

ВЫНУЖДЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ПЛЕНКЕ ZnSe, ВЫРАЩЕННОЙ НА GaAs
МОС-ГИДРИДНЫМ МЕТОДОМ

Х. А. Джалалов, Е. В. Жук, А. А. Зленко, Е. Н. Разов,
В. К. Хамылов, Г. П. Шипуло

УДК 621.378.28

Исследована люминесценция и вынужденное излучение при оптической накачке в эпитаксиальных пленках ZnSe, выращенных на подложках GaAs ориентации (100) МОС-гидридным методом. Приведены оценки потерь в пленках толщиной $h \geq 5$ мкм.

Одним из перспективных материалов для полупроводниковых приборов видимого диапазона, включая излучатели и приемники, является селенид цинка, имеющий при $T = 300$ К ширину запрещенной зоны $E_g \approx 2,67$ эВ. Ранее [1-3] наблюдалась электролюминесценция в селениде цинка при использовании перехода металл-полупроводник. В работах [4,5] вынужденное излучение в монокристаллах ZnSe было получено при поперечной и продольной накачке электронным пучком.

В настоящей работе исследованы люминесценция и вынужденное излучение в эпитаксиальных пленках селенида цинка, выращенных на подложках арсенида галлия ориентации (100) МСС-гидридным методом, описанным в /6,7/. Подложки из GaAs были выбраны из соображений хорошего согласования параметров решетки селенида цинка и арсенида галлия. Рассогласование параметров решетки составляет не более 0,25% /8/. Выращенные пленки селенида цинка при толщинах 5–10 мкм имели зеркально гладкую поверхность. Для определения качества и однородности полученных пленок в различных точках их поверхности снимались спектры люминесценции при плотностях мощности возбуждающего света $P < 10 \text{ Вт/см}^2$. Возбуждение люминесценции производилось азотным ($\lambda = 337,1 \text{ нм}$) или He-Cd ($\lambda = 441,6 \text{ нм}$) лазером.

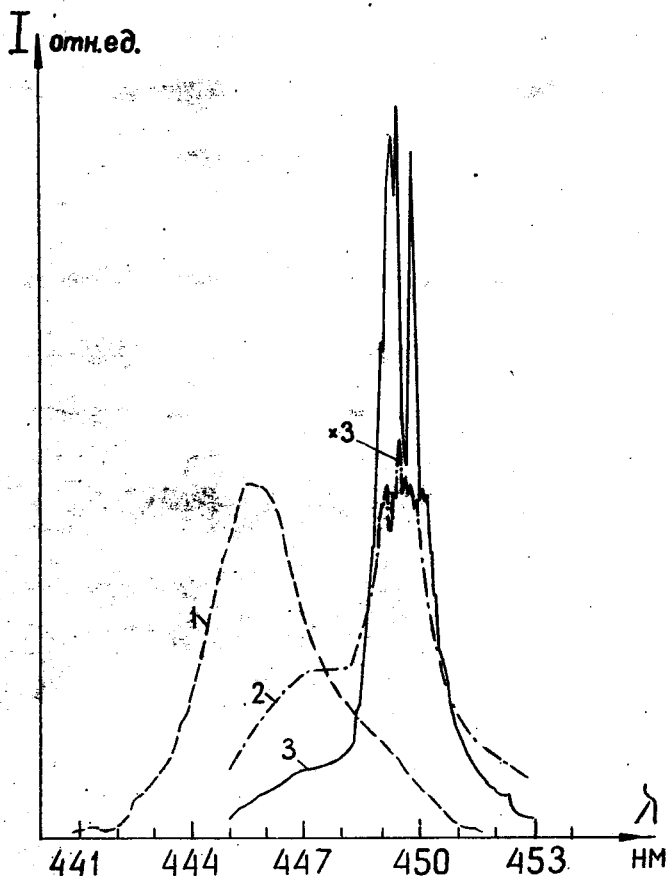
В спектре люминесценции пленок, полученных в оптимальных условиях при $T = 300 \text{ К}$ наблюдалась только краевая полоса с максимумом около 462 нм. При $T = 77 \text{ К}$ краевая полоса имела полуширину $\approx 3 \text{ нм}$ (рис. 1, кривая I), кроме того наблюдалась слабая полоса люминесценции в области 510–620 нм с интенсивностью $10^{-1} - 10^{-2}$ от краевой. При повышении плотности мощности накачки отношение интенсивности примесной полосы к краевой резко уменьшалось.

Высокое качество пленки селенида цинка, о чем свидетельствуют полученные спектры люминесценции, позволяло получить генерацию света на этих пленках при поперечной накачке. Однако при этом необходимо учитывать, что в структуре пленка ZnSe – подложка GaAs показатель преломления селенида цинка ($n_0 \approx 2,6$) меньше показателя преломления арсенида галлия ($n_1 \sim 3,6$), поэтому волноводные моды в пленке, вследствие излучения света в подложку, существовать не могут. В работе /9/ проведен расчет коэффициента затухания для вытекающих мод в случае распространения света в пленке с показателем преломления меньшим, чем у подложки. Для TE-мод, согласно этой работе,

$$\alpha_{TE} \approx \frac{\lambda_0^2 (m+1)^2}{2n_0 h^3 \sqrt{n_1^2 - n_0^2}}, \quad (I)$$

где λ_0 – длина волны света в вакууме, $m = 0, 1, 2, \dots$ – порядок моды; h – толщина пленки; n_1 и n_0 – соответственно пока-

затем преобразование подложки и пленки.



Р и с. 1. Спектры люминесценции и вынужденного излучения пленки $ZnSe/GaAs$ при $T = 77$ К для разных уровней возбуждения оптической накачкой лазером ЛГ-21: 1 - типичный спектр фотолюминесценции образца при малых плотностях потока энергии накачки ($P \sim 10$ Вт/см²); 2 - спектр пороговой генерации той же пленки при $P \approx 50$ кВт/см²; 3 - спектр генерации того же образца при $P \approx 150$ кВт/см²

В случае ТМ-мод коэффициент затухания для моды того же порядка в $(n_1/n_0)^2$ раз больше, чем для ТЕ. Нами было проведено измерение потерь излучения в пленке селенида цинка толщиной 6 мкм. Для этого излучение He-Ne лазера ($\lambda = 632,8$ нм) вводилось в пленку микрообъективом через торец. Оценка потерь производилась путем фотометрирования трека излучения в пленке. Экспериментально измеренная величина потерь составила ~ 6 см⁻¹. Теоретические величины потерь для основных мод на $\lambda = 632,8$ нм, согласно (1), составляют $\alpha_{TE} \sim 1,1$ см⁻¹, $\alpha_{TM} \sim 2,5$ см⁻¹. Реальная величина потерь получилась несколько больше теоретической, так как в пленке возбуждались, кроме основной моды, моды более высокого порядка. На длине волны $\lambda = 450$ нм для пленки ZnSe на GaAs расчетная величина потерь за счет излучения света из пленки в подложку составляет при $h = 5$ мкм величину ~ 1 см⁻¹ для основной ТЕ-моды. Таким образом, при толщинах пленки более 5 мкм потери за счет излучения света в подложку малы и в таких пленках можно получить генерацию света.

Вынужденное излучение света в ZnSe было получено при $T = 77$ К на пленках толщиной $h = 6$ мкм без какой-либо дополнительной обработки поверхности пленки после роста. Зеркала резонатора Фабри - Перо были получены путем скола GaAs по плоскостям спайности. Длина резонатора составляла ~ 1 мм. Поперечная оптическая накачка пленки производилась сфокусированным до размеров порядка $1,6 \times 0,15$ мм² пучком лазера ЛП-21 с длительностью импульса $\tau = 10$ нс и частотой повторения импульсов $f = 25$ Гц. При плотности мощности накачки $P \approx 50$ кВт/см², соответствовавшей пороговой, на фоне люминесценции наблюдались характерный резкий всплеск интенсивности излучения и появление яркой светящейся точки на торце пленки, что, наряду с сужением спектра люминесценции (рис. 1, кривая 2), свидетельствовало о генерации вынужденного излучения. Генерация возникает на длинноволновом крыле линии люминесценции, что связано с меньшей величиной потерь на поглощение в этой области. С дальнейшим ростом плотности мощности оптической накачки вместе с увеличением интенсивности излучения в пленке ZnSe наблюдаются сужение полуширины его спектра до некоторой величины, которая при трехкратном превышении порога составляет $1,1 - 1,2$ нм (рис. 1, кривая 3), а также некоторое смещение спектра генерации в длин-

новолновую область. Анализ картины дальнего поля лазерного излучения пленки ZnSe при $T = 77$ К показал, что наряду с основными типами колебаний в ней возникают высшие типы (до $m \approx 10$), для которых потери составляют $\alpha \approx 70$ см⁻¹.

Таким образом, эпитаксиальные пленки селенида цинка, выращенные на подложках GaAs ориентации (100) МЭС-гидридным методом, имеют высокое качество и пригодны при соответствующей оптимизации для создания лазеров с низкими порогами накачки.

Поступила в редакцию

22 июля 1982 г.

Л и т е р а т у р а

1. M. Aven, D. A. Cusano, J. Appl. Phys., 35, 606 (1964).
2. J. Chah, A. E. DiGiovanni, Appl. Phys. Lett., 32, 995 (1978).
3. В. А. Коротков и др., ФТП, 15, 1701 (1981).
4. А. В. Дуденкова и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № 4, 3 (1978).
5. А. В. Дуденкова и др., Квантовая электроника, 8, 1380 (1981).
6. W. Stitius, Appl. Phys. Lett., 32, 656 (1978).
7. Б. В. Жук и др., Письма в ЖТФ, 7, 1132 (1981).
8. Б. Л. Шарма, Р. Н. Пуррохит, Полупроводниковые гетеропереходы. "Советское радио", М., 1979 г., с. 72.
9. D. E. Hall, S. Yeh, J. Appl. Phys., 44, 2271 (1973).