

06

©1995

ПЕРЕНОС ЗАРЯДА В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СТРУКТУРАХ

М.К. Самохвалов

Исследование электрических характеристик тонкопленочных электролюминесцентных светоизлучающих структур типа металл-диэлектрик-люминофор-диэлектрик-прозрачный электрод при воздействии переменного напряжения дает возможность производить сравнение скоростей протекания электрических и оптических процессов в различных условиях и исследовать динамику физических явлений в многослойных системах [1].

Зависимости электрических и оптических характеристик электролюминесцентных излучателей от напряжения носят пороговый характер, что определяется особенностями полевых механизмов генерации носителей заряда в пленке люминофора тонкопленочной структуры. В работах [1-3] получены аналитические соотношения для пороговой напряженности электрического поля в люминесцентном слое. Однако в полученных выражениях не проявляется в явном виде зависимости динамических характеристик от величины поляризационного заряда. При периодическом изменении внешнего напряжения поляризационный заряд, устанавливающийся в структуре под действием приложенного напряжения одной полярности, при подаче напряжения другой полярности приводит к увеличению напряженности электрического поля в люминофоре вследствие сложения внешнего поля, обусловленного приложенным напряжением, и внутреннего поля, определяемого влиянием поляризационного заряда. Таким образом, при возбуждении электролюминесценции периодически изменяющимся напряжением с ростом его амплитуды происходит уменьшение величины напряжения, соответствующего переходу люминесцентного слоя в низкоомное состояние [1].

Величина падения напряжения в пленке люминофора определяется внешним напряжением и поляризационным зарядом [3]:

$$V_L = (V - Q_P/C_D)C/C_L, \quad (1)$$

где C , C_D , C_L — емкости тонкопленочной структуры, диэлектрика и люминофора соответственно; V — приложенное напряжение, Q_P — поляризационный заряд.

Это соотношение может быть использовано для определения поляризационного заряда: при малых напряжениях величина заряда остается постоянной, а при больших напряжениях происходит изменение заряда пропорционально приложенному напряжению:

$$Q_P = C_D(V - V_T), \quad (2)$$

где $V_T = V_{LT}C_L/C$ — пороговое напряжение для тонкопленочной структуры; V_{LT} — падение напряжения в слое люминофора, соответствующее его переходу в низкоомное состояние.

Максимальное значение поляризационного заряда устанавливается для амплитудного значения приложенного напряжения: $Q_{PA} = C_D(V_A - V_T)$. Поскольку при уменьшении внешнего напряжения происходит уменьшение электрического поля в люминофоре, скорость уменьшения поляризационного заряда будет незначительной, поэтому начальному значению поляризационного заряда при действии нарастающего напряжения другой полярности будет соответствовать максимальное значение поляризационного заряда для предыдущей амплитуды напряжения, т. е. $Q_{PO} = -Q_{PA}$. Таким образом, значение напряжения переключения при периодическом возбуждении V_{TP} будет отличаться от порогового V_T на величину, определяемую наличием поляризационного заряда:

$$V_{TP} = V_T - Q_{PA}/C_D. \quad (3)$$

С учетом величины и знака поляризационного заряда эта зависимость может быть выражена в следующем виде:

$$V_{TP} = 2V_T - V_A. \quad (4)$$

С ростом амплитуды переменного напряжения происходит уменьшение значения напряжения, соответствующего переключению тонкопленочной структуры в состояние с высокой проводимостью люминофора. На рис. 1 представлены типичные экспериментальные зависимости заряда электролюминесцентного конденсатора, тока через структуру и яркости излучения от времени для излучателей на основе сульфида цинка, легированного марганцем, с диэлектрическими слоями твердого раствора оксида циркония-иттрия. На рис. 2 представлена зависимость напряжения переключения V_{TP} от амплитуды приложенного напряжения V_A .

Значения порогового напряжения V_T , определенные из этого графика, совпадают с полученными из измерений вольт-яркостных и вольт-зарядовых характеристик.

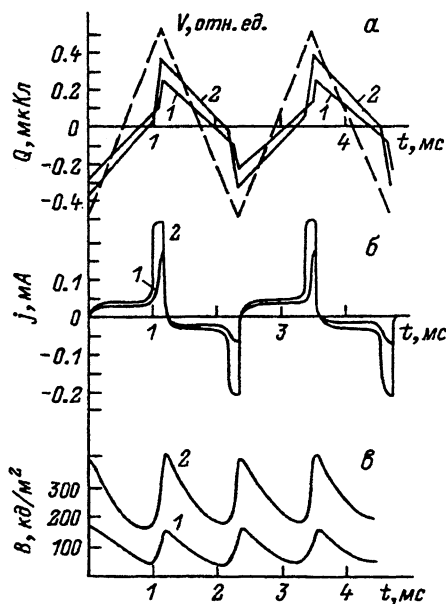


Рис. 1. Зависимости заряда (а), тока (б) и яркости излучения (в) электролюминесцентного конденсатора от времени при возбуждении симметричным пилообразным напряжением амплитудой $V_A = 115$ (1) и 130 В (2).

Величина заряда, перенесенного через люминесцентную пленку за период изменения напряжения с учетом [3] и соотношения (4), может быть записана в следующем виде:

$$Q_L = 2(Q_{PA} - Q_{PO}) = 2C_D(V_A - V_{TP}) = 4C_D(V_A - V_T). \quad (5)$$

Данное соотношение получено с учетом того, что при увеличении напряжения от переключения до амплитудного значения происходит изменение поляризационного заряда от начального отрицательного значения до амплитудного положительного значения. При этом предполагалось, что тонкопленочная структура является симметричной, т. е. свойства верхней и нижней границ раздела люминофора с диэлектрическими слоями одинаковы, что обуславливает независимость электрических параметров электролюминесцентного конденсатора от полярности приложенного напряжения.

Тогда эффективное значение активного тока в слое люминофора тонкопленочного излучателя при возбуждении электролюминесценции переменным напряжением может быть определено как произведение перенесенного за период заряда Q_L и частоты изменения внешнего напряжения:

$$jLE = 4fC_D(V_A - V_T). \quad (6)$$

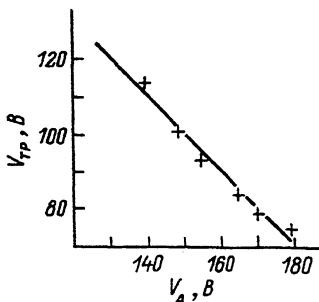


Рис. 2. Зависимость напряжения переключения от амплитуды пилообразного напряжения (частотой 400 Гц).

Таким образом, эффективное значение активного тока определяется разностью между амплитудным и пороговым значением напряжения, тогда как максимальная величина тока определяется амплитудой переменного напряжения и скоростью его изменения в момент переключения люминофора в проводящее состояние. В работе [4] было представлено выражение для активного тока в виде, аналогичном соотношению (6), но отличающимся числовым множителем (2π). Однако в данной статье [4] авторы не показали, каким образом было получено соотношение, на основе теоретического анализа или экспериментальных измерений, что затрудняет проведение сравнения. Вместе с тем общие закономерности зависимости активного тока от амплитуды и частоты напряжения и емкости диэлектрических слоев полностью совпадают, что подтверждает данные проведенных исследований.

Выражения, описывающие в явном виде временные зависимости характеристик, представленные на рис. 1, были получены в работах [1-3]. С учетом влияния поляризационного заряда на напряжение переключения тонкопленочной структуры в состоянии с высокой проводимостью люминофора соотношения для заряда, тока и яркости свечения электролюминесцентного конденсатора для значений напряжения меньше и больше пороговой величины соответственно имеют следующий вид:

$$Q = Q_0 + CV = Q_0 + C_D v(t - t_m); \quad j = C \cdot v;$$

$$B = B_m \cdot \exp[-(t - t_m)/\tau] \quad \text{для } V < V_{TP};$$

$$Q = C \cdot V_{TP} + C_D(V - V_{TP}) = CV_{TP} + C_D v \cdot (t - t_{TP}); \quad j = C_D \cdot v;$$

$$B = B_0 \left[1 - (1 - B_i/B_0) \cdot \exp[-(\alpha + 1/\tau) \cdot (t - t_{TP})] \right] \quad \text{для } V > V_{TP},$$

где $v = dV/dt$ — скорость развертки напряжения, t_m и t_{TP} — моменты времени, соответствующие амплитудному

и пороговому значениям напряжения, τ — постоянная времени спада яркости; B_m , B_i , B_0 — яркости излучения, соответствующие амплитудному и пороговому значениям напряжения и максимальной яркости для данного излучателя; $\alpha = \sigma j/e$ — скорость возбуждения активаторов в люминофоре, σ — сечение возбуждения активатора, e — заряд электрона.

Эти уравнения полностью описывают изменение заряда и яркости, а также тока для высокоомного и низкоомного состояния люминофора. Для анализа изменения тока при переходе из одного состояния в другое необходимо дополнительно учитывать переходные электрические процессы в схемах, содержащих RC -цепи.

Список литературы

- [1] Самохвалов М.К. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. № 6. С. 67–71.
- [2] Самохвалов М.К., Рябинов Е.Б. // ЖПС. 1993. Т. 58. № 5–6. С. 495–499.
- [3] Самохвалов М.К. // Микроэлектроника. 1992, Т. 21. № 3. С. 53–55.
- [4] Theis D., Venghaus H., Ebbinghaus G. // Siemens Forsch. und Entwickl. 1982. Bd. 11. N 5. S. 265–270.

Ульяновский
государственный технический
университет

Поступило в Редакцию
8 февраля 1995 г.
В окончательной редакции
3 мая 1995 г.