

## Диффузия европия в кремнии

© Д.Э. Назыров

Национальный университет Узбекистана им. М. Улугбека,  
700174 Ташкент, Узбекистан

(Получена 18 ноября 2002 г. Принята к печати 20 ноября 2002 г.)

Впервые исследована диффузия европия в кремнии в интервале температур 1100–1250°С с использованием прямого метода радиоактивных изотопов. Установлены диффузионные параметры примеси европия в кремнии.

Исследование диффузии редкоземельных элементов (РЗЭ) в кремнии представляет интерес как в связи с использованием их для повышения термической и радиационной стойкости кремния, так и с точки зрения особенностей структуры электронных оболочек этой группы элементов [1–3], а также перспективой использования кремния, легированного РЗЭ, в оптоэлектронике в качестве источника света [4].

Пока, однако, число таких исследований ограничено, а их результаты в ряде случаев противоречивы. Выполненные нами эксперименты по диффузии празеодима [5], скандия [6], эрбия и тулия [7], прометия [8], иттрия [9], а также результаты исследования диффузии самария и гадолиния в кремнии [10] указывают на то, что эти примеси, подобно другим элементам III группы (В, Al, Ga, In), перемещаются в кремнии по узлам кристаллической решетки.

В настоящем сообщении приводятся данные выполненного исследования диффузии РЗЭ, европия в кремнии. Ранее диффузия этого элемента изучалась лишь косвенным методом [11,12], в настоящем же сообщении использован прямой, радиоактивный метод.

На поверхность образцов кремния *n*-типа ( $\rho = 15 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , площадь  $\sim 1.5 \text{ см}^2$ , толщина  $\sim 380 \text{ мкм}$ ) наносился из раствора слой хлорида европия или напылялся слой примеси, содержащий окисел радиоактивного изотопа  $^{152}\text{Eu}_2\text{O}_3$ . Диффузионный отжиг проводился на воздухе и в вакуумированных ( $10^{-4}$  мм.рт.ст.) ампулах в интервале 1100–1250°С в течение 5–48 ч. После отжига образцы многократно промывались в плавиковой кислоте, а также в смеси  $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl}$ . Профиль диффузанта определялся методом секционирования — стравливания тонких слоев (в растворе  $\text{HF}:\text{HNO}_3 = 1:4$  с промывкой в смеси  $\text{H}_2\text{O}_2:\text{HCl}$ ) и измерения остаточной  $\beta$ -активности образца (на установке малого фона УМФ-1500М со счетчиком СБТ-11). Толщина снятых слоев (0.05–0.5 мкм) определялась взвешиванием образца. Авторадиограммы, полученные до и после отжига, а также снятые в процессе секционирования образца, свидетельствовали о равномерном распределении примесей европия по сечению образца и об отсутствии включений.

В предположении, что соблюдается закон Фика и что поверхностная концентрация примеси не изменяется со временем (диффузия из постоянного источника в

полуограниченное тело), мы определили коэффициент диффузии  $D$  европия в кремнии. С этой целью экспериментальная кривая остаточного количества примеси, как и в работе [5], аппроксимировалась теоретической кривой для диффузии из постоянного источника

$$Q(x) = 2c_0\sqrt{Dt} \operatorname{erf}(cx)/2\sqrt{Dt},$$

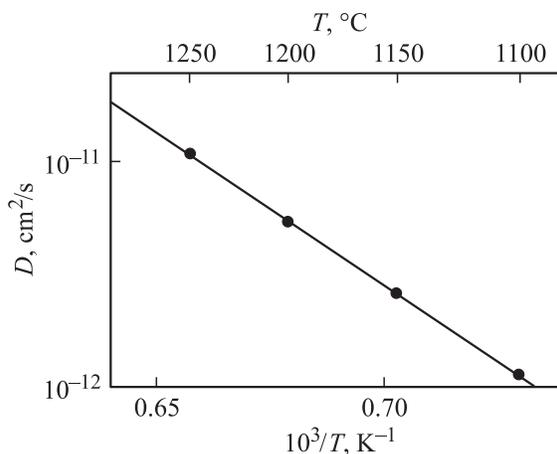
где  $c_0$  — поверхностная концентрация,  $x$  — суммарная толщина снятых слоев,  $t$  — время диффузии.

Как следует из полученных данных (см. рисунок), коэффициент диффузии европия в кремнии увеличивается по мере роста температуры от  $\sim 2 \cdot 10^{-12}$  до  $10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$ . Температурная зависимость коэффициента диффузии носит аррениусовский характер и может быть описана при 1100–1250°С соотношением

$$D_{\text{Eu}} = 2 \cdot 10^{-2} \exp(-2.8/kT) \text{ см}^2/\text{с}.$$

Глубина проникновения европия в кремнии, для оценки которой нами использовалась величина  $2\sqrt{Dt}$ , во всем исследованном интервале температур не превышает нескольких микрометров. Поверхностная концентрация европия составляет при этом величину  $\sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$ .

Сопоставление данных по европию с другими ранними результатами по диффузии РЗЭ [5–12] в кремнии, полученными с помощью радиоактивной и др. методик, показывает, что способ нанесения диффузанта и среда диффузии не влияет существенно на диффузионные



Температурная зависимость коэффициента диффузии европия в кремнии. Точки — эксперимент, сплошная прямая — расчет.

параметры РЗЭ в кремнии. На основе полученных результатов — значений коэффициентов диффузии и энергии активации диффузии европия — можно сделать вывод, что примесь европия, в качестве элемента IIIA группы Периодической системы, как и упомянутые выше РЗЭ [5–10], диффундирует в кремнии подобно другим элементам IIIB группы [13,14] по узлам кристаллической решетки.

## Список литературы

- [1] Н.Г. Баграев, Л.С. Власенко, В.М. Волле, В.Б. Воронков, И.В. Грехов, В.В. Добровенский, А.И. Шагун. *ЖТФ*, **54** (5), 917 (1984).
- [2] Д.Э. Назыров, А.Р. Регель, Г.С. Куликов. Припринт № 1122, ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР (Л., 1987).
- [3] В.М. Глазов, А.Я. Потемкин, Г.Г. Тимошина, М.С. Михайлова. *ФТП*, **31** (9), 1025 (1997).
- [4] Н.А. Соболев. *ФТП*, **29** (7), 1153 (1995).
- [5] Д.Э. Назыров, В.П. Усачева, Г.С. Куликов, Р.Ш. Малкович. *Письма ЖТФ*, **14** (12), 1102 (1988).
- [6] Г.К. Азимов, С. Зайнабидинов, Д.Э. Назыров. *ФТП*, **23** (3), 556 (1989).
- [7] Д.Э. Назыров, Г.С. Куликов, Р.Ш. Малкович. *ФТП*, **25** (9), 1653 (1991).
- [8] Д.Э. Назыров, Г.С. Куликов, Р.Ш. Малкович. *Письма ЖТФ*, **23** (2), 46 (1997).
- [9] Д.Э. Назыров, А.А. Иминов. В сб.: *Тезисы докладов Международной конференции „Фото-, тензо- и термоэлектрические явления в полупроводниковых материалах“* (Фергана, 1999) с. 56.
- [10] С. Зайнабидинов, К. Адамбаев, А.А. Иминов, Д.Э. Назыров. *Uzbek J. Phys.*, **4** (1), 66 (2002).
- [11] В.В. Агеев, Н.С. Аксенова, В.Н. Коковина, Е.П. Трошина. *Изв. ЛЭТИ*, **211**, 80 (1977).
- [12] А.И. Борисенко, Ю.М. Волокобинский, В.Н. Коковина, Е.П. Трошина, Л.Ф. Чепик, Т.Н. Фролова. *ДАН СССР*, **262** (6), 1409 (1982).
- [13] Б.И. Болтакс. *Диффузия и точечные дефекты в полупроводниках* (Л., Наука, 1972).
- [14] W. Frank, U. Gosele, H. Mehrer, A. Seeger. *Diffusion in Crystalline Solids*, ed. by G.E. Murch, A.S. Nowick (N.Y., 1984) p. 76.

Редактор Т.А. Полянская

## The diffusion of europium in silicon

D.E. Nazarov

M. Ulugbek National University of Uzbekistan,  
700174 Tashkent, Uzbekistan

**Abstract** Diffusion of Eu in Si in the temperature range 1100–1250°C, by direct method of radioactive isotopes has been first explored. Diffusion parameters impurity of Eu in Si were determined.