

ДОКАЗАТЕЛЬСТВО ОПТИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИИ ЦЕНТРОВ $EL2$ В АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ МЕТОДОМ ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Е.И.Оборина, С.С.Остапенко, М.К.Шейнкман

Методом поляризованной люминесценции установлена оптическая анизотропия центров фотолюминесценции (ФЛ) 0,635 эВ и 0,68 эВ из семейства $EL2$. Показано, что каждая из полос связана с двумя отличающимися по симметрии дефектами, один из которых нестабилен. Впервые обнаружен эффект долговременной релаксации наведенной поляризации ФЛ, сопутствующий эффекту "утомления".

Полосы ФЛ с максимумами 0,635 эВ (J_1) и 0,68 эВ (J_2) в арсениде галлия обычно связываются с собственными дефектами, которые принадлежат к семейству $EL2$ и обеспечивают полуизолирующие свойства материала¹. Хотя основные рекомбинационные характеристики этих центров детально исследованы, их физико-химическая природа и структура окончательно не установлены. Для решения этой задачи необходимо определить симметрию и оптическую анизотропию дефектов, однако, имеющиеся здесь данные противоречивы. В то время, как из емкостных изменений установлена анизотропия $EL2$ -дефектов², пьезоспектроскопические исследования внутрицентрального поглощения на них показали T_d -симметрию центра³.

В настоящей работе для исследования оптической анизотропии дефектов, ответственных за полосы свечения J_1 и J_2 впервые использована поляризационная спектроскопия ФЛ и ее оптического возбуждения (ОВ). Для применения метода необходимо наличие в спектре ОВ полосы, связанной с прямым возбуждением центра свечения (ЦС), либо с косвенным, в котором возбуждается соседний центр с последующей направленной (анизотропной) передачей энергии ЦС.

Максимум возбуждения 0,87 эВ (B_3) полосы люминесценции J_1 (рис. 1, кривая 1) связан с прямым возбуждением центра, что следует из величины стоксова сдвига $\Delta_c = 110 \pm 10$ мэВ¹. Видно, что в спектре ОВ этой полосы ФЛ имеются также максимумы B_1 (1,47 эВ) и B_2 (1,35 эВ). Спектр ОВ полосы J_2 идентичен. Полоса B_1 интерпретируется⁴, как оптический переход V -зона \rightarrow мелкий донор. Максимум возбуждения в полосе B_2 , наблюдавшийся в⁵, будет обсуждаться в другой статье.

При возбуждении обеих полос ФЛ J_1 и J_2 светом в интервале $h\nu_B = (1,0 \div 1,35)$ эВ интенсивность ФЛ спадает со временем от начального J_H до стационарного $J_{ст}$ значения приблизительно по экспоненциальному закону $\exp(-t/\tau)$ – рис. 2, а. Этот эффект "утомления" ФЛ, характерный для $EL2$ -дефектов, связывается с существованием у них метастабильного состояния¹. Спектральная зависимость величины τ^{-1} ; приведенная на рис. 1, кривая 2, обнаруживает максимумы 1,14 и 1,22 эВ, которые удовлетворительно согласуются с рассчитанными энергиями оптических переходов между основным и возбужденным состояниями $EL2$ -дефектов⁶.

Если после достижения $J_{ст}$ освещать образец светом из полосы B_3 при той же температуре (77 К), то наблюдается восстановление интенсивности ФЛ до значения J_H . Спектр восстановления высвечиваемой светосуммы имеет максимумы 0,84 и 0,87 эВ (рис. 1, кривая 3). Наличие оптического восстановления люминесценции примесным светом, связанное с обратным переходом дефекта из метастабильного состояния в основное, насколько нам известно, ранее не наблюдалось.

Метод поляризованной люминесценции использовался нами при возбуждении люминесценции J_1 и J_2 в полосах B_2 и B_3 . Основой метода⁷ является измерение и анализ так на-

$$\Pi(\varphi) = \frac{J_{\parallel}(\varphi) - J_{\perp}(\varphi)}{J_{\parallel}(\varphi) + J_{\perp}(\varphi)}, \quad (1)$$

где $J_{\parallel}(\varphi)$ и $J_{\perp}(\varphi)$ — угловые зависимости интенсивностей двух ортогонально поляризованных относительно главного кристаллографического направления (в нашем случае $\langle 110 \rangle$) потоков ФЛ; φ — угол между электрическим вектором возбуждающего света и осью $\langle 110 \rangle$. Определяющим параметром является наведенная поляризация излучения $\Delta\Pi = \Pi(0^\circ) - \Pi(90^\circ)$. Выполнение неравенства $\Delta\Pi \neq 0$ является критерием оптической анизотропии ЦС, т. е. его низкой локальной симметрии.

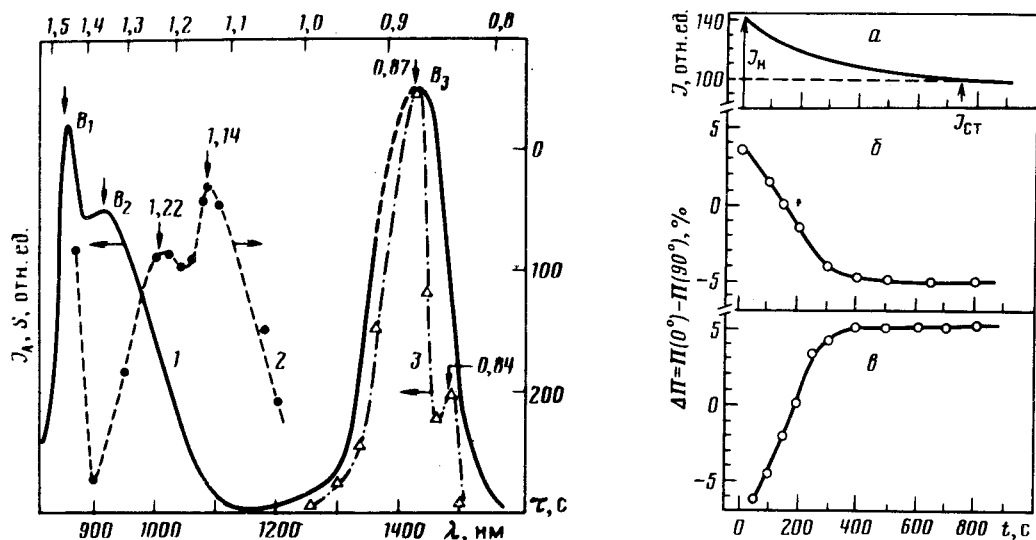


Рис. 1

Рис. 1. 1 — Спектр возбуждения полосы L_1 ($h\nu_{\text{Л}} = 0,58$ эВ) 77 К. 2 — Спектр характеристического времени "утомления" ФЛ. 3 — спектр восстановления ФЛ. S — светосумма, восстанавливаемая за время $\Delta t = 2$ мин

Рис. 2. а — Кинетика ФЛ в процессе "утомления" $h\nu_{\text{Л}} = 0,58$ эВ; б — кинетика наведенной поляризации полосы L_1 ($h\nu_{\text{Л}} = 0,58$ эВ); в — кинетика наведенной поляризации полосы L_2 ($h\nu_{\text{Л}} = 0,7$ эВ). Возбуждающий свет падает нормально плоскости (001), люминесценция регистрируется с плоскости (110), $h\nu_{\text{В}} = 1,32$ эВ. Выбор $h\nu_{\text{В}}$ из области медленной кинетики ФЛ обусловлен методикой измерения $\Delta\Pi(t)$, $T = 77$ К

Оказалось, что для обеих полос ФЛ (L_1 и L_2) при их возбуждении в полосе B_3 $\Delta\Pi \neq 0$, причем, величина $\Delta\Pi$ не изменяется во времени. Следовательно, оба типа центров ФЛ оптически анизотропны. При возбуждении обеих полос ФЛ в интервале $h\nu_{\text{В}} = (1,0 \div 1,35)$ эВ также $\Delta\Pi \neq 0$, однако теперь наведенная поляризация изменяется во времени по специфическому для каждой из полос ФЛ закону (рис. 2 б, в). Эти впервые наблюдаемые зависимости $\Delta\Pi(t)$, отличающиеся для полос L_1 и L_2 , являются доказательством как различной оптической анизотропии соответствующих дефектов, так и нестационарности наведенной поляризации. Наличие таких зависимостей может быть связано либо с переходом всех центров ФЛ в новое метастабильное состояние, характеризующееся меньшим квантовым выходом излучения и иной оптической симметрией, либо с наличием для каждой из полос (L_1 и L_2) как стабильных, так и релаксирующих дефектов мало отличимых по спектру свечения, но характеризующихся своими значениями $\Delta\Pi$. Количественный анализ кривых $\Delta\Pi(t)$ (рис. 2 б, в) показал, что в нашем случае реализуется второй вариант. Действительно, величина $\Delta\Pi$, рас-

считанная для изменяющейся части интенсивностей полос ФЛ остается неизменной в процессе "утомления" и составляет соответственно $+ (14 \pm 2) \%$ и $- (12 \pm 2) \%$.

Таким образом, в настоящей работе показано, что каждая из полос ФЛ 0,635 эВ и 0,68 эВ определяется двумя типами дефектов, отличающихся оптической симметрией и стабильностью. Процесс "утомления" связан с уменьшением концентрации нестабильных центров, имеющих высокую степень оптической анизотропии.

Литература

1. *Martin G.M., Makram-Ebend S.* The midgap donor level EL2 in GaAs, in book Deep centers in semiconductors, ed S. Pantelidos, N-Y, 1985, p. 399.
2. *Mircea A.* J. de Phys. Lett., 1979, **40**, L31.
3. *Kaminska M., Scowronski M., Lagowski J., Parsey J.M., Gatos H.C.* Appl. Phys. Lett., 1983, **43**, 302.
4. *Paget D., Klein P.B.* Phys. Rev. B., 1986, **34**, 971.
5. *Samuelson L., Omling P., Grimmeiss H.G.* Appl. Phys. Lett., 1984, **45**, 521.
6. *Baraff G.A., Schluter M.* Phys., Rev. B, 1987, **35**, 6154.
7. *Феофилов П.И.* Поляризованная люминесценция атомов, молекул и кристаллов. М.: 1959.

Институт полупроводников
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
27 октября 1987 г.