

1.14. КОММУТАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ В ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И ПЛАЗМЕННЫХ ПАНЕЛЯХ

Цель лекции: изучение конструктивных особенностей жидкокристаллических и плазменных панелей, технологии изготовления прозрачных электродов адресной матрицы, коммутации тонкопленочных транзисторов.

1.14.1. ТЕХНОЛОГИИ ПЛОСКОЭКРАННЫХ ДИСПЛЕЕВ

Жидкокристаллический монитор (также жидкокристаллический дисплей, ЖКД, ЖК-монитор, *LCD (Liquid Crystal Display)*, плоский индикатор) – плоскоэкранный дисплей на основе жидких кристаллов; используется для отображения информации с цифровых устройств.

История развития LCD - дисплеев берет свое начало в 1960-х годах, когда появились первые индикаторы для систем отображения информации, работающие при помощи жидких кристаллов. К концу 60-х годов дисплеи на основе жидких кристаллов начали использоваться в калькуляторах, измерительных приборах, электронных часах, а в 90-х годах появились первые цветные LCD - мониторы.

Жидкие кристаллы – фазовое состояние, при котором вещество обладает одновременно свойствами жидкости (текучесть) и кристалла (анизотропия). Пребывать в состоянии жидкого кристалла могут только некоторые вещества и при определенных условиях (при повышении температуры или давления). К таким веществам относятся вязкие жидкости, молекулы которых имеют вытянутую (например, цилиндрическую) или дискообразную форму. В состоянии жидкого кристалла молекулы могут свободно менять положение друг относительно друга, однако ориентация молекул имеет определенное направление, которое изменяется под воздействием электрических полей. Изменение ориентации молекул происходит благодаря тому, что в целом электрически нейтральные молекулы жидкого кристалла обладают дипольным моментом.

Каждый пиксель ЖК-дисплея состоит двух линейных поляризационных фильтров, плоскости поляризации которых перпендикулярны. Между поляризаторами помещают две тонкие стеклянные пластинки, на которые наносят проводящую ток пленку из окислов индия и олова – это выполняет роль электродов (рис. 1.57). В отсутствие жидких кристаллов свет, пропускаемый первым поляризационным фильтром, практически полностью блокируется вторым.

TN (Twist Nematic) - одна из первых технологий получения ЖК матрицы. На поверхность стеклянных пластин наносят параллельные бороздки, причем ориентация бороздок на одной пластине перпендикулярна ориентации

бороздок на другой пластине. Пространство между стеклянными пластинами занимают жидкие кристаллы. При взаимодействии жидких кристаллов с бороздками возникает взаимная ориентация этих кристаллов. Таким образом жидкие кристаллы могут разворачивать линию поляризации световой волны на угол 90 градусов (рис. 1.57). Дисплеи с TN матрицей не отличаются высоким качеством изображения, зато обладают низкой стоимостью и высокой скоростью отклика ячейки. В дальнейшем появились технологии STN (SuperTwistNematic), DSTN (DoubleSuperTwistNematic), IPS (In-PlaneSwitching), VA (VerticalAlignment), каждая из которых описывает своё расположение жидких кристаллов между стеклянными пластинами (например, в технологии STN бороздки на стеклянных пластинах расположены под углом более 200 градусов). Дисплеи с матрицами, выполненными по этим технологиям, имеют больший угол обзора и лучшую цветопередачу, но меньшую скорость отклика, поскольку в целом технологии более сложные.

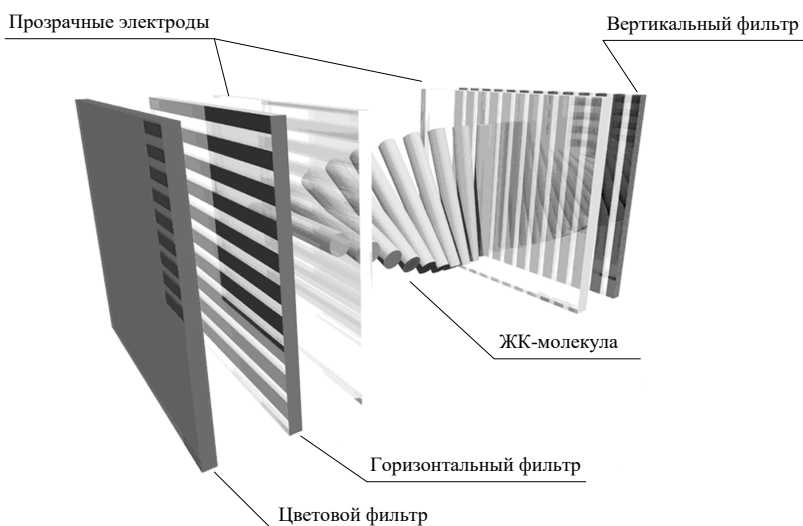


Рис. 1.57. Субпиксель цветного ЖК-дисплея

Управление жидкими кристаллами происходит за счёт матрицы электродов. Существуют *пассивные матрицы* и *активные матрицы* электродов.

В *пассивных матрицах* для адресации используются полосы полупрозрачных электродов, расположенные на обеих поверхностях стеклянных подложек и ориентированные перпендикулярно. Их пересечение формирует пиксель. Чтобы изменить его состояние, необходимо задействовать две адресные линии – вертикальную и горизонтальную. Одна, к примеру вертикальная, заземляется, а на другую подается управляющий импульс. Процесс, в ходе которого с помощью поочередной выборки всех комбинаций из двух управляющих линий создается изображение, называется сканированием. Из-

за сравнительно большой электрической ёмкости пикселей картинка не может меняться быстро.

Основные проблемы заключаются в необходимости изготавливать большое количество очень точных микроскопических соединений на пластине макроскопических размеров и в сложности управляющей электроники. Нелегко подобрать материалы для проводников и электродов, обеспечивающих формирование и адресацию пикселей так, чтобы они сочетали все необходимые качества для неискаженной передачи управляющих сигналов: прозрачность, низкое сопротивление, однородность.

Во всех современных ЖК дисплеях используются *активные матрицы*, в которых управление происходит при помощи тонкопленочных транзисторов (*Thin Film Transistors – TFT*). На стеклянную подложку наносится слой аморфного кремния, на котором формируются транзисторы – по одному на каждый пиксель. В цветных дисплеях на каждый пиксель приходится по три транзистора – по транзистору на каждый субпиксель, каждый из которых отвечает за один из цветов модели RGB (Red, Green, Blue – красный, зеленый, синий). Транзисторы необходимы в качестве буфера между пикселями ЖК дисплея и управляющей схемой. В активных матрицах исключается влияние процесса выборки (адресации) на соседние ячейки, так как каждый пиксель изолирован от окружающих. Это приводит к резкому уменьшению времени отклика у ячеек (в современных ЖК-мониторах на основе *TN*-матрицы – порядка 8–15 мс). В целом время отклика активной матрицы в несколько раз выше, чем время отклика пассивной матрицы.

Помимо тонкопленочных транзисторов формируются также специальные конденсаторы. Они необходимы для поддержания напряжения на каждом пикселе или субпикселе в течение времени сканирования всей матрицы. Это позволяет улучшить цветопередачу и контрастность дисплея.

В различных конструктивных реализациях ЖК дисплея могут использоваться разные источники света. Например, в простейших ЖК-дисплеях калькуляторов используют внешний источник света, проходящий через пиксели дисплея, отражается от зеркала, расположенного за ней зеркала и выходит наружу. Тёмные цифры, которые мы видим на дисплее, состоят из тех пикселей, через которые стали непрозрачными для света. В других устройствах используется не отражённый свет, а прямой свет от источника, расположенного позади экрана. Для обеспечения более яркого и равномерного изображения со временем в качестве внутреннего источника света стали использовать слой подсветки из светодиодов. Этот тип подсветки получил название LED (Light Emitting Diode).

К преимуществам классических ЖК-дисплеев можно отнести сравнительно невысокую стоимость, долговечность и хорошую цветопередачу. Основным недостатком данных дисплеев является недостаточная глубина чёрного цвета: из-за наличия светодиодной подсветки невозможно получить

полностью чёрный цвет. Также LCD - дисплеи обладают повышенным энергопотреблением, которое связано с постоянной работой светодиодной подсветки.

1.14.2. НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПОЛИКРЕМНЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Низкотемпературная поликремневая технология – современный процесс изготовления TFT ЖКИ. В этой технологии используется лазерный отжиг, который позволяет производить кристаллизацию кремниевой пленки при температуре менее 400°C.

Как известно, для изготовления тонкопленочных транзисторов (TFT) для жидкокристаллических дисплеев используется аморфный кремний. Данный материал обладает рядом существенных недостатков: низкая подвижность зарядов, невозможность изготовления малых по площади транзисторов и др.

Данным недостатком лишен **поликристаллический кремний** – материал на основе кремния, который содержит множество кристаллов кремния размером от 0,1 до нескольких микрон. Нарис. 1.58 показаны структуры однокристалльного, аморфного и поликристаллического кремния.

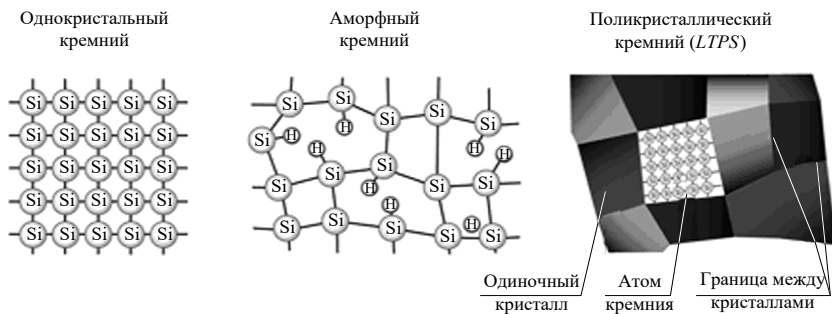


Рис. 1.58. Структуры кремния

Преимущества поликремниевой технологии:

- более высокая (до 100 раз) надежность транзисторов;
- более высокий апертурный коэффициент: более высокая подвижность носителей означает, что можно обеспечить требуемое время заряда пикселя при помощи меньшего тонкопленочного транзистора. Это ведет к тому, что большая площадь элемента может быть задействована под область пропускания света;
- возможность изготовления на стеклянной подложке в едином технологическом цикле интегральные схемы драйверов, что позволяет уменьшить необходимое количество периферийных устройств и стоимость;

- компактность модуля: за счет наличия встроенного драйвера требуется меньшая площадь печатной платы для схемы управления.

При производстве полупроводников поликристаллический кремний обычно изготавливается при помощи химического осаждения при низком давлении из газообразной фазы, а затем отжигается при температуре более 900°C. Это так называемый *метод кристаллизации твердой фазы*. Однако для производства ЖК-дисплеев данный метод не подходит из-за высокой температуры отжига.

Для формирования поликремниевой пленки в ЖК-дисплеях используется другая технология. Рассмотрим несколько методов формирования пленки на стеклянной или пластиковой подложке, которые используются в настоящее время:

1. *MIC (Metal Induced Crystallization* – кристаллизация, вызываемая металлом). Это разновидность метода кристаллизации твердой фазы, но он позволяет получить поликристаллический кремний при более низкой температуре (приблизительно 500–600°C). Достигается это за счет металлизации пленки перед отжигом. Металл позволяет снизить энергию, необходимую для активизации процесса кристаллизации.
2. Метод осаждения непосредственно поликристаллической пленки, которая в дальнейшем не подвергается термической обработке (отжигу). В настоящее время уже имеется возможность выполнять осаждение при температуре ниже 300°C. Однако механизм выращивания при каталитическом взаимодействии приводит к растрескиванию смеси $\text{SiH}_4\text{--H}_2$ и, как следствие, образованию дефектов.
3. Лазерный отжиг. Самый популярный метод, используемый в настоящее время. В качестве источника энергии используется эксимерный лазер. Он нагревает и расплавляет аморфный кремний с низким содержанием водорода. После этого кремний повторно кристаллизуется в виде поликристаллической пленки. Данный метод позволяет получить поликристаллический кремний при температурах менее 400°C.

1.14.3. ПЛАЗМЕННЫЕ ПАНЕЛИ

Газоразрядный экран (также широко применяется «плазменная панель») – устройство отображения информации, монитор, использующее в своей работе явления электрического разряда в газе и возбуждаемого им свечения люминофора.

Схематически конструкция плазменной панели представлена на рис. 1.59. Плазменная панель представляет собой матрицу ячеек, наполненных специальным газом, находящихся между двумя параллельными стеклянными поверхностями. В качестве газовой среды обычно используются инертные газы, такие как неон или ксенон. Разряд в газе протекает между прозрачным электродом на лицевой стороне экрана и адресными электродами, проходящими

по его задней стороне. В цветных плазменных панелях каждый пиксель экрана состоит из трех идентичных микроскопических полостей, содержащих инертный газ и имеющих два электрода, спереди и сзади. Размер субпикселя плазменной панели имеет значения порядка $200 \times 200 \times 100$ мкм. На панели находится несколько миллионов таких пикселей. Передний электрод должен быть максимально прозрачным. Обычно для изготовления передних электродов используется оксид индия и олова. Однако в плазменных панелях больших размеров приходится использовать промежуточные соединительные проводники из хрома для уменьшения сопротивления.

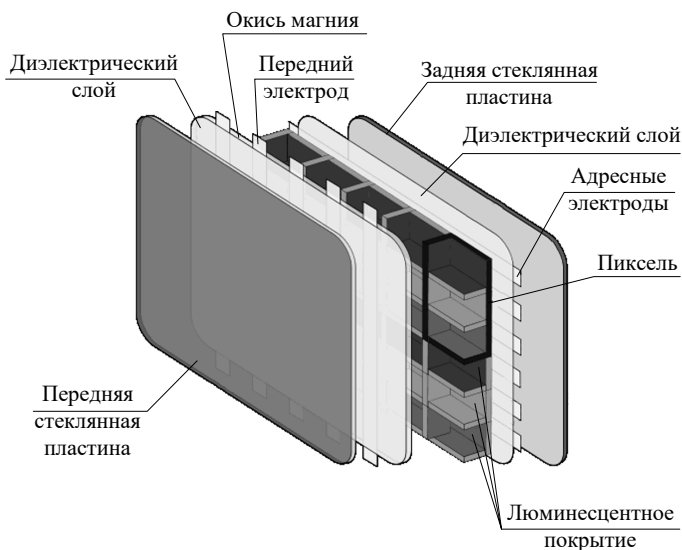


Рис. 1.59. Конструкция плазменной панели

После того как к электродам будет приложено высокое напряжение, плазма начнет перемещаться (рис. 1.60). При этом она излучает ультрафиолетовый свет, который попадает на люминофоры в нижней части каждой полости. Это приводит к тому, что люминофоры начинают излучать один из основных цветов: красный, зеленый или синий (для получения одного из этих цветов используют различные люминофоры). Затем свет от люминофоров проходит через переднее стекло. Таким образом, в плазменной технологии пиксели работают подобно люминесцентным трубкам. Длительность свечения люминофора при отсутствии воздействия ультрафиолетового излучения очень мала, поэтому время отклика плазменных панелей высокая.

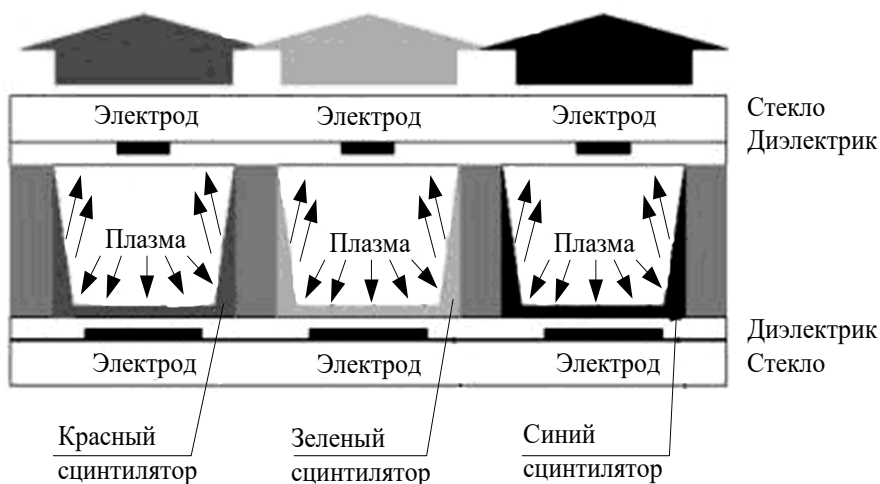


Рис. 1.60. Принцип работы плазменной панели

Встроенная в плазменную панель электроника с помощью матрицы дорожек выбирает пиксель, который необходимо зажечь на панели. Операция происходит очень быстро и незаметно для человеческого глаза.

К основным плюсам плазменных панелей относят насыщенность цветов, глубина чёрного цвета, высокая яркость и контрастность изображения, долговечность. К минусам относят минимальный размер пикселя. Его нельзя уменьшить, так как для работы нужно определенное количества газа, которое не помещается в меньший объем. Поэтому плазменными бывают только телевизоры. К другим недостаткам относят огромное энергопотребление.

Тесты к лекции 1.14

1. Закончите предложение: при отсутствии жидких кристаллов...
 - а) Свет, пропускаемый первым поляризационным фильтром, полностью блокируется вторым;
 - б) Свет свободно проходит через оба поляризационных фильтра;
 - в) Свет не проходит ни через один поляризационный фильтр.

2. Для чего в жидкокристаллических дисплеях формируются конденсаторы на каждый пиксель/субпиксель?
 - а) Для поддержания напряжения на каждом пикселе/субпикселе;
 - б) Для увеличения времени отклика;
 - в) Для дополнительной защиты пикселя/субпикселя от высокого напряжения.

3. Выберите верное утверждение:
 - а) Верны оба утверждения ниже;
 - б) В дисплеях с пассивной матрицей время отклика значительно ниже, чем в дисплеях с активной матрицей;
 - в) Для получения тонкоплёночных транзисторов (TFT) используют поликристаллический кремний, для формирования тонкой плёнки которого используют преимущественно метод лазерный отжиг.

4. Что вызывает излучение света люминофорами в плазменных панелях?
 - а) Ультрафиолетовое излучение, излучаемое плазмой при высоком напряжении;
 - б) Свет от внутреннего источника, например, от подсветки из светодиодов;
 - в) Высокая температура.

5. Выберите неверное утверждение:
 - а) В плазменных панелях никогда не используется цветовая модель RGB для формирования оттенков;
 - б) В плазменных панелях свет излучает непосредственно каждый пиксель, а в ЖК дисплеях необходима сторонняя подсветка;
 - в) Работа плазменных панелей основана на явлении электрического разряда и возбуждаемого им свечения люминофора.