

Жидкокристаллические дисплеи. История, принципы работы, преимущества и недостатки

26.10.2000

Антон Пермогоров, info@ferra.ru

Все, что вы давно хотели узнать о ЖК-мониторах, но боялись спросить.

Сейчас технологии плоскочелюстных и жидкокристаллических мониторов являются наиболее перспективными. Хотя в настоящее время на долю ЖК-мониторов приходится лишь около 10% продаж во всем мире, этот сектор рынка является наиболее быстрорастущим (65% в год).

Принцип работы

Экраны LCD (Liquid Crystal Display, жидкокристаллические мониторы) сделаны из вещества (цианофенил), которое находится в жидком состоянии, но при этом обладает некоторыми свойствами, присущими кристаллическим телам. Фактически это жидкости, обладающие анизотропией свойств (в частности, оптических), связанных с упорядоченностью в ориентации молекул.

Как ни странно, но жидкие кристаллы старше ЭЛТ почти на десять лет, первое описание этих веществ было сделано еще в 1888 году. Однако долгое время никто не знал, как их применить на практике: есть такие вещества и все, и никому, кроме физиков и химиков, они не были интересны. Итак, жидкокристаллические материалы были открыты еще в 1888 году австрийским ученым Ф. Ренитцером, но только в 1930-м исследователи из британской корпорации Marconi получили патент на их промышленное применение. Впрочем, дальше этого дело не пошло, поскольку технологическая база в то время была еще слишком слаба. Первый настоящий прорыв совершили ученые Фергесон (Ferguson) и Вильямс (Williams) из корпорации RCA (Radio Corporation of America). Один из них создал на базе жидких кристаллов термодатчик, используя их избирательный отражательный эффект, другой изучал воздействие электрического поля на нематические кристаллы. И вот, в конце 1966 года, корпорация RCA продемонстрировала прототип LCD — цифровые часы. Значительную роль в развитии LCD-технологии сыграла корпорация Sharp. Она и до сих пор находится в числе технологических лидеров. Первый в мире калькулятор CS10A был произведен в 1964 г. именно этой корпорацией. В октябре 1975-го уже по технологии TN LCD были изготовлены первые компактные цифровые часы. Во второй половине 70-х начался переход от восьмисегментных жидкокристаллических индикаторов к производству матриц с адресацией каждой точки. Так, в 1976 году Sharp выпустила черно-белый телевизор с диагональю экрана 5,5 дюйма, выполненного на базе LCD-матрицы разрешением 160x120 пикселей.

Работа ЖКД основана на явлении поляризации светового потока. Известно, что так называемые кристаллы-поляроиды способны пропускать только ту составляющую света, вектор электромагнитной индукции которой лежит в плоскости, параллельной оптической плоскости поляроида. Для оставшейся части светового потока поляроид будет непрозрачным. Таким образом поляроид как бы «просеивает» свет. Этот эффект называется поляризацией света. Когда были изучены жидкие вещества, длинные молекулы которых чувствительны к электростатическому и электромагнитному полю и способны поляризовать свет, появилась возможность управлять поляризацией. Эти аморфные вещества за их схожесть с кристаллическими веществами по

электрооптическим свойствам, а также за способность принимать форму сосуда, назвали жидкими кристаллами.

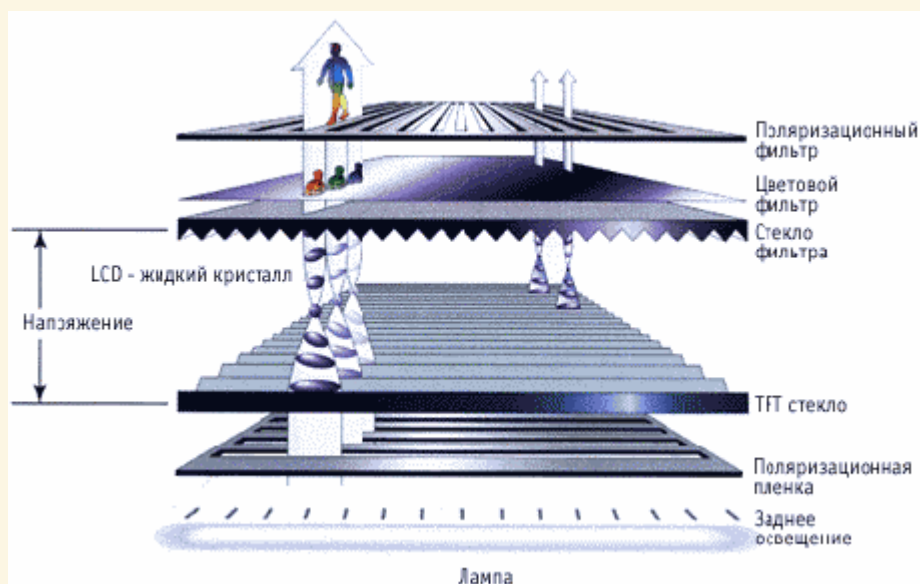


Рисунок 1. Конструкция ЖК-дисплея.

Основываясь на этом открытии и в результате дальнейших исследований стало возможным обнаружить связь между повышением электрического напряжения и изменением ориентации молекул кристаллов для обеспечения создания изображения. Первое свое применение жидкие кристаллы нашли в дисплеях для калькуляторов и в электронных часах, а затем их стали использовать в мониторах для портативных компьютеров. Сегодня, в результате прогресса в этой области, начинают получать все большее распространение LCD для настольных компьютеров.

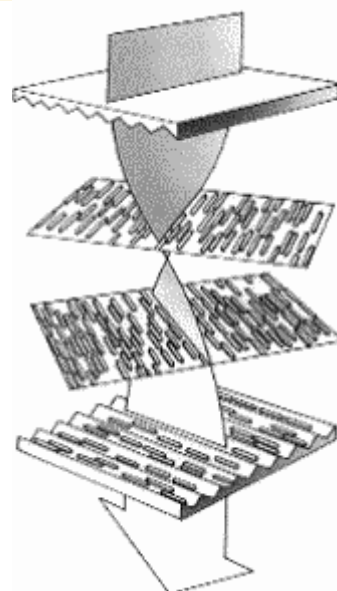


Рисунок 2. Плоскость поляризации.

Экран LCD представляет собой массив маленьких сегментов, называемых пикселями, которыми можно манипулировать для отображения информации. LCD имеет несколько слоев, где ключевую роль играют две панели, сделанные из свободного от натрия и очень чистого стеклянного материала, называемого субстрат или подложка. Слои собственно и содержат тонкий слой жидких кристаллов между собой (см. рис. 1). На панелях имеются бороздки, которые направляют кристаллы, сообщая им специальную ориентацию. Бороздки расположены таким образом, что они параллельны на каждой панели, но перпендикулярны между двумя панелями. Продольные бороздки получаются в результате размещения на стеклянной поверхности тонких пленок из прозрачного пластика, который затем специальным образом обрабатывается. Соприкасаясь с бороздками, молекулы в жидких кристаллах ориентируются одинаково во всех ячейках. Молекулы одной из разновидностей жидких кристаллов (нематиков) при отсутствии напряжения поворачивают вектор электрического (и магнитного) поля в световой волне на некоторый

угол в плоскости, перпендикулярной оси распространения пучка. Нанесение бороздок на поверхность стекла позволяет обеспечить одинаковый угол поворота плоскости поляризации для всех ячеек. Две панели расположены очень близко друг к другу.

Жидкокристаллическая панель освещается источником света (в зависимости от того, где он расположен, жидкокристаллические панели работают на отражение или на прохождение света). Как видно на рисунке 2, плоскость поляризации светового луча поворачивается на 90° при прохождении одной панели. При появлении электрического поля, молекулы жидких кристаллов частично выстраиваются вертикально вдоль поля, угол поворота плоскости поляризации света становится отличным от 90 градусов и свет беспрепятственно проходит через жидкие кристаллы (см. рис. 3).

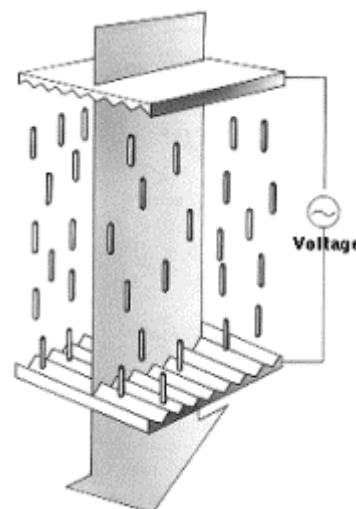


Рисунок 3. Плоскость поляризации.

Поворот плоскости поляризации светового луча незаметен для глаза, поэтому возникла необходимость добавить к стеклянным панелям еще два других слоя, представляющих собой поляризационные фильтры. Эти фильтры пропускают только ту компоненту светового пучка, у которой ось поляризации соответствует заданному. Поэтому при прохождении поляризатора пучок света будет ослаблен в зависимости от угла между его плоскостью поляризации и осью поляризатора. При отсутствии напряжения ячейка прозрачна, так как первый поляризатор пропускает только свет с соответствующим вектором поляризации. Благодаря жидким кристаллам вектор поляризации света поворачивается, и к моменту прохождения пучка ко второму поляризатору он уже повернут так, что проходит через второй поляризатор без проблем (см. рис. 4а).

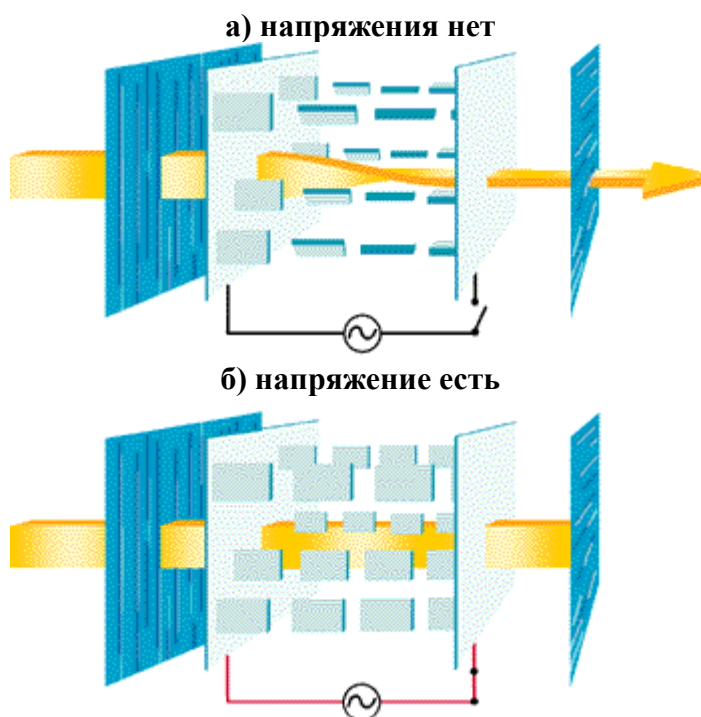


Рисунок 4. Поляризация светового луча.

В присутствии электрического поля поворота вектора поляризации происходит на меньший угол, тем самым второй поляризатор становится только частично прозрачным для излучения. Если разность потенциалов будет такой, что поворота плоскости поляризации в жидких кристаллах не произойдет совсем, то световой луч будет полностью поглощен вторым поляризатором, и экран при освещении сзади будет спереди казаться черным (лучи подсветки поглощаются в экране полностью) (см. рис. 4б). Если расположить большое число электродов, которые создают разные электрические поля в отдельных местах экрана (ячейки), то появится возможность при правильном управлении потенциалами этих электродов отображать на экране буквы и другие элементы изображения. Электроды помещаются в прозрачный пластик и могут принимать любую форму. Технологические новшества позволили ограничить их размеры величиной маленькой точки, соответственно на одной и той же площади экрана можно расположить большее число электродов, что увеличивает разрешение LCD-монитора, и позволяет нам отображать даже сложные изображения в цвете. Для вывода цветного изображения необходима подсветка монитора сзади, таким образом, чтобы свет исходил из задней части LCD. Это необходимо для того, чтобы можно было наблюдать изображение с хорошим качеством, даже если окружающая среда не является светлой. Цвет получается в результате использования трех фильтров, которые выделяют из излучения источника белого света три основные компоненты. Комбинируя три основных цвета для каждой точки или пикселя экрана, появляется возможность воспроизвести любой цвет. Вообще-то в случае с цветом несколько возможностей: можно сделать несколько фильтров друг за другом (приводит к малой доле проходящего излучения), можно воспользоваться свойством жидкокристаллической ячейки - при изменении напряженности электрического поля угол поворота плоскости поляризации излучения изменяется по-разному для компонент света с разной длиной волны. Эту особенность можно использовать для того, чтобы отражать (или поглощать) излучение заданной длины волны (проблема состоит в необходимости точно и быстро изменять напряжение). Какой именно механизм используется, зависит от конкретного производителя. Первый метод проще, второй эффективнее.

Первые LCD были очень маленькими, около 8 дюймов по диагонали, в то время как сегодня они достигли 15-дюймовых размеров для использования в ноутбуках, а для настольных компьютеров производятся LCD с диагональю 20-дюймов и более. Вслед за увеличением размеров следует увеличение разрешения, следствием чего является появление новых проблем, которые были решены с помощью появившихся специальных технологий, все это мы опишем далее. Одной из первых проблем была необходимость стандарта в определении качества отображения при высоких разрешениях. Первым шагом на пути к цели было увеличение угла поворота плоскости поляризации света в кристаллах с 90° до 270° с помощью STN технологии.

Технологии STN, DSTN, TFT, S-TFT

STN — сокращение от Super Twisted Nematic. Технология STN позволяет увеличить торсионный угол (угол кручения) ориентации кристаллов внутри LCD с 90° до 270° , что обеспечивает лучшую контрастность изображения при увеличении размеров монитора.

Часто STN ячейки используются в паре. Такая конструкция называется DSTN (Double Super Twisted Nematic), в которой одна двухслойная DSTN-ячейка состоит из 2 STN-ячеек, молекулы которых при работе поворачиваются в противоположные стороны. Свет, проходя через такую конструкцию в «запертом» состоянии, теряет большую часть своей энергии. Контрастность и разрешающая способность DSTN достаточно высокая, поэтому появилась возможность изготовить цветной дисплей, в котором на каждый пиксель приходится три ЖК-ячейки и три оптических фильтра основных цветов. Цветные дисплеи

не способны работать от отраженного света, поэтому лампа задней подсветки -- их обязательный атрибут. Для сокращения габаритов лампа находится с боку, а напротив нее зеркало (см. рис. 5), поэтому большинство LCD-матриц в центре имеют яркость выше, чем по краям (это не относится к настольным ЖК мониторам).

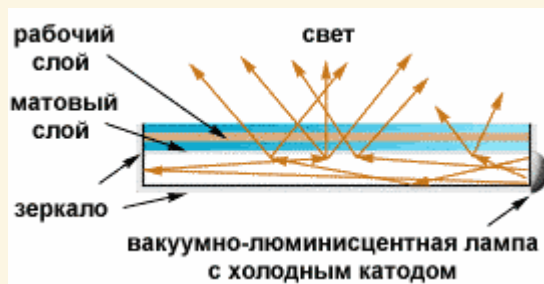


Рисунок 5. Конструкция ЖК-матрицы.

Также STN ячейки используются в режиме TSTN (Triple Super Twisted Nematic), когда два тонких слоя полимерной пленки добавляются для улучшения цветопередачи цветных дисплеев или для обеспечения хорошего качества монохромных мониторов.

Термин пассивная матрица (passive matrix) появился в результате деления монитора на точки, каждая из которых, благодаря электродам, может задавать ориентацию плоскости поляризации луча, независимо от остальных, так что в результате каждый такой элемент может быть подсвечен индивидуально для создания изображения. Матрица называется пассивной, потому что технология создания LCD дисплеев, которая была описана выше, не может обеспечить быструю смену информации на экране. Изображение формируется строка за строкой путем последовательного подвода управляющего напряжения на отдельные ячейки, делающего их прозрачными. Из-за довольно большой электрической емкости ячеек напряжение на них не может изменяться достаточно быстро, поэтому обновление картинки происходит медленно. Такой дисплей имеет много недостатков с точки зрения качества, потому что изображение не отображается плавно и дрожит на экране. Маленькая скорость изменения прозрачности кристаллов не позволяет правильно отображать движущиеся изображения.

Для решения части вышеописанных проблем применяют специальные технологии. Для улучшения качества динамического изображения было предложено увеличить количество управляющих электродов. То есть вся матрица разбивается на несколько независимых подматриц (Dual Scan DSTN — два независимых поля развертки изображения), каждая из которых содержит меньшее количество пикселей, поэтому поочередное управление ими занимает меньше времени. В результате чего можно сократить время инерции ЖК.

Также лучших результатов с точки зрения стабильности, качества, разрешения, гладкости и яркости изображения можно добиться, используя экраны с активной матрицей, которые, впрочем, стоят дороже.

В активной матрице (active matrix) используются отдельные усилительные элементы для каждой ячейки экрана, компенсирующие влияние емкости ячеек и позволяющие значительно уменьшить время изменения их прозрачности. Активная матрица (active matrix) имеет массу преимуществ по сравнению с пассивной матрицей. Например, лучшая яркость и возможность смотреть на экран даже с отклонением до 45° и более (то есть при угле обзора $120-140^\circ$) без ущерба качеству изображения, что невозможно в случае с пассивной матрицей, которая позволяет видеть качественное изображение только с фронтальной позиции по отношению к экрану. Заметим, что дорогие модели LCD мониторов с активной матрицей обеспечивают угол обзора в 160° (см рис. 6), и есть все основания предполагать, что технология будет совершенствоваться и в дальнейшем.

Активная матрица может отображать движущиеся изображения без видимого дрожания, так как время реакции дисплея с активной матрицей около 50 мс против 300 мс для пассивной матрицы, кроме того, контрастность мониторов с активной матрицей выше, чем у ЭЛТ-мониторов. Следует отметить, что яркость отдельного элемента экрана остается неизменной на всем интервале времени между обновлениями картинки, а не представляет собой короткий импульс света, излучаемый элементом люминофором ЭЛТ-монитора сразу после похождения по этому элементу электронного луча. Именно поэтому для LCD мониторов достаточной является частота вертикальной развертки, равная 60 Гц.

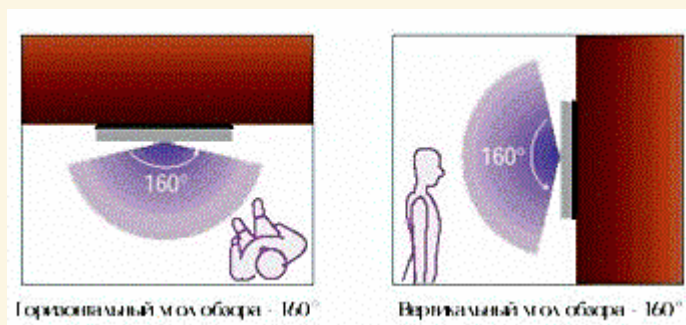


Рисунок 6. Угол обзора ЖК-мониторов.

Функциональные возможности LCD-мониторов с активной матрицей почти такие же, как у дисплеев с пассивной матрицей. Разница заключается в матрице электродов, которая управляет ячейками жидких кристаллов дисплея. В случае с пассивной матрицей разные электроды получают электрический заряд циклическим методом при построчном обновлении дисплея, а в результате разряда емкостей элементов изображение исчезает, так как кристаллы возвращаются к своей изначальной конфигурации. В случае с активной матрицей к каждому электроду добавлен запоминающий транзистор, который может хранить цифровую информацию (двоичные значения 0 или 1) и в результате изображение сохраняется до тех пор, пока не поступит другой сигнал. Частично проблема отсрочки затухания изображения в пассивных матрицах решается за счет использования большего числа жидкокристаллических слоев для увеличения пассивности и уменьшения перемещений, теперь же, при использовании активных матриц появилась возможность сократить число жидкокристаллических слоев. Запоминающие транзисторы должны производиться из прозрачных материалов, что позволит световому лучу проходить сквозь них, а значит, транзисторы можно располагать на тыльной части дисплея, на стеклянной панели, которая содержит жидкие кристаллы. Для этих целей используются пластиковые пленки, называемые Thin Film Transistor (или просто TFT).

Thin Film Transistor (TFT), то есть тонкопленочный транзистор, это те управляющие элементы, при помощи которых контролируется каждый пиксель на экране. Тонкопленочный транзистор действительно очень тонкий, его толщина 0,1–0,01 мкм.

В первых TFT-дисплеях, появившихся в 1972 году, использовался селенид кадмия, обладающий высокой подвижностью электронов и поддерживающий высокую плотность тока, но со временем был осуществлен переход на аморфный кремний (a-Si), а в матрицах с высоким разрешением используется поликристаллический кремний (p-Si).

Технология создания TFT очень сложна, при этом имеются трудности с достижением приемлемого процента годных изделий из-за того, что число используемых транзисторов очень велико. Заметим, что монитор, который может отображать изображение с разрешением 800x600 пикселей в режиме SVGA и только с тремя цветами имеет 1440000 отдельных транзисторов. Производители устанавливают нормы на предельное количество транзисторов, которые могут быть нерабочими в LCD-панели. Правда, у каждого производителя свое мнение о том, какое количество транзисторов могут не работать.

Пиксель на основе TFT устроен следующим образом: в стеклянной пластине друг за другом интегрировано три цветных фильтра (красный, зеленый и синий). Каждый пиксель представляет собой комбинацию трех цветных ячеек или субпиксельных элементов (см. рис. 7). Это означает, например, что у дисплея, имеющего разрешение 1280x1024, существует ровно 3840x1024 транзистора и субпиксельных элемента. Размер точки (пикселя) для 15,1-дюймового дисплея TFT (1024x768) приблизительно равен 0,0188 дюйма (или 0,3 мм), а для 18,1-дюймового дисплея TFT — около 0,011 дюйма (или 0,28 мм).

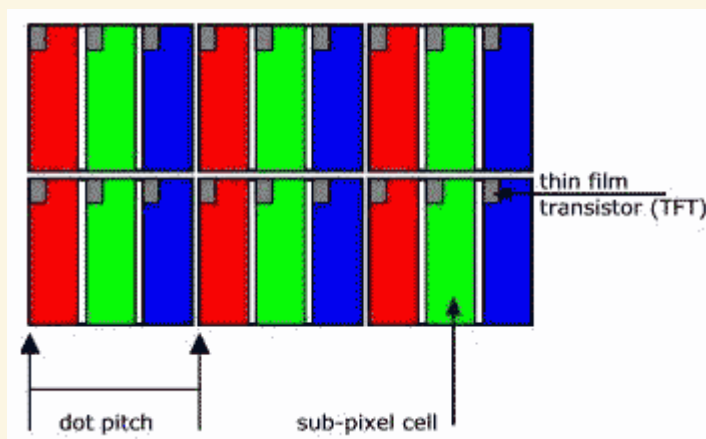


Рисунок 7. Конструкция TFT.

TFT обладают рядом преимуществ перед ЭЛТ-мониторами, среди которых — пониженное потребление энергии и теплоотдача, плоский экран и отсутствие следа от движущихся объектов. Последние разработки позволяют получить изображение более высокого качества, чем обычные TFT.

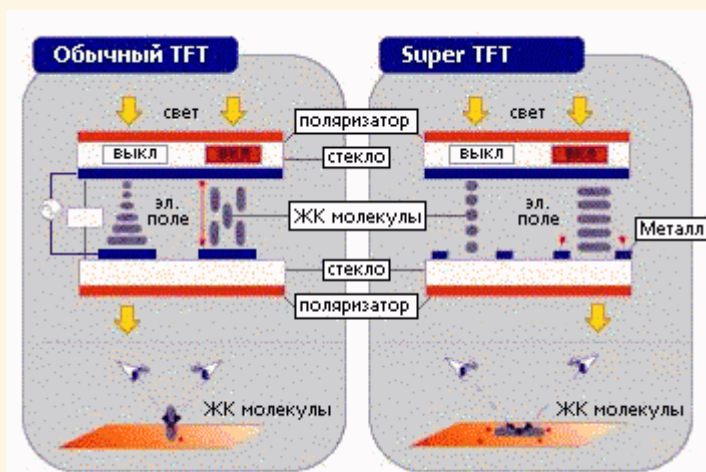


Рисунок 8. Конструкция S-TFT.

Совсем недавно специалистами компании Hitachi была создана новая технология многослойных ЖК-панелей Super TFT, которая значительно увеличила угол уверенного обзора ЖК панели. Технология Super TFT использует простые металлические электроды, установленные на нижней стеклянной пластине и заставляет молекулы вращаться, постоянно находясь в плоскости, параллельной плоскости экрана (см. рис. 8). Так как кристаллы обычной ЖК-панели поворачиваются к поверхности экрана оконечностями, то такие ЖКД более зависимы от угла зрения, чем ЖК-панели Hitachi с технологией Super TFT. В результате изображение на дисплее остается ярким и четким даже при больших углах обзора, достигая качества, сопоставимого с изображением на ЭЛТ-экране.

Японская компания NEC недавно объявила, что по качеству изображения ее LCD дисплеи вскоре достигнут уровня лазерных принтеров, перешагнув порог в 200 ppi, что соответствует 31 точке на квадратный мм, или шагу точек 0,18 мм. Как сообщили в NEC, применяемые сегодня многими производителями жидкие кристаллы TN (twisted nematic) позволяет строить дисплеи с разрешением до 400 точек на дюйм. Однако главным сдерживающим фактором в повышении разрешения является необходимость создания соответствующих светофильтров. В новой технологии «color filter on TFT» светофильтры, закрывающие тонкопленочные транзисторы, формируются с помощью фотолитографии на нижней стеклянной подложке. В обычных дисплеях светофильтры наносятся на вторую, верхнюю подложку, что требует очень точного совмещения двух пластин.

На прошедшей в 1999 году в США конференции «Society for information Display» было сделано несколько докладов, свидетельствующих об успехах в создании жидкокристаллических дисплеев на пластиковой подложке. Компания Samsung представила прототип монохромного дисплея на полимерном субстрате с диагональю 5,9 дюйма и толщиной 0,5 мм. Толщина самой подложки составляет около 0,12 мм. Дисплей имеет разрешение 480x320 точек и контрастность 4:1. Вес — всего 10 грамм.

Инженеры из Лаборатории кинотехники Университете Штуттгарта использовали не тонкопленочные транзисторы (TFT), а диоды MIM (металл-изолятор-металл). Последнее достижение этой команды — двухдюймовый цветной дисплей с разрешением 96x128 точек и коэффициентом контрастности 10:1.

Группа специалистов IBM разработала технологию производства тонкопленочных транзисторов с применением органических материалов, позволяющую изготавливать гибкие экраны для электронной книги и других устройств. Элементы разработанных IBM транзисторов напыляются на пластиковую подложку при комнатной температуре (традиционные LCD-дисплеи изготавливаются при высокой температуре, что исключает применение органических материалов). Вместо обычного диоксида кремния для изготовления затвора используется цирконат титоната бария (BZT). В качестве полупроводника применяется органическое вещество под названием пентацен (pentacene), представляющее собой соединение фенилэтиламмония с иодидом олова.

Для повышения разрешения LCD-экранов компания Displaytech предложила не создавать изображение на поверхности большого LCD-экрана, а вывести картинку на маленький дисплей высокого разрешения, а затем с помощью оптической проекционной системы увеличить ее до нужных размеров. При этом Displaytech использовала оригинальную технологию Ferroelectric LCD (FLCD). Она основана на так называемых кирально-сметических жидких кристаллах, предложенных для использования еще в 1980 г. Слой материала, обладающего ферроэлектрическими свойствами и способного отражать поляризованный свет с вращением плоскости поляризации, наносится на подающую управляющие сигналы CMOS-подложку. При прохождении отраженного светового потока через второй поляризатор возникает картинка из темных и светлых пикселей. Цветное изображение получается за счет быстрого чередования освещения матрицы красным, зеленым и синим светом. На базе FLCD-матриц можно производить экраны большого размера с высокой контрастностью и качеством цветопередачи, с широкими углами обзора и малым временем отклика. В 1999 году альянс корпораций Hewlett-Packard и DisplayTech объявил о создании полноцветного микродисплея на базе технологии FLCD. Разрешение матрицы составляет 320x240 точек. Отличительными особенностями устройства являются малое энергопотребление и возможность воспроизведения полноцветного «живого» видео. Новый дисплей предназначен для использования в цифровых камерах, камкодерах, портативных коммуникаторах и мониторах для надеваемых компьютеров.

Развитием низкотемпературной технологии с использованием поликристаллического кремния LTPS занимается Toshiba. По словам представителей этой корпорации, они позиционируют новые устройства пока только как предназначенные для рынка мобильных устройств, не включая сюда ноутбуки, где господствует технология a-Si TFT. Уже выпускаются VGA-дисплеи размером 4 дюйма, а на подходе 5,8-дюймовые матрицы. Специалисты полагают, что 2 млн. пикселей на экране — это далеко не предел. Одной из отличительных черт данной технологии является высокая разрешающая способность.

По оценкам экспертов корпорации DisplaySearch, занимающейся исследованиями рынка плоских дисплеев, в настоящее время при изготовлении практически любых жидкокристаллических матриц происходит замена технологий: TN LCD (Twisted Nematic Liquid Crystal Display) на STN (Super TN LCD) и особенно на a-Si TFT LCD (amorphous-Silicon Thin Film Transistor LCD). В ближайшие 5—7 лет во многих областях применения обычные LCD-экраны будут заменены или дополнены следующими устройствами:

- микродисплеи;
- светоизлучающие дисплеи на базе органических материалов - LEP;
- дисплеи на базе автоэлектронной эмиссии - FED (Field Emission Display);
- дисплеи с использованием низкотемпературного поликристаллического кремния LTPS (Low Temperature PolySilicon);
- плазменные дисплеи PDP (Plasma Display Panel).

Преимущества и недостатки ЖК-мониторов

Среди преимуществ TFT можно отметить отличную фокусировку, отсутствие геометрических искажений и ошибок совмещения цветов. Кроме того, у них никогда не мерцает экран. Почему? Ответ прост — в этих дисплеях не используется электронный луч, рисующий слева направо каждую строку на экране. Когда в ЭЛТ этот луч переводится из правого нижнего в левый верхний угол, изображение на мгновение гаснет (обратный ход луча). Напротив, пиксели дисплея TFT никогда не гаснут, они просто непрерывно меняют интенсивность своего свечения. В таблице показаны все главные отличия рабочих характеристик для разных типов дисплеев:

Условные обозначения: (+) достоинство, (~) допустимо, (-) недостаток		
	ЖК-мониторы	ЭЛТ-мониторы
		
Яркость	(+) от 170 до 250 кд/м ²	(~) от 80 до 120 кд/м ²
Контрастность	(~) от 200:1 до 400:1	(+) от 350:1 до 700:1
Угол обзора (по контрасту)	(~) от 110 до 170 градусов	(+) свыше 150 градусов
Угол обзора (по цвету)	(-) от 50 до 125 градусов	(~) свыше 120 градусов
Разрешение	(-) Одно разрешение с фиксированным размером пикселей. Оптимально можно	(+) Поддерживаются различные разрешения. При всех поддерживаемых разрешениях

	использовать только в этом разрешении; в зависимости от поддерживаемых функций расширения или компрессии можно использовать более высокое или более низкое разрешение, но они не оптимальны.	монитор можно использовать оптимальным образом. Ограничение накладывается только приемлемостью частоты регенерации.
Частота вертикальной развертки	(+) Оптимальная частота 60 Гц, чего достаточно для отсутствия мерцания	(~) Только при частотах свыше 75 Гц отсутствует явно заметное мерцание
Ошибки совмещения цветов	(+) нет	(~) от 0.0079 до 0.0118 дюйма (0.20 - 0.30 мм)
Фокусировка	(+) абсолютная	(~) от удовлетворительной до очень хорошей>
Геометрические/линейные искажения	(+) нет	(~) возможны
Неработающие пиксели	(-) до 8	(+) нет
Входной сигнал	(+) аналоговый или цифровой	(~) только аналоговый
Масштабирование при разных разрешениях	(-) отсутствует или используются методы интерполяции, не требующие больших накладных расходов	(+) очень хорошее
Точность отображения цвета	(~) Поддерживается True Color и имитируется требуемая цветовая температура	(+) Поддерживается True Color и при этом на рынке имеется масса устройств калибровки цвета, что является несомненным плюсом
Гамма-коррекция (подстройка цвета под особенности человеческого зрения)	(~) удовлетворительная	(+) фотореалистичная
Однородность	(~) часто изображение ярче по краям	(~) часто изображение ярче в центре
Чистота цвета/качество цвета	(~) хорошее	(+) высокое
Мерцание	(+) нет	(~) незаметно на частоте выше 85 Гц
Время инерции	(-) от 20 до 30 мс	(+) пренебрежительно мало
Формирование изображения	(+) Изображение формируется пикселями, число которых зависят только от конкретного разрешения LCD-панели. Шаг пикселей зависит только от размера самих пикселей, но не от расстояния между ними.	(~) Пиксели формируются группой точек (триады) или полосок. Шаг точки или линии зависит от расстояния между точками или линиями одного цвета. В результате четкость и ясность изображения сильно

	Каждый пиксель формируется индивидуально, что обеспечивает великолепную фокусировку, ясность и четкость. Изображение получается более целостным и гладким	зависит от размера шага точки или шага линии и от качества ЭЛТ
Энергопотребление и излучения	(+) Практически никаких опасных электромагнитных излучений нет. Уровень потребления энергии примерно на 70% ниже, чем у стандартных CRT мониторов (от 25 до 40 Вт).	(-) Всегда присутствует электромагнитное излучение, однако их уровень зависит от того, соответствует ли ЭЛТ какому-либо стандарту безопасности. Потребление энергии в рабочем состоянии на уровне 60–150 Вт.
Размеры/вес	(+) компактный, уплощенный дизайн, малый вес	(-) тяжелая конструкция, занимает много места
Интерфейс монитора	(+) Цифровой интерфейс, однако, большинство LCD мониторов имеют встроенный аналоговый интерфейс для подключения к наиболее распространенным аналоговым выходам видеоадаптеров	(-) Аналоговый интерфейс

Отсюда следует, что дальнейшее развитие ЖК-мониторов будет связано с повышением четкости и яркости изображения, увеличением угла обзора и уменьшением толщины экрана. Так, например, уже существуют перспективные разработки LCD-мониторов, выполненных по технологии с использованием поликристаллического кремния. Это позволяет, в частности, создавать очень тонкие устройства, поскольку микросхемы управления размещаются в этом случае непосредственно на стеклянной подложке дисплея. Кроме того, новая технология обеспечивает высокую разрешающую способность на сравнительно небольшом по размеру экране (1024x768 точек на 10,4-дюймовом экране).