

06;12

## Ионное легирование кремния иттербием

© Д.Э. Назыров, С.А. Гончаров, А.В. Суворов

Ташкентский государственный университет им. М. Улугбека, Узбекистан  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург

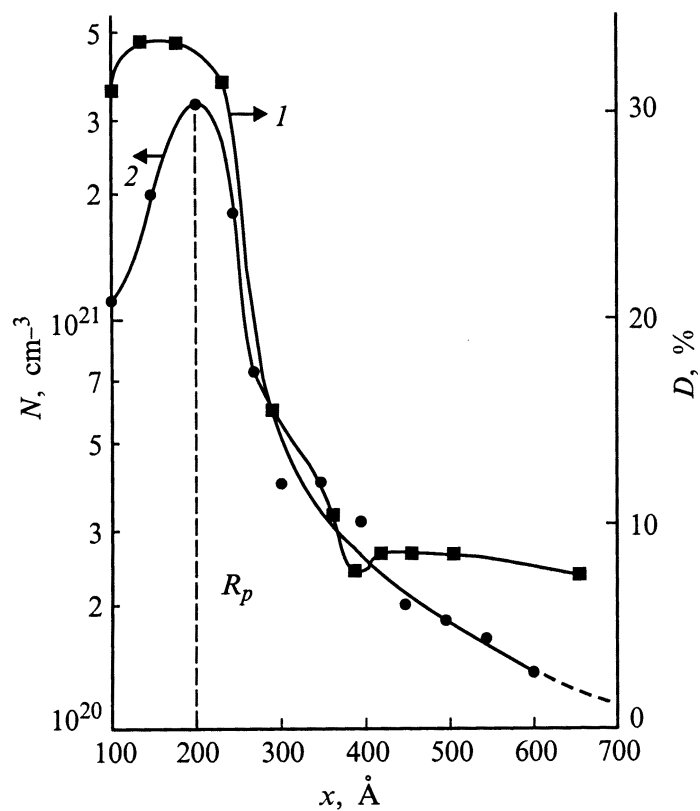
Поступило в Редакцию 30 октября 1999 г.

Приводятся результаты впервые выполненного исследования распределения постимплантационных нарушений при внедрении редкоземельного элемента иттербия в кремний. Получен профиль внедренного иттербия, который совпал с профилем радиационных нарушений.

Метод ионной имплантации является основным в планарной технологии, сочетающей загонку примеси в виде доз ионов и их диффузионную разгонку. Поэтому изучение процессов дефектообразования при легировании, профиля распределения и перераспределения ионно-имплантированного элемента в условиях термического отжига является актуальной задачей.

В данной работе приводятся результаты впервые выполненного исследования распределения постимплантационных радиационных нарушений при введении редкоземельного элемента иттербия, профиля распределения и перераспределения ионно-имплантированного иттербия в условиях термического отжига. При выборе этой примеси в качестве объекта исследования в кремнии учитывалось то, что введение в кремний редкоземельных элементов представляет практический и научный интерес в связи со способностью этих элементов геттерировать неконтролируемые быстродиффундирующие примеси и дефекты, повышать термическую и радиационную стойкость [1,2].

Профиль распределения степени разупорядоченности имплантированного слоя снят методом ультрафиолетового (УФ) отражения. Концентрационное распределение ионно-имплантированного иттербия получено методом нейтронно-активационного анализа по остаточной активности. И в том, и в другом методе использовалось анодное секционирование кремния. Толщина снятого окисла контролировалась эллипсометрически.



Профиль распределения степени разупорядоченности (1) и концентрационный профиль (2) иттербия  $^{173}\text{Yb}^+$ .

Данные по УФ отражению в сочетании с дополнительным расчетом по модели лобовых соударений и картина концентрационных профилей дают возможность идентифицировать дефекты, создаваемые ионным легированием.

В представляемой работе монокристаллический кремний КЭФ-15 имплантирован ионами иттербия  $\text{Yb}^+$  с  $E = 70 \text{ keV}$ , доза  $Q = 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ , плотность ионного тока  $j = 10 \mu\text{A/cm}^2$ .

Кривая на рисунке отражает распределение степени разупорядоченности и концентрационный профиль иттербия  $^{173}\text{Yb}$ . Положение максимума распределения примеси хорошо совпадает с рассчитанным по теории Линхарда–Шарфа–Шиотта (расчетная длина проецированного пробега  $R_p \simeq 200 \text{ \AA}$ ). Корреляция между дефектностью и концентрационным профилем очевидна, а максимум распределения дефектов расположен ближе к поверхности кремния, чем максимум распределения примеси, как в случае с фосфором [3].

На глубине порядка  $2R_p$  наблюдается отклонение концентрационного профиля от закона Гаусса. Кривая дефектности в этих глубинах тоже изменяется немонотонно.

На основании имеющейся в литературе идентификации дефектов можно предположить, что зона имплантированного иттербием кремния состоит из пяти слоев: I — приповерхностный слой, толщиной  $50\text{--}100 \text{ \AA}$ . Он имеет высокую степень разупорядоченности, однако о типах преобладающих в этой области дефектов трудно что-либо сказать. II — слой от  $100$  до  $200 \text{ \AA}$ , это область максимальной разупорядоченности, которая создается в кремнии атомами иттербия, занявшими междоузельное положение. III — слой, соответствующий расчетному параметру  $R_p \pm \Delta R_p$ , область  $150\text{--}300 \text{ \AA}$ . Дефектность здесь резко падает, т. е. спектры УФ отражения не фиксируют узельную компоненту имплантированной примеси. IV — слой  $300\text{--}450 \text{ \AA}$  содержит каналированные атомы примеси. Аналогичную картину наблюдали другие авторы методом ОРЧ при каналированной имплантации мышьяка. V — более глубокие слои имеют невысокую остаточную дефектность, которая формируется за счет атомов отдачи кремния, выбитых при ионном легировании.

При высокотемпературном отжиге ( $1200$ ,  $1220$  и  $1280^\circ\text{C}$ ;  $2$ ,  $10$  и  $18 \text{ h}$ ) в образцах монокристаллического кремния, имплантированных дозами  $Q = 10^{14}\text{--}10^{16} \text{ cm}^{-2}$ , вся имплантированная примесь выходит из объема на поверхность кремния ("out diffusion"), адсорбируется в  $\text{SiO}_2$ , образовавшемся на поверхности кремния в процессе термического отжига. После травливания этого слоя в плавиковой кислоте наличие (нейтронно-активированной) примеси в кремнии не регистрировалось.

Расширение доз имплантации и отжиг при различных (низких) температурах в дальнейших исследованиях поможет уточнить представленные результаты.

## Список литературы

- [1] Назыров Д.Э., Куликов Г.С., Регель А.Р. Кремний, легированный редкоземельными элементами. Препринт ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР. Ленинград. 1977. 56 с.
- [2] Малкович Р.Ш., Назыров Д.Э. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 4. С. 38–40.
- [3] Гончаров С.А., Соколов В.И. Тез. докл. Всесоюзн. конф. по радиационным дефектам в металлах. Алма-ата. 1983. С. 9.