

## КРАЕВАЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ CdS ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ ГАЛЛИЯ И ИНДИЯ

А.Н. Георгобиани, А.Н. Грузинцев, З.П. Илюхина, А.В. Спицын,  
И.М. Тигиняну

УДК 621.315.592

*Исследовано влияние облучения ионами Ga<sup>+</sup> и In<sup>+</sup> на спектр зеленой фотолюминесценции сульфида кадмия. Получены сведения, свидетельствующие об участии галлия и индия в формировании центров зеленой фотолюминесценции CdS.*

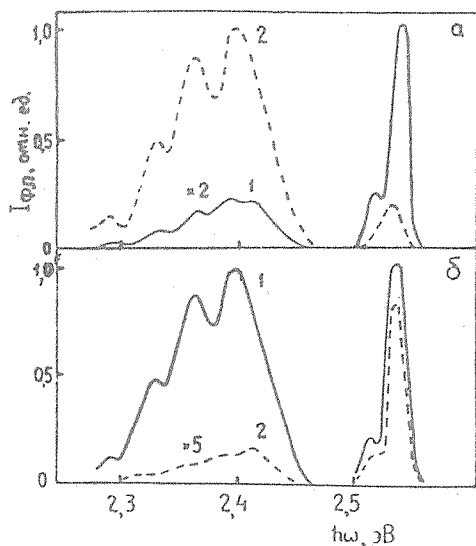
В зеленой области спектра излучения сульфида кадмия обычно выделяют две полосы (d, k) с максимумами бесфонных линий при 2,395 и 2,415 эВ (T = 20 K) /1/. С увеличением температуры обе полосы смещаются в сторону низких энергий, но медленнее, чем ширина запрещенной зоны /2/. Вопрос о природе центров, ответственных за зеленую люминесценцию CdS, до сих пор остается дискуссионным /3, 4/. В данной работе исследуется влияние облучения ионами галлия и индия на спектр зеленой люминесценции сульфида кадмия.

Использованные образцы CdS представляют собой монокристаллические пластины n-типа проводимости, полученные методом пересублимации поликристаллического сульфида кадмия в потоке аргона. Их удельное сопротивление составляет  $10^4 \div 10^5$  Ом·см при 300 K. Имплантация ионов галлия и индия с энергией 150 кэВ при дозе  $10^{13}$  см<sup>-2</sup> осуществлялась на ускорителе тяжелых ионов производства фирмы "High Voltage Engineering Europa", при этом облучалась грань (1120) образцов. После имплантации образцы отжигались в течение 20 мин в потоке Ar при 300 °C. Фотолюминесценция возбуждалась линией 365 нм ртутной лампы НВО-500. В качестве спектрального прибора использовали монохроматор SPM-2; спектральное разрешение составляло 0,01 эВ.

Известно, что при температуре жидкого гелия в спектре краевой фотолюминесценции (ФЛ) сульфида кадмия преобладает d-полоса. С повышением температуры интенсивность d-полосы уменьшается, а k-полосы, наоборот, увеличивается (вплоть до 80 K) /5/. В связи с этим для изучения d-полосы ФЛ целесообразно выбирать температуру жидкого гелия, а для k-полосы — более высокие температуры (50 ÷ 80 K). Мы исследовали спектры ФЛ

CdS в интервале температур  $6 \div 80$  К.

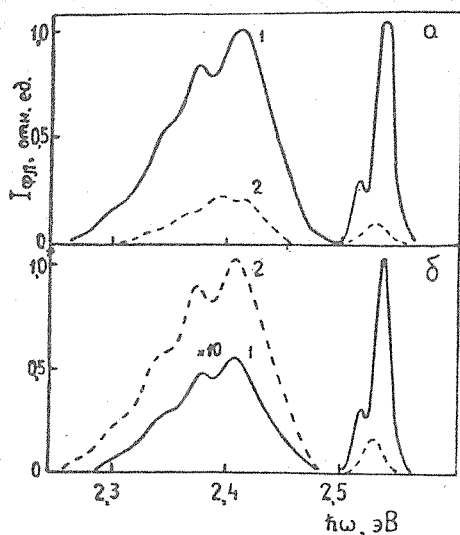
На рис. 1 приведены спектры краевой люминесценции CdS ( $T = 6$  К) после ионного внедрения. В спектрах необлученных сторон наблюдаются две экситонные линии и d-полоса ФЛ (кривая 1) с фоновой структурой; бесфонный пик d-полосы расположен при энергии 2,396 эВ. Внедрение ионов галлия приводит к возрастанию интенсивности d-полосы почти на порядок величины (рис. 1а, кривая 2). В то же время имплантация ионов индия уменьшает интенсивность d-полосы (рис. 1б, кривая 2). В последнем случае наблюдается сдвиг абсолютного максимума кривой ФЛ в коротковолновую область, что можно объяснить увеличением относительного вклада k-полосы в спектр ФЛ после облучения ионами индия.



Р и с. 1. Спектры ФЛ неимплантированной (1) и имплантированной (2) ионами  $Ga^+$  (а) и  $In^+$  (б) сторон монокристаллов CdS при  $T = 6$  К

При температуре 50 К в спектре краевой ФЛ CdS преобладает k-полоса с бесфонным пиком при 2,41 эВ. На сторонах образцов, облученных ионами галлия, интенсивность k-полосы меньше, чем на необлученных, при этом становится заметным вклад d-полосы в спектр ФЛ (рис. 2а). Что касается внедрения ионов индия, то оно приводит к увеличению интенсивности k-полосы (рис. 2б).

Таким образом, внедрение различных ионов третьей группы (In и Ga) вызывает увеличение интенсивности различных полос ФЛ в зеленой области



Р и с. 2. спектры ФЛ неимплантированной (1) и имплантированной (2) ионами  $Ga^+$  (а) и  $In^+$  (б) сторон CdS при  $T = 50$  К

сульфида кадмия. На легированных галлием сторонах обычно преобладает d-полоса свечения, а на обогащенных индием — k-полоса. Известно, что индий и галлий образуют мелкие электронные ловушки в CdS с глубинами залегания соответственно 0,03 и 0,01 эВ /6/. Можно было бы предположить, что доноры  $In_{Cd}$  и  $Ga_{Cd}$  образуют две серии DA-пар с акцепторным центром  $V_{Cd}$  /4/ в решетке CdS. Однако в таком случае возникают затруднения в объяснении энергетического положения k- и d-полос (полоса, обусловленная DA-парами  $Ga_{Cd}-V_{Cd}$ , должна быть более коротковолновой, чем в случае пар  $In_{Cd}-V_{Cd}$ ).

С другой стороны, не исключено, что галлий и индий участвуют в образовании комплексов  $[V_{Cd}Ga_{Cd}]$  и  $[V_{Cd}In_{Cd}]$  с минимально возможным расстоянием между составляющими дефектами. Расчет параметров комплексов подтверждает данную гипотезу.

Действительно, предположим, что d- и k-полосы ФЛ CdS обусловлены соответственно комплексами  $[V_{Cd}Ga_{Cd}]$  и  $[V_{Cd}In_{Cd}]$ . В таком случае, зная энергетическое положение уровней изолированных центров  $V_{Cd}$  ( $E_V + 0,3$  эВ) /7/,  $Ga_{Cd}$  и  $In_{Cd}$ , можно определить по модели Смирнова - Фирсова /8/ расстояние между составляющими центрами в комплексах. Получаются значения  $R_1 = 4, 25 \text{ \AA}$  для комплекса  $[V_{Cd}Ga_{Cd}]$  и  $R_2 = 4,30 \text{ \AA}$  для  $[V_{Cd}In_{Cd}]$ , что достаточно хорошо совпадает с геометрическим расстоянием между соседними катионными узлами в решетке CdS (4,13 Å).

В заключение отметим, что на присутствие неконтролируемых примесей индия и галлия в исходных монокристаллах CdS указал масс-спектрометрический анализ, проведенный на установке "Lamma" производства фирмы "Leybold-Haereus" (ФРГ).

Поступила в редакцию 14 июня 1984 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Физика и химия соединений А<sup>II</sup> В<sup>VI</sup>. М., Мир, с. 620, 1970.
2. R.E. Halsted, B. Segall, Phys. Rev. Letters, **10**, 392 (1963).
3. Н.А. Власенко и др., Опт. и спектр., **21**, вып. 4, 466 (1966).
4. Е.Ф. Гринь и др., ФТП, **14**, вып. 11, 2086 (1983).
5. L.S. Pedrotti, D.C. Reynolds, Phys. Rev., **119**, 1897 (1960).
6. И.Я. Городецкий и др., ФТП, **9**, в. 5, 986 (1975).
7. К.Р. Tchakpele, J.P. Albert, C. Gout, Phys. Rev., B **27**, № 2, 1244 (1983).
8. В.М. Смирнов, О.Б. Фирсов, ЖЭТФ, **47**, 232 (1964).