

# Рынок дисплеев. 2001 год

**Производство дисплеев является вторым по стабильности и темпам развития сегментом мирового рынка электроники. Постоянно появляющиеся в этой области новые технические решения удачно сочетают достижения современной микроэлектроники и оптики. 3–8 июня 2001 г. в г. Сан-Хосе (шт. Калифорния) состоялся очередной, 32-й Симпозиум общества информационных дисплеев, на котором было представлено около 300 научных докладов. На проходившей одновременно с Симпозиумом выставке представили свои разработки и продукты более 200 компаний из США и других стран мира.**

**Виктор Беляев**

vbelyaev@mtu-net.ru

## Оценка рынка

Совсем недавно на мировом рынке телевизионной техники появилось новое направление — жидкокристаллические (ЖК) телевизоры. В первом квартале 2001 г. было выпущено 141 500 ЖК-телевизоров на общую сумму \$150 млн, что, конечно, значительно меньше объемов выпуска ЖК-дисплеев для портативных компьютеров. Однако консалтинговая компания DisplaySearch предсказывает, что уже через два года, в первом квартале 2003 г. их производство возрастет до 673 тыс. штук, а рост продаж — до \$460 млн. Средний размер ЖК-панели для телевизора сейчас составляет 14,7", но уже в 2003 г. будут представлены модели с панелями большего размера.

В настоящее время на рынке лидирует корпорация Sharp, выпускающая 88,6 % ЖК-телевизоров. Японские компании доминируют также и в производстве ЖК-мониторов (74,2 % мирового рынка), причем, по прогнозам аналитиков, в ближайшие два года это положение сохранится. DisplaySearch предвидит также снижение средних цен на ЖК-телевизоры с \$1060 в первом квартале 2001 г. до \$700 во втором полугодии 2002 г.

Тем не менее в целом, развитие рынка дисплеев идет неравномерно. В 1999 г. рост доходов от продаж плоскопанельных дисплеев (ППД) составил 70 %, а в 2000 г. — всего 26 %. В текущем году ожидается снижение еще на 5 %. Это происходит из-за падения цен на активно-матричные (АМ) жидкокристаллические дисплеи (ЖКД) и 18 %-го сокращения доходов от пассивно-матричных (ПМ) ЖКД. В первом квартале 2001 г. мощности предприятий по производству АМ ЖКД были заняты лишь на 77 %, и цены на дисплеи для ноутбуков упали на 42 %.

## Активно-матричные ЖКД

Самый большой TFT ЖК-модуль для цифрового телевидения производится международной компанией LG Philips LCD. Размер изображения устройства составляет 687×421 мм (29" по диагонали), разрешение SXGA (1280×1024), яркость — 450 кд/м<sup>2</sup>, а насыщенность цвета — 70 %.

В настоящее время на рынке прослеживается тенденция использования большого количества компонентов ЖКД из органических материалов, что делает возможным производство гибких дисплеев и так называемой электронной бумаги.



Одним из многочисленных примеров международного сотрудничества в представленной области науки и технологии является лаборатория Epson-Cambridge, учредителями которой являются Лаборатория Кэвендиша в Кембридже (Великобритания) и японская компания Seiko-Epson. Эти организации представили общую разработку АМ ЖКД с полностью полимерным TFT, печатаемым на подложке струйным принтером с высоким разрешением. Для полимерных TFT получена довольно высокая подвижность носителей заряда — до 0,02 см<sup>2</sup> В<sup>-1</sup> с<sup>-1</sup>.

Южно-корейский университет Кьонгхи и компания Infowave представили совершенно новый вариант применения TFT — основного элемента активных матриц, ранее использовавшегося только для управления электронным сигналом и изменявшего электрооптические характеристики функционального материала. Корейскими специалистами разработан активно матричный многоэлементный фотоприемник на основе аморфного кремния, размещенный к тому же на гибкой подложке. Такое устройство может найти массу применений, среди которых можно отметить сканеры — от ручного или дактилоскопического с форматом А8 до факса и цифровой копировальной машины, обнаружители рентгеновского

излучения, измерительные системы, а также электронные классные доски. Фотоприемник работает при освещенности 1000 люкс, динамический диапазон — до 95 дБ.

Японско-американская компания Fuji-Xerox пошла дальше и разработала светоадресуемую электронную бумагу (e-paper) с микрокапсулированным холестерическим ЖК и органическим фотопроводником. Такая структура представляет собой не что иное, как оптический управляемый матричный пространственный модулятор света. Устройство собрано на подложках полиэтилентерефталата (ПЭТ) толщиной 0,125 мм, имеет размер 105×171×0,3 мм и массу 7,7 г. Разрешение модулятора — 600 dpi, управляющее напряжение — 260 В (из-за использования перехода холестерик-нематик), частота — 10 Гц (из-за согласования электрических параметров фотопроводника и ЖК), отражение — 25 %, фоточувствительность — до 500 мкВт/см<sup>2</sup>. Такая тонкая и гибкая e-paper может иметь множество областей применения, таких как электронные книги, газеты и персональные цифровые устройства (PDA). Авторы разработки считают ее основным достоинством то, что пользователи компьютеров, работая с множеством окон, большинство из которых закрыто верхним, теперь без стеснения могут «распечатывать» любое из них на лист электронной бумаги, прикладывая его к экрану монитора.

В качестве устройства отображения еще больше впечатляет АМ ЖКД с органическими TFT на полимерной подложке. Разработка выполнена специалистами трех организаций: корпорации David Sarnoff, университета штата Пенсильвания и Институтом жидких кристаллов в Кенте. Толщина подложки на основе полиэтиленафталята составляет всего 75 мкм — тоньше человеческого волоса. Процесс нанесения транзисторов с активным слоем из пентацена — линейного полициклического ароматического углеводорода — происходит всего при 110 °С, а перед этим полимерная пленка ламинируется при 150 °С на стеклянной подложке для упрощения технологического процесса.

Среди областей применения больших дисплеев следует отметить новую систему управления воздушным транспортом бельгийско-американской компании BarcoView. Она исполнена с повышенной надежностью на основе квадратной активной ЖК-матрицы производства фирмы Samsung размером 28" и числом пикселей 2048×2048. Время жизни



ламп, применяемых для подсветки, составляет более трех лет. Четыре варианта механического крепления устройства позволяют установить дисплей на любую платформу. Особое внимание в конструкции уделено решению эргономической проблемы уменьшения акустического шума вентилятора.

Определенных успехов при разработке новых АМ ЖКД удастся добиться за счет усовершенствования методов адресации. Одним из наиболее интересных изделий, показанных на Симпозиуме, стала 15-дюймовая XGA (1024×768) АМ ЖК-панель для мультимедийных приложений. Компаниями Advanced Display и Mitsubishi разработан новый метод управления с опережающим питанием (Feedforward Driving), позволяющий получить время переключения менее 20 мс для любых уровней серого (чем меньше прежде была разница интенсивности формируемых на экране дисплея элементов, тем медленнее происходило переключение пикселя из одного оптического состояния в другое). Следует отметить высокую насыщенность цвета такого дисплея, совпадающую с соответствующей характеристикой ЭЛТ.

### Пассивно-матричные ЖКД

Несмотря на то что наибольший интерес разработчиков прикован к АМ ЖКД, отличающимся большей информационной емкостью, значительный сегмент рынка занят пассивно управляемыми ЖКД, прежде всего, на основе супертвист-эффекта, а также быстрого супертвист-эффекта (FSTN). Одним из лидеров по производству таких дисплеев является тайваньская компания Solomon. Сейчас она производит более 400 стандартных буквенно-цифровых и графических модулей, которые используются в устройствах связи, медицинском и промышленном оборудовании, потребительских электронных приборах вплоть до таких современных, как компьютеры класса palmtop. Следует отметить, что Solomon делает также чипы для органических и полимерных светоизлучающих дисплеев.



Группа профессора У. Кроссланда из Кембриджского университета (Великобритания) предложила усовершенствование метода многострочной адресации, применяемого чаще для пассивно управляемых ЖКД. Разработанный способ декомпрессии изображений позволяет снизить время вычислений и, соответственно, энергопотребление при декодировании и отображении.

Также для пассивных ЖКД с холестерическими ЖК в Институте физики полупроводников НАН Украины под руководством В. М. Сорокина разработана новая динамическая схема управления дисплеем, в которой для адресации как строк, так и столбцов требуется только два уровня напряжения при очень простой форме импульсов. Новая схема позволяет реализовать высокую мультиплексность (количество элементов) дисплея и на 13 % снизить управляющее напряжение.

### ЖКД на кремнии (LCoS)

Данный вид дисплеев относится к активно-матричным, но об этом направлении следует сказать особо.

Во время симпозиума 6 июня 2001 г. было заключено соглашение, которое в будущем, несомненно, повлияет на складывающийся сейчас рынок LCoS ЖКД (LCoS — Liquid Crystal on Silicon, жидкий кристалл на кремнии), а следовательно, и на рынок проекторов на основе микродисплеев. По оценке консалтинговой группы McLaflin, в 2003 г. рынок LCoS-дисплеев составит \$1,6 млрд. Заключено соглашение о сотрудничестве между американской компанией SpatialLight (Nasdaq SmallCap: HDTV), являющейся разработчиком LCoS-дисплеев, и японской Fuji Photo Optical Co., Ltd., производящей устройства light engines, в состав которых входят такие микродисплеи. SpatialLight выпускает микродисплеи размером от 0,71 до 0,97" и разрешением до 1280×1024 пикселей на основе электрооптических эффектов в гомеотропно (вертикально) ориентированных ЖК.

Корпорация Colorado Microdisplay представила еще более компактный виртуальный дисплей на основе матрицы LCoS. Небольшого размера (46,5×38×25,5 мм) и очень легкий (35 г) моноколь включает в себя оптическую схему, согласованную с параметрами глаза так, что она строит создаваемое полноцветное (18 бит на каждый цвет) SVGA (800×600 пикселей) изображение на расстоянии 2 м от пользователя. Светодиодные рассеиватели света в подсветке потребляют всего 220 мВт при яркости 125 кд/м<sup>2</sup>. Такие моноколь были вставлены в шлемы CyberDisplay и телефонные трубки компании Kopin.



Японская компания JVC изготовила усилители яркости изображений (ILA — Image Light Amplifiers) на основе отражательных LCoS-матриц размером 0,9" и SXGA-разрешением, что предполагает размер пикселя 13,5 мкм.

Чтобы уменьшить потери на нагрев при управлении высокими световыми потоками, необходимо повышать коэффициент отражения. В продуктах JVC его удалось повысить на 15–20 %, доведя до 80–85 % в видимом диапазоне спектра.

### Проекционные дисплеи

Обзорный доклад по мировому рынку проекционных дисплеев сделала Консалтинговая компания Stanford Resources Inc. Она представила прогноз динамики производства и продаж различных видов проекционных систем разнообразного применения с 2000 по 2006 гг. По данным компании, мировое потребление подобных устройств всех типов увеличится с 3,3 млн штук в 2000 г. до 7,2 млн штук в 2006 г., а рост продаж изменится за тот же период с 11 до 18 млрд долларов. В 2000 г. потребительский сегмент составил 69 % по количеству изделий и 51% по объему продаж, а сегмент профессиональных проекторов (business application) — соответственно 25 % и 36 %.

Для конференц-залов и обучения в основном используются ЖКД-проекторы, а ЦСП (DLP) проекторы не могут проникнуть на этот сегмент рынка. Предполагается, что в ближайшем будущем проекторы для конференц-залов будут получать файлы с других настольных компьютеров по локальным сетям, что расширит возможности селекторных совещаний. Беспроводные соединения существенно увеличат использование таких проекторов.

Все популярнее становятся сверхпортативные проекторы. Их количество возрастет с 0,8 млн штук в 2000 г. до 2,8 млн штук в 2006 г. В 1999 г. вслед за ЦСП-проекторами весом 2,5 кг появились аналогичные ЖК-проекторы. В 2000 г. были созданы ЦСП-проекторы весом 1,5 кг и световым потоком 1200 ANSI-люменов.

В Национальном биокомпьютерном центре Стэнфордского университета разработан и изготовлен компьютерный стереоскопический проекционный дисплей для планирования хирургических операций. Для концентрации поля зрения экран DiamondScreen имеет как горизонтальные, так и вертикальные линзы, что обеспечивает поле зрения 48° по вертикали и 180° по горизонтали с увеличением +5. Эта работа была поддержана грантом NASA.

Автостереоскопический дисплей, построенный по методу имитации голографических стереограмм немецкими компаниями Eumetsat и DLR, позволяет получать объемные медицинские изображения, создавать мультфильмы и виртуальную реальность, проводить молекулярное моделирование, устраивать видеоконференции, показывать трехмерные видео- и телефильмы.

Microoptical Corporation называет свою разработку «глаз в очках» (Eye-Glass Displays) революционной. Прибор работает по типу невидимого монитора (Invisible Monitor) и представляет собой обычные очки, на которые надет микродисплей с VGA-разрешением (640×480 пикселей). На фоне обычной окружающей среды строится компьютерное изображение, находящееся на расстоянии 45 см перед наблюдателем.

Качество проецируемого изображения в мультимедиа- и overhead-проекторах определяется не только оптическими, но и электронными компонентами. Немецкая компания Liesegang разработала семейство контроллеров LENK для обработки сигналов цифровых проекционных дисплеев. На выходе сигналы для трех основных цветов имеют 24 бита, частота сигналов на пикселе — до 150 МГц. Использование контроллеров позволяет производить коррекцию различных искажений типа «бочка», «трапеция», а главное, вводить в «окно» на мониторе картинку, получаемые с телекамер или из Интернета.

### Сенсорные дисплеи

Обычно сенсорные экраны имеют специально разработанную конструкцию с функциональными слоями для регистрации изменения емкости элемента экрана, к которому поднесен указатель (электрический карандаш или палец). Канадская компания SMART Technologies разработала систему, которая превращает любой плоский дисплей или дисплей с изогнутой поверхностью, или даже спроецированное изображение в интерактивный дисплей. В углах дисплея или экрана устанавливается система из четырех КМОП-телекамер, и программное устройство вычисляет координаты любого пассивного указателя, например пальца, распознает функцию изображения в этом участке экрана и выполняет ее.

### Органические светодиодные панели

Первый образец панели с низкомолекулярными материалами для органических светодиодных дисплеев (OLED) был создан фирмой Eastman Kodak. С тех пор световая эффективность дисплеев OLED увеличилась до 4–20 лм/Вт для разных цветов; для триплетных эмиттеров достигнута стопроцентная внутренняя квантовая эффективность. Первый коммерческий дисплей OLED был выпущен японской компанией Pioneer в 1997 г. Эта разработка используется в сотовых телефонах, выпускаемых фирмой Motorola. Корпорация Universal Displays подготовила пилотную линию для производства гибких (Flexible) дисплеев OLED-FOLED с информационной емкостью 128×64 пикселя (размер пикселя 400×500 мкм) и яркостью 100 кд/м<sup>2</sup> на пленках термостойкого ПЭТ толщиной всего 0,18 мм.

В дисплеях OLED можно получить как очень низкую (1 кд/м<sup>2</sup>), так и очень высокую (100 000 кд/м<sup>2</sup>) яркость светового излучения. При яркости 100 кд/м<sup>2</sup> их ресурс составляет 5–10 тыс. часов. Энергопотребление дисплея OLED с активно матричным управлением доведено до 65 мВт, что наряду с малым размером (2 дюйма) позволяет использовать их в телефонных аппаратах для осуществления новых функций коммуникации при любых внешних условиях.

Компания Kodak известна своими достижениями в области фотографии, однако и в «дисплеестроении» у нее есть свои приоритетные разработки. На выставке во время симпо-

зиума специалисты отделения Display Products фирмы Kodak продемонстрировали три разработки, в которых используются органические излучающие материалы, разработанные в компании и внедренные в изделия других фирм. Это сотовые телефоны Motorola и Sauro с полноцветным экраном для демонстрации видео, многоцветные дисплеи для автомобильного радио и стереомагнитофона, сверхтонкие активно-матричные экраны без подсветки. Следует отметить, что дисплей OLED для телефона сравнился с аналогичным ЖКД, смонтированным в такой же телефон, и выигрыш был явно не в пользу ЖКД.



Гибкость американских компаний в области наукоемкого бизнеса, их способность быстро переключаться на новейшие разработки хорошо иллюстрируется деятельностью американской компании Three-Five Systems Inc. (TFS). Она была основана в 1985 г. для поставки стандартных светодиодных ламп и дисплеев, а затем быстро превратилась в лидирующую (в США) поставщика ЖК-модулей и подсистем. Не прекращая выпускать дисплеи прямого видения, TFS разработала Brilliant-микродисплеи — отражательные модули на основе технологии LCoS, начав с 800 (SVGA-стандарт) столбцов и поставляя сейчас матри-

цы, имеющие 1920 столбцов (WUXGA). Более того, Three-Five Systems Inc. основала с компанией Dupont совместное предприятие Three-D OLED в целях разработки и производства самосветящихся дисплеев для различных портативных устройств.

Одним из лидеров по производству световосвещающих полимеров является английская компания Cambridge Display Technology с отделением в США. Фирмой разработан ряд очень ярких материалов со свечением в разных областях видимого спектра, характеристики которых указаны в таблице.

Таблица

Цвет	Световая эффективность, лм/Вт при 100 кд/м <sup>2</sup>	Рабочее напряжение, В (при 100 кд/м <sup>2</sup> )	Яркость, кд/м <sup>2</sup> (при 5,5 В постоянного напряжения)	Время работы до уровня 50 % от начальной яркости, часов при 100 кд/м <sup>2</sup>	
				80 °С	20 °С
Красный	2.3	2.4	2000	4800	Более 30 000
Зеленый	1.5	2.7	10 000	Более 1000	Более 10 000
Синий	2.5	3.5	1000		Более 2500
Желтый	1.8	2.1	100 000	2600	14 000
Белый	1.5	4.3	400		7000

Владельцев больших светодиодных панелей, используемых для рекламы во всех крупных городах мира, несомненно должна заинтересовать разработка компании Unisplay S.A. Сама панель обычно расположена на улице, а оператор наблюдает за изображением на экране монитора, находясь в помещении. Экран, в отличие от светодиодной панели, выполнен по другой технологии. Определенными преимуществами при таком сочетании обладают дисплеи OLED. Однако у неорганических и органических светодиодных дисплеев имеется рассогласование светового излучения по яркости и цвету как в начале их работы после изготовления, так и по истечении некоторого времени из-за деградации люминофоров. Компания разработала систему автономного согласования яркости и цвета светодиодных экранов, изготовленных по разным технологиям и эксплуатируемых в различных внешних условиях.

AM ЖКД завоевали сейчас огромный рынок экранов для ноутбуков и настольных мониторов компьютеров. Претензии на экспансию на этом рынке заявляются сейчас и создателями дисплеев OLED. Завоевывать рынок они собираются также с помощью активных матриц. Корпорацией Sarnoff был представлен доклад, в котором рассматривались все возможные конструкции TFT для управления яркостью дисплеев OLED: с поликремнием, аморфным кремнием, органическими материалами, кристаллическим кремнием. Каждая технология имеет свою область применения, и в то же время для каждой должны быть решены свои специфические задачи.

Впечатляет разработанный IBM AM OSD VGA-дисплей (OSDD) размером 1,08" на кристаллическом кремнии, который является частью компьютера, встроенного в корпус часов. Этот компьютер имеет такие характеристики, какие имеет не всякое современное настольное устройство — процессор ARM7, 8 Мбайт ДОЗУ памяти, 8 Мбайт flash-памяти. Он работает с операционной системой Linux и имеет сенсорный экран и порты для связи.

В Гонконге группой профессора Х. Квока разработан AM ОСДД на TFT из кристаллизованного поликристаллического кремния. Устройство имеет пиковую яркость до 27 000 кд/м<sup>2</sup> и световую эффективность 10 лм/Вт, рабочую яркость 150 кд/м<sup>2</sup> с однородностью 5 % и рассеянием энергии до 20 мВт.

Компания Sony сообщила о выпуске рекордно большого AM ОСДД с размером 13" для настольных мониторов и телевидения, а компания Matsushita предложила новую конструкцию подложки для ОСДД с тонкой пленкой силикоаэрогеля, приготовленного

методом. Чрезвычайно низкий показатель преломления пленки (1,01–1,10) устраняет волновые эффекты, ухудшающие качество изображения, благодаря чему световую эффективность дисплея OLED можно довести до 40–80 лм/Вт.

### Сегнетоэлектрические ЖКД

Заведующий лабораторией ВМФ США Р. Шашидар сделал доклад об улучшении параметров электроклинического эффекта в смектических AM ЖК, которые имеют в температурном диапазоне вблизи перехода в сегнетоэлектрическую (СЭ) смектическую фазу С очень короткое время переключения (до сотен наносекунд) при полной модуляции оптического сигнала. В лаборатории решили принципиальную проблему — устранили усадку (уменьшение толщины) смектического слоя А при больших углах наклона в режиме электроклинического эффекта, из-за чего в образце возникали дефекты. Кроме того, разработаны оптически прозрачные проводящие полимеры за счет добавок, образующих водородную связь с поверхностью подложки. С их помощью удается сохранить высокое пропускание устройства при низком поверхностном сопротивлении.

В недавно созданной корейско-нидерландской компании LG-Philips, напротив, отказались от СЭЖК-материалов с промежуточной смектической фазой А, наличие которой разрушает монокристаллическую структуру (однородность образца) при переходе из холестерической в смектическую фазу С. Продемонстрированный полноцветный 14-дюймовый XGA-дисплей имеет 64 уровня шкалы серого, максимальное время переключения 1,5 мс и напряжение питания 6,3 В.

Японские компании Idemitsu Kosan и Fuji Xerox сообщили о создании электронной бумаги — гибкого пластикового дисплея с СЭЖК-полимером в качестве среды для записи и хранения информации. Лист размером 192×144 мм с VGA-разрешением, что соответ-

ствует 85 dpi, находится в корпусе толщиной 5 мм и массой 320 г. Скорость записи — 2,5 страницы в секунду; всего на лист можно записать 64 страницы. Жесткость листа — 5 Н в течение 1000 циклов. Он работает в диапазоне температур от –20 до +50 °С. Впечатляет схема процесса изготовления такого устройства, заключающаяся в простом ламинировании нанесенного на полимерную ленту СЭЖК-материала при непрерывной ее протяжке.

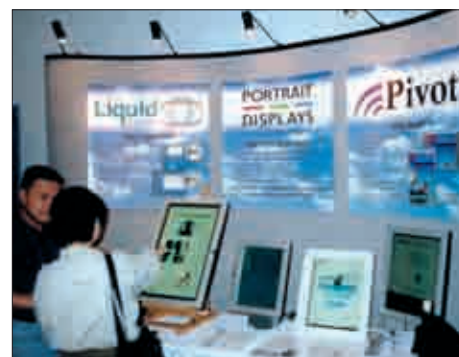
Японская компания NEC впервые продемонстрировала дисплей с последовательным во времени отображением цвета (Field Sequential Color) на основе смектических СЖК с использованием TFT-усилителей.

### Военные дисплеи

Компания Lockheed Martin Aeronautics представила приборную доску самолета-разведчика U-2, переработанную в соответствии с проводимой сейчас программой повышения надежности авионики (Reconnaissance Avionics Maintainability Program, RAMP). Суть программы состоит в замене оборудования с низкой надежностью и устаревшего на новое, более универсальное. В частности, функции информирования пилота и управления полетом, обеспечивавшиеся ранее многочисленными механическими дисплеями и устройствами, сведены в многофункциональных системах отображения информации, которые легко заменяются на приборной доске. Информация хорошо читается при ярком солнечном освещении. Два ЖКД заменили двенадцать прежних дискретных дисплеев. Базовыми являются следующие конструкции:

- многофункциональный дисплей (МФД). Два полноцветных МФД портретного формата размером 6×8 дюймов, предназначенных для отображения всех данных и обеспечения управления всеми системами U-2. На дисплеях представляются одни и те же данные одновременно или в разное время;
- переднее верхнее устройство для управления и отображения (Up Front Control and Display), выполняющее функции наблюдения и управления связью, навигацией и системами опознавания;
- дисплей отображения состояния полета (State Flight Display). Он связан с имеющейся на борту системой приземления.

Следует добавить, что многофункциональные приборы интерфейса «пилот-самолет» можно переставлять для улучшения антропометрических данных приборной доски.



Для авиационных и некоторых других типов дисплеев часто требуется не горизонтальная, а вертикальная вытянутость изображения, так называемый «портретный формат». По существу, изготовление и работа портретных дисплеев является проблемой программного обеспечения замены управляющих строчных сигналов на столбцовые, и наоборот. Такие программы типа «жидкий вид» (Liquid View), когда при повороте дисплея отображаемая картинка как бы переливается из одного положения в другое, разработаны компанией Portrait Displays.

### Автомобильные дисплеи

Корпорация Visteon (США) предложила новую схему управления люминесцентными лампами с холодным катодом для подсветки ЖКД в автомобиле. В климатических условиях северной части США и Аляски время жизни таких ламп составляло около 10 тыс. часов, в то время как на юге страны оно достигало 50 тыс. часов при ручном управлении и 60 тыс. часов при автоматическом. Была решена задача довести количество безотказных включений подсветки при  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до величины, превышающей 3000.

Было также предложено проекционное устройство с ЖКД для отображения через ветровое стекло информации о состоянии узлов автомобиля. Ранее была известна такая система только с вакуумно-люминесцентным дисплеем.

### ЭЛТ

В докладе Даниэля ден Энгельсена (Philips Display Components) проанализированы причины продолжающегося доминирования ЭЛТ на мировом рынке. В 2000 г. суммарный мировой рынок ЭЛТ составил \$24 млрд (около 300 млн штук). Хотя цена трубок в пересчете доллар на кв. см практически не изменилась за прошедшее десятилетие ( $0,1\text{ долл/см}^2$  для телевизионных и  $0,2\text{ долл/см}^2$  для мониторных ЭЛТ), тем не менее она все еще ниже, чем для АМ ЖКД ( $0,4\text{ долл/см}^2$ ). Основные операции при производстве ЭЛТ почти не изменились с 50-х годов, но множество усовершенствований позволили реально снизить цену цветных телевизоров в 2,5 раза (с 1000 до 400 евро), а с учетом инфляции более чем на порядок. В настоящее время в цене ЭЛТ 65 % приходится на материалы и 35 % — на стоимость изготовления. Из материалов самыми дорогими составляющими являются панель (33 %), маска и металлы (24 %), а в стоимости изготовления основная масса расходов приходится на зарплату (53 %). Существенного снижения стоимости ЭЛТ удастся добиться за счет увеличения экономии в масштабе завода — применение линии с большей производительностью, а также большего количества производственных линий, механизация, увеличение выхода за счет чистоты, увеличение скорости работы линий, перемещение производства в страны с низким уровнем заработной платы.

Сейчас выбор остается между тремя основными направлениями:

- 1) однопучковые ЭЛТ с отклонением по горизонтали и вертикали;
- 2) гибридная конструкция со множеством пучков по одной оси и отклонением их по другой;
- 3) матрица без отклонения пучка.

Среди комплектующих ЭЛТ следует отметить пьезопреобразователи напряжения корпорации CTS. Они преобразуют постоянное входное напряжение 3–6 В в переменное 1400–2500 В частотой 65 и 120 кГц для генерации электронных пучков внутри ЭЛТ и управления ими. Эффективность преобразования достигает 85 % при выходной мощности от 2,2 до 7,5 Вт для различных моделей.

### Полевые эмиссионные дисплеи (FED)

Нельзя сказать, что это направление очень перспективно. Необходимость высокого вакуума, увеличения зазора и вслед за ним повышения рабочего напряжения, использование толстых стекол пока не позволяют FED стать полноценным вариантом TFT-дисплея. Тем не менее, компании вложившие средства в эту технологию, особенно Motorola, продолжают совершенствовать конструкции излучателей и способы управления эмиссионным током.

Motorola представила на Симпозиуме два доклада с, казалось бы, противоречащими друг другу выводами. В первом утверждает, что для того, чтобы избежать деградации FED и ускорить их выход на рынок, нужен очень высокий вакуум, не хуже  $10^{-8}$  Торр. В другом, наоборот, приводятся сведения о том, что наличие водорода с давлением  $10^{-4}$  Торр в рабочем объеме FED более чем в четыре раза увеличивает время непрерывной работы — 400 часов без уменьшения тока эмиссии. Поскольку при изготовлении FED нельзя непосредственно включить газообразный водород в стеклянную упаковку, то предложено использовать тонкие пленки гидридов металлов (титана или циркония) на стальном аноде в качестве источника водорода при работе FED.

В докладе, представленном специалистами LG Electronics, в свою очередь, показано, что молибденовые наконечники с алмазоподобными углеродными покрытиями сохраняют высокую стабильность, если покрытие не содержит водорода и наносится послойно. Такие алмазоподобные пленки изготавливаются и исследуются в группе Е. И. Гиваргизова в Институте кристаллографии РАН.

Еще одна разработка из Южной Кореи привлекла внимание рекордной для углеродных нанонаконечников плотностью тока излучения —  $80\text{ мкА/см}^2$  при поле  $1,4\text{ В/мкм}$ , а также тем, что часть работы была выполнена на факультете информационных дисплеев университета Кьонгхи. Это образовательное учреждение не просто выпускает инженеров с абстрактной специальностью «электроника» или «технология», а готовит специалистов конкретно по системам отображения информации.

### Газоразрядные (плазменные) панели

На Симпозиуме не было представлено выдающихся новинок в этом направлении. Основное внимание уделялось усовершенствованию технологии производства ПДП, хотя в некоторых докладах были предложены интересные решения по улучшению технических характеристик панелей. На семинаре, состоявшемся после Симпозиума, блестящий анализ проблем производства дал руководитель группы стратегического планирования LG-Philips Харм Толнер.

Американская компания Plazmasco выпустила свою 60-дюймовую газоразрядную панель. Ранее такие панели были разработаны в южнокорейских корпорациях LG и Samsung.

Несколько новых принципиальных решений было связано с так называемой дельта-расстановкой трех цветов (Delta Arrangement), когда красная и синяя ячейка расположены по соседству, а зеленая расположена над ними так, что ее центр находится на одной линии с границей красной и синей ячеек. В панели Fujitsu, кроме этого, использованы еще дугообразные электроды и меандровое расположение барьеров. При малом размере пиксела получена световая эффективность 3 лм/Вт и яркость  $200\text{ кд/м}^2$ , которую можно довести до  $1180\text{ кд/м}^2$ . Аналогичный способ увеличения световой эффективности и яркости описан и в докладах, представленных представителями Samsung SDI и двух южнокорейских университетов.

В компании LG Electronics добились уменьшения времени адресации строки до 1,1 мкс. Другая южнокорейская компания, Ogiou, в сотрудничестве с университетскими командами разработала новый беструбочный метод сборки TFT-панелей с использованием электростатического связывания стекла к стеклу и органическому клею.

Весьма интересную конструкцию латерального (расположенного в стороне) пиксела представили специалисты из университета Тегерана (Иран). В отличие от обычной TFT-панели с электродами на разных подложках, электроды находятся на одной пластине и разделены изолятором. Для такой конструкции не обязательно использование прозрачных электродов, а процесс формирования цветных ячеек можно произвести даже на гибкой полимерной подложке. Такое расположение электродов напоминает ЖКД с планарной адресацией (IPS, In-Plane-Switching) управляющего напряжения.

### Микроэлектромеханические системы (MEMS)

Изобретение компании Iridigm, появившейся в 1995 г. в Сан-Франциско, можно назвать бионическим. Ученые обратили внимание на переливчатые цвета крыльев бабочек, которые возникают из-за интерференции света на плоских микрополостях, находящихся в крыльях. Так возникла идея iMoD-дисплея (Interferometric Modulator — интерференционный модулятор). Пиксел представляет собой простое

микроэлектромеханическое устройство (MEMS — Micro-ElectroMechanical System), состоящее из двух проводящих пластин: тонкой пленки на стеклянной подложке и подвешенной над ней металлической мембраны. Элемент iMoD имеет только два стабильных состояния. В отсутствие напряжения пластины разделены, и свет отражается от тонкой пленки на стеклянной подложке. Если же приложено небольшое напряжение, пластины притягиваются за счет электростатического взаимодействия и свет поглощается. Цвет возникает из-за интерференции в выключенном элементе, поэтому наибольший зазор имеют красные подпиксели, а наименьший — синие. Элемент iMoD бистабилен, так как для удержания подвижной мембраны требуется затратить меньше энергии, чем для ее перемещения. Поэтому, будучи по своей сути пассивным дисплеем, iMoD имеет электрофизические характеристики активной матрицы.

Использование природных переливающихся (IRIdescent) цветов создает новый подход (paraDIGM) для создания информационных дисплеев, что и отразилось в названии компании — Iridigm. Новые дисплеи должны иметь меньшую толщину и стоимость из-за отсутствия цветных фильтров, активно-матричных элементов (TFT), поляризаторов, необходимости обработки подложек для однородного ЖК-слоя. Их энергопотребление примерно в 1,5 раза меньше, чем у отражательных ЖКД на основе супертвист-эффекта, в 6–7 раз меньше, чем у отражательных АМ ЖКД и на порядок лучше, чем у дисплеев OLED. Поэтому они могут найти широкое применение подобно изобретенным ранее ЦСП (DLP).

Почти такое же название IMODS предложено для разработанной в компании Microsoft Research панели из микроэлектромеханических затворов, которые закрывают или открывают отверстия, проделанные в панели для световых пучков. Сами пучки коллимируются двумя микролинзовыми панелями, установленными перед панелью с затворами и после нее.

### Стандарты

Всего три года назад, в 1998 г., в Милпитасе, соседнем с Сан-Хосе городке, была создана Ассоциация стандартов видеоэлектроники (Video Electronics Standards Association, VESA). Итогом ее, пока еще кратковременной, работы стала признанная специалистами разработка 23 стандартов плоскочелюстных дисплеев, измерения их характеристик, управляющих сигналов, интерфейсов, систем жизнеобеспечения, а также выработка основных направлений стандартов для микродисплеев.

В последнее время на рынке полупроводниковой продукции наметился спад производства. Однако эта тенденция не коснулась производства ЖК-дисплеев. Спрос на них постоянно растет, цены снижаются, и одновременно с этим возрастает число приложений, которые требуют компактных устройств высококачественного отображения графической информации. Объемы и темпы работ по совершенствованию существующих и разработке новых технологий производства дисплеев показывают, что это один из наиболее перспективных секторов электроники. ■