

## Влияние иттербия на радиационное дефектообразование в кремнии

© Ф.М. Талипов

Ташкентский государственный университет,  
700095 Ташкент, Узбекистан

(Получена 20 мая 1996 г. Принята к печати 25 октября 1996 г.)

Представлены результаты исследования влияния  $\gamma$ -облучения наа дефектообразование в кремнии, диффузионно легированном иттербием. Показано, что скорости удаления носителей заряда и константы деградации времени жизни носителей заряда в таких образцах меньше, чем в нелегированных данной примесью образцах. Полученные результаты объясняются образованием эффективных стоков для радиационных дефектов.

На радиационное дефектообразование в кремнии можно влиять, легируя его редкоземельными элементами (РЗЭ) в процессе выращивания [1,2]. Однако легирование можно осуществить и высокотемпературной диффузией [3–5]. В отличие от легирования при выращивании, легирование диффузионным методом дает возможность получать более равномерное распределение примеси и управлять ее концентрацией. К настоящему времени в литературе практически отсутствуют данные о влиянии РЗЭ, введенных в кремний высокотемпературной диффузией, на радиационное дефектообразование в нем. Такие исследования представляют не только научный, но и определенный практический интерес, связанный с возможностью более точного управления и стабилизации свойств кремния и кремниевых структур, легированных примесями РЗЭ. В связи с этим в данной работе изучено влияние РЗЭ иттербия, введенного высокотемпературной диффузией, на радиационное дефектообразование в кремнии.

Для исследований использовались образцы кремния  $n$ -типа проводимости, легированные фосфором, с удельным сопротивлением  $\rho_0 = 65 \div 75 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  и временем жизни неосновных носителей заряда  $\tau_0 = 60 \div 65 \text{ мкс}$ . Диффузия иттербия в кремний проводилась в интервале температур  $T_d = 1100 \div 1200^\circ\text{C}$  в специальных кварцевых ампулах в атмосфере аргона из предварительно напыленного при высоком вакууме слоя иттербия. В результате диффузии удельное сопротивление образцов уменьшилось до  $\rho_0 = 20 \div 25 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , а время жизни неосновных носителей заряда до  $\tau_0 = 45 \div 55 \text{ мкс}$ . Затем образцы подвергались облучению  $\gamma$ -квантами при температуре  $70^\circ\text{C}$  в диапазоне интегральных потоков

$\Phi = 1 \cdot 10^{16} \div 5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$ . Изменения удельного сопротивления и концентрации основных носителей заряда контролировались по измерениям эффекта Холла. Время жизни неосновных носителей заряда определялось из исследований переходных процессов при прохождении через полупроводниковые структуры синусоидального сигнала большой амплитуды [6]. Радиационное дефектообразование оценивалось по изменению скорости удаления носителей и константы деградации времени жизни носителей заряда. Величина скорости удаления носителей при радиационном облучении ( $K_n$ ) определялась из соотношения

$$K_n = \frac{\Delta n}{\Phi} = \frac{(n_0 - n)}{\Phi},$$

где  $n_0$  — исходная концентрация носителей,  $n$  — концентрация носителей после облучения,  $\Phi$  — доза облучения. Константа деградации времени жизни носителей заряда ( $K_\tau$ ) определялась из соотношения [2]

$$K_\tau = \frac{1}{\Phi} \left( \frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau_0} \right),$$

где  $\tau_0, \tau$  — времена жизни неосновных носителей заряда до и после облучения.

В таблице приведены полученные экспериментальные результаты. Видно, что значения скорости удаления носителей заряда и константы деградации времени жизни носителей заряда в образцах Si(Yb) существенно меньше, чем в исходных (без иттербия) образцах. Следует отметить, что с увеличением концентрации иттербия скорость радиационного дефектообразования уменьшается, т.е. наличие иттербия значительно подавляет скорость образования и накопления радиационных дефектов в кремнии. При структурном исследовании данных образцов на просвечивающем электронном микроскопе ЭВМ-100 БР методом двухступенчатых углеродных реплик с последующим оттенением окисью вольфрама наблюдалось образование примесных скоплений иттербия с размерами не более 0.3 мкм, что на 2–3 порядка меньше, чем при легировании в процессе выращивания [1]. По-видимому, эти скопления служат стоками для компонент пар Френкеля, образующихся при  $\gamma$ -облучении, что и приводит к уменьшению скорости радиационного дефектообразования.

Автор благодарит М.К. Бахадырханова за полезные дискуссии.

Параметры образцов

Образцы	$T_d, ^\circ\text{C}$	$\rho_0, \text{ Ом} \cdot \text{см}$	$n_0, 10^{14} \text{ см}^{-3}$	$\tau_0, \text{ мкс}$	$K_n, \text{ см}^{-1}$	$K_\tau, \text{ см}^2 \cdot \text{мкс}^{-1}$
Si(Yb)	1150	22.7	3.1	56	$1.6 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-13}$
		23.0	3	57	$1.1 \cdot 10^{-5}$	$1.0 \cdot 10^{-13}$
Si(Yb)	1200	20.0	3	50	$1.0 \cdot 10^{-5}$	$7.6 \cdot 10^{-14}$
		18.4	3.2	55	$1.0 \cdot 10^{-5}$	$7.1 \cdot 10^{-14}$
Исходный Si		24.0	2	60	$6.0 \cdot 10^{-4}$	$3.0 \cdot 10^{-13}$

Примечание. Все образцы были  $n$ -типа проводимости.

## Список литературы

- [1] Ю.А. Карпов, В.В. Петров, В.С. Просолович. ФТП, **17**, 1530 (1983).
- [2] В.А. Заитов, Ю.М. Добровинский, В.М. Цмоць. ФТП, **21**, 2082 (1987).
- [3] Д.Э. Назыров, В.П. Усачева, Г.С. Куликов, Р.Ш. Малкович. Письма ЖТФ, **14**, 1102 (1988).
- [4] М.К. Бахадырханов, Ф.М. Талипов, Н.В. Султанова, У.С. Джурабеков, Ш.Ш. Шасаидов, А.С. Лютович, А.А. Касымов. Изв. АН СССР. Неорг. матер., **26**, 458 (1990).
- [5] Д.Э. Назыров, Г.С. Куликов, Р.Ш. Малкович. ФТП, **25**, 1653 (1991).
- [6] С.М. Городецкий, М.А. Литовский. ФТП, **23**, 580 (1989).

*Редактор Л.В. Шаронова*

## Effect of ytterbium on radiation defect formation in silicon

F.M. Talipov

Tashkent State University,  
700095 Tashkent, Uzbekistan