

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕРАВНОВЕСНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ,
ДЫРОК И ЭКСИТОНОВ В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ
СУЛЬФИДА КАДМИЯ

А. А. Гладыжук, В. В. Жилин, И. П. Раквиц, Г. П. Яблоцкий

В результате фотовозбуждения полупроводниковых кристаллов малочисленным с энергией квантов больше ширины запрещенной зоны в тонком приповерхностном слое генерируются неравновесные электронно-дырочные (e-h) пары, которые с течением времени могут связываться в экситоны. За время жизни e-h-пар и экситонов происходит их диффузия вглубь кристалла. При наличии электрических полей, возникающих, например, вследствие перезарядки поверхностных состояний или пьезоэлектрической поляризации необходимо учитывать влияние дрейфа неравновесных e-h-пар на установления стационарного распределения концентраций носителей и экситонов. При возникновении на поверхности кристалла CdS n-типа не очень сильных полей, система уравнений для электронов, дырок, экситонов и поля имеет вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \gamma_0 x e^{-kx} + \mu_e E \frac{dn}{dx} + \mu_n n \frac{dE}{dx} + D_e \frac{d^2 n}{dx^2} - \delta_2 n \cdot p + \delta_2 N_{ex} \cdot n_2 &= 0 \\ \gamma_0 x e^{-kx} - \mu_h E \frac{dp}{dx} - \mu_p p \frac{dE}{dx} + D_h \frac{d^2 p}{dx^2} - \delta_2 n \cdot p + \delta_2 N_{ex} \cdot n_2 &= 0 \\ \delta_2 n \cdot p + D_2 \frac{d^2 n_2}{dx^2} - \frac{n_2}{\tau_2} - \delta_2 N_{ex} \cdot n_2 &= 0 \\ \frac{dE}{dx} &= \frac{e}{\epsilon \epsilon_0} (p - n) \end{aligned} \right.$$

здесь $\mu_e, \mu_h, D_e, D_h, n, p$ - подвижности, коэффициенты

диффузии и концентрации электронов и дырок, J_0 - интенсивность возбуждения, K - коэффициент поглощения, γ_s - коэффициент связывания e - h -пар в экситоны, N_{exc} - эффективная плотность состояний, τ_s - время жизни экситонов.

Система уравнений рассчитывалась численно с применением конечно-разностных схем и метода координатного спуска. Одновременно проводился расчет с использованием метода возмущения параметров. Для определения достоверности расчетов проводилось сравнение результатов, полученных этими методами. При решении уравнений для кристалла сульфида кадмия использовались следующие параметры: $J_0 = 6,7 \cdot 10^{19}$, $K = 1 \cdot 10^6 \text{ см}^{-1}$, $M_s = 5000 \text{ см}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$, $M_h = 3 \text{ см}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$, $\tau_s = 10^{-10} \text{ с}$, $\gamma_s = 1,37 \cdot 10^{-5} \text{ см}^3 / \text{с}$, $N_{exc} = 1,11 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, $n_0 = 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $T = 78^\circ \text{ К}$. На рис. 1 а, б приведены зависимости $\delta\rho$ и n_s от расстояния до поверхности при различных величинах напряженности электрического поля на поверхности $E(0)$. Видно, что при наличии поля происходит обогащение поверхности электронами и обеднение дырками. При этом у поверхности кристалла возникает тонкий слой с относительно низкой концентрацией экситонов. Наличие такого слоя может являться основной причиной возникновения самообращения экситонных линий в кристаллах CdS при их термообработке [1], когда возникает значительная пироэлектрическая поляризация. Для проверки этого предположения были рассчитаны спектры экситонной фотолуминесценции CdS при 78° К без учета безэкситонного фильтрующего слоя и при наличии его. На рис. 2 а, б приведены экспериментальные (сплошные кривые) и теоретические (штриховые кривые) спектры излучения CdS в области А-экситона. Видно, что теоретические спектры, рассчитанные при учете соответствующего распределения концентрации экситонов, достаточно хорошо соответствуют экспериментальным.

и таким образом, явление самообращения линий свободных экситонов в кристаллах CdS обусловлено, скорее всего, возникновением градиента концентрации экситонов в результате действия пирозлектрического поля.

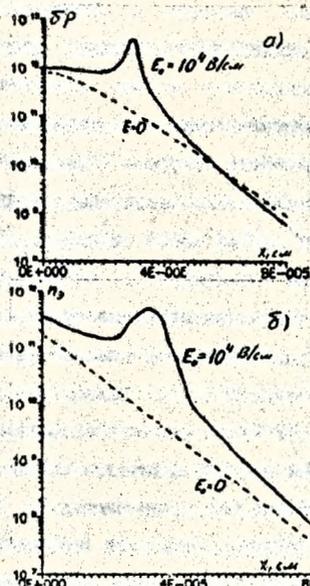


Рис. 1 Зависимость концентраций электронов, дырок (а) и экситонов от расстояния x до поверхности кристалла.

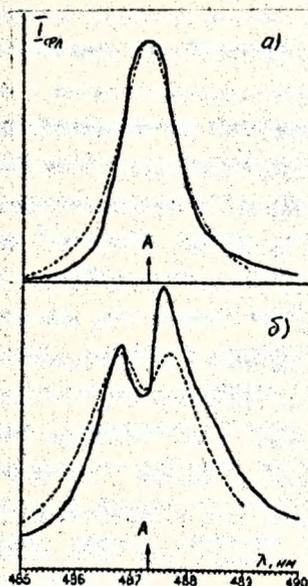


Рис. 2 Спектры экситонной фотолуминесценции CdS при 78°K до термообработки (а) и после термообработки (б).

Литература

1. Гладышук А. А., Ракович Ю. П., Яблонский Г. П. Структура излучения свободных экситонов в кристаллах CdS. // Тезисы доклада юбилейной научно-технической конференции 1991, Брест, с. 114