

# Исследование и повышение важнейших характеристик гибких световых панелей

И.Н. ГОНЧАРОВ<sup>1</sup>, Е.Н. КОЗЫРЕВ<sup>1</sup>, А.И. МАЛДЗИГАТИ<sup>2</sup>, Р.О. АСКЕРОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», Владикавказ;

<sup>2</sup> ОАО «ГРАН», Владикавказ

E-mail: maldzigati@mail.ru

## Аннотация

Сформулированы факторы, определяющие яркость электролюминесцентных панелей. Указано, что повышение яркости возможно за счёт модернизации состава диэлектрического связующего, используемого в приготовлении суспензии люминофора для излучающего слоя. Установлены пути повышения долговечности работы излучающих структур. Получены яркостные и временные характеристики электролюминесцентных панелей, изготовленных по результатам проведённых исследований.

**Ключевые слова:** электролюминесцентная панель, яркость, долговечность, электролюминофор, диэлектрическая проницаемость, напряжённость электрического поля, яркостные характеристики, синтез диэлектрического связующего, гидроксильные и карбонатные группы.

## Введение

Плоские и гибкие источники оптического излучения – электролюминесцентные панели (ЭЛП) находят широкое применение как эффективные средства освещения шкал различных измерительных приборов, как основные компоненты изделий сигнального и аварийного освещения и как важнейшие, обладающие большими композиционными возможностями, элементы конструкций рекламных и декоративных светящихся панелей разных форматов.

Из основных характеристик ЭЛП следует выделить:

– напряжение питания  $U$  (40–500 В);

– частоту питающего напряжения  $f$  (50–1000 Гц);

– яркость  $L_v$  (35–50 кд/м<sup>2</sup> при  $f=50$  Гц и  $U=220$  В и 130–230 кд/м<sup>2</sup> при  $f=1000$  Гц и  $U=150$  В – значения, характерные для аналогов ведущих

зарубежных фирм *Ball Engineering* и *Luminousfilm EL Products* (США), *Sinel SPA* (Италия), *KEP-A1W* и *KEP-BW* (КНР);

– удельную потребляемую мощность  $P_{\text{пот}}$  ( $\leq 30$  Вт/м<sup>2</sup> (*KES-20W-200*, *KEP-D16W* и *KEP-A1W* (КНР), *Phosphor Products* (Великобритания));

– удельный потребляемый ток  $I_{\text{пот}}$  ( $\leq 0,2$  мА/см<sup>2</sup> (*Luminousfilm EL Products* (США), *KEP-A1W* и *KEP-BW* (КНР));

– неравномерность яркости  $K$  ( $\leq 5\%$  (*Sumitomi Chem* (Япония));

– долговечность  $T$  ( $\geq 4500$  ч (*Luminousfilm EL Products* (США), *Sinel SPA* (Италия));

– климатические характеристики: диапазон рабочих температур (10–50 °С) и относительная влажность окружающей среды ( $\leq 95\%$ );

– конфигурацию панели (разная, по заказу потребителей);

– толщину панелей (0,4–1 мм).

Среди указанных характеристик ЭЛП наиболее значимые и важные для потребителя –  $L_v$  и  $T$ . Оптимизации этих характеристик гибких ЭЛП и посвящена данная работа.

## Проведение и результаты эксперимента

На рис. 1 приведена конструктивная схема ЭЛП. Установлено, что яркость такой структуры определяется большой совокупностью факторов, таких как:

– лавсановая плёнка  $1$ ; прозрачный проводящий слой  $ITO$  (10 %  $SnO + 90\% In_2O_3$ )  $2$ ; люминесцирующий слой (суспензия люминофора + диэлектрическое связующее в весовой пропорции 2:1)  $3$ ; диэлектрический слой (диэлектрическое связующее + титанат бария ( $BaTiO_3$ ) в весовой пропорции 2,5:1)  $4$ ; непрозрачный электрод ( $Al, Ag$ )  $5$ ;

– эффективность используемого люминофора, определяемая концентрацией активатора и гранулометрическим составом порошка. В рамках данной работы применялся высококачественный цинксульфидный электролюминофор *D512C-GG* бирюзового цвета свечения производства КНР;

– качество жидкого диэлектрического связующего, используемого для приготовления суспензии люминофора и диэлектрического слоя. Важны технологичность его применения и характерное для него значение относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , от которого зависит концентрированность воздействия электрического поля непосредственно на зёрна люминофора, определяющая яркость их излучения;

– толщины слоёв  $3$  и  $4$  (рис. 1). Они должны быть достаточно малы для достижения высокой напряжённости поля в люминесцирующем слое при подаче на ЭЛП питающего напряжения, но при этом нельзя допустить неравномерности свечения структуры из-за излишнего обеднения люминесцирующего слоя. При среднем диаметре зёрен люминофора в 25 мкм у изделий, изготавливаемых нами, толщины люминесцирующего и диэлектрического слоёв, наносимых шелкографическим методом, в отверждённом состоянии, соответственно, равнялись в среднем 60 и 40 мкм;

– качество (высокое) прозрачного электрода  $2$ , нанесённого на лавсановую плёнку  $1$  (рис. 1). Он должен обеспечивать удельное сопротивление не выше 500 Ом·м;

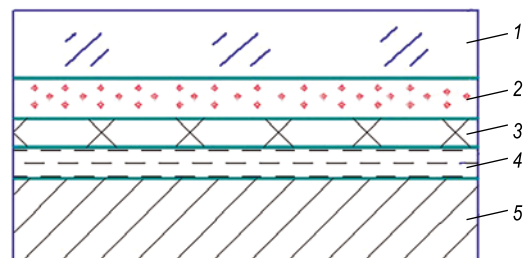
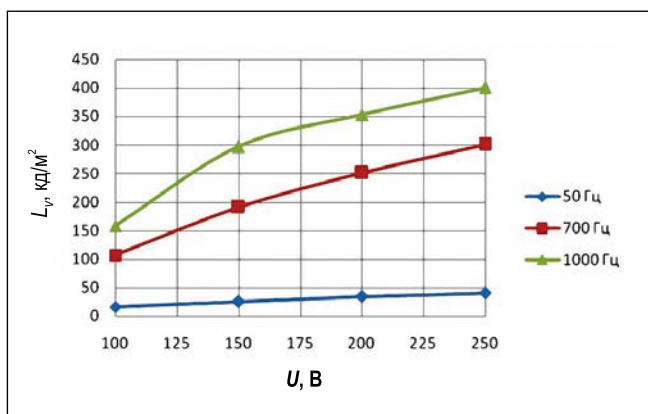


Рис. 1. Конструкция ЭЛП

Рис. 2. Зависимости яркости ЭЛП от напряжения питания при разных его частотах



– процентное соотношение компонентов, входящих в излучающий и диэлектрический слои (оптимальное). Компоненты таковы: диэлектрическое связующее (ДС) на эпоксидной основе, электролюминофор, сегнетоэлектрик – титанат бария, а также смачиватель – оксиэтилированный фенол ОП-10;

– режим (оптимальный) электрического питания изделия. Для возбуждения свечения ЭЛП требуется переменное напряжение. В этом случае люминофор ЭЛП излучает в оба полупериода колебаний напряжения, а его мгновенная яркость является периодической функцией времени. Необходимо обеспечивать выгодное сочетание амплитуды и частоты питающего напряжения, а также оптимальные форму и длительность импульсов [1, 2].

Исследования показали, что значительный резерв при поиске возможности повышения яркости ЭЛП заложен в составе ДС, в сочетании с которым из люминофора приготавливается суспензия для светящего слоя. ДС – это полимерный диэлектрик (в рассматриваемом случае), приготовленный на основе смолы ЭД-22. Связующий диэлектрик должен быть прозрачен для видимого света, а также обладать хорошей адгезией к соседним слоям,

достаточным уровнем пробивного напряжения, химической инертностью по отношению к материалам наполнителя и электродов, а также стабильностью электрофизических и оптических характеристик. Он не только выполняет функции связующего материала, но и создаёт барьерные области, и тем самым концентрирует электрическое поле непосредственно на зёрнах люминофора. Напряжённость данного поля можно рассчитывать по выражению

$$E_{\text{вн}} = E_{\text{ср}} \frac{3\varepsilon_{\text{д}}}{\varepsilon_{\text{эл}} + 2\varepsilon_{\text{д}} - \chi(\varepsilon_{\text{эл}} - \varepsilon_{\text{д}})},$$

где  $E_{\text{вн}}$  – напряжённость поля внутри зёрен люминофора, В/м;  $E_{\text{ср}}$  – средняя напряжённость поля в слое в целом, В/м;  $\varepsilon_{\text{д}}$  – относительная диэлектрическая проницаемость материала ДС;  $\varepsilon_{\text{эл}}$  – относительная диэлектрическая проницаемость зёрен электролюминофора;  $\chi$  – доля объёма, занимаемого люминофором в суспензии.

Видно, что ДС, входящее в суспензию люминофора и в диэлектрический слой, должно характеризоваться высокой диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$  и малыми диэлектрическими потерями. Это обеспечивает максимальную концентрацию электрическо-

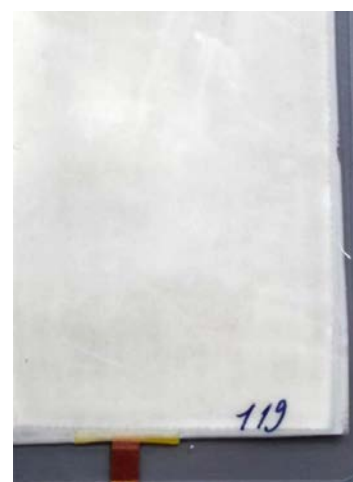
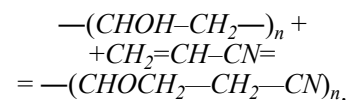


Рис. 3. Образец ЭЛП после эксплуатации

го поля на кристаллах люминофора, распределённых в излучающем слое, и расположенных изолированно друг от друга в окружении ДС. Для роста  $\varepsilon$  в состав ДС вводилось до 40 % сегнетоэлектрика – титаната бария.

В ходе работы было установлено, что весьма перспективным материалом для его применения в составе плёнок с высокой  $\varepsilon$  является цианэтиловый эфир поливинилового спирта (ЦЭПС).

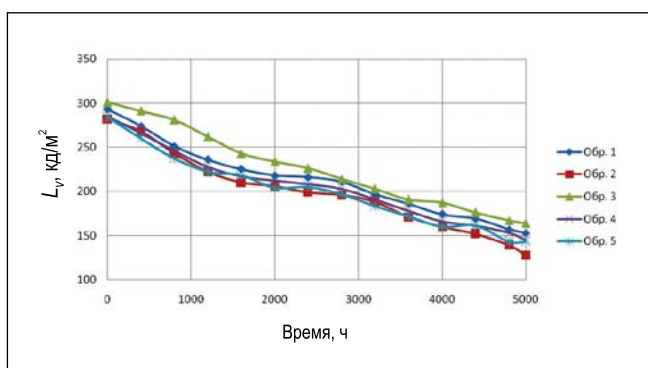
Химизм получения ЦЭПС выглядит как



Показатель полимеризации  $n$  может варьироваться от 350 до 1200. Значительное содержание в ЦЭПС подвижных сильно полярных нитрильных, карбонильных и гидроксильных групп обеспечивает высокое значение диэлектрической проницаемости. На частоте 1000 Гц при комнатной температуре она достигает 15 и более при тангенсе угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta = 0,1-0,15$ .

Видно, что ЦЭПС является продуктом присоединения акрилонитрила к поливинилому спирту (ПВС). Оксигруппы присоединяются по активированной двойной связи акрилонитрила. Следует учесть, что от качества ПВС, произведённого на предприятии-поставщике, а именно от достигнутой эффективности отщепления ацетатных групп от поливинилацетата (омыления) вместо оксигрупп до их остатка, соответствующего 1 %, зависит остаток ацетогрупп. При этом известно, что даже незначитель-

Рис. 4. Результаты испытаний образцов ЭЛП на долговечность (режим включения:  $U = 150 \text{ В}$ ,  $f = 1000 \text{ Гц}$ )



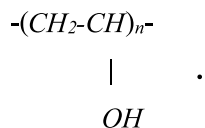
ное присутствие ацетогрупп в составе готового продукта снижает его качество. Таким образом, омыленный ПВС высшего качества в идеале не должен содержать оксигрупп.

С использованием синтезированного нами ЦЭПСа были изготовлены образцы ЭЛП. На рис. 2 приведены яркостные характеристики одного из образцов. Количество ЦЭПСа, введённого в состав суспензии люминофора, составило 15 % от массы порошка люминофора. Был достигнут значительный рост  $L_v$  структур, который в среднем составил порядка 25–30 % по сравнению с образцами, выполненными без применения ЦЭПСа.

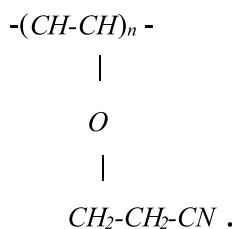
Однако  $L_v$  может радикально снижаться при непрерывной эксплуатации излучающих плёнок. В первые 500–700 ч она быстро падает, затем спад замедляется. Время, за которое уровень  $L_v$  спадает до половины начального, называют долговечностью.

Исследования показали, что снижение  $L_v$  структур, как правило, сопровождалось постепенным изменением их внешнего вида. На рисунке 3 приведено фотоизображение одного из изготовленных нами образцов плёночных источников света после 600 ч непрерывной работы. Видно, что люминесцирующий слой потемнел, он покрылся тёмной мелкой сыпью. Дальнейшая эксплуатация структуры усугубляет положение. Потемнение люминесцирующего слоя может свидетельствовать об его частичном окислении, происходящем под влиянием кислорода, содержащегося в ЦЭПСе.

Структурную формулу поливинилового спирта можно представить как

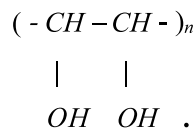


Получаемый путём синтеза поливинилового спирта и акрилонитрила ( $CH_2=CH-CN$ ) ЦЭПС имеет структурную формулу



Появившаяся полярная группа  $CH_2-CH-CN$  обеспечивает рост  $\epsilon$  полимера. Известно при этом, что в ходе синтеза поливинилового спирта и акрилонитрила не все группы  $OH$  закрываются. Оставшийся несвязанным кислород в группе  $OH$  может в дальнейшем способствовать протеканию окислительных процессов в люминесцирующем слое и снижать тем самым долговечность ЭЛП. Окисление проявляется, в частности, иногда наблюдаемым потемнением рабочей поверхности панели в ходе её эксплуатации. Панель деградирует, изменяя свой внешний облик (рис. 3).

Проведённые исследования показали, что более совершенным аналогом ЦЭПСа, как диэлектрического связующего может выступить синтезированный в присутствии катализатора  $NaOH$  параформальдегид, который изначально характеризуется формулой



Результаты синтеза параформальдегида и акрилонитрила в присутствии катализатора  $NaOH$  схематически представлены внизу страницы.

Видно, что в получившемся в итоге полимере, с одной стороны, присутствуют две полярные группы, что повышает  $\epsilon$  соединения, а с другой – кислород  $O$  уравновешен (нейтрализован) двумя звеньями полярных групп. При этом можно ожидать снижения его окислительных свойств во всём полимере. Положительное влияние окажет и отсутствие в веществе свободных  $OH$ -групп.

В соответствии с этим синтез ЦЭПСа, предназначенного для про-

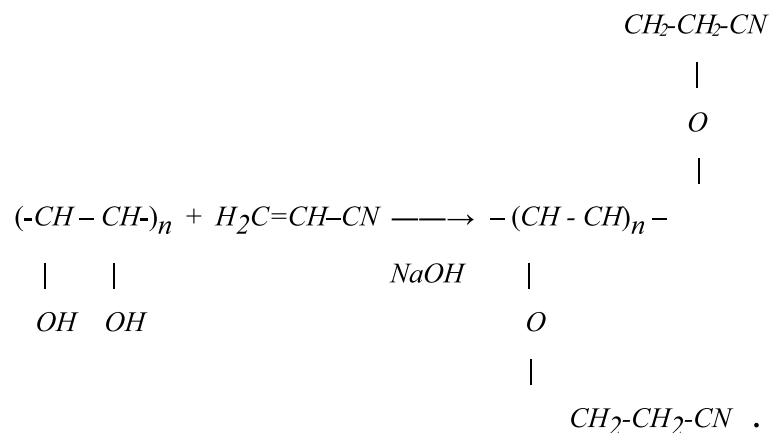
изводства высокоэффективных долговечных ЭЛП и производимого на основе акрилонитрила и поливинилового спирта, необходимо вести таким образом, чтобы остаток оксигрупп в нём был минимальным. Нами была разработана соответствующая технология синтеза. Изготовленный по данной технологии продукт обладает следующими полезными свойствами:

- высокой  $\epsilon$  ( $\geq 17$ );
- высокой прозрачностью;
- возможностью изменения вязкости, например, путём разбавления продукта диметилформамидом или ацетоном, что в случае необходимости позволяет переводить процесс получения ЭЛП из периодического в полунепрерывный (из шёлкотрафаретного в рулонный способ изготовления ЭЛП);
- высокой термостойкостью (до 250 °С на воздухе);
- возможностью дальнейшего отверждения плёнок, как под воздействием УФ излучения, так и термически. При этом следует лишь использовать разные соответствующие инициаторы радикальной полимеризации.

Проведённые нами испытания излучающих структур, изготовленных с использованием модернизированного ЦЭПСа, показали, что долговечность изделий возросла до 5000 ч (рис. 4).

Таким образом, достигнут вполне приемлемый, конкурентоспособный результат, как по яркости, так и по долговечности ЭЛП.

Результаты работы получены при поддержке Министерства образования и науки РФ (уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57715X0196).





## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаров И.Н., Кабышев А.М., Козырев Е.Н., Малдзигати А.И. Разработка и оптимизация источника питания для гибких электролюминесцентных панелей // Светотехника. – 2016. – № 6. – С. 39–42.

2. Гончаров И.Н., Кабышев А.М., Козырев Е.Н., Малдзигати А.И. Источник питания для электролюминесцентных панелей // Радиотехника и электроника. – 2017. – Т. 62, № 6. – С. 1–3.



**Гончаров Игорь Николаевич,**

доктор техн. наук, профессор кафедры «Электронные приборы» ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)».

Область научных интересов – современные источники оптического излучения, оптические квантовые генераторы, электронно-оптические преобразователи



**Козырев Евгений Николаевич,**

доктор техн. и экон. наук, профессор. Заведующий кафедрой «Электронные приборы» ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)».

Академик РАЕН и МАНЭБ. Область научных интересов – фотоэлектронные и электронно-лучевые приборы, твердотельные приборы и устройства СВЧ диапазона



**Малдзигати**

**Алан Ильич,** инженер. Ведущий инженер-технолог ОАО «ГРАН». Аспирант. Область научных интересов – оптико-электронные приборы и устройства



**Аскеров Роман Олегович,**

инженер. Ассистент кафедры «Электронные приборы» ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)».

Область научных интересов – современные источники оптического излучения и преобразователи электрической энергии

## Новые COB-светодиоды компании Lumileds дают до 30000 люменов

Lumileds объявила о добавлении к своей базовой серии мощных светодиодов «Luxeon CoB Core Range» трёх новых изделий, удовлетворяющих потребности в больших световых потоках светильников для улиц и стадионов и светильников с большой и малой высотой подвеса.

«Имея эти изделия с большими световыми потоками, мы теперь можем удовлетворять потребности не только тех областей применения, которым нужны мощности 40 и 50 Вт, но и тех, которым нужны мощности до 100 и 120 Вт, обеспечивая при этом такую же высокую световую отдачу, как и у наших изделий серии «Luxeon CoB Core Range (Gen 3)», – сказал Эрик Сендерз, ответственный за выпуск изделий семейства «Luxeon CoB Family».

Новое пополнение серии «Luxeon CoB Core Range (Gen 3)» имеет диаметры светящейся поверхности, соответственно, 23, 29 и 30 мм, номинальные световые потоки 8800, 11000 и 16000 лм при токах питания 1,2; 2,1 и 2,2 А и световые отдачи до 161 лм/Вт.

Предлагаются решения с коррелированными цветовыми температура-



ми (КЦТ) 2700–5700 К и индексами цветопередачи 70, 80 и 90, решения, предназначенные для наружного освещения с индексом цветопередачи 70 и КЦТ ниже 3000 К, а также удовлетворяющие особым требованиям, предъявляемым к цвету студиями и стадионами, нуждающимися в холодно-белом свете и высоких индексах цветопередачи (> 90).

Светодиоды смонтированы на квадратных печатных платах на металлической основе, которые, как утверждается, имеют наименьшее тепловое сопротивление, что уменьшает размеры радиаторов и вторичной оптики для снижения общей стоимости сборки.

compoundsemiconductors.net  
27.06.2017

## Мода будущего: интерактивные светодиодные ресницы «f.Lashes»

На что только не пойдёшь ради того, чтобы быть модным в XXI веке. Художники, дизайнеры и стилисты проявляют верх изобретательности, чтобы впечатлить окружающих своими работами. В том числе используя в проектах различные технологические ухищрения. Яркий макияж сегодня уже никого не удивляет, поэтому техасский дизайнер Тьен Фам решил в буквальном смысле подсветить глаза своих моделей. Светодиодные наклейки на ресницы получили название «f.lashes» (игра слов от «flash» – вспышка и «lashes» – ресницы).

«f.lashes» представляют собой тоненькие светодиодные полоски, наклеиваемые на веки поверх ресниц. Светодиоды соединены тонкими проводами с блоком управления, закреплённым заколками на затылке модели. Помимо плоской батарейки, которой хватает примерно на 4 ч работы, блок содержит в себе чувствительный к движениям контроллер. Устройство может похвастаться пятью различными режимами работы светодиодов. Например, ресницы могут переливаться огоньками. Движения головы пользователя также могут запускать различные



световые паттерны, что, по заверению разработчиков технологии, выглядит особенно эффектно во время танцев.

Дизайнер Тьен Фам разработал прототип «f.lashes» ещё в прошлом мае специально для показа мод на одном из калифорнийских подиумов. Но когда публика увидела его изобретение, то пришла в полный восторг. Фама буквально умоляла выпустить «f.lashes» в розничную продажу. Это привело к созданию kickstarter-кампании, которая буквально за пару недель набрала в два с половиной раза больше средств, чем было нужно изначально (более \$100 000 вместо 40 000 требовавшихся). Первые покупатели получили свои сияющие наклейки на ресницы уже в январе 2018 г.

hi-news.ru  
05.07.1017