

06;07

Кинетика мгновенной яркости свечения тонкопленочных электролюминесцентных излучателей на основе сульфида цинка

© Н.Т. Гурин, О.Ю. Сабитов, А.В. Шляпин, А.В. Юденков

Ульяновский государственный университет

Поступило в Редакцию 8 августа 2000 г.

При возбуждении тонкопленочных электролюминесцентных излучателей на основе сульфида цинка, легированного марганцем, напряжением треугольной формы обнаружены два участка нарастания и спада мгновенной яркости. Быстрый участок спада соответствует релаксации Mn^{2+} в сульфиде цинка с постоянной времени 1.4 ns, а медленный предшествует быстрому и имеет постоянную времени спада на порядок больше, что существенно увеличивает время послесвечения. Уровень яркости, при которой происходит переход от одного участка к другому, практически не зависит от частоты приложенного напряжения и заряда, протекающего через люминофор.

Основной особенностью тонкопленочных электролюминесцентных излучателей (ТП ЭЛИ) является наличие участка насыщения на вольт-яркостных характеристиках (ВЯХ), отражающих зависимость средней (кажущейся) яркости свечения от амплитуды знакопеременного напряжения возбуждения [1]. Средняя яркость при этом получается в результате усреднения по времени импульсов мгновенной яркости — так называемых волн яркости, форма которых зависит от формы напряжения возбуждения. При этом постоянная спада мгновенной яркости, определенная для разных форм напряжения возбуждения, дает значение времени жизни возбужденных центров $Mn^{2+} \tau^*$, которое составляет около 1.3 ns в ZnS с малым содержанием Mn и уменьшается с ростом концентрации Mn [1]. При увеличении концентрации более (1 – 2)% weighing возможно появление до четырех участков спада с уменьшающимися значениями времен жизни τ^* , обусловленных одиночными, парными и тройными центрами марганца [2] или изменением механизма передачи возбуждения центру свечения [3]. В то же время известные данные не позволяют установить однозначную связь между насыщением ВЯХ и формой волны яркости.

Целью данной работы является изучение причины насыщения яркости свечения ТП ЭЛИ при увеличении приложенного напряжения на основе исследования зависимостей мгновенной яркости от времени и заряда, протекающего через люминофор, при возбуждении ТП ЭЛИ линейно нарастающим напряжением в диапазоне низких частот, когда форма волн яркости хорошо определена.

Для решения данной задачи были выполнены экспериментальные исследования ТП ЭЛИ со структурой МДПДМ, где М — нижний прозрачный электрод на основе SnO_2 толщиной $0.2 \mu\text{m}$, нанесенный на стеклянную подложку, и верхний непрозрачный тонкопленочный электрод на основе Al толщиной $0.15 \mu\text{m}$, диаметром 1.5mm ; П — электролюминесцентный слой $\text{ZnS}:\text{Mn}$ (0.5% mass.) толщиной $0.54 \mu\text{m}$; Д — диэлектрический слой $\text{ZrO}_2 \times \text{Y}_2\text{O}_3$ (13% mass.) толщиной $0.15 \mu\text{m}$. Слой люминофора наносили вакуумтермическим испарением в квазизамкнутом объеме с последующим отжигом при температуре 250°C в течение часа, непрозрачный электрод — вакуумтермическим испарением, тонкопленочные диэлектрические слои получали электронно-лучевым испарением.

Экспериментально исследованы зависимости мгновенной яркости свечения L и тока через ТП ЭЛИ I_e от времени при возбуждении ТП ЭЛИ знакопеременным напряжением треугольной формы, подаваемым с генератора Г6-34 с дополнительным усилителем — формирователем и внешним генератором запуска Г5-89. Амплитуда импульсов составляла (160–170 V) при коэффициенте нелинейности напряжения не более 2%. В режиме однократного запуска напряжение возбуждения представляло собой пачку импульсов из двух периодов напряжения треугольной формы, следующих с частотой 10, 50, 200, 500, 1000 Hz. Время между однократными запусками T_s изменялось в пределах (0.1–100) s. В непрерывном режиме возбуждения частота изменялась от 10 до 1000 Hz. Ток I_e измерялся с помощью включаемого последовательно с ТП ЭЛИ резистора сопротивлением 100Ω – $10 \text{k}\Omega$, падение напряжения на котором не превышало 1 V. Мгновенное значение яркости измерялось с помощью фотоэлектронного умножителя ФЭУ-84-3. Зависимости напряжения возбуждения, тока через ТП ЭЛИ и мгновенной яркости свечения от времени фиксировались с помощью двухканального запоминающего осциллографа С9-16, связанного через интерфейс с персональным компьютером, которые обеспечивали для каждого канала измерение и запоминание 2048 точек выбранного периода дискрети-

зации с погрешностью не более 2%. Математическая и графическая обработка производилась с помощью прикладных программных пакетов Maple V Release 4. Version 4.00b и GRAPHER Version 1.06. 2-D Graphing System.

Заряд, переносимый через слой люминофора при отсутствии потерь на рекомбинацию и захвата носителей на ловушки, равен заряду, накопленному в активном режиме на состояниях границы раздела, Q_p и связан с зарядом, протекшим во внешней цепи, Q_e [4]:

$$Q_p(t) = \frac{C_i + C_p}{C_i} [Q_e(t) - C_e V(t)] + Q_{pol}, \quad (1)$$

где

$$Q_e(t) = \int_0^t I_e(t) dt \quad (2)$$

— заряд, протекающий во внешней цепи, Q_{pol} — остаточный поляризационный заряд, C_i , C_p — емкости конденсаторов, образованных двумя диэлектрическими слоями ТП ЭЛИ и слоем люминофора соответственно.

Как показали выполненные нами исследования зависимости мгновенной яркости от времени [5], начиная со второго периода напряжения возбуждения при однократном запуске, при любых значениях T_s , зависимости $L(t)$ и $I_e(t)$ в пределах погрешности измерений идентичны соответствующим зависимостям для непрерывного режима возбуждения, что свидетельствует о завершении перехода к квазистационарному (непрерывному) режиму в течение первого периода напряжения возбуждения. Последнее обстоятельство позволило определить начальные условия при расчете характеристики $Q_p(t)$ по формулам (1)–(2), т.е. значения остаточного поляризационного заряда Q_{pol} к моменту подачи следующей пачки импульсов напряжения возбуждения.

Полученные экспериментальные зависимости $L(t)$ и $I_e(t)$, а также зависимость $L(Q_p)$ характеризуются следующими особенностями:

— появлением аналогично [4] в режиме однократного запуска дополнительного пика тока I_e в первом полупериоде напряжения возбуждения, амплитуда которого растет с увеличением T_s и соответствующего ему пика мгновенной яркости L (рис. 1, *a*, *b*), что объясняется увеличением вероятности возбуждения центров свечения, пропорциональной плотности тока I_p [6];

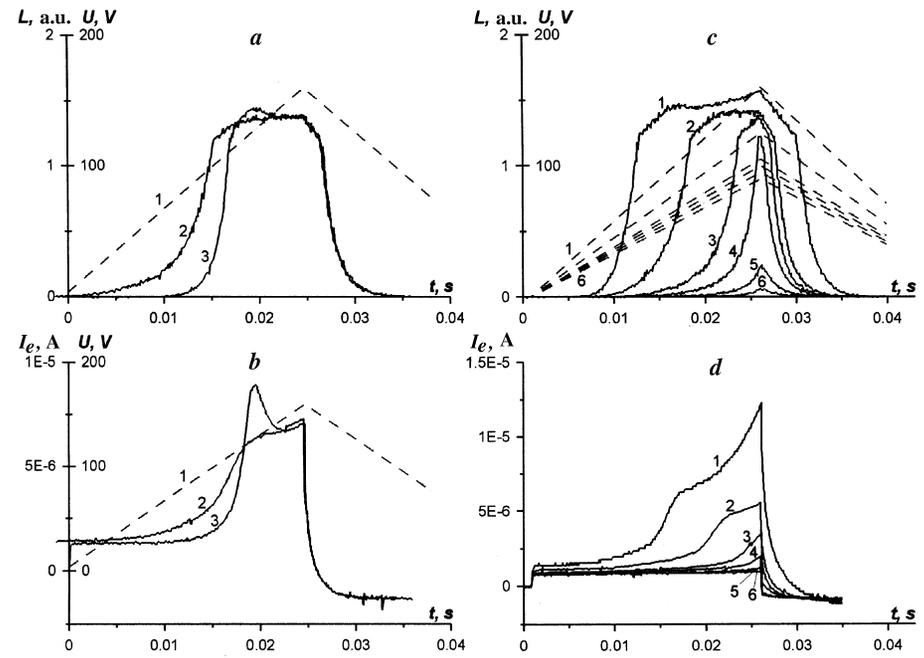


Рис. 1. Зависимости мгновенной яркости L (a, c), тока I_e (b, d) от времени при частоте напряжения возбуждения 10 Hz: a, b — образец № 1, 1 — напряжение возбуждения, 2 — непрерывный режим возбуждения, 3 — режим возбуждения с однократным запуском и $T_s = 100$ s ; c, d — образец № 5, режим возбуждения с однократным запуском и $T_s = 1$ s: 1 — амплитуда напряжения возбуждения 160 V, 2 — 125 V, 3 — 105 V, 4 — 100 V, 5 — 95 V, 6 — 90 V.

— мгновенная яркость L возрастает со временем до определенного уровня гораздо быстрее, чем ток I_e , после чего следует более медленный участок нарастания $L(t)$ с выходом его на насыщение (рис. 1, a, c), подчиняющийся закону $1 - \exp(-t/\tau)$, где $\tau = (1.5 \pm 0.3)$ ms, что соответствует времени жизни возбужденных центров Mn^{2+} [1];

— спад зависимости $L(t)$ (рис. 1, a, d) на частотах 10, 50 Hz имеет два четко выраженных экспоненциальных участка с разными постоянными времени $\tau_1 = (14 \pm 4)$ ms и $\tau_2 = (1.5 \pm 0.2)$ ms, причем второй участок соответствует релаксации одиночных центров Mn^{2+} , а относительно первого участка данные в известных нам литературных источниках отсутствуют;

— уровень яркости, соответствующий переходу от первого участка нарастания яркости L ко второму в пределах погрешности измерений равен уровню яркости, при которой происходит переход от первого участка спада ко второму, причем этот уровень практически не зависит от частоты f в диапазоне (10–1000) Hz и заряда Q_p ;

— зависимости мгновенной яркости L от заряда Q_p , протекшего через слой люминофора к тому же моменту времени t , при котором отсчитывается значение L (рис. 2), обнаруживают два участка, на первом из которых происходит резкий рост яркости L при малом изменении заряда Q_p , а на втором участке L слабо зависит от Q_p .

Полученные результаты можно объяснить следующим образом. Как известно [1,6], мгновенная яркость свечения ТП ЭЛИ $L(t)$ связана с концентрацией возбужденных центров свечения $N^*(t)$ формулой:

$$L(t) = \frac{AN_1P_rN^*(t)}{\tau^*}, \quad (3)$$

где A — постоянная; N_1 — число центров свечения, возбуждаемых одним электроном, прошедшим через слой люминофора; $P_r = \tau^*/\tau_r$ — вероятность излучательной релаксации центра свечения; τ^* — время жизни центра свечения в возбужденном состоянии, τ_r — время жизни центров свечения, сопровождающихся излучательной релаксацией. Как следует из (3), появление участка насыщения на зависимостях $L(t)$ и $L(Q_p)$ наиболее просто можно объяснить соответствующим уменьшением N_1 (существенный рост заряда Q_p и количества носителей заряда, прошедших через слой люминофора, не приводит к увеличению яркости), что свидетельствует в пользу насыщения концентрации возбужденных

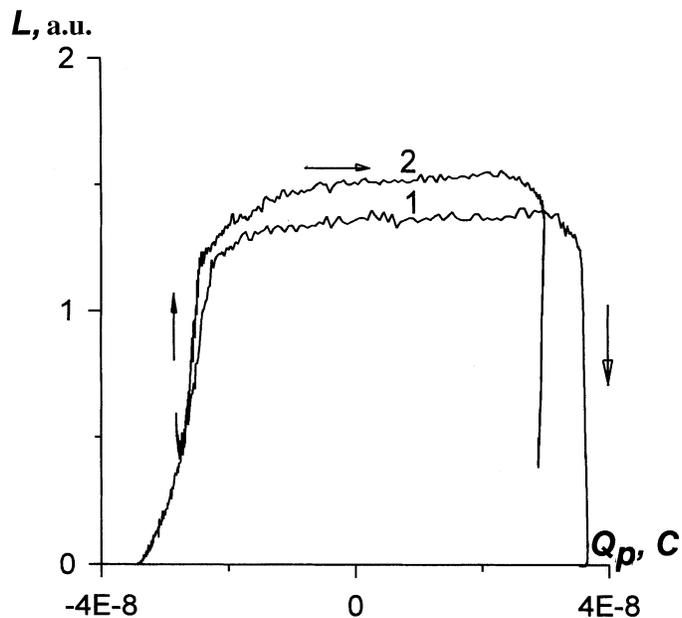


Рис. 2. Зависимости мгновенной яркости L от заряда Q_p в непрерывном режиме возбуждения. Образец № 1: 1 — частота $f = 10$ Hz, 2 — 50 Hz.

центров свечения. В этих условиях между возбужденными центрами и (или) этими центрами и их окружением в решетке ZnS при прекращении возбуждения может проявляться резонансное взаимодействие, приводящее к увеличению τ^* на первом "медленном" участке спада яркости, в том числе за счет изменения вероятностей излучательных и безызлучательных переходов. При спаде концентрации возбужденных центров до определенного уровня это взаимодействие исчезает, и происходит обычная релаксация одиночных центров Mn^{2+} .

Следует отметить, что появление первого медленного участка спада зависимости $L(t)$ существенно увеличивает время послесвечения на низких частотах напряжения возбуждения 10; 50 Hz, т.е. среднюю яркость ТП ЭЛИ.

Список литературы

- [1] *Электролюминесцентные источники света* / Под ред. И.К. Верещагина. М.: Энергоатомиздат, 1990. 168 с.
- [2] *Vlasenko N.A., Korytko Yu.V., Pekar V.S.* // Phys. stat. sol. (a). Vol. 81. N 10. P. 661–667.
- [3] *Жигальский А.А., Нефедцев Е.В., Троян П.Е.* // Изв. вузов. Физика. 1995. № 2. С. 37–41.
- [4] *Гурин Н.Т., Шляпин А.В., Сабитов О.Ю.* // ЖТФ. 2001. Т. 71. В. 3 (в печати).
- [5] *Гурин Н.Т., Шляпин А.В., Сабитов О.Ю.* // Тр. междунар. конф. "Оптика полупроводников". Ульяновск: Изд. УлГУ, 2000. С. 80–81.
- [6] *Гурин Н.Т., Сабитов О.Ю.* // ЖТФ. 1999. Т. 69. В. 5. С. 65–73.