

СВЕТОДИОДЫ И ПЛОСКОПАНЕЛЬНЫЕ ДИСПЛЕИ СОВМЕЩЕНИЕ НЕСОВМЕСТИМЫХ*

В.Беляев, д.т.н. vic_belyaev@mail.ru

В современной электронике можно выделить два интенсивно развивающихся направления – средства отображения информации (дисплеи) и светодиоды (Light Emitting Diodes, LEDs). Долгое время они существовали независимо друг от друга. Но с совершенствованием плоскопанельных дисплеев (ППД) и ростом их применения – с одной стороны – и миниатюризацией и повышением световой эффективности светодиодов – с другой – произошло взаимопроникновение этих технологий. Светодиоды стали частью дисплея, благодаря которой у этих устройств появились новые технические возможности и потребительские качества. А органические материалы, используемые в ППД и излучающие свет при протекании через них тока, придали светодиодам новые качества – малую толщину и плоскостность при большой площади, что позволило одной из дисплейных технологий занять место обычной технологии твердотельных светодиодов на перспективном рынке осветительных приборов.

ПЛОСКОПАНЕЛЬНЫЕ ДИСПЛЕИ СО СВЕТОДИОДНОЙ ПОДСВЕТКОЙ

Наиболее распространенные ППД с подсветкой – жидкокристаллические дисплеи (ЖКД). Подсветка также используется в панелях современных электронных читающих устройств [1–5]. До последнего времени для подсветки ЖКД использовались люминесцентные лампы с холодным катодом (Cold Cathode Fluorescent Lamp, CCFL), характеризующиеся сравнительно долгим сроком жизни (~15 000 ч), высокой яркостью и низким тепловыделением. Однако сейчас они снимаются с производства, так как не отвечают требованиям директивы RoHS, ограничивающей содержание вредных веществ в окружающей среде. Некоторую роль сыграл и достаточно большой диаметр люминесцентных

ламп (несколько миллиметров), не позволяющий реализовывать сверхтонкие дисплейные панели.

Главным компонентом, способным заменить люминесцентные лампы, стали светодиоды. Их достоинства, наряду с экологичностью, – низкое энергопотребление, долгий срок жизни (до 10^5 ч и более), широкий цветовой охват, малые габариты. По расположению относительно ЖК-панели подсветки делятся на два основных типа: боковая, или торцевая (edge), и тыльная, или фронтальная, прямая (direct). В подсветке первого типа источники света располагаются по бокам или периметру ЖК-панели и их излучение вводится в торец световода, расположенного под дисплейной панелью (чаще всего ЖК), и благодаря специальному профилю его поверхности направляется на панель (рис.1). Между световодом и ЖК-панелью располагают пленочный усилитель яркости (Dual Brightness Enhancement Film, DBEF или BEF), повышающий

* Публикация подготовлена при частичной поддержке гранта Президента РФ №1495.2012.8.

эффективность подсветки за счет рециркуляции излучения источника света. Для улучшения равномерности освещения ЖК-панели используют также рассеиватели света (диффузоры). Торцевая подсветка благодаря отсутствию высоковольтного блока питания и управления, необходимого для CCFL, позволяет создавать очень тонкие панели и мониторы.

В подсветке второго типа, фронтальной, группы светодиодов или отдельных модулей размещаются в определенном порядке непосредственно за дисплейной панелью (при этом толщина ЖК-панели увеличивается). Свет источника через панель проходит прямо к наблюдателю. Для повышения эффективности попадающего на панель света за набором источников находится отражающий элемент, обычно с профилированной, например призматической, поверхностью. Между источниками света и панелью также помещаются рассеиватели (рис.2). Важное достоинство фронтальной подсветки – возможность локальной фокусировки света и получения локального затемнения картинки (local dimming). Поскольку один диод обеспечивает равномерную подсветку относительно небольшого числа пикселей, можно ослаблять яркость слишком светлых участков изображения на экране дисплея или увеличивать яркость темных участков и тем самым привести распределение яркости картинки в соответствие со зрительным восприятием человека. Так, известно, что глаз не может воспринимать контраст яркости соседних частей картинки, превышающий 200:1. А современные дисплеи могут обеспечивать контрастное отношение до $10^6:1$ благодаря способности светодиодной подсветки варьировать уровень яркости от очень высокого до абсолютного отсутствия света (при выключенном светодиоде), а также благодаря высоким характеристикам современных ЖК-элементов и оптических пленок.

Сравнение обоих видов подсветки показывает, что освещенность ЖК-панели при фронтальной подсветке выше и однородней, чем при торцевой. В то же время энергопотребление и нагрев панели при торцевой подсветке меньше (благодаря меньшему числу источников света). Сейчас торцевые подсветки в основном используются в дисплеях малого и среднего размера, фронтальные – в больших панелях (>10").

Стоит отметить, что светодиоды кроме подсветки ЖКД могут применяться в проекторах вместо малоразмерных (почти точечных) ярких ламп, что позволяет убрать из оптической схемы проектора узлы, формирующие пучки света со строго

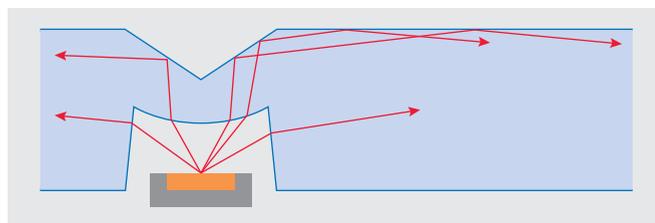


Рис.1. Распространение излучения светодиода (оранжевый элемент внизу) в световодной пластине (голубой элемент) [6]

заданными характеристиками углового расхождения и равномерным распределением интенсивности (рис.3а). В результате объем оптической схемы формирования пучка составляет несколько кубических сантиметров, и появляется возможность разработки и изготовления пикопрокторов – сверхмалых проекционных устройств [7–9]. А применение лазерных светодиодов позволяет уменьшить размер проектора и формировать на экране картинку с высоким качеством цвета и большой яркостью (рис.3б) [10].

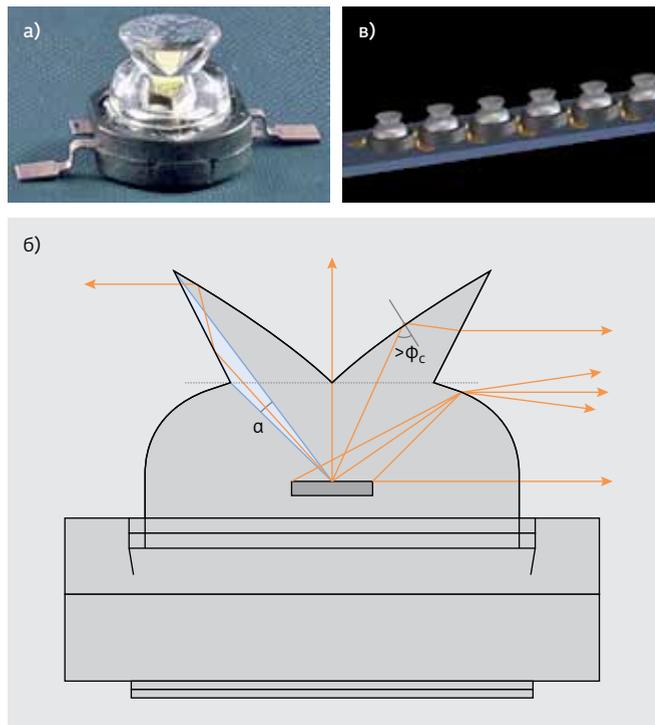


Рис.2. Светодиод компании Lumileds (а); прозрачная оптическая насадка сложной формы для ввода светового излучения в световодную пластину (б); и расположение светодиодов на монтажной пластине (в)

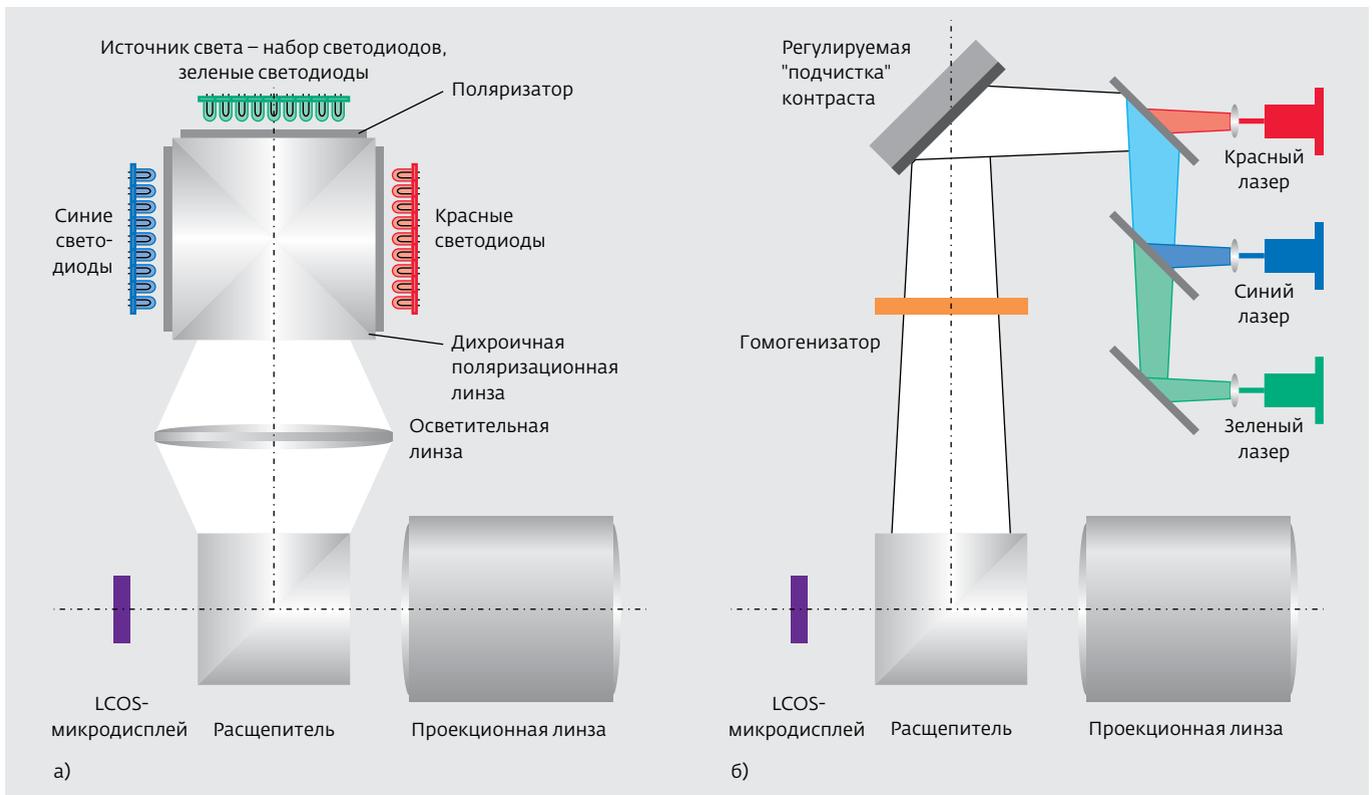


Рис.3. Структура светодиодного проектора с размещением набора светодиодов по трем сторонам поляризационной призмы (а) и проектора с полупроводниковыми лазерами (б)

Стоимость светодиодных подсветок ЖКД

ЖК-телевизоры со светодиодной подсветкой до последнего времени пользовались меньшим спросом, чем ожидалось, что объясняется их более высокой стоимостью по сравнению с телевизорами с CCFL-подсветкой. Поскольку в подсветках

с люминесцентными лампами оптические компоненты отсутствуют, ЖК-телевизоры с такой подсветкой пока еще дешевле решений со светодиодами. Вклад стоимости кристалла светодиода, корпуса и подложки в общую стоимость подсветки может превышать 50%, различных оптических компонентов и материалов – 35%



Рис.4. Составляющие стоимости модуля торцевой светодиодной подсветки 40"-го телевизора высокой четкости

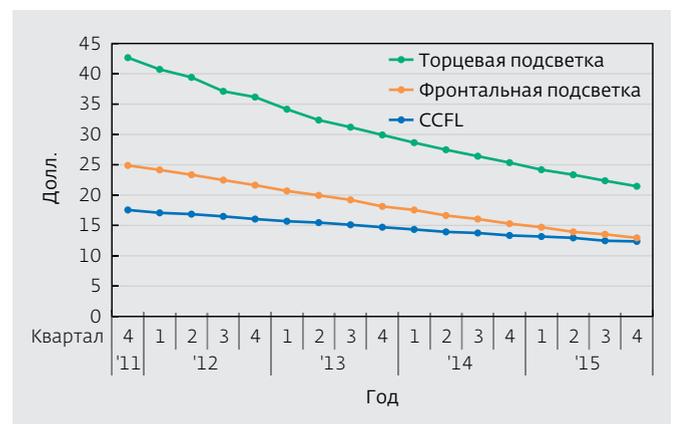


Рис.5. Прогноз стоимости различных типов подсветок 32"-х телевизионных ЖК-панелей высокой четкости с частотой смены кадров 60 Гц

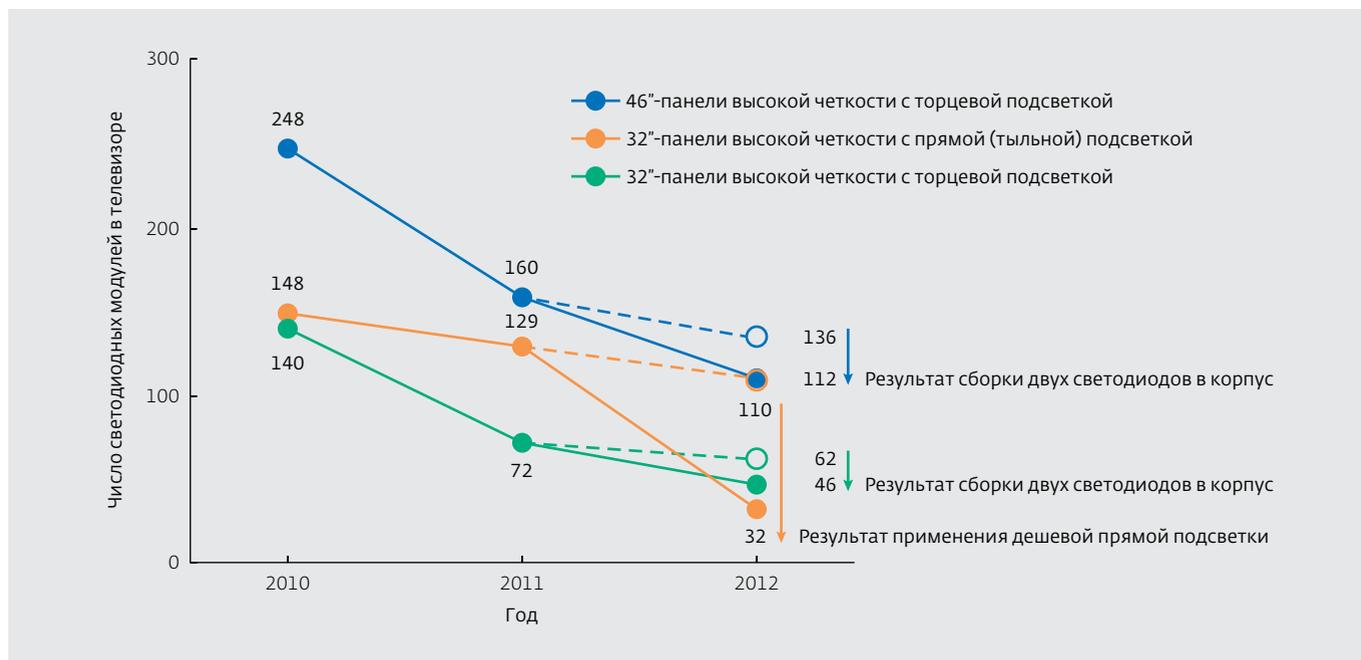


Рис.6. Динамика изменения числа светодиодных модулей на один телевизор [12]

(рис.4) [11]. По данным исследовательской компании NPD DisplaySearch, надбавка к стоимости 32"-го ЖК-телевизора за счет применения светодиодной подсветки в IV квартале 2012 года составила 42% вместо прогнозирувавшейся 27%-й надбавки.

Поэтому сейчас изготовители плоских телевизоров отдают предпочтение фронтальной подсветке, экономя тем самым на стоимости и энергопотреблении. Согласно NPD DisplaySearch, прямая светодиодная подсветка 32"-го ЖК-телевизора дороже ламповой в 1,3-1,4 раза, а торцевая – более чем в два раза (рис.5) [12]. С увеличением размера панели выигрыш в стоимости телевизоров с ламповой подсветкой возрастает: для 40"-й панели выигрыш в стоимости составляет до 40 долл., что может привести к снижению цены телевизора в розничной продаже на 100 долл.

Достаточно низкая стоимость фронтальных подсветок достигается и за счет уменьшения числа светодиодов на один модуль (рис.6), а также замены световодов, оптических пленок и других материалов дешевыми диффузными пластинами и линзовыми устройствами самих светодиодов. При этом разработчики оптических элементов блоков подсветки успешно решают задачу оптимизации профилей пленок и их взаимного расположения. Все это позволяет снизить цену телевизора и его энергопотребление. Правда, толщина блока фронтальной подсветки

увеличивается, а яркость изображения уменьшается – до 300 кд/м², в то время как у телевизоров с торцевой светодиодной или ламповой подсветкой она составляет 450 кд/м². Однако отсутствие локального затемнения ухудшает контраст изображения и его качество. Для дальнейшего снижения стоимости светодиодных подсветок производители телевизоров начинают монтировать два светодиода в корпус (см. рис.6). Благодаря этому число светодиодов модуля блока фронтальной подсветки может оказаться меньше, чем у блока торцевой подсветки.

Активное применение светодиодных подсветок ЖКД подстегивает увеличение производства материалов для компонентов, входящих в их блок, – полиметилметакрилата (ПММА) для

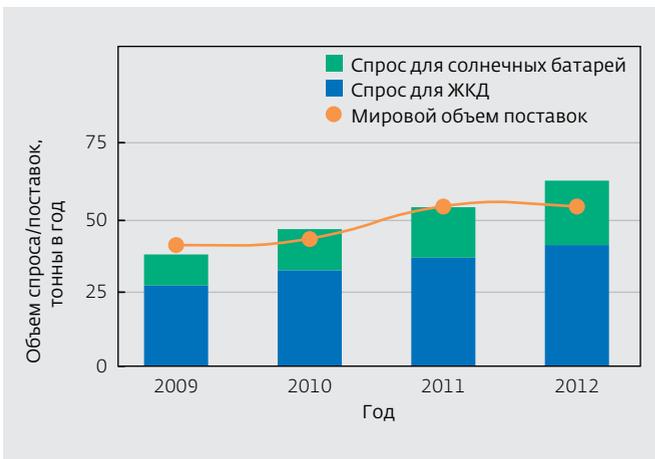


Рис.7. Динамика мирового объема спроса и поставок ПЭТ

световода, полиэтилентерефталата (ПЭТ) для отражающей пленки, сапфира для подложек светодиодов (рис.7) [13]. По-видимому, производителям ЖКД и поставщикам полимеров следует совместно инвестировать в производство материалов, чтобы не испытывать недостатка в них при колебаниях рынка.

Для оценки рынка светодиодных подсветок рассмотрим сначала основные показатели рынка плоскостовых дисплеев разного назначения и их подсветок. Рынок наружных светодиодных дисплеев практически не рассматривается. Он сейчас невелик и не динамичен по сравнению с рынком ППД: в 2009 году он составлял 1 млрд. долл. и в 2012 вырос до 1,5 млрд. долл., что существенно меньше рынка ППД.

Рынок плоскостовых дисплеев

Большинство показателей, описывающих состояние производства плоскостовых дисплеев, отражают неблагоприятное положение этой отрасли. Однако согласно последним данным компании NPD DisplaySearch, моделирование спроса/предложения ППД на перспективу указывает на появление света в конце туннеля. Из-за падения доходов от продаж ППД на протяжении шести кварталов, самого длительного кризиса в истории производства этих устройств, изготовители панелей законсервировали их поставки. Вместе с тем снижение цен на плоские панели стимулировало рост спроса на них со стороны производителей ЖК-телевизоров, в основном с экраном размером более 50". Поэтому аналитики компании считают, что в 2013 году перепроизводство ППД впервые после второго квартала 2010 года станет ниже 10% (рис.8). Это должно привести к следующему циклу повышения цен на плоские панели, росту рентабельности и увеличению инвестиций.

В 2012 году возобновился рост доходов от продаж дисплейных панелей малых и средних размеров, который составил 8% при объеме доходов 120 млрд. долл. (в 2011 доходы от продаж в 111 млрд. долл. были на 5% меньше, чем в предыдущем году) (табл.1). Значительную долю доходов обеспечили продажи ЖКД, тогда как объем доходов от продаж дисплеев остальных типов, кроме LCOS-микродисплеев (микродисплеев на основе ЖК-кремния), заметно упал. Из-за выхода на рынок конкурирующих активно-матричных ЖК-планшетов в 2012 году серьезно сократились продажи активно-матричных электрофоретических

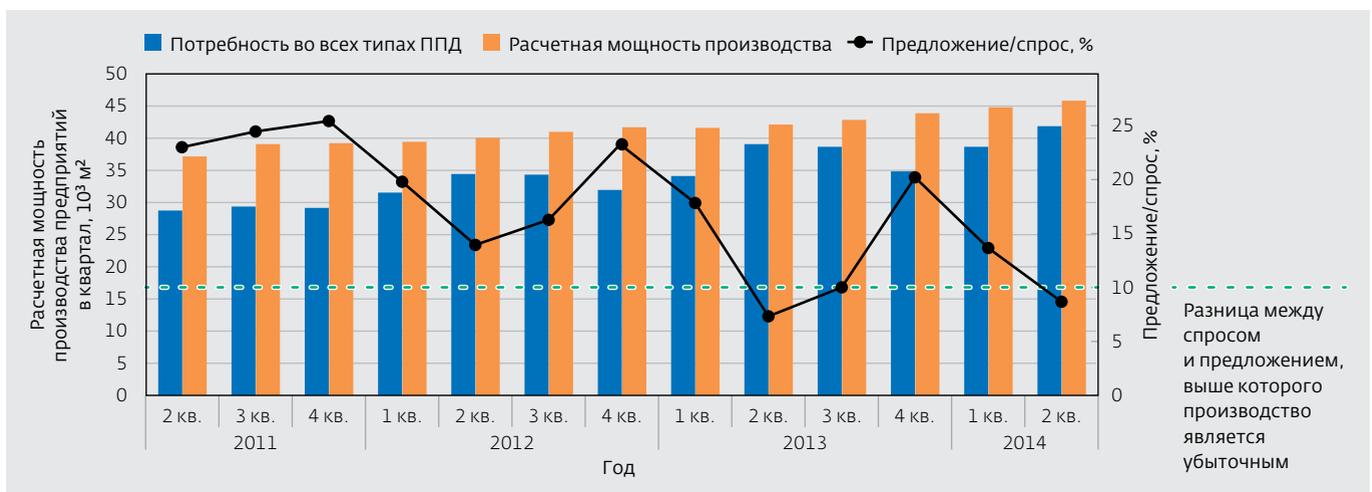


Рис.8. Динамика спроса и предложения плоских панелей

дисплеев монохромных электронных читающих устройств.

Прирост доходов от продаж дисплеев в 8% обусловлен такими факторами, как:

- увеличение среднего размера экрана ЖК-телевизоров и объема их поставок, а также поставок ЖК-телевизоров сверхвысокой четкости (2000×4000 пикселей);
- повышение цен на мобильные дисплеи повышенного разрешения для смартфонов и планшетов;
- значительный рост производства планшетов, легких и сверхтонких ноутбуков;
- увеличение продаж активно-матричных дисплеев на органических светодиодах (OLED) (хотя пока доходы от их продаж в общем объеме невелики).

Увеличился спрос на такие приложения, как игровые приставки, автомобильные навигаторы, системы цифровых рекламных/информационных панелей.

В большинстве сегментов рынка ППД наблюдается заметное увеличение размеров дисплеев (табл.2). Так, на смену ЖК-телевизорам

с диагональю экрана 26" приходят 28/29-дюймовые телевизоры, 39/37- и 46/47-дюймовым телевизорам – 50-дюймовые, а 55-дюймовым – 60-дюймовые телевизоры. Сейчас цены на 50- и 48-дюймовые ЖК-телевизоры отличаются не более чем на 10 долл. Как отмечают эксперты DisplaySearch, отгрузки плоских дисплеев размером 60" и более (в том числе и дисплеев для систем отображения информации общественного назначения) в 2012 году выросли по сравнению с предыдущим годом на 89%. В 2013 году они увеличатся еще на 35%, а в 2017 году на рынок будет поставлено 1 млн. таких дисплеев [15]. Согласно прогнозу компании, улучшение экономической ситуации, рост потребления в развивающихся странах, падение цен на ППД больших размеров и увеличение спроса в связи с Олимпийскими играми 2014 года способствовали дальнейшему устойчивому развитию рынка плоскопанельных дисплеев. Ожидается, что доходы от поставок плоскопанельных дисплеев к 2016 году достигнут 71,5 млрд. долл. [16]. При этом основными их поставщиками по-прежнему будут компании Азиатско-Тихоокеанского региона (рис.9). Ведущие поставщики плоских дисплеев – компании Южной

Таблица 1. Доходы от продаж плоскопанельных дисплеев малых и средних размеров различного назначения в 2010–2012 годы

Тип дисплея	Доходы от продаж, млрд. долл.			Годовой прирост по отношению к предыдущему году, %	
	2010	2011	2012	2011	2012
ТПТ ЖКД	105,9	99,4	107,7	-6	8
Активно-матричные OLED	1,2	3,5	6,5	183	84
Плазменные дисплейные панели	4,9	4,4	3,4	-11	-23
Пассивно-матричные ЖКД	1,7	1,2	0,9	-26	-32
ЭЛТ	1,1	0,7	0,4	-35	-38
Активно-матричные электрофретические дисплеи электронных читающих устройств	0,7	1,0	0,4	43	-58
Пассивно-матричные OLED	0,3	0,3	0,3	5	-2
ЖК на кремнии (LCOS)	0,1	0,1	0,2	9	6
Цифровые световые проекторы (DLP)	0,2	0,1	0,1	-8	-9
Вакуумно-люминесцентные дисплеи	0,2	0,1	0,1	-19	-16
Всего	116	111	120	-5	8

Таблица 2. Средний размер плоских панелей различного применения

Применение	Средний размер, дюймы				Увеличение размеров, %	
	2010	2011	2012	2013	2010	2013
Мониторы	19,9	20,3	20,7	20,9	1	5
ЖК-телевизоры	33,2	34,5	35,9	36,1	2,9	9
Мобильные компьютеры	13,6	12,8	12,1	12,2	-1,4	-10
Мобильные телефоны	2,4	2,6	3	3,3	0,9	38
Телевизоры на органических светодиодах (OLED)	15		55	55	40	267
Плазменные телевизоры	46,3	47	48,1	50	3,7	8
Носимые медиаплееры	2,8	3,1	3,1	3,6	0,8	29
Носимые навигаторы	4,3	4,5	4,5	4,6	0,3	7
Информационные дисплеи в общественных местах	41,7	41,3	44,9	46,5	4,8	12

Кореи – LG (27% рынка) и Samsung (23%), Тайваня – Chimei Innolux (20%) и AU Optonics (16%), Китая – Chinese BOE (5%).

Производители ППД с учетом тенденций рынка увеличивают инвестиции в новые

производственные мощности по выпуску панелей больших размеров. Кроме того, прилагаются усилия для снижения стоимости ППД за счет увеличения размеров стеклянных подложек для активных ТПТ-матриц. Чем старше поколение ТПТ-матрицы,

Таблица 3. Потребность в светодиодах с учетом их применения

Применение	Потребность, млрд. штук					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Светодиодная подсветка для						
ноутбуков	–	0,532	3,503	6,230	8,193	8,873
мониторов	–	–	0,145	0,585	1,032	1,789
ЖК-телевизоров	0,016	0,127	1,461	4,890	10,525	15,102
больших дисплеев, в том числе промышленных	0,004	0,189	0,475	0,701	0,879	1,114
дисплеев малого и среднего размера	6,662	7,253	6,046	6,768	7,059	7,244
Всего для подсветки	6,809	8,129	11,630	19,174	27,688	34,122
Наружные дисплеи с динамическим изображением	8,755	10,947	11,584	12,941	16,809	24,481
Сигнальные индикаторы	1,512	2,125	2,582	2,925	3,302	4,991
Автомобильные индикаторы	3,665	4,587	5,371	6,213	7,582	10,681
Системы освещения	3,606	4,755	6,148	7,919	10,679	14,882
Другие	44,314	40,245	38,491	46,716	51,504	77,854
Всего	68,662	70,788	75,806	95,887	117,564	167,011

тем больше размер стеклянной подложки (размер подложки восьмого поколения матриц составляет 2200×2500 мм). Ряд изготовителей плоских панелей экспериментируют с так называемыми многомодельными подложками (Multi-Model Glass, MMG), позволяющими формировать на стеклянной подложке одного поколения панели двух различных размеров. Принимаемые меры приводят к росту конкуренции, падению цен и увеличению спроса. При этом расширяются возможности производителей выпускать ЖКД различных размеров.

Таким образом, цена ППД большого размера будет снижаться, потребитель сможет приобретать большие дисплеи по низкой цене, и в конце концов через несколько лет он, по-видимому, не найдет на рынке дисплеи традиционных сегодня небольших размеров.

Рынок светодиодных подсветок

Светодиоды, которые используются в средствах отображения информации, можно разделить на два крупных класса: для наружных дисплейных панелей и для подсветки плоскопанельных дисплеев. В 2012 году на долю этих двух классов диодов приходилось более трети (34,7%) мирового рынка светодиодов (167 млрд. штук), т.е. сегмент светодиодов для дисплейного применения – самый большой на рынке (табл.3). Однако сами светодиоды для этих двух приложений сильно различаются. Мощные светодиоды высокой яркости, потребляемый ток которых превышает 350 мА, а мощность – 1 Вт, не годятся для подсветки из-за проблем тепловыделения.

Наблюдавшееся до последнего времени перепроизводство плоскопанельных дисплеев сказалось



Рис.9. Динамика роста отгрузок плоскопанельных дисплеев

Panasonic посылает прощальный поцелуй плазменным телевизорам

Очевидно, пришел конец целой эпохи: компания Panasonic прекратила разработку новых плазменных телевизоров и намерена к марту 2014 года прекратить производство плазменных телевизионных панелей на крупнейшем в мире предприятии в Амагасаки. Это была одна из главных задач президента компании Казухира Тсуга при вступлении в должность в 2012 году, хотя сам он не видит существенной разницы между качеством воспроизведения изображение ЖК- и плазменного телевизора. Эту задачу удастся решить на год раньше, чем планировалось. Panasonic продолжит продавать плазменные телевизоры до конца 2014 финансового года, когда, как ожидается, завершится инвентаризация предприятия в Амагасаки.

В последние годы ослабление ТВ-бизнеса нанесло большие убытки компаниям бытовой электроники Японии, в том числе и Panasonic. За два последних финансовых года доля ТВ-подразделения в суммарных потерях компании, составивших 15 млрд. долл., была весьма существенной. В 2012 году производственные убытки были равны 88,5 млрд. иен (913 млн. долл.).

Японские производители были первопроходцами в области создания плазменных телевизоров. Но решение компании Hitachi прекратить производство плазменных панелей еще в 2008 финансовом году оказалось зловещим предзнаменованием. Через год компания Pioneer также объявила о прекращении выпуска плазменных панелей, оставив Panasonic одну в этом секторе рынка. Особенно разрушительным для бизнеса Panasonic было решение инвестировать в середине 2000-х годов более 500 млрд. иен в производство плазменных панелей в то время, когда плоские ЖК-панели и телевизоры уже доминировали на мировом рынке.

По мнению японских экспертов, решение Panasonic закрыть последний завод, выпускающий плазменные телевизоры, – это болезненный итог деятельности японских компаний, приведшей к гибели телевизионной промышленности страны, которая до сих пор с гордостью считалась основой, обеспечившей технологическую и экономическую мощь Японии.

eetimes.com

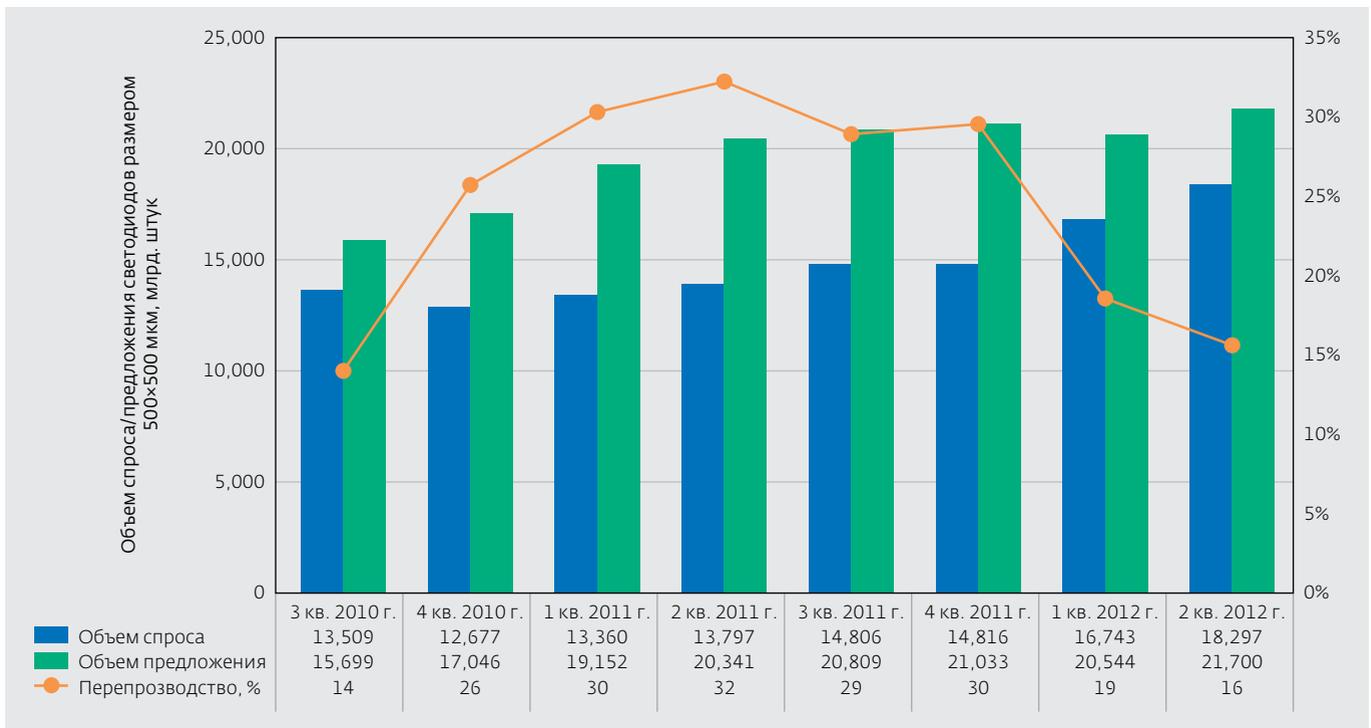


Рис.10. Динамика спроса и предложения светодиодов

и на выпуске светодиодов. Выход на рынок в 2011 году новых поставщиков привел к перепроизводству светодиодов: предложение возросло на 41% при росте спроса всего на 10%. В результате почти прекратились инвестиции в производство светодиодов, не вводились в строй новые предприятия. Правда, в 2012 году перепроизводство светодиодов удалось сократить вдвое (рис.10).

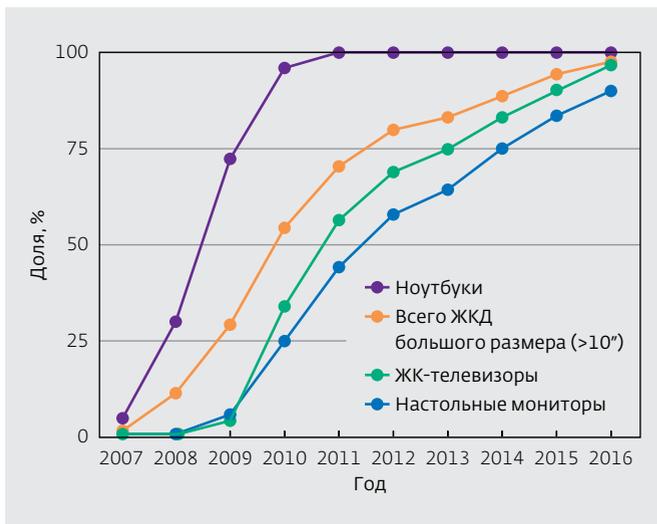


Рис.11. Динамика применения светодиодных подсветок в активно-матричных ЖКД размером более 10" [13]

Сейчас светодиодная подсветка в основном используется в ЖКД ноутбуков малого и среднего размера, меньше всего – в ЖК-экранах мониторов (рис.11). В 2013 году по-прежнему увеличивалось применение дешевых светодиодных подсветок в ЖК-телевизорах с большим экраном. Если в 2009 году, согласно оценкам компании IHS iSuppli, доля ЖК-телевизоров со светодиодной подсветкой составляла всего 3%, то в 2013 такая подсветка была в 90% телевизоров, представленных на рынке. К 2016 году все телевизоры (к этому времени на рынке останутся только ЖК-телевизоры) будут иметь светодиодную подсветку [17].

В 2013 году единственной компанией, выпускавшей телевизоры только со светодиодной подсветкой ЖКД, была компания Sharp. Несколько отстают по доле применения такой подсветки Samsung и LG. Но они планировали к концу 2013 года использовать ее более чем в 95% ЖКД-панелей. Основные поставщики светодиодов (синих и белых) для подсветки ЖКД – Nichia и Toyota Gosei (Япония). Увеличить долю в сегменте рынка подсветок низкой стоимости стремятся тайваньские производители – Lite-On, Chi-Mei Lighting, Lighthouse, Everlight.

Вместе с тем, наряду с твердотельными светодиодами в дисплеях заметно растет применение органических светодиодов.



Рис.12. Доходы от продаж OLED-дисплеев в сравнении с общими доходами от продаж плоскпанельных дисплеев

ОРГАНИЧЕСКИЕ СВЕТОДИОДЫ – ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЕНИЕ, РЫНОК

Органические светодиоды – прорывная технология, которая появилась в 1980-е годы в лабораториях Eastman Kodak (США) и Кембриджского университета (Великобритания) и позволила создать новые эффективные средства воспроизведения информации и освещения. Их достоинства, помимо высокой световой эффективности, – возможность получения высокого контраста, малое время переключения, широкий цветовой охват, большие углы обзора и диапазон рабочих температур при малом энергопотреблении, тонкая и легкая конструкция, возможность формирования не только плоской, но и изогнутой поверхности любой формы. Недостаток – высокая стоимость изготовления. Многие аналитики считают, что OLED – это технология дисплеев, телевизоров и систем освещения будущих поколений и через несколько лет их продажи достигнут миллиардов долларов. Действительно, в 2008 году доля OLED-дисплеев при объеме продаж в 591 млн. долл. составляла 1% рынка ППД. Но если среднегодовые темпы роста последних равны 3%, то рынок OLED-дисплеев ежегодно увеличивается на 40%, что к 2015 году приведет к росту продаж до 5,5 млрд. долл. и пятикратному увеличению доли на рынке ППД – 5% (рис.12) [18].

На рынке присутствуют пассивно- и активно-матричные OLED- (соответственно PMOLED- и AMOLED-) дисплеи. Но пассивно-матричные устройства теряют свой рынок, а продажи AMOLED быстро растут. Хотя технология органических светодиодов только развивается, производство и рынок этих светодиодов уже активно существуют. Составленный консалтинговой компанией Touch

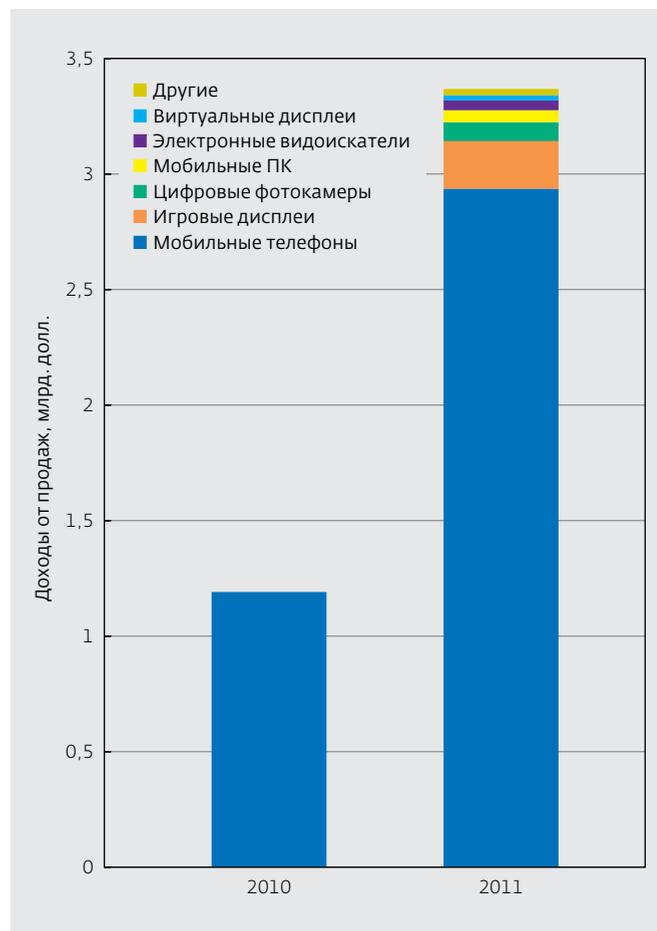


Рис.13. Доходы от продаж AMOLED-дисплеев малого и среднего размера для различных применений

Display Research список производителей органических светодиодов различных категорий включает 200 компаний, в том числе Samsung Mobile Displays, LG Display, AUO и Chi Mei Innolux (CMI) (Тайвань), IRICO, Tianma и BOE (Китай). При этом ряд компаний повторно осваивает производство OLED после прекращения изготовления потерявших свою конкурентоспособность пассивно-матричных OLED.

Применяются OLED в основном во вспомогательных экранах смартфонов, в цифровых фоторамках, видеоискателях цифровых фото- и видеокамер, MP3- и портативных медиаплеерах, аудиосистемах автомобилей, микродисплеях, портативных навигаторах, телевизорах и пр. Как уже отмечалось, наиболее быстрорастущий сегмент рынка дисплеев на основе органических светодиодов – AMOLED-дисплеи. В 2011 году объем их производства увеличился почти в два раза (до 90 млн. штук), а продажи выросли еще значительно (на 167%) и составили 3,36 млрд. долл. Заняв в 2011 году в сегменте малых и средних дисплеев долю в 12%, AMOLED



Рис.14. Смартфон Galaxy Round с изогнутым OLED-экраном

начали частично вытеснять ЖКД. Основной двигатель роста этого сегмента рынка – смартфоны (рис.13). Доходы от продаж AMOLED для них растут как благодаря увеличению числа поставляемых изделий, так и вследствие более высокой цены, обусловленной большим размером экрана и улучшенными характеристиками [19].

Основной поставщик AMOLED-дисплеев для смартфонов – Samsung Mobile Displays, на долю которого приходится 97,5% объема продаж в этом сегменте. Смартфон Samsung Galaxy с AMOLED-экраном конкурирует с iPhone компании Apple, в котором применен активно-матричный ЖКД с планарным переключением (IPS) пикселя*. В октябре 2013 года компания объявила о выпуске опытного образца первого смартфона Galaxy Round с изогнутым OLED-экраном размером 5,7", соотношением сторон 16:9 и разрешением экрана 1080p (рис.14) [21]. Согласно оценкам Touch Display Research, поставщиками OLED-дисплеев с изогнутым экраном, рынок которых к 2023 году может достигнуть 27 млрд. долл., возможно, станут еще шесть компаний: LG Display, Futaba, AUO, Innolux, Sharp, NVO.

AMOLED проникают и в другие сегменты рынка органических светодиодов. Компания Sony выпускает переносную игровую приставку PS-Vita с AMOLED-экраном размером 5". В планшетных компьютерах доля AMOLED-дисплеев должна вырасти с 3% в 2012 году до 30% к 2017.

В 2012 году LG Electronics объявила о начале производства телевизора с 55-дюймовым AMOLED-экраном. AMOLED-дисплеев выпускалось бы

* Появились сообщения, что, возможно, Apple к 2015 году выпустит новые смартчасы, смартфон или телевизор с AMOLED-дисплеем [20].

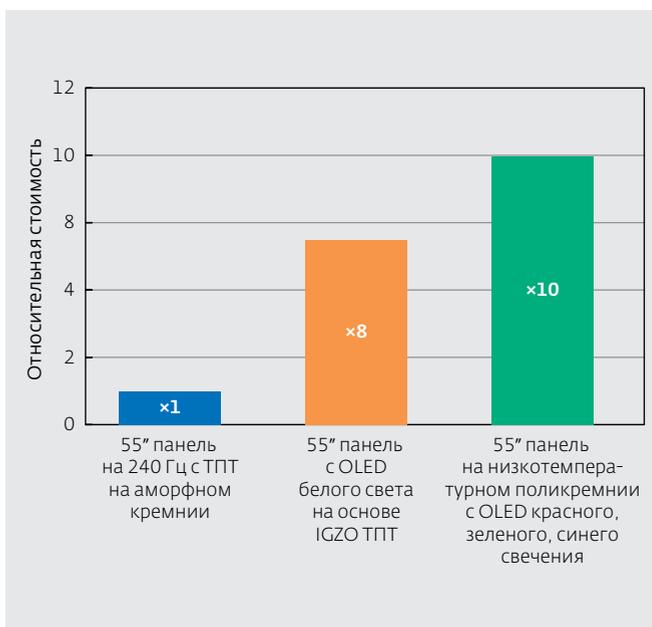


Рис.15. Стоимость производства телевизионных панелей с диагональю 55" при использовании различных технологий изготовления матрицы тонкопленочных транзисторов (ТПТ)

намного больше, если бы они применялись не только в смартфонах, но и в телевизорах большого размера. Однако пока здесь много нерешенных проблем, и прогнозировать перспективы и темпы развития технологии трудно. Сейчас изготовление AMOLED с белыми светодиодами в восемь раз дороже, чем аналогичного по размеру ЖКД, а для AMOLED с тремя типами органических светодиодов этот показатель в десять раз хуже, чем для ЖКД (рис.15) [22]. Производители все же надеются, что печатная технология и применение материалов с улучшенными характеристиками позволят уменьшить стоимость производства AMOLED-дисплеев до уровня ЖКД или ниже и объем их производства возрастет десятикратно с $2,3 \cdot 10^6$ м² в 2012 году до $22 \cdot 10^6$ м² в 2016.

Сейчас управляющие транзисторы для AMOLED-дисплеев изготавливаются в основном по трем технологиям – на аморфном кремнии, на низкотемпературном кремнии и на оксиде индия, галлия, цинка (IGZO). IGZO-технология для производства как ЖКД, так и OLED сейчас внедряют Sharp, LG Display и Samsung. Но пока нельзя однозначно определить, какая технология станет доминирующей (табл.4).

Производители стеклянных подложек с ТПТ для AMOLED-дисплеев основное внимание уделяют технологиям LTPS и IGZO (рис.16). Открываются

новые производства пятого и выше поколений или на существующих заводах вводятся в строй новые линии. Так, Samsung Mobile Display на новом предприятии поколения 5,5 планирует начать массовое производство AMOLED-панелей большого размера для своих заказчиков, а также для ноутбуков и планшетов семейства Samsung Galaxy. Мировой объем производства подложек с ТПТ высокой подвижности в 2012 году увеличился на 150% – с $5,6 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ до $14,1 \cdot 10^6 \text{ м}^2$. По прогнозу NPD DisplaySearch, в 2015 году он должен составить $38 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ [23]. Для повышения разрешающей способности AMOLED-панелей Samsung исследует возможности формирования новой системы пикселей, например, за счет добавления четвертого, белого субпикселя к трем RGB-пикселям (PenTile), расположения цветных субпикселей по волнистой линии (S-Stripe) и по усовершенствованной технологии Advanced S-Stripe.

Большое внимание уделяется повышению световой эффективности излучающих органических материалов и улучшению технологического процесса, зачастую не позволяющего реализовать потенциальные возможности материала. Типичная эффективность преобразования в свет тока, протекающего через органический светодиод, составляет 10–100 кд/А. В последние годы существенно улучшилась эффективность

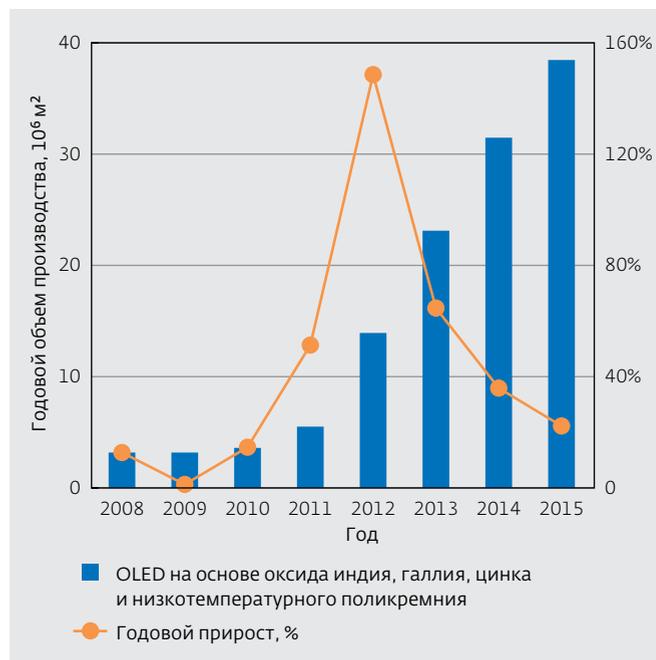


Рис.16. Мощность производства подложек с ТПТ высокой подвижности, позволяющих получить плотность до 230 пикселей/дюйм

материалов, излучающих в красной и зеленой областях спектра. Практически во всех AMOLED-дисплеях для формирования цветных субпикселей

Таблица 4. Сравнение различных технологий изготовления ТПТ для AMOLED-дисплеев

Характеристика	ТПТ на аморфном кремнии	ТПТ на низкотемпературном поликремнии	IGZO ТПТ
Подвижность электронов, $\text{см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	10–500	0,5	1–40
Однородность	Плохая	Отличная	На аморфном кремнии – хорошая, на кристаллическом – плохая
Стабильность	Отличная	Плохая	Плохая
Масштабируемость, размер по диагонали, дюймы	До 40	>100	До 100 (потенциал)
Температура процесса, °C	>400	Типичная ~300, может быть понижена до 150	Типичная ~200, отжиг при 350
Стоимость	Высокая	Низкая	Средняя
Доступность	Массовое производство	Массовое производство с 2011 года	Массовое производство с 2012 года
Проблемы	Однородность, стоимость, масштабируемость	Низкая подвижность носителей, стабильность	Нестабильность порогового напряжения, процесс изготовления не доработан

используется метод термического испарения материала через тонкую металлическую маску. При этом теряется много рабочего материала, а размер подложки ограничен. Для преодоления этого недостатка необходимы методы, обеспечивающие лучшее использование материала и более высокую однородность формируемой структуры, например, применение линейных или двумерных источников распыления материала. Так, для изготовления ТПТ на основе LTPS-технологии ширина пучка эксимерного лазера увеличена до 1300 мм. Планируется разработать и внедрить и другие способы формирования цветных субпикселей – применение цветных фильтров для материала, излучающего белый цвет, нанесение материала из раствора и др. Конкурентоспособность любой технологии, которая позволяла бы одновременно уменьшать стоимость изготовления дисплеев и улучшать их характеристики, возрастет вдвое. Такая технология могла бы стать стандартом производства OLED ППД. Она может использоваться и для производства средств освещения, рынок которых не менее емкий, чем рынок ППД. Пока производство OLED- систем освещения находится на начальном этапе, но в него уже инвестированы сотни миллионов долларов в Европе, США и Японии.

* * *

Таким образом, можно констатировать, что развитие светодиодных технологий для дисплеев сохраняет высокую динамику, позволяет производить новые устройства меньшего размера и большей световой эффективности, стимулирует производителей устройств и материалов улучшать характеристики и удешевлять производство. Взаимодействие промышленных секторов по производству ЖКД и светодиодов становится ключевым для развития электроники на ближайшие десятилетия.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Anandan M.** Progress of LED backlights for LCDs – Journal of the Society for Information Display, 2008, vol.16, Issue2, p.287–310.
2. **Беляев В.В., Коваленко В.И.,** Рынок жидкокристаллических дисплеев. – Электронные компоненты, 2003, №3, с.59.
3. **Беляев В.В.** Рынок дисплейных компонентов в 2006 году. – Электронные компоненты, 2006, №10.
4. **Беляев В..** Чему мы научились на "Евродисплее-07". – Электроника: НТБ, 2007, №7. с.122-126.
5. **Асташкевич, П.** Новейшие тенденции в области дисплеев на предстоящей конференции Eurodisplay 2007. – Компоненты и технологии, 2007, №7, kit-e.ru/articles/displ/2007_7_6.php.
6. **Kokusho T., Morii Y., Mori A. et al.** A Novel Optical System LED-Backlight with Excellent Brightness Uniformity for TFT-LCD. – SID 11 DIGEST, p.777-780.
7. **Gutttag K.M., Hurley S., Mei B.** Laser+LCOS Technology Revolution. – SID 11 DIGEST, p.536-539.
8. **Lee D., Park S., Keh Y, et al.** Ultra-short Throw Pico-projector Including Two Plastic Prisms and a Convex Aspheric Mirror. – SID 2012 DIGEST, p.908-909.
9. **Nguyen F., Morgott S.** Pico-projector design uses color LEDs. – www.edn.com/design/consumer/4371210/Pico-projector-design-uses-color-LEDs.
10. **Abu-Ageel N.** Ultra-Compact Laser-Based Pico-Projector Architectures. – SID 2012 DIGEST, p.1016-1019.
11. www.ecnmag.com/news/2010/02/led-backlight-costs-falling-faster-conventional-lcd-backlights.
12. www.displaysearch.com/cps/rde/xchg/displaysearch/hs.xsl/120118_low_cost_direct_led_backlights_to_reduce_premium_for_led_backlit_lcd_tvs.asp.
13. www.displaysearch.com/cps/rde/xchg/displaysearch/hs.xsl/100719_key_component_shortages_limiting_growth_of_led_backlight_units_for_lcd_tvs.asp.
14. www.displaysearch.com/cps/rde/xchg/displaysearch/hs.xsl/120214_despite_tough_times_in_the_flat_panel_display_industry_supply_demand_market_drivers_turning_around.asp.
15. www.displaysearch.com/cps/rde/xchg/displaysearch/hs.xsl/130516_flat_panel_public_display_market_expected_to_grow_annually_through_2017.asp.
16. tablet-news.com/2013/04/15/flat-panel-display-market-revenues-to-reach-u71-5-billion-by-2016/.
17. press.ih.com/press-release/design-supply-chain-media/led-backlighting-reach-90-percent-penetration-lcd-tvs-2013.
18. www.displaysearch.com/cps/rde/xchg/displaysearch/hs.xsl/090219_oled_display_revenues_expected_to_reach_6b_in_2015.asp.
19. www.displaysearch.com/cps/rde/xchg/displaysearch/hs.xsl/120105_amoled_display_revenue_to_surge_in_2011_from_smart_phone_adoption.asp.
20. Touch Display Research forecasts Apple to adopt AMOLED display within 18 months. – touchdisplayresearch.com/?page_id=375.
21. **Albanesius C.** Samsung Unveils Curved Galaxy Round Smartphone. – www.pcmag.com/article2/0,2817,2425385,00.asp.
22. electroiq.com/blog/2012/08/how-to-reduce-large-size-amoled-display-fab-costs.
23. macdailynews.com/2011/12/19/adoption-of-high-mobility-tft-lcd-backplanes-in-apple-iphone-and-ipad-create-new-paradigm-in-fpd-manufacturing/#mwd0ET7Cyv42ZiFc.99.

