

Вестник Омского университета, 1997, Вып. 2. С. 20-22.  
© Омский государственный университет, 1997

УДК  
621.315.592.3

## Влияние радиационно-термического воздействия на фотолюминесценцию GaAs:Te

Н.А. Семиколенова, Н.А. Давлекильдеев, В.А. Богданова, В.И. Дубовик, О.А. Шутяк

*Омский государственный университет, кафедра физики твердого тела  
644077, Омск, пр. Мира, 55-А*

*Институт сенсорной микроэлектроники СО РАН, лаборатория ФПС  
644077, Омск, пр. Мира, 55-А*

*Получена 12 апреля 1997 г.*

Photoluminescence (PL) of gamma-irradiated *GaAs:Te* single crystals with free carriers concentration  $n_0=(1,2\div 4,5)\cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup> has been investigated. At the certain irradiation doses a change of impurity PL band and edge PL band positions has been found. The observed changes are explained on the basis of irradiation-stimulated ordering of the impurity centers.

Использование *GaAs* в оптоэлектронных приборах (лазеры, светодиоды, фотоприемники), СВЧ-технике (полевые транзисторы, лавиннопролетные диоды), детекторах ионизирующих излучений определяет повышенный интерес к вопросам радиационной технологии и стойкости этого материала.

В настоящей работе исследовалось влияние радиационно-термического воздействия на примесную фотолюминесценцию (ФЛ) в монокристаллах *GaAs:Te*, выращенных методом Чохральского, с концентрациями свободных носителей заряда ( $n_0$ ):  $(1,2\div 4,5)\cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup>. Облучение образцов проводилось от *g*-источника <sup>60</sup>Co ( $E_g=1,17$  и  $1,33$  МэВ;  $P_{g1}\gg 0,17$  Мрад/ч,  $P_{g2}\gg 0,53$  Мрад/ч,  $T_{обл}=300$  К). Термообработка осуществлялась в кварцевых ампулах при давлении остаточных газов  $10^{-2}$  мм рт. ст. Перед регистрацией ФЛ образцы шлифовались (120-150 мкм), полировались и травились в полирующем травителе  $H_2SO_4:H_2O_2:H_2O$  (3:1:1).

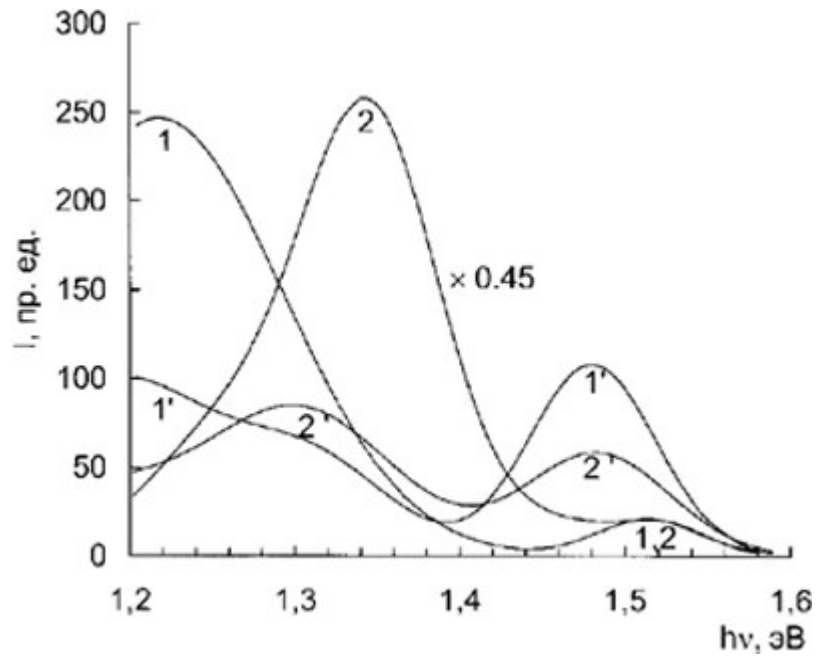


Рис. 1. Спектры ФЛ  $GaAs:Te$ ,  $n_0 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ : 1,4(1,1') и 2,3(2,2'); до и после  $\gamma$ -облучения, Мрад: 1' - 0,33 ( $P_{g1}$ ), 2' - 3,81 ( $P_{g2}$ )

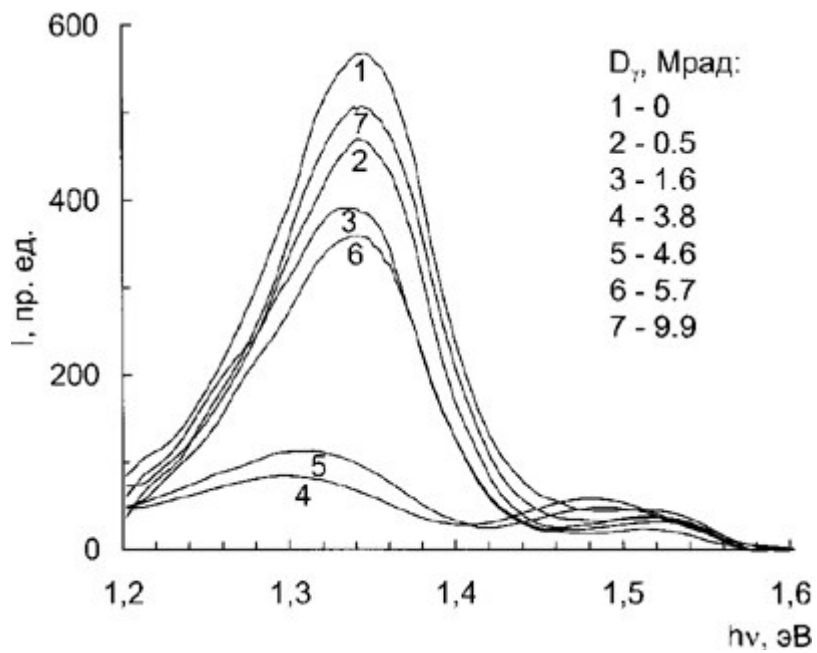
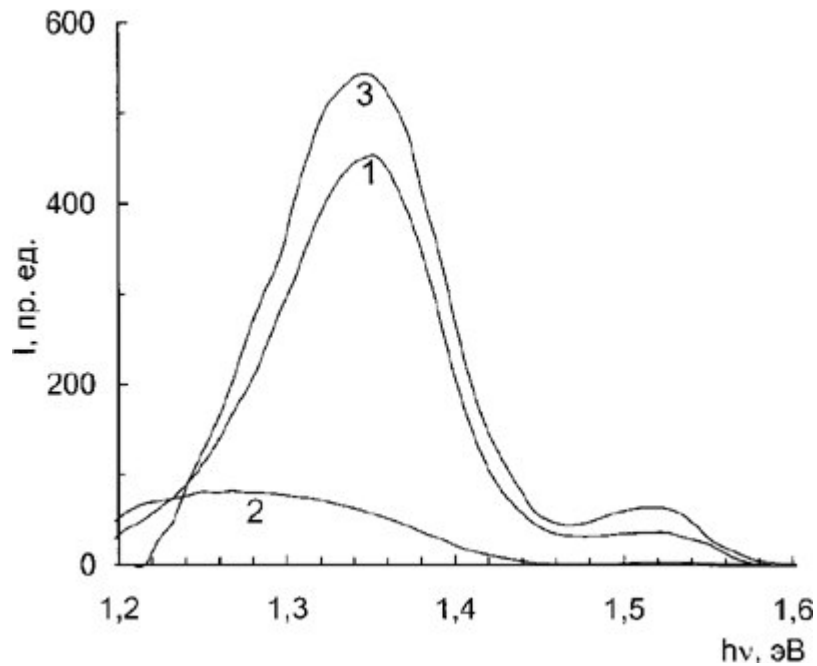


Рис. 2. Спектры ФЛ-облученного  $GaAs:Te$ ,  $n_0=2,3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ,  $P_{g2} = 0,53 \text{ Мрад/ч}$



**Рис. 3. Спектры ФЛ  $GaAs:Te$   $n_0=2,3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ :  
1-выращенный образец, 2-закаленный от 1400 К, 3-отожженный при 1000 К**

В спектрах ФЛ кристаллов  $GaAs:Te$  с  $n_0$  и  $3,0 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  при воздействии  $g$ -излучения наблюдались характерные изменения, связанные с радиационно-стимулированным геттерированием примеси при малых дозах, а при больших - с деградацией ФЛ вследствие уменьшения концентрации и изменения характеристик излучательных центров [1]. Нетрадиционное поведение полос ФЛ наблюдалось для образцов с концентрациями  $n_0 = (1,4 \div 2,3) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , т.е. в области, где происходит смена состава доминирующих рекомбинационных центров [2], и примесная полоса с  $hn_{\text{max}}(90 \text{ К}) = 1,2 \text{ эВ}$  ( $V_{Ga}Te_{As}$ ) сменяется полосой с  $hn_{\text{max}}(90 \text{ К}) = 1,34 \div 1,4 \text{ эВ}$  ( $V_{Ga}Te_{As}$ ) $V_{As}$  [3]. При определенных значениях  $n_0$ ,  $P_g$ , и  $D_g$  в спектре наблюдается появление примесной полосы с  $hn_{\text{max}}(90 \text{ К}) \gg 1,3 \text{ эВ}$  и сдвиг краевой полосы ФЛ в длинноволновую область с  $hn_{\text{max}}(90 \text{ К}) \gg 1,48 \text{ эВ}$  (рис. 1). В области малых доз зарегистрированы обратимые эффекты изменения интенсивности и положения пиков примесных и краевой полос ФЛ (рис. 2).

Исследование влияния термообработки на ФЛ  $GaAs:Te$  также показало, что образцы с концентрацией  $n_0 = (2,3 \div 2,5) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  находятся в области легирования, где можно управлять состоянием примесных центров путем внешних воздействий. На рис. 3 представлены спектры ФЛ выращенных (1), закаленных от 1400 К (2) и отожженных при 1000 К (3) кристаллов. Закалка кристаллов от 1400 К (1ч) существенно изменяет состояние глубоких примесных центров, что хорошо проявляется в спектре ФЛ, а длительный отжиг (70ч) при 1000 К восстанавливает исходный спектр ФЛ. Для восстановления спектров ФЛ в закаленных кристаллах  $GaAs:Te$  с  $n_0 < 2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  необходим, по-видимому, иной режим термообработки, а для образцов с  $n_0 > 3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  невозможно восстановление спектра ФЛ, так как примесные центры, образовавшиеся в процессе выращивания, имеют размеры больше критического [4].

Результаты исследований ФЛ  $g$ -облученных кристаллов  $GaAs:Te$  с концентрацией свободных носителей  $(1,42,3) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  можно интерпретировать с точки зрения модели примесного упорядочения [5]. В  $GaAs$ , легированном примесью VI группы, при критических концентрациях доноров (больше  $3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ) кулоновское

взаимодействие комплексов (ионы примеси-собственные точечные дефекты) и взаимодействие через деформационный потенциал приводят к упорядочению примесной подсистемы. В области упорядочения в спектрах ФЛ должна наблюдаться дополнительная полоса зона-зонной рекомбинации с  $hn_{\max} < E_g^{onm}$  объемного материала, которая обусловлена образованием минизонного энергетического спектра. Появление полос 1,3 и 1,48 эВ в спектрах ФЛ  $g$ -облученных образцов с докритическим значением  $n_0$  объясняется эффективным взаимодействием радиационных френкелевских дефектов с глубокими примесными центрами и коррелированным перераспределением последних. Действительно, в результате  $g$ -облучения при  $T=300$  К в обеих подрешетках кристалла образуются дефекты Френкеля [6]:



Установлено [6-9], что при  $T > 300$  К  $As_i$  подвижен, а  $V_{As}$  "заморожена" до  $T \sim 500$  К. Авторы работы [10] считают, что подвижной является и  $V_{Ga}$ , образовавшаяся в процессе  $g$ -облучения. Это приводит к тому, что  $V_{Ga}$  взаимодействует с донорной примесью  $Te_{As}$ , увеличивая концентрацию комплексов  $V_{Ga}Te_{As}$



С другой стороны, вследствие механизма Уоткинса возможна реакция вытеснения примесного атома в междоузлие подвижным  $As_i$



Соотношение между значениями  $n_0$ ,  $P_g$  и  $D_g T_{обл}$  сдвигает равновесие в сторону реакции (3) или (4), что и объясняет изменение интенсивности полос ФЛ. Появление же полосы с  $h_{\max} (90 \text{ К}) \gg 1,3$  эВ показывает, что как донорные примеси, так и глубокие примесные центры активно вовлекаются в процесс радиационного дефектообразования. Конкретный вид рекомбинационных центров, отвечающих за эту полосу ФЛ, отличен от известных комплексов  $V_{Ga}Te_{As}$  (1,2 эВ),  $(V_{Ga}Te_{As})V_{As}$  (1,35 эВ) и определяется взаимодействием указанных центров с подвижными компонентами реакций (1) и (2), а также возможностью образования расщепленных дефектов внедрения [11].

## Литература

- [1] Глинчук К.Д., Лукат К., Прохорович А.В. // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. Киев, 1982. Вып.1. С.39-54.
- [2] Богданова В.А., Семиколонова Н.А. // ФТП. 1992. Т.26. Вып.5. С.818.
- [3] Глинчук К.Д., Коваленко В.Ф., Прохорович А.В. // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. Киев, 1991. Вып.2. С.46-50.
- [4] Сангвал К. Травление кристаллов. Теория, эксперимент и применение. М.: Мир, 1990. 496 с.
- [5] Prudnikov V.V., Prudnikova I.A., and Semikolenova N.A. // Phys. Stat. Sol.(b) 1994. V.181. P.87-96.
- [6] Емцев В.В., Машовец Т.В. Примеси и точечные дефекты в полупроводниках. М.: Радио и связь, 1981. 248 с.
- [7] Точечные дефекты в твердых телах: Сб. статей: Пер. с англ. М.: Мир, 1979. 379 с.
- [8] Pons D., Bourgoin J. // Phys. Rev. Lett. 1981. V.47. N18. P.1293-1296.
- [9] Loualiche S., Guillot A. // Phys. Rev. Lett. 1982. V.26. N12. P.7090-7092.

[10] Вовненко В.И., Глинчук К.Д., Лукат К. // ФТП. 1980. Т.14. Вып.9. С.1834-1836.

[11] Fewster P.F. // J. Phys. Chem. Sol. 1981. V.42. N10. P.883-889.