

ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК БССР

АВТОРСКИЙ ОТТИСК

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ



21-Й ГОД ИЗДАНИЯ
Том XXI, № 10

1977

Ф. Ф. КОМАРОВ, И. С. ТАШЛЫКОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ В GaAs
ПРИ ИОННО-ЛУЧЕВОМ ЛЕГИРОВАНИИ***(Представлено академиком АН БССР А. Н. Севченко)*

В течение уже продолжительного времени интенсивно изучаются вопросы, связанные с образованием нарушений в полупроводниковых системах типа $A^{III}B^V$ при имплантации в них ионов ($1-3$). Так, методами электронной микроскопии, электронографии, измерением электрофизических параметров изучено разупорядочение кристаллической структуры в GaAs, а также профили распределения электрически активной примеси, изменение концентрации носителей тока, их подвижности по глубине при имплантации ионов IV и VI групп таблицы Менделеева в монокристаллы арсенида галлия (2). Образование, глубина залегания дефектов в GaAs при внедрении ионов F^+ , Mg^+ , Cd^+ изучены оптическими методами ($4, 5$). Обзор экспериментальных результатов по исследованию методом обратного рассеяния (ОР) низкотемпературной имплантации ионов Zn^+ , O^+ , Sb^+ , Xe^+ в кристаллы GaP, GaAs, GaAsP, GaSb представлен в (3).

В связи с использованием ионной имплантации в полупроводниковой технологии и особенно при имплантации ионов III и V групп в GaAs с целью синтеза тройных соединений, излучающих в видимой области спектра, интерес к изучению физических свойств этих кристаллов при внедрении, в частности, ионов фосфора в последние годы значительно возрос ($6, 7$).

Темой настоящего исследования было изучение образования дефектов, определение их распределения по глубине в кристаллах арсенида галлия при имплантации ионов P^+ . Исследование выполнялось неразрушающим методом ОР ускоренных легких ионов.

Используемые в работе механически, а затем химически полированные пластины кристаллов GaAs, вырезанные с ориентацией по плоскости (111), облучались ионами P^+ с энергией 60 кэВ. Внедрение проводилось в кристаллы, находящиеся при комнатной температуре. Плотность тока ионов составляла 2—5 мкА/см², интегральный поток был $\Phi_1 = 3 \cdot 10^{15}$ и $\Phi_2 = 3,2 \cdot 10^{16}$ ионов/см².

Исследовались имплантированные кристаллы методом ОР с помощью ускоренных до энергии 1,4 МэВ ионов гелия. Обратное рассеяние на угол $\theta = 160^\circ$ ионы He^+ регистрировались поверхностно-барьерным детектором с энергетическим разрешением $\Delta E = 15$ кэВ. Снимались энергетические спектры рассеянных ионов гелия при ориентировании оси (111) кристаллов в направлении пучка анализирующих ионов гелия — «осевые» спектры — и для неориентированной мишени — «случайные». При построении шкалы глубин использовались значения потерь энергии ионов He^+ в арсениде галлия из работы (8).

Экспериментально полученные спектры ОР ионов He^+ от исходного и имплантированных кристаллов GaAs представлены на рис. 1. Отметим достаточно хорошее качество подготовленных для исследования образцов. Так, отношение величины выхода «осевого» спектра к величине

«случайного» спектра в области за поверхностным пиком дефектов в исходном кристалле χ_{\min} равно $\sim 4\%$. При этом на поверхности исходных кристаллов содержится атомов галлия и мышьяка примерно в равном количестве, о чем свидетельствует соотношение между площадями разделенных поверхностных пиков (кривая 2) ионов гелия, рассеянных отдельно от атомов Ga и As.

Анализируя ход спектров на рис. 1, следует обратить внимание на то, что максимумы пиков дефектов осевых спектров имплантированных кристаллов достигают значений выхода соответствующих случайных

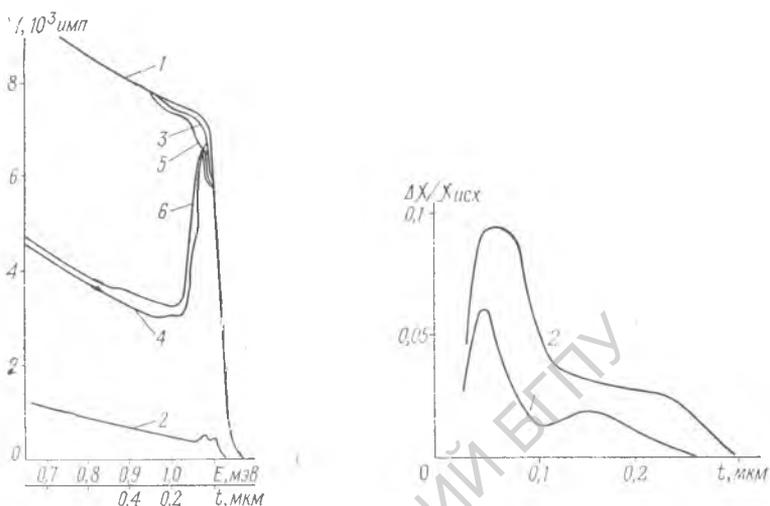


Рис. 1. Спектры обратно рассеянных ионов He^+ от кристаллов GaAs. $E_{0\text{He}^+} = 1,4$ МэВ, $\theta = 160^\circ$. Спектры неориентированных кристаллов в исходном состоянии — 1 и имплантированных интегральными потоками Φ_1 — 3, Φ_2 — 5. Осевые спектры (ориентация пучка ионов He^+ вдоль оси (111)) кристаллов в исходном состоянии — 2 и имплантированных интегральными потоками Φ_1 — 4, Φ_2 — 6

Рис. 2. Глубинная зависимость относительной разности выхода спектров неориентированных кристаллов GaAs, имплантированных ионами P^+ интегральными потоками Φ_1 — 1, Φ_2 — 2

спектров на конечной глубине, оставляя со стороны поверхности ступеньки, которые не достигают величины выхода случайного спектра. Это происходит из-за того, что полностью разупорядоченный слой начинается с глубины 500 и 600 Å и имеет размеры 150—200 и 250—300 Å для доз Φ_1 и Φ_2 соответственно. При этом поверхностный слой толщиной 500—600 Å остается сильно нарушенным, однако не аморфизированным, т. е. не полностью разупорядоченным. В этом, по-видимому, сказывается специфика материала, его способность к самозалечиванию путем стока дефектов на поверхность. Так, например, известно, что для достижения полного разупорядочения GaAs требуются большие интегральные потоки ионов, чем для элементарных полупроводников (3), или при незначительном повышении температуры легирования аморфизация GaAs вообще трудно достижима (2).

Кроме того, с ростом дозы ионов P^+ происходит расширение пика дефектов в сторону большей глубины (до ~ 1800 Å) и появляется «хвост» дефектов, распространяющийся до глубины 4700 Å.

Следует, однако, отметить, что превышение экспериментально полученной глубины расположения пика дефектов и особенно «хвостов» в распределении дефектов по сравнению с теоретически оцененной характерно для обеих доз ионов фосфора. Так, например, проекция пробега

ионов P^+ с $E=60$ кэВ в арсениде галлия составляет 480 \AA ⁽⁹⁾. Мы полагаем, что различие теоретически оцениваемой и экспериментально наблюдаемой глубины залегания дефектов вызвано ускоренной диффузией их в глубь кристалла в процессе имплантации. Аргументом в пользу данного предположения может служить полученный сдвиг профиля дефектов в сторону больших глубин и появление глубинного «хвоста» дефектов на спектрах ОР кристаллов, имплантированных ионами фосфора дозой Φ_2 .

Вместе с тем значение выхода χ_{min} , а следовательно, и концентрация дефектов в имплантированных кристаллах изменяются незначительно при увеличении дозы внедряемых ионов на порядок. Это может быть следствием того, что при внедрении больших интегральных потоков ионов P^+ в кристаллы арсенида галлия наряду с формированием сложных дефектных образований возможны также структурные превращения. В этой связи представляет интерес проанализировать происходящие при имплантации изменения состава в приповерхностных слоях матрицы. На рис. 2 представлена глубинная зависимость относительной разности выхода «случайных» спектров исходного и имплантированных кристаллов. По-другому — это недостаток атомов матрицы (мышьяка и галлия) в имплантированных кристаллах, который, по-видимому, восполняется атомами фосфора, однако частично возможно и вакансионными комплексами. На рис. 2 отмечаются две области на глубине до 1000 \AA и на большей глубине (кривая 1). С увеличением дозы внедренных ионов область, характеризующаяся недостатком атомов матрицы, распространяется на большую глубину (до 3000 \AA) и в приповерхностном слое на глубине 600 \AA толщиной 400 \AA остается 90% атомов матрицы (кривая 2 на рис. 2). Такое изменение в форме и расположении кривых при увеличении дозы вполне понятно и качественно согласуется с распределением внедренных в GaAs с энергией 30 кэВ атомов фосфора, которое описано нами ранее ⁽¹⁰⁾.

Некоторое различие в распределении нарушений по глубине на рис. 1 и 2 не противоречиво, так как на рис. 1 представлена информация о распределении дефектов, а на рис. 2 — об изменениях состава, связанных преимущественно с распределением внедренного фосфора. Общеизвестно, что профиль распределения имплантированной примеси сдвинут в область больших глубин по сравнению с распределением генерируемых при этом дефектов.

Проведенные эксперименты показывают, что в случае внедрения в арсенид галлия при комнатной температуре ионов P^+ с энергией 60 кэВ и интегральными потоками $3 \cdot 10^{15}$ и $3,2 \cdot 10^{16}$ ионов/см² на глубине 500—600 \AA образуется полностью разупорядоченный слой толщиной от 150 до 300 \AA . При этом приповерхностный слой, оставаясь сильно нарушенным, не является полностью разупорядоченным.

Наблюдаемый сдвиг пика дефектов на спектрах ОР в сторону больших глубин и образование глубинного «хвоста» дефектов при увеличении дозы внедренных ионов, также как большая, чем оцененная теоретически, глубина залегания максимумов пиков дефектов и самого профиля нарушений объясняются ускоренной диффузией дефектов в глубь кристалла в процессе имплантации.

Анализ изменений выхода случайных спектров имплантированных кристаллов позволил определить вблизи поверхности область с уменьшенной концентрацией атомов матрицы, которая восполняется атомами внедренного фосфора.

Для получения еще более полных представлений о процессах, протекающих в GaAs при имплантации ионов фосфора, необходимо проведение дальнейших исследований разнообразными методами имплантированных кристаллов при варьировании энергии, дозы ионов, температуры мишени и термических отжигов.

В заключении авторы благодарят М. А. Кумахова за полезное обсуждение результатов, И. М. Белого за выполненную имплантацию, руководство отдела ионометрии Иенского университета им. Ф. Шиллера за предоставленную возможность снятия спектров ОР.

Авторы благодарны академику АН БССР А. Н. Севченко за постоянную поддержку настоящих исследований.

*НИИ прикладных физических проблем
Белгосуниверситета
им. В. И. Ленина*

Поступило 21.III 1977

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ J. D. Sunsbury, J. F. Gibbons, Rad. Eff., 6, 269, 1970. ² В. М. Зелевинская, Г. А. Качурин, Л. С. Смирнов, Микроэлектроника, 2, № 3, 252, 1973. ³ S. T. Picraux, Rad. Eff., 17, 261, 1973. ⁴ J. S. Harris, F. H. Eisen, Rad. Eff., 7, 123, 1971. ⁵ К. Аоки, К. Гато, К. Масуда, С. Намба, Jap. J. Appl. Phys., 15, № 2, 405, 1976. ⁶ РЖ Электроника и ее применение, 5Б276, 1971. ⁷ И. М. Белый, Г. А. Гуманский, В. И. Карась, В. М. Ломако, И. С. Ташлыков, В. С. Тишков, ФТП, 9, № 10, 2027, 1975. ⁸ K. Gärtner, K. Hehl, Wiss. Ztsch. Friedrich-Schiller Univ., Jena, Mat.-Nat. R., 22, Jg., № 1/2, 257, 1973. ⁹ D. K. Brice, SC-RR-71 0599, 1971. ¹⁰ И. М. Белый, Г. Гетц, Ф. Ф. Комаров, И. С. Ташлыков, Ф. Швабе, Взаимодействие атомных частиц с твердым телом, ч. 2, ротапринт ФТИ АН УССР, Харьков, 1976.

РЕПОЗИТОРИЙ БГПУ