

ДИСПЛЕИ ДЛЯ ВОЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ: СПЕЦИФИКА ОТРАСЛИ, СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЕКТОР РАЗВИТИЯ

В.Беляев¹, Д.Суарес²

УДК 621.397
ВАК 05.27.00

Дисплеи для военных применений – это оборудование повышенной прочности и надежности для использования в сложных условиях эксплуатации, например, на наземных подвижных платформах, на борту морских и воздушных судов, на подводных лодках. Высокое качество исполнения, надежность и стабильность работы в жестких условиях (при запыленности, высокой влажности воздуха, вибрации, резких перепадах температур, солевом тумане и т.д.) – основные принципы производства мониторов для специального применения. Мировыми компаниями накоплен богатый опыт конструирования и производства качественных и надежных дисплеев на основе новейших технологий и с учетом специфических отраслевых требований. Это продемонстрировала выставка в рамках "Недели дисплеев – 2017" в Лос-Анджелесе, которая состоялась в мае текущего года (Display Week, Symposium of the Society for Information Display, Los Angeles, USA, 20–26 May 2017). Описанию экспонатов этой выставки посвящена значительная часть статьи.

Дисплеями называются устройства человеко-машинного интерфейса (Human-Machine Interface, HMI), с помощью которых оператор получает информацию и на ее основе принимает решения. Они могут быть стационарными, переносными и мобильными. Стационарные устройства и системы, устанавливаемые на всевозможных пунктах управления (командных, в штабах и т.п.), предназначены для коллективного, группового или индивидуального пользования. Такими устройствами оснащаются приборные панели различных боевых средств – танков, автомобилей, самолетов, кораблей, подводных лодок и т.п. Переносные приборы,

которые используют командиры или солдаты при решении оперативных задач или в условиях боя, могут быть частью амуниции военнослужащего (например, нашиваемые устройства) или другого снаряжения.

Наиболее распространенная разновидность дисплеев военного применения – так называемые "упрочненные" (rugged) панели. Иногда употребляется русскоязычный вариант термина – "раггедизированные". Кроме надежной работы при воздействии механических ударов и вибрации, эти дисплеи обладают особой устойчивостью при различных условиях окружающей среды (имеются в виду не только температура, влажность, но и пыль, песок, плесень, соленая вода и туман и т.д.).

Как и для дисплеев гражданского применения, основными технологиями для современных военных дисплеев стали жидкокристаллические (ЖК). Применяются также электролюминесцентные и катодолуминесцентные технологии. В последнее время все чаще речь заходит об

¹ Главный научный сотрудник, Московский государственный областной университет и профессор, Российский университет дружбы народов.

² Аспирант, Российский университет дружбы народов.

использовании для военных применений устройств на основе органических светодиодов (OLED) благодаря их хорошим эргономическим характеристикам, продолжительному жизненному циклу и высокой надежности.

ОСОБЕННОСТИ ДИСПЛЕЕВ ВОЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Прочный корпус

Для повышения механической прочности дисплей помещают в металлический корпус, способный выдерживать удары до 75–100 г ($g = 9,8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ – ускорение свободного падения) и вибрацию в диапазоне нескольких десятков г [1]. Фронтальная часть дисплея защищена особо прочной стеклянной пластиной толщиной не менее 1 см, сохраняющей высокую прозрачность. Дисплеи изготавливаются с учетом жестких требований к шуму, удару, вибрации, электромагнитной совместимости и другим особым условиям применения (влажность, давление, погружение на глубину и т.д.) (рис.1). Корпус дисплея с электрическими разъемами вставляется в приборную доску самолета, танка, корабля или другого военного средства. Такая конструкция обеспечивает возможность легкой замены устройства в случае необходимости.

Материал корпуса – чаще всего легкий алюминиевый сплав. Для защиты от царапин и коррозии на корпус наносят своеобразную "кожу": анодируют или покрывают специальным порошком. Металлический корпус также защищает электронный дисплей от попыток несанкционированного вмешательства (electro-magnetic interference).

Стандарты и спецификации

Помимо механической прочности, устройства должны отвечать многим другим требованиям в зависимости от вариантов применения. Так, дисплеи для самолетов и вертолетов должны работать на разных высотах при изменяющемся атмосферном давлении, а в морских условиях устройства требуют защиты от конденсации воды, соляного спрея. В США такие жесткие условия применения оговариваются в спецификациях стандарта DO160. Дисплеи для наземного применения должны соответствовать стандарту IP67 (включая погружение в воду на глубину до 1 м).

Особые требования к жидкокристаллическим дисплеям (ЖКД) предъявляются в случае использования при низких температурах. Стандарт MIL-STD предусматривает возможность эксплуатации при -40°C . При такой температуре ЖК обычно замерзает целиком или отверждается одна из компонент ЖК-композиции. Поэтому при включении прибора он может выйти из строя, что потребует замены устройства или прохождения дополнительного испытания. Обычно проблема



Рис.1. Внешний вид ЖК-дисплея, соответствующего военным стандартам, в частности, всепогодным условиям и яркому солнечному освещению

решается путем подогрева панели, что, однако, может замедлить выход панели в рабочий режим.

Считываемость информации с дисплея

Основной функцией любого дисплея, в первую очередь предназначенного для военного оборудования, является **считываемость информации с экрана**. Это означает необходимость подавления любого света, который отражается от экрана и накладывается на изображение, показываемое оператору. Для повышения считываемости информации разработано множество методов подавления нежелательных световых эффектов от различных функциональных стеклянных и пластиковых слоев ЖКД. Наиболее трудные условия эксплуатации возникают при восходе или заходе солнца, когда солнечный луч отражается прямо в глаза оператора, или при освещенности кабины ярким днем, когда все предметы, включая приборную панель, бликуют прямо в глаза. Техническими требованиями к дисплеям часто предусмотрено условие считываемости при большой освещенности фона (например, 75 000 люкс). Антибликовые покрытия, разрабатываемые для ЖКД, помогают не всегда. Иногда они частично рассеивают свет. Часто свет проходит сквозь такое покрытие и отражается от внутренних слоев панели, что может исказить восприятие изображения. Поэтому важная задача при изготовлении современных дисплеев, которые содержат от трех-четырех до семи-восьми стеклянных и пластиковых слоев, – избежать появления воздушных промежутков между слоями при сборке дисплея.

Серийно производимые дисплеи с высокой считываемостью информации при солнечном освещении



Рис.2. Дисплеи с высокой считываемостью изображения при солнечном освещении

были представлены на выставке в рамках "Недели дисплеев – 2017" (рис.2) [2].

Некоторые современные технологии создания дисплеев с улучшенной считываемостью при солнечном освещении

Хорошим решением является технология сборки упрочненного дисплея, предложенная американской компанией Curtiss-Wright (рис.3) [3]. Оптический контакт между каждой парой слоев уменьшает изменение показателей преломления при переходе луча из одного слоя в другой. Переотраженные лучи не проходят наружу, если используются круговые поляризаторы, поскольку у светового пучка, отраженного от одного из внутренних слоев, фаза изменяется так, что при отражении он

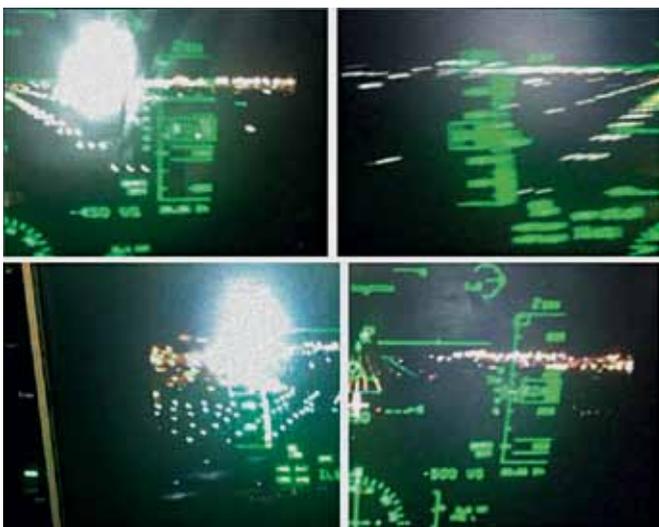


Рис.3. Сенсорный дисплей Curtiss-Wright AVDU5500 (21,5 дюйма (55 см) по диагонали) для авиационных применений, отвечающий требованиям спецификаций по уровню защиты от воды, по температурному диапазону, считываемости и бликам [3]

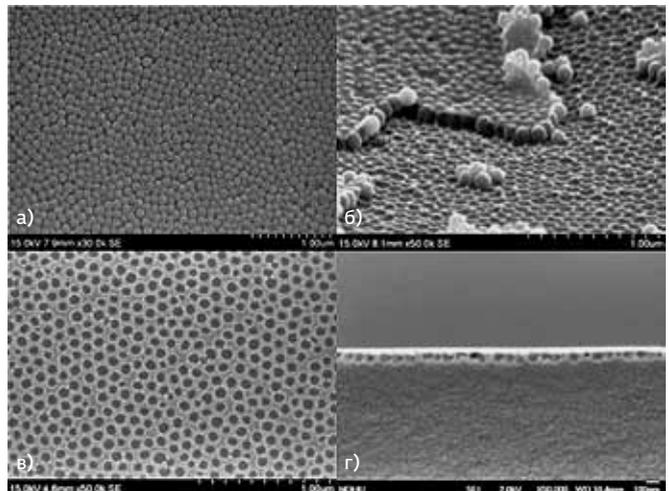


Рис.4. Бионическая разработка: а – монослой наночастиц SiO_2 на шаблоне; б – впечатанная наноструктура на целлюлозной подложке перед окунанием и высокочастотной ультразвуковой обработкой; вид готовой наноструктуры "глаз мотылька" на подложке; в – вид сверху, г – вид сбоку

становится циркулярно поляризованным, но с направлением вращения поляризации, обратным поляризации входного поляризатора [3].

Для хорошего считывания информации с дисплея при ярком солнечном освещении команда из представителей университета Центральной Флориды (США) и двух тайваньских университетов разработала противоотражающее покрытие с коэффициентом отражения 0,23% (одно из самых низких значений) для всего видимого спектра и менее 0,1% при длине волны более 550 нм [4]. Это бионическая разработка – покрытие имеет структуру глаза мотылька (рис.4). Покрытие имеет высокое пропускание (более 95%), малую мутность или haze (менее 1%), оно твердое и при этом хорошо держится в гибких устройствах или дисплеях с кривой поверхностью. Пленка имеет свойство самоочищения.

Интенсивность изображения

Равномерность интенсивности достигается при использовании гетерофазных композитных материалов и устройств на их основе. Модель оптических свойств таких систем и, в частности, микролинз была представлена на "Неделе дисплеев" в 2016-м и 2017-м годах [5, 6].

В американской компании Ampire вместо технологии оптического контакта (optical bonding) предложили **новую технологию нанооптического ламинирования**. Функция подавления бликов осталась той же, но появилась возможность несложного ремонта после окончания срока службы прибора. Активная матрица размером 10,1 дюйма (26 см) с разрешением 1920×1200 пикселей имеет яркость



Рис.5. Линейка упрочненных приборов Ampire с технологией нанооптического ламинирования, заменяющей технологию оптического контакта

1000 кд·м⁻², что позволяет четко видеть картинку даже при ярком солнечном освещении (рис.5).

Малая американская компания из штата Северная Каролина Lincoln Technology Solutions представила в инновационной зоне выставки "Недели дисплеев" компактное по размеру (6,5×4,5 дюйма) устройство полного разрешения высокой четкости (1920×1080 пикселей) с самой большой на сегодняшний день яркостью – 7000 кд·м⁻². На фото хорошо видно, как картинка с этого дисплея превосходит по качеству картинку с устройства, в десять раз менее яркого (рис.6).

При работе с антибликовыми покрытиями может возникать еще одно неприятное для оператора

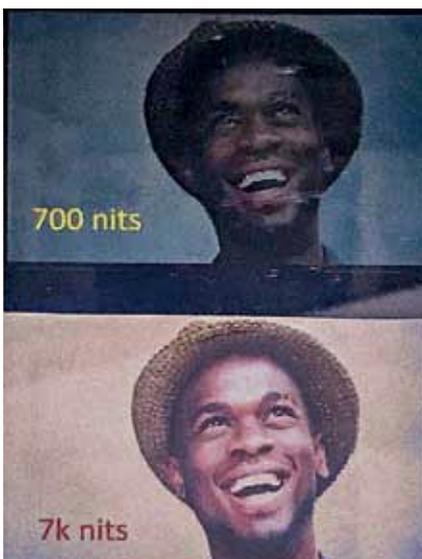


Рис.6. Продукция компании Lincoln Technology Solutions: преимущество по яркости

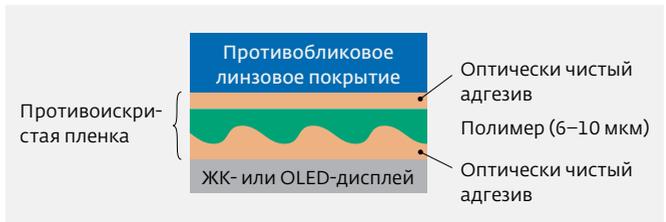


Рис.7. Структура противоискристой пленки

явление – "искры" на поверхности дисплея – зернистые, сцинтиллирующие точки, которые появляются из-за хаотического преломления света на границах пикселей. Американские компании 3M и Visteon разработали **уникальный противоискристый (AS) оптически чистый адгезив (OCA)**. Дифракционная решетка в его пленке находится между панелью и противобликовым линзовым покрытием (рис.7). Пленка преобразует свет от каждого субпикселя в девять точек с равной интенсивностью [7].

В конце раздела об упрочненных дисплеях приведем таблицу международных стандартов для промышленных и rugged-дисплеев. По этим стандартам изготовлены показанные на выставке в рамках "Недели дисплеев – 2017" изделия японской компании KOE, входящей в группу JDI (Japan Display Inc.). Подробно об устройстве упрочненных дисплеев, условиях их работы, процедурах и результатах испытаний можно прочитать в отчете американского агентства оборонных исследований DARPA [8].

СТАЦИОНАРНЫЕ ДИСПЛЕИ ДЛЯ ПУНКТОВ УПРАВЛЕНИЯ

Для отображения информации на командных пунктах с анализом множества задач, поступающих из разных источников, предназначен производительный многозадачный монитор с разрешением 10K×4K, отношением сторон 21:9 и частотой смены кадров 100 Гц (рис.8). Изогнутый экран обеспечивает высокое качество



Рис.8. Фронтальный и боковой вид многозадачного монитора для пункта управления

Международные стандарты для промышленных и rugged-дисплеев

Вид испытания	Условия			
	промышленный стандарт		rugged +	
Рабочий температурный диапазон	-20-70 °С		-40-85 °С	
Температурный диапазон хранения	-30-80 °С	240 ч по каждому условию испытания	-40-90 °С	500 ч по каждому условию испытания
Рабочий тепловой цикл*	-20-70 °С 3 ч - 1 ч - 3 ч		-35-85 °С 3 ч - 1 ч - 3 ч	
Тепловой удар** (неэксплуатационный режим)	-35-85 °С 0,5 ч - 0,5 ч		-40-90 °С 0,5 ч - 0,5 ч	
Горячая температура и влажность (рабочий режим)	40 °С, 85% RH; без конденсации		60 °С, 90% RH; без конденсации	
Вибрация (неэксплуатационный режим)	20-50 Гц; 2g/XYZ 1 ч по каждому направлению		10-200 Гц; 5g/XYZ 1 ч по каждому направлению	
Механический удар (неэксплуатационный режим)	10 мс / 50g; ±X, ±Y, ±Z; один раз по каждому направлению		10 мс / 80g; ±X, ±Y, ±Z; один раз по каждому направлению	
ЕСО высоковольтный разряд (рабочий режим)	Воздушный разряд для стекла: ±8 кВ; контактный разряд для металлической рамки: ±8 кВ		Воздушный разряд для стекла: ±12 кВ; контактный разряд для металлической рамки: ±15 кВ	

* В течение 1 ч устройство находится при -20 °С, за 1 ч разогревается до 70 °С, потом выдерживается 3 ч при 70 °С и т.д.

** В течение 0,5 ч устройство находится при -35 °С, быстро перемещается в камеру с 85 °С, потом выдерживается 0,5 ч при 85 °С и т.д.



изображения многим пользователям, сидящим в разных местах пункта управления.

Во время совещания либо постановки задачи солдатам или офицерам часто нужно оперативно записать или показать информацию без использования обычного компьютера с клавиатурой. В компании Kent Displays (США) разработали технологию Voogie Board – демонстрационных планшетов и досок, на которых можно записать долго сохраняющееся изображение и перевести его в цифровую форму. Одна из новейших разработок – самая большая доска (размер по диагонали 65 дюймов или 164 см), гибкая, легко устанавливаемая в любой обстановке, с четким контрастом и высокой яркостью записанного изображения (рис.9) [9].

В современных условиях дисплеи должны быть легкими и переносимыми, управляться без использования клавиатуры. Примером такого устройства является 6,5-дюймовый (17 см) сенсорный ЖК-монитор AS065XHH компании AbraxSys [10]. Для работы при ярком

Рис.9. Гибкая большая доска eWriter (электронная запись)

солнечном цвете используется трансфлективная технология. Слово "трансфлективный" образовано от слов transmission ("пропускание") и reflection ("отражение"). В зависимости от условий внешней освещенности прибор используется в излучательном режиме (темнота, низкая освещенность) либо в отражательном (высокая освещенность). В дисплее есть ЖК- и OLED-части, которые включаются в зависимости от режима. Прибор рассчитан на работу в широком диапазоне температур: от -35 до 50 °С.

OLED-ДИСПЛЕИ

Выше уже говорилось о доминировании жидкокристаллических технологий на рынке гражданских и военных дисплеев. Недавно считалось, что для устройств на основе органических светодиодов (OLED) характерны малый ресурс и высокая стоимость изготовления, что делало их применение проблематичным не только для военных, но и гражданских задач. Однако благодаря использованию многих инновационных технологий разработчики OLED-приборов нацелились занять большую долю рынка для специальных применений. В 2017 году на "Неделе дисплеев", включающей не только выставку, но и симпозиум, был представлен сгибаемый (foldable) активно матричный дисплей с органическими светодиодами (AMOLED), для которого характерны повышенная надежность и невысокая стоимость изготовления. **Новая технология торцевой герметизации** значительно уменьшает газопроницаемость и обеспечивает прохождение испытаний на надежность, включая хранение при повышенной температуре и влажности (85 °С и 85% RH) в течение 240 ч и многократное сгибание (сто тысяч раз) при радиусе кривизны 3 мм и размере устройства 18 дюймов (46 см) по диагонали [11]. Специальная механическая развязка отдельных элементов значительно снижает напряжение в них во время механических воздействий (сгибания, разгибания).

Одним из мировых лидеров этого технологического процесса стала китайская компания BOE, которая предложила дорожную карту разработки и производства гибких OLED: 2016 год – фиксированная кривизна, 2017-й – изгибаемый (bendable) дисплей, 2018-й – складываемый пополам (foldable), 2019-й – полностью гибкий дисплей, в том числе скручиваемый в трубку. Компания последовательно выполняет дорожную карту. На выставке в рамках "Недели дисплеев – 2017" в Лос-Анджелесе были продемонстрированы образцы OLED, которые подвергались деформации на глазах у посетителей (рис.10).

Сгибаемый дисплей для планшетов с сенсорным управлением имел разрешение 2048×1536 пикселей, контраст более $70\,000:1$, его можно сгибать не менее $100\,000$ раз без потери качества изображения (см. рис.10). Сгибаемый AMOLED имеет выдающиеся характеристики



Рис.10.
Сгибаемый
AM OLED

по пространственному разрешению и контрасту. Разрешение составляет 2560×1440 пикселей на размере по диагонали 5,5 дюйма (14 см), что означает плотность пикселей 538 на дюйм или 21 на один миллиметр. Контраст превышает $100\,000:1$. Панель очень тонкая – всего 0,5 мм. Для гибкой конструкции разработана технология нанесения низкотемпературного поликристаллического кремния.

В разработке, выполненной технологическим центром материалов Корейского передового института науки и технологии (KAIST) и группой, занимающейся разработкой носимой электроники, Ульсанского национального института науки и технологии [11, 12], решена задача повышения гибкости дисплея с сохранением высокой яркости. Обычно в дисплеях для подачи электрических сигналов используются прозрачные электроды на основе окиси индия и олова (ITO). Но на пластиковых подложках при сгибании эти электроды растрескиваются. Для электродов на основе органических материалов характерны меньшее пропускание и большее поверхностное сопротивление, они менее стабильны, чем ITO-электроды. Корейскими специалистами создан новый композитный материал с нановолокнами серебра, встроенными в матрицу упрочненного стекловолокном гибридного полимера или, как пишут авторы, гибримера (рис.11). Сопротивление такой пленки не меняется при нагреве до температуры 430 °С или при 2000-кратном изгибании с радиусом 3 мм. Пропускание пленки 92% при поверхностном сопротивлении 3 Ом/квадрат. Прототип AMOLED продемонстрировал яркость до $10\,000$ кд·м⁻² при питающем напряжении 6 В и плотности тока 150 мА/см² и хороших механических характеристиках.

Ранее мы сообщали о ЖК-панелях сверхвысокого разрешения – с числом пикселей до $10K \times 4K$ и плотностью от 300 до 1000 точек/дюйм [14]. Сверхразрешение реализуется не только в ЖК-панелях. Компанией BOE созданы OLED-дисплеи малого размера (рис.12) с разрешением 1000 точек/дюйм или 40 точек/мм (размер 1,8 дюйма или 4,6 см) и даже 2300 точек/дюйм (90 точек/мм) при размере панели 2,1 дюйма (5,3 см).

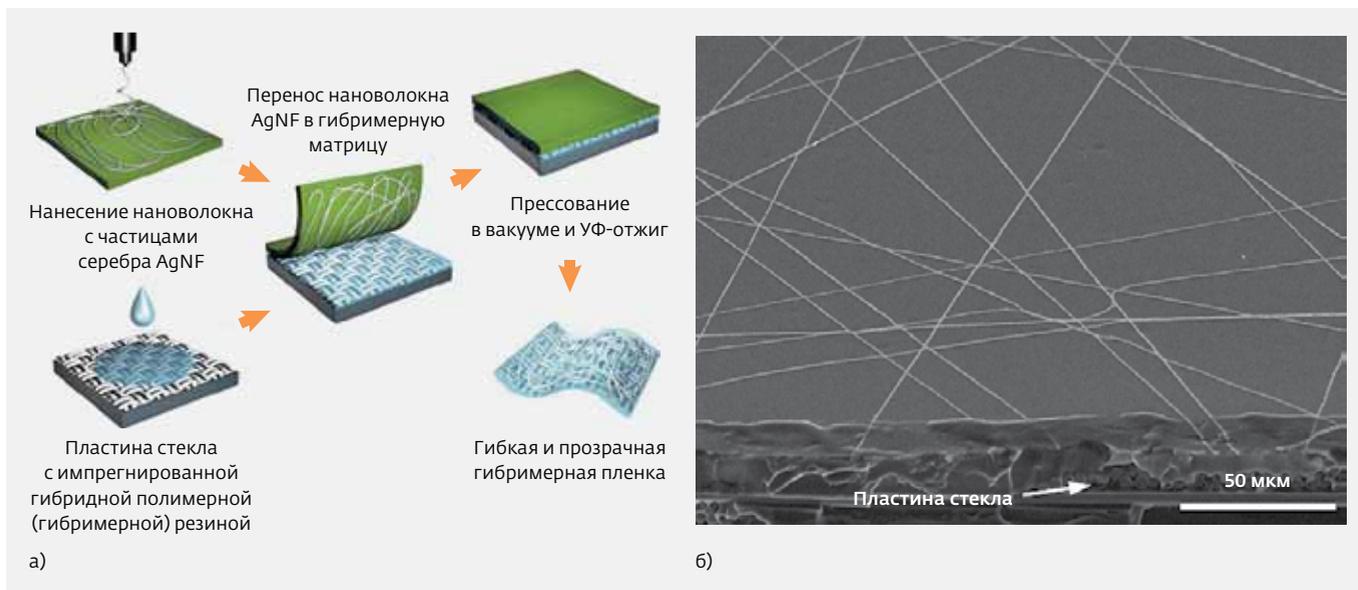


Рис.11. Схема процесса изготовления композитной пленки с нановолокнами серебра AgNF, встроенными в матрицу упрочненного стекловолокном гибридного полимера (а) и полученное методом сканирующей электронной микроскопии изображение композитного материала с сеткой нановолокон серебра и пластины стекла с импрегнированной гибридной полимерной резиной (б)

У второго дисплея частота смены кадров достигает 90 Гц. Они могут использоваться в портативных устройствах или для систем виртуальной и дополненной реальности.

Как ЖК, так и OLED можно применять в сенсорных панелях различного типа и назначения. Например, представленные на выставке в рамках "Недели дисплеев – 2017" сенсорные дисплеи компании BOE выполнены по интегрированному техническому решению, сочетающему распознавание касания, отпечатка пальца и измерение действующей на точку касания силы. Благодаря

этому пользоваться панелью легко и безопасно. Чудом техники кажется сенсорный OLED-дисплей малого размера (1,53 дюйма или 3,9 см) с десятью точками касания. Устройство имеет яркость 1000 кд·м⁻², контраст не менее 1000:1 и время переключения до 1 мс.

ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Для множества специальных применений дисплеев необходимо иметь дополнительные условия для качественного, без искажений доведения информации до оператора. Такие условия реализуются в многочисленных современных устройствах виртуальной и дополненной реальности. Научный симпозиум в рамках "Недели дисплеев – 2017" открылся ключевой лекцией



Рис.12. OLED-дисплеи малого размера с разрешением 1000 точек/дюйм или 40 точек/мм (размер 1,8 дюйма или 4,6 см) для виртуальной и дополненной реальности



Рис.13. Классификация виртуальной и дополненной реальности (VR/AR или Virtual Reality / Augmented Reality)

Клея Бейвора (Clay Bavor), вице-президента группы в сфере виртуальной и дополненной реальности компании Google. В его докладе были сформулированы подходы и требования к системам **виртуальной/дополненной реальности** (рис.13). Чтобы изображение не расплывалось, нужны дисплеи с количеством пикселей, в 10 раз превышающим современный уровень. На каждый глаз должно приходиться 20 мегапикселей на кадр. При частоте кадров 90 Гц пропускная способность устройства должна составлять 50–100 Гбайт/с, что существенно превышает пропускную способность оптического нерва (10 Мбайт/с). Возможным решением является использование особенности зрительной системы человека, в которой максимальное разрешение получается только в фовеальной области – узкой части сетчатки глаза.

При нарастании тенденции формировать **не только виртуальную, но и дополненную реальность** (VR/AR или Virtual Reality/Augmented Reality) особенно актуальным становится использование технологий **формирования объемного (трехмерного, 3D) изображения**. При этом расширяются возможности оператора по более реалистичной оценке обстановки.

Одним из давних примеров дополненной реальности до появления этого термина было проецирование изображения на ветровое стекло транспортного средства. Создается видимость того, что изображение находится перед транспортным средством. Эта технология имеет разные названия – Head-Up Display или HUD, Windshield Display. В одном из подразделений агентства оборонных исследований и разработок – DAQRI (США) – для уменьшения размеров и энергопотребления такого дисплея разработали голографическое проекционное устройство AR-HUD и соответствующее программное обеспечение SDL (Software Defined Light или Свет, определенный программой) [13]. С его помощью генерируется

компьютерная голограмма, которая вводится в проектор пространственным модулятором света высокого разрешения на основе технологии LCoS (ЖК-на-кремнии). Использование только фазовой модуляции позволяет повысить световую эффективность устройства и устойчивость к небольшим нарушениям изображения. Контраст изображения, формируемого модулятором (2 Мпикселя, например, 1400×1400 пикселей), может превышать 1000:1. Положения виртуальных изображений на расстоянии 2 м от источника изображений в широком поле зрения (до 135°) показаны на рис.14.

Перспективной является разработка китайских компаний Shanghai Tianma Microelectronics и Shine Optoelectronics по **формированию "плавающего" трехмерного изображения методом интегральной фотографии** (рис.15) [16]. Дисплей записывает изображения объекта с разных направлений зрения при использовании микролинзового растра, затем этот же микролинзовый растр формирует объемное изображение. Преимуществами метода по сравнению со стерео- и автостереоскопическими являются удобство и отсутствие утомляемости оператора. В шанхайской разработке, основанной на методе светового поля, увеличиваются углы обзора (360°, т.е. объект может рассматриваться под любым углом), достигается сверхвысокое разрешение объемной картинки. При этом не нужен гигантский объем данных и объемное изображение можно реализовать в портативном устройстве.

Группа исследователей из Университета им. Сунь-Ят Сена (Китай) представила в инновационной зоне выставки в рамках "Недели дисплеев – 2017" прототип устройства формирования трехмерных изображений с использованием специальных очков, в которых применяется метод светового поля. Достоинством устройства является возможность перефокусировки глаза с одного отображаемого предмета на другой.

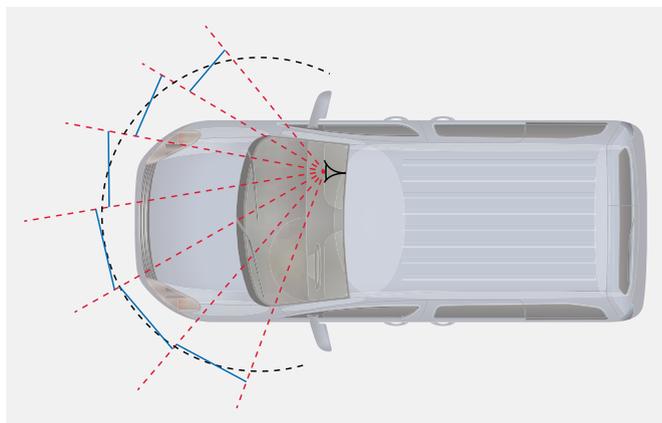


Рис.14. Положения виртуальных изображений на расстоянии 2 м от источника изображений (пунктирная дуга)



Рис.15. Внешний вид дисплея, формирующего плавающее изображение, и микролинзового растра. Размер дисплея 92×101 мм, разрешение 4000×4000 пикселей, что соответствует 2500 точек/дюйм или 100 линий/мм, апертурное отношение 25%

В компании BOE для формирования эффектов виртуальной и дополненной реальности используют ЖК-устройства с активной матрицей на основе низкотемпературного поликремния. Благодаря высокому пространственному разрешению, яркости и малым временам переключения достигается лучший эффект переживания при меньшем утомлении, чем при работе с изделиями других изготовителей.

На выставке в рамках "Недели дисплеев – 2017" компания BOE представила новую безочковую 3D-технология – 3D Retina (трехмерная сетчатка), основанную на использовании барьерного раstra, разделяющего правую или левую картинку. Технология обеспечивает очень высокое разрешение, изображение получается более живым. При этом уменьшаются неприятные ощущения (в частности, головокружение), возникающие при долгом просмотре трехмерной картинки.

Команда из представителей университета Центральной Флориды, компании LC Vision (США) и тайваньской корпорации AU Optonics разработала ЖК-дисплей для виртуальной реальности [15]. За счет использования ЖК с низкой вязкостью и улучшения импульсной схемы управления среднее время переключения от одного уровня шкалы серого до другого составило 0,93 мс. В результате время отклика для отображения движущейся картинки стало сравнимым с соответствующим временем для OLED-дисплеев. Появилась возможность отображения быстродвижущихся объектов с частотой до 240 Гц без заметной размытости картинки [15].

В современных ЖК-панелях BOE наряду с передовыми технологиями материалов и процессов применяется **цифровая обработка изображений, позволяющая создавать качество изображения, соответствующее возможностям новых технологий.** Метод ADSDS (Advanced Super Dimension Switch), или передовое сверхразмерное переключение, позволяет наблюдать живую картинку с высокой четкой видимостью быстро меняющихся процессов, а также компенсировать изменение изображения, например, при нажатии панели рукой.

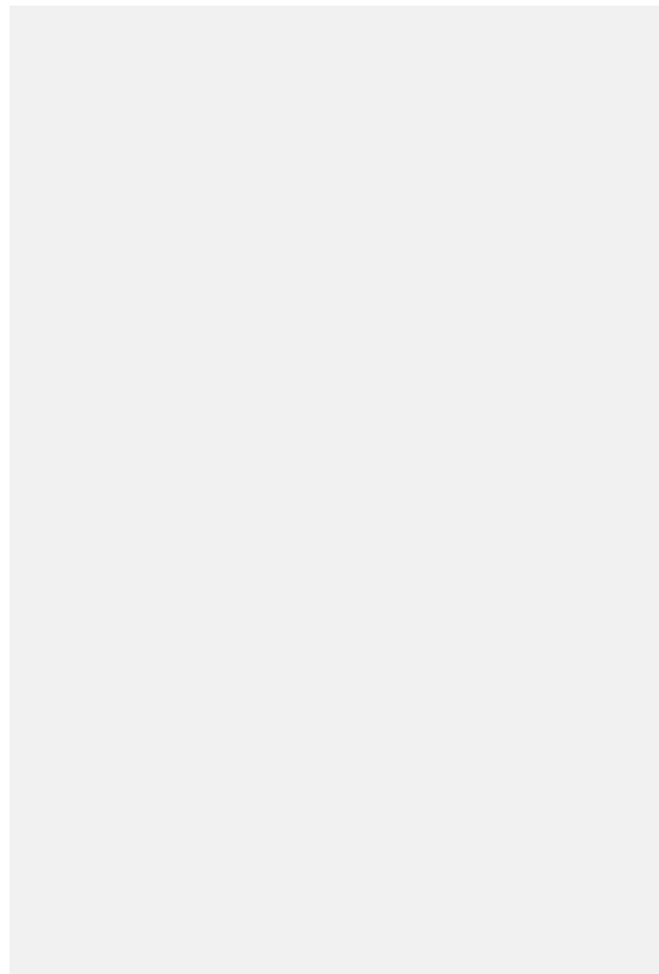
В дополнение к визуальным ощущениям многие компании разрабатывают устройства, настроенные на использование других органов чувств. Китайская компания Tianma реализовала сенсорную технологию, благодаря которой человеку, трогаящему панель, кажется, что ее поверхность рельефная. При касании генерируется электростатическая сила на пересечении электродов строки и столбца. Эта сила изменяет силу трения при движении пальца, благодаря чему возникает ощущение шероховатой текстуры. Возможно согласование картинки и тактильных ощущений. В результате можно сделать клавиатуру с разными тактильными ощущениями каждой клавиши. Пользователи могут

идентифицировать область изображения не только по визуальной картинке, но и по осязанию, что повышает эффективность работы.

Противоположность этому устройству – сенсорный дисплей, с которым можно работать, даже надев на руку две пары перчаток из грубого материала. Самым сложным при этом оказалось как раз надеть эти перчатки.

Сенсорные дисплеи и устройства виртуальной реальности сочетают в себе так называемые воздушные (aerial) дисплеи. С помощью специальной оптической схемы в воздухе строится изображение, которое можно "потрогать". При нажатии на виртуальную кнопку под картинкой предмета или изображения действия осуществляется "выбор" этого предмета или действие.

Завершим раздел о виртуальной и дополненной реальности упоминанием дисплейной разработки, которую можно применить для создания новой маскировочной формы. На выставке в рамках "Недели дисплеев – 2017" демонстрировалось женское платье, которое через короткий промежуток времени меняло свой цвет и рисунок ткани. Возможно, в нем используются электрохромный материал или электронные чернила.



ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

В устройствах сбора, обработки и передачи оптической информации эффективно применяются оптические технологии, первоначально разработанные для отображения информации.

Наблюдения земной поверхности и других объектов для военных и оборонных применений ведутся давно. Постоянной задачей является уменьшение веса и габаритов оптических элементов, в частности объективов, обеспечивающих формирование изображений объектов с высоким разрешением. Один из вариантов – использование линз Френеля, практически плоских по сравнению с обычными линзами. Программой инновационных передовых концепций НАСА и Центром инженерных разработок для сухопутных войск армии США (US Army Natick Soldier Research, Development and Engineering Center) в г. Натик (штат Массачусетс, США) поддержана разработка суперлинзы для телескопов, которую можно отнести к оптике четвертого поколения [16].

Технологии оптики четвертого поколения (4G) нацелены на построение больших, тонких и почти невесомых линз для оптической связи в глубоком космосе и телескопических наблюдений. В основном оптические компоненты четвертого поколения – это волновые пластины, тонкие полимерные пленки с оптической анизотропией, в частности за счет наличия в их структуре молекул жидких кристаллов. Специальные характеристики таких пластин достигаются путем модуляции оптической оси в плоскости пластины. Оптика предыдущих поколений характеризуется модуляцией формы линзы или ее толщины (1-е поколение); показателя преломления как в брегговских решетках или градиентных

линзах (2-е поколение); величиной оптической анизотропии, как в ЖК-дисплеях (3-е поколение). Линейная вариация ориентации оси анизотропии в плоскости волновой пластины делает ее подобной призме. Такие компоненты часто называют циклоидными дифракционными волновыми пластинами благодаря картинке, иллюстрирующей пространственное распределение осей анизотропии. Благодаря изменению угла ориентации вокруг оси, перпендикулярной плоскости пластины, ее часто называют волновой пластиной с завихренным векторным полем (маленькие стрелки на рис.16 – это векторы оси анизотропии в локальном месте пластины, при виде сверху поле этих векторов образует вихревую структуру).

Изменяя угол оси анизотропии пропорционально квадрату расстояния от оси пластины (параболическое изменение), получаем линзу (см. рис.16). Эффективность оптики четвертого поколения достигает 100% для каждого из циркулярно поляризованных компонентов излучения для длин волн, удовлетворяющих условию фазовой задержки в полволны. Используя методы обычной оптики для создания широкозонных полуволновых пластин, можно делать и широкозонные элементы четвертого поколения. Такие линзы изготовлены американской компанией БИМКО [16].

Дифракционные волновые пластины (ДВП) четвертого поколения являются идеальным элементом в телескопах для лазерной связи. В этом случае требования к поляризации и длине волны для ДВП линз и зеркал не очень критичны, поскольку такие параметры, как правило, хорошо контролируются. Конструкция такого телескопа и корректирующего зеркала приведена в [17]. Решающим преимуществом ДВП является отсутствие осевых аберраций.

* * *

Дисплеи для военных применений, технологии материалов и компонентов для них – динамично развивающаяся отрасль электроники, в которой используются перспективные технологии и идеи тенденций развития приборов гражданского назначения. И в то же время эта отрасль стимулирует развитие гражданских технологий.

Часть работы, связанная с посещением "Недели дисплеев – 2017", была осуществлена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 15-07-00469_а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rugged Flat Panel Displays. www.epsilon-systems.com
2. Sunlight readable. <http://www.sunui.com/sunlight-readable-lcd>
3. **Rooney K.** Selecting a rugged LCD display,

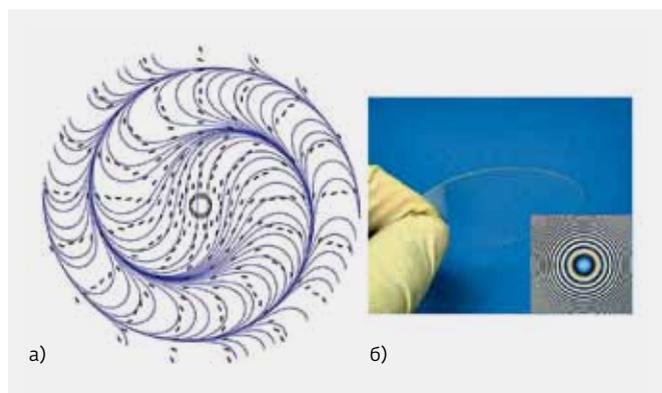


Рис.16. Структура линзовой волновой пластины, локальная ориентация оптической оси показана как короткими отрезками, так и в виде непрерывной картинке (а); линзовая волновая пластина (тонкопленочное покрытие микрометровой толщины на пластике), структура которой видна только при ее помещении между скрещенными поляризаторами (б)

- www.cwcddefense.com
4. **Tan G. et al.** Moth-eye Anti-reflection Surface for Sunlight Readable Flexible Displays // SID2017 DIGEST. P. 574–577.
 5. **Belyaev V. V., Solomatin A. S., Suarez D., Molina F., Smirnov A.** Light Propagation through Composite Heterophase Objects with Liquid Crystal Material // SID'16 Digest. P. 1632–1635.
 6. **Belyaev V. V., Solomatin A. S., Smirnov A. G., Suarez D. R., Molina F. Y.** Liquid Crystal Microlenses in Porous Media // SID2017 DIGEST. P. 1858–1861.
 7. **Weindorf P., Hayden B., Lor K.** Characterization of Anti-Sparkle Film for Automotive Applications // SID2017 DIGEST. P. 566–569.
 8. **Armstrong J. B., Dodd S.** Display ruggedization for military applications using automotive-grade active matrix liquid crystal displays. DARPA Report AFRL-HE-WP-TR-1998–0045.
 9. **Montbach E. N., Braganza C. I., Echeverri M., Marhefka D., Davis D. J., Nicholson F., Khan A.** Large Area, Flexible eWriter for Whiteboard Replacement // SID2017 DIGEST. P. 1769–1772.
 10. www.AbraxSys.com
 11. **Lee C.-C., Tsai C.-C., Chang K.-M., Chuang K.-L., Chen J.** Novel Technologies for Flexible Displays and Electronics // SID2017 DIGEST p.433–436.
 12. **Lim Y.-W., Lee H., Kim H. Y., Bae J. G., Bae B.-S.** Composition Optimization of Transparent Glass-fabric Reinforced Siloxane Hybrid (GFRHybrimer) Films for Thermally Stable Flexible Display Substrate Film // SID2017 DIGEST. P. 150–153.
 13. **Park J., Hyun B. G., Im H.-G., An B. W., Park J.-U., Bae B.-S.** Flexible Transparent Electrode Film with a Continuous Ag Nanofiber Network Embedded Structure for Flexible OLEDs // SID2017 DIGEST. P. 1761–1764.
 14. **Беляев В.** Неделя дисплеев 2016: технологии настоящего и будущего. Часть 1. Выставка и научная конференция // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2016. № 8.
 15. **Mullins B., Greenhalgh Ph., Christmas J.** The Holographic Future of Head Up Displays // SID2017 DIGEST. P. 886–889.
 16. **Niu L. et al.** Floating Image for Ultrahigh Resolution Display Device Using Integral Photography Theory // SID2017 Digest. P. 414–417.
 17. **Peng F. et al.** An LCD with Sub-millisecond Motion Picture Response Time // SID2017 Digest. P. 1826–1829.
 18. **Tabiryan N. et al.** Superlenses in the skies: liquid-crystal-polymer technology for telescopes // SPIE. Newsroom. 10.1117/2.1201601.006317.
 19. AeroConf 2016 IEEE Aerospace Conference. 8 p.