

Твердотельные и органические микросветодиоды – технология, рынок, перспективы

В. Беляев¹

УДК 621.382 | ВАК 05.27.00

Рассмотрены различные проблемы технологии и рынка микросветодиодов – твердотельных излучателей размером 20–50 мкм. Технология микросветодиодов сравнивается с другими видами дисплейных технологий, в которых используются жидкие кристаллы и органические светодиоды. В ближайшие годы ожидается 50-кратный рост объема выпуска микросветодиодов.

Современные пользователи электронных устройств и специалисты достаточно хорошо понимают разницу между твердотельными и органическими светодиодами, знают области их применения, без труда пользуются информацией со светодиодных экранов или дисплеев для телефонов, а иногда и телевизоров [1, 2].

Уже больше десяти лет назад технологии светодиодов продвинулись дальше в микрометровом диапазоне размеров, достигнув 20–50 мкм у твердотельных светодиодов и 5–15 мкм – у органических. Наряду с обычными светодиодами появились мини- и микросветодиоды со схожими технологиями и областями применения. Отличие мини-светодиодов от микросветодиодов – в размере излучающего элемента, который может составлять от десятков до нескольких сотен микрон.

Рассмотрим структуру и технологии устройств, их особенности в сравнении с известными технологиями, области применения, приведем данные по рынку и основным производителям. В основном речь пойдет о микросветодиодах (MicroLED). Эта технология разработана в Техасском технологическом университете в 2000 году, ее авторы – Hongxing Jiang (Хонсин Чан) и Jingyu Lin (Чинью Лин).

Структура и внешний вид различных исполнений микросветодиодов приведены на рис. 1–3 [3, 4]. Отличие технологии микросветодиодов от технологии обычных светодиодов заключается в том, что во втором случае изготавливаются единичные устройства размером около 1 мм и менее, из которых собирается большой экран. Матрица светящихся элементов микросветодиодов изготавливается в одном процессе на одной подложке

с пространственным разрешением до 15–30 мкм. В технологии MicroLED используются неорганические материалы, традиционные для полупроводниковой микроэлектроники, в основном нитрид галлия.

Преимущества микросветодиодов:

- низкое энергопотребление;
- идеальный, почти нулевой уровень черного цвета, что в сочетании с высокой яркостью свечения обеспечивает высокий динамический диапазон (HDR);
- широкая цветовая гамма;
- длительный срок службы, экологическая стабильность вследствие низкой деградации материала;
- высокое разрешение (плотность пикселей);
- высокая частота обновления;
- широкие углы обзора.

При использовании усовершенствованных технологий возможна реализация дополнительных преимуществ:

- использование изогнутых / гибких панелей;
- интеграция датчиков в пределах фронтальной панели дисплея для расширения функциональных возможностей устройства.

Один из основных вариантов применения микросветодиодов – средства отображения информации или дисплеи. Результаты сравнения характеристик двух основных дисплейных технологий (жидкокристаллической и на основе органических светодиодов), для которых характерны широкое применение и большой объем производства, с рассматриваемой микродисплейной технологией приведены в таблице.

На первый взгляд, микродисплейная технология отличается рядом конкурентных преимуществ и может занять значительную нишу на рынке современной электроники. Рассмотрим подробнее состояние и перспективы рынка микросветодиодов.

¹ Московский государственный областной университет (МГОУ),
Российский университет дружбы народов (РУДН), Российское отделение Международного дисплейного общества (SID).

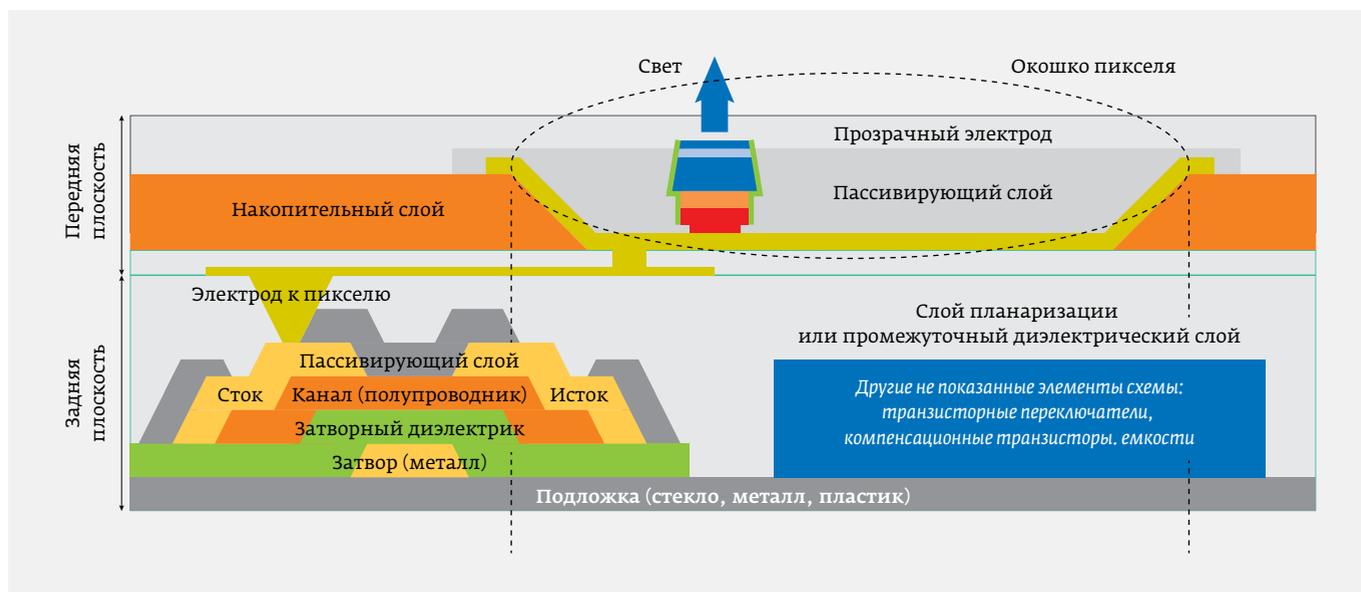


Рис. 1. Поперечное сечение пикселя микросветодиодного дисплея

Аналитическая компания n-tech Research 16 июля 2018 года опубликовала прогноз, согласно которому ожидается быстрый 4-кратный рост рынка микросветодиодов. В период с 2019 по 2022 годы предполагается увеличение объема продаж с 2,7 до 10,7 млрд долл. (рис. 4).

По данным другой аналитической компании Ingenious Reports, опубликованным 17 августа 2018 года, мировой рынок микросветодиодов в прошлом году составил 170 млн долл., а к 2025 году прогнозируется его рост до 17,1 млрд долл. Средний годовой прирост может составить 78,3%.

В настоящее время на рынке микросветодиодов представлены в основном следующие сегменты:

- проекторы дополненной и виртуальной реальности (AR / VR);
- дисплеи, закрепляемые на голове (HUD);
- умные часы (Smartwatches);
- смартфоны и планшеты;
- компьютерные мониторы;
- телевизоры, размер экрана которых <65 дюймов (165 см);
- телевизоры, размер экрана которых >65 дюймов, и видеостены.

Сегменты рынка по областям применения в соответствии с прогнозами консалтинговых компаний Yole Development, IHS, HCL показаны на рис. 5. Представлены базовый и агрессивный сценарии [5]. Цифры по вертикальным осям на рис. 4 и рис. 5 различаются. На рис. 4 приведены данные по рынку микросветодиодов

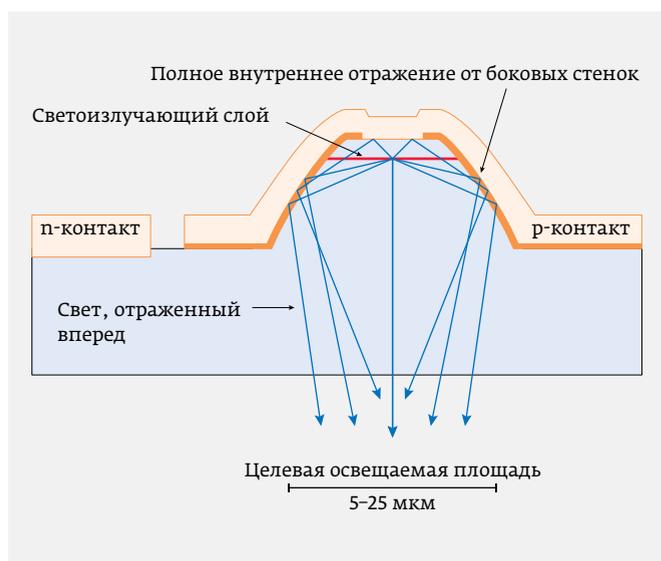
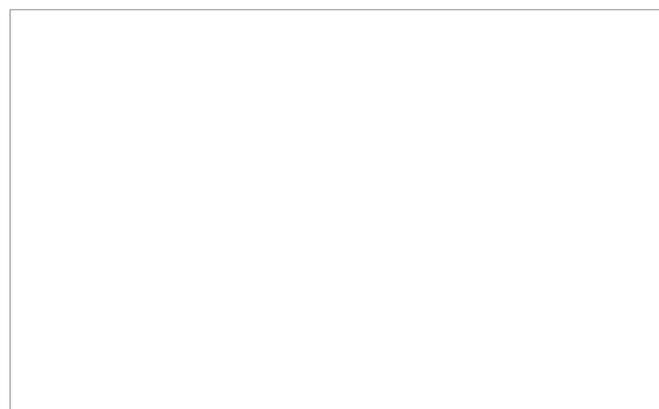


Рис. 2. Конструкция микросветодиода с внутренним отражателем [3, 4]



Сравнение некоторых дисплейных технологий

	Дисплейная технология		
	Жидкокристаллическая	Органические светодиоды	Микросветодиоды
Метод формирования изображения	Подсветка и цветной фильтр	Собственное излучение	Собственное излучение
Световая эффективность	Низкая	Средняя	Высокая
Яркость, кд м ⁻²	>3000	>500	>100000
Контраст	Средний	Высокий	Высокий
Время отклика	мс	мкс	нс
Потребление мощности	Среднее	Среднее	Низкое
Рабочие температуры	От -20 до 80 °С	От -40 до 70 °С	От -100 до 120 °С
Гибкость	Низкая	Высокая	Средняя
Срок службы	Длительный	Средний	Длительный

как электронных компонентов для различных применений, на рис. 5 – данные по сегменту устройств, в которых используются микросветодиоды, с учетом полной стоимости этих устройств.

Прогноз объема выпуска микросветодиодов для различных вариантов применения представлен на рис. 6 [6]. Если в текущем году их производство еще не показано, то в предстоящие шесть лет (с 2019 по 2024 годы) ожидается 50-кратный рост объема выпуска до 312 млн шт.

Современные основные предприятия, выпускающие микросветодиоды и дисплеи на их основе, пока не интегрировались в сеть. Сейчас выделяются четыре основные группы компаний-производителей – Samsung, LG, Foxconn, Apple. Их связи с другими компаниями,

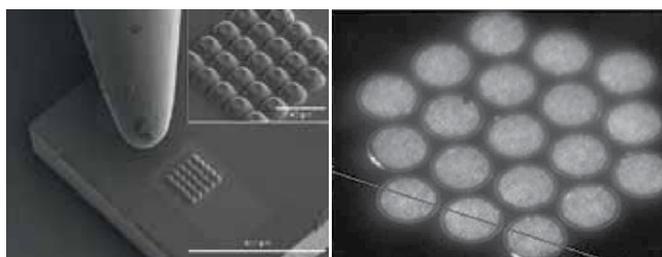


Рис. 3. Изображения микросветодиодов в различном масштабе, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа [3, 4]

специализирующимся на массовом производстве (ОЕМ), дисплеях, микросветодиодах, светодиодах, полупроводниковых микросхемах (CMOS), показаны на рис. 7. Источник схемы – презентация консалтинговой компании Henty Consulting, область деятельности которой – стратегия формирования изображений для дисплеев, применяемых в сфере высоких технологий и медицине [7].

В отчете аналитика консалтинговой компании HTF MI Нидхи Бхавсара (Nidhi Bhawsar), опубликованном 1 августа 2018 года, ключевыми организациями на

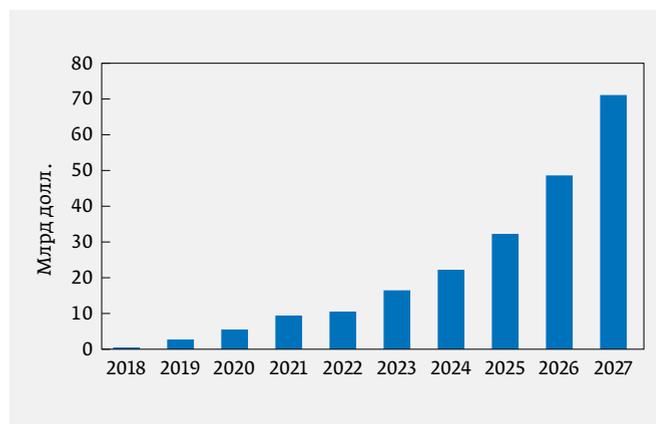


Рис. 4. Прогноз рынка микросветодиодов от компании n-tech Research

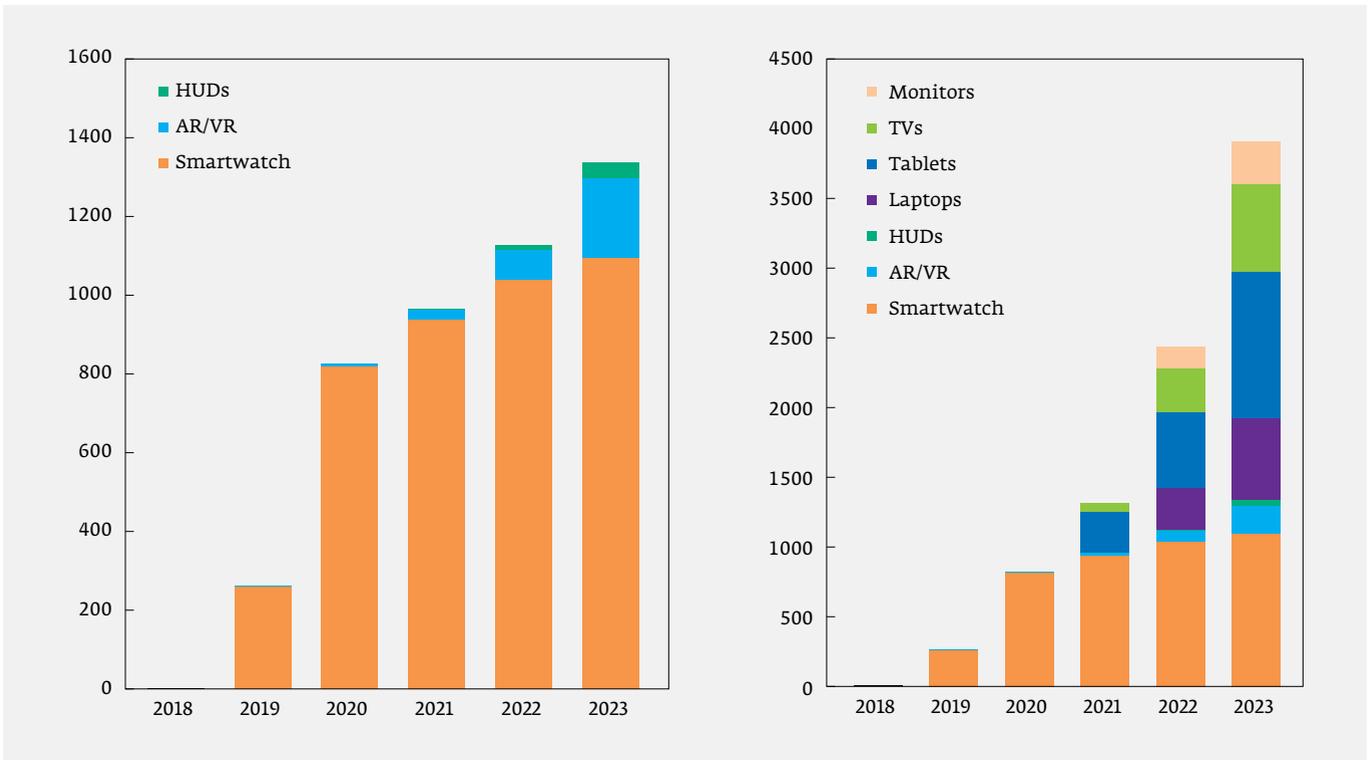


Рис. 5. Базовый и агрессивный сценарии сегментов рынка микросветодиодов по оценке Henty Consulting [5]

этом рынке названы Apple, Sony, X-Celeprint, Samsung Electronics, OCULUS VR, Epistar, Verlase Technologies, Jbd & Aledia.

Для выхода на лидирующие позиции многие ведущие компании приобретают стартапы, развивающие технологии микросветодиодов. Самое известное недавнее приобретение компании Apple – покупка в 2014 году стартапа Luxvue, который занимался разработкой дисплеев с высокими яркостью и энергоэффективностью для потребительской электроники на базе технологии MicroLED (микросветодиоды).

В ноябре 2017 года Apple реформатировала свою исследовательскую группу в г. Лонгтан в северном Тайване для перспективных разработок такой продукции, как Apple-часы, приборы для дополненной и виртуальной реальности.

Другая известная крупная сделка – приобретение в октябре 2017 года за 10 млн долл. американского стартапа eLux группой компаний CyberNet Venture Capital, Innolux

and Advanced Optoelectronic Technology, входящих в группу Foxconn. Под этим названием известен тайваньский контрактный производитель Hon Hai Precision Industry (Хон Хай Прецизионная Индустрия). Компания

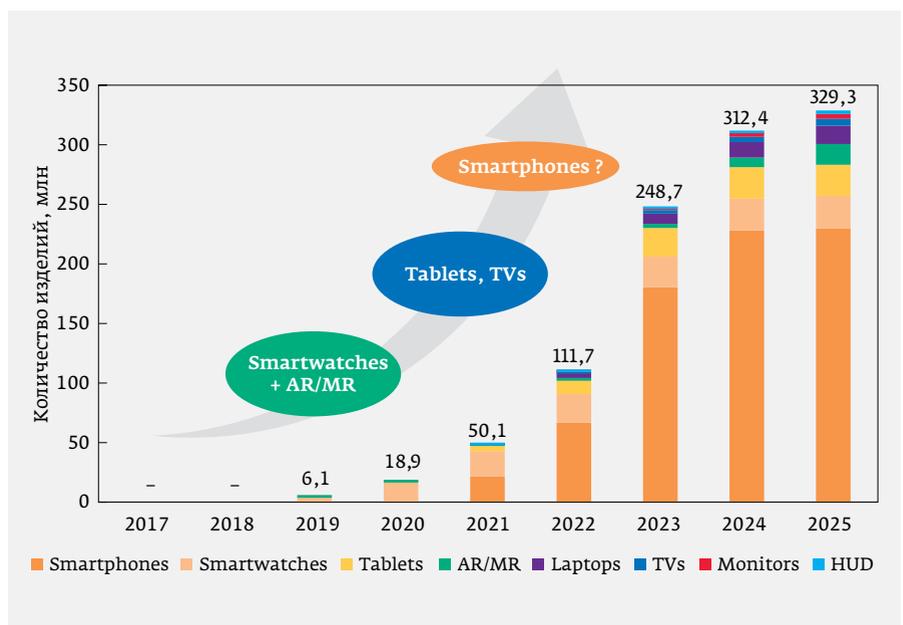


Рис. 6. Прогноз Yole Development по количеству производимых микросветодиодов для различных вариантов применения [6]

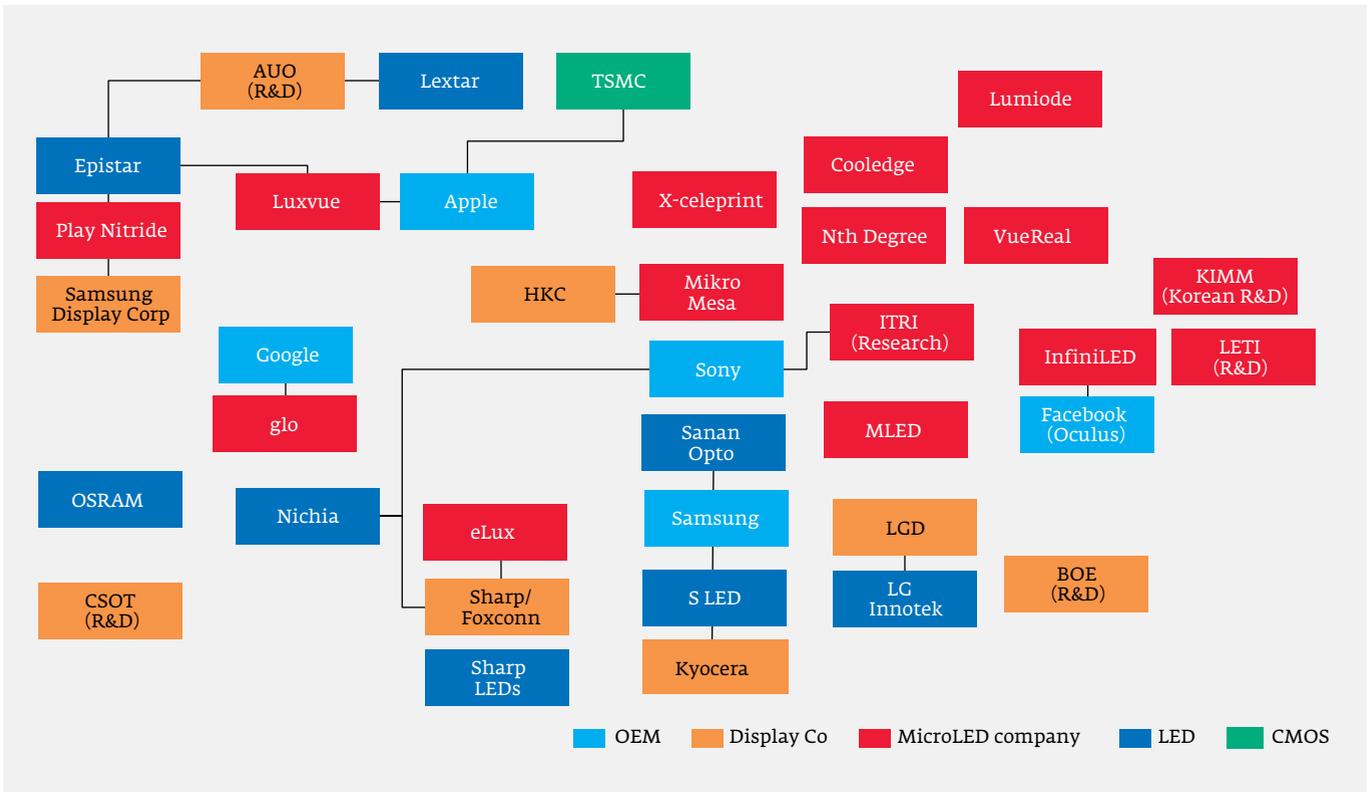


Рис. 7. Основные группы поставщиков микросветодиодов и дисплеев на их основе, связанные с главными компаниями, занятыми производством [7]

eLux, основанная в 2016 году в г. Кама, штат Вашингтон (Cama, WA), разрабатывает методы сборки для следующего поколения дисплеев с микросветодиодами. Руководят ею Jong-Jan Lee (Джонг-Джан Ли, генеральный директор) и Paul Schuele (Пауль Шюле, технический директор), которые раньше работали в компании Sharp Laboratories of America. По завершении этой сделки Sharp оставила за собой 31% акций eLux.

Говоря о перспективах развития компаний и технологических направлений, следует учитывать интеллектуальную собственность на технологию. В январе



Рис. 8. Распределение патентных заявок по тематике, основным компаниям и другим организациям



Рис. 9. Распределение патентных заявок по основному направлению деятельности компаний и организаций (проанализировано 584 семейства патентов)

2018 года компания Yole Development опубликовала отчет «Микросветодиодные дисплеи: ландшафт интеллектуальной собственности» [8], в котором проанализировала около 1500 патентов, заявленных 125 компаниями и другими организациями. Распределение патентных заявок, сгруппированных тематически по компаниям и организациям, показано на рис. 8, а на рис. 9 эти компании и организации систематизированы по основному направлению своей деятельности: стартапы, компании массового производства для потребительской электроники, производители дисплеев, исследовательские организации (в России НИИ), производители светодиодов и др. Большой интерес представляет распределение патентов по узловым для микросветодиодов технологическим направлениям, приведенное на рис. 10.

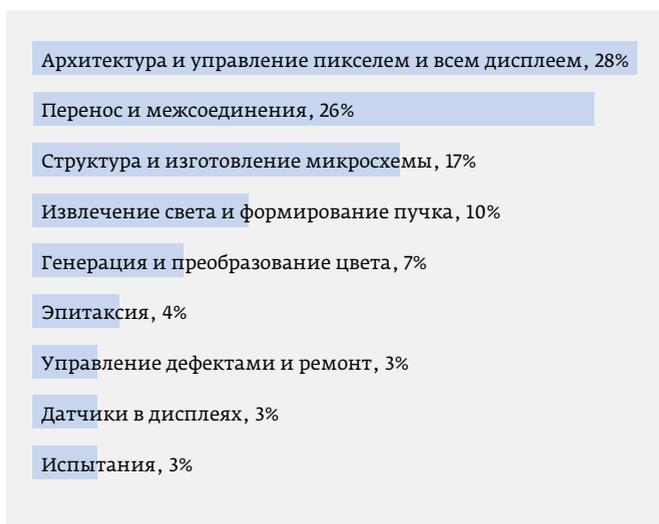


Рис. 10. Распределение патентов по узловым для микросветодиодов технологическим направлениям



Рис. 11. Микросветодиодный дисплей The Wall корейской компании Samsung Electronics

Безусловный лидер по количеству патентов в сфере микросветодиодов – Apple, которая раньше других ведущих компаний вышла на этот рынок и продолжает активно приобретать новые технологии и стартапы в данной области. Среди лидеров по количеству патентов – британская компания X-Celeprint, ряд компаний и университетов Тайваня и Китая. Удивляет относительное отставание крупных японских и корейских компаний, которые продемонстрировали впечатляющие прототипы по большим дисплеям с микросветодиодами (о них будет рассказано ниже).

Таким образом, по направленности организаций почти половину составляют патенты от стартапов и исследовательских групп, в основном университетов. По тематике почти две трети составляют патенты, связанные со структурой и электронной коммутацией устройств с микросветодиодами.

Один из ярких примеров применения микросветодиодной технологии – большие панели, из которых можно составлять видеостены еще большего

Санкт-Петербург, Россия
ул. Матроса Железняка,
д. 57, лит. А, пом. 126-Н
Телефон: 7-812-3259702

Москва, Россия
Лужнецкая набережная, 2/4,
строение 19, офис 119
Телефон: 7-095-7477560

VITAL-IC

Поставки электронных компонентов широкой номенклатуры
Системы RFID: поставка и консультации

XILINX **Mini-Circuits**
ATERA

размера. В июле 2018 года появилось сообщение о готовности к серийному производству дисплеев The Wall в дисплейном подразделении корейской компании Samsung Electronics. В сентябре 2018-го должен был стартовать выпуск модульных телевизоров The Wall (рис. 11), предназначенных для домашнего и развлекательного применения. Среди потенциальных потребителей устройств – гостиницы, магазины, стадионы, музеи, развлекательные центры и комфортабельные квартиры и жилища. Время работы панелей составит около 100 тыс. ч, то есть более 11 лет. Размер одной панели по диагонали 146 дюймов (3,7 м), разрешение 4K, или 3780 строк.

Стремительное развитие технологии становится возможным благодаря непрерывному совершенствованию производственных операций и конструкции. За счет внедрения операций с высокой производительностью на полупроводниковых подложках большего размера возможно пятикратное уменьшение себестоимости производства телевизионной панели размером 75 дюймов и разрешением до 8K пикселей по одному пространственному направлению (рис. 12) [9].

Однако, несмотря на большие недавние успехи, для технологии MicroLED характерны значительные нерешенные проблемы. Преимущественно они связаны с несогласованностью производственных технологий в компаниях, занятых разработкой и производством микросветодиодов (основные направления – дисплеи, твердотельные светодиоды, полупроводниковые микросхемы (см. рис. 7)). Для успешного изготовления микросветодиодов и устройств на их основе компании должны существенно изменить производственный процесс и обновить оборудование.

ОРГАНИЧЕСКИЕ СВЕТОДИОДЫ

Хорошие перспективы для формирования изображений с высоким пространственным разрешением, четкой цветопередачей, коротким временем отклика есть у технологии MicroOLED (органические микросветодиоды).

Рассмотрим основные достижения и производителей в этой области.

С 2007 года во французском Гренобле работает компания MICROOLED, в которой создаются органические светодиоды (OLED) на основе одноименной

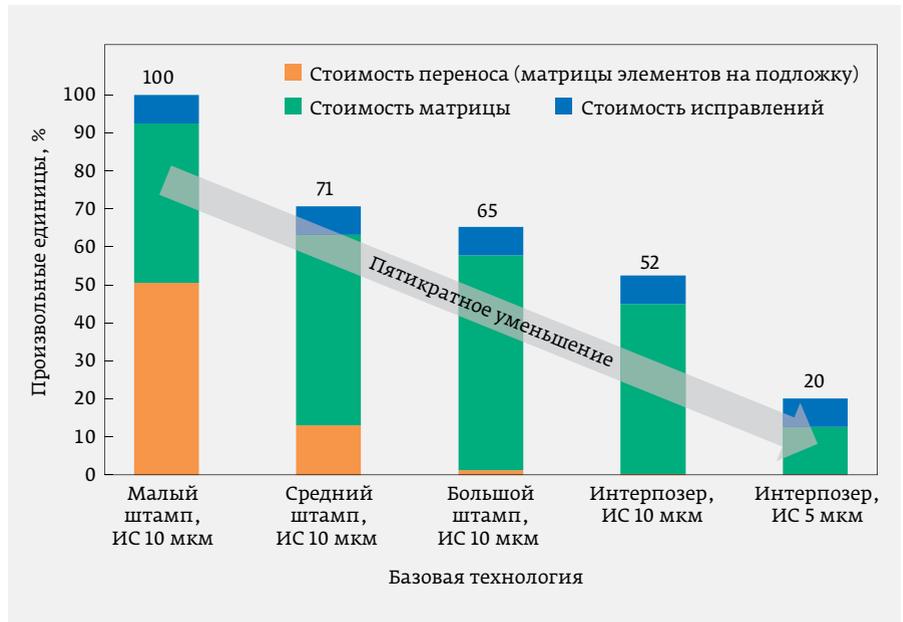


Рис. 12. Уменьшение себестоимости производства телевизионной панели размером 75 дюймов и разрешением до 8K пикселей благодаря внедрению полупроводниковых подложек большего размера. Выход годной продукции 99,99%

технологии и производятся микродисплеи на их основе с высоким пространственным разрешением [10]. Первое устройство было выпущено в 2012 году, в том же году ST Microelectronics инвестировала в гренобльскую компанию 6 млн евро. Уже через три года потребителям было поставлено более 150 тыс. микродисплеев.

Сейчас компания MICROOLED выпускает микродисплеи моделей MDP02 (размер по диагонали 0,61 дюйма (1,55 см) и SXGA-разрешение – 5,4 мегапикселя – 1280 × 960 пикселей для цветной картинки и 2560 × 2048 – для монохромной) и MDP03 (размер по диагонали 0,39 дюйма (0,99 см) и XGA-разрешение – 3,3 мегапикселя) (рис. 13).

Размер цветного пикселя составляет 4,7×4,7 мкм, такая плотность сегодня – самая высокая в мире. Дисплеи обеспечивают яркость до 400 кд·м⁻² и контраст



Рис. 13. Микродисплеи компании MICROOLED

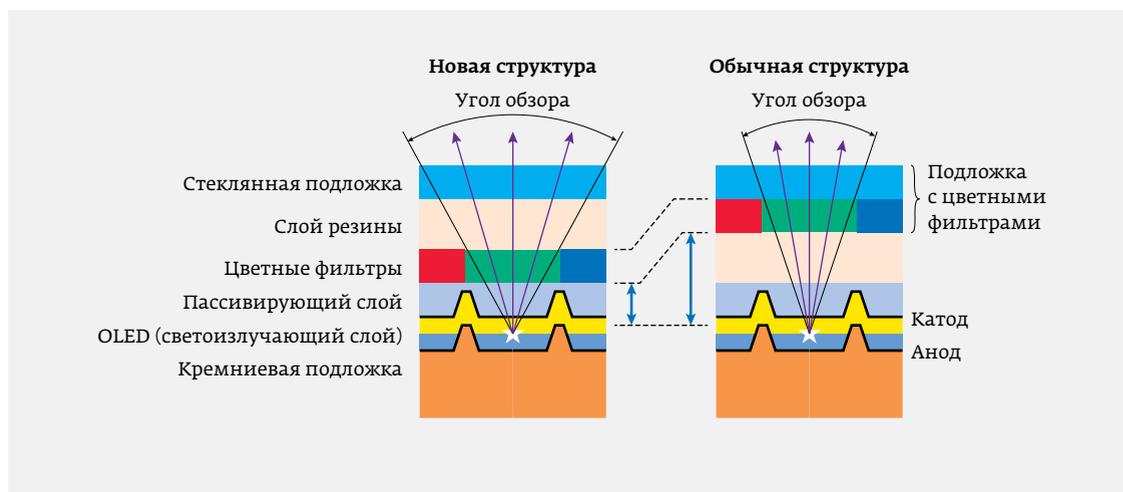


Рис. 14.
Конструкция
OLED-
микродисплеев
японской кор-
порации Sony

до 100 000:1 с отличным воспроизведением даже ненасыщенных (пастельных) цветов. Диапазон рабочих температур от -40 до 70 °C. Энергопотребление может составлять всего 0,2 Вт.

На основе этой технологии обеспечивается отличное качество формируемого изображения за счет следующих особенностей:

- сверхвысокого контраста, в котором черное является черным (Black is black), что важно для видеоскателей и устройств, работающих в условиях нехватки света;
- уникальной архитектуры дисплейной панели, обеспечивающей высочайшее разрешение благодаря высокой плотности пикселей, особому типу их взаимного расположения (RGBW или «квад»), отсутствию черной маски, часто применяющейся в ЖК-дисплеях для повышения контраста. Такая архитектура позволяет осуществлять доработку дисплея для увеличения динамического диапазона изображения и срока службы устройства;
- очень высоких однородности и динамического диапазона яркости, благодаря чему картинка смотрится мягко и естественно;
- технологии изготовления вафли (полупроводниковой подложки с электронными элементами) с цветными фильтрами, которая позволяет формировать изображения с широким углом обзора без потерь в качестве воспроизведения цвета и контраста;
- высокоэффективной технологии MicroOLED, уменьшающей энергопотребление в два-три раза по сравнению с конкурентными технологиями, что значительно продлевает срок службы батарей и других источников питания;
- времени отклика, который в микродисплеях намного меньше микросекунды во всем температурном диапазоне работы устройства, благодаря

чему картинки не смазаны даже у быстро движущихся объектов;

- возможности в микродисплеях менять изображения с частотой смены кадров до 120 в секунду, что особенно важно для видеоскателей;
- интеграции каждым MicroOLED-дисплеем просмотрной таблицы с индивидуальной калибровкой, что обеспечивает однородную белую точку и коррекцию гаммы;
- наличия в микродисплеях инновационной функции «Затемнение» (Dimming), позволяющей получить отличный контраст и измерение цвета в условиях чрезвычайно низкой освещенности.

Основные области применения MicroOLED-технологии:

- видеочки для просмотра видео, в том числе с трехмерным изображением. Они размещаются перед глазами и дают ощущение обзора с широкого экрана. Прибор соединяется с медиаплеером, мобильным телефоном или игровой консолью, не требует ручного управления;
- в устройствах, надеваемых на голову, есть функция дополненной реальности, благодаря чему пользователю поступают данные из Интернета, систем навигации, датчиков. Это особенно полезно при занятиях спортом для получения информации о расположении, скорости, физическом состоянии и т. п. Для продвинутых спортсменов предлагаются бинокулярные насадки с лазерными дальномерами, работающие и в условиях слабой освещенности;
- для служащих в полиции, воинских частях, подразделениях служб безопасности разработаны устройства с высокой четкостью, однородностью изображения, возможностью дистанционного обнаружения, получения теплового изображения, работы при малой освещенности.



Рис. 15. OLED-микродисплеи американской компании eMagin

Микродисплеи используются также в сложном медицинском оборудовании для визуализации внутренних органов, например в эндоскопах, хирургических микроскопах, медицинских лупах.

OLED-микродисплеи японской корпорации Sony отличаются высокими эксплуатационными характеристиками. В январе 2018 года были продемонстрированы образцы модели ECX339A с шагом пикселя 6,3 мкм. Размер микродисплея 0,5 дюйма (1,3 см), разрешение 1600×1200 пикселей (UXGA), яркость до 1000 кд·м⁻², частота смены кадров 240 Гц. На ноябрь 2018 года запланировано их массовое производство. Цена составит около 460 долл.

В новом микродисплее используется схема управления с рабочим напряжением в два раза меньшим, чем у предыдущей модели. Несмотря на большее количество пикселей и, соответственно, управляющих транзисторов, энергопотребление не увеличилось. В новой модели изменен производственный процесс – теперь цветные фильтры осаждаются непосредственно на кремниевую подложку (рис. 14), что позволяет увеличить углы обзора.

На рынке OLED-микродисплеев активным игроком пытается стать американская компания eMagin, которая, по опубликованным данным, получала от командования специальными операциями США 1,2 млн долл. на оптимизацию полноцветного WUXGA (1920×1200) OLED-дисплея с контрастом 10 000 : 1 и энергопотреблением до 0,35 Вт (рис. 15). Проект первоначально финансировался Исследовательским центром телемедицины и передовой технологии армии США. Затем военный флот США выделил компании 2,4 млн долл. на разработку микродисплея с разрешением 2000×2000 пикселей для приборной панели самолетов. Всего на эту НИОКР компания получила около 7 млн долл.

В отличие от технологии MicroOLED, где преимуществом устройств является возможность их

использования при низкой освещенности, технология eMagin рассчитана на применение в условиях чрезвычайно высокой освещенности. Яркость этих микродисплеев составляет до 7000 кд·м⁻².

Технологию этой компании пытались внедрить в России для авиационных применений в НИИ «Циклон» в Москве, для чего были созданы образцы монохромного и цветного микродисплеев [11].

* * *

В обзоре приведены основные сведения об этой новой и перспективной технологии, которая стремится занять достойное место на рынке как больших дисплеев, так и микродисплеев для применений от информационных табло до устройств медицинского и военного назначения. В следующих публикациях будет подробнее рассмотрены подробности технологии микродисплеев, ее основные проблемы и методы их преодоления.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Беляев В.** Светодиоды и плоскостные дисплеи: Совмещение несовместимых // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2013. № 8. С. 82–95.
2. **Беляев В.** Современные светодиоды. Насколько светлое у них будущее? // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2009. № 2. С. 18–24.
3. **Henry W.** MicroLED Arrays. Find Applications in the Very Small // Photonics Spectra. 2013. № 3. P. 52–55.
4. **Henry W.** MicroLED Sources. Enable Diverse Ultralow-Power Applications // Photonics Spectra. 2013. № 10. P. 52–54.
5. MicroLED: Promise and risks // Henty Consulting Report. July 2018.
6. Yole Development, MicroLED Display Volume Forecast – Aggressive Scenario // Market & Technology report. February 2017.
7. Market scenarios for the display industry 2018 // Henty Consulting Report. January 2018.
8. Yole Development, MicroLED Displays: Intellectual Property Landscape // Market & Technology report. January 2018.
9. Yole Development, MicroLED Displays 2018 // Market & Technology report. July 2018.
10. <http://www.microoled.net/>
11. **Усов Н. Н.** Перспективы применения органических светодиодов для отображения информации и освещения // Светотехника. 2011. № 5. С. 4–14.