

06.3;11;12

©1994

КИНЕТИКА ТОКОПЕРЕНОСА В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЯХ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ПЕРЕМЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

М.К. Самохвалов

Тонкопленочные электролюминесцентные структуры металл – диэлектрик – полупроводник – диэлектрик – металл (МДПДМ) являются в настоящее время одними из наиболее перспективных индикаторных устройств [1]. Возбуждение электролюминесценции в излучателях производится переменным импульсным, синусоидальным или линейно-изменяющимся напряжением. Величина и форма приложенного напряжения обуславливают значения поляризационного заряда, тока и яркости излучения и кинетику их изменения. В данной работе исследуется зависимость величин токов в таких излучателях от условий возбуждения и свойств структур.

Полный ток, протекающий через слои диэлектриков и широкозонного полупроводника, являющегося люминофором, в общем случае складывается из тока смещения и тока проводимости:

$$J = J_{CD} + J_{AD} = J_{CL} + J_{AL}, \quad (1)$$

где $J_{CD} = C_D dV_D/dt$, $J_{CL} = C_L dV_L/dt$ — ток смещения в диэлектрике и люминофоре соответственно, C_D и C_L — емкость слоя диэлектрика и люминофора, dV_D/dt и dV_L/dt — скорость изменения напряжения в слоях диэлектрика и люминофора, J_{AD} и J_{AL} — ток проводимости диэлектрика и люминофора. Обычно полагают, что ток проводимости в диэлектрике незначителен, поэтому считают, что в диэлектрическом слое протекает только ток смещения [2].

Особый интерес представляет ток проводимости в пленке люминофора, поскольку именно он определяет возбуждение центров свечения и интенсивность излучения [1].

Поскольку приложенное напряжение распределяется между слоями люминофора и диэлектрика, то скорость изменения напряжения на структуре складывается из скоростей изменения напряжения для слоев люминофора и диэлектрика:

$$dV/dt = dV_D/dt + dV_L/dt. \quad (2)$$

Из соотношений (1) и (2) могут быть получены следующие выражения для полного тока и тока проводимости в слое люминофора:

$$J = C_D \frac{dV}{dt} \left(1 - \frac{dV_L}{dV} \right), \quad J_{AL} = C_D \frac{dV}{dt} \left(1 - \frac{C_L}{C} \frac{dV_L}{dV} \right), \quad (3)$$

где $C = (C_D^{-1} + C_L^{-1})^{-1}$ — полная емкость структуры.

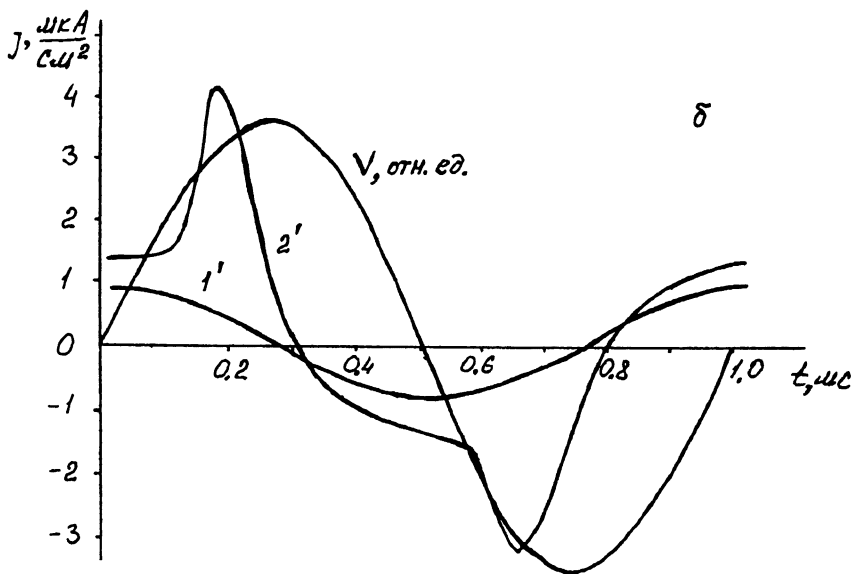
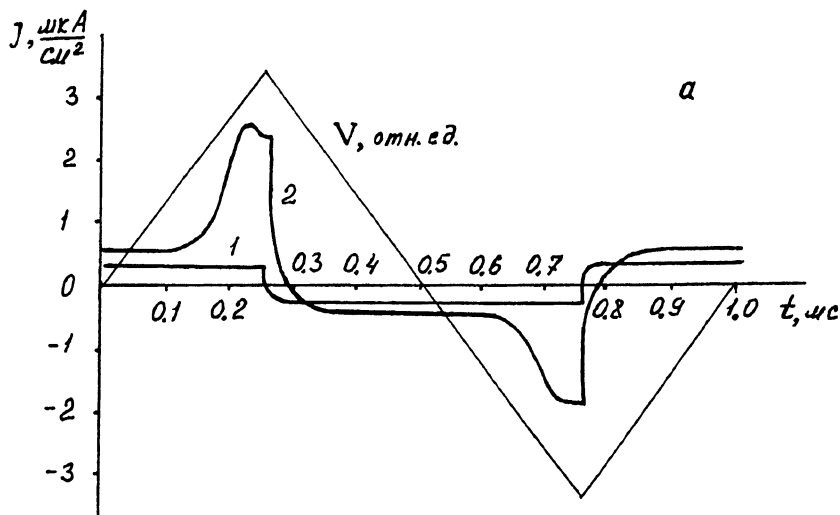
Таким образом, величины токов определяются скоростью развертки напряжения, значениями емкости слоев структуры и зависимостью падения напряжения в слое люминофора от внешнего напряжения. Для выяснения этой зависимости рассмотрим два конкретных случая, представляющих наибольший интерес для понимания процессов, протекающих в тонкопленочных электролюминесцентных излучателях.

Как известно, характеристики светоизлучающих структур имеют пороговую зависимость от приложенного возбуждающего напряжения: когда напряжение меньше некоторого порогового значения V_T , излучение практически отсутствует; если напряжение превышает пороговое значение, происходит возбуждение электролюминесценции и яркость резко увеличивается [1]. На первом участке ($V < V_T$) напряжение на слоях структуры распределяется в соответствии с их геометрическими емкостями, ток проводимости в слое люминофора отсутствует, $J_{AL} = 0$, полный ток является током заряда-разряда электролюминесцентного конденсатора $J = C dV/dt$.

На втором участке ($V > V_T$) происходит резкое увеличение тока проводимости в люминофоре, что сопровождается прекращением роста падения напряжения на слое люминофора, т.е. $V_L \simeq V_{LT}$, $dV_L/dt = 0$. Тогда изменение внешнего напряжения полностью перераспределяется на слой диэлектрика — $dV/dt = dV_D/dt$. Полный ток в структуре равен току проводимости в слое люминофора и представляет из себя зарядный ток емкости диэлектрического слоя:

$$J = J_{AL} = C_D \frac{dV}{dt}. \quad (4)$$

На рисунке представлены графики зависимости напряжения и тока в тонкопленочных излучателях от времени для линейно изменяющегося и синусоидального напряжения, полученные экспериментально. Аналогичные графики получены рядом исследователей (см., например, [3,4]). Проводимый анализ позволяет объяснить особенности представленных токовых характеристик.



Зависимость тока от времени для линейно изменяющегося (а) и синусоидального (б) напряжения амплитудой $V_A = 120$ (1); 170 (2); 105 (1'); 155 (2') В для тонкопленочной структуры на основе ZnS с диэлектрическими слоями $ZrO_2 \cdot Y_2O_3$.

Для линейно изменяющегося пилообразного напряжения треугольной формы скорость развертки является постоян-

ной величиной $dV/dt = \alpha = \text{const}$ (рисунок, а). Значения тока, протекающего через структуру при напряжениях, меньших и больших порогового, также будут постоянными:

$$J(V < V_T) = C \cdot \alpha, \quad J(V > V_T) = C_D \alpha. \quad (5)$$

Для напряжения, изменяющегося по гармоническому закону $V = V_A \cdot \sin \omega t$ (V_A — амплитуда, ω — частота изменения внешнего напряжения), скорость развертки также изменяется по гармоническому закону, но фаза отличается на четверть периода — $dV/dt = V_A \omega \cdot \cos \omega t$. Ток через структуру также изменяется пропорционально $\cos \omega t$ (рисунок, б). Значения тока при напряжениях меньше и больше порогового, могут быть выражены из соотношения (3) следующим образом:

$$J(V < V_T) = C V_A \omega \cos \omega t, \quad J(V > V_T) = C_D V_A \omega \cos \omega t. \quad (6)$$

Когда величина внешнего приложенного напряжения соответствует пороговому значению ($V \approx V_T$), на токовых характеристиках наблюдается резкое увеличение тока (см. рисунок). Величина скачка тока пропорциональна разности емкостей диэлектрика и всей структуры.

Следует отметить, что представленный анализ токопереноса ограничивается ситуациями, когда величины dV_L/dV постоянны для допорогового и послепорогового состояний. В переходных режимах вблизи порогового и амплитудного значений напряжения величина dV_L/dV сложным образом зависит от величины и скорости развертки напряжения, а также от параметров электрической цепи управления, что приводит к усложнению реальной физической картины.

При высоких напряжениях утечки через диэлектрик могут существенно возрастать [3]. Как следует из выражения (1), увеличение полного тока сквозь структуру и активного тока через люминофор произойдет на величину тока проводимости диэлектрика. Выражения (5) и (6) усложняются, для записи их в явном виде необходимо знать конкретную зависимость электропроводности диэлектрика от поля.

Список литературы

- [1] *Власенко Н.А., Гурьянов С.Н.* // Изв. АН СССР. Сер. физическая. 1985. Т. 49. В. 10. С. 1909-1915.
- [2] *Самохвалов М.К.* // Микроэлектроника. 1992. Т. 21. В. 3. С. 53-55.
- [3] *Thioulouse P.* // J. Cryst. Growth. 1985. V. 72. N 1-2. P. 545-552.
- [4] *Ono Y.A., Kawakami H., Fuyama M., Onisawa K.* // Jap. J. Appl. Phys. 1987. V. 26. N 7. P. 1482-1492.

Ульяновский политехнический
институт

Поступило в Редакцию
11 декабря 1993 г.

