

УДК 621.383.4/5

Особенности создания внутреннего геттера для ПЗС в пластинах диаметром 150 мм из кремния с более совершенной структурой

Е. В. Костюков, М. А. Поспелова, Т. Ф. Русак,
Ю. Б. Васильев, А. Н. Петлицкий, А. С. Турцевич

Для создания внутреннего геттера в пластинах КДБ20 диаметром 150 мм (ОАО "ЭЛМА" 2003) в отличие от пластин КДБ20 диаметром 100 мм КДБ20 ("ЭЛМА", 1986, 1990) необходим либо длительный отжиг при 700 °С, либо проведение первого отжига при 1200 °С в атмосфере кислорода. Это показывает, что пластины диаметром 150 мм содержат мало ростовых дефектов, поэтому для зарождения преципитатов необходим либо низкотемпературный отжиг, либо поток вакансий в объеме пластины, который образуется при окислении поверхности в ходе проводящегося первым отжига при 1200 °С.

PACS: 85.60.Gz, 61.72.uf, 61.72.Yx

Ключевые слова: внутренний геттер, приборы с зарядовой связью, преципитация кислорода, поток вакансий в объеме пластины.

Введение

В производстве приборов с зарядовой связью, как и других полупроводниковых приборов, общей тенденцией является переход на пластины большего диаметра, позволяющие получать большее число чипов с одной пластины. Для выращивания кристаллов большего диаметра и изготовления из них пластин применяется новое, более совершенное оборудование. Это позволяет ожидать, что структура кремния станет значительно совершеннее и, соответственно, в пластинах будет меньше ростовых дефектов как собственных, так и примесных, особенно атомов углерода.

В пластинах диаметром 100 мм для избавления от быстро диффундирующих примесей, способных ухудшать выход годных и параметры приборов, обычно применяется внутренний геттер, т. е. совокупность сформированных в объеме пластины микродефектов, в основном преципитатов окиси

кремния. Последние десятилетия в литературе рассматриваются многостадийные процессы создания внутреннего геттера, включающие проводящийся первым высокотемпературный отжиг, создающий в местах расположения приборов зону, свободную от дефектов, низкотемпературные отжики для зарождения и стабилизации преципитатов, и заключающие отжики при 1000—1050 °С, во время которых преципитаты вырастают до размеров, позволяющих наблюдать их на сколах пластин после травления [1, 2]. В последние годы был проведен ряд исследований преципитации кислорода [3—7], в которых зарождение преципитатов проводилось при температурах, варьирующихся от 500 до 750 °С в течение 4—120 ч, стабилизация преципитатов при 800 °С (4 ч) и их рост при температуре 1000 °С в течение 4—120 ч. Но во всех этих работах пластины не подвергались предварительно отжигу при температуре большей, чем 1000 °С, либо подвергались быстрому термическому отжигу, но не высокотемпературному отжигу в термодиффузионных печах.

В работе [8] показано, что в пластинах диаметром 100 мм марки КДБ20 (ориентация (100), "ЭЛМА", 1986, 1990), подвергнутых предварительно отжигу при 1150 °С (5 мин — 6 ч), исключение отжига при 700—800 °С не влияет на качество геттера. Замена отжига при 700—800 °С увеличением времени отжига при 1000 °С не изменяла ни падение концентрации межзельного кислорода, характеризующее степень преципитации кислорода (ASTM F 1239-94 [9]), ни плотность и распределение образовавшихся микродефектов. Отжиг при 1150 °С проводился в ат-

Костюков Евгений Васильевич, зам. начальника отдела.
Поспелова Марина Алексеевна, старший научный сотрудник.
Русак Татьяна Федоровна, ведущий инженер-технолог.
ФГУП НПП "Пульсар".
Россия, 105187, Москва, Окружной проезд, 27.
Тел. (495) 365-55-38. E-mail: mpospelova@pulsampp.ru
Васильев Юрий Борисович, ведущий инженер.
Петлицкий Александр Николаевич, директор центра.
Турцевич Александр Степанович, главный инженер.
ОАО "Интеграл".
Беларусь, 220108, г. Минск, ул. Корженевского, 16.

Статья поступила в редакцию 22 ноября 2010 г.

© Костюков Е. В., Поспелова М. А., Русак Т. Ф.,
Васильев Ю. Б., Петлицкий А. Н., Турцевич А. С., 2011

мосфере азота, поскольку добавление кислорода вызвало появление ОДУ на поверхности [10].

Цель данной работы — выяснить, сохраняются ли эти закономерности при создании внутреннего геттера в пластинах КДБ20 диаметром 150 мм (ориентация (100), ОАО "ЭЛМА", 2003). Для этого были проведены следующие последовательности отжига: 2 ч при 1200 °С в атмосфере разного состава, 12 ч при 700 °С и локальное окисление, та же последовательность отжига, но без отжига при 700 °С, а также одно локальное окисление.

Экспериментальная часть

Отжиги пластин проводились в ОАО "Интеграл" в стандартных термодиффузионных печах, в которых проводится обработка серийной продукции.

Концентрация кислорода в пластинах измерялась по ИК-спектрам пропускания на ИК-Фурье-спектрометре ФСМ1201 с использованием коэффициента пересчета $2,45 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Измерения проводились перед началом эксперимента, перед локальным окислением и после окончания эксперимента. Содержание углерода в пластинах было меньше, чем $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Плотность микродефектов определялась подсчетом фигур травления, образовавшихся на сколах пластин после их травления в травителе Wright.

Как видно из рис. 1, после проведения только одного локального окисления значения убыли кислорода и плотности преципитатов были невелики и имели разброс от $0,1 \cdot 10^{17}$ до $0,55 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и от $0,17 \cdot 10^{10}$ до $1,3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, соответственно. Следует отметить, что для пластин диаметром 100 мм также наблюдалась невоспроизводимость результатов, если был исключен первый высокотемпературный отжиг [8].

Если отжиг при 1200 °С проводился в атмосфере азота, как это было необходимо для пластин диаметром 100 мм, то падение концентрации кислорода, составлявшее всего $0,35 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, не увеличивалось после локального окисления. Возможно, это падение вызвано аутодиффузией кислорода, а не преципитацией, тем более что микродефектов после локального окисления получалось даже несколько меньше, чем после одного локального окисления ($0,15 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$) (см. рис. 1).

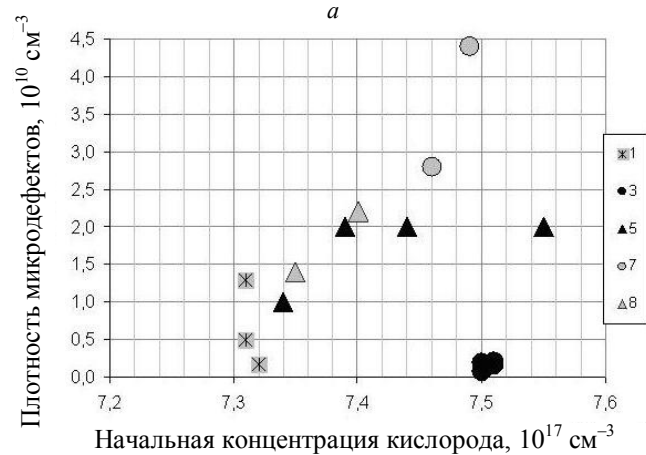
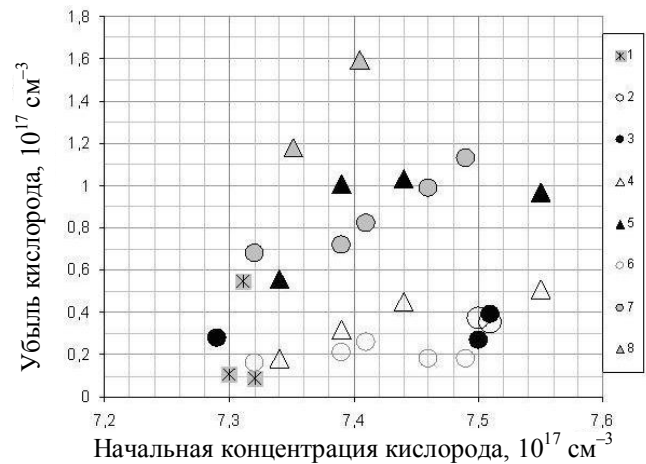


Рис. 1. Падение концентрации межзельного кислорода (а) и плотность микродефектов (б), образовавшихся в пластинах после проведения последовательностей отжига:

- 1 — только локальное окисление (950 °С, 12 ч);
- 2 — отжиг 1200 °С, 2 ч в атмосфере азота; 3 — отжиг 1200 °С, 2 ч в азоте и локальное окисление; 4 — отжиг 1200 °С, 2 ч в азоте и отжиг 700 °С, 12 ч; 5 — отжиг 1200 °С, 2 ч в атмосфере азота, отжиг 700 °С, 12 ч и локальное окисление; 6 — отжиг 1200 °С, 2 ч в атмосфере с большим содержанием кислорода; 7 — отжиг 1200 °С, 2 ч в атмосфере с большим содержанием кислорода и локальное окисление; 8 — отжиг 1200 °С, 2 ч в атмосфере с большим содержанием кислорода, отжиг 700 °С, 12 ч и локальное окисление

Добавление отжига при 700 °С после отжига при 1200 °С в азоте вызвало заметную убыль концентрации кислорода, причем эта убыль росла с увеличением начальной концентрации кислорода от $0,2 \cdot 10^{17}$ до $0,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Следующее за тем локальное окисление вызывало дальнейшее увеличение убыли кислорода до $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, а плотность преципитатов достигала значения $2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ (см. рис. 1 и верхний ряд рис. 2).

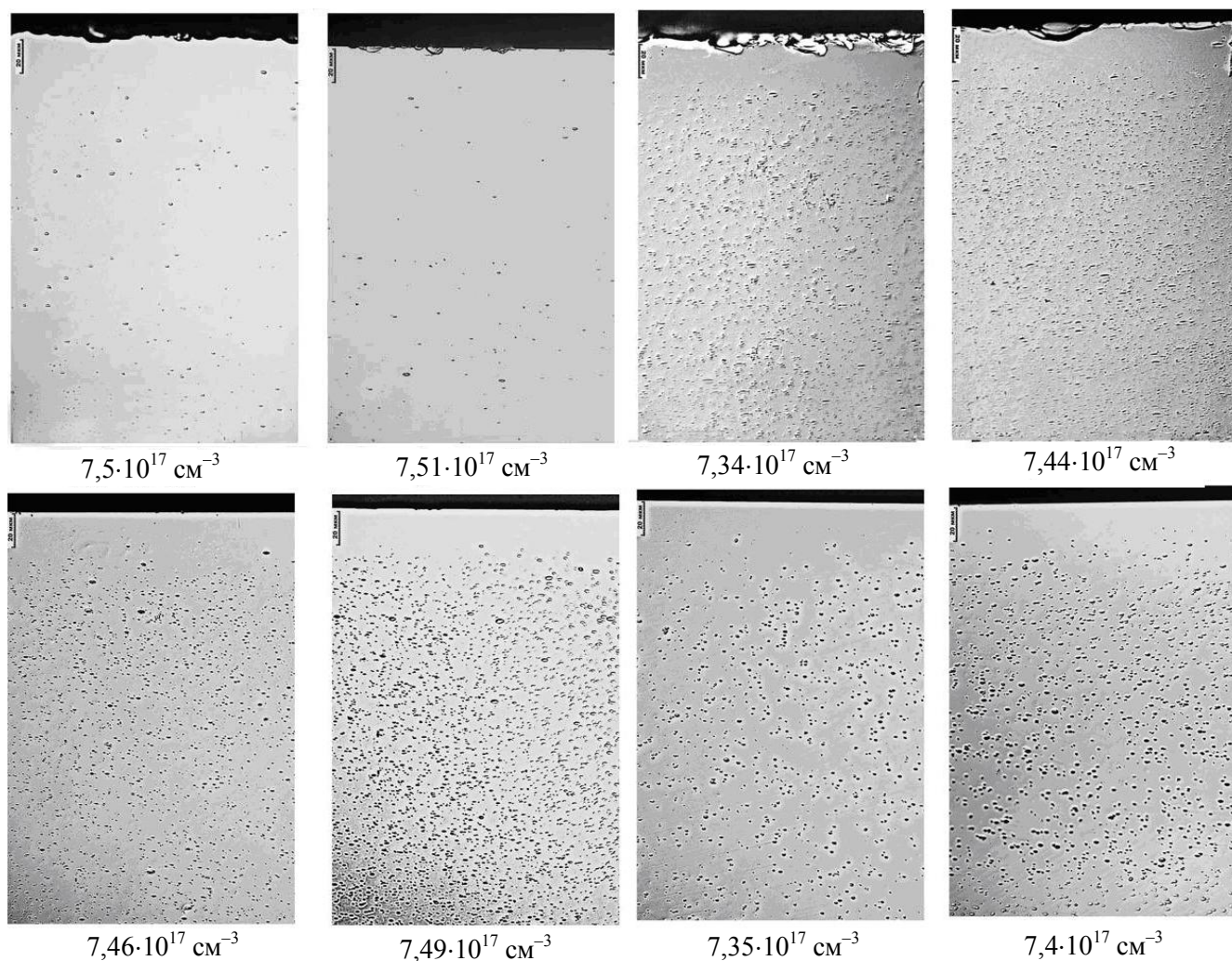


Рис. 2. Микрофотографии участков поперечных сколов пластин, прошедших отжиг 2 ч при 1200 °С в атмосфере азота (верхний ряд рисунков) или в атмосфере кислорода (нижний ряд рисунков) с последующим проведением: только локального окисления (два левых рисунка) или отжига 12 ч при 700 °С и локального окисления (два правых рисунка). Числа под фотографиями — начальная концентрация кислорода

Таким образом, если первый отжиг при 1200 °С проводился в атмосфере азота, то в отличие от пластин диаметром 100 мм для пластин диаметром 150 мм отжиг при 700 °С оказывался необходимым. Его исключение приводило к снижению плотности преципитатов более чем на порядок и заметному уменьшению убыли кислорода.

Если же отжиг при 1200 °С пластин диаметром 150 мм проводился в атмосфере с большим содержанием кислорода, то после одного этого отжига убыль кислорода была несколько меньше, чем в атмосфере азота, что может служить подтверждением того, что при отжиге в азоте убыль кислорода вызвана аутодиффузией кислорода. Последующее проведение только одного локального окисления увеличивало убыль кислорода до практически такой же величины, что и последовательность всех трех отжигов, когда отжиг при 1200 °С проводился в атмосфере азота. Плотность объем-

ных дефектов оказалась даже в полтора раза больше (см. рис. 1 и нижний ряд рис. 2).

После отжига при 1200 °С, проведенного в атмосфере кислорода, добавление отжига при 700 °С вызвало после локального окисления значительное увеличение убыли кислорода. Плотность микродефектов при этом оказалась меньше (см. рис. 1), хотя это может быть обусловлено меньшей начальной концентрацией кислорода в пластинах, использованных в этом эксперименте. Сопоставление нижних микрофотографий, представленных на рис. 2, подтверждает, что преципитаты стали крупнее. Увеличение размера преципитатов свидетельствует о том, что в ходе отжига при 700 °С, проводимого после отжига при 1200 °С в атмосфере кислорода, происходило не зарождение новых преципитатов, как это наблюдалось в работах [3—7], а рост преципитатов.

Следует отметить, что, несмотря на малый разброс значений начальных концентраций кислорода в исследованных пластинах, даже небольшое увеличение начальной концентрации кислорода вызывало заметный рост как убыли кислорода, так и плотности образовавшихся микродефектов. ОДУ ни на поверхности, ни в объеме не появлялись.

Обсуждение результатов

Полученные результаты показывают, что пластины марки КДБ20 диаметром 150 мм (ОАО "ЭЛМА", 2003) изготовлены из кремния с более совершенной структурой, чем пластины диаметром 100 мм ("ЭЛМА", 1986, 1990). В пластинах диаметром 100 мм, по-видимому, было много таких ростовых дефектов, которые не разрушались в ходе высокотемпературного отжига и служили центрами зарождения преципитатов (гетерогенная нуклеация). В пластинах диаметром 150 мм таких дефектов мало, и после отжига в неокисляющей среде зарождение преципитатов затруднено из-за недостатка центров преципитации.

Если отжиг при 1200 °С проводится в атмосфере кислорода, то в ходе окисления поверхности кремния под растущим окислом создается дефицит вакансий, который вызывает градиент концентрации вакансий, направленный из объема к поверхности и, соответственно, поток вакансий из объема к поверхности. Если на пути такой вакансии встречается зародившийся преципитат, присоединивший очередной атом кислорода и оказавшийся в неравновесном состоянии из-за недостатка объема, то вакансия поглощается этим растущим преципитатом, переводя его в равновесное состояние и давая преципитату возможность расти дальше. Процесс зарождения и роста преципитата не может создать градиент концентрации вакансий, но для роста преципитата может быть использован поток вакансий, созданный окислением поверхности.

Заключение

Представленные данные можно рассматривать как экспериментальное подтверждение того, что

пластины марки КДБ20 диаметром 150 мм (ОАО "ЭЛМА", 2003) изготовлены из кремния с более совершенной структурой и, соответственно, содержат меньше ростовых дефектов, чем пластины диаметром 100 мм ("ЭЛМА", 1986, 1990).

Способность к преципитации кислорода после высокотемпературного отжига в азоте может быть использована в качестве теста на дефектность пластин.

Проведение первого отжига при 1200 °С в режиме окисления приводит после одного только локального окисления к практически такой же убыли кислорода и более высоким плотностям объемных дефектов, чем проведение последовательности всех трех отжигов, включающей отжиг при 700 °С в течение 12 ч, если отжиг при 1200 °С проводится в атмосфере азота. Это позволяет при создании внутреннего геттера в пластинах диаметром 150 мм, изготовленных из кремния с более совершенной структурой, заменить длительный отжиг при 700 °С увеличением содержания кислорода в атмосфере отжига при 1200 °С, обязательно проводящегося первым для образования в приповерхностной области пластин зоны, свободной от дефектов.

Литература

1. *Shimura F.* Semiconductor Silicon Crystal Technology. Academic Press, Inc., San Diego Calif., 1989.
2. *Borghesi A., Pivac B., Sassella A., Stella A.* // J. Appl. Phys. 1995. V. 77. No. 9. P. 4169.
3. *Falster R., Cornara M., Gambaro D., Olmo M., Pagani M.* // Solid State Phenomena. 1997. V. 57—58. P. 123—128.
4. *Falster R., Pagani M., Gambaro D., Cornara M., Olmo M., Ferrero G., Pichler P., Jacob M.* // Ibid. P. 129.
5. *Kelton K. F., Falster R., Gambaro D., Olmo M., Cornara M., Wei P. F.* // J. Appl. Phys. 1999. V. 85. No. 12. P. 8097.
6. *Borghesi A., Sassella A., Porrini M., Gambaro D., Olmo M.* // Mater. Sci. Eng. 2000. No. 73. P. 149.
7. *Binetti S., Pizzini S., Leoni E., Somaschini R., Castaldini A., Cavallini A.* // J. Appl. Phys. 2002. V. 92. No. 5. P. 2437.
8. *Костюков Е. В., Пospelова М. А., Русак Т. Ф., Трунов С. В., Облыгина Т. А., Никитина Г. И.* // Прикладная физика. 2005. № 1. С. 124.
9. *Swaroop R., Kim N., Lin W., Bullis M., Shive L., Rice A., Castel E., Christ M.* // Solid State Technology. 1987. March. P. 85.
10. *Костюков Е. В., Пospelова М. А., Русак Т. Ф., Трунов С. В.* // Прикладная физика. 2003. № 5. С. 102.

Features of the internal getter formation for CCD in 150-mm wafers made of silicon with more perfect structure

E. V. Kostyukov, M. A. Pospelova, T. F. Rusak

Federal State Unitary Enterprise Science & Production Enterprise "Pulsar", 27 Okruzhnoi proyezd, Moscow, 105187, Russia

E-mail: pulsar@dol.ru; mpospelova@pulsarnpp.ru

Yu. B. Vasiliev, A. N. Petlitski, A. S. Turtsevich
JSC "Integral", 16 Korzhenevsky str., Minsk, 220108, Belarus

For internal getter creation in the 150mm CZ silicon wafers boron doped with resistivity 20 Ohm · cm ("ELMA" 2003 year) in contrast to the 100-mm CZ silicon wafers (the same dopant and resistivity, ELMA, 1986, 1990) it is necessary either to make long annealing at 700 °C or to perform the first anneal at 1200 °C in oxygen ambient. This implies that the 150-mm silicon wafers contain few grown-in defects, and therefore for precipitate nucleation and growth, it is necessary either to make a long low-temperature anneal or to have a vacancy flux in the bulk of a wafer which is formed during oxidation of the wafer surface in course of the first anneal at 1200 °C.

PACS: 85.60.Gz, 61.72.uf, 61.72.Yx

Keywords: internal gettering, charge-coupled device, oxygen precipitation, vacancy flux in the bulk of wafer.

Bibliography — 10 references.

Received November 22, 2010

* * *