

06.3;07

©1995

РАССЕЯНИЕ ТЕПЛА В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СТРУКТУРАХ

М.К.Самохвалов

Тонкопленочные электролюминесцентные источники излучения типа металл-диэлектрик-люминофор-диэлектрик-прозрачный электрод являются одними из наиболее перспективных плоских активных индикаторов. Величина светоотдачи источников может достигать 10 лм/Вт, вместе с тем соответствующий энергетический выход не превышает 1–5%, большая часть потребляемой прибором мощности рассеивается в виде тепла [1]. Основные функциональные характеристики устройств (яркость, заряд и др.) слабо зависят от температуры [2]. Большой интерес представляет изучение разогрева на надежность и долговечность работы тонкопленочных излучателей. В связи с этим были проведены исследования процессов рассеяния тепла для расчета температуры и ее распределения в слоях электролюминесцентных конденсаторов в рабочих режимах.

В качественных тонкопленочных структурах в режимах излучения в диэлектриках протекают токи смещения, а в люминофоре — ток проводимости, обуславливающий выделение тепла [3]. Тепловые потоки исходят с обеих сторон слоя люминофора, с одной стороны через пленку диэлектрика нагревается верхний электрод, с другой стороны через пленки диэлектрика и прозрачного электрода тепло рассеивается в стеклянной подложке. При анализе тепловых схем тонкопленочных структур предполагалось, что рассеяние мощности происходит равномерно по площади люминофора и этот процесс является стационарным. Данное предположение позволяет свести задачу к рассмотрению одномерной модели, не зависящей от времени. Равномерность рассеяния мощности косвенно подтверждается равномерностью яркости свечения излучателей в рабочих режимах, а стационарность процесса подтверждается постоянством значений электрических и оптических параметров электролюминесцентных конденсаторов.

Тепловая модель тонкопленочной электролюминесцентной структуры, находящейся в условиях теплового равновесия с окружающей средой в рабочем режиме, представлена на рис. 1. Тепловые сопротивления участков тепловой цепи, определяемые как отношение разности температур между

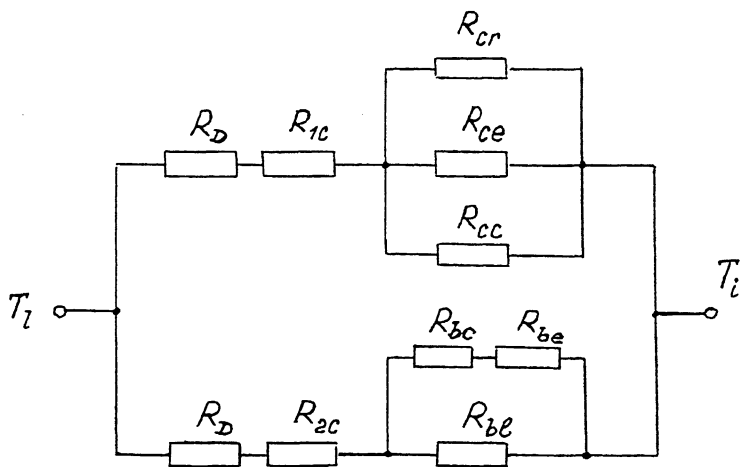


Рис. 1. Тепловая схема тонкопленочной электролюминесцентной структуры: T_l — температура люминофора; T_i — температура окружающей среды; R_D — тепловое сопротивление диэлектрика; R_{1c} и R_{2c} — тепловые сопротивления верхнего и нижнего электродов; R_{cr} , R_{ce} и R_{cc} — тепловые сопротивления электрода вследствие излучения, конвекции и теплопроводности контакта; R_{br} , R_{be} , R_{bc} — тепловое сопротивление стеклянной подложки, слоя вдоль подложки и конвекционного охлаждения подложки.

двумя изотермическими поверхностями объекта к тепловому потоку через него, рассчитывались по известным формулам для теплообмена вследствие конвекции, излучения и теплопроводности [4,5]. Расчетная оценка и экспериментальные измерения проводились для структур на стеклянной подложке с прозрачным электродом из оксида олова-индия, на которую термическим испарением последовательно нанесены пленки оксида циркония-иттрия, сульфида цинка, легированного марганцем, снова оксида циркония-иттрия, затем алюминия. Герметизация исследованных образцов не производилась.

Расчеты тепловых сопротивлений пленок диэлектрика, прозрачного и верхнего электродов составляли относительно малые величины $\sim 10^{-3} - 10^{-1}$ К/Вт, поэтому значения температур люминофора и внешних поверхностей электродов можно считать практически одинаковыми. Рассеяние тепла верхним электродом определяется процессами теплового обмена с окружающей средой излучением, конвекцией и теплопередачей через контактный электрод, величина соответствующих тепловых сопротивлений составляла $\sim 10^4 - 10^5$ К/Вт. Для теплового потока от слоя люминофора

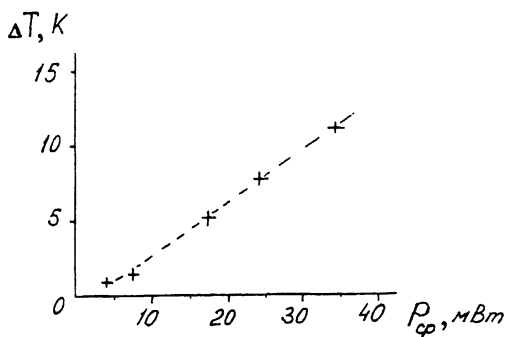


Рис. 2. Зависимость изменения температуры тонкопленочной структуры от средней рассеиваемой мощности.

через нижний прозрачный электрод тепловое сопротивление обусловлено теплопроводностью стеклянной подложки и теплообменом конвекцией с наружной стороны подложки. Величина теплового сопротивления в основном определяется теплопроводностью стеклянной пластины и составляет $\sim 250\text{--}400$ К/Вт. Это значение соответствует в целом полному тепловому сопротивлению тонкопленочной структуры.

Экспериментальные исследования проводились для структур $\text{Al-ZrO}_2\cdot\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZnS:Mn-ZrO}_2\cdot\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ITO}$ при возбуждении электролюминесценции переменным напряжением синусоидальной формы [1]. Проведенные измерения разогрева тонкопленочных электролюминесцентных структур в рабочих режимах подтверждают результаты расчетов. На рис. 2 представлена типичная зависимость температуры металлического электрода, измеренной контактными способами, от средней мощности электрического поля, рассеиваемой в пленке люминофора многослойного излучателя. Как видно на рисунке, эта зависимость носит линейный характер, отклонение от линейности наблюдалось в начальном участке графика для малых значений рассеиваемой мощности. Значения теплового сопротивления, определенные из экспериментальных измерений, составили $300\text{--}350$ К/Вт.

Анализ и расчет тепловых сопротивлений был проведен для установившихся тепловых полей. При изучении процессов изменения температуры в структурах при включении и выключении возбуждающего напряжения определялись значения тепловых постоянных времени. Оценка величины тепловой постоянной с использованием рассчитанных значений теплового сопротивления и теплоемкости давала значения $\sim 100\text{--}200$ с, что достаточно хорошо согласуется с экспериментально определенными значениями ~ 180 с. Таким образом, после приложения возбуждающего напряже-

ния в электролюминесцентном конденсаторе не происходит резкого повышения температуры.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что выделяемая в пленке люминофора тепловая энергия рассеивается в основном через стеклянную подложку и разогрев тонкопленочной структуры в установившемся рабочем режиме при возбуждении переменным напряжением не превышает 10–15 К. Эти данные показывают, что деградация параметров и пробой тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторов не связаны с перегревом структур в рабочих режимах при излучении света.

В то же время исследования тонкопленочных электролюминесцентных структур, в которых в качестве диэлектрика использованы слои двуокиси кремния, показали иные результаты. Для этих структур наблюдались повышенная деградация параметров, низкая светоотдача, эффекты неустойчивости, сопровождавшиеся нагревом пленок выше 100°C и пульсациями яркости (автоволнами), аналогичными тем, что наблюдались в работе [6]. Подобное поведение многослойных светоизлучающих систем может быть обусловлено низким качеством диэлектрических слоев, для исследованных структур удельное сопротивление пленок двуокиси кремния составляло $\sim 10^8$ Ом·см и тангенс угла диэлектрических потерь ~ 0.15 .

Полученные результаты могут быть использованы при разработках конструкции и технологии изготовления тонкопленочных излучателей и расчетах режимов работы электролюминесцентных индикаторных устройств.

Список литературы

- [1] *Yang K.W., Owen S.J.T., Smith D.H.* // JEEE Trans. 1981. V. ED-28. N 6. P. 703–708.
- [2] *Самохвалов М.К., Рябинов Е.Б.* // ЖПС. 1993. Т. 58. № 5–6. С. 495–499.
- [3] *Самохвалов М.К.* // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. № 6. С. 67–71.
- [4] *Дульнев Г.Н.* // Тепло- и массообмен в РЭА. М.: Высш. школа, 1984. 247 с.
- [5] *Обеспечение тепловых режимов изделий электронной техники / А.А. Чернышев, В.И. Иванов, А.И. Аксенов, Д.Н. Глушков.* М.: Энергия, 1980. 216 с.
- [6] *Белецкий А.И., Власенко Н.А.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. № 1. С. 33–37.

Ульяновский государственный
технический университет

Поступило в Редакцию
7 февраля 1995 г.