

06.3;07;11;12

Электрические характеристики тонкопленочных излучателей при возбуждении электролюминесценции переменным напряжением

© М.К. Самохвалов

Ульяновский государственный технический университет

Поступило в Редакцию 22 октября 1996 г.

В работе исследованы электрические характеристики многослойных структур, влияние на них свойств материалов, конструкции прибора, параметров возбуждающего напряжения. Получены выражения, позволяющие определить зависимость электрических характеристик тонкопленочных электролюминесцентных излучателей от условий возбуждения, конструкции конденсатора и свойств границы раздела люминофор–диэлектрик.

Тонкопленочные электролюминесцентные структуры металл–диэлектрик–люминофор–диэлектрик–прозрачный электрод, работающие на переменном напряжении, являются в настоящее время одними из наиболее перспективных индикаторных устройств. Для разработки режимов возбуждения электролюминесценции и схем управления индикаторными устройствами необходимы исследования электрических характеристик многослойных структур, влияния на них свойств материалов и конструкции прибора, параметров возбуждающего напряжения.

Полевой механизм генерации свободных носителей заряда в слое люминофора (обычно высокоомном широкозонном полупроводнике) в сильном электрическом поле обуславливает высокую скорость протекания электронных процессов [1]. Как показали экспериментальные иссле-

дования, скорость изменения характеристик электролюминесцентных конденсаторов определяется скоростью изменения внешнего напряжения [2]. В этом случае в люминофоре создается электрическое поле, превышающее пороговое значение напряженности поля, соответствующее началу процесса полевой генерации. Причиной этого является эффект самоэкранирования, приводящий к установлению квазистационарного режима [3]. Эффект самоэкранирования заключается в уменьшении электрического поля в области генерации вследствие экранирования его зарядом, созданным полевой генерацией. Квазистационарный режим экранирования состоит в уравнивании скорости изменения внешнего поля скоростью генерации свободных носителей. Для исследования общих закономерностей квазистационарного протекания электронных процессов необходимо определить зависимость электронных потоков и поля в люминофоре от формы возбуждающего напряжения.

Генерация носителей заряда в слое люминофора происходит вследствие туннельной полевой эмиссии электронов из состояний границы раздела люминофор–диэлектрик в зону проводимости полупроводника [4]. Поэтому ток, протекающий в слое люминофора при напряжениях, соответствующих возбуждению электролюминесценции, может быть выражен следующим соотношением:

$$j_L = \frac{Q_n}{\tau} \exp\left(-\frac{\gamma}{E_{LT}}\right), \quad (1)$$

где Q_n — плотность заряда состояний границы раздела люминофор–диэлектрик; τ — постоянная времени перезарядки граничных состояний; E_{LT} — значение установившейся напряженности квазистационарного электрического поля в люминофоре при данных условиях возбуждения электролюминесценции; $\gamma = \frac{4\sqrt{2m^*}\varphi_t}{3eh}$ — коэффициент прозрачности потенциального барьера (треугольной формы) [1]; e и m^* — заряд и эффективная масса электрона; φ_t — глубина залегания энергетического уровня поверхностных ловушек от дна зоны проводимости полупроводника; h — постоянная Планка.

В то же время в рабочем режиме полный ток через тонкопленочную структуру равен току проводимости в слое люминофора в условиях квазистационарного режима самоэкранирования и зарядному току емкости

диэлектрических слоев [2]:

$$J_L = C_D \frac{dV}{dt}, \quad (2)$$

где C_D — емкость диэлектрических слоев; V — приложенное напряжение.

Из соотношений (1) и (2) может быть получено выражение для пороговой напряженности электрического поля в люминесцентном слое:

$$E_{LT} = \frac{\gamma}{\ln \frac{Q_n}{\tau C_D dV/dt}}. \quad (3)$$

Отсюда следует, что большей скорости изменения напряжения соответствует большее значение напряженности электрического поля в пленке люминофора. В частности, с увеличением частоты возбуждающего напряжения может наблюдаться увеличение порогового напряжения, соответствующего началу свечения тонкопленочных излучателей.

При анализе эквивалентной электрической схемы тонкопленочного электролюминесцентного излучателя электрические свойства люминофора характеризуются при малых напряжениях емкостью, равной геометрической емкости люминесцентной пленки, а при высоких напряжениях — активным сопротивлением R_L [4]. Из соотношений (2) и (3) может быть получено выражение для расчета величины сопротивления люминофора в эквивалентной схеме для напряжения выше порогового значения:

$$R_L = \frac{E_{LT} d_L}{C_d \frac{dV}{dt}} = \frac{\gamma d_L}{C_D \frac{dV}{dt} \ln \frac{Q_n}{C_D dV/dt}}. \quad (4)$$

Для линейно изменяющегося напряжения величина сопротивления R_L при постоянной скорости развертки будет оставаться постоянной, а для синусоидального сопротивление будет увеличиваться при возрастании напряжения от порогового до амплитудного значения. Определенные на основе экспериментальных измерений значения сопротивления R_L изменялись от 100 до 10 кОм при увеличении скорости линейной развертки от 10^5 до 10^7 В/с.

Выражение для электрической мощности, рассеиваемой в пленке люминофора электролюминесцентного конденсатора при протекании тока проводимости в рабочих режимах, может быть представлено

следующим соотношением:

$$P_L = J_L \cdot E_{LT} \cdot d_L = \frac{\gamma \cdot d_L \cdot C_D \cdot dV/dt}{\ln \frac{Q_n}{\tau \cdot C_D \cdot dV/dt}}. \quad (5)$$

Поскольку квазистационарный режим самоэкранирования люминофора в тонкопленочном электролюминесцентном конденсатора характеризуется постоянством величины напряженности электрического поля, то кинетика изменения рассеиваемой мощности в основном определяется временной зависимостью тока проводимости в люминофоре.

Полученные соотношения позволяют определить зависимость электрических характеристик (j_L, E_{LT}, R_L, P_L) тонкопленочных электролюминесцентных источников излучения от условий возбуждения (dV/dt), конструкции многослойного конденсатора (C_D, d_L) и свойств границы раздела люминофор–диэлектрик (γ, τ, Q_n).

Список литературы

- [1] *Smith D.H.* // J. Lumin. 1981. V. 23. N 1. P. 209–235.
- [2] *Самохвалов М.К.* // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 6. С. 67–71.
- [3] *Ковтонок Н.Ф.* // Электронные элементы на основе структур полупроводник–диэлектрик. М.: Энергия, 1976. 184 с.
- [4] *Самохвалов М.К.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 9. С. 14–18.