

Мир В НОВОМ СВЕТЕ



Текст: Николай Павлов

”

Во всех областях жизни нас каждую минуту сопровождает освещение той или иной яркости и интенсивности. Человек многое воспринимает через цвет: удивительно, но доказано — цвет формы спортсменов влияет на решения судей. Футбольная команда, одетая в красную форму, имеет большие шансы на победу при игре на своем поле¹. Правильная комбинация цвета и его яркости может как заинтересовать, так и отпугнуть человека. Создание «удачного» и универсального источника света — одна из важных задач в промышленности и лабораториях. Вероятно именно поэтому многие передовые технологии примеряются, в первую очередь, именно к светотехнике. Не стала исключением и печатная электроника: одно из наиболее активно развивающихся направлений — это OLED-техника.

Органические светодиодные источники света (OLED — Organic Light Emitting Diode) являются наиболее перспективными с точки зрения экономии электроэнергии, не выделяют тепло (лампы накаливания), не требуют дополнительных устройств для старта (стартеры и дроссели у ламп дневного света). Величина светового потока у светодиодов аналогична соответствующим показателям «классических» ламп. Примеры замены «классических» ламп на светодиодные источники света приведены на рис 1.

Многие производители уже предлагают первые лампы на технологии OLED, а в ближайшем будущем все крупные фирмы планируют переходить на массовое производство таких систем освещения рис 2.

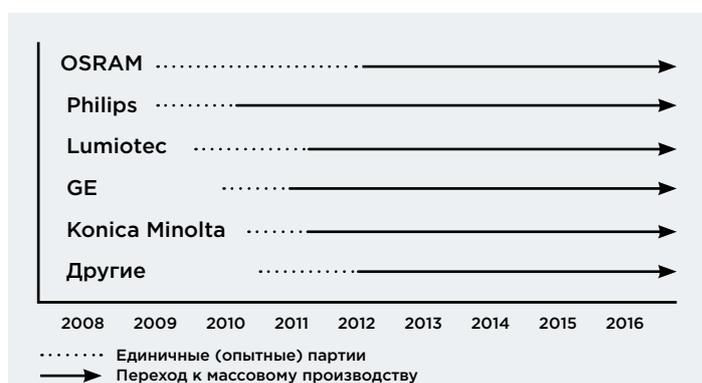
Возможно использование этих изделий не только в качестве единичных (точечных) источников света, но и в качестве целых поверхностей, излучающих свет. Причем такие системы могут менять не только свой уровень светимости, но и становиться прозрачными или матовыми в зависимости от времени суток. Учитывая все ключевые параметры имеющихся и будущих OLED-систем, Ассоциация Органической и Печатной Электроники (OE-A) дала прогноз развития рынка, представленный в таблице и на рис 3.

OLED-светодиод впервые появился в 1987 году, когда исследователи компании Kodak Чин Танг и Стив Слайк продемонстрировали разработанный ими новый материал: при пропускании электрического тока тонкий слой вещества испускал достаточно яркий свет. Дальнейшее развитие материалов и технологии проходило очень активно. Уже в 1998 году появилось первое серийное устройство с OLED-дисплеем, он применялся в автомаг-



1 Печатные светодиодные аналоги «классических» ламп

нитолу в качестве желто-черного монохромного экрана размером 256x64 точки. Всего через год появился первый полноценный многоцветный дисплей. На сегодняшний день многие электронные устройства если имеют устройства вывода, то это именно OLED-дисплеи. Возможность нанесения всей структуры методами печатных технологий по праву может считаться следующим шагом в развитии направления.



2 Тенденции развития печатных светодиодных источников света

Т 1 Прогноз развития рынка OLED-систем

Поколение	Описание продукта	Рынок	Доступность на рынке
1	Малогабаритный модуль на стеклянном основании с разъемом, низкая световая отдача 10-20 Лм/Вт, 100 см ²	Дизайнерское освещение (ограниченная серия)	2010-2011
2	Светильник с элементами управления, небольшой разброс яркости по площади, 30 Лм/Вт, 1 000 см ²	Декоративное освещение	2012
3	Легкий светильник, высокая световая отдача >50 Лм/Вт, время жизни 25 000 ч	Общее освещение	2014 +
4	Гибкие светодиоды на пластиковом и металлическом основании, толщина <<1мм	Архитектура, вывески, автоэлектроника	2015 +

1 <http://lenta.ru/news/2008/07/10/unfair/>

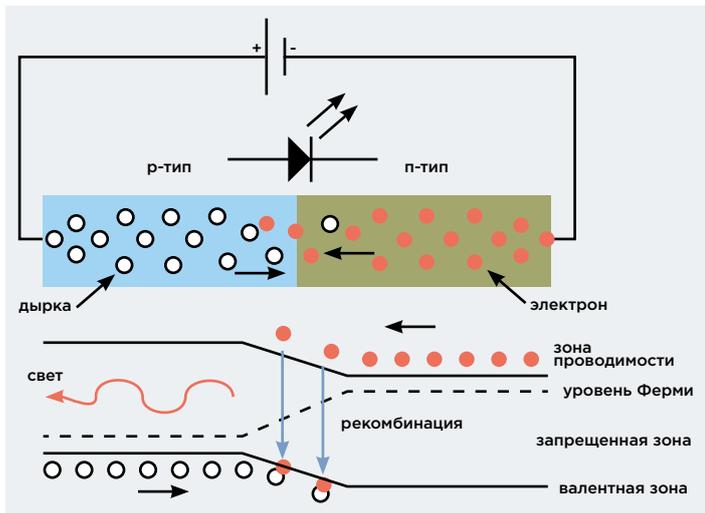


3 Тенденции развития печатных светодиодов по прогнозам ОЕ-А



4 Разница LCD и OLED

У многих возникает вопрос: а зачем нужен OLED, если есть LCD, и в чем их различие. Их основное различие в четкости изображения и в величине энергопотребления, габаритах, электрических параметрах. Потребляет OLED значительно меньше, и его объемная структура значительно тоньше, что позволяет делать экраны и излучающие поверхности не только тоньше, но и легче. О разности в четкости изображений можно получить представление по иллюстрации на рис 4. У OLED нет «слепых» зон обзора, время отклика составляет всего 10 мкс, против 10 мс у LCD. Отдельной строкой стоят параметры рабочих температур: OLED спокойно функционируют в диапазоне от минус 40°C до плюс 70°C, а ЖК-панели эксплуатировать на холоде крайне нежелательно.



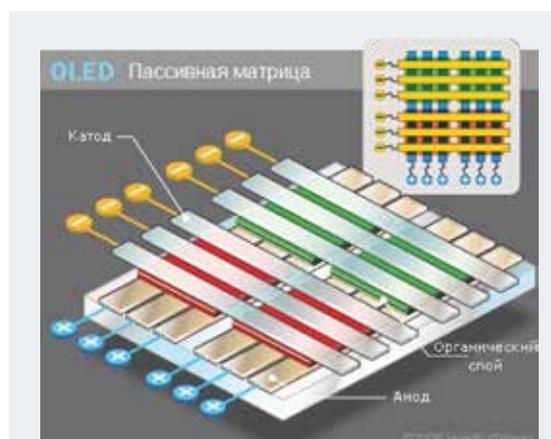
5 Принцип излучения света полупроводниковым элементом

Как же происходит излучение фотонов и как добиться различных цветов? После подключения к структуре OLED питающего напряжения, анод и катод начинают одновременно инжектировать дырки (положительные заряды) и электроны (отрицательные заряды) в органический слой, где происходит их рекомбинация, в результате чего выделяется энергия, большая часть которой высвобождается в форме света рис 5. Вполне логично, что яркость зависит от типа используемого в OLED материала и приложенного напряжения питания. Минимальное свечение начинается при напряжении от 2-2,5 В, а при 10 В яркость достигает уже 1000 Кд/м². Цвет светодиодов определяется длиной волны излучаемого света, который, в свою очередь, зависит от смеси по-

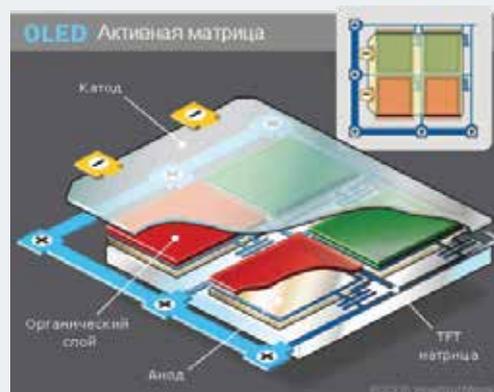
Т 2
 Типы полупроводниковых материалов, используемых для получения различных цветов в «классических» светодиодах

Характеристики цветных светодиодов			
Полупроводники	Длина волны, нм	Цвет	Напряжение питания (20 мА), В
GaAs	850-940	инфракрасный	1,2
GaAsP	630-660	красный	1,8
GaAsP	605-620	янтарный	2,0
GaAsP:N	585-595	желтый	2,2
AlGaP	550-570	зеленый	3,5
SiC	430-505	синий	3,6
GaN	450	белый	4,0

лупроводников, использующихся в формировании точки р-п перехода во время производства светодиодов. Набор цветов достаточно широк: красный, янтарный, желтый и зеленый. Можно добиться синего и белого цветов, но, как правило, такой цвет увеличивает стоимость процесса производства, так как надо точно смешать несколько цветов для их получения. Главными компонентами являются галлий (Ga) и мышьяк (As). Типы полупроводниковых материалов, используемых для получения различных цветов в «классических» светодиодах, приведены в **Т 2**². Различным типам полупроводниковых элементов для излучения света соответствующей длины волны требуется различное напряжение питания. В таблице приведены лишь некоторые виды полупроводниковых элементов, на сегодняшний день их значительно больше. Основным недостатком разноцветных светоизлучающих материалов следует считать даже не различное рабочее напряжение питания, а долговечность. Так, светоизлучающие материалы синего спектра выдержат порядка 10 000–14 000 часов работы, а зеленые и красные — от 46 000 до 230 000 часов. Но работы над выравниванием сроков службы различных материалов ведутся очень активно многими разработчиками. Единичные светоизлучающие элементы объединяются в матрицы для создания полноразмерных светоизлучающих поверхностей. Сами OLED-матрицы могут быть активными и пассивными. В пассивной матрице светоизлучающие ячейки находятся на пересечении анодов и катодов, при подаче напряжения на них матрица начинает светиться **рис 6**. При этом для поддержания картинки требуется постоянное приложение напряжения. Недостатки такой матрицы формируются из ограничений разрешения получаемого рисунка, обусловленных невозможностью высокоточного нанесения электродов и ограничением в потреблении электричества.



6
 OLED с пассивной матрицей



7
 OLED с активной матрицей

2 http://www.supersvetodiод.narod.ru/novosti/cvet_svetodiодov.htm



8
TOLED, используемый в часах/таймере



9
TOLED, используемый в активном экране навигации самолета (проект)



10
FOLED — гибкие OLED

В активной матрице светоизлучающая ячейка привязана к тонкопленочному транзистору, однократная подача напряжения на который приведет к её «загоранию» до подачи другой управляющей команды рис 7. Такая матрица позволяет добиться большего разрешения, уменьшенного времени отклика и меньшего энергопотребления. При этом возникает другое ограничение — значительное увеличение стоимости такой матрицы по сравнению с пассивной.

Кроме различных типов матриц, с помощью которых осуществляется управление подачей цвета, существуют также различные типы самих OLED по типу и назначению. Рассмотрим следующие типы OLED:

- прозрачные OLED (Transparent OLED — TOLED);
- гибкие OLED (Flexible OLED — FOLED);
- наборные OLED (Stacked OLED — SOLED).

Прозрачные OLED имеют характерную особенность — прозрачность всех составляющих частей. Без подачи питающего напряжения структуры OLED остаются прозрачными. Области применения таких типов экранов очень разнообразны и включают в себя изделия от потребительской электроники до спецтехники рис 8, рис 9.

Гибкие OLED имеют другое существенное отличие — гибкость основания, на котором выполнен дисплей, и пластичность всех структур, способных выдерживать усилие на изгиб. Удобство таких систем можно оценить, представив нашивку на рубашке, выводящую, к примеру, карту вашего передвижения. Пример такого дисплея приведен на рис 10.

Причем гибкость таких экранов может измеряться не небольшими углами изгиба, а количествами оборотов вокруг собственной оси рис 11.

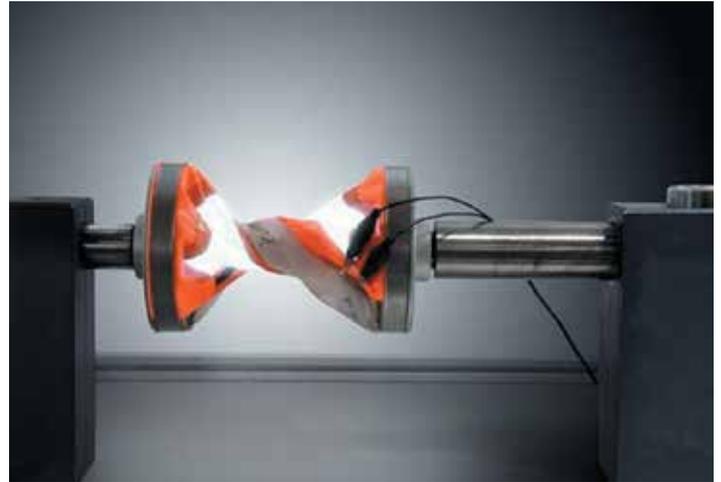
Наборные OLED, представленные фирмой Universal Display Corporation, характеризуются несколько нестандартной структурой формирования цвета. Обычно все цвета формируются из комбинации трех основных — красного, синего и зеленого — ячейка матрицы светодиода объединяет именно их. Сгруппированы эти источники света в одной плоскости, в результате чего при рассмотрении с близкого расстояния можно увидеть не только сам объект, но и цветовые ячейки, формирующие тот или иной рисунок рис 12.

В SOLED использованы TOLED, расположенные друг над другом, то есть светоизлучающие ячейки сгруппированы не по горизонтали, а по вертикали. Это позволило получить ряд очевидных преимуществ: независимо от расстояния и увеличения, с которых вы рассматриваете рисунок, трехцветные ячейки не увидишь. Это дополнительная возможность увеличить разрешение экрана и, соответственно, значительно улучшить цветопередачу.

Отдельно стоит упомянуть класс белых OLED. Реализация такой структуры значительно проще, поскольку нет необходимости в создании пикселей и управляющих матриц. Получаемый свет можно варьировать по уровню яркости, а по своим свойствам он более комфортен, чем



11 Гибкость FOLED



свет флуоресцентных ламп. Используя слой светофильтра, можно получить лампу любого цвета. При этом сам элемент получается очень экономичным.

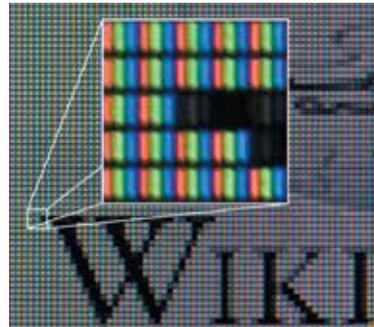
Все представленные типы OLED могут быть выполнены по печатным технологиям уже на текущем этапе развития, хотя многие только как лабораторные прототипы. При этом несомненными преимуществами печатных технологий следует считать широкий выбор оснований, на которых могут быть сделаны OLED, универсальность и скорость процесса, позволяющие за один цикл сформировать всю структуру. В зависимости от типа OLED можно применять различные технологии печати.

Структура печатных OLED будет состоять из слоев, представленных на рис 13. При этом формирование слоев может проводиться не только печатными методами, можно использовать несколько технологий.

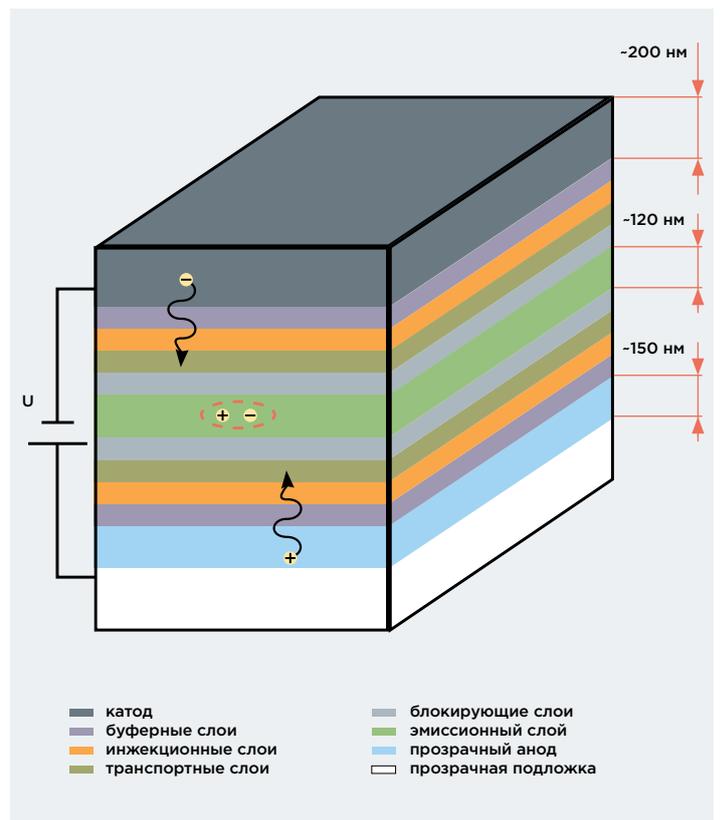
Одним из основных недостатков органических светодиодов является их «капризность» — любой контакт с окружающей средой может привести к деградации и снижению ключевых параметров. При попадании влаги ячейка просто-напросто разбухает, а при взаимодействии с кислородом — окисляется, что в любом случае ведет к нарушению работоспособности. Поэтому OLED-излучателю требуется стопроцентная герметизация. Пример обеспечения такого уровня герметичности был показан Хольст-Центром на выставке LOPEC 2013 рис 14.

Перспектива получения гибких лент и экранов OLED разного назначения широка. Примеры использования простых светящихся лент высокой гибкости уже приводились Хольст-Центром рис 15. Более сложные дисплеи можно использовать не только в качестве телевизора, но и, например, в качестве электронных обоев, способных воспроизводить любую картинку, в том числе и телевизионную.

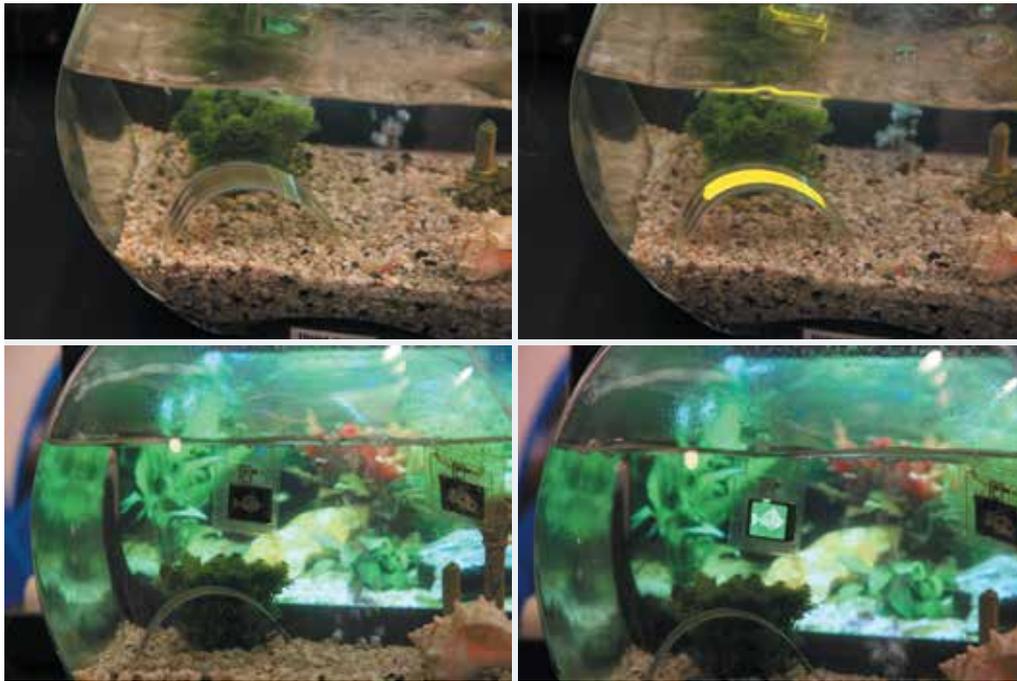
Различные печатные технологии позволяют изготавливать такие изделия. Некоторые только как лабораторные образцы, некоторые в качестве опытных и малых серий. К примеру, технологии трафаретной



12 Цветовые ячейки, формирующие рисунок



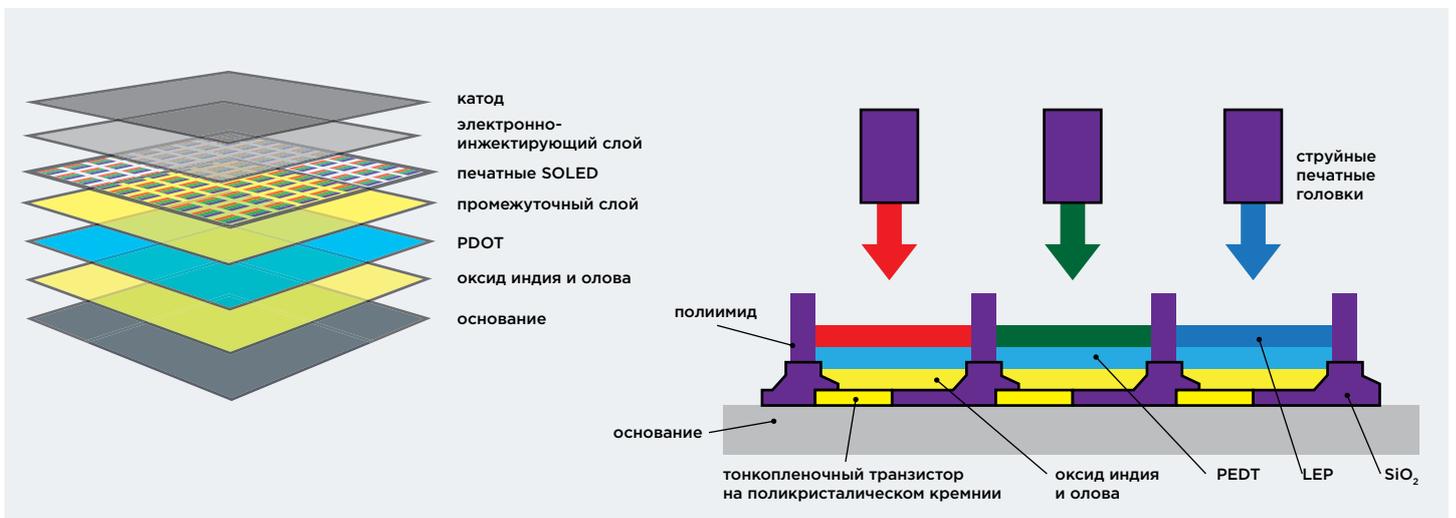
13 Структура OLED



14 OLED, изолированные от воздействия воды



15 Примеры гибких OLED светильников



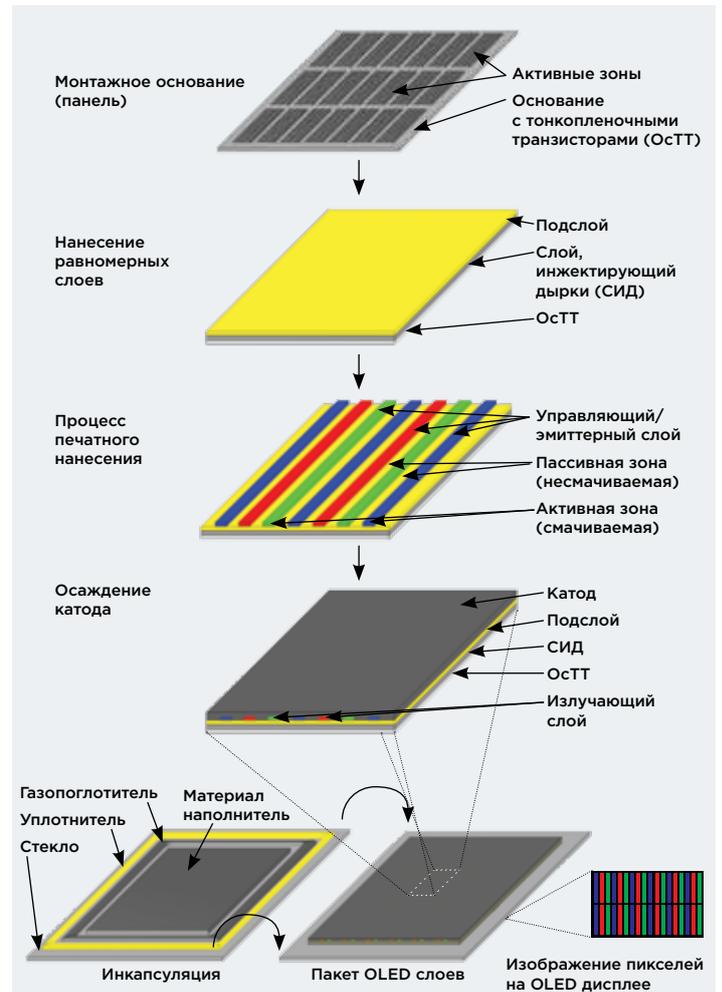
16 Технология изготовления OLED с нанесением светоформирующих ячеек струйной печатью: Cathode — катод, EIL — электронно инжектирующий слой, Printable smOLED — печатные smOLED, Interlayer — промежуточный слой, Polyimide — полиимид, Substrate — основание, Polysilicon TFT — тонкопленочный транзистор на поликристаллическом кремнии, ITO — оксид индия и олова, LEP — светоизлучающий полимер, Ink jet printed heads — струйные печатные головки

печати подходят для формирования OLED источников света (равномерных), поскольку данная технология оптимальна для нанесения больших по площади слоев с несложной структурой. Струйная печать позволяет с высокой точностью формировать достаточно сложные структуры, такую технологию стоит рассматривать в качестве приоритетной для многоцветных экранов. Один из примеров последовательности нанесения слоев при формировании многоцветного экрана приведен на рис 16.

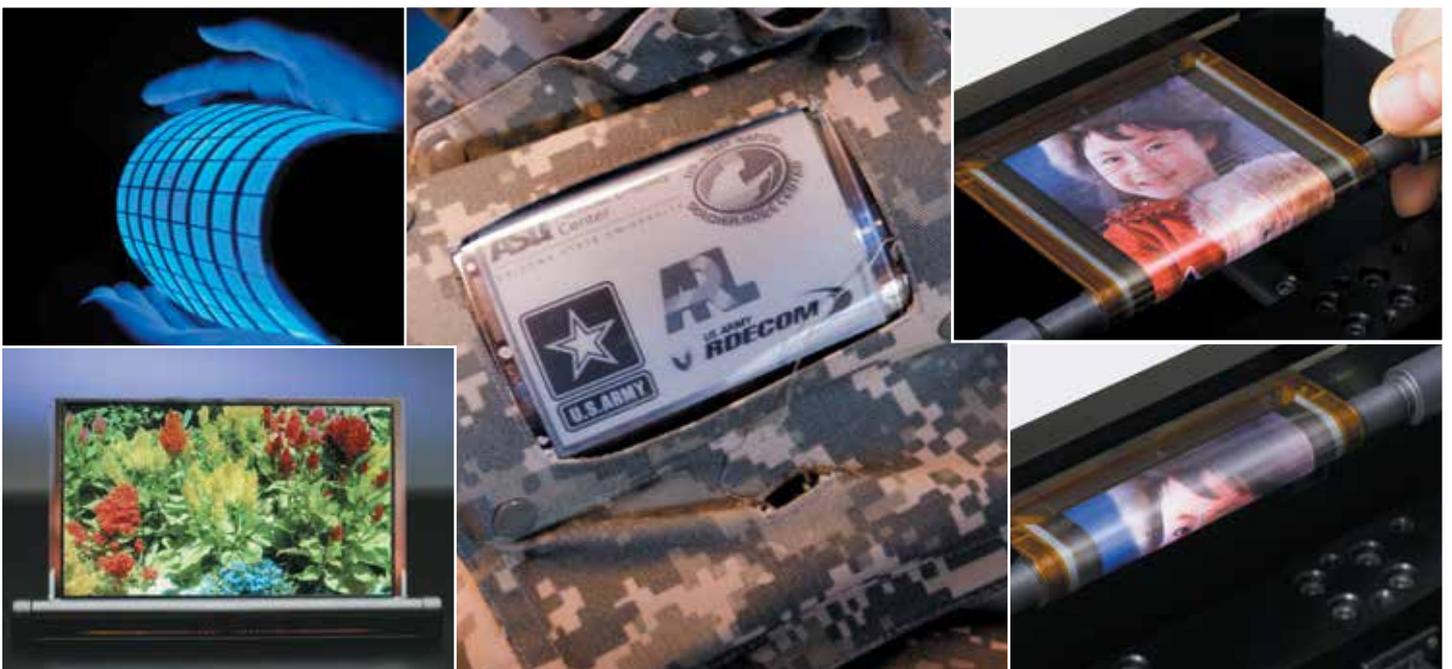
Как видно на рисунке, на текущем этапе развития технологий вполне оправданным можно считать некое слияние «классических» и печатных технологий. Так, в качестве оснований и разделителей ячеек выступают соединения кремния и полиимид, выполненные по «классическим» технологиям, а заполнение ячеек происходит с помощью струйной печати. Пример такого совмещения в одном цикле изготовления приведен на рис 17. Однако вопросы разработки новых материалов и технологий не стоят на месте, ведь сворачиваемый экран невозможно выполнить на кристаллических подложках. Образцы проектов и готовых изделий с гибкими OLED структурами приведены на рис 18.

Гибкость OLED, их способность быть прозрачными или матовыми, светящимися ярко или рассеивающими равномерный приглушенный свет, способность комбинировать различные цвета и формировать картинку высокой четкости — это лишь некоторые преимущества, которые позволят в ближайшем будущем рассматривать OLED в качестве универсальных источников света и экранов.

Печатные технологии — путь к получению таких изделий. 



17 Технология изготовления OLED с использованием струйной печати



18 Примеры изделий с гибкими OLED: а - OLED, изготовленный на линии Roll-to-roll, б - OLED-дисплей фирмы Dupont, в - гибкий OLED, вшитый в нарукавник, г - гибкий экран Sony OLED