

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА ОТОБРАЖЕНИЯ ОТ НАНОМАТЕРИАЛОВ К НАНОТЕХНОЛОГИИ



Н.Жуков, к.ф.-м.н.

Электронные средства отображения информации (ЭСОИ), выполняющие функции преобразования, хранения и воспроизведения данных, — важнейшие и основные средства непосредственной передачи информации человеку. Свойства ЭСОИ определяют характеристики информационных систем, в которых они находят самое широкое применение. Для увеличения объема и улучшения качества информации, воспроизводимой этими средствами, необходимо создавать новые более совершенные устройства и их электронные комплектующие компоненты. Вот почему ЭСОИ образуют наиболее динамично развивающийся рынок электронных систем. За последние 20 лет доля информационных устройств, представленных на общем мировом товарном рынке, возросла с 11 до 35%, тогда как доля бывших лидеров — продукции легкой и пищевой отраслей промышленности — уменьшилась с 40 до 13% [1]. Объем продаж электронных дисплеев в 2007 году составил 104 млрд. долл., что больше уровня предыдущего года на 8% в стоимостном выражении и на 12% в натуральном [2]. В 2007 году на этом рынке по-прежнему лидировали жидкокристаллически дисплеи с активной матричной адресацией на основе тонкопленочных полевых транзисторов (TFT LCD) — сложные по свойствам и технологии, хотя и самые отработанные в производстве электронные устройства. Показательно при этом, что вторым лидером по динамике роста на рынке были ЭСОИ, выполненные на базе новейшей технологии органо-полупроводниковых материалов с наноразмерными структурами (OLED).

Начиная с 1970-х годов развитие ЭСОИ шло по пути увеличения, информационной емкости, разрешения и диагонали экрана (телевизионного ряда 25, 37, 40, 47,

51, 61, 67 см, компьютерного ряда — 10, 12, 14, 15, 17, 19 21 "). С середины 1990-х годов ЖК-экраны начинают вытеснять ЭЛТ. Появляются плазменные экраны с диагональю более 1 м, проекционные с диагональю более 2 м, видео-стены — более 3 м и всепогодные большие экраны с диагональю 10 м. Развитие отечественного рынка и производства ЭСОИ до 1990 года практически шло "в ногу" с мировым рынком и производством. Отечественная инновационная система иногда давала рекордные результаты. Так, трудом инженеров Москвы, Саратова, Витебска возводились не имевшие аналогов видеосистемы — экран на Новом Арбате в 1982 году, прямоэфирный телевизионный экран-лаборатория площадью 48 м² на площади Маяковского в 1994 году. Оба гигантских видеоустройства были выполнены на базе оригинальных катодолюминесцентных светоизлучателей, созданных в НИИ "Волга". Однако отечественную промышленность ЭСОИ постигла та же участь, что и все другие отрасли промышленности страны. Главной причиной неудач в освоении промышленного производства отечественных ЭСОИ стало то, что в свое время была упущена основная тенденция развития ЭСОИ — постоянное снижение цен для сохранения своего положения на рынке. Это достигалось в первую очередь с помощью технологий групповых заготовок и сборки. Мировое производство ЭСОИ шаг за шагом наращивало новые поколения сложных технологий — от технологии использования групповой стеклозаготовки размером 0,3×0,3 м в 1990 году до технологии восьмого поколения в 2006-м с размером стеклозаготовки 2,2×1,8 м [1].

С середины 1990-х основное требование информационной технологии — массовость применения — сформировало современную тенденцию развития ЭСОИ — персонализированность средств отображения. Колоссальные темпы развития мобильных систем связи, тенденции к формированию мобильной видеосвязи и сотового телевидения привели к тому, что ЭСОИ на новом витке развития "скачком" вернулись к малым габаритам. Сегодня базовыми устройствами информационных систем стали мини-



Рис.1. Применение наноматериалов в ЭСОИ

дисплеи для телефонов и карманных компьютеров. В 2007 году было произведено и продано более 1 млрд. мобильных телефонов. Этот процесс вместе с постоянным ростом функциональных возможностей и качества мобильных систем привел к необходимости создания новых структур, состоящих из активной подложки и совмещенных с ней блоков управления, выполненных на базе наноразмерных элементов. Наноматериалы и наноструктуры стали применяться в ЭСОИ раньше, чем начался "нанотехнологический бум". Общий ход развития наноиндустрии безусловно будет способствовать ее применению при изготовлении ЭСОИ (рис.1). Правда, состояние современной наноиндустрии сводится лишь к появлению разнообразных наноматериалов и большого числа пока мало востребованных предложений по их применению.

Значительный опыт в области применения наноматериалов и наноструктур в дисплейной технологии достигнут в НИИ "Волга", где проводятся работы по основным классам современных ЭСОИ: на жидкокристаллических материалах, с катодолюминесценцией и полевой эмиссией, на органоуполупроводниковых структурах, электрохромных материалах.

При изготовлении ЖК-дисплеев создание контролируемой наноразмерной морфологии ориентирующего слоя и добавка в жидкокристаллический материал наночастиц углеродных модификаций позволяют улучшить оптический отклик до 25 раз, почти на 40% снизить пороговое напряжение, расширить рабочий диапазон температур изделий. В результате проведенных в НИИ "Волга" исследований созданы быстродействующие оптические затворы и стереочки (рис.2) с высокими параметрами. Очки были использованы в системах стереовидения кинотеатров Москвы и других городов России. Они могут приме-

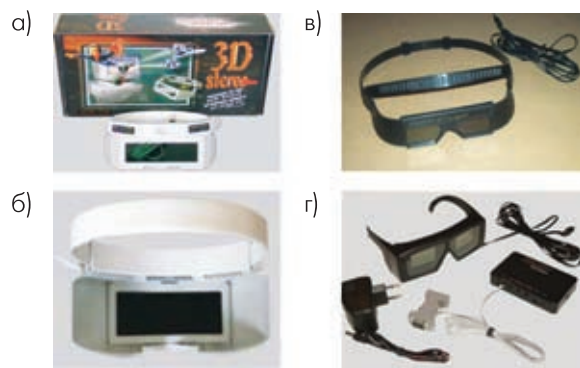


Рис.2. Отечественные модели стереочков, выпускаемых серийно компаниями ОАО "Русский Шит" (а); СТЭЛ (б); ООО "Объемное видео" (в); ООО "Инжиниринг Сервис" (г). Во всех моделях использованы одиночные ячейки, разработанные ФГУП НИИ "Волга"

няться и в тренажерах для подготовки военных летчиков, в медицине, в устройствах получения виртуального объемного изображения.

В НИИ "Волга" изучены и опробованы три варианта устройств отображения с катодолюминесценцией и полевой эмиссией – спиндтовской (острый), лезвийный (плечный) и углеродно-нанотрубный [3]. С 2007 года ведется разработка оптимального варианта полноцветного дисплея, изготавливаемого с помощью оригинальной технологии осаждения углеродных нанотрубок на TFT-подложку, специально созданную для катодолюминесцентного варианта. Исследованы нанотрубки более 10 отечественных и зарубежных фирм.

Параллельно с этой работой совместно с ИПЭ РАН, МГУ, МГТУ изучается и разрабатывается высокоэкономичный и экологически безопасный вариант катодолюминесцентного источника белого света. Достоинство этого варианта – сравнительная дешевизна световых ламп в пересчете на единицу излучаемой мощности. Ожидают своего решения задачи исследования и получения наноразмерных люминофоров для всех разрабатываемых вариантов дисплеев с автоэмиссионной катодолюминесценцией [4].

Дисплеи на OLED – полноцветные устройства, отличающиеся высокой яркостью, малой потребляемой мощностью, широким углом обзора, хорошей контрастностью изображения. Они компактны, легки, выдерживают значительные механические нагрузки, работают в широком диапазоне температур и имеют достаточно большой срок службы. Область применения OLED довольно широка – мобильные телефоны, портативные устройства для нагрудных индикаторов, дисплеи на лобовом стекле транспортных средств, осветительные приборы. Благодаря высоким характеристикам и стабильности цветопередачи мониторы на базе OLED составят серьезную конкуренцию TFT LCD устройствам. По оценкам ряда зарубежных фирм,

в 2007 году было продано около 100 млн. OLED-дисплеев на сумму 500 млн. долл., что в полтора раза больше, чем в предыдущем году. В НИИ "Волга" совместно с НП "Поли-Эл" созданы образцы отдельных OLED-излучателей и дисплейных матриц [3].

В ЭСОИ используются различные порошковые материалы: люминофоры, эмиттеры, герметики, газопоглотители, проводящие и изолирующие материалы. Применение нанопорошков позволяет получать новые свойства ЭСОИ, совершенствовать их параметры, габариты, условия эксплуатации, снижать себестоимость. Поскольку для СОИ требуются специальные нанопорошки с большим набором свойств, необходима отдельная базовая технология их изготовления. Как показал анализ, наиболее приемлемый вариант такой технологии – высокотемпературная переконденсация в плазме инертного газа. В 2007 году в рамках Саратовской региональной программы наноиндустрии специалистами НИИ "Волга" и ООО "Нанотех" была разработана и запущена в строй линия получения по этой технологии нанопорошков разнообразных металлов, полупроводников, оксидов, бинарных соединений достаточной степени чистоты, однородности с воспроизводимостью размеров зерен от 10 до 100 нм.

Из всех изделий электроники у ЭСОИ самый широкий диапазон характеристик. Принцип работы различных типов ЭСОИ основан на более десяти физических явлениях и эффектах, каждый из которых зависит от технологии изготовления, используемых конструкционных и технологических материалов, специальных управляющих схем и элементной базы, предназначенных для преобразования информации и формирования изображения. Многие типы ЭСОИ находят широкий спрос на рынке, другие пока лишь исследуются и разрабатываются. Благодаря разнообразию ЭСОИ существуют хорошие перспективы использо-

вания новейших достижений науки и техники с целью информационной глобализации жизни общества за счет существенного снижения стоимости, расширения выполняемых функций и ослабления воздействия устройств отображения информации на пользователя. Эта главная идея развития ЭСОИ, пожалуй, окончательно сформировалась после появления микродисплея (МД).

Первые в мире микродисплеи были изготовлены в 1997 году независимо друг от друга фирмами IBM и DisplaySearch по так называемой ЖК-технологии на кремниевой подложке (Liquid Crystal on Silicon, LCOS). Следует отметить, что впервые LCOS-технология была предложена отечественными учеными еще в 1990 году [5]. Сейчас более 30 фирм занимаются разработками микродисплеев. Разрешение современных МД достигает 2048×2048 пикселей (элементов изображения), динамический контраст – 500:1, время отклика – 4 мс, диагональ – 0,7". Конструкция МД включает в себя элемент отображения, схему электронного управления, оптическую часть. Масса микродисплея обычно равна 10–20 г, а все устройство отображения весит не более 100 г для очков и 1000 г для шлемов.

Сегодня микродисплеи используются как в проекционных системах (рир-проекторных телевизорах и проекторах), так и наголовных устройствах (шлемах и очках) (рис.3). Среди проекционных устройств можно выделить телевизоры с диагональю экрана 56, 61 и 70" и разрешением 1920×1080 цветных триад фирмы JVC. Толщина их составляет не более 20% от размера диагонали. Следует отметить проектор этой фирмы, позволяющий отображать изображение на экране диагональю до 5 м.

Важный параметр устройства отображения – его толщина – непосредственно зависит от оптических свойств, которые тем лучше, чем меньше размер микродисплея. Лучшие микродисплеи наголовных устройств при массе 17 г и объеме 26 см³ позволяют отображать изображение размером 800×600 точек. Яркость полноцветного изображения достигает 680 кд/м², монохромного – 3400 кд/м². Размер мнимого изображения по диагонали – 42". На базе таких микродисплеев выпускаются наголовные шлемы массой 700 г и бинокли массой 100 г [6]. Применение микродисплеев как элементов очков определит развитие средств трехмерного видения и новые возможности персональных устройств отображения. Таким образом, одно из важнейших свойств микродисплеев – их универсальность, т.е. возможность создания видеоприборов с широким диапазоном свойств.

Основная задача, которую следует решить в ходе развития МД, – формирование всех необходимых электронных устройств (схем преобразования, управления, формирования изображения) на одном кристалле. Это обеспечивает чрезвычайно низкую материалоемкость устройства,

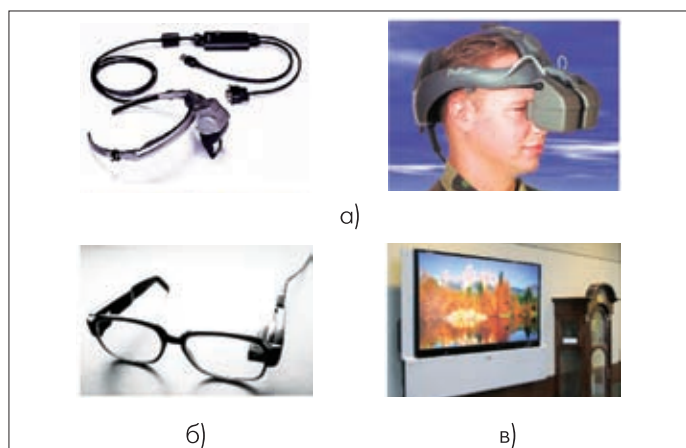


Рис.3. Видеоустройства на основе микродисплеев с диагональю экрана 0,7–1,0": а) наголовное устройство; б) очки; в) проекционный телевизор компании JVC с диагональю экрана 70" (розничная цена телевизора равна 90 тыс. руб., что в два-пять раз меньше стоимости аналогичных по размеру ТПТ ЖК и плазменных телевизоров)

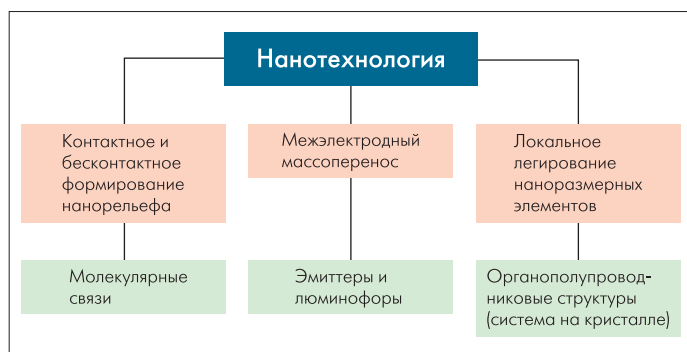


Рис.4. Методы нанотехнологии, используемые для изготовления микродисплеев

его компактность и простоту. При этом важнейший параметр МД – стоимость – зависит от используемой стандартной микроэлектронной технологии. В принципе по стоимости МД может быть сопоставим со СБИС и многократно превосходить по дешевизне современные видеоприборы. Понятно, что если СБИС – потенциальный объект микроэлектроники с нанометровыми топологическими нормами, то и микродисплеи по своим размерам должны стоять в том же ряду. Это означает, что достигнутые результаты по созданию микросхем с наноразмерными элементами будут использованы и при изготовлении микродисплеев. Отображающая часть МД может быть сформирована стандартными методами, описанными выше, с применением наноразмерных структур. На следующем этапе могут быть применены методы нанотехнологии. Важным при этом является большой выбор материалов и физических явлений, позволяющих в принципе создать оптимальный тип МД.

Корневые процессы нанотехнологии – помоллекулярное формирование и самоорганизация нанообъектов – в определенной мере проработаны теоретически и вплотную приближаются к практическому осуществлению. Наиболее приемлемыми на сегодняшний день, по-видимому, являются методы зондовой нанотехнологии [7]. Физические принципы и процессы этих методов понятны, обоснованы и легко могут быть подобраны для выполнения конкретного варианта микродисплея (рис.4). Так, для изготовления ЖК МД пригодны процессы контактного и бесконтактного формирования нанорельефа ориентирующего слоя. МД с катодолюминесценцией и полевой эмиссией могут быть созданы с помощью межэлектродного массопереноса наноразмерных углеродных и люминофорных материалов.

Интересные и перспективные возможности открываются при использовании органических материалов, которые меняют свои электрические и оптические свойства в зависимости от легирующей примеси – своего рода химического наноробота. В конечном итоге возможно создание всей структуры микродисплея (экрана и управляющего электронного блока) на основе одного органического по-

лупроводника, в котором наноразмерные элементы сформированы локальным легированием. Возможно, что именно органика, сочетающая физические, химические и биологические свойства в одном конкретном веществе, станет базовым материалом нанoeлектроники и ее составной части – микродисплея.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sherwood J. LCD will dominate display by 2011.– Reg Hardware, Aug.16, 2007.
2. www. Eetimes.com, 10.08.2007
3. Абаньшин Н., Жуков Н., Кузнечихин А. Дисплеи с наноразмерными структурами. Начало положено. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2007, №5, с.32–38.
4. Олейников В.А., Суханова А.В., Набиев И.Р. Флуоресцентные полупроводниковые кристаллы в биологии и медицине. – Российские нанотехнологии, т.2, 2007, №1–2, www.nanorfu.ru.
5. Смирнов А.Г., Беляев С.В. Электрически управляемые ЖК ПВМС с активной адресацией. – Оптико-механическая промышленность, 1990, №5, с.38–41.
6. Schuck M., *Miniature Displays*. – Laser Focus World, May, 2006.
7. Цука А.А. Нанoeлектроника. – Москва, Физмат, 2007, с.178–194.