

- [3] Lesaux G., Roosen G., Brun A. - Opt. Comm., 1986, v. 56, N 6, p. 374-378.
- [4] Petrov M.P., Stepanov S.I., Penschewa T.C. - J. Optics (Paris), 1981, v. 12, N 5, p. 287-292.
- [5] Ferrrier J.L., Gasengel J., Nguen Phu X., Rivoire J. - Opt. Comm., v. 58, N 5, p. 343-348.
- [6] Астратов В.Н., Ильинский А.В., Мельников М.Б. - ФТТ, 1983, т. 25, № 7, с. 2163-2168.
- [7] Петров М.П., Шлягин М.Г., Хоменко А.В., Шалаевский Н.О., Петров В.М. - ЖТФ, 1985, т. 55, № 11, с. 2247-2249.
- [8] Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография. М.: Мир, 1973. 686 с.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
29 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 23

12 декабря 1988 г.

АКУСТОЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ $ZnS:Mn$

В.Е. Родионов, С.Ф. Терехова,
Н.С. Черная

Электролюминесцентное (ЭЛ) свечение в тонкопленочных МДПДМ структурах на основе $ZnS:Mn$ возникает путем ударного возбуждения ионов Mn^{2+} баллистически ускоренными электронами до энергии ≥ 2.5 эВ, генерируемыми знакопеременным электрическим полем (E). До последнего времени считалось, что порог по баллистическому ускорению E_a выше порога по образованию свободных электронов E_f . Однако снижение порога зажигания U_n электролюминесценции под действием ультрафиолетового излучения показало [1], что E_a может быть выше, чем E_f .

В настоящей работе обнаружено новое явление в ЭЛ структурах на основе $ZnS:Mn$ - акустоэлектролюминесценция, которое выражалось в появлении под действием ультразвуковых (УЗ) колебаний допорогового свечения при $U_B < U_n$ и в низкополевой области вольт-яркостных характеристик (ВЯХ): здесь U_B - напряжение, возбуждающее электролюминесценцию.

Исследуемые структуры изготавливались на стеклянных подложках последовательным нанесением слоев. Активным компонентом являлась текстурированная по оси роста пленка $ZnS:Mn$, в качестве

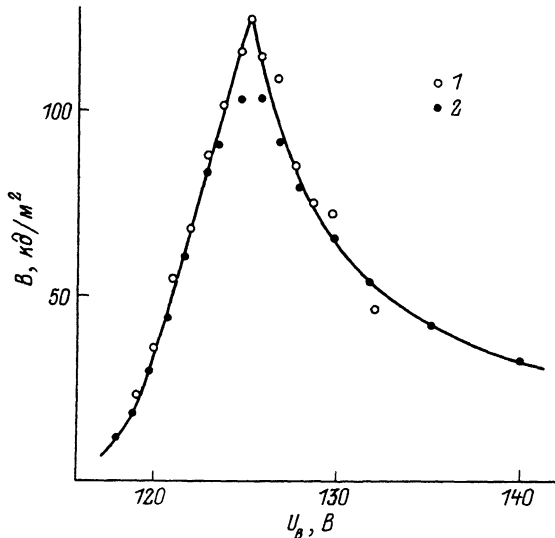


Рис. 1. Типичные зависимости B от U_B . $U_0 = 120$ В, 1 - 1.6 МГц, 2 - 3.85 МГц.

диэлектрических слоев использовались Al_2O_3 , SiO_2 , Y_2O_3 . УЗ колебания вводились в структуру в непрерывном режиме со стороны свободной поверхности перпендикулярно плоскости слоев. Удельная мощность (w) УЗ потока составляла 0.1–0.3 Вт/см². Электролюминесценция возбуждалась в синусоидальном режиме на частоте 5 кГц и регистрировалась фотометрическим методом.

При подаче на структуру опорного возбуждающего напряжения (U_0) на 6–10 В ниже порогового при одновременном возбуждении в ней УЗ колебаний наблюдалось добавочное свечение, которое исчезало в отсутствие напряжения U_0 , — акустоэлектролюминесцентное (АЭЛ) свечение. Яркость его (B), определяемая как $B = B_{y3} - B_0$ (индексы „уз“ и „0“ соответствуют наличию и отсутствию УЗ колебаний), в зависимости от величины U_B представляла собой кривую с максимумом (рис. 1). Местоположение последнего на шкале U_B не зависело ни от частоты (f), ни от величины напряжения (U_{y3}) на УЗ преобразователе, в то время как снижение величины U_B под действием УЗ колебаний росло с увеличением U_{y3} и f . Почти полная идентичность спектральных характеристик свечения структур при наличии и при отсутствии УЗ колебаний (рис. 2) свидетельствует о том, что УЗ колебания не приводили к изменению центров, ответственных за ЭЛ свечение в слое ZnS. Величина интенсивности УЗ колебаний была недостаточной для возбуждения в

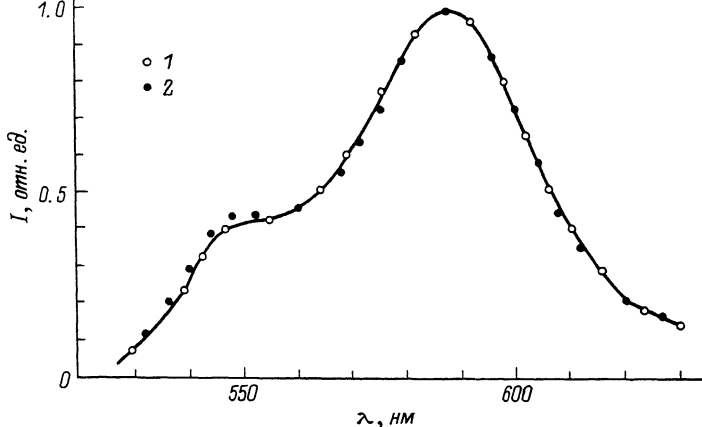


Рис. 2. Спектральные характеристики свечения структур при $\mathcal{U}_B = kE_{max}$: 1 - при отсутствии и 2 - при наличии УЗ колебаний ($W = 0.1$ Вт/см², $f = 1.6$ МГц). Кривая 2 снята при 6-кратном ослаблении.

слое ZnS внутрицентровой акустоллюминесценции [2]. Таким образом, УЗ воздействие не могло снизить порог \mathcal{U}_n . По-видимому, как и в работе [1], имело место неравенство $E_a < E_t$ и роль УЗ колебаний в снижении порога \mathcal{U}_n состояла в уменьшении величины E_t , т.е. УЗ воздействие вызывало генерацию первичных электронов в допороговой области ВЯХ, а подаваемое на структуру напряжение \mathcal{U}_B было достаточным для сообщения им энергии ≥ 2.5 эВ, необходимой для возбуждения иона Mn^{2+} . Роль УЗ колебаний в возникновении АЭЛ свечения состояла в образовании или активации квази-стабильных поверхностных электронных состояний (ПЭС) [3] на границах раздела ZnS -диэлектрик, а также на поверхности зерен в пленке ZnS . Энергия активации таких ПЭС может быть ниже энергии активации ПЭС, которые являются поставщиками электронов в обычном явлении электролюминесценции. Ввод в действие ПЭС с меньшей энергией активации облегчает туннелирование электронов с них в зону проводимости, что обуславливает более низкое значение E_t .

Яркость АЭЛ свечения структур на основе $ZnS:Mn$ (при фиксированной толщине пленки ZnS и содержания марганца в ней) с учетом данных работы [4] и в пренебрежении эффектом размножения электронов в низкополевой области ВЯХ может быть представлена выражением

$$B = AN(E) \exp \left[-\frac{\delta_1 \psi_{\gamma 3}^{3/2}}{E} \right] \exp \left[-\frac{\delta_2}{E^{\alpha}} \right], \quad (1)$$

где $N(E) \exp\left[-\frac{b_1 \varphi_{13}^{3/2}}{E}\right]$ - член, связанный с генерацией первичных электронов, $N(E)$ и φ_{13} - концентрация и глубина залегания ПЭС соответственно; $E = kU_B$, k - коэффициент, учитывающий толщину слоя ZnS и перераспределение U_B между слоями структуры, $b_1 = \frac{4/3(2m^*)^{1/2}}{qh}$, m^* - эффективная масса (для ZnS $0.3m_e$), m_e - масса электрона, q - заряд электрона, h - постоянная Планка, $\exp\left[-\frac{b_2}{E^n}\right]$ - член, ответственный за возбуждение иона m_n^{2+} , b_2 - постоянные коэффициент, n - показатель, принимающий значения 1 или 0.5, A - постоянный множитель.

Приравняв производную $\frac{dB}{dE}$ нулю, в предположении параболической зависимости N от E при условии более крутого роста члена $N(E)$ по сравнению с $\exp\left(-\frac{b_2}{E^n}\right)$ получим выражение для определения энергии активации ПЭС, обуславливающих АЭЛ:

$$\varphi_{13} = \left(\frac{2E_{max}}{b_1}\right)^{3/2}, \quad (2)$$

где E_{max} - значение E , соответствующее максимальной величине B . На основании выражения (2) получаем глубину залегания ПЭС, ответственных за АЭЛ, равную 0.62 эВ, что укладывается в интервал значений энергии активации эмиссии электронов с ПЭС в структурах на основе ZnS [4].

Обнаруженное явление помимо самостоятельного интереса может найти практическое применение.

Л и т е р а т у р а

- [1] M ü l l e r G.O. - Phys. Stat. Sol. (a), 1984, N 81, p. 597-608.
- [2] Ж м у р к о А.И., Р о ж к о А.Х. - Письма в ЖТФ, 1984, т. 10, в. 14, с. 889-892.
- [3] Н о w a r d W.E. - J. Luminescence, 1981, v. 24/25, p. 835-842.
- [4] S m i t h D.H. - J. Luminescence, 1981, v. 23, N 1-2, p. 209-235.

Поступило в Редакцию
28 июня 1988 г.