

ОРГАНИЧЕСКИЕ СВЕТОДИОДЫ

НОВЫЕ ЗВЕЗДЫ МАЛЫХ ЭКРАНОВ

Если в будущем какая-либо технология СОИ исчезнет, то, скорее всего, — это ЖКД. Появившиеся в 1963 году как альтернатива громоздким ЭЛТ или как панель, пригодная для реализации настенного телевизионного экрана (что так и не состоялось из-за проблем, связанных с созданием экранов большой площади), ЖК-дисплеи стали стандартным средством отображения информации, устанавливаемым в самых разнообразных устройствах — от часов и домашних бытовых приборов до портативных компьютеров. Но дальнейшее совершенствование этой технологии связано с ростом производственных издержек и коммерческих расходов. Вместе с тем, потребность в портативных средствах связи с низким энергопотреблением вынуждает производителей СОИ пересматривать технологию используемых в них плоскостельных устройств. И сегодня одна из самых многообещающих и захватывающих — это технология органических светодиодов (Organic Light Emitting Diodes — OLED), запатентованная в начале 80-х годов прошлого столетия компанией Eastman Kodak. Повышенный интерес к OLED объясняется такими их достоинствами, как высокая яркость и контрастное отношение, недостижимые с помощью других известных технологий, а также отсутствие необходимости подсветки и, соответственно, низкое энергопотребление.

ЧТО ТАКОЕ ОРГАНИЧЕСКИЙ СВЕТОДИОД?

Первый OLED на основе пленок органических полупроводников *р*-типа, состоящих из групп молекул в аморфном состоянии, был получен специалистами компании Eastman Kodak, заметившими голубое свечение, исходящее от органического элемента солнечной батареи. Ученые установили, что в зоне соприкосновения двух органических материалов, в одном из которых присутствуют дырки, а в другом — избыточные электроны, как и в случае кристаллических светодиодов, возможна эмиссия фотонов. При этом, разумеется, внешний слой излучающего элемента должен беспрепятственно пропускать свет, для чего было решено использовать широко применяемый в полупроводниковой промышленности прозрачный ок-



В.Майская

сид индия и олова (ITO). В результате была создана так называемая структура Kodak-типа, до сих пор практически не изменившаяся.

Таким образом, органический светодиод — монолитное твердотельное устройство, представляющее собой многослойную структуру, состоящую из нескольких органических слоев (дырочной инжекции, переноса дырок, светоизлучающего и переноса электронов) толщиной 100–150 нм, заключенных между прозрачным анодом, нанесенным на стеклянную или пластмассовую подложку, и осажденным поверх органических пленок металлическим катодом (рис. 1). При подаче напряжения на прибор электроды инжектируют в соответствующие органические пленки носители заряда (электроны и дырки), которые под действием электрического поля дрейфуют навстречу друг другу, рекомбинируя в промежуточном слое с излучением фотона.

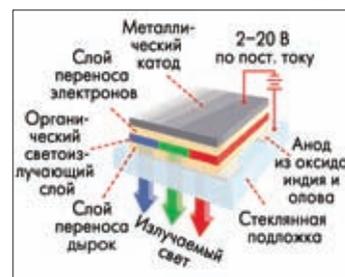


Рис. 1. Структура OLED

Параметры OLED-панели во многом определяет ее тип — пассивно-матричный (PMOLED) или активно-матричный (AMOLED).

Пассивно-матричные OLED просты по своему исполнению и представляют собой матрицу элементов изображения, образуемую пересекающимися анодными и катодными линиями (рис. 2). При подаче с помощью внешнего контроллера на определенные столбцы и строки входного напряжения и сигнала передачи видеоданных высвечиваются соответствующие элементы изображения. Чем больше проходящий ток, тем ярче пиксел. Для формирования изображения напряжение на каждую строку должно подаваться в течение $1/N$ -отрезка времени, затрачиваемого на сканирование экрана с N числом строк. Сигнал передачи данных, поступающий на столбцы, синхронизирован с частотой развертки строк, составляющей, как правило, 60 Гц.

Панели этого типа просты в изготовлении, но требуют применения достаточно дорогостоящих внешних схем управления. К тому же они потребляют большую мощность. При подаче больших импульсов токов управления малой длительности PMOLED обычно не достигают максимальной световой эффективности, что связано как с неэффективностью самого диода, так и с потерями в строках. Анализ эффективности PMOLED показал, что на их основе целесообразно выполнять дисплеи с диагональю не больше 2–3" и числом строк до 100. Такие дешевые дисплеи с малым информационным содержанием находят достаточно широкое применение в сотовых телефонах, MP3-плеерах и портативных электронных играх.

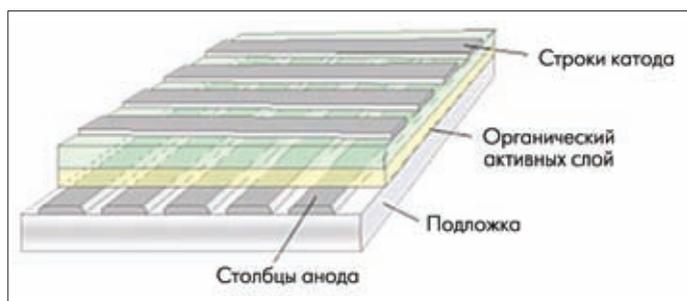


Рис.2. Структура пассивно-матричного OLED

Активно-матричные OLED выполняются на стеклянных подложках, поверх которых изготовлены тонкопленочные транзисторы (ТПТ), обеспечивающие индивидуальную адресацию каждого пикселя дисплея и позволяющие тем самым снизить потребляемую им мощность. Для формирования ТПТ-матрицы наиболее перспективен метод низкотемпературной обработки поликристаллического кремния (Low-Temperature Polycrystalline Silicon – LTPS). По-видимому, LTPS-подложки по мере модернизации существующих предприятий и строительства новых заменят более распространенные сейчас подложки с тонкопленочными транзисторами на аморфном кремнии, поскольку обеспечивают высокое разрешение (до 200 пикселей/дюйм и выше) и малое энергопотребление. При использовании AMOLED сокращается число требуемых внешних схем управления и существенно упрощаются электрические соединения между модулем дисплея и остальными блоками системы. Ведутся работы и по изготовлению AMOLED на подложках с ТПТ на монокристаллическом кремнии, что перспективно для создания микродисплеев с высоким разрешением. Число пикселей, разрешение и размер AMOLED практически ничем не ограничены. Панели этого типа перспективны для реализации СОИ с высоким разрешением и информационным содержанием, в том числе средств отображения видеoinформации и графических устройств.

Но основные рабочие характеристики дисплея, к которым относятся длина волны излучения (цвет), срок службы и эффективность, определяет в первую очередь **органический материал многослойной структуры**. Сегодня органические светодиоды в основном выполняются либо на базе материалов, молекулы которых легче молекул простейшего белка, – так называемых низкомолекулярных материалов (эти светодиоды зачастую и называют OLED или Small-Molecule OLED – SMOLED), либо на основе специального класса полимеров, способных излучать свет при возбуждении (так называемые полимерные LED, или PLED). Пионер в области разработки PLED – компания Cambridge Display Technology (CDT), владеющая ключевыми патентами на их создание, на процессы оптимизации параметров и процессы изготовления. В PLED, как правило, используются полимеры двух семейств – поли р-фениленвинилена (PPV) и полифлуорена (PF). Полимер наносится на подложку методом струйной печати. Для этого чрезвычайно тонкие пленки полимерного материала помещаются в раствор с целью

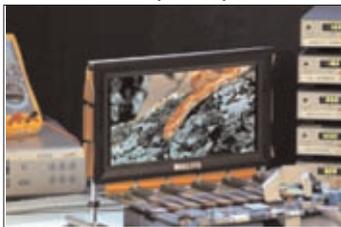


Рис.3. PLED-дисплей компании Philips

получения распыляемых чернил, а специальный струйный принтер наносит на подложку капли жидкого красного, зеленого и синего полимера. Правда, создание структуры, содержащей материалы разного цвета излучения, т.е. полноцветного дисплея, – задача не простая. Тем

не менее, метод достаточно прост и позволяет изготавливать гибкие и дешевые дисплеи достаточно больших размеров. Так, компания Philips методом струйной печати изготовила полноцветный PLED-дисплей с диагональю 13" и разрешением 576x324 пикселей (рис.3). Красные, зеленые и синие пиксели наносились принтером с четырьмя головками и 256 управляемыми пьезоэлементами соплами, распылявшими соответствующие полимеры. А компанией CDT был изготовлен PLED-дисплей с диагональю 40".

Изготовление OLED на основе низкомолекулярного материала требует применения сложного оборудования вакуумного осаждения, которое более пригодно для формирования полноцветных дисплеев с высоким разрешением. С помощью теневой маски и трехэтапного процесса осаждения RGB-пленок была показана возможность изготовления полноцветного дисплея с диагональю 2,4" и шагом субпикселей 57 мкм. К достоинствам OLED на низкомолекулярном материале относится и совместимость с большинством операций производства полупроводниковых приборов. SMOLED существенно превосходят PLED по сроку службы и эффективности, но метод их изготовления не приемлем для создания дисплеев больших размеров. Поэтому сейчас SMOLED-дисплеи считаются наиболее серьезным конкурентом ЖКД, особенно в области дисплеев малых размеров. Поскольку одно из основных достоинств OLED – отсутствие подсветки, они успешно конкурируют с ЖКД при создании субпанелей (дополнительных дисплеев) мобильных телефонов типа раскладушки, популярность которых непрерывно растет. Благодаря прогрессивным методам продвижения OLED-дисплеев на рынок сегодня они используются в 90% раскладушек с субдисплеем. Ряд компаний разработали так называемые двойные или двухсторонние OLED-дисплеи. Так, Исследовательский институт промышленной технологии (Industrial Technology Research Institute – ITRI) Тайваня в конце 2004 года продемонстрировал одноцветный двойной дисплей с диагональю 3,8" и разрешением 320x240 пикселей. Разработку подобных дисплеев на основе активно-матричных OLED ведут компании RiTdisplay и AU Optronics. Безусловно, двойной OLED-дисплей зрительно более привлекателен, чем ЖКД.

Появление мобильных телефонов со встроенной фотокамерой открывает новое применение OLED, на основе которых благодаря большей эффективности в сравнении с ЖКД, выполняется видеосъемка. Однако, как показывает практика, технология ЖКД развивается столь же стремительно, как и требования, предъявляемые производителями мобильных телефонов. Соревнование двух технологий продолжается.

В последнее время внимание разработчиков привлекают органические светодиоды на основе растворимого в полимере фосфоресцирующего низкомолекулярного материала. В традиционных OLED только 25% генерируемых носителей заряда участвуют в излучении света, тогда как остальные 75% носителей вызывают нагрев прибора. На основе результатов работ, проведенных учеными Принстонского университета, Университета Южной Калифорнии и компании Universal Display Corp. (UDC), удалось получить новый органический материал, в котором благодаря процессу фосфоресценции все 100% генерируемых носителей участвуют в генерации света. Наносится такой материал на подложку с помощью процесса струйной печати органическим паром. Пары органического материала пропускают через микроскопическое сопло, формирующее коллимированный пучок газа, с помощью которого и создается на подложке требуемый рисунок органических элементов изображения. Достоинства этого процесса – более полное использование материалов, обеспечение лучшего разрешения и более высокая производительность в сравнении с другими методами изготовления OLED.

Фосфоресцирующие OLED (Phosphorescent OLED – PHOLED) по эффективности в четыре раза превосходят обычные органические диоды, не говоря о ЖКД, 90% излучения которых поглощается светофильтрами и другими компонентами дисплея. Световая эффективность PHOLED достигает 20 лм/Вт. Яркость активно-матричного PHOLED-дисплея с диагональю 2,2" в режиме воспроизведения видеоизображения – 200 кд/м² при значении потребляемой мощности всего 125 мВт против 180 мВт для ЖКД аналогичной яркости.

К достоинствам PHOLED относятся возможность формирования на их основе экранов больших размеров (благодаря малой потребляемой мощности и большой светоотдаче), а также совместимость технологии с процессами формирования активных матричных структур с ТПТ на базе аморфного или поликристаллического кремния.

Помимо PHOLED-дисплеев компания UDC предлагает так называемые прозрачные органические светодиоды (Transparent OLED – TOLED), формируемые с прозрачными электродами на тонких прозрачных стеклянных или пластмассовых подложках. Светодиоды типа TOLED излучают свет верхней, нижней или обеими поверхностями. Поскольку в нерабочем режиме такие панели прозрачны на 70%, они могут монтироваться на стеклах очков, лобовом стекле автомобиля или на окнах. Кроме того, компания создала наборные OLED (Stacked OLED – SOLED), в которых красные, зеленые и синие элементы каждого пиксела располагаются по вертикали. Каждый субпиксел управляется независимо, цвет пиксела регулируется пропускаемым через каждый цветовой элемент током, шкала серого – широтно-импульсной модуляцией. Яркость устанавливается выбором соответствующего тока вертикального набора. По утверждению разработчиков, SOLED-технология позволяет в три раза увеличить разрешение дисплея и качество цветопередачи в сравнении с дисплеями на базе ЭЛТ или ЖК. Компания считает, что в будущем SOLED-панели найдут применение в дисплеях с высоким разрешением сетевого оборудования.

Интерес представляют и разработанный учеными исследовательской группы Института технологии Технион (Израиль) органический полупроводниковый материал на базе полученных ими протеинов. Протеины соединяются друг с другом, образуя пептиды, пригодные для построения электронных приборов. По мнению разработчиков, в ближайшие несколько лет им удастся создать полноцветные складные дисплеи с более высоким разрешением, чем у экранов современных компьютеров.



Рис.4. OLED-модули компании Optrex America в приборной панели автомобиля

СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК OLED

К основным достоинствам OLED можно отнести:

- чрезвычайно малые толщину и массу, высокую робостность конструкции, которую можно реализовать на пластмассовой тонкопленочной подложке в виде "электронной бумаги", что делает такие средства отображения перспективными для применения в разнообразных портативных устройствах. Возможно, в будущем OLED-панели будут печататься, как газета, а не изготавливаться как микросхемы;
- более высокие, по сравнению с ЖКД, значения яркости и контрастного отношения;
- высокое разрешение;
- широкий угол обзора (до 170°);

- отсутствие подсветки и хорошую видимость даже при ярком освещении;
- высокую частоту обновления изображения (в три раза выше, чем требуется для воспроизведения телевизионного изображения), что, по-видимому, позволит коренным образом преобразовать карманные компьютеры и сотовые телефоны;
- малую потребляемую мощность, что, помимо увеличения срока службы батарей портативных устройств, обеспечивает высокую эффективность диодов и позволяет минимизировать выделяемое тепло и вносимые помехи.

В сущности, любое изделие, в котором используется ЖКД или ЭЛТ, – кандидат для применения OLED. Игровые устройства, сотовые телефоны, видеокамеры, DVD-плееры, GPS-аппаратура, аудиодисплеи, карманные компьютеры, ноутбуки, мониторы и телевизоры – вот лишь небольшой перечень областей применения, где потребуются СОИ следующего поколения на базе OLED-технологии. OLED – один из главных кандидатов для замены традиционных осветительных ламп твердотельными приборами. Это задача, решению которой сегодня Министерство энергетики США придает первостепенное значение, считая, что такая замена позволит на одну треть сократить уровень энергопотребления страны.

Изделия с OLED-дисплеями появились на рынке еще в 1999 году. Это были автомобильные стереоприемники компании Pioneer с монохромными OLED-дисплеями, сотовые телефоны с панелями совместной разработки Samsung-NEC и даже электрическая бритва с OLED-индикатором фирмы Philips. Все OLED-средства отображения, используемые в этих изделиях, представляли собой устройства пассивно-матричного типа.

Признавая достоинства OLED-дисплеев и их преимущества перед ЖКД, производители ЖКД стремятся заранее "застолбить" место на рынке OLED-устройств. Так, на выставке New Electronics Drive Convergence 2004 компания Optrex America, основной продукцией которой являются ЖКД, впервые демонстрировала пассивно-матричные OLED-модули для приборных панелей автомобилей моделей Chevrolet и Jeep Cherokee (рис.4). Длительность эксплуатации модулей до снижения исходной яркости на 80% составляет 30 тыс. ч. А уже в моделях автомобилей высшего класса 2005 года (например, DB9 Aston Martin) в приборных панелях можно обнаружить информационные дисплеи на базе цветного AMOLED.

Не за горами и появление телевизионных OLED-экранов. На ежегодной выставке бытовой электроники (CES) 2005 года компания Samsung экспонировала опытный образец AMOLED-экрана с диагональю 21" (53 см) и разрешением 1920x1080 пикселей, при изготовлении которого использовалась освоенная в производстве ЖКД ТПТ-технология. А на Международном симпозиуме, семинаре и выставке Общества информационных дисплеев (SID) 2005 года компания представила опытный образец OLED-панели с диагональю 40" (1 м) (рис.5). Разрешение панели 1280x800 пикселей для каждого цвета (всего 3,07 млн. пикселей), максимальная яркость экрана 600 кд/м², контрастное отношение может достигать 5000:1. Толщина панели всего 2,2 см. Выполнен экран на стеклянной подложке размером 730x920 мм по технологии, совместимой с процессами изготовления активных матричных



Рис.5. Опытная панель на органических светодиодах с диагональю 40" компании Samsung SDI. Пока ее цветовая гамма (80% NTSC) несколько меньше, чем у ЖКД, но по быстродействию она превосходит ЖКД в 100 раз

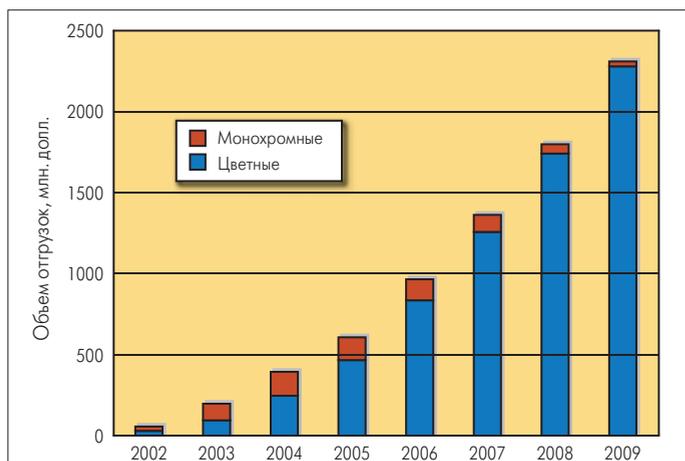


Рис.6. Динамика отгрузок мобильных телефонов с OLED-дисплеями

ЖКД с ТПТ на аморфном кремнии. Правда, реально функционирующие телевизоры с таким экраном появятся лишь через несколько лет.

Столь активные разработки и интерес к OLED позволили аналитической компании iSuppli оценить рынок OLED-дисплеев к 2010 году в более чем 3 млрд. долл. против 470 млн. долл. в 2004-м. При этом ожидается, что в будущих СОИ все более широко начнут применяться AMOLED, доля которых в общем объеме продаж OLED к 2010 году составит 26% в количественном выражении и 71% в стоимостном. Основной областью применения OLED-дисплеев к концу рассматриваемого периода станут мобильные телефоны, большей частью раскладушки (рис.6). Так, по оценкам журнала PC World, из 289 млн. AMOLED, которые должны быть отгружены производителями в 2010 году, 88% будут использованы в мобильных телефонах. (Объем отгрузок дисплеев этого типа в 2005 году оценивается в 264 млн. шт. При этом они предназначались в основном для портативного бытового оборудования и мобильных телефонов.)

Число игроков на рынке OLED непрерывно растет. В 2003 году насчитывалось всего шесть таких компаний, в 2004-м их число выросло до 21. А сегодня уже более 20 ведущих компаний и исследовательских институтов Европы участвуют в проекте НИОКР в области OLED, получившем название OLLA (разработка высокоярких органических светодиодов для информационных и связанных систем и осветительных приборов). Цель проекта – создание к 2008 году OLED белого свечения с большим сроком службы (до 10 тыс. ч), высокими эффективностью (50 лм/Вт) и яркостью.

Среди компаний, занятых разработкой OLED, тройка лидеров рынка органических дисплеев стоит особняком, значительно опережая всех остальных участников этого соревнования. Лидер в тройке – компания Samsung SDI, которая во втором квартале 2005 года отгрузила 3,8 млн. дисплеев этого типа на сумму 37,2 млн. долл. На втором месте тайваньская фирма RiTdisplay, планировавшая в 2005 году отгрузить 20 млн. OLED-дисплеев и выйти на первое место. А самая заметная из новых участников рынка – компания LGE, темпы прироста продаж которой за период со второго квартала 2004 года по второй квартал 2005-го составили 111% в количественном выражении (объем отгрузок до 740 тыс. панелей) и 92% в стоимостном выражении (до 6,5 млн. долл.).

ПРОБЛЕМЫ, ПРОБЛЕМЫ, ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ

OLED-технология, конечно, не без недостатков. Хотя в принципе издержки производства СОИ этого типа значительно ниже, чем у ЖКД,

* Срок службы – время, в течение которого начальная яркость дисплея/пиксела уменьшается вдвое.

пока еще освоение массового выпуска OLED-устройств сталкивается с серьезными техническими трудностями. Органические светодиоды все еще находятся на ранней стадии производства, и чтобы приступить к их серийному выпуску, необходимо решить множество самых разнообразных проблем. А пока затраты на их производство достаточно велики, и стоимость изделий на их основе оказывается выше, чем при использовании ЖКД. Надежность OLED также еще не достаточно велика: через месяц эксплуатации синие пиксели "выгорают", и цвет экрана быстро смещается в сторону желтого. И, наконец, OLED испытывают жесткую конкуренцию со стороны ЖКД, производители которых не намерены уступать многомиллиардный рынок новым пришельцам.

Таким образом, для успешного продвижения OLED на перспективные рынки СОИ необходимо в первую очередь существенно увеличить их срок службы (до 100 тыс.ч при работе при высоких уровнях яркости) и освоить высокопроизводительные процессы их изготовления. Увеличение срока службы органических материалов – сложнейшая проблема. Этот параметр для OLED-элементов красного и зеленого цвета уже превышает 20 тыс. ч, тогда как для синих элементов, как отмечалось выше, он значительно меньше. Правда, в декабре 2005 года компания Cambridge Display Technology объявила о создании синего OLED на основе нового полимерного материала, срок службы* которого составляет 37,5 тыс., 16,7 тыс. и 9,4 тыс. ч при начальной яркости 200, 300 и 400 кд/м², соответственно. По продолжительности срока службы синие OLED уже приближаются к красным диодам – 125 тыс., 55,5 тыс. и 31,2 тыс. ч. для тех же значений начальной яркости, соответственно. При этом световая отдача красных и синих OLED превышает 7 и 10 кд/А, соответственно. Следует отметить, что эффективность красных диодов имеет большое значение, поскольку их доля в потребляемой цветным дисплеем мощности самая высокая. У ЖКД,

представленных на современном рынке, значение начальной яркости составляет 400 кд/м².

Интерес представляют и результаты работ компании UDC, получившей фосфоресцирующий материал желтого свечения со светоотдачей 71 кд/А, сроком службы 100 тыс. ч при яркости 100 кд/м². Кроме того, на фирме изготовлен синий (длина волны 474 нм) PHOLED со сроком службы более 15 тыс. ч. при яркости 200 кд/м², внешней квантовой эффективности 9,5% и светоотдаче 22 кд/А. Правда, пока технология этого материала отработана не достаточно для применения в коммерческих полноцветных дисплеях.

Для решения проблемы увеличения срока службы синих светодиодов ряд специалистов предлагают использовать приборы белого свечения с соответствующими светофильтрами. Хотя при этом эффективность OLED несколько ухудшается, ее значение все равно оказывается выше, чем у ЖКД.

Но проблема срока службы органического материала не единственная, которую необходимо решить. Существует проблема проникновения в дисплеи влаги, приводящей к повреждению и разрушению органического материала. Следовательно, необходимо уделять особое внимание вопросам герметизации прибора. Продолжаются работы, направленные на эффективный вывод теряемого в подложке излучения.

Разработка новых материалов, уменьшение размеров дисплеев и постоянное совершенствование процессов изготовления OLED приводят к ужесточению требований к испытаниям на всех этапах разработки и производства этих приборов. Вследствие неупорядоченной структуры органических материалов подвижность носителей их мала. Формирование пространственного заряда вызывает множество переходных процессов, и длительность некоторых из них чрезвычайно велика. Чтобы характеризовать механизмы электролюминесценции и фосфоресценции, необходима высокочувствительная и точная контрольно-измерительная аппаратура, способная проводить измерения на уровне фемтоампер и милливольт. В ходе производства OLED измерительные системы обычно замеряют характеристики перехода прибора, а у активно-матричных устройств — характеристики ТПТ. При этом необходимо учитывать относительно большую емкость этих устройств с тем, чтобы не удлинять время испытаний. Поскольку OLED — активные светоизлучающие приборы, следует измерять зависимость излучаемого света от тока и напряжения как в непрерывном, так и импульсном режиме работы. Из-за большого числа пикселей, образующих строки и столбцы, для ускорения процесса испытаний необходима коммутирующая матрица. С учетом всех этих проблем для получения достоверных результатов испытаний при минимально возможных затратах желательно для каждой технологии и физической конфигурации OLED-дисплея иметь соответствующую специализированную под конкретное устройство испытательную систему.

ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ЛАМПЫ НА OLED

Дисплеи не единственная область применения органических светодиодов. Сегодня, особенно в США, большое внимание уделяется разработке осветительной аппаратуры на твердотельных приборах, рекламируемых как выдающиеся изделия на рынке энергетических устройств. На освещение домов, зданий, предприятий, улиц в США ежегодно тратится 765 трлн. Вт ч, или 30% вырабатываемого электричества. В результате американским потребителям на освещение приходится ежегодно тратить около 58 млрд. долл. Даже незначительное увеличение КПД осветительных систем позволит заметно сократить затраты населения и энергопотребление страны. И самыми перспективными твердотельными источниками света для замены

ламп накаливания считаются светодиоды, а для замены флуоресцентных ламп — OLED. Но пока ни OLED на низкомолекулярном материале, ни полимерные OLED не имеют каких-либо ощутимых достоинств для продвижения на рынок осветительной аппаратуры. Полимерные диоды дешевле SMOLED, что для рынка немаловажный фактор. В то же время, большая эксплуатационная долговечность (10 тыс. ч) дает SMOLED некоторое преимущество на рынке осветительных систем, долговечность компонентов которых должна быть не менее 20 тыс. ч. Однако чтобы OLED могли успешно конкурировать с современными источниками света, их световая отдача должна превышать 100 лм/Вт.

И здесь на передний план выходят высокоэффективные фосфоресцирующие OLED компании UDC, специалисты которой создали осветительную панель на PHOLED с рекордной световой отдачей в 30 лм/Вт. Панель размером 6х6" состоит из матрицы красных, зеленых и синих полос. Путем регулировки интенсивности излучения каждого цвета можно добиться генерации белого цвета разных оттенков, характеризуемых цветовой температурой и коэффициентом цветопередачи. Эффективность опытной панели измерялась при значениях цветовой температуры в диапазоне 2900–5700К. Рекордное значение световой отдачи было получено при цветовой температуре 4000К, что сопоставимо с цветовой температурой и эффективностью холодной флуоресцентной лампы. Для сравнения, обычные лампы накаливания излучают свет со световой отдачей 15–20 лм/Вт при цветовой температуре 2900К. Созданная панель отличалась высокой яркостью: она излучала 150 лм при световой отдаче 15 лм/Вт и цветовой температуре 3700К. Коэффициент цветопередачи в диапазоне измеренных цветовых температур превысил 80.

Совместные работы компании UDC, Принстонского университета и Университета Южной Калифорнии привлекли внимание Министерства энергетики США, заключившего в 2002 году с UDC два контракта на сумму 100 тыс. долл. в рамках программы поддержки инновационных исследований малого бизнеса. Задачи, поставленные Министерством энергетики, — создание источника света, выполненного на гибкой пластмассовой подложке, содержащей набор высокоэффективных красных, зеленых и синих полос, объединенное излучение которых дает белый свет, и разработка новой PHOLED-структуры с мономерными и эксимерными уровнями возбуждения с целью достижения высококачественного и эффективного излучения белого цвета.

В сентябре 2005 года Министерство энергетики заключило с UDC еще один контракт фазы II на сумму 750 тыс. долл., рассчитанный на два года. Задача компании — создать источник света, выполненный по TOLED-технологии. В ходе фазы I компании за счет применения TOLED-структуры в сочетании с внешним отражателем удалось на 20% увеличить количество света, отбираемого от OLED. В рамках фазы II разработчики надеются оптимизировать характеристики этой конструкции.

Разработка новых органических материалов, совершенствование технологии производства и испытательных средств будут способствовать созданию OLED для малых дисплеев, используемых в карманных компьютерах, сотовых телефонах и цифровых камерах. Но для того, чтобы характеристики и эффективность их производства соответствовали требованиям, предъявляемым к большим дисплеям и высококачественным видеоприборам, потребуются еще огромные усилия. Много предстоит сделать и для продвижения OLED на рынок осветительных систем, который к 2007 году достигнет 40 млрд. долларов.