

## ВЛИЯНИЕ МЕЛКИХ ПРИМЕСЕЙ НА ДЕФОКУСИРОВКУ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА В КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ

Балтрамеюнас Р., Велецкас Д.

В работе [1] на основе исследования температурной и интенсивностной зависимости дефокусировки лазерного пучка кристаллами кремния был сделан вывод о том, что причиной нелинейной рефракции является перезарядка мелких примесных состояний неравновесными носителями заряда (ННЗ). В работе [2] показано, что легирование примесями P, As, Sb приводит к заметному увеличению диэлектрической проницаемости кристаллов Si. Можно предположить, что легирование указанными примесями должно отразиться и на нелинейных оптических свойствах кристаллов Si, в том числе и на наведенной светом рефракции. Исследованию влияния легирования на нелинейную рефракцию в сильно возбужденных кристаллах кремния и посвящена данная работа.

Исследованы некомпенсированные, бездислокационные ( $N_D \leq 10^3 \text{ см}^{-2}$ ), легированные фосфором (КЭФ) и бором (КДБ) монокристаллы *n*- и *p*-кремния

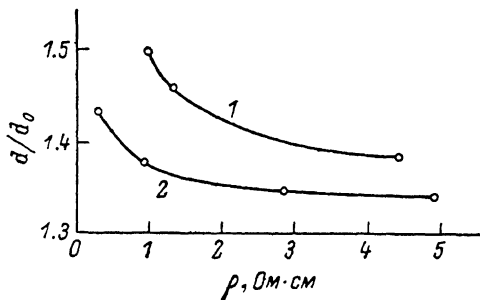


Рис. 1. Зависимость степени дефокусировки от удельного сопротивления кристаллов кремния марок КДБ (1) и КЭФ (2).

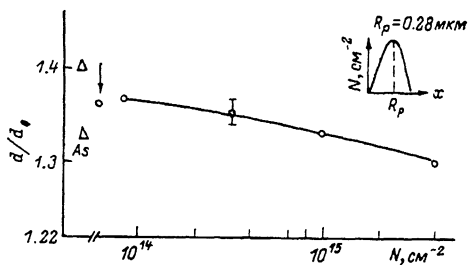


Рис. 2. Зависимость степени дефокусировки света в Si марки КЭФ-1 от дозы имплантации бором.

Стрелкой показана величина степени дефокусировки для исходного образца. Треугольники показывают изменение самофокусировки в образце Si марки КДБ-10: верхний — исходный образец, нижний — легированный.

( $\rho_n = 0.3 - 5 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ,  $\rho_p = 1 - 5 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ). Толщина исследованных образцов  $350 - 360 \text{ мкм}$ . Схема экспериментальной установки описана в работе [1]. Для возбуждения использовался лазер на основе АИГ:  $\text{Nd}^{3+}$  ( $\lambda = 1.064 \text{ мкм}$ ,  $\tau_{\text{нмл}} = 18 \pm 1 \text{ нс}$ ). Измерения проведены при  $T = 300 \text{ К}$ . Исследования пропускания всех пластин кремния на спектрофотометре «Specord» показали, что коэффициент поглощения на длине волны излучения лазера  $\alpha_0 = (9 \pm 1) \text{ см}^{-1}$ . По кинетике нелинейного поглощения установлено, что время жизни ННЗ  $\tau = 6 - 7 \text{ мкс}$ . Таким образом, все исследованные пластины кремния имели одинаковые исходные параметры и различались лишь степенью легирования фосфором и бором, что определяло их удельное сопротивление.

Исследование дефокусировки лазерного луча (при постоянном уровне возбуждения  $I_0 = 1.2 \text{ МВт/см}^2$ ) показало, что степень дефокусировки  $d/d_0$  зависит от легирования, т. е. от удельного сопротивления кристаллов (рис. 1). Характерно то, что чем больше концентрация донорной (кривая 2) или акцепторной (кривая 1) примеси, тем больше дефокусировка. Следует отметить, что результаты, приведенные на рис. 1, получены путем как усреднения измерений по площади пластины размером  $75 \times 75 \text{ мм}$ , так и подбора более однородных образцов. Кроме того, для увеличения надежности результата (исключения влияния интерференции света) исследуемые пластины устанавливались под углом  $74.3^\circ$  к падающему излучению.

Приведенные на рис. 1 результаты получены на кристаллах, легированных во время их роста. Однако представляет интерес исследование кристаллов кремния, легированных ионной имплантацией или диффузией соответствующей легирующей примеси. Была исследована дефокусировка лазерного луча в кремнии марки КЭФ-1, вырезанном в направлении [111] и имплантированном бором при  $E=80$  кэВ (отожженном), т. е. когда в исходный материал  $n$ -типа вводится акцепторная (компенсирующая) примесь. Результаты исследования степени дефокусировки приведены на рис. 2 (на вставке показан профиль распределения примеси по толщине кристалла). Как видно, увеличение дозы имплантации приводит уже к уменьшению степени дефокусировки. Такой же результат получен и для кремния марки КДБ-10, легированного путем термодиффузии примесью As (донор, глубина около 7 мкм) (треугольники на рис. 2).

Таким образом, получена зависимость между степенью легирования и светонаведенным изменением показателя преломления, который обуславливает степень дефокусировки лазерного луча. Этот результат показывает, что нелинейная рефракция в возбужденных кристаллах связана не только с ННЗ, вносящими отрицательный вклад в показатель преломления, но и с перезарядкой мелких примесных состояний [2]. Это открывает перспективы целенаправленного изменения нелинейных свойств кристаллов Si путем их легирования разными примесями, обладающими небольшой глубиной залегания. Следует заметить, что мелкие примесные состояния способствуют нелинейной рефракции не только в Si, но и в полупроводниках групп  $A^{III}B^V$ ,  $A^{IV}B^VI$  [3-5]. Полученные результаты также указывают на возможность неразрушающего контроля технологического процесса изготовления приборов микроэлектроники на основе кремния, арсенида галлия и других полупроводников.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Балтрамеюнас Р., Велецкас Д., Каптураускас И. Дефокусировка лазерного излучения и механизм светонаведенного изменения показателя преломления в кремнии. — ФТТ, 1985, т. 27, в. 10, с. 2931—2935.
- [2] Castner T. G., Lee N. K., Cieloszyk G. S., Salinger G. L. — Phys. Rev. Lett., 1975, v. 34, N 26, p. 1627—1630.
- [3] Балтрамеюнас Р., Велецкас Д., Каптураускас И. Самовоздействие световых пучков в монокристаллах CdSe. — Письма ЖТФ, 1984, т. 10, в. 9, с. 522—526.
- [4] Балтрамеюнас Р., Велецкас Д., Дебейкис К., Каптураускас И. Самодефокусировка лазерных пучков в монокристаллах Si и GaAs. — В кн.: Тез. докл. XII Всес. конф. по когерентной и нелинейной оптике. М., 1985, ч. II, с. 180—181.
- [5] Балтрамеюнас Р., Велецкас Д., Каптураускас И., Кажукаускас В., Стораста Ю. Нелинейная рефракция и изменение холловской подвижности в сильно возбужденных кристаллах CdSe. — ФТП, 1986, т. 20, в. 7, с. 1243—1247.

Вильнюсский  
государственный университет  
им. В. Капсукаса

Получено 10.12.1986  
Принято к печати 30.04.1987

ФТП, том 22, вып. 1, 1988

### СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ, ЛЕГИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Воронина Т. И., Лагунова Т. С., Саморуков Б. Е., Стругов Н. А.

Слои арсенида галлия, выращиваемые методом жидкофазной эпитаксии, содержат значительную концентрацию фоновых примесей Si, O, S, C и др. Для снижения содержания остаточных примесей используются различные способы: длительный отжиг (24—65 ч) раствора-расплава в потоке водорода, вакуумный высокотемпературный отжиг галлия и графитовых кассет, добавление паров воды в водород и др. [1-3]. Обнадеживающие результаты получены по очистке слоев InP и InGaAs с помощью редкоземельных элементов (РЗЭ) [4, 5]. Целью