

Денис Бычковский, к. ф.-м. н

OLED начинают и выигрывают

История органических светодиодов (Organic Light-Emitting Diode, OLED) насчитывает уже 60 лет. Впервые об органических материалах, способных излучать свет, в начале 50-х гг. XX в. поведал миру Андре Бернаноэ. Вместе с сотрудниками своей лаборатории он открыл электролюминесценцию в органических тонких пленках хинакина при приложении к ним тока. Десятилетием позднее сотрудники лаборатории «Доу Кемикал» разработали управляемые током электролюминесцентные ячейки, используя легированный антрацен. Однако низкая электрическая проводимость первых органических материалов существенно ограничивала развитие технологии до тех пор, пока не появились более современные органические материалы, такие как полиацетилен, полипиррол и органические проводящие полимеры. За открытие последних в 2000 г. Алан Хигер, Алан Мак-Диармир и Хидеки Сиракава получили Нобелевскую премию в области химии.

OLED представляет собой прибор, изготовленный из органических соединений и эффективно излучающий свет при пропускании через него электрического тока. Для создания органических светодиодов используются тонкопленочные многослойные структуры, состоящие из нескольких полимеров. При подаче на анод положительного относительно катода напряжения поток электронов протекает через прибор от катода к аноду. Таким образом, катод отдает электроны в эмиссионный слой, а анод забирает электроны из проводящего слоя или, другими словами, анод отдает «дырки» в проводящий слой. Эмиссионный слой получает отрицательный заряд, а проводящий слой — положительный. Под действием электростатических сил электроны и «дырки» движутся навстречу друг к другу

и при встрече рекомбинируют в эмиссионном слое. При этом происходит понижение энергии электрона, которое сопровождается испусканием (эмиссией) электромагнитного излучения в области видимого света (поэтому слой и называется эмиссионным). Принцип действия OLED показан на рис. 1.

В качестве материала анода обычно используется оксид индия, легированный оловом. Он прозрачен для видимого света и имеет высокую работу выхода, которая способствует инжекции дырок в полимерный слой. Для изготовления катода часто используют металлы — такие, как алюминий и кальций, поскольку они обладают низкой работой выхода, способствующей инжекции электронов в полимерный слой.

Технологии OLED востребованы в различных областях, к примеру, в устройствах отображения информации. В настоящее время такие дисплеи активно применяются в телефонах, фотокамерах, планшетах и т. п. Предполагается, что в недалеком будущем производство OLED-дисплеев больших размеров станет более дешевым, нежели производство ЖК-дисплеев (LCD). В сравнении с LCD OLED-дисплеи обладают рядом преимуществ, к которым относятся:

- меньшие габариты и вес;
- отсутствие необходимости в подсветке;
- не критичность к углу обзора (изображение видно без потери качества с любого угла);
- мгновенный отклик (на порядок выше, чем у LCD) — по сути, полное отсутствие инерционности;
- более качественная цветопередача (высокая контрастность);
- возможность создания гибких экранов;
- большой диапазон рабочих температур ($-40 \dots +70 \text{ }^\circ\text{C}$);
- энергоэффективность.

При освещении LCD-дисплея ярким лучом света появляются блики, а картинка на OLED-экране останется яркой и насыщенной при любом уровне освещенности (даже при прямом попадании солнечных лучей на экран).

Основная проблема, с которой сталкиваются сегодня разработчики и производители OLED-дисплеев, — различие во времени жизни диодов разных цветов: красный и зеленый OLED могут непрерывно работать на десятки тысяч часов дольше, чем синий. Напомним, что смешение этих трех основных цветов в различных пропорциях позволяет получать всю цветовую гамму результирующего излучения — от крас-

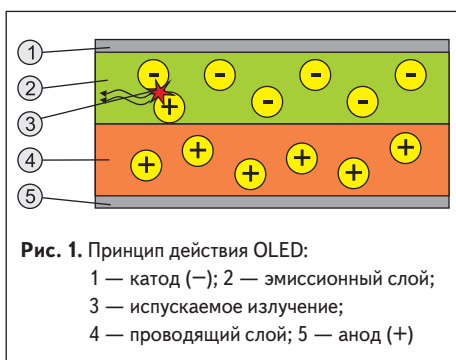
ного до фиолетового. В случае, если остаются только красный и зеленый источники света, мы ограничены в цвете результирующего излучения. Таким образом, зачастую невозможно получить правильную цветопередачу.

При этом для дисплеев телефонов, фотокамер, планшетов и иных малых устройств достаточно в среднем около 5 000 ч непрерывной работы, учитывая быстрые темпы устаревания аппаратуры и ее неактуальность спустя несколько лет.

Однако сравнительно недолгий срок эксплуатации OLED можно считать временными трудностями становления новой технологии, поскольку повсеместно активно разрабатываются новые долговечные материалы и способы защиты диодов от деградации. Лидеры мирового рынка, такие как OSRAM, Philips, Kodak, Konica Minolta, Lumiotec и ряд других, вкладывают в развитие технологии миллиарды долларов ежегодно. Потребность в тех преимуществах, которые предоставляют органические дисплеи, с каждым годом растет. Этот факт позволяет заключить, что в скором времени дисплеи, произведенные по OLED-технологиям, с высокой вероятностью станут доминантными на рынке электроники народного потребления.

В последние годы активно развивается технология прозрачных OLED (TOLED). Они представляют собой тонкую гибкую и невидимую в выключенном состоянии пленку, которая при подаче на нее тока может отображать информацию. Так как TOLED прозрачны при выключении, то их можно крепить прямо на лобовое стекло автомобиля, на витрины магазинов или для установки в шлеме виртуальной реальности (рис. 2). Прозрачность экрана достигается за счет использования прозрачных органических элементов и материалов для изготовления электродов. Благодаря применению поглотителя с низким коэффициентом отражения для подложки TOLED-дисплея, контрастное отношение в нем может на порядок превзойти ту же характеристику жидкокристаллического дисплея.

Другое применение органических светодиодов находят в производстве светотехники. В последние годы во всем мире наблюдается стремительное развитие энергоэффективного освещения на основе твердотельных излучателей. В первую очередь, это связано с возможностью значительной (до 80%) экономии электроэнергии, используемой для освещения. Полный переход на твердотельное освещение может привести к ежегодной экономии только в России



115 млрд кВт·ч, или не менее 600 млрд руб. при средней цене 5 руб. за 1 кВт·ч. Кроме того, переход на твердотельное освещение приведет к снижению потребления невосполнимых источников энергии и уменьшению выбросов в атмосферу углекислого газа.

В настоящее время можно говорить о двух основных типах твердотельных источников света — органических и неорганических светодиодах. Неорганические светодиоды хорошо известны как точечные источники света, характеризующиеся узконаправленным световым пучком. Чтобы создать равномерное освещение поверхности с их помощью, требуется применение оптических систем и отражателей, что ведет к рассеиванию света и снижению эффективности до 30%. Органические светодиоды, напротив, по своей природе являются поверхностными излучателями и позволяют создавать равномерно светящиеся поверхности любого цвета, формы и размеров без применения оптических систем и отражателей и, следовательно, без снижения эффективности. Кроме



Рис. 2. Прозрачные органические дисплеи

того, осветительные приборы на основе OLED не требуют теплоотвода, что снижает требования к корпусу осветительного прибора и позволяет отказаться от использования металлических деталей. При установке осветительного прибора в помещении появляется возможность полностью отказаться от корпуса, рассеивателя и оптики, что может снизить стоимость прибора практически вдвое относительно аналогичного светильника на основе неорганических диодов. Благодаря возможности изготовления OLED на гибких подложках появляется возможность придавать светящимся поверхностям любую пространственную форму.

Указанные уникальные особенности OLED позволяют сформировать абсолютно новую нишу рынка светодиодного освещения, которой предстоит дополнить существующую.

Потребителями осветительной техники на базе OLED-технологий являются как физические лица, так и организации. Основное применение продукция находит в сегментах внутреннего освещения помещений, архитектурной подсветки и дизайна. Она также может быть использована в автомобильной промышленности для декоративной подсветки и освещения интерьера автомобиля.

По данным McKinsey's, глобальный рынок освещения в 2011 г. уже достиг величины \$79 млрд (рис. 3). Динамика роста со средним темпом 6,6% в год сохранится в ближайшие несколько лет. Ожидается, что в 2015 г. рынок

освещения достигнет значения \$109 млрд. В течение следующих пяти лет темпы роста несколько снизятся (до 3% в год), но рынок по-прежнему сохранит тенденцию к росту и выйдет на уровень \$125 млрд к 2020 г.

В ближайшие несколько лет рынок освещения ожидают большие перемены. В связи с введением запретов на использование ламп накаливания рынок завоевывают флуоресцентные и светодиодные лампы. Последние являются более эффективными и позволяют сократить затраты электроэнергии, расходуемой на освещение, более чем на порядок по сравнению с лампами накаливания и в несколько раз по сравнению с флуоресцентными лампами. Рынок компактных флуоресцентных ламп ожидает постепенное сокращение — в связи с запретом на использование ртути. Сужение рынка люминесцентных ламп будет компенсировано ростом доли твердотельного освещения. Что касается рынка ламп накаливания, то он перестанет существовать в ближайшем будущем в связи с полным запретом на использование таких ламп и будет также заменен твердотельным освещением.

Проникновение источников твердотельного освещения на рынок будет неуклонно расти с 10% в 2011 г. до 71% в 2020-м. При этом в абсолютных величинах он вырастет с \$8 млрд в 2011-м до \$94 млрд в 2020 г. Динамика изменения структуры рынка освещения представлена на рис. 4.

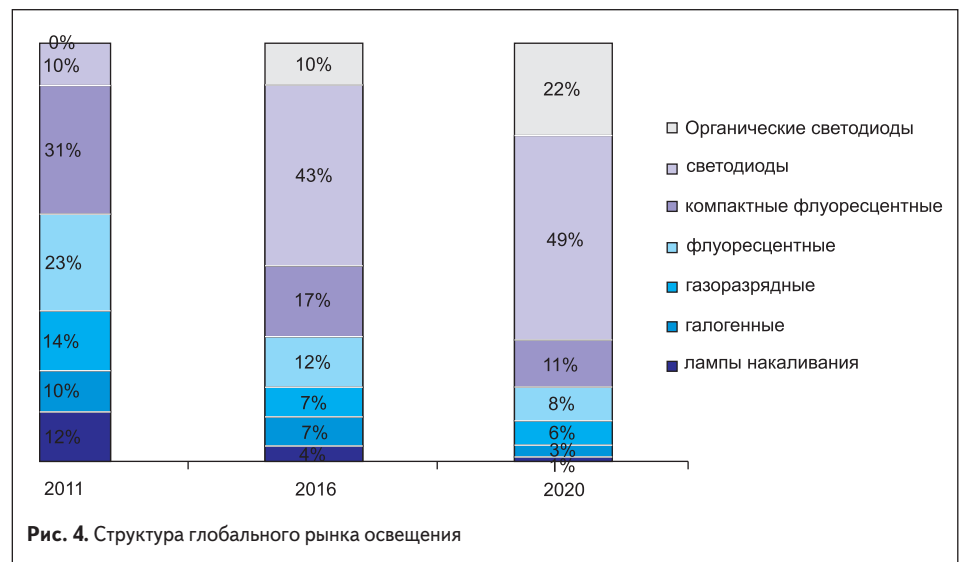
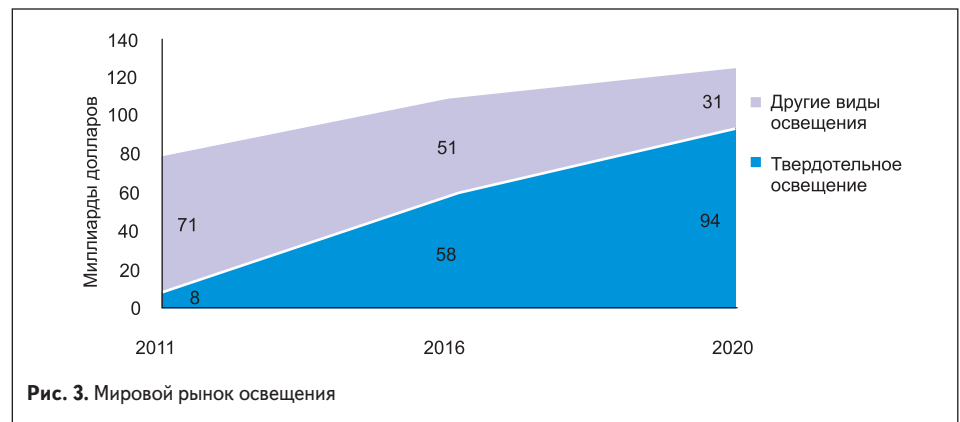




Рис. 5. Примеры использования OLED-панелей

В 2011 г. рынок светодиодного освещения составил 10% от всего рынка освещения. Рынок органических светодиодов пока что находится в стадии формирования, совершенствования источников света и начальной стадии коммерциализации, поэтому на текущий момент его доля незначительна. Однако благодаря уникальным свойствам органических светодиодов (равномерное поверхностное излучение, гибкость, возможность придания любой формы и размеров) это направление в ближайшие несколько лет ожидают большие перемены. OLED начнут постепенно отвоевывать рынок у LED в секторах внутреннего освещения, подсветки и дизайна. Так, по данным исследований NanoMarkets и McKinsey, доля органических светодиодов на рынке освещения достигнет 10% в 2016 г., а к 2020 г. рынок органических светодиодов вырастет до 22%. В абсолютных величинах это будет соответствовать \$11 млрд (2016) и \$28 млрд (2020). Российский рынок также будет развиваться весьма динамично. Он приблизится к половине миллиарда долларов в 2016-м, а к 2019 г. перешагнет миллиардную отметку.

Сегментация рынка определяется особенностями осветительных приборов на базе органических светодиодов, благодаря которым подобные устройства находят свое применение в освещении и дизайнерской подсветке. В неактивном прозрачном состоянии они могут быть использованы при изготовлении окон, которые днем будут пропускать в помещение свет, а в темное время суток его освещать. У нас появляется уникальная возможность создавать светящиеся поверхности, которые можно наносить на стены, потолок и другие объекты (рис. 5).

На данный момент массовое внедрение систем освещения на основе органических светодиодов серьезно ограничено их высокой ценой для потребителя и относительно невысокой эффективностью по сравнению с LED-освещением. Связано это с тем, что технология создания органических светодиодов для освещения находится на этапе опытного производства и еще не вступила в стадию коммерциализации.

Для развития технологии производства OLED в России ГК «Оптоган» создал компанию «Оптоган. Органические Световые Решения», которая в 2011 г. получила грант на исследования в размере €2,5 млн от фонда Сколково. В задачу компании входит улучшение технологических параметров, которое приведет к значительному снижению стоимости продукции на основе органических светодиодов и позволит осветительным приборам на их основе к 2015 г. сравняться по стоимости за килолюмен с приборами на основе LED.

В 2013 г. «Оптоган» планирует достичь эффективности 100 лм/Вт, а к 2014 г. пройти психологическую отметку в 120 лм/Вт, которая в настоящее время характеризует LED массового выпуска. К 2015 г. эффективность светильников на основе OLED сравняется с эффективностью приборов на основе неорганических светодиодов (при этом эффективность самих LED будет выше, около 180 лм/Вт, но из-за потерь на рассеивание эффективность осветительного прибора будет ниже, около тех же 150 лм/Вт, что соответствует приборам на базе OLED).

В течение последних двух десятилетий были синтезированы полупроводниковые полимеры, излучающие (поглощающие) в любом диапазоне видимого спектра. Такие полимерные материалы могут наноситься из растворов при комнатной температуре и обычном давлении, что удешевляет технологический процесс и позволяет изготавливать приборы,

нанесенные на гибкие полимерные подложки неограниченной площади.

С целью кратного увеличения эффективности специалисты «Оптогана» предлагают использовать технологию печати с применением оптически активных сопряженных полимеров и нанокompозитов на основе полимер-неорганических наночастиц. Последняя технология является приоритетной, так как совмещает в себе преимущества трехмерной технологии полимерной матрицы и нанотехнологии неорганических наночастиц (размером около 10 нм). Интеграция на таком уровне органических (полимер) и неорганических (наночастицы) материалов позволяет создавать гибридные оптоэлектронные структуры, совмещающие в себе технологичность полимеров и уникальные электрические и оптические свойства неорганических полупроводниковых наночастиц. Ключевой частью конструкции OLED является активный светоизлучающий слой на основе полимерного нанокompозита. При подаче напряжения на прибор электроды инжектируют в полимерный нанокompозит носители заряда (электроны и «дырки»), которые под действием электрического поля дрейфуют навстречу и рекомбинируют, захватываясь наночастицами, с излучением фотона. Контролируя размеры наночастиц, можно управлять длиной волны света, излучаемого OLED.

Благодаря уникальному комплексу свойств, характерных для оптически активных сопряженных полимеров и их композитов с неорганическими наночастицами, такие структуры позволяют эффективно излучать свет в различных диапазонах спектра — от ультрафиолета до инфракрасной области. Предполагается использовать полимеры, которые растворимы в обычных органических растворителях, поэтому становится возможным нанесение композитов на подложки с использованием технологии струйных принтеров и холодной штамповки. Это в перспективе позволит встроить технологию изготовления полимерных и композитных OLED в уже разработанную сейчас технологию гибкой печатной органической электроники.

Недавние эксперименты в лабораториях «Оптоган» показали, что существует возможность изменения цвета излучения от одного и того же композитного активного слоя OLED при приложении электрического поля. Это свойство открывает дополнительные перспективы для внедрения композитной технологии в производство. ●