

06

© 1993

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА
ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ
ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

М.К. Самохвалов

Тонкопленочные электролюминесцентные конденсаторы являются одними из наиболее перспективных индикаторных устройств вследствие высоких значений яркости, эффективности и долговечности. Для исследования свойств и испытания тонкопленочных электролюминесцентных структур и для разработки режимов возбуждения электролюминесценции необходимо создание электрической модели тонкопленочного конденсатора.

Задача электрического моделирования электронных процессов в электролюминесцентных структурах сводится к построению эквивалентной электрической схемы с сосредоточенными параметрами. Элементы схемы должны отражать основные особенности протекания электронных процессов, позволять моделировать основные закономерности изменения заряда, поля и тока в различных пленках при разных условиях измерения.

Структура тонкопленочного электролюминесцентного конденсатора представляет собой последовательно нанесенные на стеклянную подложку пленки прозрачного электрода, диэлектрика, люминофора, диэлектрика и непрозрачного электрода. Соответственно, эквивалентная схема должна содержать элементы, отражающие свойства всех слоев. Предложенные ранее модели содержали конденсаторы, соответствующие емкостям люминофора и диэлектрика, и нелинейный элемент, характеризующий свойства люминофора в сильных полях [1-4]. Нелинейные электрические свойства пленки люминофора обусловлены тем, что в слабых полях люминофор является достаточно высокоомным ($\rho \sim 10^{10}$ Ом·см), а в сильных полях сопротивление резко уменьшается.

Таким образом, как электрические, так и светотехнические характеристики имеют пороговый характер, т.е. при $V > V_{пор}$ наблюдается резкий рост заряда, тока и яркости. За участком крутого роста следует участок „насыщения“. Поэтому в эквивалентной электрической схеме люминофор имитируется конденсатором C_L с емкостью, равной геометрической емкости слоя люминофора, и параллельно включенным нелинейным сопротивлением [2, 3] или включенными навстречу друг другу стабилитронами [3, 4]. В разрабатываемой модели в качестве нелинейности использованы стабилитроны, имитирующие высокоомное состояние люминофора при напряжении меньше порогового; последовательно с ними включен переменный резистор R_L , позволяющий подбирать сопротивление,

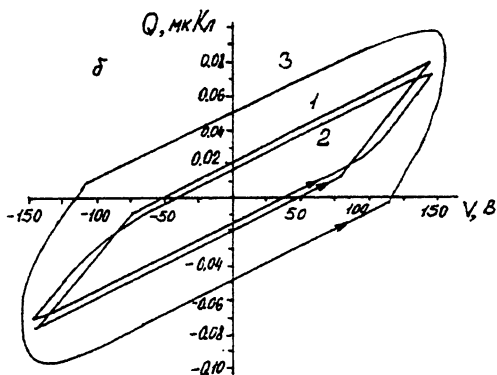
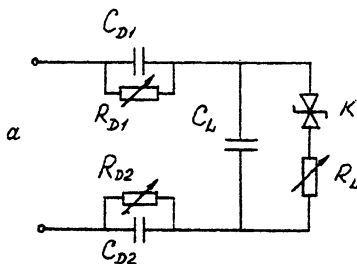


Рис. 1. а - Эквивалентная электрическая схема тонкопленочного электролюминесцентного конденсатора $C_{D1} = C_{D2} = 1$ нФ, $R_{D1} = 2.2$ МОм, $R_{D2} = 3.3$ МОм, $C_L = 330$ пФ, $R_L = 68$ КОм, K - 2 диода КС620А; б - Вольт-зарядовая характеристика, измеренная для эквивалентной схемы на частоте 1 кГц. 1 - $R_{D1} = 2.2$ МОм, $R_{D2} = 3.3$ МОм, $R_L = 0$; 2 - $R_{D1} = 2.2$ МОм, $R_{D2} = 3.3$ МОм, $R_L = 30$ КОм; 3 - $R_{D1} = R_{D2} = 100$ КОм, $R_L = 0$.

соответствующее сопротивлению люминофора в низкоомном состоянии, когда напряжение больше порогового значения. Слои диэлектрика в эквивалентной электрической схеме представлены конденсаторами, емкости которых соответствуют геометрическим емкостям диэлектрических пленок, и включенными параллельно с ними переменными резисторами, позволяющими подбирать сопротивления, характеризующие как высокоомное непроводящее состояние диэлектрика, так и диэлектрик со значительной сквозной проводимостью. Последовательно с ними включается резистор, характеризующий сопротивление пленок прозрачного и непрозрачного электрода.

Полностью эквивалентная электрическая схема тонкопленочного электролюминесцентного конденсатора представлена на рис. 1, а. Подобная схема исследовалась в работе [4], однако в ней последо-

вательно с ключевыми элементами была размещена RC -цепь, характеризующая инерционность процессов нарастания и спада яркости излучения, что представляется не вполне корректным, так как оптические процессы неоднозначно связаны с электрическими явлениями и моделирование оптических эффектов электрическими элементами может привести к искажениям электрических характеристик. Для моделирования световых явлений можно было бы соединить последовательно с ключами светодиода, однако в данной работе не ставилась задача создания полной модели излучателя, а моделировались только лишь электронные процессы. Кроме того, в схему не включены элементы, характеризующие паразитные параметры цепи: емкость и сопротивление, так как их значения для исследованных нами тонкопленочных структур были незначительными. Эти параметры необходимо учитывать для электролюминесцентных экранов больших размеров [1]. Значения номиналов элементов эквивалентной схемы рассчитывались исходя из соответствующих величин для реальных тонкопленочных электролюминесцентных структур. Для проведения экспериментальных исследований использовались структуры с диэлектрическими слоями емкостью $C_D \sim 10^3$ пФ и значениями удельного сопротивления в слабых полях $\rho \sim 10^{12}-10^{13}$ Ом·см [5], что соответствовало значениям эквивалентного сопротивления $R_D \sim 10^9-10^{10}$ Ом. Однако, как показали экспериментальные исследования электрической модели, изменения характеристик не наблюдались при изменении сопротивления до 10^6 Ом, поэтому в эквивалентной схеме сопротивления электрических слоев моделировались переменными резисторами номиналом 2-3 МОм. В качестве нелинейного ключевого элемента K использованы два встречно включенных стабилитрона КС620А, имеющих напряжение стабилизации 120 В, что соответствовало пороговому напряжению тонкопленочных электролюминесцентных излучателей. Сопротивление стабилитронов в открытом состоянии равнялось 47 Ом, последовательно с ними для моделирования сопротивления люминофора включался переменный резистор номиналом 68 кОм. Рассчитанное сопротивление электродов не превышало 1 Ом, поэтому в эквивалентной схеме для характеристики электродных сопротивлений не использовались отдельные элементы.

Сравнение электрических свойств реальных тонкопленочных электролюминесцентных излучателей и эквивалентной схемы проводилось путем измерения вольт-зарядовых характеристик и зависимостей тока через тонкопленочную структуру от времени (воли тока) (рис. 1, б и 2). Данные характеристики полностью соответствуют экспериментальным результатам, полученным для различных образцов тонкопленочных электролюминесцентных излучателей. На этих рисунках представлены наиболее типичные характеристики, имитирующие тонкопленочные структуры с высокоомным диэлектриком и низкоомным люминофором (кривые 1), с высокоомными (кривые 2) и низкоомными (кривые 3) слоями люминофора и диэлектрика. Эти результаты показывают возможность моделирования

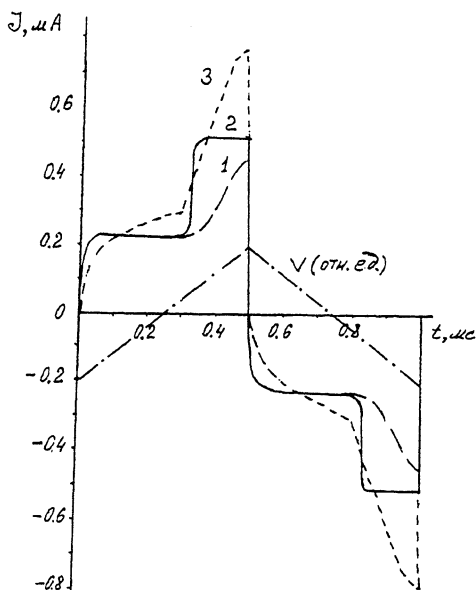


Рис. 2. Зависимости тока от времени для линейно-изменяющегося напряжения. 1 - $R_{D1} = 2.2 \text{ МОм}$, $R_{D2} = 3.3 \text{ МОм}$, $R_L = 0$; 2 - $R_{D1} = 2.2 \text{ МОм}$, $R_{D2} = 3.3 \text{ МОм}$, $R_L = 30 \text{ КОм}$; 3 - $R_{D1} = R_{D2} = 100 \text{ КОм}$, $R_L = 0$.

различных физических процессов в тонкопленочных структурах, а также анализа качества излучателей и выявления потенциально ненадежных элементов.

Таким образом, представленная электрическая модель достаточно адекватно представляет электронные процессы в тонкопленочных электролюминесцентных структурах. Вместе с тем эквивалентная схема может быть дополнена и развита для имитации более сложных эффектов. Как уже упоминалось, она может быть дополнена сопротивлением и емкостью, отражающих паразитные связи в электролюминесцентных экранах. Для моделирования эффектов памяти в схему последовательно со стабилитронами могут быть включены элементы с отрицательным сопротивлением. Несимметричность свойств тонкопленочной структуры и ее электрических характеристик может быть отражена встречным включением различных стабилитронов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Электролюминесцентные источники света / И.К. Верещагин и др. М.: Энергоатомиздат, 1990. 168 с.

- [2] В л а с е н к о Н.А., Г у р ь я н о в С.Н. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1985. Т. 49. В. 10. С. 1090-1915.
- [3] S m i t h D.Н. // J. Luminescence. 1981. V. 23. N 1. P. 209-235.
- [4] R u n y a n W.G., V i c k G.L. // Adv. Display Technology. SPJE. 1986. V. 624. P. 66-72.
- [5] С а м о х в а л о в М.К. // Электронная техника. Сер. 6. Материалы. 1989. В. 1. С. 39-42.

Поступило в Редакцию
16 февраля 1993 г.