

05; 06; 11

© 1992

СТРУКТУРНАЯ ПЕРЕСТРОЙКА КЛАСТЕРА
МИКРОДЕФЕКТОВ МОНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ
ПОД ДЕЙСТВИЕМ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯА.Е. Алексеев, А.П. Федчук,
Л.Д. Шевченко

Известно [1], что приповерхностная область монокристаллических твердых тел насыщена структурными дефектами. Знание реального распределения микродефектов в приповерхностном нарушенном слое (ПНС) является необходимым условием для выработки новых моделей ПНС [2].

Целью настоящей работы является исследование процесса возникновения и эволюции вакансионно-дислокационного кластера (ВДК) монокристаллических кремниевых подложек с удаленным ПНС при кратком лазерном отжиге (КЛО) методом декорирования легирующей примесью.

Образцы представляли собой срезы монокристаллического кремния ориентации $\langle 111 \rangle$, легированного фосфором в концентрации $\sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Нами было показано [3], что характер распределения примеси в области ПНС S_i (на глубине до $\sim 3 \text{ мкм}$ от поверхности) определяется неоднородностью вакансионной компоненты ВДК ПНС кремниевых подложек, ввиду того, что диффузионный перенос декорирующей примеси — фосфора в S_i осуществляется преимущественно по вакансионному механизму [1].

Для удаления ПНС и, одновременно, определения концентрации декорирующей примеси мы использовали метод послойного травливания [3, 4]. После удаления ПНС образцы подвергались воздействию одиночных импульсов Nd -лазера ГОС-1000 длительностью порядка 10^{-4} с , работающего в режиме модулированной добротности на двух длинах волн $\lambda_1 = 1.06 \text{ мкм}$ и $\lambda_2 = 0.53 \text{ мкм}$ (коэффициент преобразования 0.07). Комплексное воздействие этих двух длин волн приводило, согласно [5], к плавлению приповерхностной области образцов и последующей ее рекристаллизации.

На рис. 1 и 2 кривыми (а) показано пространственное перераспределение примеси под действием одного и двух импульсов соответственно, причем повторное воздействие проводилось после того, как образец приходил в термодинамическое равновесие с окружающей средой. Из рисунков следует, что в обоих случаях происходит увеличение концентрации примеси в приповерхностном слое, что связано, вроятно, с процессом межфазной сегрегации в ходе рекристаллизации области расплава подложки [6].

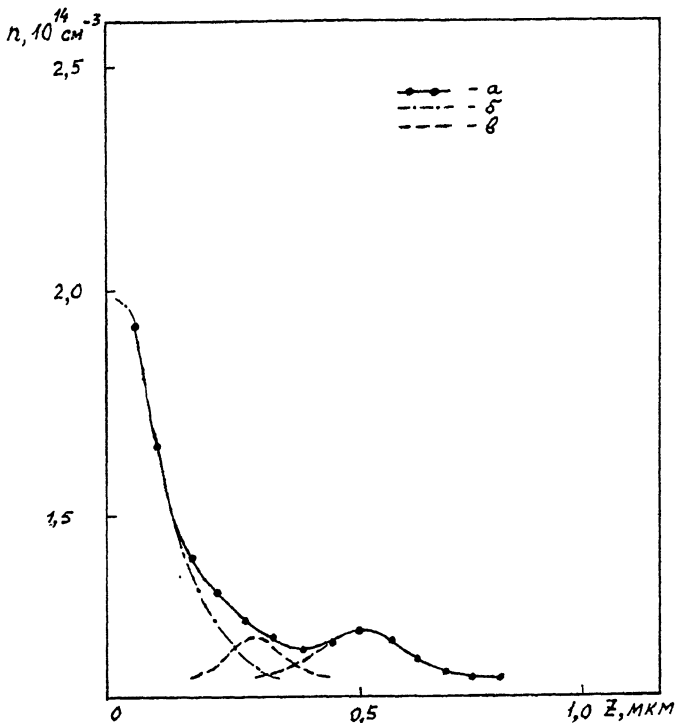


Рис. 1. Перераспределение легирующей примеси (фосфора) в образце Si с исходно удаленным ПНС в результате воздействия одного импульса.

Обе кривые на начальном участке до ~ 0.4 мкм от поверхности ($0.2-0.3$ мкм для других образцов) хорошо описываются зависимостью вида

$$n_i(z) = n_{oi} \exp(-A_i z^2), \quad (1)$$

где $n_i(z)$ — значение концентрации примеси на глубине z от поверхности, n_{oi} — начальное значение концентрации, A_i — некоторые постоянные коэффициенты, индексы $i=1$ и $i=2$ для однократного и двукратного отжига соответственно. Вид зависимости (1) можно объяснить, предположив, что сразу по окончании процесса рекристаллизации возникает диффузия примеси, сегрегированной у поверхности, в объем под действием градиента температуры и возникшего градиента концентрации примеси. При этом вид зависимости (1) свидетельствует о том, что непосредственно у поверхности выполняется закон Фика, описывающий диффузию в идеальную монокристаллическую матрицу с некоторым эффективным коэффициентом диффузии D_{eff} ($\sim 10^{-11}$ см²·с⁻¹ в данном случае), определяемым выражением

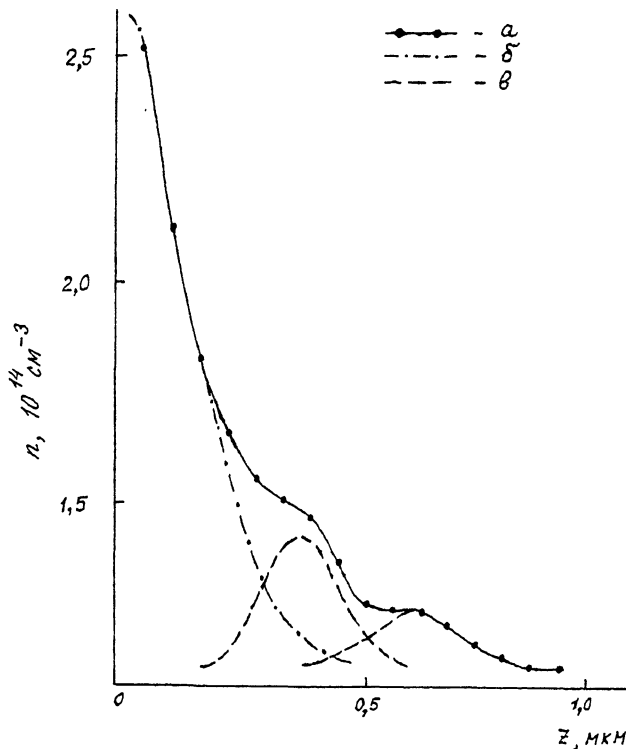


Рис. 2. Перераспределение легирующей примеси (фосфора) в образце Si с исходно удаленным ПНС в результате воздействия двух импульсов. а - зависимость концентрации фосфора n от глубины z от поверхности; б - зависимость $n(z)$, определяемая выражением (1); в - кривые, соответствующие элементарным вакансионным полосам ВДК ПНС Si .

$$D_{eff} = (D_0 / \Delta T) \int_{\Delta T} \exp(-Q/kT) dT, \quad (2)$$

где D_0 и Q - префактор и энергия активации диффузии фосфора в Si соответственно, [1], ΔT - разность между начальной и конечной температурами диффузии при остывании образца. Из выполнения закона Фика следует, что при остывании исходно бездефектного образца Si после КЛО, диффузионный процесс в области, локализованной непосредственно у поверхности, имеет существенно равновесный характер, хотя следуя работе [7], это положение в общем случае не выполняется.

Учитывая сложный характер кривых (а) на рис. 1 и 2, - наличие локальных максимумов, свидетельствующих о присутствии областей диффузионного накопления примеси в ПНС, - мы произвели

разложение этих кривых на элементарные, следуя методике, предложенной нами ранее [3]. Это позволило получить структуру вакансионной компоненты ВДК, образовавшегося и модифицируемого в процессе КЛО. Результаты такого разложения представлены кривыми (в) на рис. 1 и 2 для однократного и двукратного КЛО соответственно. Очевидно, что и в том, и в другом случае вакансионная компонента ВДК представляет собой совокупность двух вакансионных полос, разделенных расстоянием $\sim 0,28$ мкм, причем при двукратном воздействии наблюдается смещение вакансионных полос вглубь образца на $\sim 0,12$ мкм при неизменном расстоянии между ними. Это указывает на увеличение глубины ПНС при увеличении кратности КЛО. Смещение полос можно объяснить возникновением развитой дислокационной сетки в приповерхностной области при первом воздействии, вследствие значительного градиента температуры, которая при последующих отжигах контролирует эволюцию вакансионной компоненты ВДК. Гипотеза о развитии сетки дислокаций в процессе КЛО подтверждается фактом разрушения образца при кратности КЛО $i \geq 3$.

Ранее нами показано [3], что определяющую роль в установлении уровня равновесной дефектности ВДК механически обработанного Si играет вакансионная компонента. Действие КЛО, наложенное на существующую сетку дислокаций, ассоциированных с вакансиями, приводит к модификации этого кластера. Практическое совпадение значений расстояний между вакансионными полосами, возникшими в результате КЛО и механической и термической обработки [3], свидетельствует о фундаментальности роли упругих свойств кристаллической решетки Si в формировании пространственного распределения компонент ВДК.

Очевидно, что количество вакансий N_v в ВДК пропорционально площади вакансионной полосы. В нашем случае $N_{v2} / N_{v1} \approx 1,8$, где N_{v1} и N_{v2} - для однократного и двукратного КЛО соответственно. В работе [8] показано, что количество вакансий N_v , образующееся при КЛО при прочих равных условиях (длительность, энергия импульса и пр.) выражается зависимостью вида

$$N_v \sim \nu \cdot m, \quad (3)$$

где ν - частотный фактор образования вакансии, а m - кратность КЛО. В нашем случае, выполнение соотношения (3) возможно лишь при увеличении ν , а, следовательно, и энтропии вакансионной компоненты ВДК после лазерного воздействия.

Необходимо отметить тот факт, что полученная нами структура ВДК ПНС Si , возникшего при КЛО, соответствует основным представлениям о структуре ПНС Si [9]. Это подтверждает высказанное нами в [3] предположение о том, что структура ПНС Si качественно не зависит от вида внешнего воздействия, приведшего к его образованию.

- [1] Р е й в и К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии / Пер. с англ. М., 1984. 472 с.
- [2] А л е х е е в А.Е., В и д н и к D.I., В е л е т с к и й G.V., Ф е д т ч о у к А.Р., К о в а л ь о в Ю.В., С а р а п и н Я.Н., Т с ь у б а н е в N.N., З а г ы н а й л о I.V. 2-nd Mideuropean Symposium and Exhibition on Semiconductor Equipment and Technology SET-91. Warsaw, October 22-24, 1991, Poster Session. Abstracts. P.7
- [3] А л е к с е е в А.Е., Г е р а с и м о в О.И., Ф е д ч у к А.П. // ФТТ. 1991. Т. 33. В. 7. С. 2153-2158.
- [4] Б е л о в а Н.А., Г а л ч е н к о в Л.А., С к в о р ц о в Н.Е. // ПТЭ. 1985. В. 6. С. 182-185.
- [5] Д ь ю л и У. Лазерная технология и анализ материалов/ Пер. с англ. М., 1986. 504 с.
- [6] Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками / Под ред. Поута Дж.М. / Пер. с англ. М., 1987. 424 с.
- [7] L a u d e L.D. / In: Patterns, Defects and Microstructures in Nonequilibrium Systems. Applications in Materials Science. NATO ASI Ser. E. / Ed. by Walgraef D. Dordrecht, 1987. P. 336-350.
- [8] М о и н М.Д. // ФТТ. 1984. Т. 26. В. 9. С. 2742-2748.
- [9] JTS Reports. September 1986. V. 2. N 2. P. 48-55.

Одесский
государственный
университет
им. И.И. Мечникова

Поступило в Редакцию
28 марта 1992 г.