,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Если же пластины прошли только отжиг при

1150 °C и отжиги *p*-типа, то степень преципитации значительно меньше, причем не зависит от времени первого отжига (5 мин или 6 ч). Значение $2,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ достигается только при содержании кислорода $7,4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Качество геттера контролировали также оптическим наблюдением фигур травления, образовавшихся на сколах пластин после травления их в травителе Wright. Этот метод используется как базовая технология обнаружения преципитатов кислорода в кремнии, корректность других методов обнаружения преципитатов кислорода проверяется сравнением с этим методом [5].

На рис. 2 и 3 представлены микрофотографии участков поперечных сколов пластин, прошедших циклы термических обработок. Сопоставление рис. 2, а с рисунками, представленными в работах [1 и 2], показывает, что проведение первых отжигов *p*-типа в пластинах, предварительно прошедших полный цикл создания внутреннего геттера, увеличивает плотность микродефектов в объеме пластины, приповерхностная зона остается бездефектной. Качественный геттер получается уже при содержании кислорода $6,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

После отжига при 1150 °C микродефектов на сколах пластин обнаружено не было. Последующее проведение первых отжигов *p*-типа вызывает появление микродефектов (см. рис. 2, б), но плотность их меньше, чем на рис. 2, а.

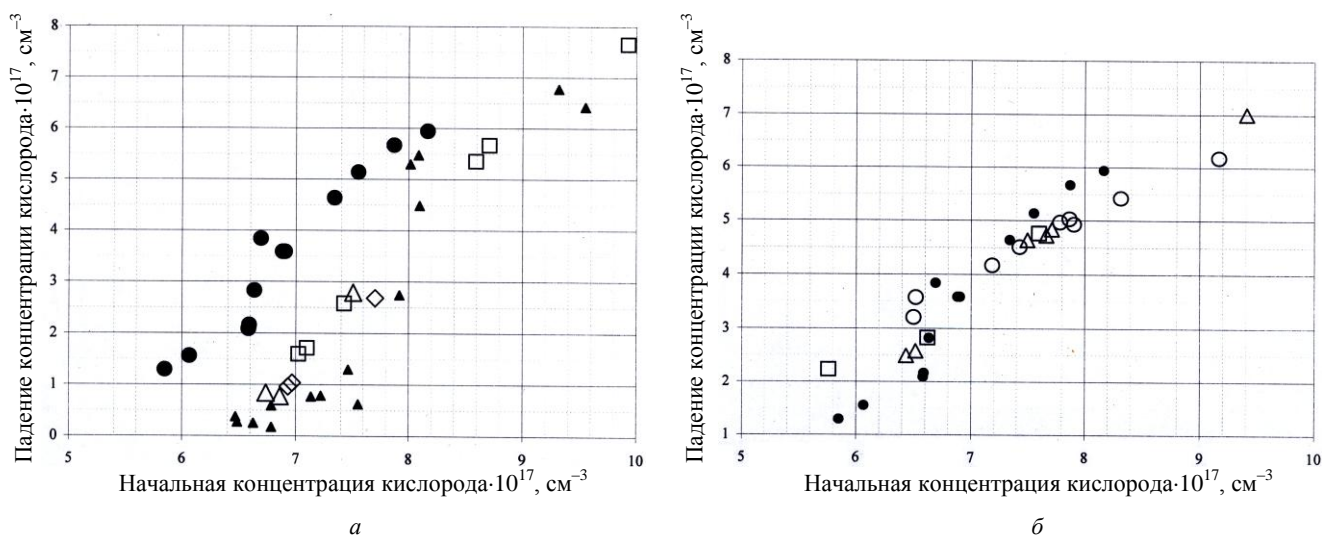


Рис. 1. Общее падение концентрации кислорода в ходе проведения предварительных термообработок и первых отжигов цикла изготовления ПЗС:

- а — отжигов *p*-типа; предварительная термообработка: ● — полный цикл создания внутреннего геттера; ▲ — предварительных термообработок не было, был только отжиг при 1150 °C: □ — 6 ч, ◇ — 2 ч, △ — 5 мин;
- б — отжигов *n*-типа; предварительная термообработка: ○ — полный цикл создания внутреннего геттера; □ — только 6 ч отжига при 1150 °C; △ — предварительных термообработок не было; ● — для сравнения приведены уже представленные на рис. 1, а данные для отжигов *p*-типа в пластинах, прошедших полный цикл создания внутреннего геттера

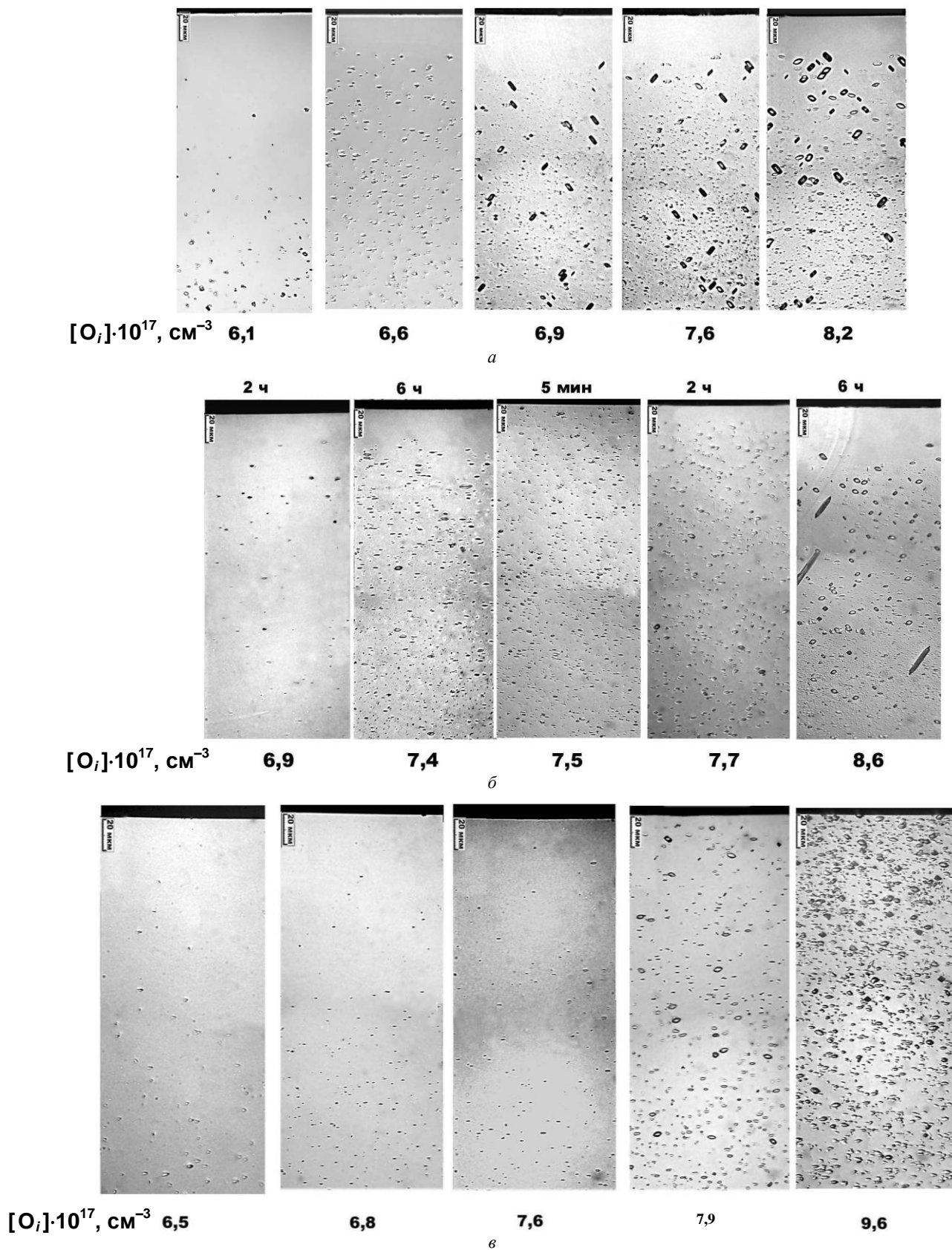


Рис. 2. Микрофотографии участков поперечных сколов пластин, прошедших цикл отжига р-типа после предварительных термообработок:

a — полный цикл создания внутреннего геттера; *b* — только отжиг при 1150 °С (время отжига указано при 1150 °С);

c — предварительных термообработок не было.

([O_i] \cdot 10¹⁷, см⁻³ — начальная концентрация кислорода)

В пластинах с начальной концентрацией кислорода, меньшей чем $7,4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, плотность микродефектов мала для эффективного геттерирования. Сохраняется наблюдавшееся в работе [2] уменьшение ширины свободной от дефектов зоны при сокращении времени отжига при $1150 \text{ }^\circ\text{C}$. Ширина свободной зоны несколько меньше, чем после полного цикла создания внутреннего геттера [2]. Так, после 5-минутного отжига свободная зона практически отсутствует (см. рис. 2, б), хотя после полного цикла составляла около 8 мкм [2].

Для сравнения на первые термические операции цикла изготовления ПЗС поставляли пластины, не прошедшие никаких предварительных обработок. Как видно из рис. 1, а, после прохождения первых отжигов *p*-типа зависимость убыли кислорода от его начальной концентрации представляет собой *S*-образную кривую с очень резким подъемом при начальной концентрации $8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Плотность микродефектов на травленных сколах

пластин хорошо коррелирует с этой кривой (см. рис. 2, в). Свободная зона отсутствует.

После прохождения отжигов *n*-типа данные по общему падению концентрации кислорода в пластинах, прошедших любые из применявшиеся нами предварительных обработок, укладываются на одну прямую (см. рис. 1, б). Эта прямая расположена рядом с прямой, на которую ложатся данные для тех пластин, прошедших цикл *p*-типа, в которых предварительно был создан полный внутренний геттер. Оптическое наблюдение фигур травления на сколах пластин показывает наличие качественного геттера после проведения первых отжигов изготовления ПЗС во всех пластинах с предварительно созданным внутренним геттером (см. рис. 3, а). В пластинах, не прошедших предварительных обработок, или прошедших только отжиг $1150 \text{ }^\circ\text{C}$, при содержании кислорода $7,6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и меньше наблюдаются преимущественно крупные дефекты, плотность мелких дефектов крайне мала (см. рис. 3, б).

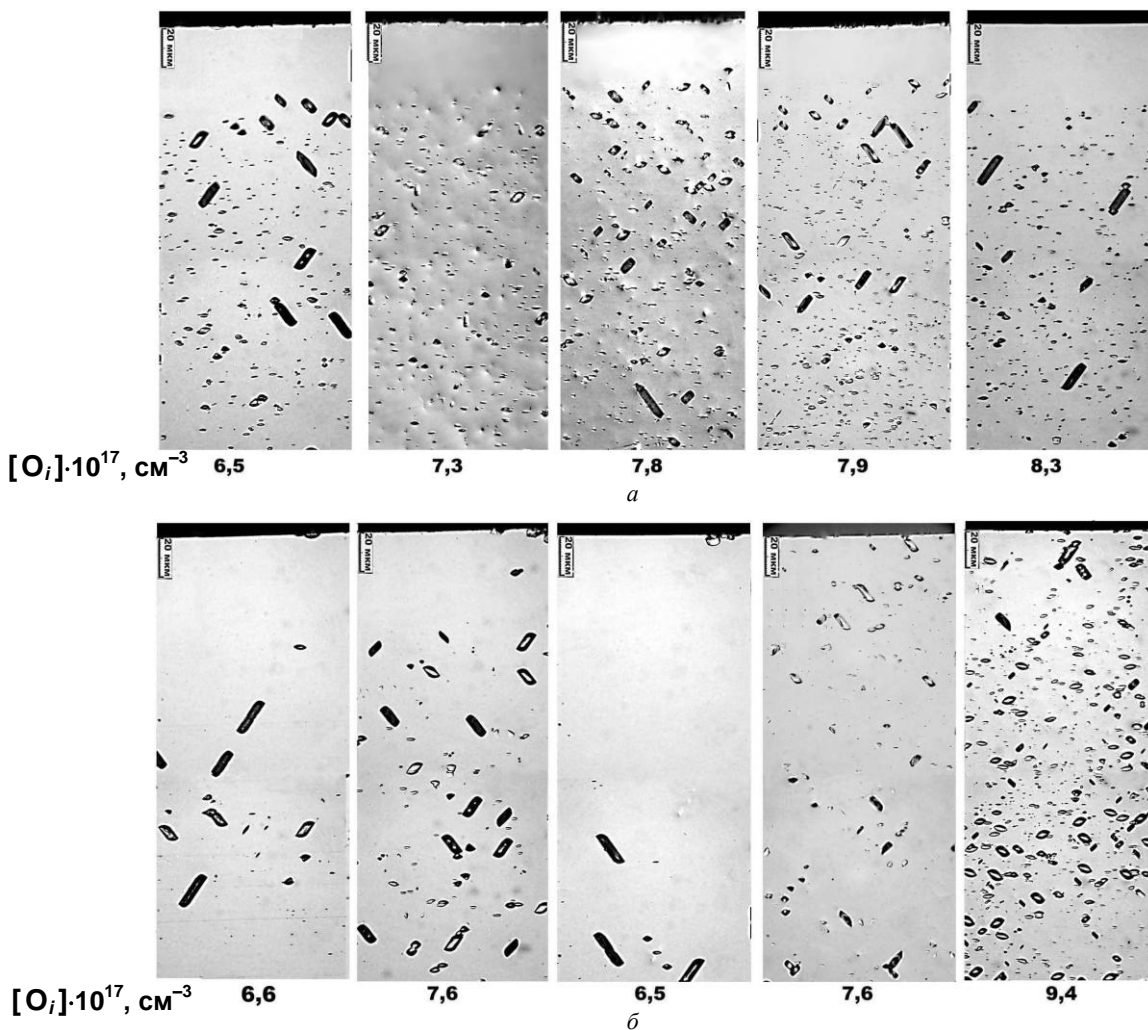


Рис. 3. Микрофотографии участков поперечных сколов пластин, прошедших цикл отжигов *n*-типа после предварительных термообработок:

а — полный цикл создания внутреннего геттера; б — только отжиг при $1150 \text{ }^\circ\text{C}$ (два левых рисунка) и без предварительных термообработок (три правых рисунка).

($[O_i] \cdot 10^{17}, \text{ см}^{-3}$ — начальная концентрация кислорода)

Следует подчеркнуть, что ни 12 ч отжига при 950 °С, ни даже 23 ч отжига при 1150 °С не искажают картину геттера: преципитаты и другие микродефекты в объеме пластины (собственно внутренний геттер) сохраняются и приумножаются, предварительно созданная бездефектная зона сохраняется, хотя и может стать несколько уже.

В работе [2] было показано, что исключение отжига при температуре 700—800 °С, считающегося необходимым для формирования и стабилизации зародышей преципитатов, не влияет ни на общее падение концентрации межзельного кислорода в ходе всего цикла, ни на плотность и распределение микродефектов, образующихся в объеме пластины. При этом время отжига при 1000 °С было увеличено таким образом, что "общее количество отжига" не изменилось. Если же проводить только отжиг при 1150 °С, исключая обычное окончание процесса геттерирования — отжига при 700—800 °С (6 ч) и при 1000—1050 °С (3 ч), то после прохождения первых отжигов *p*-типа как общее падение концентрации кислорода, так и плотность преципитатов оказываются меньше, чем для пластин, предварительно прошедших полный цикл создания внутреннего геттера. Тем не менее для концентраций кислорода, лежащих в диапазоне $(7,5—9) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, признанных в работах [1 и 2] оптимальными, общая убыль концентрации кислорода после прохождения первых отжигов *p*-типа больше, чем $2,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, а плотность микродефектов достаточна для эффективного геттерирования.

На нескольких пластинах с полным геттером и без предварительных обработок были проведены все отжики изготовления ПЗС *p*-типа. Оказалось, что убыль кислорода в ходе только последних отжигов *p*-типа невелика. Для пластин без предварительных обработок убыль имеет максимальное значение $2,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ (при начальной концентрации кислорода $7,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$) и плавно уменьшается как при увеличении, так и при уменьшении начальной концентрации. Для пластин, прошедших предварительно полный цикл создания внутреннего геттера, убыль кислорода не превышает $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Плотность микродефектов заметно больше, чем после проведения первых отжигов

изготовления ПЗС и коррелирует с убылью кислорода.

Заключение

Во время отжигов, проводимых при изготовлении ПЗС, в объеме кремниевой пластины продолжается образование преципитатов кислорода и других микродефектов. В пластинах с предварительно созданной свободной зоной приповерхностная область остается бездефектной, хотя ширина ее несколько уменьшается. В результате после первого длительного отжига в пластинах, прошедших предварительно полный цикл создания внутреннего геттера, эффективный геттер успевает образоваться уже при содержании кислорода больше чем $6,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Это позволяет расширить диапазон начальных концентраций кислорода.

Если предварительно проведен только отжиг при 1150 °С, то в ходе изготовления ПЗС формирование геттера только начинается, и после первого длительного отжига плотность микродефектов, достаточная для эффективного геттерирования, успевает образоваться в пластинах с содержанием кислорода больше чем $7,4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$.

Литература

1. Костюков Е. В., Поспелова М. А., Русак Т. Ф., Трунов С. В. Отработка технологии создания внутреннего геттера для фоточувствительных приборов с зарядовой связью // Прикладная физика, 2003. № 5. С. 102—105.
2. Костюков Е. В., Поспелова М. А., Русак Т. Ф., Трунов С. В., Облыгина Т. А., Никитина Г. И. Создание внутреннего геттера для современных ПЗС // Там же, 2006. № 1. С. 124—128.
3. Annual Book of ASTM Standards, F 1239-94. Swaroop R., Kim N., Lin W., Bullis M., Shive L., Rice A., Castel E., Christ M. Testing for oxygen precipitation in silicon wafers // Solid State Technology. 1987. March. P. 85.
4. Енишерлова К. Л., Мильвидский М. Г., Резник В. Я., Русак Т. Ф. // Кристаллография, 1991. Т. 36. Вып. 5. С. 1259—1266.
5. Bazzali A., Borionetti G., Falster R., Gambaro D. Non-destructive diagnostic techniques for oxygen precipitation in Czochralski silicon // Mater. Sci. Semicond. Process. 2001. V. 4. № 1—3. P. 23—26.

Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 г.

Internal getter in the process of CCD manufacture annealings

E. V. Kostjukov, M. A. Pospelova, T. F. Rusak, G. I. Nikinina
"Pulsar" Science Research Institute, Moscow, Russia

The micro-defects formation in bulk of silicon wafers proceeds during CCD manufacturing annealings. The previously created denuded zone remains defectless. The effective internal getter

has formed after the first long annealing in wafers, which previously was pasted complete cycle of internal getter formation, already at the oxygen content more than $6.5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, and in wafers, was pasted only 1150 °C anneal, — more than $7.4 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. This allows or to expand range of initial oxygen concentrations, or to do only anneal at 1150 °C.

УДК 621.362.1:621.384.326.2

Координатно-чувствительные устройства на основе поперечной термоЭДС

А. А. Ащеулов

Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины, Черновцы, Украина

Представлены конструкции ряда устройств на основе анизотропных оптикотермоэлементов, используемых для регистрации излучения. Показана перспективность их использования в качестве безмодуляционных неселективных координатно-чувствительных линеек и приемников, предназначенных для определения координат лучистых потоков в широких спектральном и динамическом диапазонах.

Введение

Определение координат излучающих объектов, а также распределения плотности энергии лучистых потоков в настоящее время проводятся с помощью различных приемников излучения [1]. Работа их чувствительных элементов основана на использовании фото- или пироэффектов с последующей модуляцией регистрируемого излучения. Безмодуляционные фотоэлектрические приемники квадрантного типа на основе отражающих пирамид и призм характеризуются селективностью своих спектральных характеристик [2, 3]. Вопрос создания неселективных безмодуляционных термоэлектрических устройств, характеризующихся возможностями как определения координат теплового пятна, вызванного падающим лучом, так и распределения энергии в его поперечном сечении остается открытым.

Исследования термоэлектрических полей, возникающих в анизотропных средах с различной степенью оптической прозрачности [4—6], в частности для случая, когда площадь поперечного сечения падающего луча меньше площади рабочей грани анизотропного оптикотермоэлемента (АОТ), показали, что величина и знак возникающей при этом термоЭДС характеризуются, с одной стороны, геометрией расположения теплового пятна, вызванного лучом, с другой стороны — местонахождением токосъемных контактов [7]. Это позволило сделать выводы о том, что в определен-

ных условиях АОТ может служить реальной основой для создания ряда оригинальных устройств, таких как анизотропные термоэлектрические линейки (АТЛ) [8, 9] и координатно-чувствительные анизотропные термоэлектрические приемники (КАТП) [10, 11], работающие в режимах поверхностного поглощения и оптического пропускания.

Ниже дано краткое описание этих координатно-чувствительных устройств и приведены их некоторые характеристики.

Краткие теоретические положения

Результаты теоретических расчетов и численного моделирования показывают [12], что при луче точечной формы

$$Q(x, y) = Q\delta(x - x_0, z - z_0) \quad (1)$$

разность потенциалов ξ , возникающая в "активной" части объема АОТ, качественно может быть представлена в виде

$$\xi(x, y) = \frac{Q}{\pi k} \cdot \frac{\alpha_{13}(x - x_0) + \alpha_{23}(z - z_0)}{(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2}, \quad (2)$$

где x_0, z_0 — координаты падающего луча на верхней грани АОТ;

δ — дельта-функция, определяемая формой поперечного сечения падающего луча;