

КРАЕВАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ОКИСИ ЦИНКА

А.Н. Георгобиани, Т.В. Бутхузи, Т.Г. Хулордава, Б.Т. Эльтазаров

УДК 535.37

Исследована фотолюминесценция монокристаллических слоев ZnO в УФ области спектра при высоком уровне возбуждения. Обнаружена так называемая М-полоса излучения при $\lambda = 370,5$ нм ($T = 80$ К). На образцах высокой чистоты обнаружена Р-полоса излучения.

Среди соединений A_2B_6 окись цинка, обладая высоким выходом фото- и катодолюминесценции, наличием лазерного и электрооптического эффектов, является перспективным материалом для создания приборов оптоэлектроники.

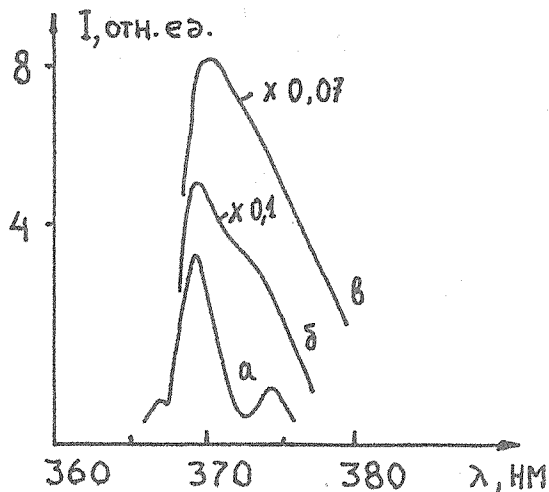
Нами были получены и исследованы высокоомные ($10^7 - 10^{13}$ Ом·см) монокристаллические пленки окиси цинка с зеркальной поверхностью, толщиной $d = 0,01 - 50$ мкм, различной стехиометрии и чистоты. В качестве подложки использовались чистые "беспримесные" монокристаллы ZnS.

Характерной чертой спектров излучения ZnO при высоком уровне возбуждения и относительно низких температурах является появление новых полос экситонной люминесценции, связанных с увеличением плотности экситонного газа [1,2].

До температур 80 К наблюдается асимметричная так называемая М-полоса люминесценции, которая выделяется на длинноволновом крыле полосы связанных экситонов и заметно смещается в длинноволновую сторону с увеличением уровня возбуждения.

В интерпретации М-полосы излучения остается все еще много спорного: ее объясняют как следствие излучательной аннигиляции биекситонов; как рекомбинацию экситонов, связанных на нейтральных акцепторах, с передачей части энергии электронам; как рекомбинационное излучение неравновесной ЭДП или ЭДЖ [3-5].

На рис. 1 М-полоса представлена при различных уровнях возбуждения ($10^4 - 5 \cdot 10^6$ Вт/см²) монокристаллических слоев ZnO при $T = 80$ К. С повышением уровня возбуждения структура спектра сглаживается и в излучении проявляется относительно широкая полоса с характерным резким фиолетовым краем и размытым красным на длинноволновом крыле экситона, свя-



Р и с. 1. Спектры ФЛ монокристаллических слоев ZnO при интенсивностях возбуждения 10^4 (а), $5 \cdot 10^5$ (б) и $5 \cdot 10^6$ (в) Вт/см², $T = 80$ К

занного на нейтральном акцепторе. Полуширина полосы растет и максимум сдвигается в длинноволновую сторону с увеличением интенсивности возбуждающего света. При максимальном уровне возбуждения М-полоса удалена от основного состояния свободного А-экситона на 25-27 мэВ.

При интенсивности возбуждения равной $0,4 E_0$ (E_0 — максимальный уровень интенсивности возбуждения) и при более высоких уровнях полоса насыщается и не зависит от уровня накачки. Таким образом, за М-полосу, по-видимому, ответственно рекомбинационное излучение ЭДЖ.

При высоком уровне возбуждения в кристалле создается большая плотность экситонов. Радиус экранировки уменьшается с ростом плотности экситонов; когда он становится порядка размера экситона, экситоны распадаются. Таким образом, при высоких плотностях бозе-газ экситонов должен ионизоваться и перейти в ЭДП, подчиняющуюся статистике Ферми /6/.

Оценим концентрацию электронно-дырочных пар из выражения, справедливого для вырожденного ферми-газа

$$n = [2m(\mu_e + \mu_h)/h^2]^{3/2} / 3\pi^2,$$

где $m = m_e m_h / (m_e + m_h)$ — приведенная эффективная масса, а $\mu_e + \mu_h$ — сумма химических потенциалов электрона и дырки, которую можно считать приблизительно равной полуширине М-полосы. Для ZnO $m = 0,19m_0$.

В условиях нашего эксперимента концентрация носителей определена по полуширине М-полосы и равна $5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

Следует отметить, что согласно ряду работ М-полоса наблюдается как на высокоомных монокристаллах, так и на образцах, легированных акцепторными примесями. В то же время на низкоомных монокристаллах, легированных донорными примесями, обнаружить М-полосу не удалось. Корреляция между образованием М-полосы и наличием акцепторных примесей наблюдалась рядом авторов и на других соединениях A_2B_6 .

При максимальном уровне возбуждения сфокусированным лазерным излучением в спектре излучения самых чистых монокристаллов (полное отсутствие видимой люминесценции) наблюдается сложная Р-полоса, которая содержит два пика: 371,5 и 373 нм ($T = 10 \text{ K}$) или 372,2 и 373,8 нм ($T = 80 \text{ K}$).

На рис. 2 представлена Р-полоса излучения при различных интенсивностях возбуждения при $T = 10 \text{ K}$ и $T = 80 \text{ K}$. С увеличением интенсивности возбуждения интенсивность Р-полосы в целом увеличивается по сравнению с линией связанного экситона и расщепление полосы становится менее выраженным.

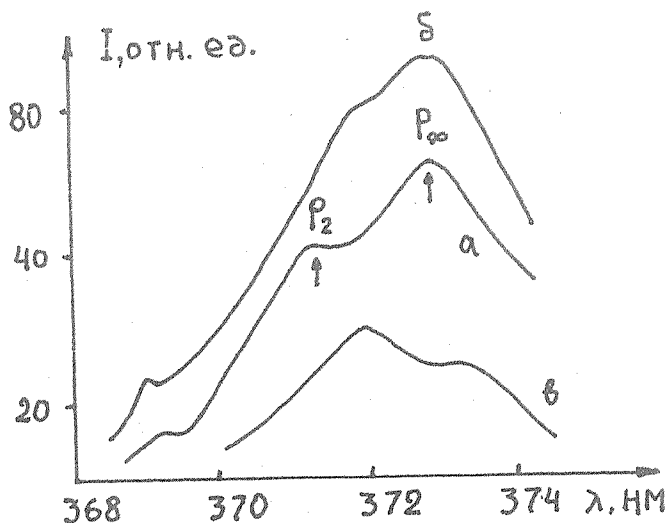


Рис. 2. Р-полоса излучения при интенсивностях возбуждения 10^6 (а) и $5 \cdot 10^6$ (б) $\text{Вт}/\text{см}^2$ ($T = 10 \text{ K}$) и $10^6 \text{ Вт}/\text{см}^2$ (в), ($T = 80 \text{ K}$)

R-полосу излучения объясняют экситонным рассеянием, в результате которого один экситон аннигилирует, образуя фотон, а второй переходит в более высокое возбужденное состояние с $n = 2, 3, \dots, \infty$, или диссоциирует [7].

Энергия фотона определяется по формуле

$$h\nu = E_{ex} - G + G/n^2,$$

где E_{ex} — энергия свободного экситона в состоянии $n = 1$, G — энергия связи экситона. В нашем случае наблюдаются два пика R-полосы с $n = 2$ и $n = \infty$ с $\lambda_1 = 372,2$ нм и $\lambda_2 = 373,8$ нм при $T = 80$ К, $\lambda_1 = 371,5$ нм, $\lambda_2 = 373$ нм при $T = 10$ К. Наблюдается квадратичная зависимость интенсивности R-полосы от плотности экситонов.

Поступила в редакцию 8 мая 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Х. Абдуев, А.Д. Атаев, Р.А. Рабаданов, Письма в ЖТФ, 5, 149 (1979).
2. В.А. Корнейчук, М.К. Шейкман, А.М. Яремко, ФТТ, 22, 1534 (1980).
3. J.M. Hvam, Sol.St.Comm., 26, 987 (1978).
4. C. Klingshirn, Phys.St.Sol., (b), 71, 547 (1975).
5. T. Skettrup, Sol.St.Comm., 23, 741 (1977).
6. В.Г. Лысенко и др., ЖЭТФ, 68, 335 (1975).
7. J.M. Hvam, Sol. St. Comm., 12, 95 (1973).