

06;07;12

Моделирование временных характеристик яркости тонкопленочных электролюминесцентных структур

© Е.Е. Забудский, М.К. Самохвалов

Ульяновский государственный технический университет

Поступило в Редакцию 4 июня 1999 г.

Проведено моделирование волн яркости тонкопленочных электролюминесцентных излучателей, на основании чего определена длительность светотехнических переходных процессов. Сформулирован принцип управления индикаторами, обеспечивающий максимальную яркость свечения светоизлучающих устройств.

Тонкопленочные электролюминесцентные (ТПЭЛ) структуры металл–диэлектрик–люминофор–диэлектрик–прозрачный электрод, работающие на переменном напряжении, в настоящее время являются одними из наиболее перспективных плоских источников излучения. Математическое моделирование ТПЭЛ структур необходимо для выяснения закономерностей протекающих в них электронных процессов, а также для разработки режимов возбуждения люминесценции и устройств формирования изображения на ТПЭЛ индикаторных устройствах, в том числе и матричного типа. Процесс моделирования параметров рассматриваемых приборов может быть условно разделен на два этапа: 1) определение электрических характеристик тонкопленочных индикаторов [1]; 2) расчет по результатам, полученным на предыдущем этапе, светотехнических параметров устройств.

Особенностью анализа оптических и электрических свойств электролюминесцентных источников излучения при возбуждении переменным напряжением является периодичность изменения основных характеристик. В установившихся режимах возбуждения заряд, ток, рассеиваемая мощность и яркость излучения электролюминесцентной структуры изменяются одинаковым образом в течение каждого периода, поэтому характеристики являются взаимосвязанными и могут быть выражены с помощью усредненных за период значений параметров [2]. Однако

изучение переходных процессов в ТПЭЛ структурах, необходимое прежде всего для разработки режимов и схем возбуждения индикаторных устройств, позволяет определить временные характеристики свечения излучателей.

Зависимость параметров электролюминесценции от приложенного напряжения определяется полевым процессом туннелирования электронов, т.е. скоростью генерации носителей, а не их ускорением в пленке люминофора. Кинетика ударного возбуждения определяется скоростью изменения плотности возбужденных центров свечения в люминофоре [3,4]:

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

где N^* — концентрация возбужденных центров; N — концентрация центров свечения; σ — сечение ударного возбуждения; e — заряд электрона; τ — постоянная времени релаксации, обусловленной излучательными переходами в основное состояние; $j(t)$ — плотность активного тока, протекающего в активном слое.

Мгновенная яркость свечения электролюминесцентной структуры зависит от скорости перехода центров свечения из возбужденного в основное состояние:

$$B(t) = \eta_c d_{ph} \frac{N^*(t)}{\tau}, \quad (2)$$

где d_{ph} — толщина люминофора; η_c — эффективность светового выхода. Значение эффективности определяется оптическими константами используемых материалов:

$$\eta_c = \frac{K_\lambda}{\pi} h\nu \cdot \eta_s, \quad (3)$$

где K_λ — коэффициент видности, определяющий переход от энергетических характеристик излучения к величинам, характеризующим световое восприятие человеческого глаза; $h\nu$ — энергия излучаемых фотонов; η_s — коэффициент, определяемый отношением числа фотонов, излучаемых с поверхности электролюминесцентного конденсатора, к полному числу фотонов, возникающих в объеме люминесцентного слоя.

Подставив (2) в уравнение (1), получим обыкновенное дифференциальное уравнение первого порядка вида

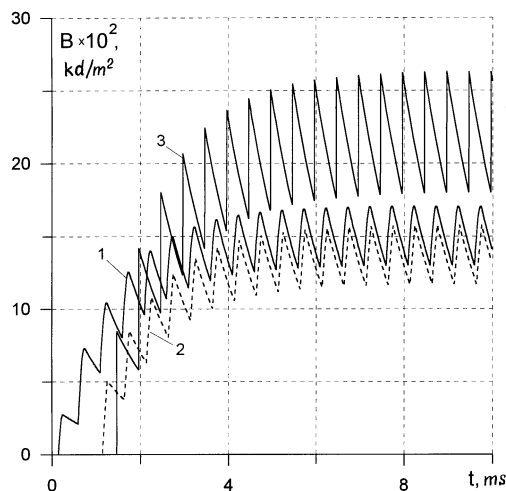
$$\frac{dB(t)}{dt} = \frac{\sigma}{e} j(t) \left[\frac{N\eta_c d}{\tau} - B(t) \right] - \frac{B(t)}{\tau}, \quad (4)$$

решением которого является временная зависимость мгновенной яркости свечения ТПЭЛ структуры (волна яркости). Уравнение (4) является нелинейным и решается численным методом. Характер волн яркости $B(t)$ обусловлен изменением во времени плотности активного тока, протекающего в слое люминофора $j(t)$. Зависимость $j(t)$ определяется в результате математического моделирования электрических характеристик электролюминесцентных приборов, выполненного на базе описания нелинейной эквивалентной схемы ТПЭЛ индикатора системой уравнений, составленной согласно основным законам теории электрических цепей [1]. Кроме того, для проверки адекватности модели данная функция $j(t)$ определялась экспериментально путем дифференцирования по времени заряда на границе люминофор/диэлектрик тонкопленочной структуры.

Решение уравнения (4) выполнено методом Рунге–Кутты четвертого порядка. В качестве начальных условий приняты $t_0 = 0$ с, $B_0 = B(t_0) = 0$ кд/м². Расчет выполнен для следующих значений физических параметров [2]: $N = (1-2) \cdot 10^{18}$ см⁻³, $\sigma = 2 \cdot 10^{-16}$ см², $\tau = 1.3$ мс, $K_\lambda = 520$ лм/Вт, $h\nu = 2.1$ эВ, $\eta_s = 0.09$, $d_{ph} = 0.5-2$ мкм. Полученные временные зависимости яркости свечения ТПЭЛ структур при возбуждении свечения напряжением различной формы частотой 1 кГц и амплитудой 200 В представлены на рисунке.

Экспериментальные исследования были проведены для структур на основе пленок ZnS:Mn с диэлектрическими слоями ZrO₂-Y₂O₃, сформированных электронно-лучевым напылением на стеклянную подложку с прозрачным электродом (ITO). Получено хорошее соответствие между экспериментальными и расчетными вольт-яркостными характеристиками; результаты качественно согласуются с известными данными [5].

Полученные результаты позволяют сделать следующий вывод, имеющий важное практическое значение при создании устройств управления ТПЭЛ индикаторными элементами. На основе математического моделирования и экспериментальных результатов, полученных автором, а также другими исследователями, установлено, что длительность электрических переходных процессов в тонкопленочных структурах составляет 1–3 периода приложенного напряжения. В то же время на основании исследований светотехнических характеристик (волн яркости), проведенных в данной работе, выяснено, что продолжительность переходных процессов, определяемая по временным зависимостям яркости свечения электролюминесцентных излучателей, может достигать



Волны яркости ТПЭЛ структур при возбуждении люминесценции синусоидальным (1), треугольным (2) и импульсным напряжением (3).

десяти периодов. Таким образом, средняя (кажущаяся) яркость, определяемая согласно закону Тальбота, при возбуждении люминесценции периодическим знакопеременным напряжением в течение одного или даже нескольких периодов значительно ниже значений яркости, которые могут быть получены при приложении к ТПЭЛ элементу напряжения на время, соответствующее большему числу периодов.

Из изложенного следует, что при разработке схем управления ТПЭЛ панелями с большим числом элементов для получения высоких уровней яркости необходимо обеспечивать высвечивание индикаторных элементов пакетами импульсов знакопеременного напряжения, причем длительность этих пакетов не должна быть меньше времени, необходимого для достижения установившегося режима свечения излучателей. Данный принцип реализован в оригинальном устройстве формирования изображения на электролюминесцентном матричном экране, выполненном на двунаправленных полупроводниковых элементах с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

Работа выполнена в рамках проекта А0065 ФЦП "Интеграция".

Список литературы

- [1] *Забудский Е.Е., Самохвалов М.К.* // Микроэлектроника. 1999. Т. 28. В. 2. С. 117–125.
- [2] *Самохвалов М.К.* // ЖТФ. 1996. Т. 66. В. 10. С. 139–144.
- [3] *Allen J.W.* // J. of Luminescence. 1981. V. 23. N 1–2. P. 127–139.
- [4] *Самохвалов М.К.* // Журн. прикл. спектроскопии. 1995. Т. 62. В. 3. С. 182–185.
- [5] *Muller G.O., Mach R.* // J. of Luminescence. 1988. N 40–41. P. 92–96.