

При облучении в кристаллах генерируются первичные РД – пары Френкеля. Часть из них исчезает в результате взаимной аннигиляции. Разделившиеся компоненты пар Френкеля способны мигрировать в объеме кристалла и взаимодействовать с другими дефектами с образованием более сложных вторичных дефектов. Считается, что повышение концентрации точечных дефектов (препятствующих движению дислокаций) по мере нарастания флюенса должно приводить к монотонному упрочнению кристаллов. Наблюдаемое в эксперименте немонотонное изменение микротвердости (тем более немонотонное разупрочнение кристаллов LiF и NaCl) в условиях низкоинтенсивного облучения свидетельствует о более сложном процессе преобразования подсистемы структурных (собственных и радиационных) дефектов. При малодозовом облучении (в наших экспериментах  $F < 1,1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ ) концентрация генерируемых дефектов меньше концентрации исходных дефектов. В этом случае наблюдаемые изменения свойств следует связывать с модификацией исходных дефектов. Тогда немонотонное изменение  $H$  в условиях

низкоинтенсивного облучения можно связать с многостадийным процессом преобразования имеющихся в кристалле дислокационных стенов.

Таким образом, обнаружено нелинейное во времени изменение микротвердости кристаллов KCl, NaCl и LiF, индуцируемое действием бета-облучения с интенсивностью  $I = 10^6 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тетельбаум Д.И., Менделеева Ю.А., Азов А.Ю. // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. № 11. С. 128.
2. Головин Ю.И., Дмитриевский А.А., Пушин И.А., Сучкова Н.Ю. // ФТТ. 2004. Т. 46. № 10. С. 1790.
3. Головин Ю.И., Дмитриевский А.А., Карцев С.В., Сучкова Н.Ю., Голотаев М.Ю. // Поверхность. (В печати).

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-02-96321).

Поступила в редакцию 16 октября 2006 г.

### КОМБИНИРОВАННОЕ ДЕЙСТВИЕ СЛАБЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ, МАГНИТНЫХ И РАДИАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ Si

© А.А. Дмитриевский, В.Е. Иванов

Dmitrievskii A.A., Ivanov V.E. Combined influence of weak electric, magnetic and irradiative fields on Si microhardness. The influence of weak electric and magnetic fields on dynamics of the process of subsystem structural defects modification induced by low flux beta-irradiation is found.

Радиационное дефектообразование является одним из наиболее широко применяемых методов при формировании электрофизических свойств полупроводниковых материалов (в частности, кремния). При этом важную роль играют характеристики материала (тип и концентрация легирующей примеси), облучения (тип, энергия, плотность потока частиц) и внешних факторов не радиационной природы (температура, при которой происходит облучение, наличие магнитных и электрических полей и др.).

В случае низкоинтенсивного облучения свойства могут изменяться немонотонно по мере нарастания флюенса [1, 2], что затрудняет интерпретацию наблюдаемых эффектов с позиции общепринятых представлений о взаимодействии заряженных частиц с веществом. Большинство радиационных дефектов (РД) кремния являются парамагнитными и кроме того могут находиться в различных зарядовых состояниях. Внешние электрические и магнитные поля, очевидно, способны оказывать определенное влияние на эффективность протекания квазихимических реакций между компонентами вторичных РД и, как следствие, на конечные свойства кристалла в целом.

Отсутствие информации о процессе преобразования структурных дефектов кремния в условиях индивидуального действия низкоинтенсивного ионизирующего облучения, а также действия облучения, комби-

нированного с внешними факторами не радиационной природы, определяет цель настоящей работы.

В экспериментах использовались образцы кремния, легированные фосфором, имеющие форму пластин с линейными размерами  $1 \times 4 \times 7 \text{ мм}^3$ . Использовались два источника бета-частиц на основе  $^{90}\text{Y}$ – $^{90}\text{Sr}$  с интенсивностью потока  $I_1 = 3 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  и  $I_2 = 10^5 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  соответственно. Экспозиция образцов в электрическом поле (ЭП) осуществлялась с помощью плоского конденсатора, одна из обкладок которого была выполнена в виде мелкой сетки (размер ячейки 0,5 мм), через которую осуществлялось облучение. Напряженность электрического поля  $E$  варьировалась в интервале от 0 до 450 В/см. Индукция магнитного поля (МП) в зазоре между полюсами постоянного магнита (в месте, где экспонировался образец)  $B = 0,28 \text{ Тл}$ . Тестирование микротвердости  $H$  по Виккерсу на плоскости (111) осуществляли на микротвердомере ПМТ-3.

Экспозиция образцов в поле бета-частиц с  $I_1$  и  $I_2$  в отсутствие ЭП и МП сопровождается немонотонным изменением микротвердости (рис. 1а и 1с соответственно). Качественный вид зависимости микротвердости от времени облучения совпадает с данными [2]. В работе [3] показана возможность влияния внешнего ЭП на эффективность разделения компонент пар Френкеля. Большинство радиационных дефектов обладают парамагнитными свойствами. В соответствии с этим

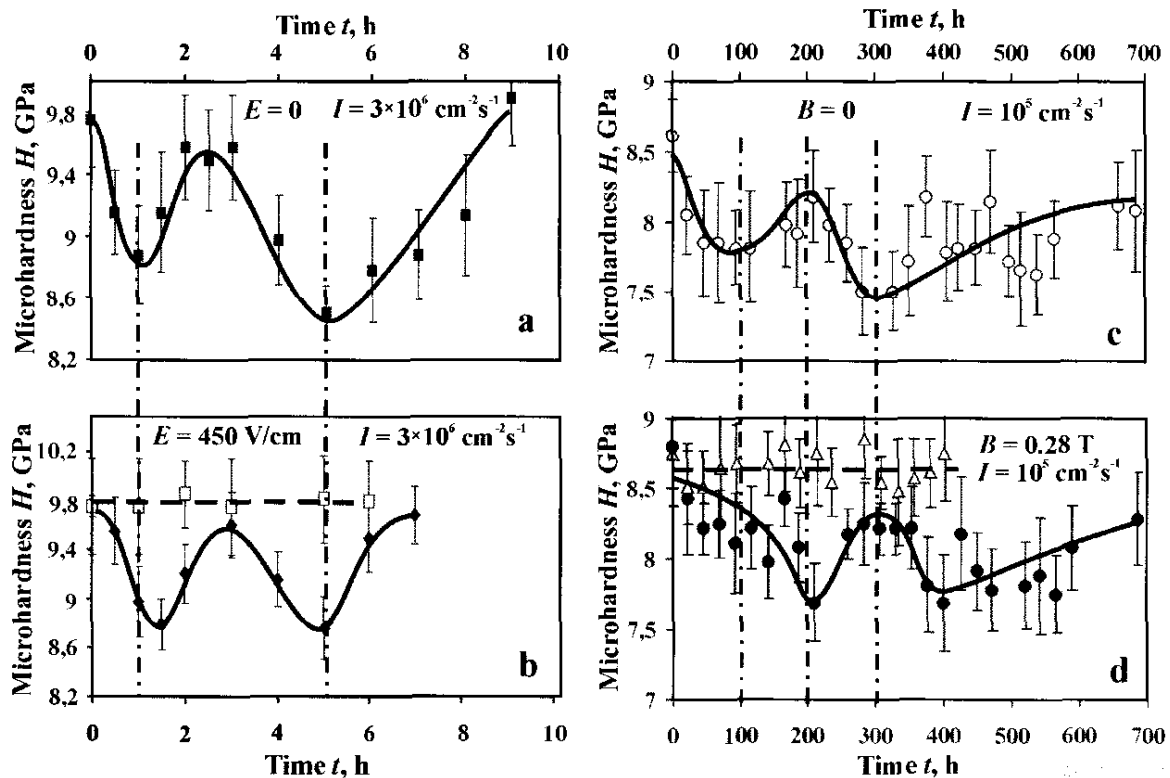


Рис. 1. Зависимость микротвердости от времени индивидуального облучения с интенсивностью  $I_1 = 3 \times 10^6 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (а) и  $I_2 = 10^5 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (с) и комбинационного с ЭП (b) и МП (d). Пунктирные линии соответствуют условию экспозиции образцов в ЭП (b) и МП (d) без облучения

естественно предположить, что ЭП и МП могут оказывать влияние на эффективность формирования тех или иных вторичных РД, в частности комплексов, ответственных за наблюдаемое разупрочнение. Обнаружено, что «наложение» электрического поля напряженностью  $E = 450 \text{ В/см}$  приводит к пятидесятипроцентному увеличению времени облучения  $t$ , при котором наблюдается первый максимум разупрочнения (рис. 1b). Характерное время появления второго максимума разупрочнения не изменяется.

Обнаружено, что «наложение» МП приводит к заметному «замедлению» процесса разупрочнения Si, индуцируемого бета-облучением (рис. 1d). Обращает на себя внимание тот факт, что «задержка» всех стадий (первое разупрочнение, промежуточное восстановление микротвердости к исходному значению и повторное разупрочнение) бета-стимулированного изменения  $H$  в условиях «наложенного» МП составляет одну и ту же величину ( $\Delta t \approx 100 \text{ ч}$ ). Из этого следует, что МП

повышает радиационную стойкость по отношению к бета-стимулированному преобразованию подсистемы структурных дефектов в основном при флюенсах  $F \leq 3 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Golan G., Rahmovich E., Inberg A., Axelevitch A., Oksman M., Rosenwaks Y., Kozlovsky A., Ramcoila P.G., Rattaggi M., Seidman A., Croitoru N. // *Microelectronics Reliability*. 1999. № 39. P. 1497.
2. Голован Ю.И., Дмитриевский А.А., Пушин И.А., Сучкова Н.Ю. // *ФТТ*. 2004. Т. 46. № 10. С. 1790.
3. Мисевский Л.С., Горных В.С. // *ФТП*. 1979. Т. 13. № 7. С. 1369.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 06-02-96321).

Поступила в редакцию 16 октября 2006 г.