

Тонкоплёночные электролюминесцентные структуры против электролюминесцентной подсветки и светодиодов

Виктор Жданкин (Москва)

Несмотря на то что тонкоплёночные электролюминесцентные структуры, разработанные и созданные компанией Veeco, электролюминесцентные подсветки для жидкокристаллических дисплеев, неорганические светодиоды и органические светоизлучающие диоды являются электролюминесцентными материалами, их свойства весьма различны. В статье представлено общее понимание того, чем эти электролюминесцентные (светоизлучающие) устройства различаются.

Введение

Электролюминесценция (механизм излучения) характеризует явление, которое происходит при возбуждении материала подачей напряжения. Впоследствии материал излучает свет: происходит преобразование электрической энергии в свет (см. рис. 1).

Тонкоплёночные электролюминесцентные структуры (Thin Film Electroluminescent – TFEL), созданные компанией Veeco, электролюминесцентная подсветка для жидкокристаллических дисплеев (ЖКД), неорганические светодиоды (Light Emitting Diodes) и органические светоизлучающие диоды (Organic Light Emitting Diodes – OLED) по своей природе являются электролюминесцентными материалами. Однако их свойства весьма различны, и каждая из технологий применяется в определённых приложениях.

Многообразие форм материалов для производства электролюминесцентных дисплеев схематично представлено на рисунке 2.

Сравнение неорганических электролюминесцентных (EL) материалов с диодами

Неорганическая электролюминесценция может иметь двунаправленный путь протекания тока от генератора переменного тока, в то время как диоды имеют однонаправленное протекание тока. Кроме того, все коммерчески доступные электролюминесцентные (EL) дисплеи используют фосфоры из неорганических материалов, тогда как светоизлучающие диоды могут быть изготовлены из органических или неорганических материалов. Технологии различаются процессом изго-

товления, потребительскими свойствами и сегментами применения. Термин «органический» используется для обозначения материалов, в значительной степени основанных на углероде, и не должен ассоциироваться с продуктами питания, имеющими маркировку «органическое происхождение».

Сравнение электролюминесценции при управлении переменным током с электролюминесценцией при управлении токовыми сигналами постоянного тока

Различие между двумя методами электролюминесценции становится

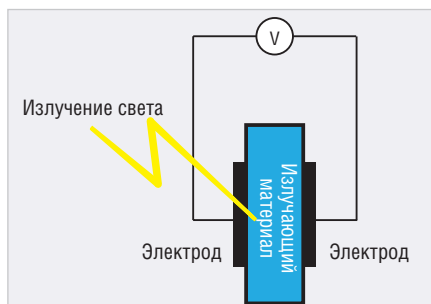


Рис. 1. Упрощённое представление механизма излучения (электролюминесценция)

очевидным из типа управления пикселями: током переменным или постоянным. Дисплеи с управлением переменным током используют напряжение переменной полярности, чтобы создать излучение света из фосфорного слоя, обычно включающего сульфид цинка (ZnS) с добавками небольшого количества ионов марганца (ZnS:Mn). Дисплеи с управлением пикселями постоянным током используют импульсный ток для создания излучения света из фосфорного слоя, содержащего ZnS. Управление электролюминесценцией с помощью сигналов переменного тока (AC EL) широко используется в адресуемых матричных дисплеях производства компании Veeco (торговая марка Lumineq) и некоторых других компаний. Ограниченный успех технологии управления электролюминесценцией постоянным током (DC EL) обусловлен проблемами с надёжностью и в 2 раза более коротким жизненным циклом по сравнению с изделиями с управлением сигналами переменного тока. Несмотря на значительное развитие в прошлом, сейчас продукция с управлением постоянным током не находит рынков сбыта, поэтому не будет более рассматриваться в этой статье.

Сопоставление тонкоплёночной электролюминесцентной структуры (TFEL) с порошковой электролюминесценцией

Как указывалось ранее, устройства с управлением электролюминесценцией переменным напряжением обычно используют фосфоры на основе суль-

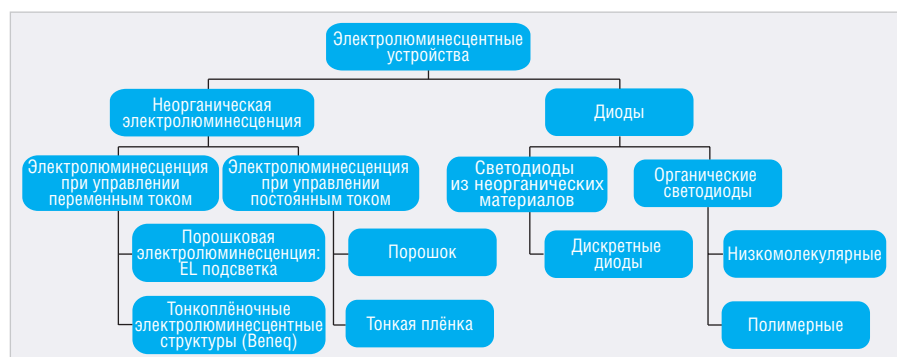


Рис. 2. Виды материалов для электролюминесцентных (светоизлучающих) дисплеев

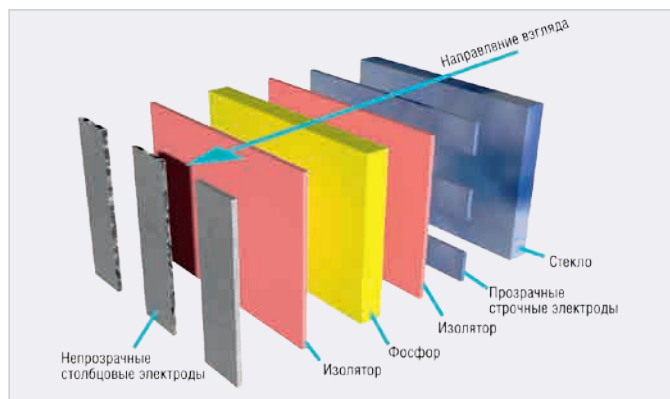


Рис. 3. Структура TFEL – дисплея с управлением переменным током

фида цинка (ZnS). В TFEL-структуре фосфорный слой толщиной 0,5 мкм изолирован между двумя диэлектрическими токоограничивающими слоями толщиной 0,3 мкм, которые ограничивают максимальный ток заряда и разряда ёмкостей и защищают фосфор от замыкания с электродами при воздействии сильного электрического поля. В целом тонкоплёночная структура имеет толщину примерно 1 мкм, требуя большой точности в процессах осаждения. Для справки: толщина бумаги в обычной записной книжке – около 100 мкм. Размещение тонкоплёночной структуры между ортогональной системой электродов показано на рисунке 3. По крайней мере один из представленных на рисунке электродов должен быть прозрачным для того, чтобы можно было наблюдать излучение. Как только управляющее напряжение (± 200 В, переменное) прикладывается к пересечению ортогональных электродов, формирующих пиксель, высокоэнергичные электроны инжектируются в фосфор, приводя к свечению фосфора между пересекающимися электродами. Свет проходит через прозрачный электрод по направлению к наблюдателю. Более подробно структура тонкоплёночных электролюминесцентных дисплеев и их основные параметры рассмотрены в работах [4, 5].

Прозрачные дисплеи, выпускаемые компанией Veeco под торговой маркой Lumineq, имеют два прозрачных слоя на обеих сторонах тонкоплёночной структуры. В настоящее время прозрачные дисплеи (Transparent Thin Film Electroluminescent – TASEL) широко используются для интегрирования в элементы остекления, иллюминаторы пассажирских самолётов, боковые стёкла автомобилей системы каршеринга и для других применений, когда информацию на экране необходимо

воспринимать одновременно с предметом внимания, находящимся в поле зрения за дисплеем. Отсутствие необходимости подогрева дисплеев TASEL при низких температурах способствует разработке новых информационных решений для жёстких условий эксплуатации. Подробные сведения о конструкции и применениях прозрачных электролюминесцентных дисплеев даны в работе специалистов компании Veeco [1].

О возможности создания триплекса с интегрированным прозрачным дисплеем для применений в авиационной, космической, глубоководной и специальной технике рассказано в работе [6].

Обычные электролюминесцентные дисплеи имеют один прозрачный слой и один (обычно чёрный) задний электродный слой, который создаёт повышенную контрастность. Применение технологии интегрального расширения контраста (Integral Contrast Enhancement – ICE) позволяет повысить собственный контраст изображения за счёт уменьшения бокового рассеяния от светящегося пикселя посредством формирования дополнительной маски в слое люминофора, которая блокирует проникновение света в соседние пиксели. Применение светопоглощающего слоя на внутренней поверхности строчных электродов позволяет уменьшить паразитное боковое рассеяние. Собственный контраст TFEL-дисплеев достигает уровня 1:1000, что позволяет считывать изображение при яркой внешней засветке и относительно невысокой яркости.

Так как человеческий глаз способен обнаруживать в яркости в светящихся пикселях менее 2...5%, пиксели дисплея должны излучать свет равномерно. Процессы осаждения тонкой плёнки являются чрезвычайно точными и создают хорошо упакованные, равномерные слои фосфора и диэлектрика. TFEL-дисплеи имеют высокую равномерность и ста-

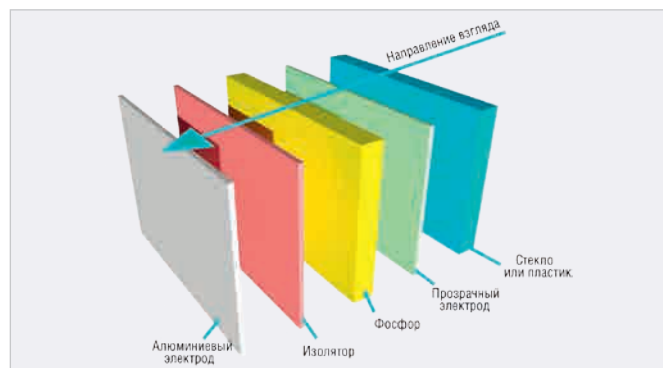


Рис. 4. Система подсветки на порошковой электролюминесцентной структуре переменного тока

бильность яркости, а также отличаются длительным сроком службы (до достижения уровня половинной яркости от первоначального значения пройдёт как минимум 100 000 ч). В статье [7] детально рассматриваются основы нанесения тонких плёнок по нанотехнологиям атомно-слоевого осаждения, дан обзор оборудования, выпускаемого компанией Veeco, приведены практические примеры применения этой технологии.

В отличие от технологии, применяемой при производстве TFEL-дисплеев, порошковые электролюминесцентные структуры изготавливаются с применением простых технологий осаждения, таких как шёлкотрафаретная печать. Фосфорный порошок смешивается с жидким реагентом для формирования геля. Гель наносится на подложку и застывает в виде 50–100 мкм тонкой плёнки. Слой фосфора изолируется, добавляются два электрода, один из которых должен быть прозрачным (см. рис. 4). Когда прикладывается напряжение, фосфор излучает свет через прозрачный электрод точно так, как это происходит у TFEL-структур. Технология осаждения, по точности сопоставимая с требуемой для применений TFEL, недорога. Однако несмотря на обширный объём разработок, порошковая электролюминесценция переменного тока не проверена для применения в производстве дисплеев с высоким содержанием информации из-за более низкой надёжности фосфорных материалов и структуры устройства по сравнению с TFEL.

Человеческий глаз значительно менее точен при определении ухудшения яркости в точечных источниках света. Это делает порошковую электролюминесцентную технологию приемлемой для производства на её основе ночных светильников, встраиваемых в штепсельные вилки, сигнальных автомобильных ламп, освещения театральных сцен и систем

задней подсветки небольших жидкокристаллических дисплеев, подобных тем, которые используются в наручных часах. Порошковые электролюминесцентные структуры, подобно TFEL-структурам, как правило, используют фосфоры на основе сульфида цинка (ZnS). Однако порошковые электролюминесцентные структуры обычно добавляются, чтобы создать цвета, которые ассоциируются с электролюминесцентной подсветкой (голубой, зелёный и красный).

Сопоставление светоизлучающих диодов из неорганических материалов с органическими светоизлучающими диодами

Светоизлучающие диоды, изготавливаемые из неорганических материалов, таких как индий, алюминий, галлий, мышьяк и/или азот, коммерчески доступны с 60-х годов. За последние несколько десятилетий достигнут такой уровень эффективности, что светоизлучающие диоды конкурируют с лампами накаливания и даже с люминесцентными источниками света. Все устройства на основе светодиодов из неорганических материалов производятся точным осаждением пленочного пакета светодиодного устройства на специально подготовленные пластины. Процесс производства является обычным в полупроводниковой промышленности. После того как пакет осаждён, пластина режется на кристаллы, как правило, со стороны примерно 1 мм или меньше, затем осуществляется корпусирование и присоединение оптической системы.

Производство светодиодных пластин из неорганических материалов сегодня масштабно. Ещё недавно изготовление дисплеев на единой подложке являлось проблематичным. Наряду с обычными светодиодами появились мини- и микросветодиоды. Микросветодиоды применяются в средствах отображения информации или дисплеях. Изготовление матрицы светящихся элементов микросветодиодов производится одновременно и на одной подложке. Микродисплейная технология отличается рядом конкурентных преимуществ и может занять значительную нишу на рынке современной электроники [2].

Светодиоды из неорганических материалов в небольших отдельных корпусах широко внедрены для коммерческого применения. Такие диоды используют в качестве источников света, компонентов системы подсветки сверхтонких

ЖКД. Микросветодиоды представлены в следующих сегментах рынка:

- компьютерные мониторы;
- умные часы;
- дисплеи, закрепляемые на голове;
- смартфоны;
- планшеты;
- телевизоры;
- видеостены.

Продукция со светодиодами, изготовленными из органических материалов, впервые стала коммерчески доступной в 1997 году. Светодиодные дисплеи могут быть отнесены к органическому светоизлучающим (Organic Light Emitting Device – OLED) или органическим электролюминесцентным устройствам. Технология имеет преимущество перед неорганическим аналогом. Матричный дисплей относительно легко изготавливается из материалов на основе органических плёнок. Было разработано два типа устройств на основе органических плёнок: низкомолекулярные и полимерные светоизлучающие устройства, изобретённые компанией Eastman Kodak и Кавендишской лабораторией Кембриджского университета.

Большая часть изделий OLED изготавливаются на основе низкомолекулярных плёнок. Очень интересна сегодня технология полимерных органических светодиодов: она позволяет использовать струйную печать для нанесения органического слоя, это значительно удешевляет и упрощает технологию производства. Органические светоизлучающие устройства, помещённые в корпус, как панели с одним пикселем, находят применение и на потребительском рынке освещения. Успешное массовое внедрение органических светодиодов сдерживается низкой эффективностью, недостаточным сроком службы, сложностью получения светодиодов белого свечения, высокой стоимостью.

Плёночный набор органического или неорганического диода содержит два расположенных рядом полупроводника (n-типа и p-типа) с различным числом свободных электронов. Ток в диоде протекает только в одном направлении, поэтому когда приложено напряжение к материалу n-типа, электроны протекают по направлению к слою p-типа в светоизлучающем диоде – генерируется свет.

Сопоставление тонкоплёночных электролюминесцентных дисплеев с OLED-дисплеями

Первоначально OLED-дисплеи были рекомендованы только для потребитель-

ских применений, таких как сотовые телефоны, автомобильная стереофоническая аппаратура с весьма ограниченными рабочими циклами и небольшими размерами по диагонали. Из-за неравномерного старения не существовало OLED-дисплеев для использования в ноутбуках, PDA или профессиональном измерительном оборудовании, где длительное статическое изображение приводит к паразитному эффекту «прожигания» (burn-in) экрана.

Производители устройств, созданных на основе органических плёнок (OLED), обычно характеризуют световой ресурс как время, в течение которого начальная яркость дисплея/пикселя уменьшается вдвое. Это общепринятый показатель в описании срока службы ламп и других излучателей света, не относящихся к дисплеям, но он имеет несущественное значение для дисплеев с большим объёмом информации.

Как было указано ранее, человеческий глаз может видеть на изображении неравномерность в яркости менее 2...5%. Таким образом, ослабление от 5 до 10% локальной световой отдачи может приводить к появлению весьма заметного паразитного тёмного фона.

Проблема со старением у дисплеев OLED не позволяет их применять в изделиях, дисплеи которых требуют увеличенного срока службы. Кроме того, нагрев ускоряет старение у OLED-дисплеев, содействуя сокращению периода их нормальной эксплуатации. При температурах выше +70°C дисплеи OLED могут катастрофически отказывать. Следовательно, они не могут быть задействованы в приложениях, где существует требование эксплуатации при высокой температуре. Компании, занятые разработкой OLED, в настоящее время существенно увеличили срок службы при высоких уровнях яркости и высокой температуре. Некоторые модели OLED-дисплеев с пассивной адресацией сохраняют стабильность параметров при длительном воздействии высокой температуры и влажности: более 950 ч безотказной работы при температуре +55°C и влажности 95%.

Больше убедительных данных имеется относительно живучести TFEL-дисплеев, выпускаемых компанией Veneq, особенно по сравнению с OLED-дисплеями. TFEL-дисплеи были внедрены в тысячи военных транспортных средств и другое военное оборудование. OLED-дисплеи долгое время не

были квалифицированы для применения в полевых условиях.

В последние годы благодаря значительным инвестициям был разработан, например, OLED-микродисплей для приборной панели самолётов с диапазоном рабочей температуры от -40 до +70°C. Для специальных применений серийно производятся микродисплеи с активной матрицей на основе органических светодиодов (AMOLED). Основным рынком сбыта активно-матричных дисплеев на основе органических светодиодов (AMOLED-дисплеев) является рынок смартфонов, переносных игровых приставок и телевизоров.

TFEL-дисплеи демонстрируют уменьшение яркости на 85% от первоначальной после 100 000 ч непрерывной работы без заметного различия старения пикселей и могут применяться при температурах выше +70°C. Эта технология является одной из коммерчески доступных и наиболее заслуживающих доверие дисплейных технологий. TFEL-дисплеи занимают важную нишу в ряде специальных применений, где по условиям эксплуатации требуется стойкость к крайне низким и высоким температурам.

Заключение

Технология производства дисплеев на основе тонкоплёночных электролюминесцентных структур (TFEL) является испытанной: её стойкость к дифференциальному старению, длительный срок службы без снижения яркости подтверждены 38 годами производства. Она хорошо подходит для ответственного оборудования, требующего отображения графической и алфавитно-цифровой информации, длительного срока службы и надёжности. Это проверенный, с низкой степенью риска выбор для разработчиков высоконадёжного оборудования: военных приложений, сферы общественной безопасности, промышленного оборудования.

За последние годы были созданы малоформатные TFT-модули с расширенным рабочим температурным диапазоном (от -40 до +85°C) [3], но диапазон рабочих температур TFEL-дисплеев от -60 до +105°C без изменения времени электрооптического отклика остаётся непревзойдённым.

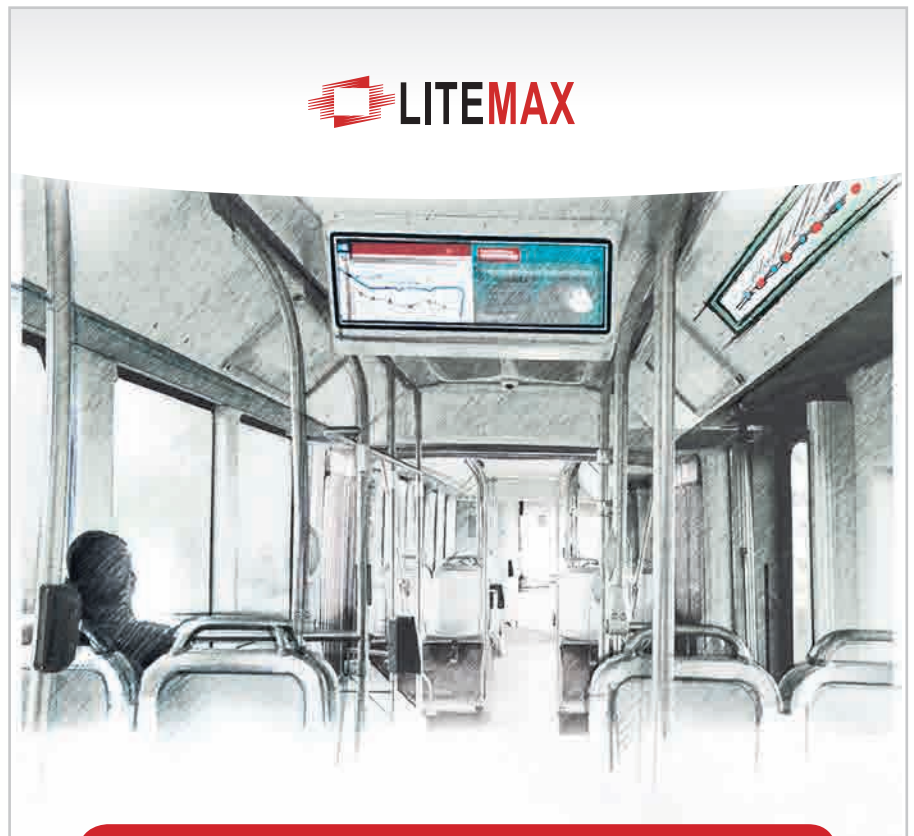
Литература

1. *Абилых А., Харконен К., Паккала А., Смит Дж.* Перевод Жданкина В. К. Прозрачные электролюминесцентные дис-

плеи. Современная электроника. 2008. № 4.

2. *Беляев В.* Твердотельные и органические микросветодиоды – технологии, рынок, перспективы. Электроника: НТБ. 2018. № 8.
3. *Ежов В.* TFT-LCD-модули Mitsubishi Electric: передовые технологии для широкого спектра применений. Электроника: НТБ. 2018. № 4.
4. *Жданкин В. К.* Электролюминесцентные плоскостельные дисплеи. Электронные компоненты. 2003. № 7.

5. *Самарин А.* Benec (Lumineq) – новый бренд на рынке электролюминесцентных дисплеев. Компоненты и технологии. 2014. № 8.
6. *Кочанов Ю., Машир Ю., Солинов В.* Исследование возможности создания триплекса с интегрированным прозрачным дисплеем// Компоненты и технологии. 2016. № 5.
7. *Майоров Э.* Реализация нанотехнологии атомно-слоевого осаждения на оборудовании компании Benec: от лаборатории к промышленности. Компоненты и технологии. 2013. № 10.



ВАШ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОПУТЧИК!

Полосковые дисплеи для транспорта

- ЖК-дисплеи серии SPANPIXEL™ с яркостью до 3000 кд/м²
- Размеры по диагонали от 6,2 до 65"
- Разрешение до 4K2K
- Угол обзора 178° (во всех плоскостях)
- Диапазон рабочих температур (некоторых моделей) -30...+85°C
- Возможна разработка под заказ
- Ресурс до 100 000 часов

PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
(495) 232-2522 • INFO@PROCHIPRU • WWW.PROCHIPRU



Реклама