

Влияние интенсивности γ -излучения на фотолюминесценцию GaAs:Te

© В.И. Дубовик, В.А. Богданова, Н.А. Давлеткильдеев, Н.А. Семиколонова, О.А. Шутяк

Институт сенсорной микроэлектроники Сибирского отделения Российской академии наук, 644077 Омск, Россия

(Получена 5 мая 1997 г. Принята к печати 26 мая 1997 г.)

Приведены результаты исследований по влиянию γ -излучения (^{60}Co) различной интенсивности ($P_\gamma \approx 1.7 \div 7.5$ кГр/ч) на фотолюминесценцию (ФЛ) монокристаллов GaAs:Te ($n_0 = 1.2 \div 2.3 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$). Наряду с известными примесной ($h\nu_{\text{max}} \approx 1.2$ эВ и (или) $h\nu_{\text{max}} \approx 1.35$ эВ) и краевой ($h\nu_{\text{max}} \approx 1.51$ эВ) ФЛ в спектре обнаружены новые полосы $h\nu_{\text{max}} \approx 1.3$ эВ и $h\nu_{\text{max}} \approx 1.48$ эВ. Наблюдаемые эффекты объясняются радиационно-стимулированным упорядочением донорной примеси и глубоких примесных центров.

В кристаллах арсенида галлия при критических концентрациях (n_{cr}) донорной примеси Te ($3 \div 4 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$) обнаружено существенное возрастание интенсивности краевой и примесной полос ФЛ [1]. Одновременно с краевой полосой ФЛ, обусловленной ВТ переходами типа "зона-хвост", наблюдается дополнительная полоса с $h\nu_{\text{max}}(90\text{ K}) \approx 1.48$ эВ. Предполагается, что данное поведение полос ФЛ связано с процессами упорядочения сложных дефектов в примесной подрешетке [1].

В настоящей работе исследовалось влияние γ -излучения различной интенсивности на фотолюминесценцию монокристаллов GaAs:Te в области "предкритических" концентраций свободных носителей заряда с целью изучения возможности перевода GaAs:Te в состояние с упорядоченным распределением примесных центров. Монокристаллы GaAs:Te, выращенные методом Чохральского¹, с концентрациями свободных носителей заряда $n_0 = 1.2 \div 2.3 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$ облучались от γ -источника ^{60}Co ($E_\gamma = 1.17$ и 1.33 МэВ; $P_\gamma \approx 1.7 \div 7.5$ кГр/ч, $T_{\text{irr}} = 300$ К). Перед регистрацией ФЛ образцы шлифовались (120–150 мкм), полировались и травились в полирующем травителе $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (3:1:1).

Ранее [2] сообщалось, что в спектре ФЛ γ -облученных кристаллов GaAs:Te наблюдается появление примесной полосы с $h\nu_{\text{max}}(90\text{ K}) \approx 1.3$ эВ и сдвиг краевой полосы ФЛ в длинноволновую область с $h\nu_{\text{max}}(90\text{ K}) \approx 1.48$ эВ (рис. 1). Проведенные исследования показали, что указанные полосы проявляются в спектрах ФЛ только при определенных значениях интенсивности γ -излучения. В спектрах ФЛ кристаллов GaAs:Te ($n_0 = 1.2 \div 1.4 \cdot 10^{17}$ см $^{-3}$) при облучении большей мощности ($P_\gamma \approx 4.6 \div 7.5$ кГр/ч) не удалось зарегистрировать указанные полосы. В образцах с $n_0 = 2.3 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$ впервые наблюдались обратимые эффекты изменения интенсивности и положения пиков примесной и краевой полос ФЛ с увеличением поглощенной дозы γ -излучения при $P_\gamma \approx 5.3$ кГр/ч (рис. 2).

Известно [1,3], что в кристаллах GaAs:Te с концентрациями $n_0 = 1.4 \div 2.3 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$ происходит смена состава доминирующих рекомбинационных центров, и примес-

ная полоса с $h\nu_{\text{max}}(90\text{ K}) = 1.2$ эВ ($V_{\text{Ga}}\text{Te}_{\text{As}}$) сменяется полосой с $h\nu_{\text{max}}(90\text{ K}) = 1.35$ эВ, которую связывают с комплексом $(V_{\text{Ga}}\text{Te}_{\text{As}})V_{\text{As}}$ [4]. Дальнейшее γ -облучение этих кристаллов стимулирует процессы радиационного упорядочения примеси. Действительно, согласно модели примесного упорядочения [5] в GaAs, легированном примесью VI группы, при критических концентрациях доноров (больше $3 \cdot 10^{18}$ 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 наблюдается дополнительная полоса зона-зонной рекомбинации с $h\nu_{\text{max}} < E_g^{\text{opt}}$ объемного материала, которая обусловлена образованием минизонного энергетического спектра. Появление полос 1.3 и 1.48 эВ в спектрах ФЛ γ -облученных образцов с $n_0 < n_{cr}$ объясняется эффективным взаимодействием радиационных френкелевских дефектов с глубокими примесными центрами и коррелированным перераспределением последних.

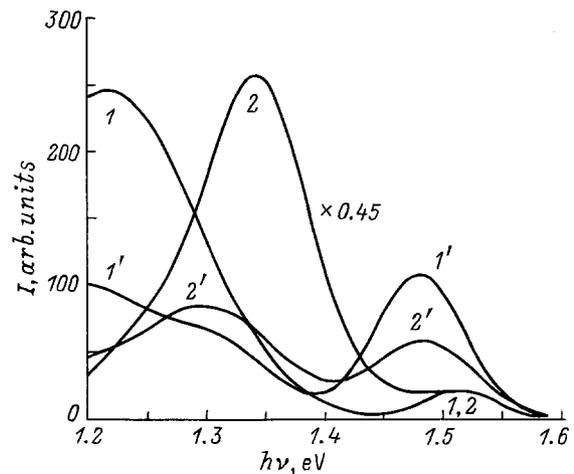


Рис. 1. Спектры ФЛ GaAs:Te γ -облученного GaAs:Te, $n_0 = 1.2 \cdot 10^{18}$ см $^{-3}$: 1, 1' — 2.4, 2, 2' — 2.3; до (1, 2) и после γ -облучения, кГр: 1' — 3.3 ($P_\gamma \approx 1.7$ кГр/ч), 2' — 38.1 ($P_\gamma \approx 5.3$ кГр/ч).

¹ ГИРЕДМЕТ, г. Москва

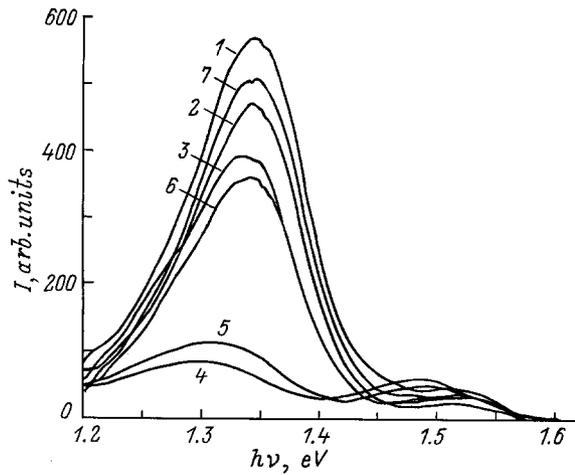
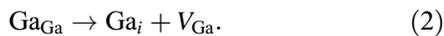
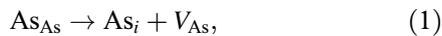


Рис. 2. Спектры ФЛ γ -облученного GaAs:Te, $n_0 = 1.2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $P_\gamma \approx 4.6 \text{ кГр/ч}$, D_γ , кГр: 1 — 0, 2 — 5, 3 — 16, 4 — 38, 5 — 46, 6 — 57, 7 — 99.

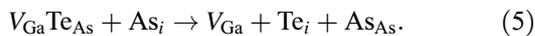
В результате γ -облучения при $T = 300 \text{ К}$ в обеих под решетках кристалла образуются дефекты Френкеля [6]:



Установлено [6–8], что при $T \geq 300 \text{ К}$ As_i подвижен, а V_{As} ”заморожена” до $T \leq 500 \text{ К}$. Подвижной является и V_{Ga} , образовавшаяся в процессе γ -облучения [9]. Это приводит к тому, что V_{Ga} , взаимодействуя с донорной примесью Te_{As} , а As_i — с примесным центром $(V_{\text{Ga}}\text{Te}_{\text{As}})V_{\text{As}}$, увеличивают концентрацию комплексов $V_{\text{Ga}}\text{Te}_{\text{As}}$.



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



Соотношение между значениями n_0 , P_γ , D_γ и T_{irr} сдвигает равновесие в сторону реакции (3), (4) или (5), что и объясняет изменение интенсивности полос ФЛ. Появление же полосы с $h\nu_{\text{max}}(90 \text{ К}) \approx 1.3 \text{ эВ}$ 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 как от $V_{\text{Ga}}\text{Te}_{\text{As}}$ (1.2 эВ), так и от $(V_{\text{Ga}}\text{Te}_{\text{As}})V_{\text{As}}$ (1.35 эВ) и определяется взаимодействием указанных центров с подвижными компонентами реакций (1) и (2), а также возможностью образования расщепленных дефектов внедрения [10].

Список литературы

- [1] В.А. Богданова, Н.А. Семиколонова. ФТП, **26**, 818 (1992).
- [2] В.А. Богданова, Н.А. Давлеткульдеев, В.И. Дубовик, Н.А. Семиколонова. Тез. докл. II Рос. конф. по физике полупроводников (Зеленогорск, СПб., 1996) с. 127.
- [3] V.A. Bogdanova, V.I. Dubovic, V.V. Prudnikov, N.A. Semikolenova. Int. Conf. Sol. St. Dev. and Mater. (Osaka, Japan, 1995) p. 1057.
- [4] К.Д. Глинчук, В.Ф. Коваленко, А.В. Прохорович. Оптоэлектрон. и полупроводн. техн., вып. 2, 46 (1991).
- [5] V.V. Prudnikov, I.A. Prudnikova, N.A. Semikolenova. Phys. St. Sol. (b), **187**, 87 (1994).
- [6] В.В. Емцев, Т.В. Машовец. Примеси и точечные дефекты в полупроводниках (М., Радио и связь, 1981).
- [7] Точечные дефекты в твердых телах: Сб. статей (М., Мир, 1979).
- [8] Т.Д. Джафаров. Радиационно-стимулированная диффузия в полупроводниках (М., Энергоатомиздат, 1991).
- [9] В.И. Вовненко, К.Д. Глинчук, К. Лукат. ФТП, **14**, 1834 (1980).
- [10] P.F. Fewster. J. Phys. Chem. So., **42**, 883 (1981).

Редактор В.В. Чалдышев

Influence of γ -irradiation intensity on photoluminescence of GaAs:Te

V.I. Dubovik, V.A. Bogdanova, N.A. Davletkuldeev, N.A. Semikolenova, O.A. Shutuyak

Institute of Sensor Microelectronics,
Siberian Branch of Russia Academy of Sciences,
644077 Omsk, Russia