

06;07;12

Влияние формы возбуждающего напряжения на яркость свечения тонкопленочных электролюминесцентных излучателей

© Н.Т. Гурин, О.Ю. Сабитов

Ульяновский государственный университет,
432700 Ульяновск, Россия

(Поступило в Редакцию 18 июля 1996 г. В окончательной редакции 25 ноября 1997 г.)

На основе решения уравнения кинетики изменения концентрации возбужденных центров свечения в слое люминофора тонкопленочного электролюминесцентного излучателя (ТП ЭЛИ) для различных форм возбуждающего напряжения (треугольной, трапецидальной, синусоидальной, прямоугольной с экспоненциальным фронтом) получены зависимости средней яркости свечения от параметров слоев металл–диэлектрик–полупроводник–диэлектрик–металл структуры ТП ЭЛИ и условий возбуждения. Показано, что при равных значениях амплитуды и периода следования импульсов знакопеременного симметричного напряжения средняя яркость свечения и светоотдача ТП ЭЛИ возрастают с увеличением скорости нарастания напряжения для различных форм возбуждающего напряжения в следующей последовательности: треугольная–синусоидальная–трапецидальная–прямоугольная. Расчетные данные подтверждены результатами экспериментальных исследований.

Тонкопленочные (ТП) электролюминесцентные (ЭЛ) излучатели (ЭЛИ) со слоями металл–диэлектрик–полупроводник–диэлектрик–металл (МДПДМ) на основе цинк-сульфидных люминофоров (рис. 1), легированных марганцем (желтого цвета свечения) или фторидом тербия (зеленого цвета свечения) имеют высокие светотехнические и эксплуатационные параметры (яркость, светоотдача, долговечность и др.) и поэтому являются в настоящее время одними из наиболее перспективных устройств для создания плоских индикаторов. В то же время яркость свечения ТП ЭЛИ красного и особенно синего цветов свечения пока недостаточны для создания полноцветных плоских индикаторных панелей. Другим недостатком ТП ЭЛИ является необходимость использования для возбуждения высокого знакопеременного напряжения амплитудой 60–300 В. В связи с этим в настоящей работе были проведены теоретические и

экспериментальные исследования зависимости яркости свечения ТП ЭЛИ от формы возбуждающего напряжения с целью определения возможностей повышения яркости свечения или понижения возбуждающего напряжения ТП ЭЛИ при прочих равных условиях.

В основу расчета кинетики изменения яркости ТП ЭЛИ в зависимости от условий возбуждения была положена модель ударного возбуждения центров свечения люминофора [1–3], характерного для ТП ЭЛИ на основе сульфида цинка, легированного марганцем (ZnS:Mn). Процесс возбуждения центров свечения при этом можно разделить на следующие этапы: туннельная эмиссия электронов с граничных состояний катодной поверхности границы раздела диэлектрик–люминофор, их ускорение в электрическом поле высокой напряженности, размножение носителей заряда благодаря ударной ионизации, возбуждение центров свечения электронами высоких энергий, переход в невозбужденное состояние с излучением, захват носителей граничными состояниями у анодной поверхности границы раздела диэлектрик–люминофор. При этом кинетика изменения концентрации возбужденных центров свечения в пленке люминофора описывается уравнением [3]

$$\frac{dN^*(t)}{dt} = \alpha[N - N^*(t)] - \frac{N^*(t)}{\tau}, \quad (1)$$

где N — концентрация центров свечения; $N^*(t)$ — концентрация возбужденных центров свечения; α — вероятность перехода центра свечения из основного в возбужденное состояние в единицу времени; τ — постоянная времени релаксации возбужденных центров, обусловленной излучательными переходами в основное состояние.

Величину α , характеризующую взаимодействие свободных носителей заряда с центрами свечения, обычно

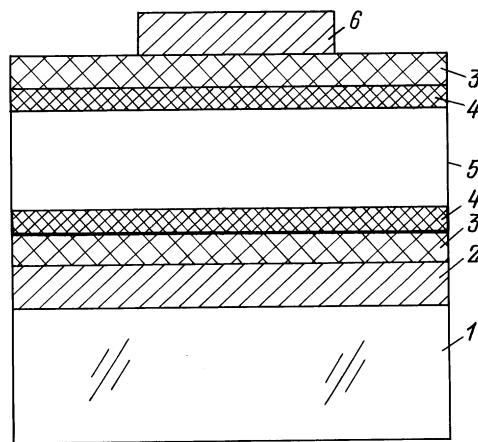


Рис. 1. Структура ЭЛИ: 1 — стеклянная подложка, 2 — прозрачный электрод на основе SnO_2 , 3 — слой диэлектрика на основе SiO_2 , 4 — слой диэлектрика на основе $\text{ZrO}_2 \times \text{Y}_2\text{O}_3$, 5 — ЭЛ слой ZnS:Mn, 6 — непрозрачный электрод на основе Al.

выражают через сечение ударного возбуждения σ

$$\alpha(t) = \frac{1}{e} \sigma j(t), \quad (2)$$

где e — заряд электрона; $j(t)$ — плотность тока проводимости, протекающего сквозь слой люминофора.

Яркость излучения ЭЛ структуры зависит от скорости перехода центров свечения из возбужденного в основное состояние [3]

$$B(t) = \eta_e d_e \frac{N^*(t)}{\tau}, \quad (3)$$

где d_e — толщина слоя люминофора; η_e — эффективность светового выхода, пропорциональная числу фотонов, излучаемых с поверхности, к полному числу фотонов, возникающих в объеме люминесцентного слоя.

Уравнение (3) решалось для возбуждающего напряжения треугольной, трапецеидальной, синусоидальной и прямоугольной форм. При прямоугольной форме этого напряжения полагали, что фронт импульса является экспоненциальным с постоянной времени нарастания τ_i , много меньшей постоянной времени нарастания яркости свечения ТП ЭЛИ, что соответствует реальным условиям формирования подобных импульсов. В качестве допущенной при расчете аналогично [4] принималось, что возбуждение ЭЛИ осуществляется периодическим знакопеременным симметричным напряжением; диэлектрические слои структуры одинаковы, однородны и не имеют диэлектрических потерь; волны яркости, определяемые формулой (3), одинаковы в разные полупериоды возбуждающего напряжения; величины η_e и τ не зависят от формы и амплитуды напряжения возбуждения. В этом случае формы импульсов тока, протекающего через ЭЛ слой, и формы волн яркости свечения ЭЛИ, показанные на рис. 2, близки к формам импульсов тока и волн яркости, наблюдаемых в реальных ТП ЭЛИ авторами работ [5,6] и данной работы. При этом в течение времени $t < t_i$ при котором возбуждающее напряжение достигает порогового напряжения ЭЛ структуры V_b , соответствующего началу свечения ЭЛИ, ток проводимости через ЭЛ слой отсутствует и через ЭЛИ протекает только емкостной ток [4]. При $V \geq V_i$ падение напряжения на ЭЛ слое определяется процессом генерации носителей заряда за счет ударной ионизации, остается примерно постоянным и равным амплитудному значению порогового напряжения собственно ЭЛ слоя V_{ie} [7]. При этом до достижения внешним напряжением амплитудного значения V_m при $t = t_m$ через ЭЛ слой протекает ток проводимости, определяемый выражением

$$j(t) = C_{d0} \frac{dV(t)}{dt}, \quad (4)$$

где C_{d0} — удельная емкость диэлектрических слоев ЭЛИ, $V(t)$ — закон изменения возбуждающего напряжения.

Рассмотрим решение уравнения (1) для различных форм возбуждающего напряжения. Для напряжений треугольной и трапецеидальной форм на участке нарастания

напряжения ($CV(t) = bt$, где $b = V_m/t_m$) плотность тока проводимости равна

$$j(t) = C_{d0} \frac{V_m}{t_m}. \quad (5)$$

Тогда значение α для линейно нарастающего напряжения с учетом (5) равно

$$\alpha = \frac{\sigma}{e} C_{d0} \frac{V_m}{t_m} = \frac{a}{t_m}, \quad (6)$$

где $a = \sigma C_{d0} V_m / e$.

Уравнение (1) с учетом (6) примет вид

$$\frac{dN^*(t)}{dt} = \frac{a}{t_m} [N - N^*(t)] - \frac{N^*(t)}{\tau}. \quad (7)$$

Решение данного уравнения складывается из общего решения однородного и частного решения неоднородного уравнений. Общее решение однородного уравнения имеет вид

$$N^*(t) = D \exp \left[- \left(\alpha + \frac{1}{\tau} \right) t \right], \quad (8)$$

где α определяется формулой (6), D — постоянная интегрирования.

Частное решение неоднородного уравнения представляет собой

$$N^*(t) = \frac{\alpha N}{\alpha + 1/\tau}. \quad (9)$$

Суммируя (8) и (9), получим общее решение уравнения (7)

$$N_i^*(t) = D \exp \left[- \left(\alpha + \frac{1}{\tau} \right) t \right] + \frac{\alpha N}{\alpha + 1/\tau}, \quad (10)$$

где D определяется начальными условиями.

При $t > t_m$, когда амплитуда возбуждающего напряжения становится меньше V_m для напряжения возбуждения треугольной формы) или не изменяется (для напряжения трапецеидальной формы), напряжение на ЭЛ слое уменьшается ниже V_{ie} вследствие заряда емкостей диэлектрических слоев, прекращается процесс генерации носителей за счет ударной ионизации, ток проводимости через ЭЛ слой стремится к нулю и начинается спад интенсивности свечения ТП ЭЛИ, который продолжается до следующего достижения приложенным напряжением значения $|V_i|$. При этом $j(t) = 0$ и уравнение (1) примет вид

$$\frac{dN^*(t)}{dt} + \frac{N^*(t)}{\tau} = 0. \quad (11)$$

Решением этого уравнения является

$$N_d^*(t) = D \exp \left(- \frac{t}{\tau} \right), \quad (12)$$

где D — постоянная, определяемая из условия $N_i^*(t_m) = N_d^*(t_m)$.

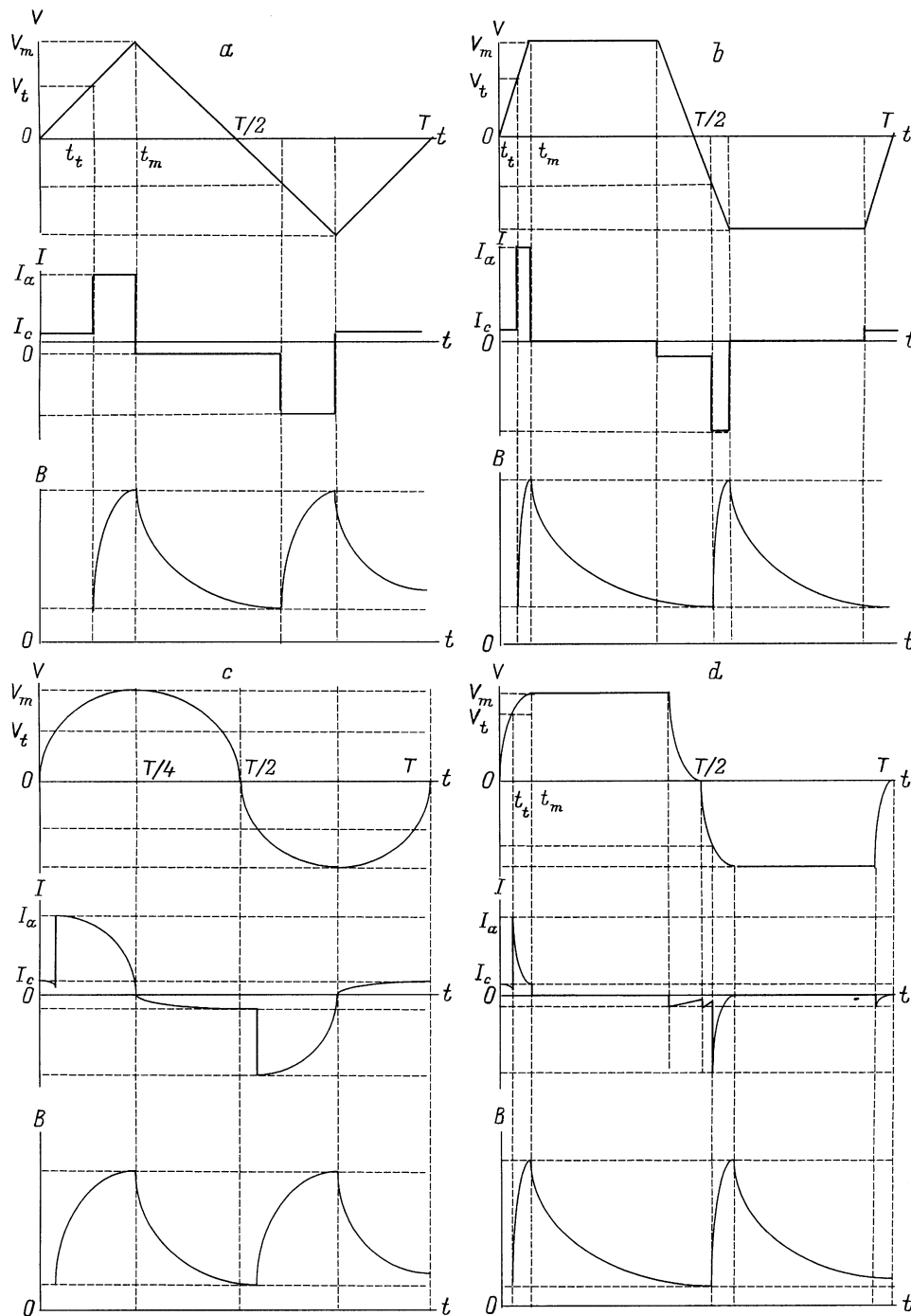


Рис. 2. Зависимости напряжения, тока и яркости свечения ТП ЭЛИ от времени для различных форм возбуждающего напряжения: *a* — треугольная, *b* — трапецидальная, *c* — синусоидальная, *d* — прямоугольная.

Решая уравнения (7) и (11) для установившегося режима возбуждения, когда значение концентрации $N_d^*(t)$ при спаде не достигает нулевого значения (режим высоких частот, критерием для которого является условие (4), (5) $\tau > T/2$, T — период возбуждающего напряжения), и подставляя полученные выражения в уравнение (3), получим зависимости, описывающие кинетику из-

менения яркости ТП ЭЛИ $B(t)$ при возбуждении его линейно нарастающим напряжением. Наблюдаемое среднее значение яркости в соответствии с законом Тальботта равно

$$B_{\text{mid}} = \frac{2}{T} \int_{t_t}^{t_t+T/2} B(t) dt. \quad (13)$$

Тогда выражение для средней яркости ТП ЭЛИ при возбуждении его напряжением треугольной формы будет иметь вид

$$B_{\text{mid}} = \frac{2\eta_e d_e \alpha N}{T\tau(\alpha + 1/\tau)} \left\{ (t_m - t_i) - \frac{1-A}{\alpha + 1/\tau} \right. \\ \times \left[1 - \exp\left[-\left(\alpha + \frac{1}{\tau}\right)(t_m - t_i)\right] \right] \\ + \tau \left[1 - (1-A)\exp\left[-\left(\alpha + \frac{1}{\tau}\right)(t_m - t_i)\right] \right] \\ \times \left[1 - \exp\left(-\frac{t_i + T/2 - t_m}{\tau}\right) \right] \left. \right\}, \quad (14)$$

где

$$A = \left[1 - \exp\left[-\left(\alpha + \frac{1}{\tau}\right)(t_m - t_i)\right] \right] \\ \times \exp\left(-\frac{t_i + T/2 - t_m}{\tau}\right).$$

Для трапециoidalного возбуждающего напряжения решение уравнения (1) описываются формулами (10) и (12) аналогично напряжению треугольной формы. Однако для трапециoidalного напряжения в момент времени t_m полный ток через ЭЛ структуру обращается в нуль (рис. 1).

Для возбуждающего напряжения синусоидальной формы закон изменения которого имеет вид $V = V_m \sin \omega t$, где $\omega = 2\pi/T$ — круговая частота, с учетом формул (2) и (4) величина α равна

$$\alpha = \frac{\sigma}{e} C_{d0} V_m \omega \cos \omega t = a \omega \cos \omega t. \quad (15)$$

Тогда с учетом (15) общим решением однородного уравнения (1) является

$$N^*(t) = D \exp\left[-\left(a \sin \omega t + \frac{t}{\tau}\right)\right]. \quad (16)$$

Исходное уравнение (1) не решается аналитически, однако при условии $\alpha \ll 1/\tau$ можно получить приближенное общее решение.

Спад концентрации $N^*(t)$ при $\alpha = 0$ описывается уравнением (12). Тогда с учетом начальных условий, усредняя полученные решения уравнения (1) в соответствии с формулой (13) по интервалу времени $[t_i; t_i + T/2]$, найдем выражение для средней яркости ЭЛИ при возбуждении

его синусоидальным напряжением

$$B_{\text{mid}} = \frac{2\eta_e d_e \alpha N}{T\tau} \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \left\{ \tau \cos \omega t_i \exp\left(-\frac{2t_i}{\tau}\right) \right. \\ \exp(-2t_i/\tau) (\omega\tau \sin \omega t_i - 2 \cos \omega t_i) \\ - \omega\tau \exp(-T/2\tau) \\ + 3 \frac{-\omega\tau \exp(-T/2\tau)}{\omega^2\tau[1 + (2/\omega\tau)^2]} \\ + \left[\frac{1 + \omega^2\tau^2}{\omega\tau} A \exp\left[a \sin \omega t_i + \frac{t_i}{\tau}\right] \right] \\ + \tau \exp\left(-\frac{t_i}{\tau}\right) (\omega\tau \sin \omega t_i - \cos \omega t_i) \left. \right] \\ \times \left(\exp\left(-\frac{T}{4\tau}\right) - \exp\left(-\frac{t_i}{\tau}\right) \right) \\ + \tau \exp\left[-\left(a + \frac{T}{4\tau}\right)\right] \left[\omega\tau \exp\left(-\frac{T}{4\tau}\right) \right. \\ - \exp\left(-\frac{t_i}{\tau}\right) (\omega\tau \sin \omega t_i - \cos \omega t_i) \\ + \frac{1 + \omega^2\tau^2}{\omega\tau} A \exp\left[a \sin \omega t_i + \frac{t_i}{\tau}\right] \left. \right] \\ \times \left[1 - \exp\left(-\frac{t_i + T/2 - t_m}{\tau}\right) \right] \left. \right\}, \quad (17)$$

где

$$A = \frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \exp\left[-\left(a + \frac{T}{4\tau}\right)\right] \cdot \left[\omega\tau \exp\left(-\frac{T}{4\tau}\right) \right. \\ \left. - \exp\left(-\frac{t_i}{\tau}\right) (\omega\tau \sin \omega t_i - \cos \omega t_i) \right] \exp\left(-\frac{t_i + T/2 - t_m}{\tau}\right).$$

Для реального возбуждающего напряжения прямоугольной формы с экспоненциальным фронтом, изменяющимся по закону $V(t) = V_m[1 - \exp(-t/\tau_i)]$, где τ_i — постоянная времени нарастания фронта импульса, $\tau \gg \tau_i$, с учетом формул (2) и (4) величина α равна

$$\alpha = \frac{\sigma}{e} C_{d0} \frac{V_m}{\tau_i} \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right) = \frac{a}{\tau_i} \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right). \quad (18)$$

Тогда с учетом (18) общим решением однородного уравнения (1) будет

$$N^*(t) = D \exp\left[-\left(\frac{t}{\tau} - a \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right)\right)\right]. \quad (19)$$

Уравнение (1) не решается аналитически, однако в конкретном случае при $\tau \gg \tau_i$ и $\alpha \ll 1/\tau$, пренебрегая α , можно получить приближенное общее решение неоднородного уравнения.

Спад концентрации $N^*(t)$ определяется также формулой (12). Тогда, усредняя полученные зависимости по

интервалу времени $[t_i; t_i + T/2]$, получим выражение для средней яркости ЭЛИ при возбуждении его напряжением прямоугольной формы

$$\begin{aligned}
 B_{\text{mid}} = & \frac{2\eta_e d_e a N}{T\tau} \left\{ \left[A \exp\left[\frac{t_i}{\tau} - a \exp\left(-\frac{t_i}{\tau_i}\right)\right] \right. \right. \\
 & + \exp\left(-\frac{t_i}{\tau_i}\right) \left. \right] \tau \left(\exp\left(-\frac{t_i}{\tau}\right) - \exp\left(-\frac{t_m}{\tau}\right) \right) \\
 & - \tau_i \left(\exp\left(-\frac{t_i}{\tau_i}\right) - \exp\left(-\frac{t_m}{\tau_i}\right) \right) \\
 & + \tau \left[A \exp\left[\frac{t_i}{\tau} - a \exp\left(-\frac{t_i}{\tau_i}\right)\right] + \exp\left(-\frac{t_i}{\tau_i}\right) \right. \\
 & \left. - \exp\left(-\frac{t_m}{\tau_i}\right) \right] \exp\left[-\frac{t_m}{\tau} - a \exp\left(-\frac{t_m}{\tau_i}\right)\right] \left. \right\} \\
 & \times \left[1 - \exp\left(-\frac{t_i + T/2 - t_m}{\tau}\right) \right], \quad (20)
 \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
 A = & \left[\exp\left(-\frac{t_i}{\tau_i}\right) - \exp\left(-\frac{t_m}{\tau_i}\right) \right] \\
 & \times \exp\left[-\left(\frac{t_m}{\tau} - a \exp\left(-\frac{t_m}{\tau_i}\right)\right)\right] \\
 & \times \left[1 - \exp\left(-\frac{t_i + T/2 - t_m}{\tau}\right) \right].
 \end{aligned}$$

На основании полученных зависимостей (14), (17), (20) был выполнен расчет средней яркости свечения ТП ЭЛИ для различных форм возбуждающего знакопеременного симметричного напряжения относительно средней яркости ТП ЭЛИ при возбуждении напряжением треугольной формы для одинаковых амплитудных значений импульсов напряжения и периода их следования. При определении расчетного значения средней яркости величина удельной емкости диэлектрических слоев ТП ЭЛИ принималась равной $C_{d0} \approx 10^{-8} \text{ F/cm}^2$, а значения σ и τ по данным [8] для ZnS:Mn составляли $\sigma \approx 4 \cdot 10^{-16} \text{ cm}^2$, $\tau \approx 2 \text{ ns}$. Как следует из таблицы, расчетные значения средней яркости ЭЛИ возрастают с увеличением скорости нарастания напряжения, что соответствует формуле (4).

Для проверки аналитических результатов экспериментально исследованы образцы ТП Эл МДПДМ структур

Расчетные и экспериментальные значения средней яркости при различных формах возбуждающего напряжения

Форма напряжения	Расчет	Эксперимент
Треугольная	1	1
Синусоидальная	1.22	1.26
Трапецеидальная	1.70	2.02
Прямоугольная	2.06	2.33

на основе ZnS:Mn (рис. 1). В качестве подложки применялись стеклянные пластины с нанесенным сплошным прозрачным электродом на основе SnO_2 толщиной $0.2 \mu\text{m}$. Поверх прозрачного электрода наносились два диэлектрических слоя: оксида кремния (SiO_2) толщиной $0.2 \mu\text{m}$ и твердого раствора оксидов циркония и итрия ($\text{ZrO}_2 \times \text{Y}_2\text{O}_3$ (13%mass)) толщиной $0.05 \mu\text{m}$. Толщина Эл слоя составляла $0.7 \mu\text{m}$. В качестве второго диэлектрика структуры также использовались слои SiO_2 толщиной $0.2 \mu\text{m}$ и $\text{ZrO}_2 \times \text{Y}_2\text{O}_3$ (13%mass) толщиной $0.05 \mu\text{m}$. Вторым непрозрачным электродом служила пленка алюминия толщиной $0.25 \mu\text{m}$.

Возбуждение образцов осуществлялось с помощью генератора сигналов специальной формы Г6-37 с дополнительным усилителем. Яркость Эл структур измерялась с помощью яркомера-люксметра ЯРМ-3 с погрешностью измерения 8%. Напряжение на ЭЛИ измерялось цифровым вольтметром В7-40/3. Амплитуда импульсов напряжения составляла 300 V , частота следования — 500 Hz . Для трапецеидальной формы напряжения время нарастания и спада напряжения составляло $80 \mu\text{s}$. Для прямоугольного напряжения постоянная времени нарастания импульса напряжения составляла $\tau_i = 1 \mu\text{s}$.

Результаты экспериментальных исследования (см. таблицу) подтверждают влияние формы возбуждающего напряжения на среднюю яркость свечения ТП ЭЛИ, причем возрастание средней яркости с увеличением скорости нарастания напряжения более значительно по сравнению с расчетными данными. Это количественное расхождение расчетных и экспериментальных результатов можно объяснить приближенными решениями уравнения (1) в случае синусоидального и прямоугольного напряжений, отклонением исходных параметров при расчете (C_{d0} , σ , τ) от реальных, погрешностью эксперимента, а также неучетом зависимостей величин η_e , σ и τ от формы возбуждающего напряжения.

Причины возрастания яркости свечения при этом могут быть связаны с различным зарядом, протекающим через Эл слой во время генерации носителей в Эл слое, что обуславливает разные значения активной мощности, затрачиваемой на генерацию излучения.

Однако заряд, протекший через Эл слой во время генерации носителей в Эл слое, согласно [4], равен

$$\begin{aligned}
 Q &= \int_{t_i}^{t_m} C_d \frac{dV(t)}{dt} dt = m C_e V_1 (m - 1) \\
 &= Q_i (m + 1)(n - 1), \quad (21)
 \end{aligned}$$

Q_i — пороговый заряд в Эл слое, соответствующий началу свечения и не зависящий от формы возбуждающего напряжения, $a = C_d/C_e = \varepsilon_d/\varepsilon_e/d_d/d_e$, где ε_d , ε_e — диэлектрические проницаемости материалов диэлектрических и Эл слоев, $n = V_m/V_i$.

В соответствии с [4] активная мощность, выделяемая в ЭЛИ и обусловленная протеканием активного тока

сквозь ЭЛ слой, отлична от нуля в интервале времени $t_i \leq t < t_m$, т.е. когда напряжение на ЭЛИ $V \geq V_i$. Тогда мгновенная активная мощность определяется в виде

$$P_a(t) = V_{te} \cdot I_a(t), \quad (22)$$

а активная мощность P_a с учетом одинаковости полувольт возбуждающего напряжения равна

$$P_a = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} P_a(t) dt. \quad (23)$$

С учетом (22) и (4)

$$P_a(t) = C_d V_{te} \frac{dV(t)}{dt}. \quad (24)$$

Учитывая (21), (24), выражение для P_a примет вид

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{2}{T} \int_{t_i}^{t_m} C_d V_{te} \frac{dV(t)}{dt} dt \\ &= \frac{2}{T} C_d V_{te} \int_{V_i}^{V_m} dV = \frac{2}{T} V_{te} Q. \end{aligned} \quad (25)$$

Как следует из (25), активная мощность, выделяемая в ЭЛИ, не зависит от формы возбуждающего напряжения и аналогично [4] равна

$$P_a = P_i^s (m+1)(n-1) S_e, \quad (26)$$

где $P_i^s = 2FQ_i^s V_{te} = 2FQ_i^s E_{te} d_e$ — пороговая плотность мощности, V_{te} и E_{te} — пороговые напряжения и напряженность поля в ЭЛ слое, Q_i^s — пороговая плотность заряда в ЭЛ слое, $Q_i^s = C_e V_{te} / S_e$, S_e — площадь ЭЛИ.

Экспериментальные исследования вольт-зарядовых характеристик ТП ЭЛИ, выполненные нами с помощью осциллографа С1-83 по методике [9] при разных формах напряжения возбуждения, свидетельствуют о том, что площади петель гистерезиса указанных характеристик при генерации излучения ТП ЭЛИ, пропорциональные активной мощности P_a , в пределах погрешности измерения одинаковы при одинаковых амплитуде и частоте возбуждающих напряжений, что подтверждает независимость рассеиваемой в ЭЛИ активной мощности от формы напряжения возбуждения.

Для равномерно излучающей во всех направлениях поверхности ТП ЭЛИ светоотдача, определяемая отношением излученного светового потока к активной мощности, при этом составляет аналогично [4]

$$\eta_B = \frac{\pi B_{\text{mid}}}{P_i^s (m+1)(n-1)} \quad (27)$$

и при увеличении скорости нарастания напряжения (при изменении формы возбуждающего напряжения) возрастает аналогично росту яркости.

Механизм увеличения яркости при изменении формы напряжения возбуждения заключается в том, что при возрастании скорости нарастания напряжения в соответствии с (2), (4) растет амплитуда импульса тока проводимости $I_a(t)$ (рис. 2) и увеличивается вероятность перехода центра свечения из основного в возбужденное состояние в единицу времени, что обуславливает в свою очередь достижение более высоких значений концентрации возбужденных центров и, следовательно, мгновенной яркости к моменту времени $t = t_m$. В условиях одинаковой постоянной времени релаксации возбужденных центров τ это приводит к возрастанию наблюдаемой средней яркости свечения ТП ЭЛИ.

Таким образом, в результате теоретических и экспериментальных исследований показано, что при изменении формы возбуждающего напряжения с увеличением скорости его нарастания происходит существенное возрастание средней яркости свечения и светоотдачи ТП ЭЛИ. Полученные данные могут быть использованы как для повышения яркости подобных ЭЛИ, так и для снижения амплитуды возбуждающего напряжения при заданной яркости свечения.

Список литературы

- [1] Электролюминесцентные источники света / Под ред. И.К. Верещагина. М.: Энергоатомиздат, 1990. 168 с.
- [2] Власенко Н.А. Физические основы полупроводниковой электроники. Киев, 1985. С. 254–168.
- [3] Самохвалов М.К. // ЖПС. 1995. Т. 62. Вып. 3. С. 182–185.
- [4] Гурин Н.Т. // ЖТФ. 1996. Т. 66. Вып. 5. С. 77–85.
- [5] Vikay P. Singh, Srinivas Krishna, David Morton. // J. Appl. Phys. 1991. Vol. 70. N 3. P. 1811–1819.
- [6] Y.S. Chenh, D.C. Krupka. // J. Appl. Phys. 1972. Vol. 43. N 10. P. 4089–4096.
- [7] Гурин Н.Т. // Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника. 1990. Вып. 1 (135). С. 88–90.
- [8] Max P. Поликристаллические полупроводники. Физические свойства и применение / Под ред. Г. Харбеке. М.: Мир, 1989. С. 264–292.
- [9] Marian A. Herman. // Electron Technology. 1986. Vol. 19. N 1/2. P. 23–58.