

# ЭЛЕКТРОННАЯ БУМАГА

## ДОБРО ПОЖАЛОВАТЬ В МИР ИННОВАЦИЙ

Первые образцы электронной бумаги (е-бумаги) были разработаны еще в 70-е годы прошлого века в Исследовательском центре компании Херох. Дисплеи на основе такой бумаги формировали контрастную картинку, которая, подобно рисунку на обычной бумаге, была отлично видна в отраженном свете под любым углом зрения и без подсветки (т.е. энергопотребление е-бумаги мало). Изображение не засвечивалось прямыми солнечными лучами. Однако до коммерческого освоения е-бумаги пришлось ждать еще долгих 30 лет, когда в конце 1990-х годов вновь образованная корпорация E Ink выпустила на рынок первое e-ink устройство (или устройство на основе е-бумаги). При разработке систем отображения информации, с инженерной точки зрения, сложнее всего получить достаточно яркие и контрастные картинки и обеспечить быструю их смену. В последнее десятилетие хороших результатов удалось достичь в большей степени не в области е-бумаги, а в широко распространенных ЖК- и светодиодной технологиях. По мнению экспертов, сейчас для успешной коммерциализации электронной бумаги необходимо, чтобы она стала внешне привлекательной. И, похоже, что, наконец, "лед тронулся" и желаемая технология вскоре появится. Электронная бумага становится все популярней, и новые анонсируемые в последние годы разработки позволяют ожидать появления в скором будущем более совершенных и дешевых устройств на ее основе — как черно-белых, так и цветных.

### ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОННАЯ БУМАГА?

Электронная бумага, называемая также е-бумагой (electronic paper, или e-paper), представляет собой портативное средство хранения и отображения информации с возможностью многократной записи (обновления) электронными средствами. Электронная бумага была разработана в 70-е годы прошлого

В.Майская

столетия в Исследовательском центре компании Херох при содействии фирмы 3M. Дисплеи этого типа, названные "Гирикон" (Gyricon), представляли собой массив из большого числа полиэтиленовых шаров диаметром 75–100 мкм, образуемых двумя полусферами различного цвета (белого и черного) с различными электрическими параметрами. При погружении в прозрачную заполненную маслом полость с нанесенными на ее поверхности управляющими электродами, формирующими однородное электрическое поле, сферы начинали вращаться, ориентируясь вдоль полярной оси. Полярность подаваемого на каждую пару электродов напряжения определяла, какой стороной (белой или черной — в зависимости от соотношения электрического вращающего момента и момента вращения, определяемого вязкостью масла) повернется сфера. При полном вращении сфер формировалось черно-белое изображение, при неполном их вращении — изображение серых оттенков. Время формирования изображения было достаточно длительным. Сейчас разработки е-бумаги такого типа (скрученного шарового типа) ведет только японская компания Soken Chemical & Engineering Co. Ltd. На Международной выставке плоскопанельных дисплеев 2008 года она представила стену с обоями из е-бумаги этого типа размером 30×30 см. Шары диаметром 0,1 мм выполнялись из акриловой смолы. При этом были возможны различные комбинации цветов — черный и белый, красный и белый, зеленый и черный. Кроме того, компания Soken демонстрировала на выставке дисплей с диагональю экрана 4" на основе скрученной шаровой е-бумаги с органическими тонкопленочными полевыми транзисторами (ТПТ). Разрешение дисплея — 60×120 пикселей.

Поиски гибкой дешевой системы, позволяющей получать электронный вариант текста (или картинку) на обычной бумаге, привели к появлению нового типа е-бумаги — электрофоретической. В простейшем виде она состояла из погруженных в минеральное масло частиц диоксида титана (размером 0,1–5 мкм). В масло добавлялись темный краситель, поверхностно-активные вещества и заряжающиеся агенты. Смесь помещали в полость шириной 10–100 мм, образуемую двумя пластинами с электродами. При подаче напряже-



ния частицы мигрировали к пластине с потенциалом, противоположным их знаку заряда. Цвет тех областей передней панели, к которым притягивались частицы, был белым, поскольку частицы диоксида титана отражали падающий свет. Цвет тех областей, где не было частиц оксида, оставался темным. Простейшая электрофоретическая бумага может изготавливаться с помощью разработанного компанией Philips процесса формирования электронных компонентов на пластике методом лазерного вытравливания (Electronics on Plastic by Laser Release, EPLaR). Но жизненный цикл таких устройств отображения оказался недостаточно большим и, к тому же, их было трудно изготавливать.

В ходе дальнейших исследований ученый Массачусетского технологического института Джозеф Якобсон (Joseph Jacobson) в конце 1990-х годов предложил помещать вещество со свойствами электрофоретической дисперсии в микрокапсулы. Каждая микрокапсула заполнялась прозрачной жидкостью, в которой находились положительно заряженные белые и отрицательно заряженные черные микрочастицы. Микрокапсулы помещались в слой жидкого полимера, заключенного между двумя пластинами с матрицей электродов. Причем верхняя пластина была прозрачной. Управляющий сигнал соответствующей полярности притягивал к верхнему прозрачному слою экрана (обращенному к пользователю) белые или черные микрочастицы, формирующие изображение (рис.1). Такая система, получившая название электронных чернил (electronic ink, или e-ink) относилась к уже известной электрофоретической системе e-бумаги, но применение микрокапсул позволяло наносить бумагу на гибкие подложки, а не только на стекло.

Позже Якобсон основал компанию E Ink, которая и выпустила на рынок первые e-ink-устройства и которая до последнего времени оставалась основным изготовителем электронных чернил и дисплеев на основе электрофоретической бумаги (Electroforetic Paper Displays, EPD).

Несколько иной тип электрофоретической бумаги предлагает компания SiPix Imaging (США). Для воспроизведения информации также используется микроемкость (microcup), которая, помимо окрашенного жидкого диэлектрика, содержит частицы только одного цвета – белого. Каждая микроемкость герметизирована, что позволяет формировать электрофоретический дисплей любого размера и формы. В зависимости от назначения дисплей имеет сотовую или вафельную структуру, заполненную диэлектриком. В такой простой структуре толщиной 150 мкм исключаются столкновения частиц, а поскольку микроемкости могут быть заполнены жидкостью разного цвета, на ее основе возможно создание полноцветного дисплея без применения светофильтров. По утверждению разработчиков, хотя созданная ими электронная бумага уступает e-бумаге компании E Ink по скорости переключения, но превосходит ее по прочности.

В 2009 году около 32% акций компании SiPix приобрел крупнейший тайваньский производитель ТПТ ЖКД –

AUO Optronics. Цель компании AUO – освоить в 2009 году массовое производство EPD, а в 2010-м – выпустить e-бумагу на пластмассовой подложке.

## РЫНОК ЭЛЕКТРОННОЙ БУМАГИ

Дисплеи на основе электронной бумаги находят применение в самых разнообразных бытовых и промышленных устройствах. Появилась возможность размещать транспортные указатели в любых местах вне зависимости от уровня освещенности среды и угла обзора. Электронные книги, при чтении которых приходилось напрягать зрение из-за высокой интенсивности излучаемого света, приобрели вид обычных книг. Индикаторы сотовых телефонов, которые раньше нужно было прикрывать для считывания при ярком свете, теперь благодаря высокому контрасту и яркости изображения можно читать при самом "диком" освещении. Индикаторы на основе электронной бумаги можно найти во флешках (индикатор свободного объема), наручных часах и т.п. Области применения e-бумаги зависят от фантазии разработчиков. В Музее современного искусства Нью-Йорка среди 92 образцов обложек журнала Esquire демонстрируется и обложка октябрьского номера журнала за 2008 год, выполненная на гибкой e-бумаге компании E Ink. На Международной конференции и выставке SID Display Week 2008 E Ink продемонстрировала мобильный телефон компании Hitachi с "кожей" на основе EPD, способной персонализировать владельца. Покрытие наружной поверхности телефона может воспроизводить до 95 графических рисунков и картин.

Но пока первенство по применению e-бумаги удерживают электронные книги. По данным компании по маркетинговым исследованиям Displaybank, продажи e-бумаги за период с 2008 по 2015 год возрастут с 70 млн. до 2,1 млрд. долл., а в 2020 году достигнут 7 млрд. долл. (среднегодовой темп прироста в сложных процентах – 47%). При этом на долю e-бумаги, используемой в электронных книгах, придется 50% рынка. Продажи для этого сектора рынка возрастут с 35 млн. долл. в 2008 году до 1,1 млрд. долл. в 2015-м и до 3,4 млрд. долл. в 2020-м. Объем продаж ридеров ("читалок") на основе e-бумаги в количественном выражении увеличится за период 2008–2012 год с 1 млн. до 20 млн. шт. (среднегодовой темп прироста – 105%).

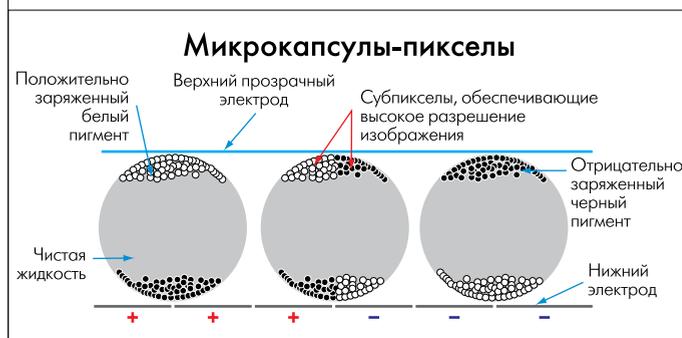


Рис. 1. Система электронных чернил



Рис. 2. Динамика рынка е-бумаги

Согласно оценкам исследовательской компании iSuppli, объем отгрузок дисплеев на е-бумаге с 2009 по 2012 год в количественном выражении увеличится с 3,6 млн. до 18,3 млн. шт. Доходы производителей за этот период возрастут с 3,5 млн. до 291 млн. долл. (среднегодовой темп прироста – 143%).

Помимо сектора электронных книг, прогнозируется рост применения е-бумаги в самых разнообразных устройствах (рис. 2, таблица). В 2010 году ожидается наплыв нового поколения электронных книг, оснащенных цветными "бумажными" дисплеями.

Интерес к дисплеям на е-бумаге проявляет и Армия США. В 2004 году Исследовательская лаборатория Армии выделила Центру гибких дисплеев Университета штата Аризона ~100 млн. долл. на разработку к 2014 году технологии полноцветных гибких электронных дисплеев. Центр сотрудничает со многими ведущими и новыми компаниями, представляющими интересные перспективные технологии гибких дисплеев, материалы и технологические процессы, в том числе с компаниями Hewlett-Packard, LG Display, E Ink, DuPont Teijin Films.

Работы в области е-бумаги направлены на дальнейшее совершенствование ее технологии: улучшение контрастности и цветопередачи особенно цветных дисплеев большого фор-

**Прогноз рынка е-бумаги**

Сектор рынка	Динамика рынка е-бумаги, млн. долл.					Среднегодовые темпы прироста, %
	2008	2009	2010	2015	2020	
Замещающие устройства	23	33	69	606	2118	46
электронные книги	35	70	127	1086	3402	46
смарт-карты	1	2	5	38	94	46
средства рекламы в торговых точках, электронные ценники	1	3	7	43	116	46
Новые области применения						
Носимые устройства	–	–	2	14	55	–
Медицинские системы	–	–	1	6	11	–
Другие	10	19	48	316	1248	50
Всего	70	127	258	2109	7044	47

мата, увеличение срока службы (в первую очередь наружных дисплеев). Что же достигнуто на сегодняшний день?

**ДОСТИЖЕНИЯ**

Как уже отмечалось, первые устройства на основе электронных чернил на рынок выпустила компания E Ink. Эта компания внесла наибольший вклад в развитие подобных устройств, последовательно улучшая характеристики электронной бумаги на протяжении последнего десятилетия. Компания выпускает дисплеи на основе запатентованной электронной бумаги Vizplex Imaging Film следующих стандартных размеров: 5" (разрешение 800×600 пикселей), 6" (800×600), 8" (1024×768) и 9,7" (1200×825 пикселей). Толщина дисплеев составляет 1,2 мм, угол обзора – 180°. Сегодня электронная бумага марки Vizplex Imaging Film используется более чем в 1 млн. электронных книг.

В портфель изделий компании входят сверхтонкие (толщиной менее 400 мкм), прочные и гибкие сегментированные дисплеи марки SURF, состоящие из управляемых индивидуально дискретных сегментов, воспроизводящих буквы, цифры и знаки. Компоновка элементов дисплея позволяет формировать перекрывающиеся изображения и необычные шрифты. Дисплеи этой марки перспективны для применения в бытовой электронике, медицинских приборах, вспомогательных устройствах ПК, индикаторах смарт-карт, электронных ценниках, торговых вывесках. В мире сейчас более 15 млн. изделий с SURF-дисплеями. В мае 2009 года второй по числу абонентов оператор сотовой связи в США Verizon Wireless предоставил поддержку сотовым телефонам модели Alias 2 компании Samsung, в которых впервые клавиатура выполнена на основе SURF-дисплея. "Магическая е-клавиатура" телефона при открытии одной из двойных крышек телефона быстро переключается из состояния QWERTY (раскладка англоязычной клавиатуры, в которой верхний ряд букв составляет слева направо сочетание QWERTY) в обычную буквенно-цифровую клавиатуру.

В июне 2009 года крупный тайваньский производитель дисплеев малого и среднего размеров Prime View International (PVI) объявил о намерении приобрести за 215 млн. долл. компанию E Ink. Цель PVI – сконцентрировать усилия на производстве дисплеев на основе электронной бумаги, в том числе специализированных микросхем драйверов, сенсорных экранов и гибких дисплеев. Так, компания планирует в 2010 году выпустить гибкие черно-белые дисплеи на е-бумаге, а затем и цветные дисплеи.

PVI была образована в 1992 году как дочерняя компания концерна YFY Group – ведущего производителя бумаги Тайваня. Первые разработки компании были направлены на создание тонкопленочных полевых транзисторов. К разработке е-бумаги компания приступила в 2005 году, когда приобрела отделения EDP корпорации Philips со всеми патентами и правами на IP-системы. По-видимому, вхождение в состав концерна YFY Group стимулировало решение PVI развивать технологию е-бумаги как альтер-



нативу бумаге обычной. Ведь для публикации бестселлера, например серии книг, посвященных Гарри Поттеру, потребовалось 290 тыс. т бумаги, или 5,8 млн. деревьев. Еще 4 млн. деревьев ежегодно уходит на печать газет только в Тайване.

Благодаря изготовлению эффективной высококачественной задней отражающей панели с ТПТ по запатентованной технологии MagicMirror Reflective компания PVI стала одним из ведущих производителей дисплеев на электронной бумаге. PVI – первый изготовитель гибких активно-матричных дисплеев на е-бумаге. Дисплеи изготовлены по технологии EPLaR компании Philips, предусматривающей формирование элементов на полимерной пленке, нанесенной на стеклянную подложку с последующим отделением пленки от подложки. Сейчас PVI выпускает гибкие EDP-модули с диагональю 1,9" (разрешение 128×112 пикселей), 6" (800×600 пикселей) и 9,7" (1200×825 пикселей). На выставке SID 2008 компания представила AM-дисплей с сенсорным экраном. Датчики "считывания усилия" расположены под "бумажным" дисплеем в отличие от традиционного размещения поверх дисплея. Разработанное компанией программное обеспечение обеспечивает определение места приложения усилия пальца или пера и его величину. К достоинствам технологии компании PVI относится и отсутствие хрупкого и дорогого оксида индия и олова, поставки которого затруднены.

В конце 2009 года PVI планирует выпустить EDP-модуль с диагональю 9,7", изготовленный на гибкой подложке. Выбор модуля этого размера в качестве первого образца гибкого дисплея в основном обусловлен решением компании исключить возможность его поломки при падении, а не стремлением создать сворачиваемое устройство.

Сегодня большая часть дисплеев на е-бумаге изготавливаются на стекле, жестких пластмассовых подложках или металлической фольге. Формирование е-бумаги на гибких пластмассовых подложках затруднено, поскольку их применение не допускает обработки при температурах, требуемых для получения электронной бумаги. Тем не менее, концерн Hewlett-Packard объявил о создании совместно с Центром гибких дисплеев Университета штата Аризона первого опытного образца дешевого, гибкого и неломающегося дисплея с сенсорным экраном на основе электронной бумаги Vizplex Imaging Film компании E Ink. Дисплей изготавливается на подложках из полиэтилен нафталата (polyethylen naphthalate, PEN) компании DuPont Teijin Films. С помощью технологии самосовмещенной импринт-литографии (Self-Aligned Imprint Lithography, SAIL), обеспечивающей хорошее совмещение элементов наносимого рисунка независимо от разброса режимов изготовления дисплея, на подложке формируется матрица ТПТ. Процесс изготовления ТПТ проводится на разматывающейся пленке, благодаря чему обеспечивается экономически эффективное непрерывное производство дисплеев.

Однако, по оценкам компании Displaybank, по-видимому, первый коммерческий дисплей на е-бумаге на гибкой пласт-

массовой подложке сумеет выпустить другой крупный азиатский поставщик EDP – корейская компания LG Display, которая уже представила на Международной выставке SID 2008 дисплей на е-бумаге с диагональю 14,3" (что равноценно размеру обычной бумаги формата A4) и разрешением 1280×900 пикселей. Дисплей выполнен на фольге из нержавеющей стали. Кто бы ни был первым, Displaybank считает, что во второй половине 2009 года может начаться массовое производство гибких дисплеев на е-бумаге размером 11,5".

## ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ

Е-бумага уже нашла достаточно широкое применение не только в электронных книгах, но и в таких устройствах, как "разумные" индикаторы торговых выкладок, смарт-карты и т.п. Однако для того, чтобы стать серьезным конкурентом традиционных дисплеев и выйти за пределы нижнего эшелона сектора рынка, у EPD должен появиться цвет. Сейчас на рынке в основном представлены черно-белые дисплеи и так называемые цветные дисплеи с несколькими (до 16) градациями серого цвета. Но нужны полноцветные устройства высокой яркости.

Существует несколько методов получения цветной е-бумаги, самый популярный из которых – формирование пикселей в триады и распределение внутри каждой триады красного, зеленого и синего (RGB) светофильтров. Правда, такая структура приводит к "краже" двух третей отражаемого пикселями света. Кроме того, применение фильтров вызывает снижение разрешающей способности дисплея. Европейское отделение компании PVI сообщило о создании опытного образца цветного гибкого сворачиваемого дисплея, воспроизводящего 65 тыс. цветов. Его разрешение составляет 127 пикселей/дюйм, тогда как разрешение нового монохромного дисплея на е-бумаге компании PVI – 254 пикселей/дюйм. Эти цифры иллюстрируют дистанцию, которую придется пройти, чтобы цветной дисплей на е-бумаге мог стать коммерческим изделием. Это открывает широкое поле для поиска новых методов создания полноцветных дисплеев на электронной бумаге.

Так, компания Philips Research разработала электрофоретический дисплей продольного типа, в котором окрашенные частицы движутся в прозрачной жидкости горизонтально, а не вертикально как в обычных EPD. Пиксел формируют две микрокапсулы, одна из которых (верхняя) содержит частицы желтого и голубого цвета, а вторая (нижняя) – частицы пурпурного и черного цвета. В микрокапсуле один набор цветных частиц заряжен положительно, другой – отрицательно. Путем тщательного управления напряжением, подаваемым на электроды, расположенные у краев пикселей, можно перемещать цветные частицы вдоль микрокапсулы или удалять их из поля зрения, сдвинув за электроды. Изменяя таким образом число видимых групп цветных частиц, можно добиться различных оттенков цвета. Чтобы получить белый цвет, все частицы сдвигаются в сторону, благодаря чему открывается белая подложка под микрокапсулами.

Считается, что эта технология позволит получить качество изображения, присущее ЖКД. Но не сегодня. Технология еще несовершенна и требует значительной доработки, которая, даже по мнению специалистов компании, займет не менее трех лет. Поэтому разработчики Philips считают, что первые полноцветные дисплеи на е-бумаге, по-видимому, будут выполнены со светофильтрами. И разработкой цветных EPD занимаются многие компании. Так, LG Philips LCD представила цветной дисплей на основе е-бумаги компании E Ink и RGB-фильтров с диагональю 14,3" и разрешением 1280×800 пикселей. Дисплей воспроизводит до 16,7 млн. оттенков цвета.

В создании цветных дисплеев на электронной бумаге заинтересованы большое число компаний и среди них не только те, которые специализируются в области разработки и производства систем отображения информации. В их числе неожиданно оказалась компания Bridgestone – мировой лидер по производству автомобильных шин. Ее специалисты разработали фирменную технологию изготовления дисплеев на е-бумаге – QR-LPD (Quick-Response Liquid Powder Display, дисплей на "жидком" порошке с быстрым откликом). Электронный "жидкий" порошок имеет свойства как жидкости, так и порошка, а также высокую текучесть. К тому же этот материал обладает высокой чувствительностью к приложенному электрическому полю. Помещается материал между двумя прозрачными пластинами. Когда потенциал участка верхней пластины выше, чем потенциал нижней, отрицательно заряженный белый порошок перемещается к нему, и участок становится белым. И наоборот, когда электрический потенциал участка верхней пластины ниже потенциала нижней, к участку притягивается черный порошок. Время переключения из белого в черное состояние и наоборот благодаря высокой текучести порошка составляет всего 0,2 мс. Применение цветных пигментов позволит получить окраску практически любого цвета, хотя пока управление напряжением, требуемым для зарядки пигментов определенного цвета, затруднено. Отражательная способность QR-LPD составляет ~30%, что недостаточно для воспроизведения цветного изображения. Однако полученные результаты свидетельствуют о возможности реализации такого устройства в будущем. Поэтому для создания цветного дисплея компания Bridgestone обратилась к светофильтрам, хорошо освоенным в технологии ЖКД. В результате в начале 2009 года компания представила на торговой выставке в Токио цветной дисплей на электронной бумаге, спроектированный на базе пассивной матричной панели и поддерживающий перьевой ввод. Новый дисплей выполнен по технологии QR-LPD, оснащен светофильтром и пером индукционного типа компании Wacom. Чтобы обеспечить перьевой ввод специалисты Bridgestone уменьшили время обновления "бумажной" панели до 0,8 с (этот показатель предыдущей версии электронной бумаги формата А4 составлял 10–15 с). Указывается, что скорость обновления изображения удалось повысить за счет усовершенствования

схем управления, что позволило следить за перьевым вводом и плавно отображать вводимые текст и графики.

Большой интерес вызвал 10,2-дюймовый цветной "бумажный" дисплей, способный воспроизводить видеоролики, который компания Samsung Electronics представила на выставке SID Display Week 2009, проходившей в конце мая в г. Сан-Антонио (США). До сих пор дисплеи на е-бумаге могли воспроизводить только статичное изображение, поскольку их время отклика составляет 100–500 мс, тогда как для воспроизведения видео частота регенерации должна быть равна 15 мс. Правда, дисплей компании Samsung нельзя отнести к традиционным устройствам на основе электронной бумаги, поскольку он сочетает в себе два устройства – на е-бумаге для отображения статичных изображений и на холестерических жидких кристаллах для работы в видеорежиме. В режиме, получившем название "режим памяти", панель работает как е-бумага, а в "динамическом режиме" напоминает привычный ЖКД. Переключается дисплей из одного режима работы в другой вручную. Технические характеристики его пока не высокие. Разрешение дисплея составляет 320×240 пикселей, глубина цвета – 64 оттенка, отражательная способность – не менее 10%, время отклика – не более 25 мс. Таким образом, разработчикам есть, над чем поработать. Тем не менее, удалось убедиться в том, что создать дисплей на электронной бумаге с возможностью воспроизведения видеоизображения – задача выполнимая.

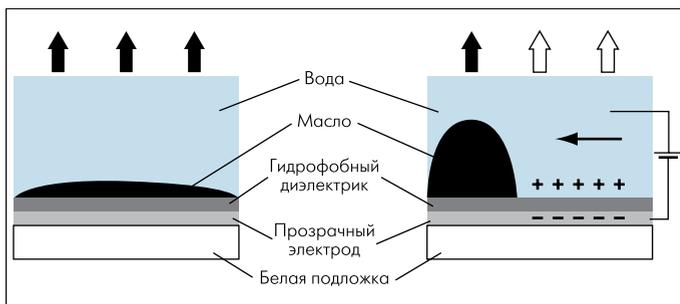
Решить присущие обычным дисплеям EPD-типа проблемы – получение полноцветного изображения и воспроизведение динамичного изображения – по-видимому, смогут новые технологии электронной бумаги. В конце 2003 года ученые исследовательской лаборатории компании Philips в ходе изучения возможности создания полноцветных дисплеев на е-бумаге с малым временем отклика, пригодных для использования в современных цифровых устройствах с развитыми мультимедийными функциями, предложили технологию, в основе которой лежит эффект электросмачивания (electrowetting). Эта технология основана на управлении границей раздела между двумя несмешивающимися жидкостями различной плотности – водой и маслом (обычно окрашенного) с помощью подаваемого напряжения. В отсутствие напряжения между водой и гидрофобным изолирующим покрытием нижнего прозрачного электрода возникает тонкий слой масла, в результате чего формируется цветной пиксел. Верхним электродом служит вода (рис.3). При подаче напряжения межфазное натяжение на границе слоя воды и масляной пленки изменяется, и вода оттесняет масло в сторону. Пиксел становится частично прозрачным, изменяя свой цвет, и если под ним находится белая подложка, приобретает белый цвет. Меняя значение подаваемого напряжения, можно управлять степенью прозрачности пиксела. Малый размер пиксела позволяет получать переключаемый элемент с высокой контрастностью и высокой яркостью. Время переключе-



ния между белым и цветным пикселями достаточно мало, и такая "бумага" пригодна для воспроизведения видеоизображения. Напряжение, требуемое для переключения пикселей, также мало, т.е. энергопотребление дисплея невелико. Толщина дисплеев на основе эффекта электросмачивания мала. Таким образом, технология электросмачивания позволяет создавать полноцветные дисплеи высокой яркости (по утверждению разработчиков, больше в четыре раза, чем у ЖКД отражательного типа и в два раза, чем у других дисплеев нового типа). Один субпиксел дисплея на основе эффекта электросмачивания может независимо принимать один цвет из двух возможных. В итоге две трети площади дисплея отражают свет любого желаемого цвета. Это достигается путем построения пикселя в виде набора из двух независимо управляемых окрашенных масляных слоев системы "голубой-сиреневый-желтый" (Cyan-Magenta-Yellow, CMY) и одного светофильтра. В результате можно обойтись без традиционных красного, зеленого и синего (RGB) светофильтров или трех чередующихся слоев трех основных цветов. А поскольку в дисплеях на основе e-бумаги с эффектом электросмачивания не применяются поляризующие фильтры, яркость их еще в два раза больше, чем у ЖКД. Отражательная способность "электросмачиваемых" дисплеев превышает 35%, контрастность равна 15. Изображение может формироваться с высокой скоростью (до 80 Гц). К достоинствам технологии относятся и возможность использования существующих производственных линий по выпуску ЖК-панелей, поэтому освоение производства электросмачиваемых дисплеев в коммерческих масштабах не должно занять слишком много времени и потребовать значительных дополнительных расходов.

Поскольку разработанная технология электросмачивания не вписывалась в основные направления работ компании Philips, в 2006 году на базе ее исследовательской лаборатории была образована фирма Liquavista. Сейчас это единственная фирма, выпускающая изделия на основе запатентованной ею технологии электросмачивания. Дисплеи на e-бумаге с эффектом электросмачивания сейчас единственные, кроме ЖКД, устройства, способные работать в трех различных режимах: в проходящем свете (на просвет), в отраженном свете и в полупрозрачном режиме. При этом они отличаются хорошей надежностью при воспроизведении изображения с высокой яркостью и малым энергопотреблением.

В настоящее время компания Liquavista выпускает два электросмачиваемых дисплея – ColorMatch и ColorBright. ColorMatch представляет собой монохромный дисплей на основе запатентованной архитектуры HEOS с размером по диагонали 1,8" и разрешением 128×160 пикселей. Типичное значение отражающей способности превышает 50%, потребляемая мощность – не более 6 мВт. Диапазон рабочих температур – от 0 до 50°C. Предназначен дисплей ColorMatch для мобильных телефонов, навигаторов, MP3 и портативных ме-



**Рис.3. Элемент дисплея на эффекте электросмачивания**

дисплеев, устройств дистанционного управления и ручных промышленных контрольно-измерительных систем.

ColorBright – сегментированный многоцветный дисплей с размером по диагонали около 6" и толщиной 0,9 мм. Отражательная способность его превышает 40%, контрастность составляет 6–8, время переключения – менее 50 мс. В ближайшем будущем компания планирует выпустить полноцветные дисплеи на основе эффекта электросмачивания моделей ColodFull и ColorFull+, потребляемая мощность которых в десять раз меньше, чем у ЖКД со светодиодной подсветкой. В конце 2008 года компания Liquavista (совместно с Plastic Logic) выиграла грант на участие в трехгодичном проекте Совета по стратегии развития технологий правительства Великобритании суммой в 12 млн. фунтов стерлингов (~21 млн. долл.). Цель проекта – создание многоцветного гибкого экрана следующего поколения, способного заменить газету и поддерживающего воспроизведение видео. Plastic Logic представила на конкурс образец электронной бумаги, близкий по размерам к листу формата А4. Правда, представленный образец отображает только два цвета – черный и белый. Кроме того, он недостаточно гибкий, а время обновления экрана велико. Поэтому в проекте основное место отведено работам компании Liquavista. Первые их результаты компания планирует представить на выставке в Гонконге, которая состоится в октябре 2009 года.

Вариантом дисплеев на основе эффекта электросмачивания является так называемый электронно-жидкостный, или электрофлюидный, дисплей (ElectroFluidic Display, EFD), предложенный учеными Университета штата Цинциннати. Принцип действия этого дисплея основан на электромеханическом давлении, приводящем к перемещению окрашенной жидкости к прозрачному электроду при подаче электрического импульса. Экран дисплея, как и традиционных дисплеев на e-бумаге, состоит из двух пластин, одна из которых служит прозрачным электродом. Вторая пластина содержит массив микрорезервуаров, содержащих водную дисперсию окрашенных пигментов, которая в обычном состоянии занимает не более 5–10% видимой площади пикселя. В структуру пикселя входит так называемый поверхностный канал, который занимает 80–95% его видимой площади, и окружающий пиксел объемный канал, по которому проходит встречный поток неполярной маслянистой жидкости

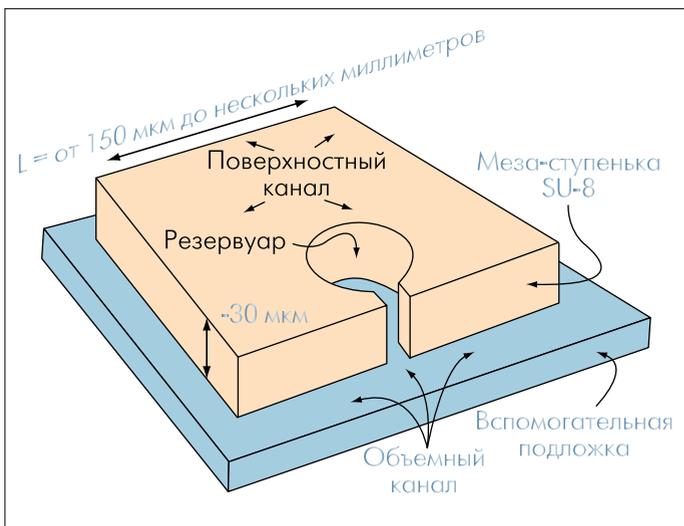


Рис.4. Структура пикселя электронно-жидкостного дисплея

или газа (рис.4). При подаче напряжения водная дисперсия цветного пигмента “выдавливается” из резервуара в поверхностный канал и растекается по нему, окрашивая пиксель. Таким образом, поверхность окрашенного участка может занимать от менее 10% до 90% площади пикселя.

Пока изготовлен черно-белый EFD-дисплей. Но разработчики считают, что создать цветное устройство удастся без проблем. Для этого потребуются два слоя, которые обеспечат субтрактивное цветовоспроизведение на основе СМУ системы.

Испытания опытного образца черно-белого дисплея EFD-типа показали, что его коэффициент отражения составляет 55%, что еще далеко от этого показателя обычной бумаги. Но разработчики полагают возможным достижение коэффициента отражения более 85% (для e-бумаги этот коэффициент равен ~40%, для электросмачиваемых дисплеев – ~50%). В электронно-жидкостном дисплее размер окрашенного участка пикселя в отсутствие напряжения в два-три раза меньше, чем в электросмачиваемом дисплее, а следовательно, его контрастность выше. Время отклика электронно-жидкостного дисплея за счет выбора геометрии и соответствующих значений поверхностного натяжения и вязкости, может составлять от нескольких единиц до десятков миллисекунд, что позволит воспроизводить видео. И еще одно достоинство дисплея нового типа – чрезвычайно малая толщина (15 мкм), благодаря чему он весьма перспективен для изготовления гибких дисплеев.

Массовое производство электронно-жидкостных дисплеев, по утверждению разработчиков, не вызовет затруднений, поскольку при этом достаточно применение традиционных и относительно простых процессов – вакуумного напыления, фотолитографии и жидкостной обработки.

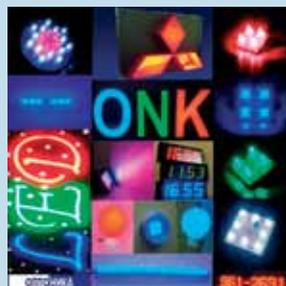
Для коммерциализации электронно-жидкостных дисплеев в начале 2009 года была образована компания Gamma Dynamics (γ-Dynamics). Сейчас компания стремится сни-

зить себестоимость производства EFD до менее 10 долл. за квадратный фут (~107,6 долл. за 1 м<sup>2</sup> дисплея).

Из-за ограниченного объема обзора не удалось рассмотреть еще многие интересные типы дисплеев на основе электронной бумаги, такие как цветные дисплеи на углеродных нанотрубках компаний Samsung Electronics и Unidym, дисплеи на основе фотонных кристаллов, предложенные учеными Университета Торонто, интерферометрические модуляторные дисплеи с МЭМС переключателями, разрабатываемые компанией Qualcomm.

Но все эти технологии – дело будущего. А на сегодняшний день единственный реальный тип дисплея на электронной бумаге – это дисплей на разновидностях e-бумаги, предложенной в свое время компанией E Ink.

### Пример Microsoft заразителен



ООО "НТЦ ОПТОНИКА" объявляет конкурса на представление интересов по защите принадлежащей ей интеллектуальной собственности.

С 1999 года компания "ОПТОНИКА" получила более 50-ти патентов Российской Федерации на изобретения и полезные модели. Все патенты связаны с применением полупроводниковых светодиодов и других оптоэлектронных компонентов. Вот лишь некоторые из них:

- Микроминиатюрный светодиодный проектор;
- Способ изготовления светодиодной лампы;
- Система торцевой подсветки;
- Герметичная светодиодная трубка;
- Волоконно-оптическая люстра со светодиодной "накачкой";
- Способ локального бестеневого освещения растений;
- Универсальный стерилизатор воздуха на излучающих полупроводниковых элементах;
- Светодиодный комбинированный фонарь-целеуказатель;
- Светодиодная лампа для транспортного средства;
- Светодиодная люстра и др.

На протяжении многих лет специалисты фирмы проводили инновационные работы в направлении расширения области применения твердотельных источников света. Но только сейчас они всерьез решили заняться отстаиванием своих прав на результаты интеллектуальной деятельности.

Компания приглашает принять участие в конкурсе все заинтересованные компетентные организации. Ждем предложений!

[optonika@yandex.ru](mailto:optonika@yandex.ru)