

ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЦЕНТРОВ ПРИЛИПАНИЯ
И ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ
В КРЕМНИИ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ
ВНУТРЕННЕГО ГЕТТЕРА.
ПОСТАДИЙНЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ
ГЕТТЕРИРОВАНИЯ

Д.Н. Гулидов, В.И. Думбров,
В.А. Миляев, В.А. Никитин,
А.В. Ширков, Б.Л. Эйдельман

В процессе термообработок (ТО), создающих внутренний геттер, в кремнии могут возникать кислородные термодоноры, центры рекомбинации и уровни прилипания. В работе [1] показано, что для пластин КДБ-10, которые после различных геттерирующих ТО подверглись начальному этапу формирования интегральных схем - окислению, концентрация образующихся центров прилипания (ЦП) коррелирует с размерами и плотностью кислородных преципитатов. Известно также, что образование ЦП и изменение объемного времени жизни (ОВЖ) неравновесных носителей может существенно зависеть от режимов термического окисления. Поэтому в продолжение работы [1] необходимо было измерить эти электрофизические параметры непосредственно в ходе геттерирующих ТО. Настоящая работа позволяет вскрыть динамику образования кислородных преципитатов и центров рекомбинации.

Измерения проводились на пластинах, нарезанных из двух слитков КДБ-10 с различным содержанием кислорода и углерода (определялись методом ИК-поглощения): слиток 1 - концентрация $[O_i] = 8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, концентрация С - $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$; слиток 2 - $6.5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и $1.3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ соответственно. Слиток 1 проходил предварительную тридцатиминутную ТО при 650°C для удаления термодоноров. Из этих слитков были приготовлены по стандартной технологии микроэлектроники пластины толщиной $\sim 400 \text{ мкм}$, затем на обратную сторону некоторых пластин нанесен нарушенный слой. Подробнее о приготовлении образцов и методике измерений ообщено в [1].

В таблице приведены результаты измерений ОВЖ неравновесных носителей при низких $\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и высоких $\sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$ уровнях возбуждения (соответственно τ_1 и τ_2 , точность 3%), а также концентрация ЦП в относительных единицах, определяемая по качественному изменению формы релаксационной кривой при вариации ширины возбуждающего импульса от светодиодов. Оценка концентрации в абсолютных единицах по формуле, предложенной в [1], определяет коэффициент пересчета $\sim 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Отметим, что в слитке 2, обогащенном углеродом, появляется сразу два типа ЦП (соответствующие концентрации M1 и M2).

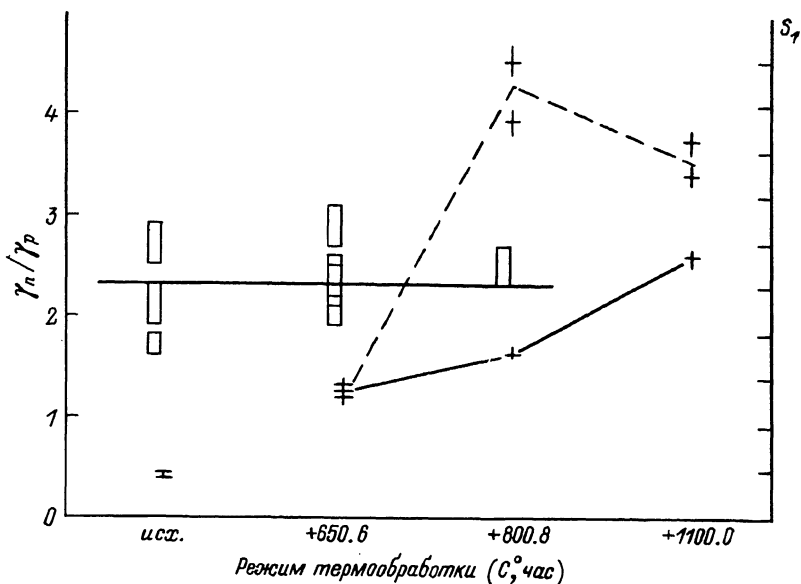
Т а б л и ц а

Изменение объемного времени жизни неравновесных носителей при низких (τ_1) и высоких (τ_2) уровнях возбуждений и концентрации центров прилипания (M_1 и M_2) в процессе формирования внутреннего геттера в пластинах с нарушенным слоем и без него, нарезанных из слитков с различным содержанием углерода (в слитке 2 концентрация C больше). Точность определения τ - 3%.

Термообработка	Номер слитка	Наруш. слой	τ_1 , мкс	τ_2 , мкс	M_1 , отн. ед.	M_2 , отн. ед.
исходн.	1	есть	11.0	34.1	0	0
	1	нет	12.6	34.5	0	0
	2	есть	12.2	45.4	0	0
+650 °C, 6 час	1	есть	3.9	13.2	0	0
	1	нет	3.7	11.6	0	0
	2	есть	3.7	14.4	0	0
	2	нет	3.5	11.5	0	0
+800 °C, 2 час	1	нет	2.8	9.9	0.5±0.1	0
	2	есть	-	3.8	3.5±1.0	6.0±0.2
	2	нет	-	3.3	3.5±0.5	6.0±0.1
+1100 °C, 0.5 час	1	нет	-	5.8	1.4±0.2	0
	2	есть	-	4.0	4.6±0.8	16.4±0.5
	2	нет	-	4.4	5.3±0.8	16.0±0.5

При наличии уровней прилипания ОВЖ на низких уровнях импульсного возбуждения определялось в режиме с постоянной подсветкой. При этом часть ЦП постоянно заполнена, поэтому не может принимать участия в процессе рекомбинации. Эта часть определяется соотношением мощности источника подсветки и характеристиками ЦП, в частности их концентрацией. В связи с этим в нашем случае не удалось измерить ОВЖ при низких уровнях возбуждения при относительно большой концентрации центров прилипания (недостаточна мощность источника подсветки). Критерий верности измерения ОВЖ состоит в экспоненциальности сигнала релаксации с подсветкой.

Из соотношения времен жизни при низком и высоком (по сравнению с собственной концентрацией) уровнях возбуждения неравновесных носителей можно получить информацию о центрах рекомбинации. Оценки по формулам, предложенным в [2], определяют следующие зависимости для степени легирования 10 Ом·см в кремнии р-типа: если уровень рекомбинации отстоит от краев запрещенной зоны более чем на 0.3 эВ, то определяемые этим уровнем времена жизни не зависят от положения его в запрещенной зоне, т.е.



Отношение вероятностей захвата электрона и дырки (γ_n/γ_p) на рекомбинационный уровень (прямоугольник) и изменение концентрации центров рекомбинации S (крест) в процессе формирования внутреннего геттера. Горизонтальной линией показано среднее значение ($\gamma_n/\gamma_p = 2.3$). Пунктиром показано изменение S в пластине, нарезанных из слитка 2, сплошной линией – из слитка 1.

определяются вероятностями захвата электрона и дырки (γ_n и γ_p) и концентрацией рекомбинационной примеси (S). Соответствующие выражения имеют вид: $1/(\gamma_n S) = \tau_1$, $1/(\gamma_p S) = \tau_2 - \tau_1$. На рисунке приведено вычисленное отношение γ_n/γ_p . Видно, что значение γ_n/γ_p одинаково практически для всех образцов. Логично предположить, что во всех образцах образуется один и тот же уровень рекомбинации, тогда это соотношение можно экстраполировать и на случай, когда измерить ОВЖ при низких концентрациях возбуждения измерить не удастся. Таким образом, можно проследить изменение концентрации рекомбинационной примеси от образца к образцу (рисунок). Соответствующие формулы имеют следующий вид: $S = (1/\gamma_n) (1/\tau_1)$ в случае, когда возможно измерить τ_1 , и $S = (1/\gamma_n) (1/\tau_2) (\gamma_n/\gamma_p + 1)$, когда возможно измерить только τ_2 . Отношение γ_n/γ_p при этом равно 2.3 (среднее значение для образцов с малым содержанием центров прилипания). Перейти к абсолютным значениям S можно, зная вероятность захвата электрона γ_n . Из справочных данных можно оценить это значение – $10^{-9} - 10^{-8}$ см³/с. Соответствующий коэффициент пересчета в абсолютные значения для S : $10^{13} - 10^{14}$ см⁻³. Концентрация рекомбинационных центров изменяется в процессе ТО примерно на порядок.

Интересно отметить, что после первой ТО времена жизни и концентрации центров рекомбинации для всех образцов были одинаковыми вне зависимости от вариаций концентрации углерода и кислорода. После второй ТО величина S оказывается весьма чувствительной к этим концентрациям, в частности в образцах с большей концентрацией углерода оказывается больше и центров рекомбинации. Качественный вид изменения S в ходе термообработок также различен. Так, для образцов с малым содержанием углерода концентрация центров рекомбинации возрастает с каждой ТО, в то время как для образцов с более высоким содержанием углерода величина S в результате последней ТО уменьшается (см. рисунок).

После первой ТО образцов ЦП не наблюдается. Это можно объяснить тем, что на этой стадии процесс преципитации кислорода не привел еще к образованию петель дислокаций подобно случаю работы [1]. Однако делать вывод о связи ЦП только с петлями дислокаций на границах преципитатов на основании этого некорректно, т.к. эффективная концентрация ЦП могла быть существенно уменьшена образованием на этой стадии кислородных термодоноров. Вторая ТО вводит ЦП, причем в образцах, обогащенных углеродом, образуется сразу два уровня, концентрация каждого из которых намного больше, чем в пластинах из кремния с меньшим содержанием углерода. При этом существенного влияния нарушенного слоя на процессы преципитации не обнаружено.

Л и т е р а т у р а

- [1] Думбров В.И., Гулидов Д.Н., Милыев В.А., Никитин В.А., Степченков В.Н., Широков А.В., Эйдельман Б.Л. О возможности оценки качества внутреннего геттера неразрушающими бесконтактными методами. — Микроэлектроника, 1988, т. 17, № 1, с. 19–23.
- [2] Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. М., 1963. 494 с.

Институт общей физики
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
16 июля 1987 г.
В окончательной редакции
12 апреля 1988 г.