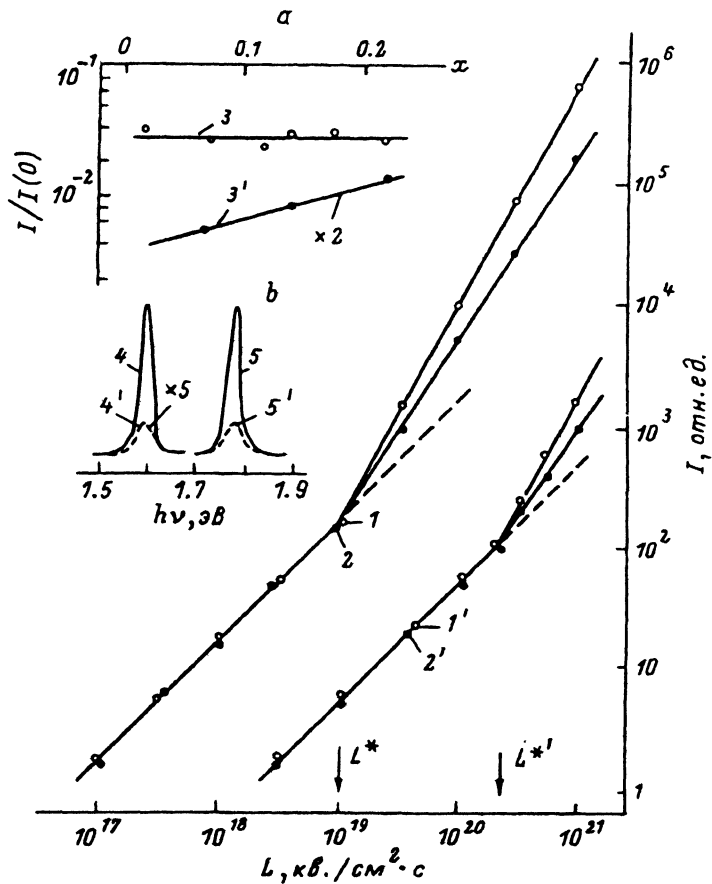


О ЗАВИСИМОСТИ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СОЕДИНЕНИЙ А^{III}В^V ОТ ИХ СОСТАВА

К. Д. Глинчук, В. И. Гурошев, А. В. Прохорович

Институт полупроводников Академии наук Украины, 252650, Киев, Украина
(Получено 11 декабря 1992 г. Принято к печати 26 марта 1993 г.)

Ранее отмечалась существенная зависимость радиационной стойкости (РС) интенсивности люминесценции $I/I(0)$ [$I(0)$ — первоначальная интенсивность люминесценции, а I — интенсивность люминесценции после радиационного воз-



Изменение интенсивностей «собственного» излучения I [$h\nu_m = 1.60$ (I, I'), 1.78 эВ ($2, 2'$)] при вариации интенсивности возбуждения ФЛ L в исходных ($1, 2$) и облученных потоком быстрых электронов $\Phi = 1 \cdot 10^{15}$ эл/см² ($I', 2'$) пленках $n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ различного состава: $x = 0.07$ (I, I') и 0.22 ($2, 2'$). Измерения проведены при 77 К. На вставках показаны: a — зависимости РС интенсивности «собственной» люминесценции $I/I(0)$ облученных потоком электронов $\Phi = 1 \cdot 10^{15}$ эл/см² пленок $n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ от их состава x ($3, 3'$); измерения проведены при 77 К и $L = 5 \cdot 10^{18}$ (3), 10^{21} кв/см² · с ($3'$); b — спектры ФЛ исходных ($4, 5$) и облученных потоком электронов $\Phi = 1 \cdot 10^{15}$ эл/см² ($4', 5'$) пленок $n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ различного состава: $x = 0.07$ ($4, 4'$) и 0.22 ($5, 5'$); измерения проведены при 77 К и $L = 5 \cdot 10^{18}$ кв/см² · с.

действия] облученных γ -квантами, электронами, нейтронами (дозой Φ) твердых растворов на основе соединений $A^{III}B^V Ga_{1-x}Al_xAs$ [1-4], $GaAs_{1-x}P_x$ [2, 5, 6] и $In_{1-x}Ga_xP$ [7] от их состава x (РС повышалась с возрастанием x). Указанное связывалось с зависимостью скорости введения радиационных дефектов (центров безызлучательной рекомбинации избыточных носителей тока, их концентрация N) $dN/d\Phi$ от состава твердых растворов x (предполагалось, что $I/I(0) \sim dN/d\Phi$ [1-7]). Далее мы на примере изучения влияния облучения быстрыми электронами на фотолюминесценцию (ФЛ) пленок $n-Ga_{1-x}Al_xAs$ хотели бы обратить внимание на то, что имеющиеся в литературе данные по зависимостям РС интенсивности люминесценции твердых растворов соединений $A^{III}B^V$ от их состава x , по-видимому, нельзя полностью отождествлять с зависимостью от x скорости введения при радиационном воздействии рекомбинационно-активных дефектов $dN/d\Phi$; отмеченное имеет место, вследствие того что обсуждаемая РС твердых растворов соединений $A^{III}B^V$ $I/I(0)$ может определяться не только, как предполагалось ранее, их составом x , но и видом в них зависимости интенсивности люминесценции от интенсивности ее возбуждения.

Методика. Исходными для опытов являлись легированные атомами теллура пленки $n-Ga_{1-x}Al_xAs$ ($x = 0.07-0.22$), концентрация равновесных электронов в них $n_0 \approx 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Облучение пленок быстрыми электронами (их энергия $E = 2.2$ мэВ, доза облучения $\Phi = 1 \cdot 10^{15} \text{ эл/см}^2$) мало изменяло темновую проводимость пленок.

ФЛ возбуждалась излучением He-Ne-лазера (энергия квантов света 1.96 эВ, коэффициент поглощения $k = 4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$, интенсивность возбуждения $L = 10^{17}-10^{21} \text{ кв/см}^2 \cdot \text{с}$, концентрация генерируемых дырок δp , а электронов δn); измерения ФЛ проводились при 77 К. В спектрах ФЛ пленок $n-Ga_{1-x}Al_xAs$ доминировало «собственное» излучение с положением максимума люминесценции $h\nu_m = 1.60$ ($x = 0.07$) и 1.78 эВ ($x = 0.22$), его интенсивность I ($I \ll L$), $I = I(0)$ в исходных пленках, очевидно, $I \sim (n_0 + \delta n) \delta p$ (см. рисунок).

Облучение приводило к значительному уменьшению интенсивности ФЛ вследствие генерации при радиационном воздействии центров безызлучательной рекомбинации избыточных дырок, существенно снижающих время жизни последних τ_p и, следовательно, величину δp (см. рисунок).

В исходных пленках $n-Ga_{1-x}Al_xAs$ при малых L ($L \leq L^* \approx 1 \cdot 10^{19} \text{ кв/см}^2 \cdot \text{с}$) независимо от их состава x наблюдалось линейное возрастание интенсивности собственного излучения с ростом L ($I \sim L$) (см. рисунок).¹ Однако в них при больших L ($L > L^*$) наблюдалось сверхлинейное (зависящее от состава x) возрастание I с Z : $I \sim L^{1.3}$ для $x = 0.07$ и $I \sim L^{1.5}$ для $x = 0.22$ (см. рисунок).² Облучение быстрыми электронами (помимо значительного уменьшения L) приводило к существенному расширению области линейной зависимости I от L , т. е. смещению точки перегиба зависимости $I(L)$ в сторону больших L — от значения $L = L^*$ при $\Phi = 0$ к значению $L = L^* > L^*$ при $\Phi = 1 \cdot 10^{15} \text{ эл/см}^2$ (см. рисунок).³

¹ Для опытов отбирались пленки различного состава x с одинаковой (при $L > L^*$) исходной светимостью $I(0)$, т. е. с одинаковым временем жизни избыточных дырок τ_p [$I(0)$, $\tau_p \neq \varphi(x)$ (см. рисунок)].

² Переход от линейной ($I \sim n_0 \delta p$) к сверхлинейной ($I \sim \delta n \delta p$) ФЛ в пленках $n-Ga_{1-x}Al_xAs$ обусловлен созданием при возбуждении ФЛ достаточно больших концентраций избыточных электронов δn , существенно превышающих равновесную ($\delta n > n_0$). Поэтому различие при больших L видов зависимостей $I(L)$ в пленках $n-Ga_{1-x}Al_xAs$ различного состава x обусловлено различающимися системами центров рекомбинации электронов в них [$\delta p \sim L$, а $\tau_p \neq \varphi(L)$ в изучаемых пленках при любых L].

³ Радиационно-стимулированный сдвиг точки перегиба зависимости I от L связан со значительным уменьшением при указанном воздействии величины δn (времени жизни избыточных электронов τ_p), вследствие чего условие $\delta n(\Phi) \approx n_0$ будет выполнено при значительно больших значениях L [при $L \sim L^*$, очевидно, $L^* = \varphi(\Phi)$], достаточных для достижения отмеченной величины $\delta n(\Phi) \approx K\tau_p n_0(\Phi)$.

Результаты *и* обсуждения. На рисунке приведены зависимости РС интенсивности собственного излучения $I/I(0)$ пленок $n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ от их состава (содержания алюминия) x , измеренные в области линейной ($L < L^*$, а $I \sim L$) и нелинейной [$L > L^*$, а $I \sim L^{1.8}$ ($x = 0.07$) и $I \sim L^{1.5}$ ($x = 0.22$)] ФЛ. Как видно, РС интенсивности собственного излучения изучаемых пленок $I/I(0)$ относительно велика и не зависит от их состава x в области линейной ФЛ [$I/I(0) \neq \varphi(x)$], весьма низка и существенно зависит от их состава (повышается с возрастанием x) в области нелинейной ФЛ [$I/I(0) = \varphi(x)$]. Очевидно, пониженная РС интенсивности собственного излучения в пленках $n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ при больших L ($L > L^*$) обусловлена сверхлинейным уменьшением интенсивности I с L вследствие зависимости величины I как от δn , так и от δp ($I \sim \delta n \delta p$ при $\delta n \gg n_0$) [интенсивность I линейно понижается с уменьшением L при $L \leq L^*$, так как она определяется лишь величиной δp ($I \sim n_0 \delta p$ при $\delta n \ll n_0$)] (см. рисунок). Ослабление при больших L ($L > L^*$) эффекта радиационной деградации интенсивности собственного излучения $I/I(0)$ по мере возрастания x связано с более слабой (при отмеченных L) нелинейностью интенсивности собственного излучения в пленках с повышенным содержанием алюминия x (см. рисунок). Пониженная РС интенсивности собственного излучения (и ее изменение с x) может ошибочно интерпретироваться как РС, обусловленная соответствующим повышением скорости введения радиационно-стимулированных центров безызлучательной рекомбинации избыточных носителей тока $dN/d\Phi$ и ее зависимостью от x ; на самом деле $dN/d\Phi \neq \varphi(x)$, как следует из совпадения значений $I/I(0)$ для различных x [$I/I(0) \neq \varphi(x)$] в области линейной ФЛ (см. также [8, 9]).

Таким образом, можно сделать следующее заключение.

Различие РС интенсивности люминесценции твердых растворов соединений $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{V}}$ различных составов x [вида зависимости $I/I(0) = \varphi(x)$] может быть обусловлено не только соответствующей зависимостью скорости введения радиационных рекомбинационно-активных дефектов $dN/d\Phi$ от x , но и различием (при используемых интенсивностях возбуждения люминесценции светом L либо током i) вида зависимостей $I(L)$ либо $I(i)$ в них. ⁴ Для разграничения физических причин, приводящих к отмеченному различию видов зависимостей $I/I(0)$ в твердых растворах различных составов x необходим анализ при $\Phi = 0$ и $\Phi > 0$ зависимостей $I(L)$ либо $I(i)$ в них [очевидно, от вида (при используемых L , i) зависимости $I(L, i)$ обсуждаемый эффект может приводить как к повышению, так и к понижению РС интенсивности люминесценции при возрастании x]. Для получения надежных данных о зависимости скорости введения радиационных рекомбинационно-активных дефектов $dN/d\Phi$ от состава твердых растворов x необходимо изучение зависимостей $I/I(0) = \varphi(x)$ в них в области линейной люминесценции (при $L \leq L^*$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] R. A. Polimadei, S. Share, A. S. Epstein. IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-21, 96 (1974).
- [2] A. S. Epstein, S. Share, R. A. Polimadei. IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-23, 1654 (1976).
- [3] А. П. Карацона, М. В. Ованесов, В. П. Сушков, М. Н. Титов. Электрон. техн., сер. 2. Полупроводн. приборы, 8 (126), 17 (1978).
- [4] А. П. Карацона, М. В. Ованесов, В. П. Сушков. ФТП, 14, 1450 (1980).
- [5] A. S. Epstein, S. Share, R. A. Polimadei. Appl. Phys. Lett., 23, 472 (1973).
- [6] S. Share, A. S. Epstein, R. A. Polimadei. IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-20, 256 (1973).

⁴ Очевидно, обсуждаемый эффект, связанный с нелинейностью зависимости $I(L)$ а) максимален при больших L ($L > L^*$) и несколько ослабляется при умеренных L ($L^* < L \leq L^*$); б) может приводить и к понижению РС интенсивности ФЛ с увеличением x , если сверхлинейность I выражена сильнее в пленках с большими значениями x .

Редактор В. В. Чалдышев

ФТП, том 27, вып. 8, 1993

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $CdGa_2S_4xSe_{4(1-x)}$

Т. Г. Керимова, Т. Д. Гусейнов, Р. А. Гулиев, И. А. Мамедова,
Т. Р. Бабаев

Институт физики Академии наук Азербайджана, 370143, Баку, Азербайджан
(Получено 11 декабря 1992 г. Принято к печати 26 марта 1993 г.)

$CdGa_2S_4$ и $CdGa_2Se_4$ являются наиболее изученными среди соединений типа $A^{II}B^{III}C^{VI}$ и перспективными для использования в полупроводниковой электронике [1]. Оптические и излучательные свойства этих соединений изучались нами [2-8]. Установлено, что симметрия электронных состояний, формирующих дно зоны проводимости, и механизм излучательной рекомбинации в этих соединениях различаются. В системе $CdGa_2S_4-CdGa_2Se_4$ образуется непрерывный ряд твердых растворов [9], параметры решетки a и c в зависимости от состава изменяются по закону Вегарда. Поэтому представляло интерес исследование оптических свойств твердых растворов $CdGa_2S_4xSe_{4(1-x)}$ в области собственного поглощения с целью установления характера изменения симметрии электронных состояний и спектра локальных состояний при замене S на Se.

Монокристаллы $CdGa_2S_4xSe_{4(1-x)}$ были выращены методом газотранспортных реакций. В качестве транспорта использовался кристаллический иод. Проведен рентгенографический анализ, определены параметры решетки a и c . Показано, что параметры решетки изменяются по линейному закону и согласуются с результатами [9]. Спектры оптического пропускания и фотопроводимости регистрировались на установке, собранной на базе SPM-2.

На рисунке показана зависимость энергии межзонных переходов в области края собственного поглощения, определенной из спектров оптического поглощения, от состава твердых растворов $CdGa_2S_4xSe_{4(1-x)}$. На этом же рисунке приведена соответствующая зависимость максимумов в спектрах фотопроводимости. В спектрах фотопроводимости наблюдаются два максимума — длинноволновый и коротковолновый, который при замене S на Se смещается в длинноволновую область спектра, причем характер смещения этого максимума от состава соответствует зависимости смещения края собственного поглощения. Как видно из рисунка, в области $x \sim 0.5$ в зависимости $E \sim f(x)$ наблюдается скачок. Наличие скачка требует специального обсуждения.

1. Отклонение от линейности в зависимости $E \sim f(x)$ может быть обусловлено различными причинами, одной из которых может быть наличие полиморфизма в системе $CdGa_2S_4xSe_{4(1-x)}$. Однако, согласно [10, 11], $CdGa_2S_4$ и $CdGa_2Se_4$ кристаллизуются в решетку с пространственной группой симметрии S_4^2 , а, по данным [9], система $CdGa_2S_4xSe_{4(1-x)}$ является изоморфной.