

изгиба зон на поверхности кремния, и, следовательно, к снижению потерь на поверхностную рекомбинацию электронов в тонком n -слое.

Полученные результаты позволяют рекомендовать применение пленок SnO_2 для улучшения ряда характеристик СЭ и координатно-чувствительных фотоприемников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лямичев И. Я., Марковский Л. Я., Николаев Ю. Н., Орлов И. Н.— Прикладная электролюминесценция.— М., 1974, с. 169.

2. Ghosh A. K. et al.— J. Appl. Phys., 1978, v. 49, № 6, p. 3490.

Поступила в редакцию
08.12.78.

НИИ ПФП, кафедра физики
полупроводников

УДК 621.315.592

П. Ф. ЛУГАКОВ, Т. А. ЛУКАШЕВИЧ

КИНЕТИКА ОТЖИГА КОМПЛЕКСОВ БОР-ДИВАКАНСИЯ В КРЕМНИИ p -ТИПА

При облучении кристаллов кремния p -типа эффективно образуются радиационные дефекты (РД) с донорным уровнем $E_D + 0,21$ эВ, относительно природы которых существуют различные точки зрения [1—3]. Выполненные нами в последнее время исследования по кинетике накопления РД в p -Si [4] позволили сделать заключение, что в состав этого дефекта входят атом бора и две вакансии (BW). Данная работа выполнялась с целью определения некоторых параметров отжига комплекса BW (порядок реакции и энергия активации отжига, а также частотный фактор, характеризующий скорость отжига дефекта).

Изучались легированные бором кристаллы с исходным удельным сопротивлением 10 Ом·см, выращенные методом зонной плавки в вакууме. Образцы для измерений были облучены при температуре 50°С электронами с энергией 10 МэВ (интегральный поток $\Phi = 1 \cdot 10^{16}$ см⁻²).

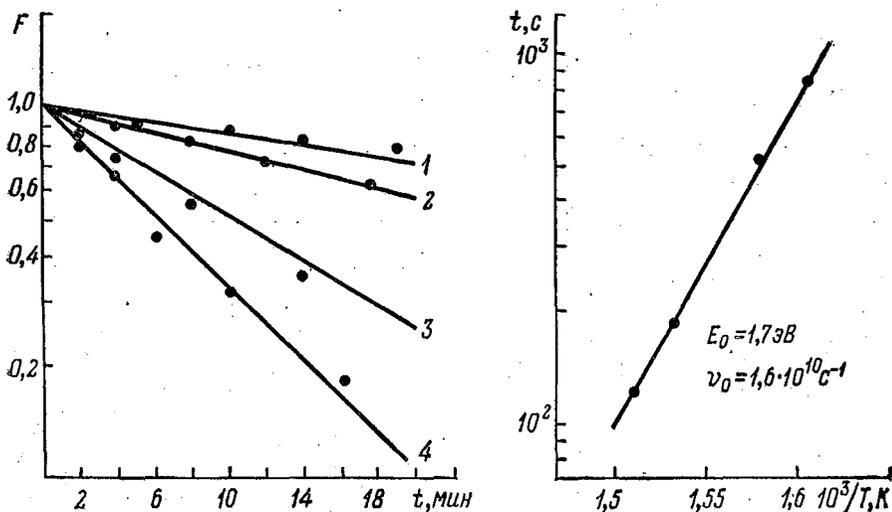


Рис. 1. Зависимость доли неотжженных дефектов от времени при различных температурах отжига:

1 — 350; 2 — 360; 3 — 380; 4 — 390°С

Рис. 2. Зависимость времени отжига дефектов от обратной температуры

Экспериментальные результаты получены из анализа температурных зависимостей коэффициента Холла на различных этапах изотермических отжигов. Данные 15-минутного изохронного отжига облученных кристаллов показывают, что комплексы ВВ достаточно устойчивы и отжигаются в интервале температур 350—400° С, поэтому кинетика отжига этих РД исследовалась при температурах 350, 360, 380 и 390° С.

На рис. 1 точками показана экспериментальная зависимость доли $F = N(t)/N_0$ неотожженных дефектов с донорным уровнем $E_D + 0,21$ эВ от времени отжига (t) для различных температур изотермического отжига (N_0 — концентрация дефектов после облучения, $N(t)$ — на различных этапах отжига). Кинетика отжига исследуемого дефекта, как следует из обработки приведенных на рис. 1 результатов, подчиняется простой экспоненциальной зависимости типа $F = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)$, где τ — характеристическое время релаксации отжига. Последнее связано с частотным фактором ν_0 и энергией активации отжига E_0 следующим образом [5]:

$$\frac{1}{\tau} = \nu_0 \exp\left(-\frac{E_0}{kT}\right).$$

С учетом этого можно сделать заключение, что отжиг исследуемого РД подчиняется кинетике реакций первого порядка, для которых характерна экспоненциальная зависимость $F(t)$. Значение энергии активации отжига дефекта определялось методом сечений [5]. Для этого, используя результаты изотермических отжигов (см. рис. 1) строилась зависимость логарифма времени отжига от обратной температуры отжига (рис. 2). Наклон прямой, проведенной через экспериментальные точки, соответствующие 20%-ному отжигу РД, дает $E_0 = 1,7 \pm 0,05$ эВ. С учетом этого значения E_0 определен предэкспоненциальный множитель (частотный фактор) $\nu_0 = 1,6 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$.

Заметим, что частотный фактор имеет величину $\sim (10^{12} - 10^{13}) \text{ с}^{-1}$ в том случае, если отжиг является результатом простого однопрыжкового превращения или диссоциации, как это имеет место, например, при отжиге вакансии [6], дивакансии [7, 8] или комплекса (V—As) [9]. В отличие от этого частотный фактор $\nu_0 \sim (10^7 - 10^8) \text{ с}^{-1}$ характерен для длиннопробежной миграции, когда до захвата на стоки дефект совершает $\sim (10^5 - 10^6)$ простых прыжков. Такой процесс отжига наблюдается для междоузельных атомов бора [10]. Полученное нами промежуточное значение для ν_0 может служить основанием для предположения о том, что при отжиге происходит одновременная диффузия к стокам и распад дефекта на составляющие.

Таким образом, определенные нами параметры отжига ($T = 350 - 400^\circ \text{ С}$, $E_0 = 1,7 \pm 0,05$ эВ, $\nu_0 = 1,6 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$) комплекса ВВ, вносящего в запрещенную зону кремния донорный уровень $E_D + 0,21$ эВ, существенно отличаются от аналогичных параметров для дивакансии, полученных из исследований ЭПР и ИК — поглощения ($T = 250 - 320^\circ \text{ С}$, $E_0 = 1,2 - 1,3$ эВ; $\nu_0 = 10^{12} - 10^{13} \text{ с}^{-1}$ [7, 8]).

ЛИТЕРАТУРА

1. Sonder E., Templeton L. C. — J. Appl. Phys., 1965, v. 36, p. 1811.
2. Walker J. W., Sah C. T. — Phys. Stat. Sol. (a), 1972, v. 11, p. 513.
3. Моoney P. M., Cheng L. J., Suli M. et al. — Phys. Rev. B, 1977, v. 15, p. 3836.
4. Лукаков П. Ф., Лукашевич Т. А. — ФТП, 1978, т. 12, с. 1660.
5. Дамаск А., Динс Дж. Точечные дефекты в металлах. — М., 1966.
6. Watkins G. D. — J. Phys. Soc. Japan, v. 18, suppl. 2, 1963, p. 22.
7. Watkins G. D., Corbett J. W. — Phys. Rev., 1965, v. 138, p. A543.
8. Cheng L. C., Corelli J. C., Corbett J. W., Watkins G. D. — Phys. Rev., 1966, v. 152, p. 762.
9. Ewara yaе A. O. — J. Appl. Phys., 1977, v. 48, p. 1840.
10. Watkins G. D. — Phys. Rev. B., 1975, v. 12, p. 5824.