

ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ

УДК 621.315.592

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СУЛЬФИДА КАДМИЯ ЛЕГИРОВАННОГО ИНДИЕМ

А. Н. Образцов, Ф. Терра (АРЕ)

(НИИЯФ)

Приводятся данные по исследованию фотолюминесценции в CdS, полученном осаждением из паровой фазы на стеклянных подложках. Полученные результаты подтверждают модель рекомбинации фотовозбуждения в сильно легированном индием CdS, основанную на предположении о существовании двухзарядовых центров, связанных с вакансиями кадмия в кристаллической решетке типа  $V_{Cd}^{2-}$ .

Широкое применение сульфида кадмия в различных оптоэлектронных устройствах обуславливает значительный интерес к изучению свойств этого материала. Особенно важно определить наиболее оптимальные условия для технологических процессов изготовления и обработки CdS.

В нашей работе исследовались образцы CdS, выращенные на стеклянных подложках путем осаждения из паровой фазы. Часть образцов подвергалась легированию индием посредством его предварительного напыления на подложку с последующим отжигом при 300°C. Для этих операций использовалась напылительная установка «Edwards E-306», обеспечивающая вакуум  $\sim 10^{-4}$  Па. Толщина полупроводниковой пленки была, как правило, 0,22–0,26 мкм. С целью определения содержания индия проводился химический анализ изготовленных образцов, измерялось их удельное сопротивление и энергия активации электрически активных центров. Исследование фотолюминесценции (ФЛ) проводилось с помощью установки на основе двойного решеточного монохроматора МДР-1, при комнатной температуре и температуре 80°K. Для возбуждения ФЛ использовался He—Cd-лазер (2,8 эВ).

На рис. 1 приводятся типичные спектры ФЛ для нелегированных образцов, состоящие из широкой полосы (пику которой соответствуют энергия  $\hbar\omega = 1,8-1,7$  эВ) с заметным «плечом» с коротковолновой стороны. При увеличении толщины пленки

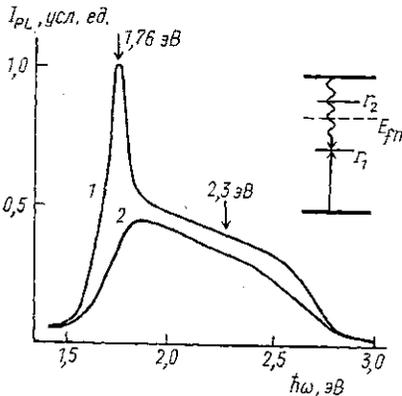


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции нелегированного CdS для 80 К (1) и 300 К (2). На врезке схема электронных переходов:  $E_{Fn}$  — уровень Ферми,  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$  — рекомбинационные уровни, волнистой линией показан излучательный переход, прямой — безызлучательный

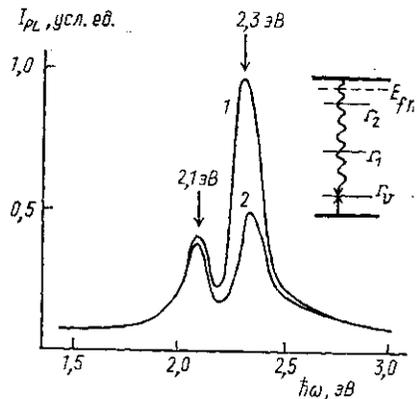


Рис. 2. Спектры фотолюминесценции легированного индием CdS для 80 К (1) и 300 К (2). На врезке схема электронных переходов:  $\Gamma_v$  — возбужденный уровень дырки

CdS до 0,4 мкм это «плечо» превращается в полосу с пиком, соответствующим  $h\nu = 2,3$  эВ. Удельное сопротивление нелегированных пленок увеличивалось от 20 до 1000 Ом·см при увеличении времени отжига в вакууме от 0 до 6 ч. Энергия активации электрически активных центров оказалась равной 0,22 эВ.

Исследование ФЛ легированных индием образцов CdS показывает (рис. 2), что в этом случае в спектрах присутствуют две линии ФЛ: широкая полоса «зеленой» люминесценции с  $h\nu_{\max} = 2,3$  эВ и новая полоса в области  $h\nu \sim 2,1$  эВ. Следует отметить, что интенсивность этой полосы ФЛ практически не изменялась при охлаждении образца от комнатной до азотной температуры (см. рис. 2). Результаты химического анализа легированных пленок показывают, что содержание индия в них превышает 10 мас. %. Удельное сопротивление было в пределах 0,2—0,01 Ом·см, а энергия активации 0,04—0,1 эВ.

Полученные результаты можно объяснить следующим образом. «Оранжевая» (1,8—1,7 эВ) люминесценция сульфида кадмия наблюдалась ранее во многих работах (напр., [1, 2]). В работе [2] на основе изучения поляризационных характеристик спектров ФЛ и ее возбуждения показано, что в такого рода свечении могут принимать участие как центры, связанные с дефектами типа вакансий галлия, так и примесные центры, имеющие сложное тримерное строение. Очевидно, в нашем случае такого рода центры обусловлены неконтролируемыми примесями. «Зеленая» люминесценция в образцах CdS, легированных хлором, наблюдалась в работе [3]. В работе [4] аналогичные полосы в спектрах ФЛ возникали при внедрении в CdS ионов третьей группы (In, Ga) и были связаны, по мнению авторов, с комплексами типа  $V_{Cd}In_{Cd}$ .

Подробное рассмотрение возможных механизмов рекомбинации в CdS проведено в работе [5]. В соответствии с моделью, предложенной авторами этой работы, рекомбинация фотовозбуждения в сульфиде кадмия в значительной степени определяется наличием двухзарядовых акцепторных центров. Одно из зарядовых состояний этого центра ( $r_1$ ) расположено на расстоянии  $E_{vr} = 1,2$  эВ от верха  $v$ -зоны, а другое —  $r_2$  (верхний уровень) — вблизи дна  $s$ -зоны (см. врезки к рис. 1, 2). Глубина залегания  $E_{cr}$  уровня  $r_2$ , отсчитываемая от дна  $s$ -зоны, по оценкам авторов [5], составляет  $E_{cr} = 0,08$  эВ. Захват свободного электрона на уровень  $r_2$  при заполнении нижнего уровня  $r_1$  происходит в отталкивающем поле заряда  $e$ . Таким образом, свечение с  $h\nu \sim 2,3$  эВ в сильно легированных образцах, когда уровень Ферми  $E_{fn}$  выше уровня  $r_2$ , может быть обусловлено излучательным захватом дырки на второе зарядовое состояние  $r_2$ . Этот процесс должен иметь значительную вероятность (по сравнению с излучательным захватом нейтральным донором, что имеет место при меньших уровнях легирования). Причиной возникновения рассмотренных двухзарядовых центров может быть наличие вакансий типа  $V_{Cd}^2-$ .

В результате проведенных исследований можно утверждать, что использованный нами технологический процесс формирования высоколегированных пленок CdS позволяет получать достаточно эффективные люминофоры для зеленой области спектра.

Авторы выражают благодарность А. Э. Юновичу за полезное обсуждение работы.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шейкман М. К., Ермолович И. Б., Беленький Г. Д. // ФТТ. 1968. 10, № 9. С. 2628. [2] Эмиров Ю. Н., Остапенко С. С., Ризаханов М. А., Шейкман М. К. // ФТП. 1982. 16, № 8. С. 1371. [3] Моин М. Д., Пекарь Г. С., Сальков Е. А. // ФТП. 1974. 8, № 1. С. 202. [4] Георгобгани А. Н., Грузинцев А. Н., Илюхина З. П., Спицын А. В., Тигиняну И. М. // Кр. сообщ. по физике ФИАН. 1984. № 11. С. 8. [6] Городецкий И. Я., Пекарь Г. С., Федоров А. И., Шейкман М. К. // ФТП. 1975. 9, № 5. С. 986.

Поступила в редакцию  
01.02.91