

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ КИСЛОРОДОМ НА ДЕФЕКТНУЮ СТРУКТУРУ И СПЕКТРЫ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КРИСТАЛЛОВ CdS

Бушуева Г. В., Решетов В. И., Хромов А. А., Пендюр С. А.,
Насибов А. С., Печенов А. Н.

С помощью просвечивающей электронной микроскопии показано, что пластинчатые кристаллы CdS, легированные кислородом, содержат выделения CdO различных размеров — от нескольких десятков ангстрем до ~ 2 мкм. В спектрах катодолюминесценции этих кристаллов обнаружена широкая оранжево-желтая полоса, положение максимума и форма которой сильно зависят от уровня накачки. Делается вывод, что наличие этой полосы и ее поведение с изменением уровня накачки можно объяснить излучательными переходами на выделениях CdO с учетом эффекта размерного квантования.

Для изготовления оптоэлектронных устройств на основе соединений $A^{II}B^{VI}$ используются в основном кристаллы, выращенные из газовой фазы. Так как при этом кислород практически неустраивается в зоне роста, кристаллы могут оказаться легированными кислородом. Наличие кислорода нарушает структурное совершенство кристаллов и в значительной мере влияет на их электрофизические свойства [1, 2]. В настоящей работе с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) проведены исследования дефектной структуры, образующейся в кристаллах CdS, легированных кислородом, и сделана попытка определить ее влияние на спектры катодолюминесценции (КЛ) этих кристаллов.

В работе использовались пластинчатые кристаллы CdS (со структурой вюрцита) с поверхностями типа {11 $\bar{2}$ 0} и толщиной $0.2 \div 0.5$ мкм,¹ прозрачной для электронов с энергией 100 кэВ. Легирование кислородом проводилось в процессе роста при подмешивании воздуха к потоку аргона. Для возбуждения КЛ использовалась электронно-лучевая трубка, конструкция которой описана в [4].

Исследование ПЭМ показало, что в выращенных кристаллах содержится большое количество выделений CdO, размер которых меняется в широком интервале значений — от нескольких десятков ангстрем до ~ 2 мкм.

Пример электронно-микроскопического снимка с участка образца, содержащего крупные выделения, приведен на рис. 1, а. Видно, что они имеют форму дисков или вытянутых пластин, в ряде случаев на изображении этих выделений присутствует полосчатый контраст (отмечен стрелками на рис. 1, а). Анализ показал, что он представляет собой параллельный муаровый узор с периодом $D = d_1 d_2 / |d_1 - d_2| = 150 \text{ \AA}$, возникающий при наложении решеток CdS и CdO, где d_1 и d_2 — межплоскостные расстояния для плоскостей (0004) CdS и (220) CdO соответственно. На электронограмме с этого участка образца (см. вставку на рис. 1, а), расшифровка которой дана на рис. 1, б, наблюдаются дополнительные рефлексы, отвечающие кристаллу CdO. На темнопольном изображении с аналогичного участка, полученном в двух рефлексах, обведенных кружком на рис. 1, б, контраст от выделений виден особенно четко (рис. 1, в).

Типичный снимок с участка образца, содержащего мелкие выделения CdO размером $< 100 \text{ \AA}$, представлен на рис. 2, а. Следует отметить, что в таких

¹ Способ отбора кристаллов необходимой толщины см. в [3].

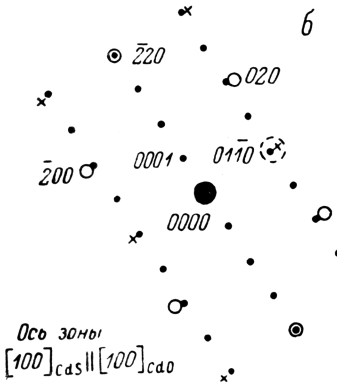
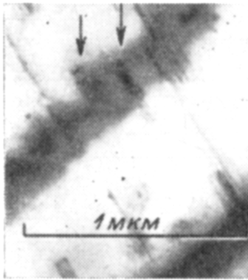
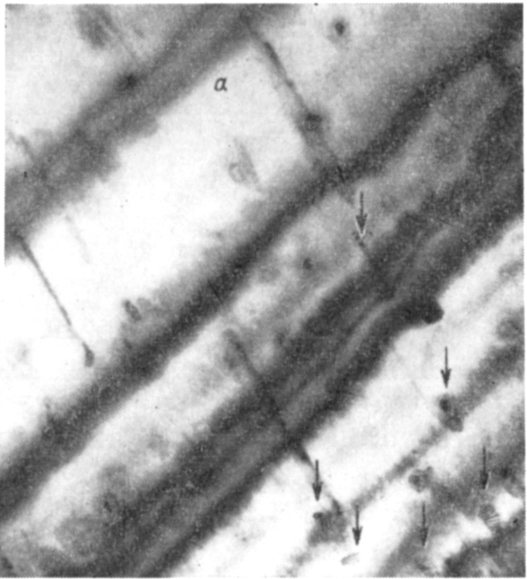
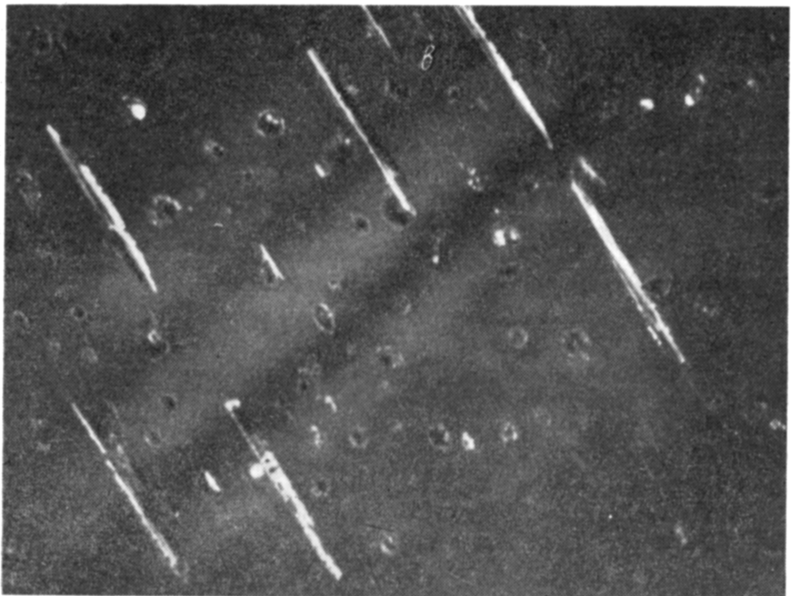


Рис. 1. Электронно-микроскопические снимки с участков образца CdS, содержащих крупные выделения CdO.

а — светлопольное изображение; б — схема электронограммы с участка образца на рис. 1, а (темные кружки — рефлексы матрицы CdS, светлые — рефлексы от выделений CdO, крестики — рефлексы, возникающие в результате двойной дифракции; в — темнопольное изображение в рефлексах, обведенных кружком на рис. 1, б.



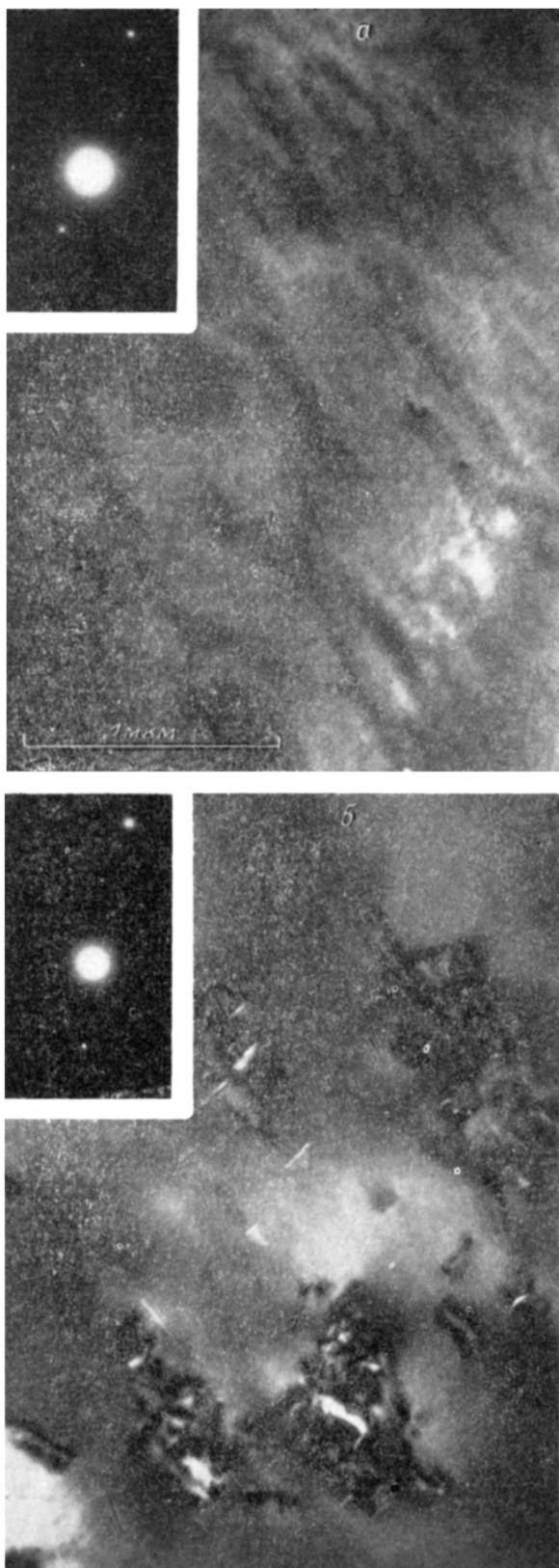


Рис. 2. Электронно-микроскопические снимки с участков образца CdS, содержащих мелкие выделения CdO.

а — до облучения, б — после облучения электронами с энергией 100 кэВ в колонне микроскопа в течение ~7 мин.

участках крупных выделений, как правило, не наблюдается. На электронограмме с этого участка (см. вставку на рис. 2, а) также видны дополнительные рефлекссы, отвечающие CdO. В отличие от крупных мелкие выделения CdO претерпевают распад под действием электронного пучка. На рис. 2, б показано то же самое место образца, что и на рис. 2, а, после облучения электронами энергией 100 кэВ при плотности тока ~ 1 А/см² непосредственно в колонне микроскопа в течение ~ 7 мин. Видно, что контраст от выделений CdO после облучения исчезает. Исчезают также и дополнительные рефлекссы на электронограмме (см. вставку на рис. 2, б). При этом наблюдается образование областей, в которых инициируется размножение дислокаций.

При исследовании спектров КЛ в кристаллах CdS, легированных кислородом, обнаружена в них при низких температурах широкая оранжево-желтая полоса. Положение максимума этой полосы и форма спектра зависят от уровня возбуждения и претерпевают изменение при переходе от одного исследуемого образца (или участка образца) к другому. Наиболее характерными являются спектры двух типов, представленные на рис. 3. В спектрах первого типа (сплош-

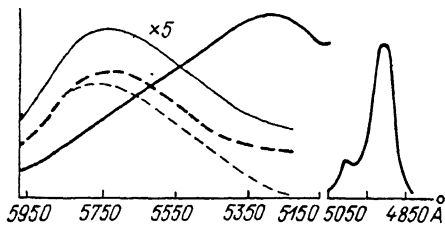


Рис. 3. Спектры КЛ кристаллов CdS <O> для уровней возбуждения 10^{-5} (тонкие линии) и 10^{-3} А/см² (толстые), полученные при 77 К с помощью ФЭУ-17А.

ные кривые) при изменении уровня накачки от 10^{-5} (тонкие линии) до 10^{-3} А/см² (толстые) максимум смещается от 5750 до 5200 Å. В спектрах второго типа (штриховые линии) смещение незначительно.

Такое поведение оранжево-желтой полосы в спектре КЛ можно объяснить, если предположить, что она обусловлена излучательными переходами на выделениях CdO. Ширина запрещенной зоны E_g в кристаллах CdO при $T=4.2$ К составляет ~ 2.2 эВ [5]. Так как в CdS $E_g=2.53$ эВ при комнатной температуре [2], разумно считать, что выделения CdO в матрице CdS представляют собой трехмерные потенциальные ямы, энергетический спектр носителей в которых испытывает размерное квантование. В предположении, что форма мелких выделений CdO сферическая, а потенциальный барьер бесконечной высоты, энергетический спектр носителей можно определить из соотношения [6]

$$\hbar\omega_{ln} = E_g + \frac{\hbar^2}{2\mu a^2} \varphi_{ln}^2,$$

где ω_{ln} — частота перехода, E_g — ширина запрещенной зоны кристалла CdO, $\mu = m_e m_h / (m_e + m_h)$ — приведенная масса, φ_{ln} — корни функции Бесселя ($l+1/2$) порядка, n — порядковый номер корня функции Бесселя при данном l , a — радиус сферического выделения. Видно, что в случае выделений строго одного размера спектр излучения должен быть дискретным и смещаться в коротковолновую сторону при уменьшении радиуса ($1/a^2$) или увеличении уровня накачки (по мере заполнения уровней в потенциальной яме). Наличие распределения выделений по размеру должно приводить к размытию линий.

Таким образом, различие в спектрах первого и второго типа может быть обусловлено преобладанием в первом случае выделений более мелкого размера, чем во втором. Отметим, что с увеличением температуры кристаллов интенсивность этой полосы спадает и при $T=300$ К не наблюдается совсем. Отсутствие этой полосы при комнатной температуре, по-видимому, связано с ростом безизлучательных процессов на границах выделений CdO.

Л и т е р а т у р а

- [1] Ормонт Б. Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. М., 1973. 655 с.
 [2] Физика и химия соединений А²В⁶ / Под ред. С. А. Медведева. М., 1970. 624 с.

- [3] Бушуева Г. В. и др. Исследование процессов деградации в лазерах на CdS, возбуждаемых электронным пучком, с помощью просвечивающей электронной микроскопии. — Препринт ФИ АН СССР, № 65. М., 1984. 14 с.
- [4] Насибов А. С., Козловский В. И., Папуша В. П. Исследование характеристик электронно-лучевой трубки с лазерным экраном. — Радиотехн. и электрон., 1973, т. 18, с. 2151—2157.
- [5] Putley E. H. The Hall effects and related phenomena. London, 1960. 263 p.
- [6] Эфрос Ал. Л., Эфрос А. Л. Межзонное поглощение света в полупроводниковом шаре. — ФТП, 1982, т. 16, в. 7, с. 1209—1214.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Получена 30.01.1987
Принята к печати 7.04.1987

