

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ 50 МэВ ПРОТОНАМИ НА ИК ПОГЛОЩЕНИЕ В КРЕМНИИ

Гроза А. А., Куц В. И., Литовченко П. Г., Хиврич В. И.

Методом ИК спектроскопии проведено сравнительное изучение действия 50 МэВ протонов и быстрых нейтронов на монокристаллы Si *n*- и *p*-типа ($\rho \sim 10 \div 1000$ Ом·см) с различной концентрацией кислорода.

Показано, что доза протонов $5 \cdot 10^{16}$ см⁻² по интенсивности околокраевого поглощения и полосы 1.8 мкм соответствует такой же по величине дозе быстрых нейтронов, а интенсивность 12 мкм полосы — дозе 10^{19} н/см². Кроме этого, в образцах с повышенной концентрацией кислорода при облучении протонами обнаружены две новые полосы поглощения при 1010 и 1058 см⁻¹.

При облучении кремния высокоэнергетичными частицами основными дефектообразующими процессами являются кулоновское и ядерное взаимодействия [1]. Подробный анализ вклада различных второстепенных факторов при использовании 50 МэВ электронов проведен в работе [2].

В данном сообщении приводятся особенности дефектообразования в Si при облучении 50 МэВ протонами по сравнению с быстрыми нейтронами, для которых основным механизмом дефектообразования является упругое рассеяние бомбардирующих частиц [1].

Изучались ИК спектры поглощения в спектральной области от 1 до 25 мкм монокристаллов Si *n*- и *p*-типа с $\rho = 10 \div 200$ Ом·см, выращенных методом Чохральского, а также с $\rho \approx 10^3$ Ом·см, полученных зонной плавкой. Спектры поглощения измерялись при 5 и 300 К сразу же после облучения, которое производилось при температурах ≤ 50 °С, и на различных этапах 30-минутного изохронного отжига.

Для выявления особенностей действия высокоэнергетичных протонов ИК спектры сравнивались со спектрами образцов, приготовленных из тех же слитков, но облученных быстрыми реакторными нейтронами. Результаты исследования показали, что интенсивности околокраевого поглощения (ОКП) и полосы 1.8 мкм (дивакансии) примерно одинаковы при равных флюенсах протонного и нейтронного облучения (при флюенсах нейтронов $4.7 \cdot 10^{16}$ и протонов $5 \cdot 10^{16}$ см⁻² коэффициенты поглощения для полосы 1.8 мкм равны 3.5 и 4.6 см⁻¹ соответственно), а интенсивность 12 мкм (835 см⁻¹) полосы (А-центры) в Si после флюенса протонов $5 \cdot 10^{16}$ см⁻² мало отличается от ее интенсивности после значительно превосходящего флюенса быстрых нейтронов (10^{19} см⁻²) (рис. 1, кривые 1, 2). Из этих данных следует, что скорости введения сложных нарушений типа областей разупорядочения и дивакансий в обоих случаях близки, а скорость введения А-центров при протонном облучении на 2—3 порядка выше.

При анализе спектров поглощения наряду с известными выявлены две новые полосы с максимумами при 1010 и 1058 см⁻¹ (рис. 1, кривая 2). Поскольку они наблюдаются только в материале, полученном по методу Чохральского, по-видимому, в образовании дефектов, дающих эти полосы, принимает участие кислород.

Роль примесей заметно сказывается также на интенсивности дивакансионной полосы 1.8 мкм и ОКП (рис. 2): она максимальна в образцах с повышенной

концентрацией бора, кислорода и углерода (кривая 1), несколько меньше в образцах *n*-типа с близкой концентрацией кислорода и углерода (кривая 2) и соответственно наименьшая — в образцах с малой концентрацией бора, кислорода и углерода (кривая 3).

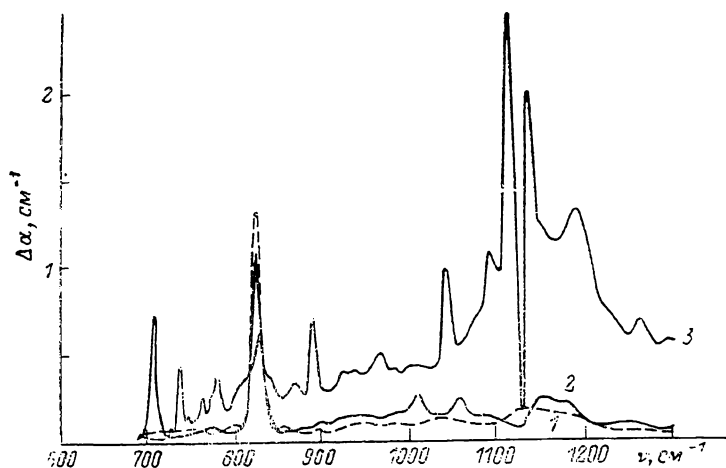


Рис. 1. Дифференциальный спектр поглощения $[\Delta\alpha=f(\nu)]$ образцов *n*-Si ($\rho=150$ Ом·см, концентрация кислорода $5 \cdot 10^{17}$ см $^{-3}$) после облучения нейтронами флюенсом 10^{19} (1), протонами флюенсом $5 \cdot 10^{16}$ см $^{-2}$ (2, 3) и последующего отжига при 500 °С по сравнению с необлученным ($T=5$ К).

Такое различие свидетельствует, по всей видимости, об уменьшении вероятности аннигиляции первичных радиационных дефектов в образцах кремния с повышенной концентрацией примесей бора и углерода, поскольку собственные междоузельные атомы, образовавшиеся при облучении, уходят на

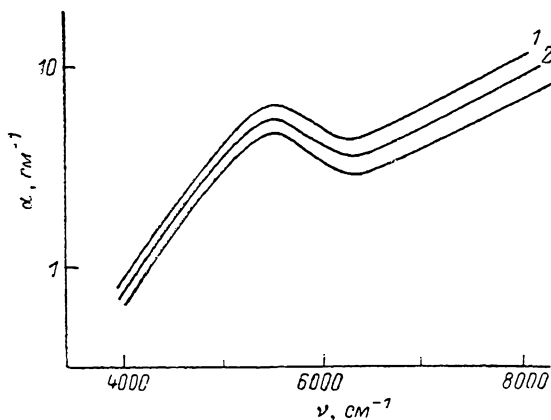


Рис. 2. Зависимость коэффициента поглощения α от волнового числа ν для образцов кремния, облученных протонами.

Концентрация кислорода $N_O \cdot 10^{-17}$, см $^{-3}$ (ρ , Ом·см): 1 — 4 (10), *p*-тип; 2 — 5 (150), *n*-тип; 3 — 0.05 (10 3), *p*-тип.

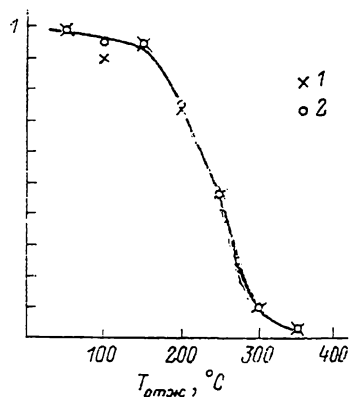


Рис. 3. Изохронный отжиг полосы поглощения 1.8 мкм (1) и околокраевого поглощения при $\lambda=1.3$ мкм (2) для *p*-Si ($\rho=1000$ Ом·см), облученного протонами.

стоки — на вытеснение этих примесных атомов из узлов кристаллической решетки в междоузельное положение [3].

Отмеченное влияние примесей в нашем случае незначительно, но тем не менее оно качественно согласуется с моделью радиационного дефектообразования, предложенной авторами работы [4] на основании изучения ИК поглощения в Si после облучения электронами.

Изохронный отжиг ОКП и полосы 1.8 мкм показывает почти полное совпадение кривых отжига при протонном облучении (рис. 3). При нейтронном облучении такого совпадения не происходит [5]. Наблюдается также незначительное дообразование A -центров при отжиге Si в первом случае по сравнению с облучением нейтронами. Дообразование A -центров в Si n -типа несколько больше, чем в материале p -типа, что, наиболее вероятно, связано с известным процессом эффективного взаимодействия вакансий, появляющихся при отжиге облученного Si, с междоузельными атомами бора и возвращением их в первоначальное положение в узлах решетки.

О появлении вакансий при отжиге облученных образцов свидетельствует образование подобной системы многовакантных комплексов в образцах, облученных как быстрыми нейтронами [6], так и протонами (рис. 1, кривая 3).

Таким образом, из приведенных фактов следует, что при равных флюенсах частиц протонное облучение создает в монокристаллах кремния значительно больше точечных дефектов (A -центров и т. д.), чем нейтронное, при примерно равном количестве областей разупорядочения.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что при изохронном отжиге ОКП и дивакансий (рис. 3) области, созданные протонами, более однородны по составу по сравнению с областями, образованными при облучении нейтронами, и состоят преимущественно из дивакансий.

Список литературы

- [1] Коноплева Р. Ф., Остроумов В. Н. Взаимодействие заряженных частиц высоких энергий с германием и кремнием. М., 1975. 126 с.
- [2] Абрагян Г. А., Кабазян С. А., Винецкий В. Л., Ерицян Г. Н., Мелконян Р. А., Саакян В. А. // Препринт. Ереван, 1979. № ЕФП-353.
- [3] Veau A. R., Newman R. C., Smith R. S. // J. Phys. Chem. Sol. 1970. V. 31. N 2. P. 739—751.
- [4] Ахметов В. Д., Болотов В. В. // ФТП. 1982. Т. 6. В. 7. С. 1220—1223.
- [5] Гроза А. А., Хиврич В. И. // ФТП. 1979. Т. 13. В. 5. С. 870—874.
- [6] Гроза А. А., Хиврич В. И. // Препринт ИЯИ. Киев, 1976. № 76-23.

Институт ядерных исследований АН УССР
Киев

Получена 4.01.1988
Принята к печати 26.01.1989