

УДК 621.315.592

О ПРИРОДЕ ЦЕНТРОВ ПОГЛОЩЕНИЯ 1,0 эВ
В ОБЛУЧЕННЫХ КРИСТАЛЛАХ $GaAs$

Е. Ю. БРАЙЛОВСКИЙ

Институт ядерных исследований АН УССР

Н. Е. ГРИГОРЯН

Ереванский физический институт

Н. Х. ПАМБУХЧЯН

Ереванский политехнический институт

(Поступила в редакцию 25 декабря 1984 г.)

Приведены результаты исследований поведения характеристической полосы поглощения 1,0 эВ в облученных кристаллах $GaAs$ при изменении состава в системе $GaAs_{1-x}P_x$. Установлено, что энергия оптического перехода 1,0 эВ остается неизменной, в то время как интенсивность полосы при увеличении содержания атомов фосфора резко падает и при $x > 0,1$ полоса перестает наблюдаться. Учитывая эти результаты, высокую термическую стабильность, а также литературные данные по позитронной аннигиляции, делается вывод о том, что центры, ответственные за полосу поглощения при $h\nu = 1,0$ эВ, являются дивакансиями типа V_{Ga}^2 либо $V_{Ga} + V_{As}$.

Образование радиационных дефектов в $GaAs$ приводит к возникновению сильного дополнительного поглощения за краем основной полосы поглощения, интенсивность которого определяется типом и энергией бомбардирующих частиц, дозой облучения и не зависит от свойств исходного кристалла. В работе [1] были проведены исследования с целью определения природы и характера этого поглощения. Зависимость коэффициента поглощения от энергии квантов записывалась в виде

$$\alpha(h\nu) = \sum_i A_i \exp(B_i h\nu),$$

где величина B_i в различных спектральных интервалах меняется от 2 до 30 эВ⁻¹. Зависимость такого вида связывается обычно с особенностями распределения локализованных состояний в запрещенной зоне облученного кристалла [1].

В облученных кристаллах $GaAs$, кроме монотонного поглощения в области $0,1 \leq h\nu \leq E_g$, наблюдается интенсивная полоса поглощения при $h\nu = 1,0$ эВ [2], появление которой не зависит от типа проводимости, природы и содержания примесей в исходных образцах. Наиболее отчетливо эта полоса поглощения наблюдается после облучения $GaAs$ электронами. Однако, несмотря на широкие исследования радиационных дефектов в кристаллах $GaAs$, даже для самой характерной полосы поглощения при

$h\nu = 1,0$ эВ в этом материале нельзя считать установленной природу центров, ответственных за нее. Имеются существенные расхождения в экспериментальных данных по ее температурной стабильности. Поэтому рассмотрение поведения полосы 1,0 эВ при переходе от чистых образцов $GaAs$ к твердым растворам $GaAs_{1-x}P_x$ должно дать дополнительные сведения для установления ее природы.

В настоящей работе приведены результаты исследования околосветового поглощения в кристаллах $GaAs_{1-x}P_x$ ($x = 0-0,28$), облученных электронами с энергией 7,5 и 50 МэВ. Кристаллы $GaAs_{1-x}P_x$ с $x = 0-0,05$ были выращены методом зонной плавки. Концентрация свободных носителей в них составляла $\sim 10^{16}$ см $^{-3}$. Составы твердых растворов с $x = 0,1; 0,18$ и $0,28$ были получены эпитаксией на подложке и имели толщину 250—500 мкм. При изготовлении образцов подложка шлифовалась. Соотношения компонентов в твердых растворах определялись исходя из положения края поглощения при 80 К в необлученных образцах по зависимости ширины запрещенной зоны от состава [3] и данных работы [4] по краю поглощения в твердых растворах $GaAs_{1-x}P_x$.

На рис. 1 представлены спектральные зависимости коэффициента поглощения для $GaAs_{1-x}P_x$ при облучении различными дозами электронов с энергией 50 МэВ. Облучение приводит к возникновению сильного дополнительного поглощения за длинноволновым краем основной полосы

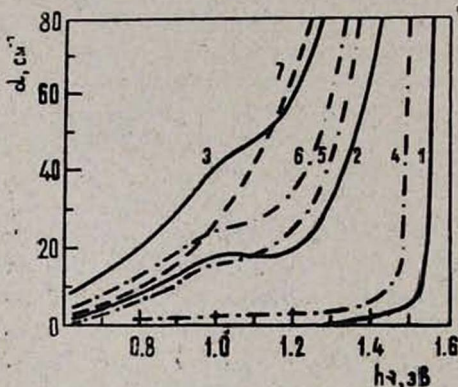


Рис. 1. Спектральные зависимости коэффициента поглощения при 80 К для облученных образцов $GaAs_{1-x}P_x$: сплошные кривые — $x = 0,05$, 1 — до облучения, 2 — $\Phi = 2,8 \cdot 10^{17}$ эл/см 2 ($E = 7,5$ МэВ), 3 — $\Phi = 3,3 \cdot 10^{17}$ эл/см 2 ($E = 50$ МэВ); штрихпунктир — $x = 0$, 4 — до облучения, 5 — $\Phi = 1,8 \cdot 10^{17}$ эл/см 2 , 6 — $\Phi = 2,5 \cdot 10^{17}$ эл/см 2 ($E = 50$ МэВ); пунктир — $x = 0,1$, 7 — $\Phi = 3,7 \cdot 10^{17}$ эл/см 2 ($E = 50$ МэВ).

поглощения. Как следует из рис. 1, на фоне дополнительного поглощения в околосветовой области для облученных кристаллов $GaAs$ и твердых растворов с $x = 0,02-0,1$ наблюдается полоса поглощения при $h\nu = 1,0$ эВ. Для всех кристаллов, где наблюдается полоса 1,0 эВ, ее интенсивность при облучении линейно увеличивается с ростом потока электронов.

На рис. 2 приведена зависимость интенсивности α_p полосы 1,0 эВ от содержания фосфора в твердом растворе $GaAs_{1-x}P_x$ при облучении электронами с энергией 50 МэВ. Видно, что с увеличением содержания фосфора интенсивность полосы резко уменьшается от $\sim 0,4$ см $^{-1}$ для чистого $GaAs$ до $\sim 0,01$ при содержании фосфора 10%. При этом, как хорошо видно из спектральных зависимостей, приведенных на рис. 1, энергетическое положение полосы поглощения 1,0 эВ в твердых растворах остается неизменным.

На рис. 3 приведены кривые изохронного отжига центров поглощения 1,0 эВ для твердых растворов различного состава. Видно, что как в чистом $GaAs$, так и в $GaAs_{1-x}P_x$ при $x = 0,02-0,1$, центры поглощения, ответственные за полосу, стабильны до $300^\circ C$ и отжиг их происходит при температуре $300-500^\circ C$.

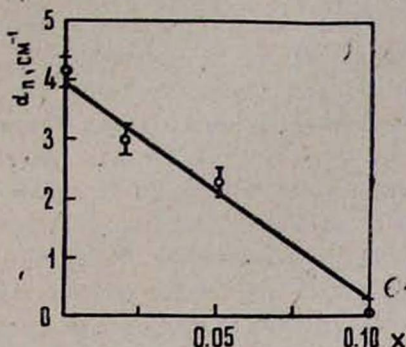


Рис. 2. Зависимость интенсивности полосы $h\nu = 1,0$ эВ при 80 К от состава (x) в твердом растворе $GaAs_{1-x}P_x$.

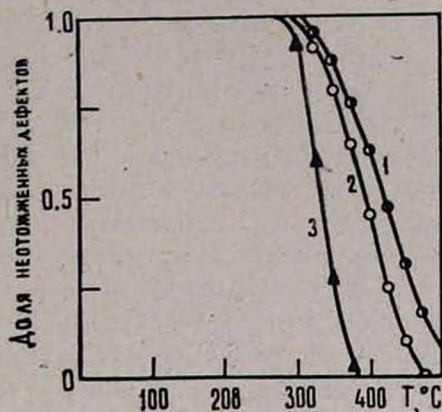


Рис. 3. Изохронный отжиг центров поглощения $h\nu = 1,0$ эВ в $GaAs_{1-x}P_x$: 1 — $x = 0$; 2 — $x = 0,02$; 3 — $x = 0,05$.

Обсудим результаты, полученные при изучении полосы поглощения 1,0 эВ в твердых растворах $GaAs_{1-x}P_x$. В результате сопоставления данных по аннигиляции позитронов в облученном $GaAs$ с данными по оптическому поглощению [5] в работе [2] делается предположение о том, что полоса поглощения 1,0 эВ обусловлена наличием вакансий в одной из подрешеток арсенида галлия. В кристаллах $GaAs$ возможны два типа вакансий: V_{Ga} и V_{As} . Электронные состояния V_{Ga} формируются четырьмя ближайшими атомами As , а состояния V_{As} формируются четырьмя ближайшими атомами Ga . При переходе от чистого $GaAs$ к твердым растворам $GaAs_{1-x}P_x$ часть атомов As замещается атомами P . Вследствие этого структура вакансий в подрешетке атомов пятой группы не изменяется, в то время как вакансии галлия (V_{Ga}) формируются атомами мышьяка и фосфора одновременно.

Тот факт, что при изменении состава в результате перехода от $GaAs$ к твердым растворам $GaAs_{1-x}P_x$ (при этом изменяется ширина запрещенной зоны) энергия оптического перехода 1,0 эВ и резонансный характер полосы не меняются, позволяет сделать заключение о том, что эта полоса обусловлена внутрицентровыми переходами между локализованными состояниями. Это заключение согласуется с выводами работ [2, 5], в которых проанализированы форма и температурная зависимость полосы 1,0 эВ. В случае, если за полосу 1,0 эВ были бы ответственны вакансии в подрешетке элементов пятой группы, полоса 1,0 эВ должна была бы наблюдаться и в твердых растворах $GaAs_{1-x}P_x$. Нами же показано, что с добавлением атомов фосфора в твердых растворах $GaAs_{1-x}P_x$ интенсивность полосы 1,0 эВ резко падает и при $x > 0,1$ полоса перестает наблюдаться совсем. Такое поведение полосы в твердых растворах $GaAs_{1-x}P_x$

позволяет сделать вывод о том, что центры, ответственные за полосу 1,0 эВ, формируются вакансиями галлия.

Тот факт, что полоса 1,0 эВ перестает наблюдаться в твердых растворах $GaAs_{1-x}P_x$, может быть обусловлен либо отсутствием перехода 1,0 эВ в центрах, сформированных одновременно атомами As и P, либо расщеплением полосы 1,0 эВ в твердых растворах на ряд слабых полос, которые не выделяются на фоне дополнительного поглощения.

В работах [6, 7] центры E_2 в кристаллах $GaAs$ и $GaAs_{1-x}P_x$ были идентифицированы как вакансии галлия. Отжиг этих электрически активных центров протекает при температурах до 300°С. В нашем же случае центры, ответственные за полосу 1,0 эВ, при температурах отжига вакансий галлия стабильны и начинают отжигаться при температурах существенно выше 300°С (в интервале температур 300—500°С). Отсюда следует, что дефекты вакансионного типа, ответственные за полосу 1,0 эВ, должны быть более сложными, чем изолированные вакансии галлия. Учитывая также, что этот дефект вакансионного типа — собственный, не связан с наличием примеси [2] и должен включать в себя еще вакансию типа V_{Ga} либо V_{As} , можно сделать вывод о том, что центры, ответственные за полосу поглощения при $h\nu = 1,0$ эВ, являются либо дивакансиями галлия V_{Ga}^2 , либо смешанной дивакансией $V_{Ga} + V_{As}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Coates R., Mitchell E. W. Adv. Phys., 24, 593 (1975).
2. Брудный В. Н., Кривов М. А. Изв. вузов, Физика, 1, 64 (1980).
3. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. Изд. Мир, М., 1973.
4. Пухтин А. Н. ФТП, 11, 425 (1977).
5. Брудный В. Н. и др. Изв. вузов, Физика, 10, 118 (1974).
6. Брайловский Е. Ю., Марчук Н. Д., Памбухчян Н. Х. ФТП, 8, 1601 (1980).
7. Lang D. V., Loqan R. A., Kimerling L. C. Phys. Rev., 15, 4874 (1977).

ՀԱՌԱԴԱՅՔՎԱԾ $GaAs$ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ 1,0 էՎ ԿՎԱՆՄԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆՆԵՐԻ ԲՆՈՒՅՔԸ

Ե. ՅՈՒ. ԲՐԱՅՈՎՍԿԻ, Ն. Ե. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ն. Խ. ՓԱՄԲՈՒԽՅԱՆ

Հետազոտված է 1,0 էՎ կլանման շերտի բնույթը հառադրված $GaAs$ բյուրեղներում կախված $GaAs_{1-x}P_x$ համակարգի բաղադրության փոփոխումից: Ուսումնասիրությունները ցույց են տալիս, որ օպտիկական անցման էներգիան (1,0 էՎ) մնում է անփոփոխ այն ժամանակ, երբ այդ շերտի ինտենսիվությունը կտրուկ նվազում է ֆոսֆորի առումների թվի մեծացման հետ, և երբ $x > 0,1$, շերտը չի դիտվում: Ստացված արդյունքների և զրականությունից հայտնի տվյալների հիման վրա արված է ենթադրություն, որ 1,0 էՎ կլանման շերտը պայմանավորված է դիվականսիա տիպի կենտրոններով՝ կամ V_{Ga}^2 , կամ $V_{Ga} + V_{As}$:

ON THE NATURE OF ABSORPTION CENTERS IN IRRADIATED $GaAs$ CRYSTALS

E. Yu. BRAJLOVSKIJ, N. E. GRIGORYAN, N. H. PAMBUKHCHYAN

The results of an investigation of the behaviour of 1.0 eV characteristic absorption band in irradiated $GaAs$ crystals at the change in the composition of $GaAs_{1-x}P_x$ system are presented. It is found that 1.0 eV energy of optical transition remains invariable, whereas the intensity of absorption band falls sharply with the increase in the content of phosphorus atoms and disappears when $x > 0.1$. Taking into account these results, high thermal stability as well as the available literature data on positron annihilation, the conclusion is made that the centers responsible for the absorption band at $h\nu = 1.0$ eV should be V_{Ga}^2 or $V_{Ga} + V_{As}$ type divacancies.