

06.3;07;12

©1993

ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СТРУКТУРЫ С ИЗМЕНЕНИЕМ ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ

*Ю.Г.Сугарев, В.С.Миронов,
А.В.Андрянов, И.К.Иванов*

Создание плоских устройств отображения информации является важной научно-технической задачей. Один из путей ее решения связан с использованием электролюминесценции тонкопленочных структур, работающих на переменном токе.

Актуальным является создание электролюминесцентных панелей с излучением всех основных цветов спектра, обладающих стабильными характеристиками при различных условиях эксплуатации, а также разработка и исследование физических процессов в тонкопленочных электролюминесцентных структурах переменного тока (ТПЭЛС) с изменением цвета свечения. Подобные ТПЭЛС имеют и практическое применение в качестве различного рода индикаторов, экранов мнемосхем, а также являются составной частью полноцветных плоских экранов.

Целью настоящей работы является разработка и исследование ТПЭЛС с изменяемым цветом свечения на основе сульфида цинка с различными активаторами.

Из различных вариантов реализации конструкции структур с изменяемым цветом, работающих на переменном токе, наиболее предпочтительными являются структуры с наложенными слоями (рис. 1, а) [1] и ТПЭЛС с планарным расположением электролюминесцентных слоев, представленная на рис. 1, б, [2]. В первом варианте слои электролюминофора различного цвета свечения 1 и 2, изолированные с обеих сторон диэлектрическими слоями 3, наложены один на другой и между ними формируется общий прозрачный токопроводящий электрод 4. В связи с поглощением части излучения в многослойной структуре электролюминесцентные пленки большей яркости формируются сверху. Переменное электрическое поле прикладывается с помощью прозрачных 4 и алюминиевого 5 электродов.

Структура во втором варианте содержит чередующиеся узкие полосы люминофоров различных цветов свечения. Эти полосы, расположенные близко друг к другу, создают один элемент отображения, как и в цветном кинескопе, так как для получения требуемого цвета различные полосы комбинированно включаются или выключаются.

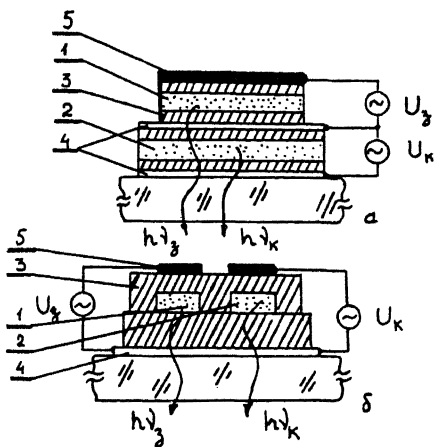


Рис. 1. Структуры двухцветной ТПЭЛС. *а* — с наложенными слоями, *б* — с планарным расположением электролюминесцентных слоев.

Вариант, представленный на рис. 1, *б*, наиболее предпочтителен в связи с тем, что позволяет использовать наилучшие результаты, достигнутые для одноцветных структур, и требует меньшего числа слоев. Многоцветные структуры с наложенными слоями используют промежуточный прозрачный токопроводящий слой между электролюминесцентными слоями и дополнительно два диэлектрических слоя с целью раздельного управления излучением каждого ЭЛ слоя, а увеличение числа слоев требует разработки новых более низкотемпературных технологических процессов и снижает надежность структур, работающих в сильных электрических полях.

Экспериментальные структуры формировались на стеклянной подложке с заранее нанесенным прозрачным токопроводящим слоем. Все слои наносились методом электронно-лучевого испарения в вакууме. В изготовленных нами ТПЭЛС толщина диэлектрических слоев, для которых был использован твердый раствор оксида гафния с оксидом иттрия [4], составляла по 0.3 мкм, толщина электролюминесцентного слоя 0.6 мкм. Структура представляла собой матрицу 16 × 64, в свою очередь состоящую из вложенных друг в друга матриц 16 × 2 различных цветов свечения. Площадь ячеек красного и зеленого цветов свечения выбиралась исходя из соображения, чтобы их светимость при максимальной яркости была одинакова.

Изготовленные матричные ТПЭЛ индикаторы герметизировались и после этого подвергались формовке синусоидальным напряжением частотой 2 кГц со скоростью ро-

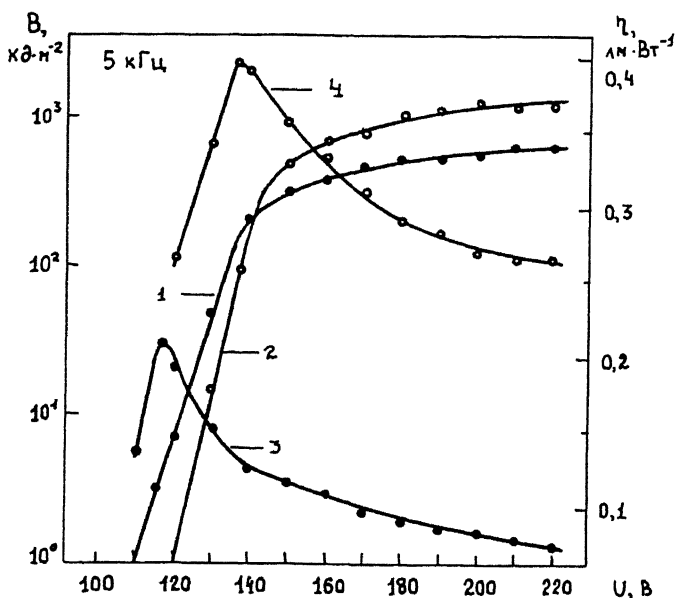


Рис. 2. Зависимость яркости (кривые 1, 2) и световой эффективности (кривые 3, 4) для ZnS:SmF_3 (кривые 1, 3) и ZnS:TbF_3 (кривые 2, 4) от напряжения возбуждения.

ста напряжения порядка $1\text{В} \cdot \text{мин}^{-1}$ до амплитудного значения 300В . В первые 5ч наблюдался довольно резкий сдвиг порогового напряжения, который составил 10В . Через 60ч работы пороговое напряжение стабилизировалось. Вид вольт-яркостной характеристики за 100ч практически не изменился. Спад уровня яркости составил 12% от первоначальной яркости. Заряд через структуру также изменился несущественно, что свидетельствует о стабильности границ раздела полупроводник-диэлектрик.

Вольт-яркостные характеристики и световая эффективность исследовались отдельно для ячеек красного и зеленого цветов свечения при возбуждении синусоидальным напряжением частотой 5кГц . Световая эффективность определялась по формуле:

$$\eta = \frac{\pi \cdot B}{2 \cdot f \cdot U_n \cdot Q} \cdot 10^2,$$

где B — яркость, $\text{кд} \cdot \text{м}^{-2}$; U_n — пороговое напряжение, В (пороговое напряжение соответствует яркости свечения, равной $1\text{кд} \cdot \text{м}^{-2}$); f — частота напряжения возбуждения, Гц ; Q — удельный заряд, перенесенный через активный слой, $\text{мкКл} \cdot \text{см}^{-2}$.

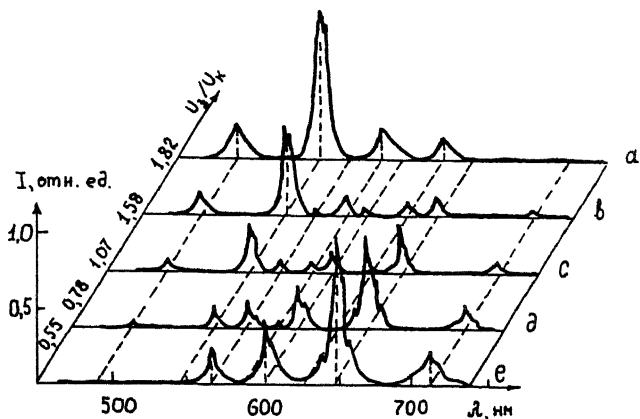


Рис. 3. Спектры излучения ТПЭЛС на основе $\text{ZnS:TbF}_3\text{-ZnS:SmF}_3$ для различных значений напряжения возбуждения.

Указанные зависимости представлены на рис. 2. Максимальная яркость излучения при 220 В для ячеек красного цвета свечения на основе ZnS:SmF_3 (0.5 вес. %) составила $600 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$ (кривая 1). Максимум световой эффективности составил $0.21 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$ при напряжении 118 В (кривая 3), что соответствует уровню яркости в $30 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$. Соответственно для ячеек зеленого цвета свечения на основе ZnS:TbF_3 (5.0 вес.%) максимальная яркость при том же напряжении составила $1150 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$ (кривая 2), а максимум световой эффективности — $0.395 \text{ лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$ при напряжении 137 В и яркости $85 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$ (кривая 4).

Спектры излучения двухцветного зелено-красного ТПЭЛИ на основе $\text{ZnS:TbF}_3\text{-ZnS:SmF}_3$ регистрировались при комнатной температуре на спектрально-вычислительном комплексе типа КСВУ-23. Синусоидальное напряжение возбуждения подавалось от двух генераторов на общий электрод и на управляющие электроды ячеек матриц разного цвета свечения. На рис. 3 представлены спектры излучения для различных значений приложенных напряжений. Спектры нормированы по максимальной интенсивности основной полосы излучения для ZnS:SmF_3 . В общем случае спектр состоит из 8 полос. Спектр излучения ячеек на основе ZnS:SmF_3 состоит в основном из четырех узких полос, присущих излучению ионов редкоземельных элементов (рис. 3, е). Излучение тонкопленочного электролюминофора ZnS:SmF_3 обусловлено функционированием внутрицентровых электронных переходов в ионе Sm^{3+} с одного возбужденного уровня $^4\text{G}_{5/2}$ [5], вероятность излучательной релаксации с которого наиболее высока. Максимумы по-

лос излучения: 566, 600, 647 и 710 нм, основной максимум 647 нм. Излучение воспринимается как оранжево-красное. По спектральной характеристике определены координаты цветности: $x = 0.639$, $y = 0.360$, цветовой тон — 600 нм.

Варьирование концентрации активатора (SmF_3) оказывает сильное влияние на яркость излучения ТПЭЛС, но не обнаружено изменения положения максимумов полос излучения спектральной характеристики. Наибольшая яркость в ТПЭЛС на основе $\text{ZnS}:\text{SmF}_3$ достигается при концентрации SmF_3 0.5 вес. %.

Спектр излучения ячеек на основе $\text{ZnS}:\text{TbF}_3$ также состоит из четырех полос излучения с максимумами 489, 545, 587 и 628 нм, основной максимум 545 нм (рис. 3, а). Аналогично иону Sm^{3+} за излучение в тонкой пленке $\text{ZnS}:\text{TbF}_3$ ответственны оптические переходы в ионе Tb^{3+} с одного возбужденного энергетического состояния 5D_4 . Координаты цветности: $x = 0.31$, $y = 0.59$, цветовой тон — 549 нм, чистота цвета — 79%. Наибольшая яркость достигнута при содержании TbF_3 5.0 вес. %. Варьирование концентрации активатора также не сказывается на положении максимумов полос излучения в спектральной характеристике, однако изменяется соотношение интенсивностей полос излучения, что оказывает влияние на цветовой тон и чистоту цвета.

При подаче на зеленые ячейки напряжения по величине больше порогового, а на красные — меньше порогового, наблюдается только зеленый цвет свечения, что и показано на рис. 3, а. Пороговое напряжение для структуры красного цвета свечения составляет 110, зеленого — 120 В. На рис. 3 по оси U_3/U_k приводится отношение напряжений, приложенных соответственно к ячейкам зеленого и красного цветов свечения:

$$\frac{U_3}{U_k} = \frac{U_{пз} + \Delta U_3}{U_{пк} + \Delta U_k},$$

где $U_{пз}$ и $U_{пк}$ — пороговые напряжения для структур зеленого и красного цветов свечения; ΔU_3 и ΔU_k — соответствующие напряжения для этих структур, сопровождающиеся изменением цвета. Когда оба напряжения становятся больше пороговых, происходит смешивание излучаемого света. В случае на рис. 3, б интенсивность зеленого цвета свечения выше по отношению к интенсивности красного цвета свечения и излучение выглядит желто-зеленым. В случае на рис. 3, в излучение выглядит желтым, так как интенсивности равны. При преобладании красного цвета свечения смешанный цвет — оранжевый (рис. 3, д). Следовательно, при изменении управляющих напряжений можно получить любой цвет свечения между зеленым и красным, что и представлено на диаграмме цветности (рис. 4). Точками отмечены

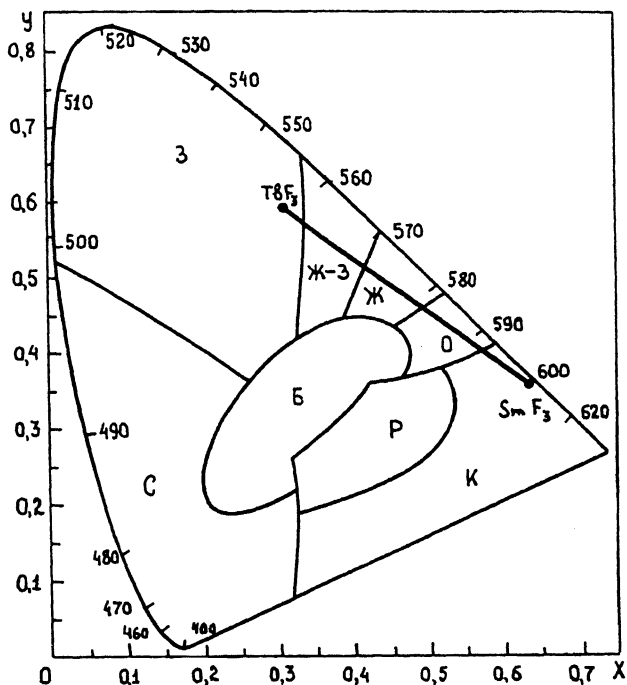


Рис. 4. Диаграмма цветности $x - y$ с координатами цветности для ТПЭЛС на основе $ZnS:TbF_3 - ZnS:SmF_3$.

координаты цветности излучения соответственно для структур $ZnS:TbF_3$ и $ZnS:SmF_3$. Изменение цвета происходит по линии, соединяющей эти точки на диаграмме цветности.

Выводы

Разработаны и изготовлены матричные ТПЭЛС переменного тока планарного типа с 1024 ячейками, разрешением 2 лин/мм. При амплитудной модуляции возбуждающего напряжения можно плавно изменять цвет излучения структур: зеленый-желтый-красный.

Данные структуры могут быть использованы для устройств с цветовым кодированием информации и плоских тонкопленочных многоцветных экранов.

Установлено, что необходимо изменять площадь ячеек каждого цвета пропорционально их яркости.

Показано изменение спектральных характеристик структур в зависимости от режимов возбуждения, при этом координаты цветности структур изменяются линейно от $X = 0.31$ до 0.639 и от $Y = 0.59$ до 0.36 .

Список литературы

- [1] *Hamakawa Y., Oichi Y., Kato T.* // *Semiconduct. Technol.* 1986. P. 281-294.
- [2] *Электроника.* Пер. с англ. 1984. № 11. С. 19-32.
- [3] *Верецагин И.К., Ковалев Б.А., Косяченко Л.А., Кокин С.М.* // *Электролюминесцентные источники света.* М., 1990. 168 с.
- [4] *Сугарев Ю.Г., Антонов С.Ю., Миронов В.С., Иванов И.К.* // *Вопр. радиоэлектроники. Сер. Общие вопросы радиоэлектроники.* 1991. В. 21. С. 96-102.
- [5] *Власенко Н.А., Балясная С.И., Ролик В.А., Хомченко В.С.* // *Оптоэлектроника и полупроводниковая техника.* 1986. В. 10. С. 77-81.
- [6] *King Cristopher.* // *SAE Technical Paper series.* 1985. N 851461. 16 p.

Одесский
политехнический университет

Поступило в Редакцию
17 июля 1993 г.
