

Жидкие кристаллы представляют собой системы, в которых уникальным образом сочетаются свойства жидкостей (текучесть) и кристаллов (анизотропия). Эти жидкости сохраняют ориентацию молекул и являются анизотропными по своим оптическим свойствам. В то же время они чрезвычайно чувствительны к внешним воздействиям. В частности, очень слабые электрические и магнитные поля способны изменить ориентацию системы и её оптические свойства. То же можно сказать и о реакции жидких кристаллов на малые изменения температурного поля. Электрооптические эффекты используются в ставших широко известными системах отображения информации. Термооптические эффекты широко используются в медицине и при производстве микросхем для определения локальных областей с повышенной температурой.

2. Группы жидких кристаллов

По своим общим свойствам ЖК можно разделить на две большие группы:

2.1. Лиотропные жидкие кристаллы

Представляют собой двух- или более компонентные системы, образующиеся в смесях стержневидных молекул данного вещества и воды (или других полярных растворителей). Эти стержневидные молекулы имеют на одном конце полярную группу, а большая часть стержня представляет собой гибкую гидрофобную углеводородную цепь. Такие вещества называются амфифилами (амфи — по гр. с двух концов, филос — любящий). Примером амфифилов могут служить фосфолипиды.

Амфифильные молекулы, как правило, плохо растворяются в воде, склонны образовывать агрегаты таким образом, что их полярные группы на границе раздела фаз направлены к жидкой фазе. При низких температурах смешивание жидкого амфифила с водой приводит к расслоению системы на две фазы. Одним из вариантов амфифилов со сложной структурой может служить система мыло-вода.

Существует много типов лиотропных жидкокристаллических текстур. Их многообразие объясняется различной внутренней молекулярной структурой, которая является более сложной, чем у термотропных жидких кристаллов. Структурными единицами здесь являются не молекулы, а молекулярные комплексы — мицеллы. Мицеллы могут быть пластинчатыми, цилиндрическими, сферическими или прямоугольными.

Лиотропные жидкие кристаллы образуются при растворении некоторых веществ в определенных растворителях. Например, водные растворы мыл, полипептидов, липидов, белков, ДНК и др. образуют жидкие кристаллы в определенном интервале концентраций и температур. Структурными единицами лиотропных жидких кристаллов являются надмолекулярные образования различных типов, распределенные в среде растворителя и имеющие цилиндрическую, сферическую или др. форму.

2.2 Термотропные жидкие кристаллы

Это вещества, для которых мезоморфное состояние характерно в определенном интервале температур и давлений. Ниже этого интервала вещество является твердым кристаллом, выше — обычной жидкостью. Такие жидкие кристаллы образуются при нагревании некоторых твердых кристаллов (мезогенных): сначала происходит переход в жидкий кристалл, причем может происходить последовательно переход из одной модификации в следующую, т. е. в жидких кристаллах проявляется полиморфизм. Каждая мезофаза существует в определенном температурном интервале. У разных веществ этот интервал различен. В настоящее время известны соединения, имеющие жидкокристаллическую фазу в интервале от отрицательных температур до 300-4000С. Структурные переходы всегда осуществляются по схеме:

твердокристаллическая фаза — смектическая — нематическая — аморфно-жидкая. Термотропные жидкие кристаллы можно получить также в результате охлаждения изотропной жидкости. Эти переходы являются фазовыми переходами первого рода (с выделением теплоты фазового перехода). Теплота перехода жидкого кристалла в аморфную жидкость в десятки раз меньше теплоты плавления органических твердых кристаллов.

В свою очередь, термотропные жидкие кристаллы подразделяются на три больших класса:

2.2.1 Смектические жидкие кристаллы (смектики S).

Они имеют слоистую структуру, с несколькими вариантами расположения молекул в слоях. Слои могут без помех скользить друг по другу. В наиболее распространенной упаковке продольные оси молекул направлены приблизительно под прямым углом к плоскости слоя. Каждая молекула может двигаться в двух измерениях, оставаясь в слое, и вращаться вокруг своей продольной оси. Расстояние между молекулами слоя может быть либо постоянным, либо беспорядочно меняющимся. Слои могут перемещаться друг относительно друга. Толщина смектического слоя определяется длиной молекул. Кроме того, возможно упорядоченное и неупорядоченное расположение молекул в самих слоях. Все это обуславливает возможности образования различных полиморфных модификаций. Известно свыше десятка полиморфных смектических модификаций, обозначаемых буквами латинского алфавита: смектики A, B, C и т. д. (или SA, SB, SC и т. д.). Типичным смектиком является терефтал-бис(пара-бутиланилин)

2.2.2 Нематические жидкие кристаллы (нематики N)

В этих кристаллах отсутствует дальний порядок в расположении центров тяжести молекул, у них нет слоистой структуры, в нематических жидких кристаллах молекулы расположены параллельно или почти параллельно друг другу. Они могут двигаться во всех направлениях и вращаться вокруг своих продольных осей, но при этом сохраняют ориентационный порядок: длинные оси направлены вдоль одного преимущественного направления. Их можно уподобить карандашам в коробке: карандаши могут вращаться и скользить вперед и назад, но должны оставаться параллельными друг другу. Они ведут себя подобно обычным жидкостям. Нематические фазы встречаются только в таких веществах, у молекул которых нет различия между правой и левой формами, их молекулы тождественны своему зеркальному изображению (ахиральны). Примером вещества, образующего нематический ЖК, может служить N-(пара-метоксибензилиден)-пара-бутиланилин.



Рисунок 1 - Расположение молекул ЖК

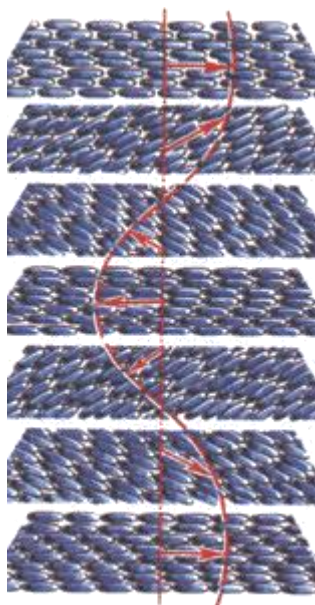
2.2.3 Холестерические жидкие кристаллы (холестерики Chol)

Образуются, в основном, соединениями холестерина и других стероидов. В этих жидких

кристаллах молекулы упакованы в параллельных слоях так, что продольные оси всех молекул лежат в плоскости слоя. При этом «архитектура» молекулярной упаковки такова, что продольные оси молекул одного слоя повернуты на небольшой угол относительно молекул соседнего слоя. Это угловое смещение постепенно нарастает от слоя к слою как бы по спирали, один виток которой соответствует толщине около 0,5 мкм. Спирали, очень чувствительные к изменению температуры вследствие чрезвычайно малой энергии образования этой структуры (порядка 0,01 Дж/моль). Холестерики ярко окрашены и малейшее изменение температуры (до тысячных долей градуса) приводит к изменению шага спирали и, соответственно, изменению окраски жидкого кристалла.

Холестерики образуются двумя группами соединений: производными оптически активных стероидов, главным образом холестерина (отсюда и название), и нестероидными соединениями, принадлежащими к тем же классам соединений, которые образуют нематические жидкие кристаллы, но обладающими хиральностью (алкил-, алкокси-, ацилоксизамещенные азометины, производные коричной кислоты, азо- и азоксисоединений и др.). В качестве типичного холестерика можно назвать амил-пара-(4-цианобензилиденамино)-циннамат.

Во всех приведенных типах ЖК характерным является ориентация дипольных молекул в определенном направлении, которое определяется единичным вектором — называемым



«директором».

Рисунок 2 - Строение холестерика

В недавнее время открыты так называемые колончатые фазы, которые образуются только дискообразными молекулами, расположенными слоями друг на друге в виде многослойных колонн, с параллельными оптическими осями. Часто их называют «жидкими нитями», вдоль которых молекулы обладают трансляционными степенями свободы. Этот класс соединений был предсказан академиком Л.Д.Ландау, а открыт лишь в 1977 году Чандрасекаром.[1]

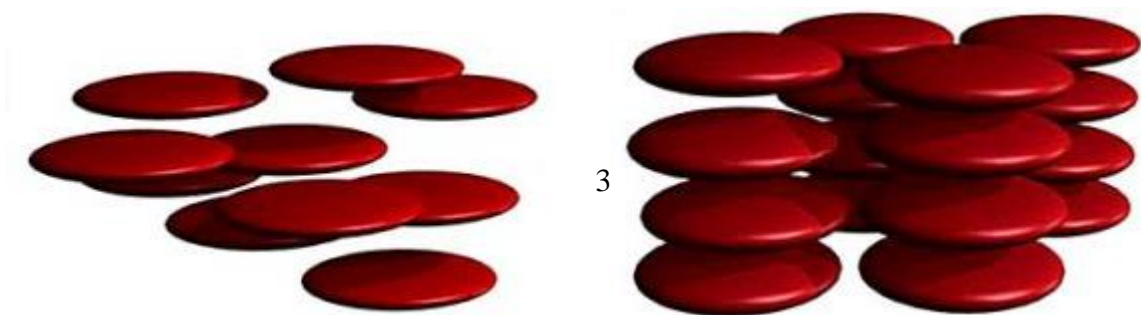


Рисунок 3 - Нематические дискотики(слева), колончатые дискотики (справа)

3. Свойства жидких кристаллов

У ЖК необычные оптические свойства. Нематики и смектики — оптически одноосные кристаллы. Холестерики вследствие периодического строения сильно отражают свет в видимой области спектра. Поскольку в нематиках и холестериках носителями свойств является жидкая фаза, то она легко деформируется под влиянием внешнего воздействия, а так как шаг спирали в холестериках очень чувствителен к температуре, то, следовательно, и отражение света резко меняется с температурой, приводя к изменению цвета вещества.

Эти явления широко используются в различных приложениях, например, для нахождения горячих точек в микроцепях, локализации переломов и опухолей у человека, визуализации изображения в инфракрасных лучах и др.

Характеристики многих электрооптических устройств, работающих на лиотропных ЖК, определяются анизотропией их электропроводности, которая, в свою очередь, связана с анизотропией электронной поляризуемости. Для некоторых веществ вследствие анизотропии свойств ЖК удельная электропроводность изменяет свой знак. Например, для *n*-октилксибензойной кислоты она проходит через нуль при температуре 146° С, и связывают это со структурными особенностями мезофазы и с поляризуемостью молекул. Ориентация молекул нематической фазы, как правило, совпадает с направлением наибольшей проводимости.

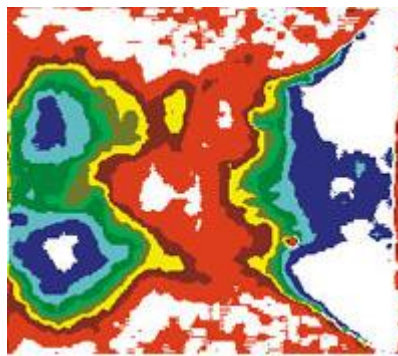
Все формы жизни так или иначе связаны с деятельностью живой клетки, многие структурные звенья которой похожи на структуру жидких кристаллов. Обладая замечательными диэлектрическими свойствами, ЖК образуют внутриклеточные гетерогенные поверхности, они регулируют взаимоотношения между клеткой и внешней средой, а также между отдельными клетками и тканями, сообщают необходимую инертность составным частям клетки, защищая ее от ферментативного влияния. Таким образом, установление закономерностей поведения ЖК открывает новые перспективы в развитии молекулярной биологии.[3]

4. Применение жидких кристаллов

Расположение молекул в жидких кристаллах изменяется под действием таких факторов, как температура, давление, электрические и магнитные поля; изменения же расположения молекул приводят к изменению оптических свойств, таких, как цвет, прозрачность и способность к вращению плоскости поляризации проходящего света. (У холестерически-нематических жидких кристаллов эта способность очень велика.) На всем этом основаны многочисленные применения жидких кристаллов.

4.1 Применение жидких кристаллов в медицине

Зависимость цвета от температуры используется для медицинской диагностики. Нанося на тело пациента некоторые жидкокристаллические материалы, врач может легко выявлять затронутые болезнью ткани по изменению цвета в тех местах, где эти ткани выделяют повышенные количества тепла: таким образом жидкокристаллический индикатор на коже больного быстро диагностирует скрытое воспаление и даже опухоль.



4.2 Применение жидких кристаллов на производстве

С помощью жидких кристаллов обнаруживают пары вредных химических соединений и опасные для здоровья человека гамма- и ультрафиолетовое излучения. На основе жидких кристаллов созданы измерители давления, детекторы ультразвука.

4.3 Применение жидких кристаллов в интегральных схемах

Одним из этапов производства микросхем является фотолитография, которая состоит в нанесении на поверхность полупроводникового материала специальных масок, а затем в вытравливании с помощью фотографической техники так называемых литографических окон. Эти окна в результате дальнейшего процесса производства преобразуются в элементы и соединения микросхем. От того, насколько малы размеры соответствующих окон, зависит число элементов схемы, которые могут быть размещены на единице площади полупроводника, а от точности и качества вытравливания окон зависит качество микросхемы. Выше уже говорилось о контроле качества готовых микросхем с помощью холестерических жидких кристаллов, которые визуализируют поле температур на работающей схеме и позволяют выделить участки схемы с аномальным тепло-выделением. Не менее полезным оказалось применение жидких кристаллов (теперь уже нематических) на стадии контроля качества литографических работ. Для этого на полупроводниковую пластину с протравленными литографическими окнами наносится ориентированный слой нематика, а затем к ней прикладывается электрическое напряжение. В результате в поляризованном свете картина вытравленных окон отчетливо визуализируется. Более того, этот метод позволяет выявить очень малые по размерам неточности и дефекты литографических работ, протяженность которых всего 0,01 мкм.[2]

4.4 Мониторы на жидких кристаллах

Несмотря на большое число возможных применений ЖК, основное их применение связано с электро-оптическими (ЭО) приборами. Для таких применений ЖК (нематик) должен обладать четырьмя необходимыми свойствами, а именно: поверхностным упорядочением, переориентацией директора электрическим полем или диэлектрической анизотропией, вращением плоскости поляризации света или оптической анизотропией и ориентационной эластичностью (способностью молекул к различным поворотам).

Рассмотрим все свойства по отдельности.

1. Поверхностное упорядочение. Обычно ЭО дисплей представляет собой стеклянную кювету толщиной меньше 20 мкм, в которую помещен ЖК. Направление директора ЖК может быть задано обработкой поверхностей кюветы таким образом, чтобы молекулы ЖК выстраивались в определенном направлении параллельно плоскости кюветы или перпендикулярно к ней. Один из способов обработки поверхности заключается в нанесении на нее тонкого слоя твердого полимера и последующего «натирания» его в одном направлении.

2. Диэлектрическая анизотропия ЖК может быть записана как разность диэлектрической проницаемости в направлении параллельном директору и перпендикулярном ему. Если директор выстраивается параллельно полю то $\Delta\epsilon > 0$.

3. Оптическая анизотропия связана с анизотропией коэффициента преломления – n , или двулучепреломлением. Это означает, что материал имеет два значения n для направлений поляризации света параллельно и перпендикулярно директору, разница между ними Δn есть мера оптической анизотропии. Для работы ЖК дисплея эта величина должна быть $> 0,2$.

4. Ориентационная эластичность необходима для обеспечения поворота молекул при приложении поля и возврата их в исходное положение после выключения поля. Это свойство описывается эластичными константами наклона, закручивания и изгиба — K_{11} , K_{22} и K_{33} .

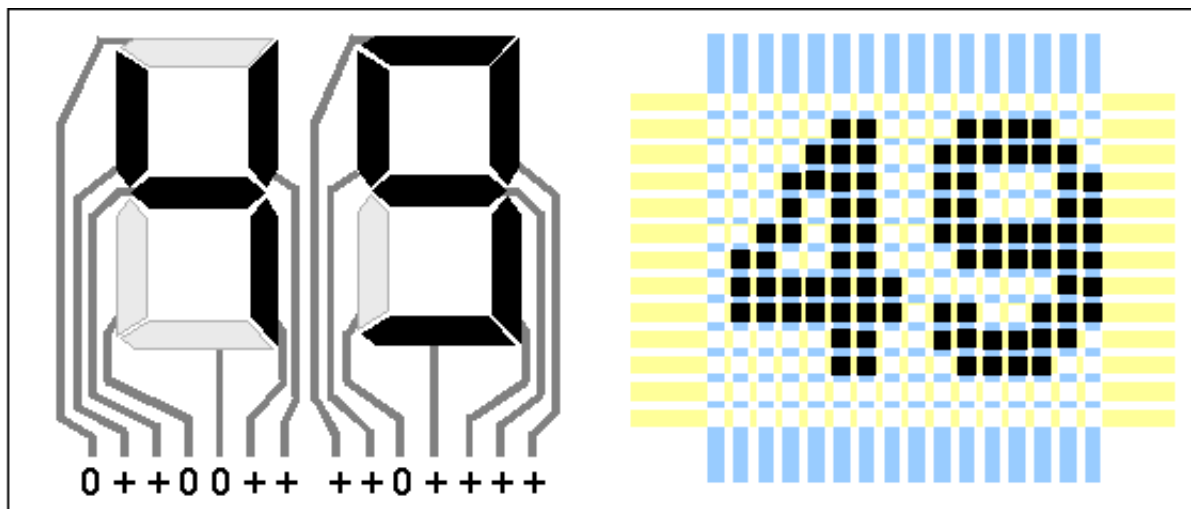


Рисунок 5 - сегментный и точечный дисплей

Используя различные ориентации директора (изначально с помощью поверхностного упорядочения) затем с помощью приложения электрического поля можно сконструировать простейший ЭО прибор. При этом верхнюю и нижнюю поверхность кюветы натирают в перпендикулярных направлениях, так что директор ЖК поворачивается от верха кюветы к низу на 90° , таким образом, вращая плоскость поляризации. Контраст изображения достигается с помощью скрещенных поляроидов. В скрещенных поляроидах эта ячейка выглядит светлой. Если теперь приложить электрическое поле, директор молекул ЖК будет выстраиваться параллельно полю, вращение плоскости поляризации исчезнет, и свет в скрещенных поляроидах перестанет проходить. Напряжение, необходимое для поворота директора составляет обычно 2В-5В и определяется диэлектрической анизотропией и эластичными константами. Прохождение света через ЖК ячейку в скрещенных поляроидах без напряжения и с напряжением. Важно, что действие электрического поля не связано с дипольным моментом молекулы и поэтому не зависит от направления поля. Это позволяет использовать для управления переменное поле (постоянное поле может приводить к накоплению зарядов на электродах и выходу прибора из строя). Важным параметром является также время возвращения ЖК в исходное состояние после выключения поля, оно определяется поворотом длинных молекул и составляет 30-50 мс. Такое время достаточно для работы различных дисплеев, но на несколько порядков превышает время необходимое для работы телевизионных экранов. Как можно видеть на рис. 6,

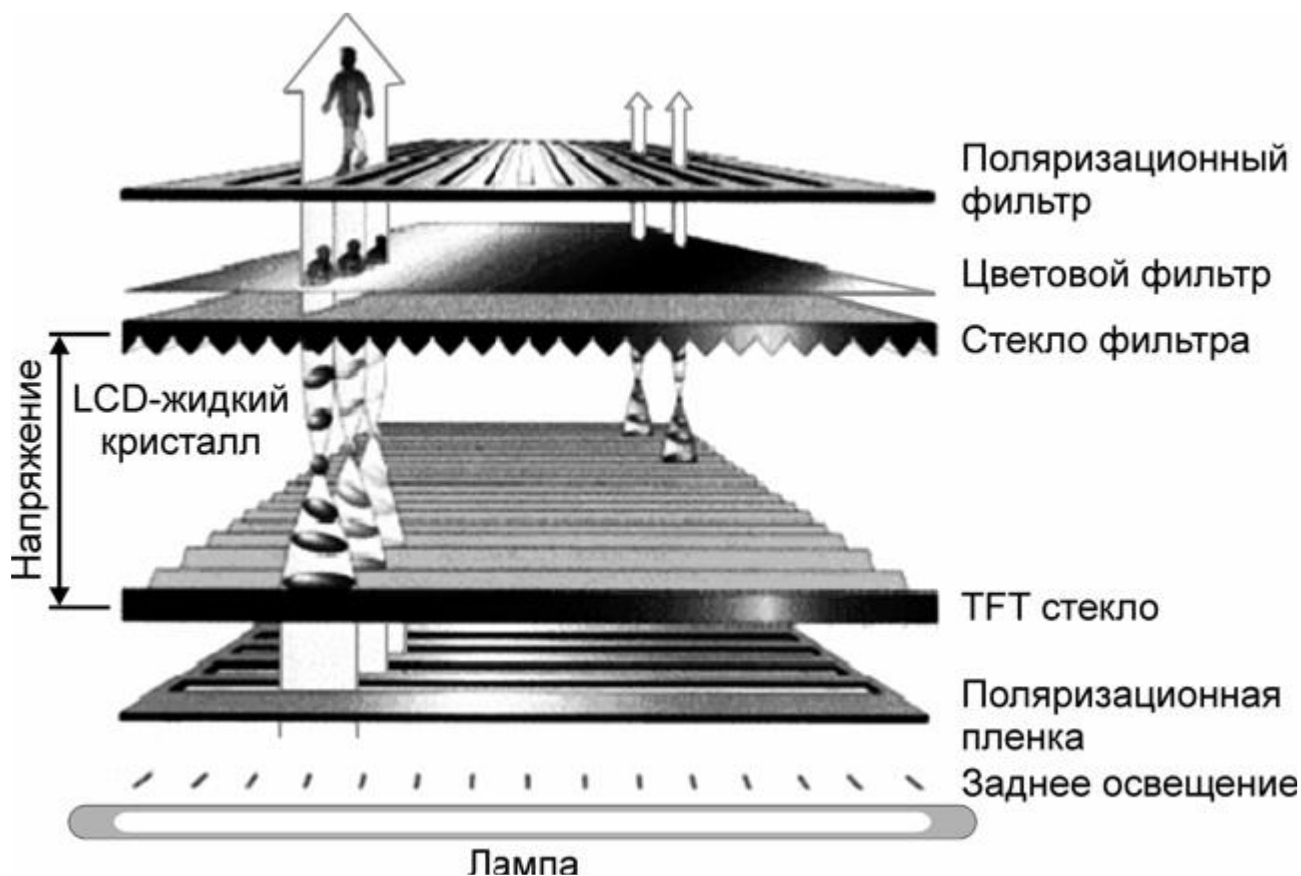


Рисунок 6 - конструкция ЖК дисплея

ЖК дисплей имеет несколько слоев, где ключевую роль играют две панели, сделанные из очень чистого стеклянного материала, называемого субстрат или подложка. Слои собственно и содержат тонкий слой жидких кристаллов между собой. 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. Две панели расположены очень близко друг к другу. Сверху и снизу помещены две поляризационные пленки. Для подсветки обычно используется лампа, иногда дисплеи, например, дисплеи часов работают в отраженном свете. Для подачи информации на стеклянные панели наносится слой полупрозрачного ITO, в качестве электрода. Электроды наносятся в виде точек или сегментов, на которые подается отдельная информация. 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 (0.3 мкм), соответственно на одной и той же площади экрана можно расположить большее число электродов, что увеличивает разрешение монитора, и позволяет нам отображать даже сложные изображения в цвете. Цвет получается в результате использования трех фильтров, которые выделяют из излучения источника белого

света три основные компонента. Комбинируя три основных цвета для каждой точки или пикселя экрана, появляется возможность воспроизвести любой цвет. Первые ЖК дисплеи 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 дисплеи с диагональю 20-дюймов и более.

Технология создания ЖК дисплеев, не может обеспечить быструю смену информации на экране. Изображение формируется строка за строкой путем последовательного подвода управляющего напряжения на отдельные ячейки, делающего их прозрачными. 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.[2]