

06.3;07;12

Пленочные электролюминесцентные структуры на подложках с диффузно-рассеивающей излучающей поверхностью

© Н.Т. Гурин, О.Ю. Сабитов

Ульяновский государственный университет

Поступило в Редакцию 12 марта 1997 г.

Получены результаты, демонстрирующие существенное увеличение (в 3.5–5.6 раза) яркости свечения пленочных электролюминесцентных излучателей переменного тока на стеклянных подложках с диффузно-рассеивающими излучающими поверхностями по сравнению с обычными вариантами таких излучателей на "гладких" стеклянных подложках. Это позволяет принципиально решить проблему недостаточной яркости электролюминесцентных излучателей отдельных цветов свечения, что открывает перспективу создания полноцветных тонкопленочных электролюминесцентных панелей большой информационной емкости.

Одной из основных проблем при создании полноцветных тонкопленочных электролюминесцентных индикаторных панелей остается недостаточная яркость свечения излучателей красного (составляющая примерно 1/2–1/3 необходимого значения) и особенно синего (составляющая примерно 1/5–1/7 необходимого значения) цветов свечения тонкопленочных электролюминесцентных излучателей [1,2]. Как ранее нами было показано, одним из методов повышения яркости тонкопленочных электролюминесцентных излучателей, обеспечивающих повышение яркости примерно в 2 раза, является применение в тонкопленочных

электролюминесцентных структурах стеклянных подложек с внутренней шероховатой поверхностью, на которую нанесена пленочная электролюминесцентная структура [3,4]. При этом повышение яркости осуществляется за счет снижения потерь излучения, связанных с полным внутренним отражением и волноводным эффектом бокового распространения излучения вдоль пленочной электролюминесцентной структуры, а также с увеличением выхода излучения из структуры за счет микролинзового эффекта [3,4]. В то же время известным методом увеличения выхода излучения из светодиодных структур является использование диффузно-рассеивающей излучающей поверхности полупроводникового кристалла [5].

В связи с этим задачей данной работы является исследование возможности повышения яркости и выхода излучения из тонкопленочной электролюминесцентной структуры на стеклянной подложке с наружной диффузно-рассеивающей (шероховатой) поверхностью.

Для решения данной задачи были выполнены экспериментальные исследования тонкопленочных электролюминесцентных структур: металл-диэлектрик-полупроводник-диэлектрик-металл (МДПДМ), металл-диэлектрик-полупроводник-металл (МДПМ), металл-полупроводник-диэлектрик-металл (МПДМ) структур, где М — первый прозрачный электрод на основе SnO_2 толщиной $0.2 \mu\text{m}$, нанесенный на стеклянную подложку толщиной 2mm , и второй непрозрачный тонкопленочный электрод на основе Al толщиной $0.15 \mu\text{m}$; П — электролюминесцентный слой ZnS:Mn толщиной $0.80\text{--}0.85 \mu\text{m}$; Д — диэлектрический слой $\text{ZrO}_2 \times \text{Y}_2\text{O}_3$ (13 мас.%) толщиной $0.2\text{--}0.3 \mu\text{m}$, нанесенных на гладкую подложку, на подложку с внутренней шероховатой и внешней гладкой поверхностями, на подложку с внешней шероховатой и гладкой внутренней поверхностями и на двустороннюю шероховатую подложку. Прозрачный электрод из SnO_2 получали методом гидролиза хлорного олова. Слой люминофора наносили вакуум-термическим испарением в квазизамкнутом объеме, непрозрачный электрод — вакуум-термическим испарением, тонкопленочные диэлектрические слои получали электронно-лучевым испарением. Шероховатые подложки получали химическим травлением гладкой подложки в плавиковой кислоте. Были исследованы две серии образцов указанных структур, в каждой из которых все одинаковые слои исследуемых структур получали в едином технологическом цикле. Серии образцов отличались использованием при формировании структур фотолитографии

(1 серия) и масочного метода (2 серия), а также режимами травления подложек. По результатам измерений с помощью микроскопа МИИ-4 шероховатые подложки имели равномерно распределенные по поверхности микронеровности с высотой и линейными размерами порядка $(0.8-1.5) \mu\text{m}$ на внешней поверхности и $(0.6-1.0) \mu\text{m}$ на внутренней поверхности стеклянной подложки. Диаметр непрозрачных электродов был равен 2.5 mm . Поверхностное сопротивление прозрачного электрода на подложках с гладкой внутренней поверхностью составляло $250 \Omega\text{m}/\square$, с шероховатой поверхностью — $400 \Omega\text{m}/\square$.

Вольт-яркостные характеристики исследуемых структур были получены при возбуждении их синусоидальным напряжением частотой 400 Hz , 1 и 5 kHz , источником которого служил генератор ГЗ-56/1. Яркость измерялась с помощью яркомера-люксметра ЯРМ-3 с погрешностью измерения 8% . При измерении диаграмм направленности использовался гониометр Г5М.

Сравнение вольт-яркостных характеристик металл-диэлектрик-полупроводник-диэлектрик-металл структур серии 2 (рис. 1) свидетельствует о том, что максимальная яркость свечения в области насыщения вольт-яркостных характеристик (при напряжении 160 V) для всех частот при использовании подложки с шероховатой внешней поверхностью возрастает примерно в 2.1 раза по сравнению со структурой на подложке с двухсторонней гладкой поверхностью и в 2.9 раза — по сравнению со структурой на подложке с внутренней шероховатой поверхностью. Общее возрастание яркости структуры на подложке с двухсторонней шероховатой поверхностью по сравнению со структурой на подложке с двухсторонней гладкой поверхностью составляет 3.5 раза. У образцов 1-й серии соответствующие коэффициенты роста яркости составляли 4.1 , 4 и 5.6 раза. Близкие значения коэффициентов возрастания яркости получены также для структур металл-диэлектрик-полупроводник-металл и металл-полупроводник-диэлектрик-металл соответствующих серий образцов. При этом абсолютные значения максимальной яркости этих структур были в $1.2-1.4$ раза ниже значений яркости металл-диэлектрик-полупроводник-диэлектрик-металл структуры на соответствующих частотах, что согласуется с известными данными.

Пороговые напряжения, соответствующие началу свечения при яркости $B = 1 \text{ kd/m}^2$, для структур на подложках с шероховатой внутренней поверхностью во всех случаях были меньше на $(10-15) \text{ V}$ по сравнению со структурами на подложках с гладкой внутренней поверхностью.

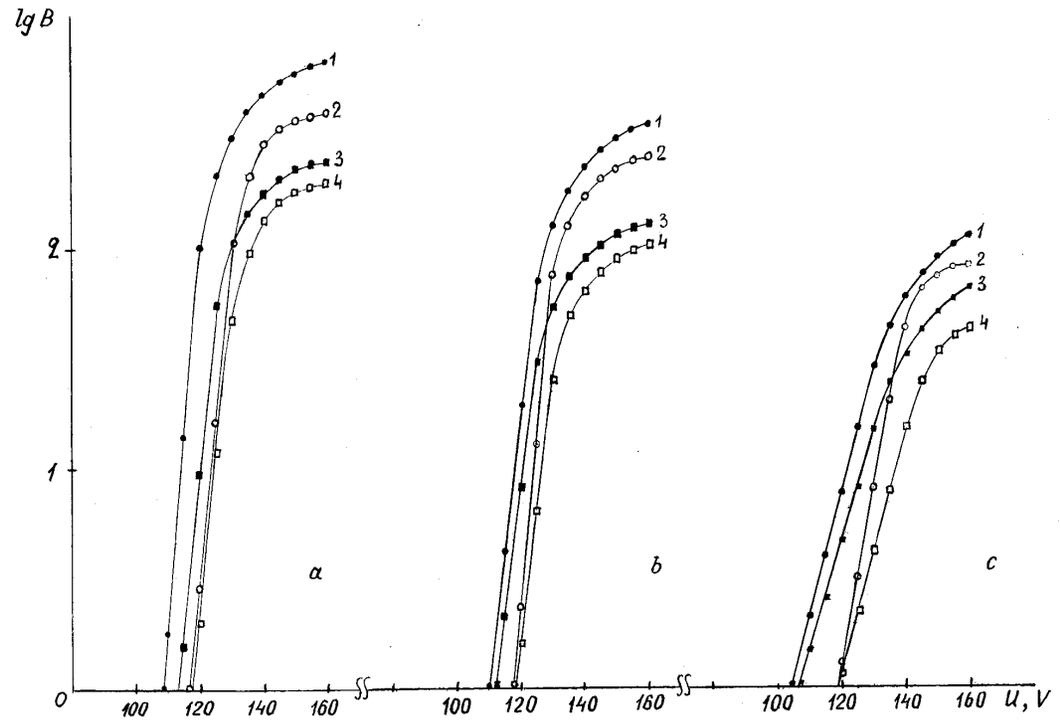


Рис. 1. Вольт-яркостные характеристики металл-диэлектрик-полупроводник-диэлектрик-металл структуры на частоте *a* — 5 kHz, *b* — 1 kHz, *c* — 400 Hz. Подложки: 1, 2 — с шероховатой внешней поверхностью; 3, 4 — с гладкой внешней поверхностью; 1, 3 — с шероховатой внутренней поверхностью; 2, 4 — с гладкой внутренней поверхностью.

Образцы 2-й серии на подложках с гладкой внутренней поверхностью имеют наибольшую крутизну участка резкого роста, аппроксимируемого степенной зависимостью с показателем степени $n = 19-26$ по сравнению со структурами на подложках с внутренней шероховатой поверхностью ($n = 12-18$), что несколько отличается от полученных ранее результатов [3,4]. При этом крутизна этого участка слабо зависит от вида структуры.

Зависимости яркости свечения B от частоты f возбуждающего напряжения, измеренные в диапазоне частот $400 \text{ Hz} - 5 \text{ kHz}$, всех исследованных структур с различными видами подложек спрямляются в координатах $\lg B(\lg f)$. При этом на участке насыщения вольт-яркостных характеристик значения показателя степени α указанных зависимостей всех исследованных структур близки и находятся в пределах $\alpha = 0.65-0.75$, что соответствует [4]. В то же время на участке резкого роста вольт-яркостных характеристик значение α максимально ($\alpha \approx 0.64$) для структуры на подложке с двухсторонней гладкой поверхностью и уменьшается для структуры на подложке с внутренней шероховатой и гладкой внешней поверхностью ($\alpha \approx 0.43$), что согласуется с ранее полученными результатами для структур металл-полупроводник-диэлектрик-металл [4]. Структуры на подложках с внутренней гладкой и внешней шероховатой поверхностями имеют $\alpha = 0.32$ и структуры на подложках с двухсторонней шероховатой поверхностью имеют минимальное значение $\alpha = 0.23$. Эти результаты свидетельствуют о существенном влиянии процессов переотражения излучения в подложке на итоговый выход излучения из структуры.

Диаграммы направленности излучения металл-диэлектрик-полупроводник-диэлектрик-металл структур 1-й и 2-й серий (рис. 2) существенно расширяются при переходе от структур на подложке с гладкой внешней поверхностью (угол обзора, измеренный по началу спада яркости для структур на подложке с гладкой внутренней поверхностью составляет $\gamma_1 = 76-90^\circ$ и для структур на подложках с шероховатой внутренней поверхностью — $\gamma_2 = 86-100^\circ$) к структурам на подложках с внешней шероховатой поверхностью ($\gamma_3 = 104-128^\circ$). Аналогичные значения углов обзора, оцененных по уровню 0.5 максимальной яркости, составляют $\gamma_1 = 144-156^\circ$, $\gamma_2 = 158-164^\circ$, $\gamma_3 = 170-177^\circ$. При этом вид диаграмм направленности соответствует случаю диффузного пропускания света прозрачной подложкой с одной и двумя рассеивающими поверхностями [6].

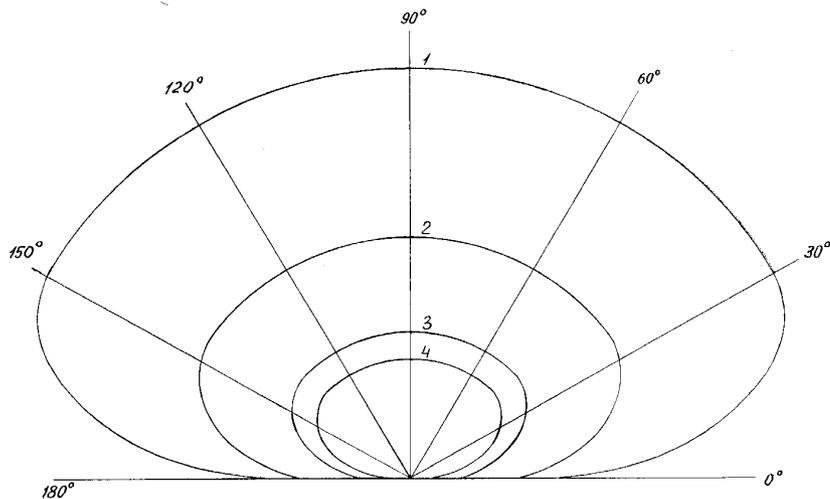


Рис. 2. Диаграммы направленности излучения металл–диэлектрик–полупроводник–диэлектрик–металл структур 2-й серии на частоте 5 кГц. Подложки: 1, 2 — с шероховатой внешней поверхностью; 3, 4 — с гладкой внешней поверхностью; 1, 3 — с шероховатой внутренней поверхностью; 2, 4 — с гладкой внутренней поверхностью.

Другие полученные результаты могут быть объяснены следующим образом.

Значительное увеличение максимальной яркости свечения структур на подложках с внешней шероховатой поверхностью объясняется, по-видимому, аналогично структурам на подложках с внутренней шероховатой поверхностью [4] снижением потерь излучения, связанных с полным внутренним отражением, и микролинзовым эффектом, приводящим к увеличению выхода излучения из подложки. Уменьшение порогового напряжения структур на подложках с внутренней шероховатой поверхностью при фиксированной пороговой яркости ($B = 1 \text{ kd/m}^2$) обусловлено как возрастанием электрического поля в слое люминофора в местах, выступающих над внутренней поверхностью подложки микронеровностей, так и большим выводом излучения из подложки. Уменьшение крутизны участка роста вольт-яркостных характеристик структур

на подложках с внутренней шероховатой поверхностью обусловлено разбросом вольт-яркостных характеристик отдельных микроучастков светящейся поверхности излучателей, вызванным разбросом размеров микронеровностей. По этой же причине частотные зависимости яркости структур на подложках с внутренней шероховатой поверхностью имеют меньшую крутизну. В то же время максимальные яркости на участке насыщения вольт-яркостных характеристик всех структур имеют одинаковые частотные зависимости и определяются насыщением концентрации возбужденных центров свечения в люминофоре.

Таким образом, использование в электролюминесцентных излучателях подложек с диффузно-рассеивающей излучающей поверхностью позволяет существенно увеличить выход излучения и яркость электролюминесцентных излучателей, особенно в сочетании с внутренней шероховатой поверхностью подложек (в 3.5–5.6 раза) и в принципе решить проблему недостаточной яркости отдельных цветов свечения электролюминесцентных излучателей, что открывает новые перспективы для создания полноцветных тонкопленочных электролюминесцентных панелей большой информационной емкости.

Список литературы

- [1] *Tanaka S., Deguchi H., Mikami Y. et al. // SID Int. Symp. San Diego, Calif. May 6–8, 1986. Dig. Techn. Pap. N.Y., 1986, N 6–8. P. 29–32.*
- [2] *Власенко Н.А. Электролюминесцентные устройства отображения информации. Киев: О-во "Знание" Украины, 1991. 24 с.*
- [3] *Гурин Н.Т., Сабитов О.Ю., Бригаднов И.Ю. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. В. 15. С. 7–12.*
- [4] *Гурин Н.Т., Сабитов О.Ю., Урядников В.В. // Труды III Междунар. науч.-техн. конф. "Актуальные проблемы электронного приборостроения. АПЭП-96". В 11 т. Новосибирск, 1996. Т. 1. С. 20–22.*
- [5] *Гарбузов Д.З., Туницкая Н.А., Агафонов В.Г. и др. // ФТП. 1981. Т. 15. В. 8. С. 1498–1502.*
- [6] *Кривошеев М.И., Кустарев А.К. Цветовые измерения. М.: Энергоатомиздат, 1990. 240 с.*