

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ПОВЕРХНОСТЬ

ФИЗИКА, ХИМИЯ, МЕХАНИКА

(ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК)

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ

3

МОСКВА · 1985

УДК 539.107.6:539.12.04

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПУЧКОВ АНАЛИЗИРУЮЩИХ ИОНОВ ГЕЛИЯ НА СТРУКТУРУ КРИСТАЛЛОВ АРСЕНИДА ГАЛЛИЯ

Ташлыков И. С.

Из ядерно-физических методов исследований, которые принято называть неdestructивными, наиболее широко применяется в настоящее время метод обратного рассеяния каналированных ионов. Среди важных аспектов приложения метода — анализ качества и совершенства кристаллов, определение типов дефектов и построение профилей их распределения, локализации дефектов, а также атома примеси в элементарной ячейке и др. Во всех указанных исследованиях выполняется процедура ориентирования кристаллов.

Как ориентирование кристаллов, так и последующее их исследование сопровождаются набором определенных доз анализирующих ионов, величины которых в некоторых экспериментах могут достигать высоких значений, поэтому несмотря на то что пробеги анализирующих ионов, а следовательно глубина залегания производимых ими в результате упругих столкновений дефектов, могут в десятки, а при каналировании в сотни раз превышать толщины изучаемых с применением метода ОРКИ слоев, все же необходимо иметь сведения о возможной повреждаемости структуры объектов исследования в процессе снятия спектров обратного рассеяния.

Имеющиеся данные по указанным вопросам весьма ограничены. В частности, в работе [1] отмечено, что при исследовании металлов (Al) с использованием ионов ${}^4\text{He}^+$ (2 МэВ) в условиях комнатных температур не наблюдается каких-либо заметных изменений в осевых спектрах обратного рассеяния до доз анализирующих ионов порядка сотен Φ_0 , где $\Phi_0 = 1 \text{ мкКи/мм}^2$ или $\sim 6 \cdot 10^{14}$ ион/см² — типичная в экспериментах такого рода (одноосевое согласование) доза анализирующих ионов при снятии одного спектра. В то же время в изоляторах, где вклад в потери энергии ускоренных частиц в результате торможения на электронах может превышать потери энергии на процессы ядерных столкновений, влиянием ионов анализирующего пучка на совершенство мишени пренебречь нельзя. Так, авторами работы [2] показано, что насыщение дефектами типа *F*-центров при анализе кристаллов NaCl с применением ионов гелия с энергией порядка мегаэлектронвольт (случайные спектры) достигается уже при дозе 10^{14} см^{-2} . При каналировании же число дефектов на сравниваемой глубине уменьшается в ~ 10 раз. Авторами работы [2] также отмечено, что в случае анализа с применением протонов различие в повреждении NaCl при анализе в разных направлениях еще более высокое.

В настоящей работе изучено воздействие на структуру полупроводниковых кристаллов GaAs пучков собственных анализирующих ионов гелия с $E=1 \text{ МэВ}$ в интервале доз от $6 \cdot 10^{14}$ до $6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$. Исследование выполняли как при облучении кристаллов в осевом (111), так и в случайном направлениях в условиях комнатной и низкой (40 К) температур. Спектры обратного рассеяния снимали последовательно по мере увеличения дозы ионов.

Некоторые из (111)-спектров обратного рассеяния, полученных при изучении низкотемпературного облучения GaAs в направлении оси, представлены на рис. 1. Следует отметить, что при 40 К в случае облучения

GaAs даже вдоль оси уже при средних значениях доз ионов гелия заметно повышение выхода осевых спектров. При этом увеличивается также и площадь приповерхностного пика. Растет скорость деканалирования анализирующих ионов с глубиной по мере увеличения дозы облучения.

Проведен анализ изменения χ_{\min} (отношение величины осевого выхода к величине выхода, получаемого от случайно ориентированного кристалла) с дозой как показателя совершенства структуры GaAs. На рис. 2 показаны экспериментально полученные кривые зависимостей χ_{\min} от интегрального потока He^+ при обеих температурах воздействия. При облучении GaAs

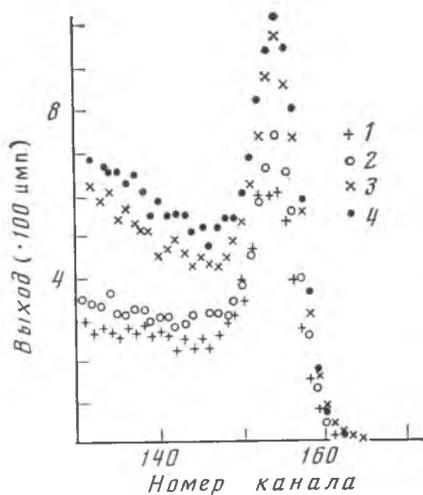


Рис. 1

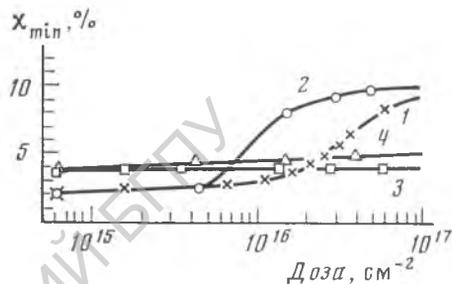


Рис. 2

Рис. 1. (111)-осевые спектры обратного рассеяния ионов гелия с $E_0=1$ МэВ от кристалла GaAs, $T=40$ К. 1 – исходный кристалл ($\Phi_{\text{He}^+}=6 \cdot 10^{14}$ см^{-2}); облученный в (111)-осевом направлении дозой $6,5 \cdot 10^{15}$ – 2, $2,2 \cdot 10^{16}$ – 3, $2,6 \cdot 10^{16}$ см^{-2} – 4

Рис. 2. Дозовая зависимость χ_{\min} для (111)-осевых спектров обратного рассеяния ионов гелия от кристаллов GaAs облученных при 40 К вдоль оси – 1, в случайном направлении – 2; при $T_{\text{комн}}$ вдоль оси – 3, в случайном направлении – 4

вдоль оси в условиях $T_{\text{комн}}$ значение χ_{\min} практически не меняется в исследованном интервале доз ионов He. Если облучение выполняется в случайном направлении, то установлено линейное повышение χ_{\min} от 3,8 до 5,0% при изменении дозы от $6 \cdot 10^{14}$ до $4 \cdot 10^{16}$ см^{-2} (кривая 4 на рис. 2).

Зависимости χ_{\min} от интегрального потока ионов He имеют качественно иной характер при низкотемпературном облучении GaAs ионами гелия. При осевом облучении в первом приближении линейный рост χ_{\min} от 2 до 3,2% наблюдается в интервале доз ионов He от $6 \cdot 10^{14}$ до $1,1 \cdot 10^{16}$ см^{-2} . С дальнейшим ростом дозы происходит резкое увеличение χ_{\min} , достигающего значения 8,4% при $\Phi=6 \cdot 10^{16}$ см^{-2} (кривая 1 на рис. 2). Процессы, приводящие к резкому росту χ_{\min} с дозой, проявляются при меньших интегральных потоках He^+ , если облучение выполняется в случайном направлении. В этом случае «критическая» доза составляет $4,5 \cdot 10^{15}$ см^{-2} . Значение изменяется от 2,5% при критической дозе до $\sim 10\%$ при $\Phi=5 \cdot 10^{16}$ см^{-2} (кривая 2 на рис. 2).

Столь значительные различия в характере изменения χ_{\min} при различных условиях облучения GaAs ионами He с $E=1$ МэВ связаны в основном с влиянием температуры на поведение генерируемых под облучением дефектов. По-видимому, комнатная температура достаточна для отжига радиационных дефектов. Некоторое повышение значений χ_{\min} при случайном направлении облучения вызвано большим числом генерируемых дефектов по сравнению с осевым. При низкотемпературном облучении отжиг дефектов затруднен, так как при 40 К миграционные процессы в полупроводни-

ках практически заморожены. Вместе с тем нелинейность роста χ_{\min} с дозой при 40 К свидетельствует о протекании сложных процессов перестройки радиационных нарушений, происходящих в кристаллах, по-видимому, во время облучения (т. е. процессы перестройки стимулируются самим облучением). И в этом случае сдвиг начала процессов перестройки дефектов в интервале более низких доз при облучении в случайном направлении также связан с тем, что при указанном облучении скорость генерации нарушений выше, чем при осевом облучении.

Выводы. Экспериментальные результаты, приведенные в настоящей работе, позволяют сделать несколько выводов и рекомендаций, которые следует учитывать при изучении кристаллов GaAs с применением метода обратного рассеяния. Если исследование выполняется при комнатных температурах, то анализирующий пучок ионов гелия, направленный на кристалл как в осевом, так и в случайном направлениях в изученном интервале доз до $\sim 100 \Phi_0$, не будет каким-либо заметным образом влиять на совершенство структуры анализируемого слоя, так как большинство создаваемых им элементарных дефектов, обладая достаточно высокой подвижностью в этих условиях, отжигаются. При проведении низкотемпературных экспериментов (40 К) лишь до доз $\sim (3-4) \cdot 10^{15} \text{ He}^+/\text{см}^2$ можно пренебрегать влиянием пучка ионов на структуру исследуемых кристаллов GaAs, поэтому можно рекомендовать, во-первых, снятие исходных осевых спектров обратного рассеяния выполнять лишь на тех участках кристалла, которые не использовались при ориентировании, и, во-вторых, случайные спектры обратного рассеяния снимать только после снятия осевых спектров.

ЛИТЕРАТУРА

1. In: Material analysis by ion channeling/Eds. Feldman L. C., Mayer J. W., Picraux S. T. N. Y.: Acad. Press, 1982, p. 208.
2. Price P. B., Kelly J. C. In: Atomic collisions in solids/Eds. Datz S., Appleton B. R., Moak C. D. N. Y.: Plenum Press, 1975, v. 2, p. 669.

Научно-исследовательский институт
прикладных физических проблем
Белорусского государственного
университета, Минск

Поступила в редакцию
11.VII.1983
Окончательный вариант получен
17.XI.1983

INFLUENCE OF He-ANALYSIS BEAM ON GaAs STRUCTURE

Tashlykov I. S.

1 MeV ^4He analysis beam-induced damage has been studied for GaAs (111) crystals. At low temperature (40 K) analysis of GaAs using ^4He ion beam, an upper limit of $^4\text{He}^+$ doses is estimated to be about 3 to $4 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$. At room temperature analysis the influence of the analysing beam on the GaAs structure is negligible.