

ДИСПЛЕИ С НАНОРАЗМЕРНЫМИ СТРУКТУРАМИ НАЧАЛО ПОЛОЖЕНО

В последние годы все активнее развиваются нанотехнологии, под которыми необходимо понимать любые технологии, позволяющие получать наноразмерные материалы и структуры (порошки, нити, пленки, молекулярные сборки). Одно из продвинутых и перспективных направлений применения наноструктур – средства отображения информации. Сейчас развиваются два варианта таких устройств – дисплеи на основе структур с автоэлектронной эмиссией и на основе органико-полупроводниковых материалов. Оба варианта выполняются с помощью тонкопленочной технологии. Размеры их хотя бы по одной координате составляют от единиц до десятков нанометров. Каковы же успехи исследователей, в том числе и отечественных, в области создания устройств отображения информации на базе наноструктур?

КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ДИСПЛЕИ С АВТОЭЛЕКТРОННЫМИ ЭМИТТЕРАМИ

Автоэлектронная эмиссия (иначе – полевая эмиссия электронов, Field Emission) возникает на границе проводящего материала (катода), например металла и вакуума при большой разности потенциалов между катодом и вытягивающим электродом (gate – затвором). Открытие и исследования автоэлектронной эмиссии привели к созданию нескольких вариантов дисплеев.

Дисплеи на основе автоэлектронной эмиссии ("холодных" катодов) разрабатываются уже почти 20 лет. К середине 90-х годов прошлого столетия были созданы и изучены два основных варианта холодных катодов [1]:

- острый (катоды Спиндта), представляющий собой сформированную на проводящей подложке систему, состоящую из тонкого острия (кремниевого или молибденового) диаметром менее 1 мкм и вытягивающего электро-

Н.Абаньшин,
Н.Жуков, к.ф.-м.н.
А.Кузнецихин

да, расположенного на расстоянии нескольких десятых долей микрометра от острия;

- лезвийный – пленочный электрод, с обеих сторон которого сформированы вытягивающие электроды. Электроны испускает край пленки, подобный лезвию бритвы.

Первый дисплей, способный воспроизводить ТВ-изображение, был разработан в начале 1990-х годов в лаборатории LETI при комиссии по атомной энергии Франции (CEA). Он был выполнен на основе катодов Спиндта. Развитие эта технология получила в работах компаний PixTech (Тайвань), Futaba Corporation of America, Samsung, НИИ "Волга". Итог этих работ – цветные дисплеи с диагональю до 15 см, размером пиксела до 0,3 мм и яркостью до нескольких сотен кандел на квадратный метр.

В 2004 году на конференции Общества информационных дисплеев (SID) компания Futaba сообщила о создании опытного образца полноцветного VGA-дисплея с острыми катодами, среднее значение яркости которого составляло 350 кд/м², а долговечность – 6 тыс. ч [2]. В структуре дисплея использовался большой зазор между катодом и затвором и оригинальные спейсеры диаметром 50 мкм и длиной 0,6 мм. Дисплей работал при большом анодном напряжении.

В России разработка автокатодов на кремниевых остриях проводилась в НИИ физпроблем [3].

Основная задача при создании автокатодов на остриях – снижение чрезвычайно высокой стоимости технологии формирования острий субмикронных размеров. Это стимулировало изучение других структур, пригодных для получения автоэмиссии, в том числе пленочных углеродных структур, структур на основе углеродных нанотрубок (Carbon Nanotubes, CNT), формируемых либо методом химического осаждения из паровой фазы (CVD), либо осаждаемых катафорезом из суспензии, либо наносимых традиционной накаткой CNT-пасты. В НИИ "Волга" была создана оригинальная структура катода с автоэмиссией с торцов тонкой (20–30 нм) пленки алмазоподобного углерода, так называемый планарно-торцевой тонкопленочный катод. Пленка наносилась традиционным методом осаждения на заготовленную структуру, созданную на

стеклянной подложке (рис.1) [4]. Электроны эмитирует тонкая пленка углерода под действием поля вытягивающего электрода, расположенного под углеродной пленкой. Часть электронов отражается к анодному электроду, на который нанесен люминофор. К достоинствам таких катодов можно отнести следующее:

- изготовление с помощью планарной технологии, подобной технологии интегральных микросхем;
- отсутствие операции фотолитографии, требующей применения дорогостоящего оборудования с чрезвычайно высоким разрешением;
- возможность использования в качестве подложки любого подходящего материала;
- низковольтное управление;
- минимальное разрушение катода под воздействием ионной бомбардировки положительными ионами в вакуумной камере благодаря низкому напряжению вытягивающего электрода (10 В, что ниже потенциала ионизации остаточных газов) и структуре катода, позволяющей минимизировать бомбардировку ионами края катода;
- высокая стабильность работы благодаря чрезвычайно малому расстоянию между эмиттером и вытягивающим электродом.

На основе этой структуры эмиттера изготовлены демонстрировавшиеся на выставках цветные дисплеи с разрешением $64(\text{RGB}) \times 64$, яркостью 300 кд/м^2 и высокой степенью равномерности свечения.

К концу 1990-х годов стало ясно, что, несмотря на большой оптимизм и усилия исследователей, промышленное воплощение вариантов Спиндта и лезвийного катода не удастся осуществить. Кроме финансовых и технических трудностей главной проблемой являлась малая долговечность дисплеев. Ни одной фирме не удалось довести работы до создания коммерческих образцов с заданными параметрами.

Возможно, некоторой помехой для достижения этих целей стало появление в 1990-х годах новых материалов на основе модификаций углерода. Из этих материалов наиболее

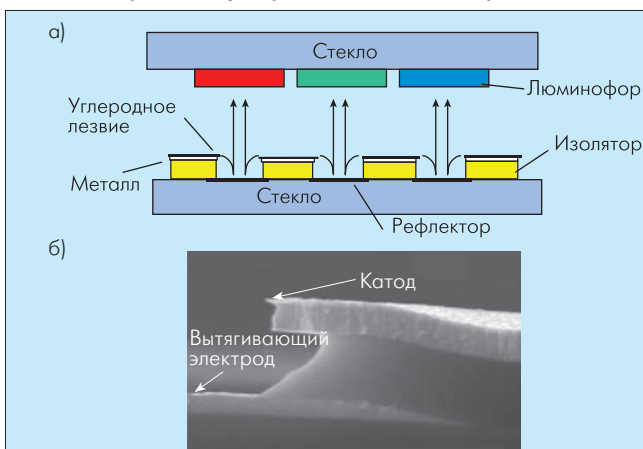


Рис. 1. Структура (а) и фотография (б) дисплея с планарно-торцевым катодом. Толщина катода-лезвия ~10 нм

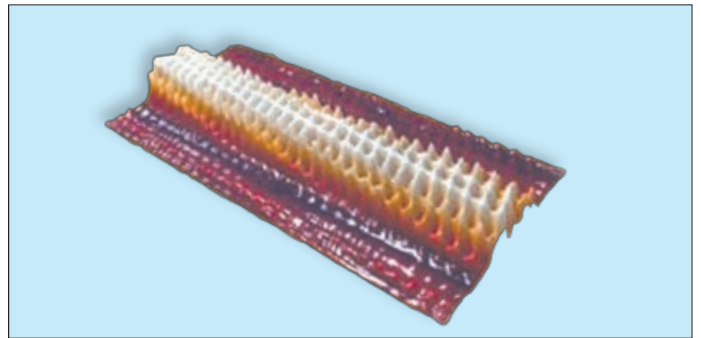


Рис.2. Вид углеродной нанотрубки

изучены и пригодны для создания дисплеев углеродные нанотрубки (Carbon NanoTubes, CNT). Они представляют собой протяженные цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких нанометров и состоят из одного или нескольких свернутых в трубку гексагональных графитовых слоев (рис.2). Исследования углеродных нанотрубок выявили их весьма многообещающие механические и электрические характеристики*. Согласно теоретическим расчетам, основные достоинства CNT – малые энергозатраты, высокое качество изображения и низкая стоимость.

Однако создание электронных приборов на основе CNT, особенно дисплеев и активных компонентов, задача далеко не простая. Традиционный метод выращивания нанотрубок химическим осаждением из паровой фазы (CVD) при температуре $800\text{--}1200^\circ\text{C}$ не позволяет использовать в качестве подложки стеклянные платы. Поэтому необходимы низкотемпературные методы получения углеродных нанотрубок с тем, чтобы их можно было наносить на стеклянную подложку. Кроме того, при изготовлении дисплея углеродные нанотрубки должны располагаться по подложке равномерно, иначе глаз может уловить разницу в яркости свечения соседних элементов. Работы по созданию приборов на основе CNT ведут многие компании и университеты США, Японии, России, Кореи, Франции, Тайваня, Китая.

Больших успехов в решении проблем формирования дисплеев на углеродных нанотрубках достигли специалисты Motorola Labs – научно-исследовательского отделения

*Юдинцев В. МЭМС-датчики. Нанотехнологии наступают.– ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2006, №8, с.26–30.



Рис.3. Опытный образец 5-дюймовой панели NED

компании Motorola [5]. Ими разработана низкотемпературная технология изготовления наноизлучающих дисплеев (Nano Emissive Display, NED) путем непосредственного выращивания CNT-структур с использованием материала, способного к самоформированию на стеклянной подложке частиц чрезвычайно малых размеров (диаметром 3 нм). В атмосфере углерода, например метана, частицы при температуре 500°C проявляют себя как катализаторы, способствуя росту CNT диаметром 3 нм. Этот метод позволяет получать CNT высокой степени ориентации без проведения операций очистки и активации. Возможность непосредственного размещения на стеклянной подложке CNT с заданными размерами и зазорами позволит создавать плоскпанельные дисплеи с высоким качеством воспроизведения изображения, оптимизированной яркостью, чистотой цвета и разрешением. По оценкам консультативной компании DisplaySearch, устройства типа NED позволят практически в два раза снизить стоимость дисплеев, выпускаемых разработчиками комплексной аппаратуры (до 400 долл. за дисплей с экраном 40", или 100 см). К достоинствам таких дисплеев относятся достаточно малое энергопотребление и срок службы до 30 тыс. ч против 2 тыс. ч для плоскпанельных газоразрядных устройств.

Совместными усилиями специалистов LETI и Motorola Labs создан опытный образец CNT-дисплея, удовлетворяющего требованиям, предъявляемым к большим дешевым ТВ-экранам. Начальная яркость дисплея с разрешением 32x96 элементов, превышающая 3000 кд/м², после 7,5 тыс. ч работы снижается до 40 кд/м². А в начале 2005 года Motorola Labs объявила о создании полноцветной 5" (12,5 см) NED-секции с разрешением 1280x720 элементов изображения (рис.3). Толщина панели, в которой используются люминофоры стандартных ЭЛТ, составляет всего 3,3 мм. По своим характеристикам (время срабатывания, угол обзора, диапазон рабочих температур) NED сопоставим или превосходит ЭЛТ.

Для обеспечения высокой однородности эмиссии и снижения управляющего напряжения японские ученые Университета г. Мий, Национального института промышленности, науки и технологии (AIST) Японии и компании Noritake предложили использовать на границе между элементами изобра-

жения CNT-дисплея керамические стенки, разделяющие пиксели друг от друга и, тем самым, предотвращающие смешение цветов.

Интерес представляет CNT-панель с диагональю 40" (100 см), разработанная компанией Ise Electronics (подразделение фирмы Noritake, Япония) [6]. Нанотрубки наносили на катодную пластину методом печати. При наличии вытягивающего электрода однородность люминесценции увеличивалась. Размер элемента изображения 2,54x7,62 мм, или 3(RGB)x2,54 мм, разрешение – 342x204 пикселей. Яркость зеленого излучения при напряжении анода 5 кВ составляла 10⁵ кд/м². При уменьшении толщины пластины с вытягивающим электродом до 20 мкм появлялась возможность снизить управляющее напряжение до 100 В.

Диодные и триодные дисплеи на основе CNT разрабатывают и ряд институтов и университетов Южной Кореи [7]. Специалистами Университета Kyung Hee и Исследовательского института электроники и средств связи Кореи разработан активно-матричный дисплей (AMFED) на основе CNT и тонкопленочных полевых транзисторах (ТПТ) на аморфном кремнии (a-Si TFT) с диагональю 5" (12,5 см) [8]. Элементы изображения формируют высоковольтный a-Si TFT и нанесенные методом печати CNT эмиттеры. Разрешение панели – 132x160 пикселей (QQVGA). Благодаря применению управляющих тонкопленочных транзисторов улучшена однородность тока эмиссии. Хорошие характеристики панели были получены при значениях напряжения возбуждения менее 15 В. Снижение энергопотребления – еще одно достоинство AMFED.

В России исследования и разработку приборов на основе CNT ведут НИИ "Волга" (Саратов) и Московский государственный университет. Материалы для получения углеродных нанотрубок разрабатывают в ИОФАН (Москва), МГУ, ИРЭ РАН. С 1993 года в ИРЭ изучаются эмиссионные свойства пленок различных аллотропных фаз углерода [9, 10]. Учеными саратовского отделения ИРЭ РАН впервые в 1993 году была экспериментально получена автоэлектронная эмиссия структур на основе углеродных нанотрубок, сформированных магнетронно-плазменным распылением графита. Процесс проводился на уникальных установках плазмо-химического и пиролитического катализа углеродных нанотрубок. В саратовском отделении ИРЭ разработана и технология получения нанокластерных углеродных пленок в газоразрядной плазме и неоднородных магнитных полях. На сегодняшний день плотность эмиссионного тока таких пленок достигает 2 А/см² при напряженности электрического поля 5–30 В/мкм. Исследования полевых и термоэмиссионных свойств таких пленок показали способность их работы в условиях пониженного вакуума. Разработана технология легирования углеродных нанокластерных пленок в процессе их роста. Найдены легирующие материалы, например Sn, введение которых в структу-

ру нанокластеров обеспечивает значительное увеличение рабочего тока и срока службы углеродных пленок. Следует отметить, что существенный автоэмиссионный ток таких пленок появляется при напряженностях электрического поля менее 1 В/мкм.

Дисплеи на основе углеродных нанотрубок, полученных рассмотренными выше методами, разрабатываются в НИИ "Волга". Созданы конструкции и предложены технологии изготовления следующих трех вариантов дисплеев:

- планарных, в которых CNT и люминофор наносятся на электроды, сформированные в одной плоскости пластины;
- с навесными катодами из W-образной проволоки диаметром 17 мкм, на которую методом катафореза наносились CNT. Такие панели изготавливались на базе серийно выпускаемых вакуумных люминесцентных индикаторов, в которых оксидные катоды заменялись углеродными нанотрубками;
- матричных экранов диодного типа – вакуумно-люминесцентных приборов, на анодные (с люминофором) и катодные (с CNT) платы которых нанесены электроды (In_2O_3 или Al). При этом ориентация электродов анодной и катодной плат взаимно перпендикулярна.

Цифровые дисплеи и матричные экраны изготавливаются по планарной технологии, включающей процессы напыления проводящих и диэлектрических слоев на стеклянные подложки и формирование рисунка методом фотолитографии. Дисплеи с навесными катодами изготавливались путем вакуумного напыления пленок, печати проводящих и диэлектрических слоев и монтажа навесных элементов. Осаждение CNT на катоды проводилось методом электрофореза из специально приготовленной суспензии. Люминофор на анодные электроды наносился методами катафореза и фотопечати. Процессы герметизации и откачки приборов использовались те же, что и в серийной технологии изготовления дисплеев.

Следует отметить, что излучение CNT имеет факельный характер. Равномерность свечения достигается за счет подачи напряжения на дополнительный In_2O_3 электрод, нанесенный на крышку дисплея. Управляющее поле составляет 1,5–2,0 В/мкм. Яркость индикаторов достигает нескольких тысяч кандел на квадратный метр. Основная проблема – обеспечение равномерного зазора между катодом и вытягивающей сеткой. Это связано с тем, что монтаж навесных элементов с высокой точностью зазора затруднителен, и вследствие этого возможна неравномерность свечения по площади индикатора.

Испытания разработанных приборов на длительную (до 3600 ч) наработку показали, что характер изменения тока всех приборов аналогичен. Наиболее резкое падение тока наблюдается за первые 10 ч испытаний, после чего ток монотонно снижается. Это может быть связано со значительным окислением материала электродов в процессе осаждения CNT, а также, возможно, с недостаточно высоким содержи-

ем эмитирующих углеродных нанотрубок в суспензии. В связи с этим необходима эффективная чистка порошка CNT.

Основные проблемы создания коммерческих образцов – получение равномерного свечения пикселей, а также минимизация процессов деградации автоэмиссионных катодов в процессе эксплуатации.

Автоэмиссионные дисплеи по своим физическим и техническим свойствам, возможностям и областям применения – самые интересные типы устройств отображения информации. Их разработкой занимаются десятки фирм, вкладывая большие средства. Однако серьезные коммерческие результаты пока не достигнуты. В этой связи интересно сообщение о совместном коммерческом проекте фирм Canon и Toshiba, направленном на создание дисплеев с поверхностной эмиссией электронов (Surface-conduction Electron-emitter Display, SED) [11].

Впервые эффект поверхностной эмиссии электронов был обнаружен в 1963 году учеными института физики АН УССР. Эффект заключается в том, что при прохождении электрического тока через тонкие металлические структуры толщиной несколько десятков ангстрем (для золота 4–8 нм) возникает эмиссионный ток, обусловленный тем, что часть электронов, переносящих заряд между металлическими островками в пленке, имеет нормальную к поверхности пленки компоненту

скорости. При напылении окиси бария на тонкий слой золота проводимость слоя и ток эмиссии возрастают.

Исследования показали, что эмиссия диспергированных золотых пленок, активированных ВаО, начинается при средней напряженности электрического поля $4 \cdot 10^3 - 4 \cdot 10^4$ В/см. Ток эмиссии при напряженности $1,2 \cdot 10^4$ В/см составляет $0,35 - 0,4$ А/см². Структура (размеры островков и зазора между ними) оказывает влияние на эмиссионные параметры системы. Так, для эмитирующей 8-мкм области оптимальные размеры островков и промежутков между ними равны ~10 нм.

SED характеризуются высокой яркостью изображения и малой потребляемой мощностью (меньшей в три раза, чем у плазменных дисплеев и в два раза, чем у кинескопов). Эти миниатюрные дисплеи (толщина экрана – несколько сантиметров) обеспечивают высокое быстродействие, хороший контраст и высокий уровень градации тонов.

Представленные компаниями Toshiba и Canon на международной выставке бытовой электроники CES 2005 года SED были весьма впечатляющими. По яркости и цветопередаче SED и плазменные дисплеи близки, по уровню черного – SED, по видимому превзойдут большинство плазменных дисплеев. Яркость ЖК-дисплеев, возможно, несколько больше, однако быстродействие SED значительно выше. У плазменных и ЖК-дисплеев детальность воспроизведения движущегося изображения значительно уступает воспроизведению статичной картинке. На SED все движущееся изображение остается четким и ясным. Ожидается, что по долговечности SED будут сопоставимы с ЭЛТ – снижение яркости на 50% за ~30 тыс. ч. Компания Toshiba планирует начать массовое производство первой модели (по-видимому, дорогостоящей) SED-панели с диагональю 50" (125 см) и разрешением 1920×1080 пикселей в 2007 году. В результате SED станут сопоставимы по цене с плазменными и ЖК-дисплеями.

Таблица. Достигнутые и ожидаемые в ближайшие годы при освоении массового производства параметры [13]

Параметр	2005 год	2007 год	2010 год
КПД, %	1	2,5	5
Эффективность, л/Вт	4	10	20
Время жизни при яркости 300 кд/м ² , ч	10 000	20 000	40 000
Максимальная плотность, пикселей на дюйм	100	200	300
Контрастность при 500 люкс в соответствии со стандартом VESA 2.0	50	100	200
Число точек в устройстве, макс., 10 ⁶	1	5	10
Размер экрана по диагонали, макс., дюйм (см)	20 (50)	40 (100)	60 (150)
Толщина панели, мм	2,0	1,0	0,5
Рабочее напряжение, макс., В	8	5	3
Удельный вес панели, г/см ²	0,5	0,25	0,1
Стоимость производства, долл./дюйм ²	5,00	1,00	0,50

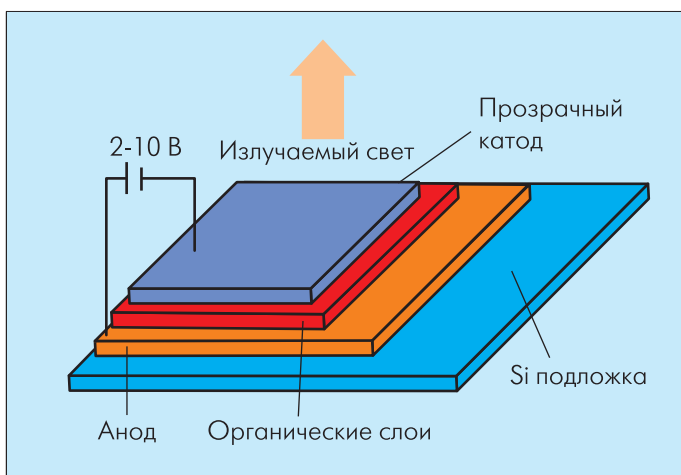


Рис.4. Типичная структура OLED

ДИСПЛЕИ НА ОРГАНИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДИОДАХ (OLED)

Дисплеи на OLED – полноцветные устройства, отличающиеся высокой яркостью, малой потребляемой мощностью, широким углом обзора, хорошей контрастностью изображения. Кроме того, они компактны, легки, выдерживают значительные механические нагрузки, работают в широком диапазоне температур и имеют достаточно большой срок службы. Область применения OLED довольно широкая – от портативных устройств до наשלемых индикаторов, дисплеев на лобовом стекле транспортных средств и осветительных приборов. Благодаря высокому уровню и стабильности цветопередачи мониторы на базе OLED составят серьезную конкуренцию ЖКД с ТПТ. По оценкам консультативной компании DisplaySearch, в первом квартале 2007 года было продано 19 млн. OLED-дисплеев на сумму 120 млн. долл., что в 1,5 раза больше аналогичного периода 2006 года [12].

OLED существенно превосходят ЖК-дисплеи по таким параметрам, как дешевизна исходных материалов и технологий. Но им предстоит еще пройти определенный путь освоения массового производства. Для достижения требуемых параметров (см. таблицу) необходим большой объем научно-исследовательских работы как в области получения исходных материалов, так и по созданию конструкций и технологий OLED.

OLED состоит из тонких органических пленок, заключенных между двумя тонкопленочными проводниками (рис.4). Рабочее напряжение OLED равно всего 2–10 В. Цвет, эффективность и интенсивность излучения зависят от используемых органических материалов. Основное внимание разработчиков OLED направлено на создание материалов для полноцветных приборов. Существует две технологии формирования OLED – на основе полимеров с большим размером молекул и более распространенная – на основе низкомолекулярного материала. Отличаются они методом нанесения на подложку органических светоизлучающих слоев. Полимеры наносятся на подложку в жидком виде, низкомолекулярный

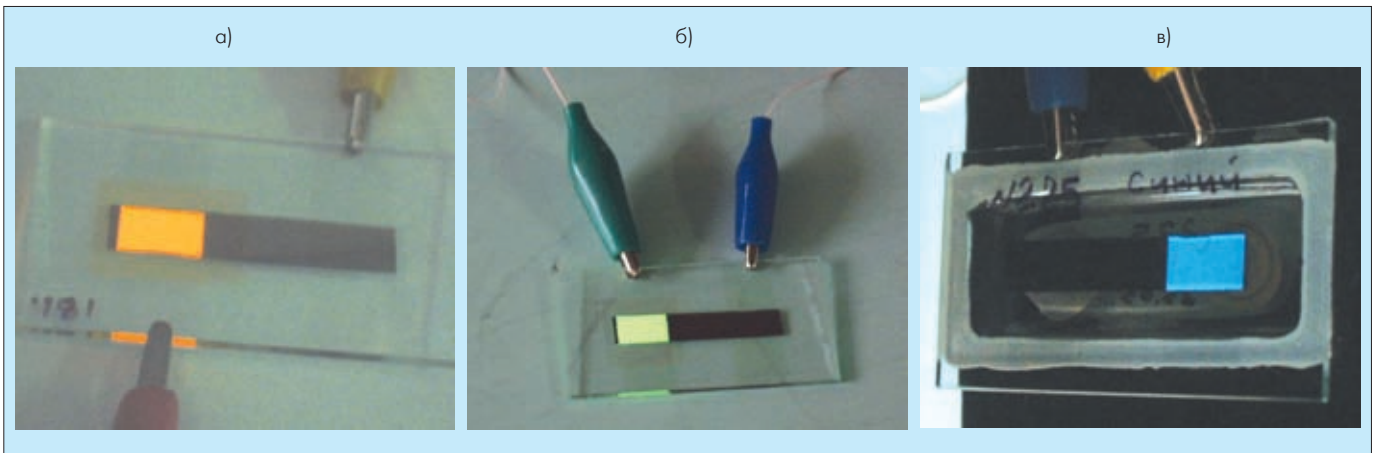


Рис.5. Работающие тестовые OLED со структурой ITO/NPD/Perylene/Al:Ca/Al (а); ITO/NPD/Alq3/Al:Ca/Al (б) и ITO/NPD/Da-BuTAZ/Al:Ca/Al (в)

материал конденсируется на ней из пара. При этом оборудование для полимерной OLED-технологии менее дорогое.

Пионером в разработке приборов на базе органических светодиодов можно считать компанию Eastman Kodak, опубликовавшую в 1987 году статью о свойствах органических светоизлучающих материалов. Первым коммерческим изделием, оснащенным монохромным светоизлучающим полимерным (LEP) дисплеем, стала электробритва Sensotec, выпущенная фирмой Philips-Norelco в июле 2002 года. А начало 2003 года ознаменовалось появлением первых коммерческих изделий с полноцветными OLED-дисплеями. В декабре 2003 года дисплейный OLED-модуль AM550L компании Kodak был удостоен золотой награды SID в номинации "Дисплей года". Эффективный размер экрана дисплея совместной разработки компаний Kodak и Sanyo составлял 2,2" (5,5 см), разрешение – 521×218 пикселей, энергопотребление – 450 мВт, масса – всего 8 г. По замыслу разработчиков область применения AM550L чрезвычайно широка – от портативных электронных устройств (таких как мобильные телефоны, цифровые фотокамеры и т.п.) и бортовых компьютеров для автомобилей до разнообразного промышленного оборудования.

Модель мобильного телефона, оснащенного двумя цифровыми камерами и полноцветным OLED-дисплеем с диагональю 2" (5 см) выпустила компания Sanyo Electric. Первые месяцы интенсивной эксплуатации телефона не выявили каких-либо проблем, связанных с OLED. Полноцветный OLED-дисплей с размером по диагонали 2,2" (5,5 см) и эффективным углом обзора 165° установлен в серийной модели камеры типа EasyShare LS633 компании Kodak с разрешением 3 Мпикселей.

На выставках 2002 года ряд производителей представили опытные образцы полноформатных компьютерных OLED-мониторов. Так, на проходившей в Японии выставке CEATEC JAPAN 2002 компании Sanyo Electric и Eastman Kodak продемонстрировали широкоформатный (16:9) цветной OLED-дисплей с размером экрана 326,4×183,6 мм и разрешением 1280×720 пикселей. Число воспроизводимых цветов было

равно 262144. Яркость дисплея составляла 300 кд/м², максимальный угол обзора – 165°. Монохромный (желто-зеленый) пассивно-матричный дисплей с разрешением 128×64 пикселей и размером экрана по диагонали 2,1" (5,3 см) под торговой маркой Olight (O от OLED + light) выпустила компания DuPont. Модуль предназначен для бытовых, медицинских и промышленных электронных устройств.

Усилия разработчиков направлены и на разработку больших OLED-экранов. Специалистам тайваньской компании Chi Mei удалось создать опытный образец широкоэкранный дисплея с диагональю 20" (50 см). Разрешение экрана – 1280×768 пикселей, максимальная яркость – 500 кд/м². Дисплей выполнен на базе активно-матричного OLED с управляющими ТПТ из аморфного кремния. Основное достоинство дисплея – чрезвычайно низкое для устройства таких размеров энергопотребление – не более 25 Вт. Но рекорд в области OLED-панелей больших размеров установила компания Samsung, которая создала ТВ-экран с размером по диагонали 40" (100 см). Разрешение его 1280×800 пикселей, максимальная яркость – 600 кд/м², контрастность – 5000:1 [14].

Интерес представляют уникальные OLED-дисплеи с прозрачным катодом, получившие название TOLED (Transparent OLED) компании Universal Display Corp. (UDC). Разработанная компанией технология позволяет создавать двусторонние прозрачные дисплеи, изображение которых можно видеть как с верхней или нижней поверхности, так и с обеих сторон экрана. При этом TOLED-дисплеи можно изготавливать на разнообразных подложках – стеклянных, пластиковых, кремниевых, металлических. А поскольку TOLED на 70% прозрачны в отключенном состоянии, их можно монтировать на ветровых стеклах автомобилей, окнах и очках. На основе TOLED в компании UDC разработаны многослойные, или стекированные OLED (Stacked OLED, SOLED). В отличие от обычных полноцветных устройств, изображение которых формируется RGB-пикселями, находящимися в одной плоскости, в SOLED-дисплеях пиксел состоит из трех расположенных друг за другом субпикселей первичных цветов, на каждый из которых

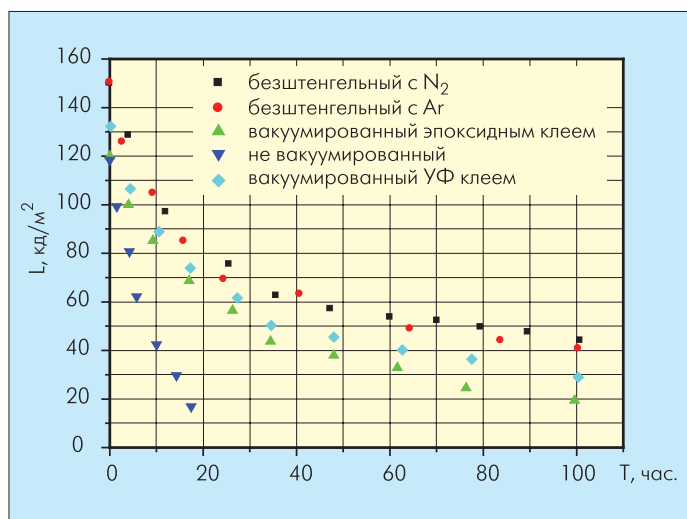


Рис. 6. Время наработки приборов с различной герметизацией

индивидуально подается сигнал управления. Благодаря этому обеспечивается (по крайней мере, теоретически) очень точная настройка цветопередачи. Такая конструкция позволяет в три раза сократить число пикселей экрана без ухудшения его разрешающей способности. SOLED-дисплей обеспечивает практически 100%-ное использование площади экрана независимо от воспроизводимого цветового оттенка (при воспроизведении красного, синего или зеленого цвета обычным экраном свет излучает лишь 1/3 его поверхности).

В России исследования органических светодиодов ведутся рядом научно-исследовательских институтов. Так, в НИИФП им. Ф.В.Лукина (Зеленоград) разработаны органические светодиоды, излучающие во всем диапазоне видимого спектра. Изготовлены светодиоды белого свечения. Яркость светодиодов в зависимости от длины волны излучения составляет от 100 до 400 кд/м². Для продления срока жизни светодиодов в НИИФП разрабатываются разнообразные методы глубокой очистки исходных материалов и герметизации приборов. В планах разработчиков – формирование органических светодиодов на полимерной пленке (лавсане) Объединение технологии подложек на аморфном кремнии или поликремнии с технологией OLED позволит в будущем изготавливать надежные, быстродействующие, полноцветные активно-матричные дисплеи [15].

В ОАО "НИИМЭ и з-д "Микрон" (Зеленоград) разработаны и внедрены в производство полимерные светодиодные панели с размером рабочего поля до 100x100 мм, разрешением до 388x268 пикселей, яркостью 1900 кд/м² при напряжении 5 В, токе 2,6 мА и рассеиваемой мощностью 0,22 Вт/см² [16].

Специалистами НИИ "Волга" совместно с ОАО "Ангстрем" и НП "Поли-Эл" (Зеленоград) ведется НИОКР по созданию видеомодулей специального назначения на основе органических полупроводниковых материалов. Основное внимание уделено маломолекулярным материалам – алюминию-трис(8-гидрооксихинолине), или Alq₃ (для диодов зеленого свечения), производной 1,2,4-триазола, или Da-BuTAZ (для

диодов синего свечения), Perylene (для диодов красного свечения) (рис.5). Эти материалы наносятся на подложку методом вакуумного испарения. Выбор их обусловлен тем, что при попытке создания двухслойных OLED-структур на основе полимерных материалов, наносимых методом центрифугирования, возникла проблема взаимного растворения осаждаемых полимерных пленок и в результате – их смешивание. В ходе работ установлено, что электрооптические характеристики OLED напрямую зависят от толщины органических дырочного и электронного транспортных слоев.

В результате исследования различных способов герметизации приборов была использована бесштенгельная конструкция корпуса с наполнением инертным газом, позволяющая уменьшить массогабариты видеомодуля и свести к минимуму образование дефектов в органической структуре, так как сборка и герметизация проводятся в инертной среде. Тем самым повышается надежность видеомодуля (рис.6).

Рынок ждет появления прорывной технологии, которая позволит создать значительно более дешевые, чем современные плазменные панели и ЖКД, средства отображения информации, сопоставимые по своим характеристикам со "старой, доброй" ЭЛТ. И, по-видимому, решить эту задачу удастся в первую очередь с помощью углеродных нанотрубок и органических светодиодов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gray H.F. Inform. Display, 1993, №3, p.9.
2. Leberman D. Inform. Display, 2004, №11, p.48.
3. Дюжев Н.А., Тишин Ю.И., Фидирко В.А. – Электронная промышленность, 2004, №3, с.55–58.
4. Пат. 2152662 РФ. Катодолюминесцентный экран и способ его изготовления/Горфинкель Б.И., Абаньшин Н.П. Приоритет 23.02.1999.
5. Leberman D. — Inform. Display, 2003, №11, p.44, .
6. Uemure S. et al. — J. of the SID, 2002, p.372.
7. J. of the SID, 2002.
8. Yoon-Ho et al. — J. of the SID, March, 2005.
9. Гуляев Ю.В. и др., Радиотехника и электроника, 48, 11.
10. Сеницын Н.И. и др. — Известия ВУЗов, 2000, т.8, №1, с.52–61.
11. Canon, Toshiba Bring SED Panels to Reality. – Display Devices Fall, 2004, p.35.
12. <http://www.itc.ua>.
13. Касаткин С.А. Органические светоизлучающие устройства, Ростов-на-Дону, 2003.
14. www.digitalhomemag.com/news/default.asp?pagetypeid=2&articleid=35968&subsectionid=1308
15. Журавлева Л. Органические дисплеи набирают критическую массу. — ПерсТ, 2003, т.10, вып.7, с.6.
16. Беляев В.В. Современные электронные дисплеи. — Электронные компоненты, 2002, №1.