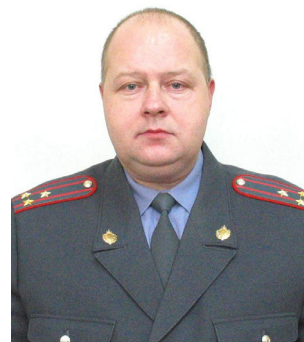




Курчаткин Сергей Петрович,
доктор химических наук,
старший эксперт
государственного
учреждения Саратовская
лаборатория судебной
экспертизы Минюста России



Павлов Валерий Анатольевич,
доктор химических наук,
старший эксперт
государственного
учреждения Саратовская
лаборатория судебной
экспертизы Минюста России



Стальмахов Андрей Всеволодович,
доктор физико-
математических наук,
профессор,
профессор кафедры
уголовного процесса и
криминалистики
Белгородского
государственного
университета

ОБОБЩЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ ПРАКТИКИ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЖИДКО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ДИСПЛЕЕВ

В статье описаны конструктивное исполнение и принцип работы ЖК-дисплеев. На основе экспертной оценки практики выделяются и описываются наиболее типичные и часто встречающиеся дефекты и механизм их возникновения, даются методы диагностирования.

Kurchatkin S. P., Pavlov V.A., Stalmakhov A. V. CASEWORK REVIEW IN THE FIELD OF FORENSIC EXAMINATION OF LCDS

The article reviews embodiment and operating principle of LCDs. Based on the peer review of casework, typical most common defects and their mechanism are highlighted and described, and diagnostics techniques are given in the article.

Прогресс в области технологий жидкокристаллических (ЖК) дисплеев (распространенная аббревиатура LCD – liquid crystal display), широкое применение дисплеев в устройствах самого различного назначения, обуславливает их частую встречаемость в качестве объектов экспертного исследования. В настоящей работе, на основании анализа наблюдательных производств экспер-

тиз, проведенных в ГУ СЛСЭ за последние 3 года, рассмотрены типичные дефекты ЖК-дисплеев, механизмы их образования и некоторые приемы диагностики.

Краткие сведения по ЖК-дисплеям

Конструктивное исполнение наиболее простого ЖК-дисплея [1] показано на рис.1.

Корпус – плоский капилляр – образован двумя полированными стеклянными пластинами, склеенными по периметру. На внутренней стороне каждой из пластин по планарным технологиям сформирована структура из нескольких прозрачных функциональных слоев: пассивирующий слой (служит для предотвращения диффузии ионов щелочных металлов из стекла); электродный слой (служит для приложения управляющего электрического поля к слою ЖК); ориентирующий диэлектрический слой (определяет однородную граничную ориентацию молекул ЖК). Для ЖК-дисплеев с большой информационной емкостью (матричных экранов), электродный рисунок имеет вид строк на одной из пластин и столбцов на другой пластине соответственно. Пересечение строки и столбца на информационном поле дисплея образует элемент индикации – пиксель.

Строго заданное (допуск 0,05 мкм) расстояние между стеклянными пластинами обеспечивают т.н. спейсеры – полимерные или кремниевые микросферы диаметром 4...10 мкм. На внешних поверхностях стеклянных пластин наклеены пленочные элементы, включающие в себя оптические поляризаторы, компенсаторы, отражающие и антибликовые структуры.

Ориентацию палочкообразных молекул ЖК на поверхностях задают таким образом, что структура жидкого кристалла в объеме плоского капилляра, в отсутствие приложенного внешнего электрического поля, является закрученной (90° – твист-структура; 180...240° – супертвист-структура). Такие структуры обладают способностью вращения плоскости поляризации проходящего света. В случае приложения переменного электрического поля к слою ЖК закрученная структура деформируется, молекулы ЖК ориентируются по силовым линиям электрического поля и режим вращения плоскости поляризации нарушается. При снятии внешнего электрического поля ЖК, за счет ориентационной упругости, восстанавливает закрученную структуру.

В зависимости от того, как ориентированы плоскости поляризации внешних пленочных поляризаторов на дисплее, переход от включенного к выключенному состоянию пикселя будет характеризоваться изменением пропускания (от темного состояния – к светлomu, или наоборот).

Таковы, в самых общих чертах, конструкция и принцип действия монохромного (черно-белого) дисплея. Полноцветная индикация в ЖК-дисплеях в большинстве случаев реализуется за счет дополнительной матрицы микросветфильтров (красного, зеленого и синего цвета), которая формируется на внутренней стороне одной из стеклянных пластин. В этом случае каждый пиксель изображения состоит из нескольких, как правило, 3-х субпикселей – красного, зеленого, синего.

Электрические сигналы на строки и столбцы подаются от внешнего устройства управления. Микросхемы управления могут размещаться на внешних печатных платах, снаружи на пластинах дисплея или на присоединительном шлейфе. Такой тип дисплеев называют пассивным.

Высокое разрешение (графическое или телевизионное) реализуется в т.н. активных дисплеях на TFT-матрицах, в которых каждый субпиксель управляется тонкопленочным полевым транзистором (TFT – thin film transistor). При этом матрица тонкопленочных транзисторов формируется непосредственно на одной из стеклянных пластин дисплея по технологии сверхбольших микросхем. Технологический маршрут изготовления TFT-матрицы включает в себя процессы формирования слоев из различных материалов, и соответственно, многократные процессы прецизионной фотолитографии.

Непосредственно в изделиях ЖК-дисплей применяется в составе дисплейного модуля. Модуль представляет собой функциональный блок и включает в себя, помимо дисплея, подсветку, схему управления, а также детали конструкции, обеспечивающие крепление указанных элементов и сообщающие дополнительную прочность устройству.

Дефектообразования в ЖК-дисплеях

Механическое разрушение стеклянных пластин

Данный вид дефектов наиболее часто встречается в экспертной практике и, в подавляющем большинстве случаев, связан с приложением внешнего механического воздействия, превышающего предел прочности стеклянных пластин корпуса дисплея.

В отношении механического разрушения, как возможного проявления скрытого производственного дефекта необходимо от-

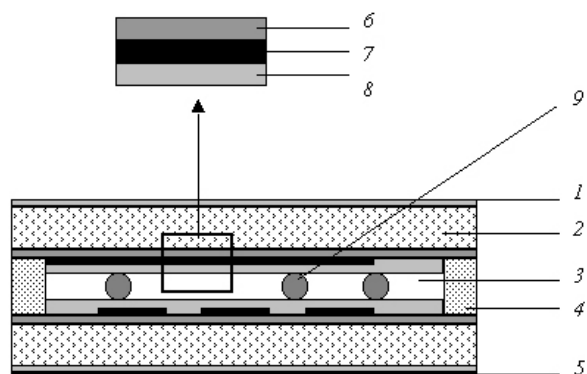


Рис. 1. Конструкция ЖК-индикатора в плоском капиллярном исполнении: 1 – верхний поляризатор; 2 – стеклянная подложка; 3 – слой ЖК; 4 – герметик; 5 – нижний поляризатор (с диффузным зеркалом); 6 – пассивирующий слой; 7 – прозрачный электрод; 8 – ориентирующий слой; 9 – спейсеры.

метить следующее. Сам принцип действия ЖК-дисплеев предполагает применение оптически изотропных полированных стекол, поэтому причины саморазрушения, связанные с внутренними механическими напряжениями в стеклах, из рассмотрения исключаются. Существует вероятность образования микротрещин на краях при резке (скрайбировании) стекол из-за дефектов инструмента, однако, выявление или развитие этих микротрещин практически неизбежно на последующих технологических этапах, предполагающих, кроме контрольных операций, неоднократное приложение механического давления на корпус дисплея, например, при наклеивании внешних пленочных элементов. Отметим, что по периметру корпуса поверхности пластин, как правило, подвергаются дополнительной защите нанесением жидкого, отверждаемого компаунда, который неизбежно проникает в любые микротрещины, и может быть выявлен при микроскопическом исследовании поверхностей разделения, в том случае, если разрушение стекла произошло из-за развития краевой трещины.

Характер разрушения стекол в дисплеях имеет свои особенности, обусловленные конструкцией корпуса (две плоскопараллельные пластины со спейсерами и слоем жидкого кристалла между ними). Существенно влияет и то, что с внешних сторон стекла оклеены пленочными элементами. Распределение механических напряжений в стеклах при внешнем воздействии зависит и от способа

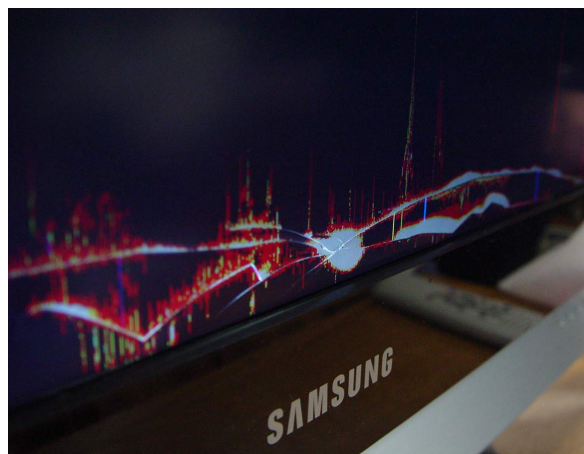


Рис.2. Внешний вид фрагмента ЖК-дисплея диагональю 32 дюйма с разрушенной нижней пластиной.

крепления дисплея в изделии: воспринимается ли давление всей плоскостью дисплея или только его периметром.

В первом случае концентрированное давление на лицевую поверхность может привести к разрушению спейсеров и локальному уменьшению расстояния между пластинами (толщины слоя ЖК) без разрушения самих пластин. Этот эффект проявляется в виде диффузной, более темной или светлой области на информационном поле дисплея. При микроскопическом исследовании указанной области в слое ЖК наблюдаются мелкодисперсные частицы – результат разрушения хрупких микросфер спейсеров, либо деформированные (увеличенного в плане диаметра) спейсеры из полимерных материалов. Механическое воздействие на лицевую поверхность дисплея (удар), может вызвать разрушение в виде ветвящихся трещин в стекле (рис.2), и, как следствие, образование воздушных пустот в слое ЖК, обрывы и замыкания части токоведущих дорожек. Заметим, что в этом случае микроскопические повреждения на достаточно твердой внешней поверхности пленки поляризатора могут и не наблюдаться.

Во втором случае, в варианте рамочного держателя дисплея, при внешнем давлении в нижней пластине дисплея возникают растягивающие напряжения, концентрация которых оказывается наибольшей возле одного из краев пластины. При этом участок разветвления трещины в стекле может нахо-

Класс стандарта ISO 13406-2	I	II	III	IV
Количество постоянно светящихся пикселей (белых)	0	2	5	50
Количество «мертвых» пикселей (черных)	0	2	15	150
Количество дефектных субпикселей (красных, синих и зеленых)	0	5	50	500

диться за контуром герметизирующего слоя по периметру дисплея, например, на контактной площадке, т.е. в том месте, где приложение внешнего механического воздействия в принципе исключено (рис.3, 4).

При внешнем механическом воздействии (давлении) на лицевую поверхность дисплея, как правило, происходит разрушение нижней пластины, что связано с тем обстоятельством, что предел прочности стекла на растяжение существенно ниже, чем на сжатие [2].

При исследовании конкретного устройства необходимо иметь в виду многообразие возможных эксплуатационных воздействий на ЖК-дисплей, что, с учетом различных вариантов конструктивного исполнения дисплейных модулей, может иметь следствием характер разрушений стекол дисплеев, отличающийся от рассмотренных выше.

Дефектные пиксели

Как уже было сказано выше, изображение формируется из матрицы элементов изображения – пикселей. Например, экран монитора SyncMaster 740N состоит из 1 310 720 цветных пикселей (1024 строки и 1280 столбцов).

В случае дефекта какого-либо компонента элемента изображения, например, транзистора – субпиксель становится неуправляемым. При этом физически возможно как постоянно прозрачное – «включенное», так и постоянно непрозрачное – «выключенное». Неисправность транзистора, как правило, обусловлена дефектами фотолитографии. Заметим, что анализ дефектов в топологии ЖК-дисплеев возможен только с помощью специального оборудования и предполагает разрушение дисплея.

Качество TFT-матриц оценивается количеством дефектных пикселей в единицах на миллион - PPM (parts per. million). Международный стандарт ISO 13406-2, под действие которого подпадают устройства с ЖК-

дисплеями, определяет предельные значения количества дефектных пикселей на миллион. Как видно из таблицы, ЖК-дисплеи делятся на четыре класса. Предельные значения дефектных пикселей приведены в таблице 1.

В сопроводительной документации на ЖК-дисплей, как правило, указывается класс дисплея, т.е. допустимое количество дефектных пикселей.

В экспертной практике термин «дефект» понимается в трактовке ГОСТ 15467-79, как «каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям». По этой причине, на основании требований стандартов, ЖК-дисплей, в котором количество дефектных пикселей или субпикселей не превышает норму для указанного в сопроводительной документации на дисплей класса стандарта ISO 13406-2 – дефектным не является.

Дефекты подсветки

Одним из дефектов изделий с ЖК-дисплеями, необходимость идентификации которых встречается в экспертной практике, является дефект подсветки. ЖК-модули, в зависимости от назначения могут включать в себя различные типы подсветок. Для подсветки монохромных, небольших по размерам дисплеев (обычные телефоны, радиотелефоны и т.п.) – применяются малогабаритные лампы накаливания, светодиоды. Для обеспечения необходимых технических характеристик – яркости, равномерности по площади, углов наблюдения – подсветка выполняется в виде оптического блока, состоящего из одного или нескольких источников света, отражателя и рассеивателей. При выходе из строя одного из нескольких источников света подсветка изображения на экране становится неоднородной. При этом изменение яркости от одной области экрана к другой происходит плавно. Питание ламп накаливания и светодиодов, как правило, осуществляется постоянным током и схемотехнических

особенностей не имеет.

В оптических блоках подсветок цветных дисплеев используются люминесцентные лампы с холодным катодом (CCFL – Cold Cathode Fluorescent Lamp). Количество, размеры и мощность ламп зависит от размеров экрана. Соответственно, имеют различия схемы питания ламп, так называемых «инверторов». Инвертор должен обеспечить поджиг и стабильное свечение лампы в течение всего срока службы. Параметры CCFL могут изменяться при старении. CCFL питают переменным напряжением частотой 40-80 кГц, рабочее напряжение 500-800 В, напряжение поджига 800-1500 В.

В состав любого инвертора входят: импульсный преобразователь; широтно-импульсный модулятор (ШИМ); схема запуска и защиты от перегрузки. Описание работы инверторов и их диагностика имеется в специальной справочной литературе [4-5].

Дефекты управления

Наиболее сложными для диагностики и определения характера причин возникновения являются дефекты, связанные со схемами управления и передачей управляющих сигналов на ЖК-дисплеи. Это обстоятельство обусловлено спецификой принципов управления, разнообразием конструкций и особенностями технологии изготовления ЖК-дисплеев и модулей.

Первыми, получившими массовое распространение, являлись сегментные ЖК-дисплеи. В таких дисплеях прозрачный проводящий рисунок на внутренней поверхности одной из стеклянных пластин («знаковой») формируется в виде стилизованной цифры

«8», состоящей из 7 сегментов. Прозрачный проводящий рисунок на другой стеклянной пластине («сигнальной») повторяет рисунок одинаковых по расположению сегментов всех цифр дисплея. Конструкция сегментных дисплеев описана в [1]. ЖК-модуль с использованием сегментного дисплея состоит из собственно дисплея, печатной платы с установленными на ней радиоэлементами. Электрическое соединение выводов дисплея с контактными площадками печатной платы осуществляется прижимом через анизотропно-проводящую резину, т.н. «зебру». В случае нарушения электрического контакта на одном или нескольких контактах на дисплее отображается некорректная информация в виде «восьмерок» или отдельных групп сегментов (рис.5 – а).

В случае матричных ЖК-дисплеев микросхемы управления могут размещаться на внешних печатных платах, снаружи на пластинах дисплея или на присоединительном шлейфе проводников. Шлейфы изготавливаются из металлизированного полиамида и приклеиваются к контактными площадкам дисплеев токопроводящим клеем. При нарушении одного из электрических контактов в точке склейки дефект ЖК-модуля выглядит как неуправляемая строка или столбец (рис 5–б). Заметим, что аналогичный вид будет иметь дефект из-за внутреннего обрыва токоведущей дорожки в дисплее.

В отсутствие признаков постороннего вмешательства в конструкцию (ремонта, переустановки компонентов), дефекты контактирования, как правило, являются проявлением скрытого производственного дефекта



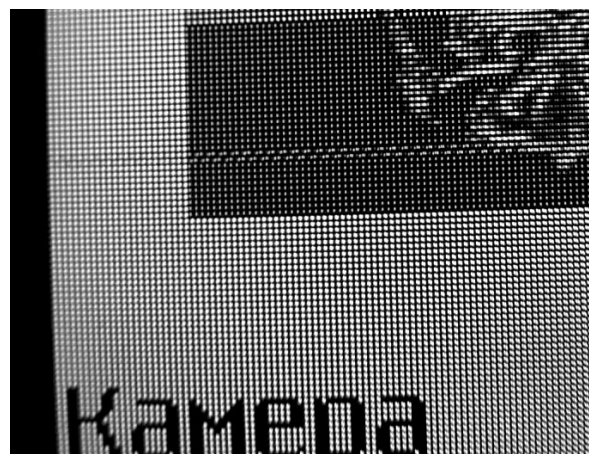
Рис.3. Внешний вид системы трещин в ЖК дисплее.



Рис.4. Место разветвления трещины (рис.3) на контактной площадке нижней пластины дисплея.



а



б

Рис.5. Проявление дефектов контактирования: сегментный дисплей – а; матричный дисплей – б.

изготовления устройства.

Заключение

За 30-летнюю историю интенсивного развития сменилось несколько поколений конструкций и технологий ЖК-дисплеев. Несмотря на то, что характеристики ЖК-дисплеев и технологий близки к физическим пределам, определяемым свойствами материалов и оборудования, вопросы надежности дисплеев считаются успешно решенными. Долговечность ЖК-дисплеев, в целом, выше, чем у тех устройств, в которых они применяются. Допуски на количество дефектных пикселей в TFT-матрицах, в основном, определяются экономическими соображениями рентабельности производства и стоимостными показателями изделий. Немаловажным обстоятельством, которое следует учитывать в экспертной практике, является то, что изготовление ЖК-дисплеев невозможно вне высокотехнологичного производства с развитой системой производственного контроля материалов, процессов и характеристик изделий. По этой причине подавляющее боль-

шинство дефектообразований в ЖК-дисплеях и устройствах на их основе, в той или иной мере, обусловлено эксплуатационными воздействиями.

Литература

1. Севостьянов В.П., Аристов В.Л., Митрохин В.В. Жидкокристаллические дисплеи: электрооптика, управление, конструкция и технология – Минск: Изд во НПООО Микровидеосистемы, 1998.– 508с.
2. Солнцев С.С., Морозов Е.М. Разрушение стекла. М.: Машиностроение.– 1978.– 152с.
3. Стандарт ISO 13406-2: 2001. Эргономические требования, связанные с использованием видеотерминалов на индикаторных панелях. Часть 2. Эргономические требования к дисплеям с плоским экраном.
4. Безверхий И. Инверторы для LCD-панелей LC130V01, LC150X01, LC201V02. // Ремонт & Сервис.– № 12.– 2006.
5. Петров В. Устройство и ремонт инверторов для ЖК мониторов. // Ремонт & Сервис.– № 3,4.– 2005 г.