

# Лекция 16. Устройства вывода графической информации

Технология ЖКД. Технология ОСИД (ЭЛД).

# Жидкокристаллические дисплеи

Электронно-лучевые трубки обладали целым рядом недостатков, среди которых:

- Большие габариты, особенно в глубину
- Сферическая поверхность экрана
- Круглый (по сечению колбы) экран
- Использование высокого напряжения для разгона и отклонения электронов
- Высокий уровень ЭМИ

На конец 90-х единственной альтернативной технологий, пригодной для отображения цветного изображения небольшого формата (14-30 дюймов), была технология ЖК.

Несмотря на целый ряд неустранимых недостатков, именно она была взята на вооружение производителями дисплеев.

Все параметры ЖК за годы развития были улучшены, зачастую – на порядок, однако все недостатки так и не были устранены.

# Почему жидкие кристаллы

В мониторах на основе ЖК используется особое вещество, которое обладает кристаллической структурой (а значит, анизотропностью основных физических свойств), но при этом при комнатной температуре сохраняет жидкое состояние.

Анизотропность свойств требуется для того, чтобы вещество было способно преобразовывать свойства светового излучения, то есть работать как фильтр. Поместив вещество в отдельные ячейки, можно получить управляемые фильтры для пикселей. При этом для применения в ЖК-устройствах отобраны вещества, реагирующие на электрическое напряжение.

Жидкое состояние необходимо для подвижности кристаллов. Под действием напряжения кристаллы меняют свою конфигурацию, сдвигаясь относительно друг друга. При этом меняется направления преобразования света – мы получаем управляемый светофильтр.

Принцип работы ЖК основан не на излучении, а на фильтрации света. Этим и обусловлены все недостатки данной технологии.

# АНИЗОТРОПНОСТЬ

- такое распределение всех или некоторых физических свойств в твердом теле, когда эти свойства различны по различным направлениям в теле

- различие физических свойств кристаллов (теплопроводность, твердость, упругость и другие) по параллельным и непараллельным направлениям кристаллической решетки.

Свойства одинаковы по параллельным направлениям, но неодинаковы по непараллельным направлениям. В противоположность анизотропным, изотропные тела имеют одинаковые свойства во всех направлениях.

- **Изотропия -независимость физических свойств вещества от направления**

# Анизотропия монокристаллов

Анизотропия монокристаллов объясняется тем, что в кристаллической решетке различно число частиц, приходящихся на одинаковые по длине, но разные по направлению отрезки, т. е. плотность расположения частиц кристаллической решетки по разным направлениям неодинакова, что и приводит к различию свойств кристалла вдоль этих направлений.

**Анизотропная среда-среда, физические свойства которой различны в различных направлениях**

# Поляризация света

Поляризация света –это свойство света, которое характеризуется пространственно-временной упорядоченностью ориентации электрического вектора  $E$



➡ Интенсивность естественного света уменьшается в два раза после прохождения через поляризатор:

$$I_2 = \frac{I_1}{2}$$

**Поляризатор** – это **устройство**, позволяющее получить поляризованный свет

Он пропускает составляющую  $\vec{E}$  на определенную плоскость - главную плоскость поляризатора (Г.П.П.)

Г.П.П. проходит через оптическую ось поляризатора и падающий луч, в ней лежат векторы  $\vec{E}$  после поляризатора

**Анализатор** – это поляризатор, который используют **для анализа** предварительно поляризованного света

# Закон Малюса

Интенсивность света  $I$ , вышедшего из анализатора, пропорциональна квадрату косинуса угла  $\varphi$  между главными плоскостями поляризатора и анализатора

$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$

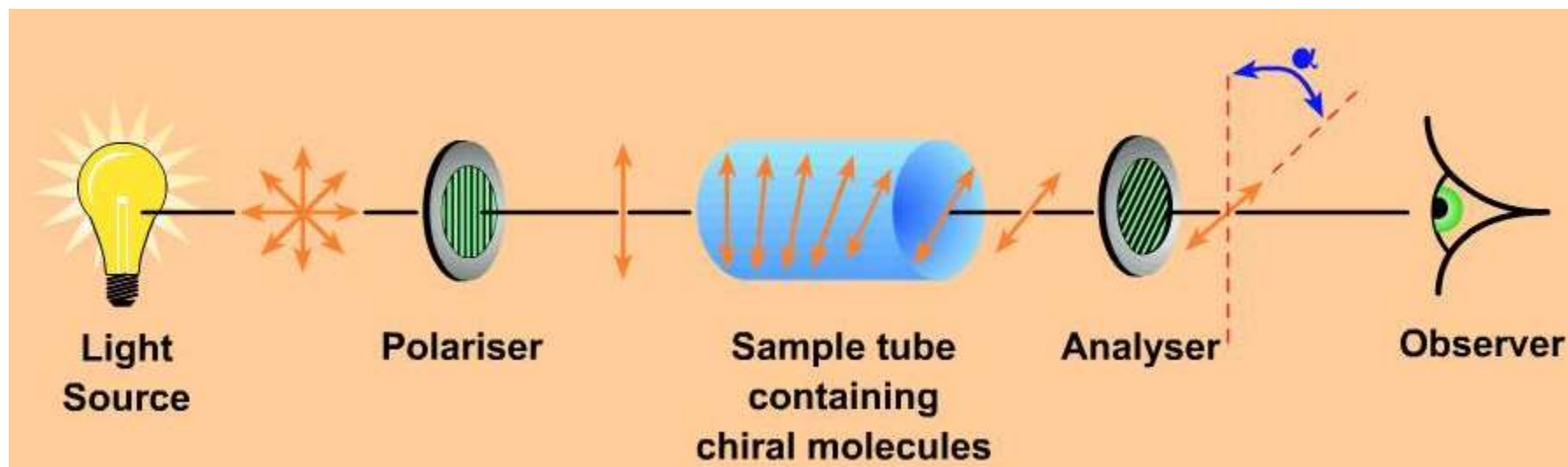






# Оптически активное вещество

Оптически активное вещество –это вещество, которое при прохождении через него поляризованного света поворачивает плоскость поляризации этого света



угол поворота в оптически активном  
веществе

# Угол поворота

➡ Угол поворота в оптически активном твердом веществе:

$$\alpha = \alpha_0 l$$

$\alpha_0$  – постоянная вращения

$l$  – расстояние, пройденное светом в оптически активном веществе

➡ Угол поворота в растворах, содержащих опт. акт. вещество:

$$\alpha = [\alpha_0] C l$$

$[\alpha_0]$  – удельное вращение, зависит от длины волны,  $t$ , свойств среды

$C$  – концентрация опт. активного вещества

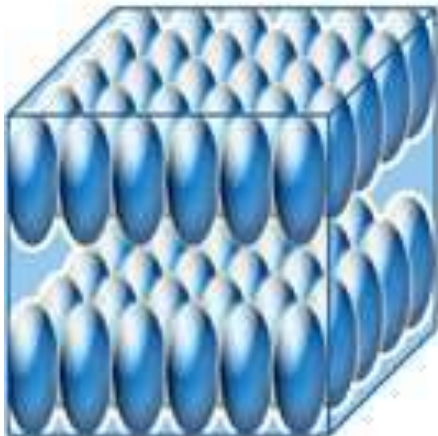
$l$  – толщина слоя раствора

# Жидкие кристаллы

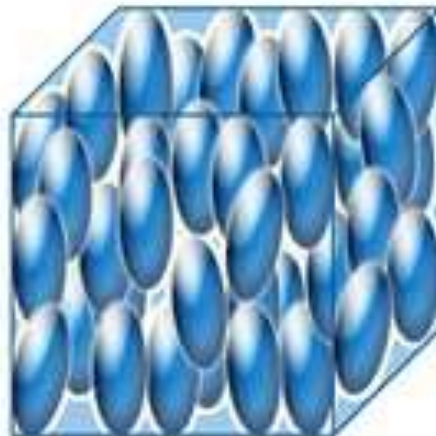
Виды кристаллов:

- Смектические: продольные оси кристаллов расположены параллельно друг другу, многослойная структура
- Нематические: продольные оси параллельны, но кристаллы смещены друг относительно друга
- Холестерические (скрученные нематики): винтовая структура при переходе от слоя к слою

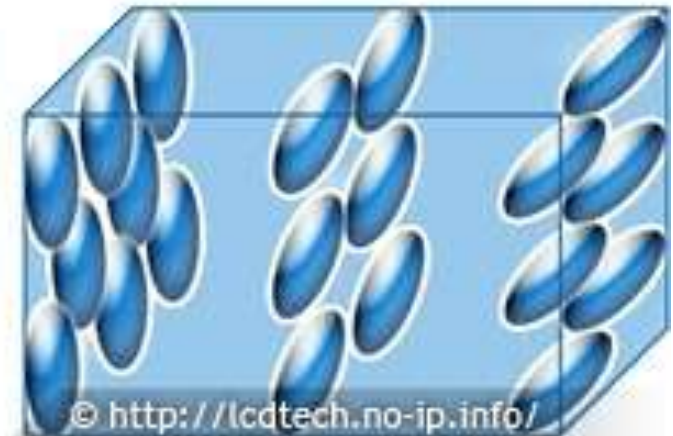
Смектический  
порядок



Нематический  
порядок



Холестерический  
порядок



Кристаллы могут обладать диэлектрической анизотропией – свойством выстраиваться вдоль линий электрического поля (положительная анизотропия) или, наоборот, отклоняться от них (отрицательная анизотропия).

В ЖК-панели специальным рельефом подложки формируют исходную геометрию расположения кристаллов, которая сохраняется за счет сил поверхностного натяжения.

Формируемая геометрия:

- Планарная (гомогенная) – кристаллы параллельны друг другу и плоскости подложек.
- Нормальная (гомеотропная) – кристаллы перпендикулярны подложкам.
- Твистированная (закрученная) – векторы подложек ортогональны, кристаллы послойно поворачиваются от одной подложки к другой.

# Технология Twisted Nematics (TN)

Базовая, самая дешевая и проработанная технология, пригодная для дисплеев широкого спектра устройств – от MP3-плееров до торговых стендов.

Самая простая, а потому имеющая худшие характеристики и наиболее выраженные недостатки.

Принцип действия базируется на использовании следующих свойств нематических кристаллов:

- выстраиваться вдоль одной оси, заданной механически (с помощью продолговатых ячеек-капсул и рельефа подложки);
- сохранять взаимную ориентацию и стремиться к ее восстановлению после снятия воздействия;
- выстраиваться вдоль линий напряженности электромагнитного поля (положительная диэлектрическая анизотропия);
- пропускать только плоскополяризованный свет и поворачивать плоскость поляризации в соответствии со своей формой

(Частично-поляризованный свет – если в результате каких-либо внешних воздействий появляется преимущественное направление колебаний вектора  $E$ . );

- эластичность и не подверженность износу при деформациях.



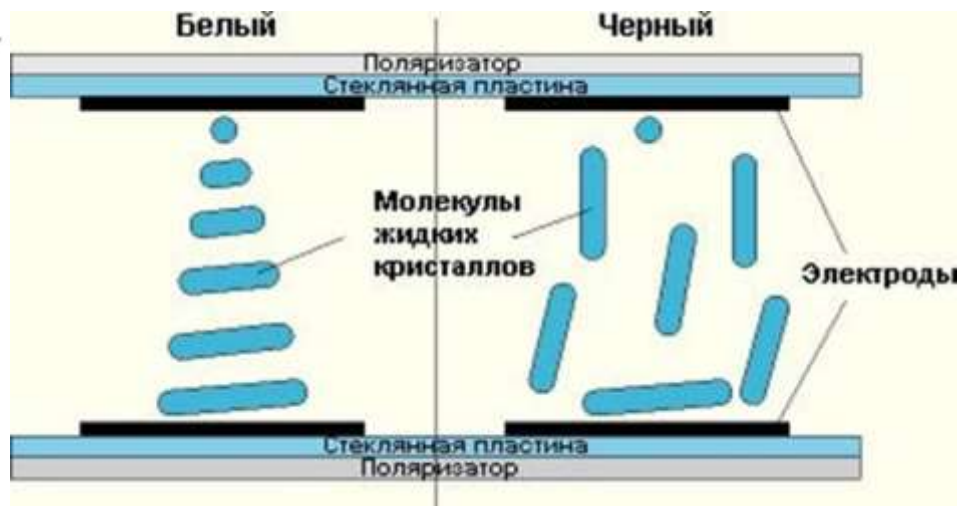
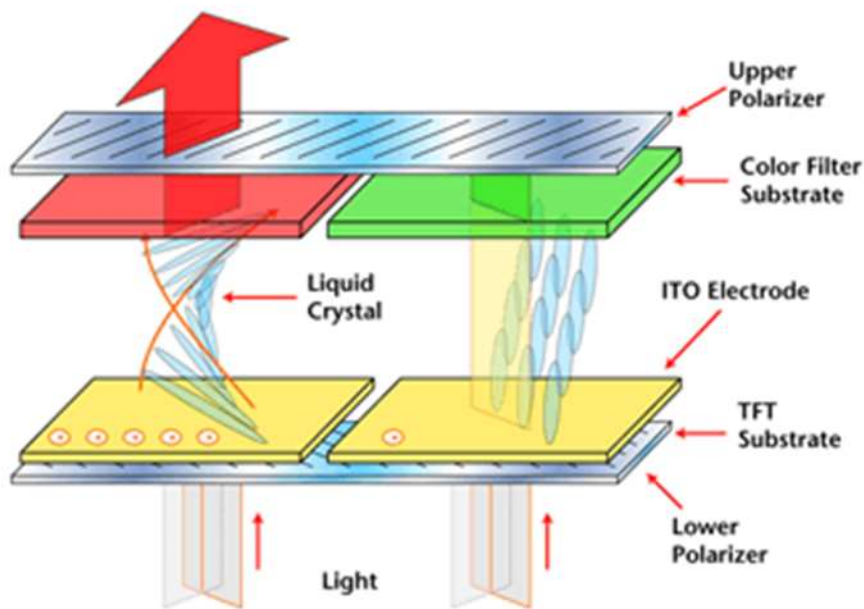
Кристаллы заключены между двух стекол с поляризационными пленками.

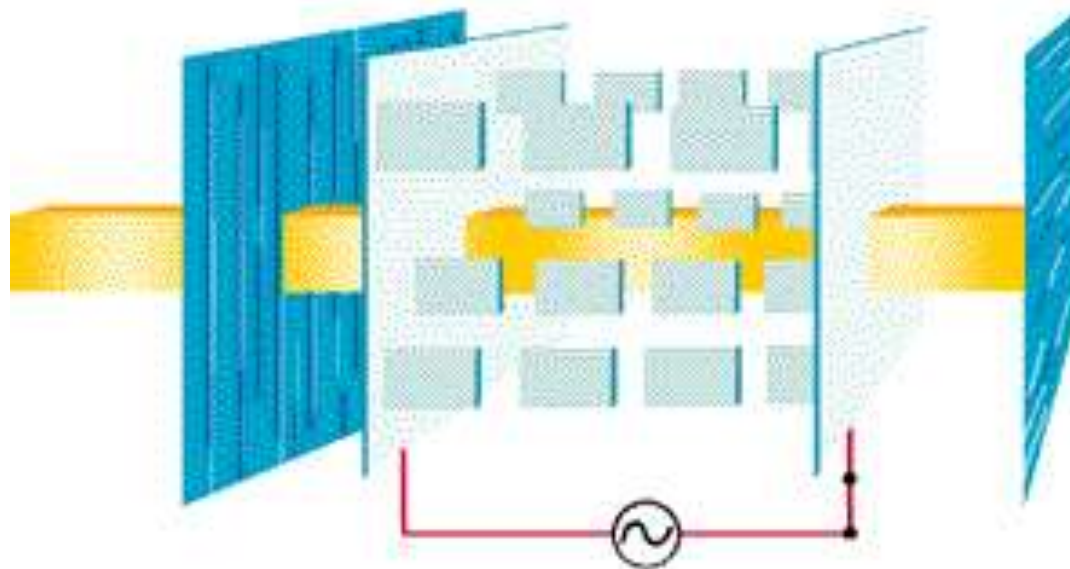
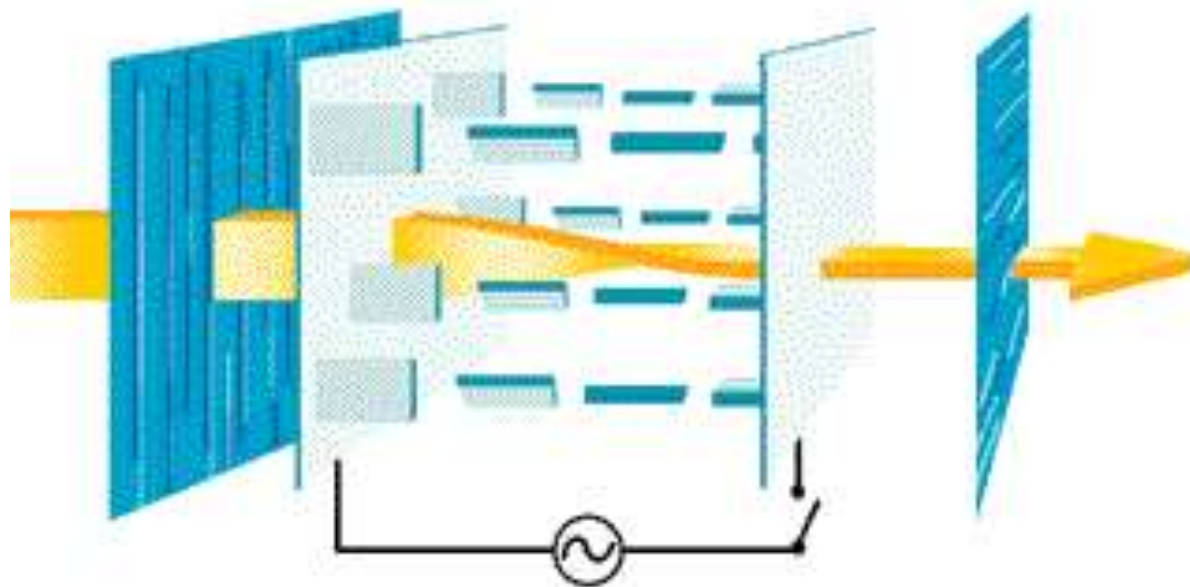
Плоскости поляризации двух стекол взаимно перпендикулярны. В исходном состоянии ячейка свет пропускает, в раскрученном (деформированном под действием напряжения) – задерживает.

Под действием электрического поля (прозрачные электроды расположены с двух сторон) кристаллы выпрямляются, при снятии поля – восстанавливают спиральное расположение.

Ввиду того, что обеспечить полное задерживание света невозможно, экраны TN имеют невысокую контрастность.

Ввиду того, что свет проходит полностью только через правильную спираль, яркость и цветность экрана TN при взгляде под углом искажается.





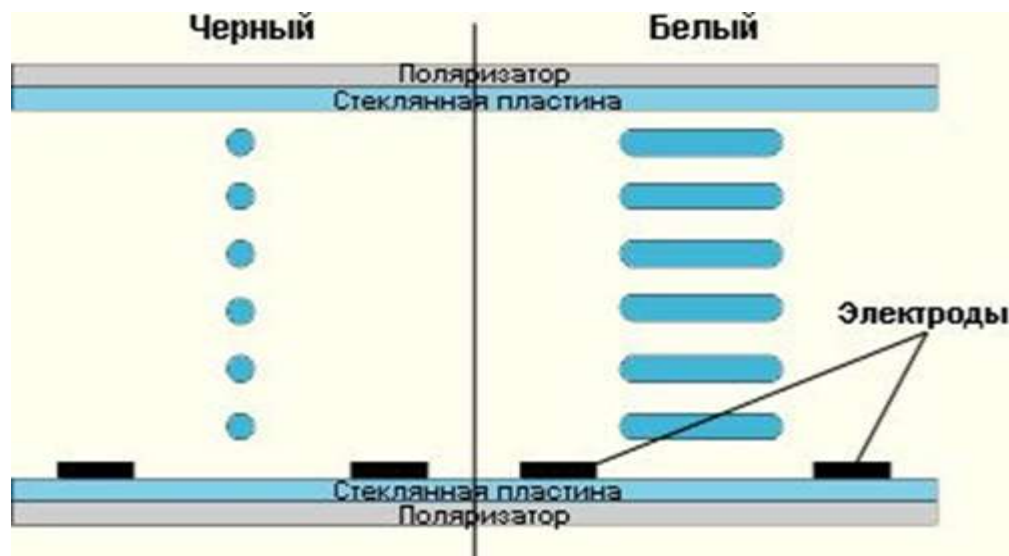


# Технологии ЖК: In-Plane Switching

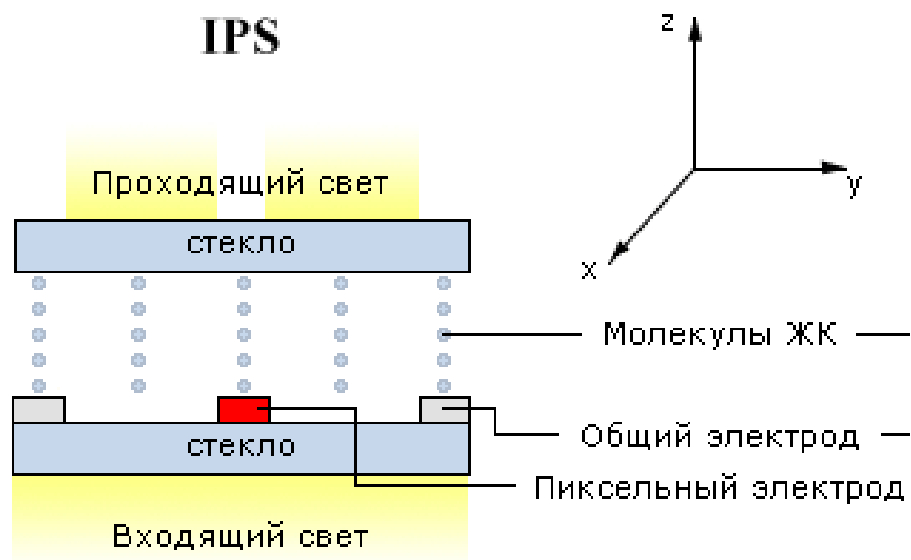
Используется планарная геометрия, а электроды нанесены на одну подложку – нижнюю. Все кристаллы выровнены вдоль одной оси, параллельной плоскости подложки.

Подача напряжения вызывает поворот срединных слоев кристаллов, что приводит к смещению плоскости поляризации света и пропусканию его через верхний поляризатор.

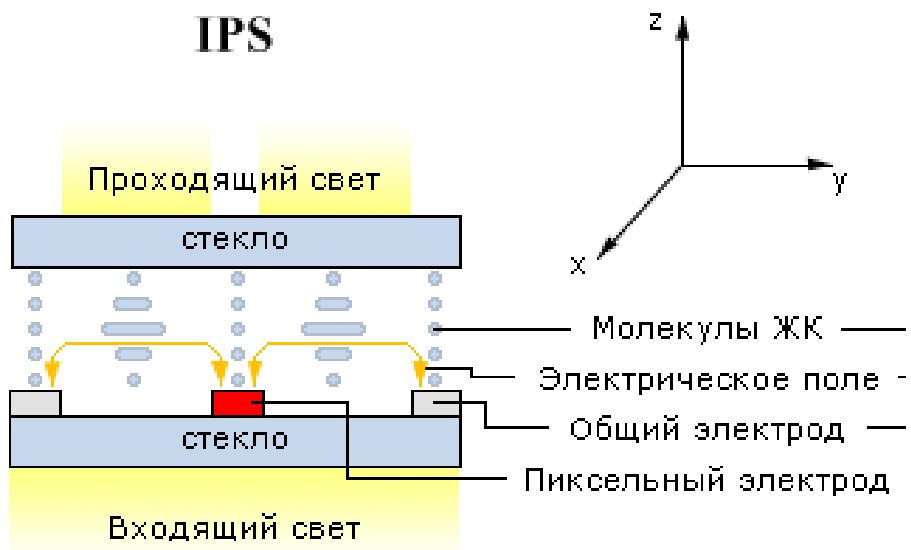
Панель типа IPS обеспечивает как максимальные углы обзора, так и отсутствие искажений цвета (благодаря лучшему контролю за углом отклонения кристаллов).

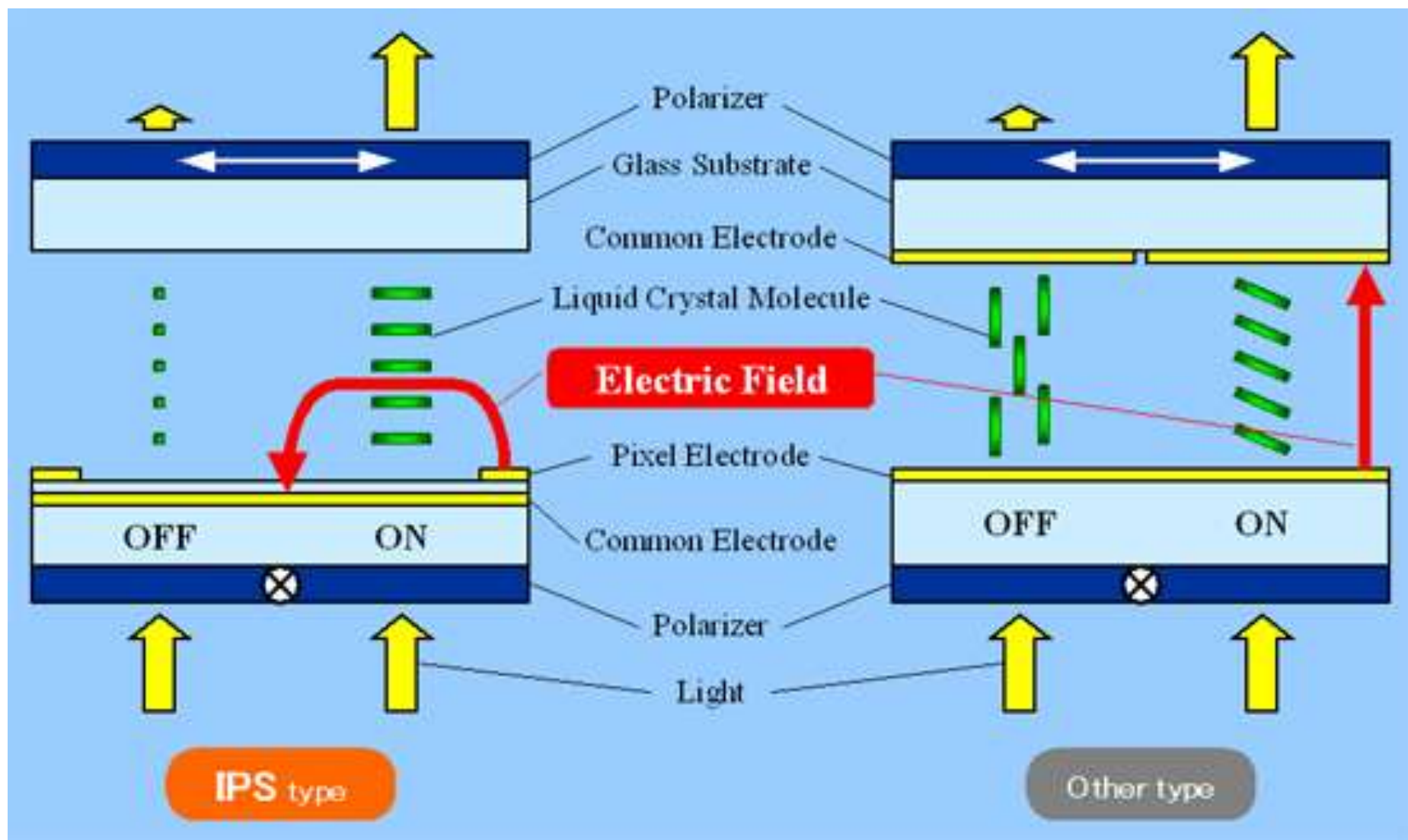


## IPS



## IPS



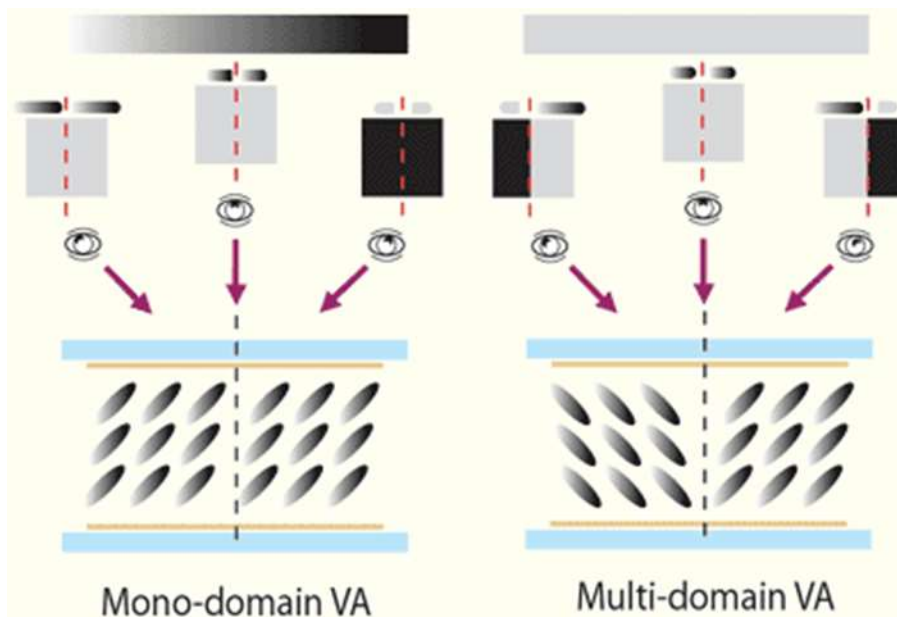


# Технологии ЖК: Vertical Domain Alignment

Используется гомеотропная геометрия – кристаллы выстроены по оси, перпендикулярной плоскости подложек, из-за чего при отсутствии напряжения кристаллы свет не пропускают. Используется отрицательная диэлектрическая анизотропия (кристаллы не выстаиваются, а отклоняются от линий электромагнитного поля).

Подача напряжения вызывает изменение оси ориентации доменов в ту или иную сторону, в результате чего свет проходит через верхний поляризатор.

Технология MVA (**Multi-Domain Vertical Alignment**) использует микровыступы для различной исходной ориентации кристаллов.



# Аналоги MVA

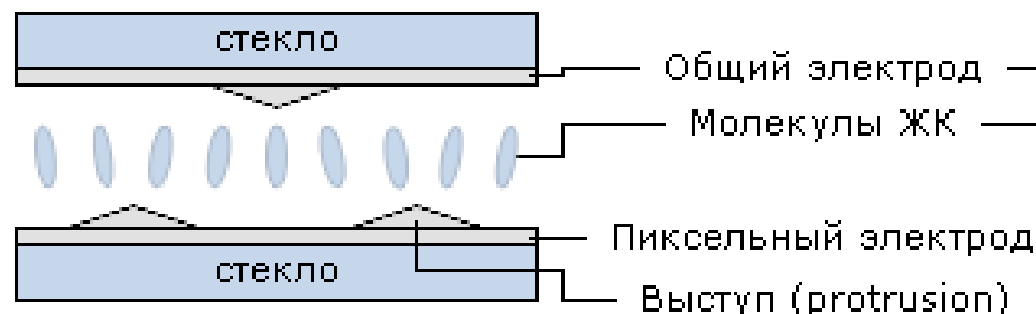
- PVA( Patterned Vertical Alignment) - развитие \*VA технологии, предложенное фирмой Samsung, характеризуется в первую очередь увеличенной контрастностью изображения.

Технология PVA использует различное расположение электродов для поворота кристаллов под разными углами.

Super MVA .

- S - PVA (Super- PVA) от Samsung,
- S - MVA (Super MVA) от Chi Mei Optoelectronics,
- P-MVA, A-MVA (Advanced MVA) от AU Optronics.
- Дальнейшее развитие \*VA технологии от различных производителей. Улучшения свелись в основном к уменьшению времени отклика путём манипуляций с подачей более высокого напряжения в начальной стадии изменения ориентации кристаллов субпикселя (эту технологию в разных источниках называют либо «Overdrive» либо «Компенсация времени отклика») и окончательному переходу к полноценным 8-битам, кодирующих цвет в каждом канале.

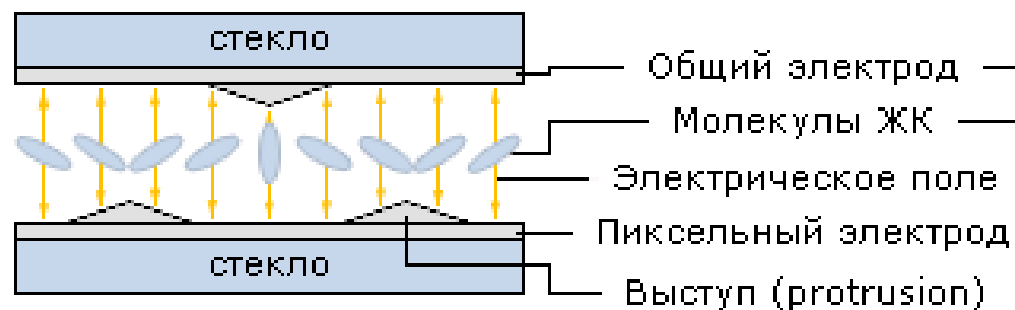
**MVA**



**PVA**



**MVA**



**PVA**



# Конструкция ЖК-панели

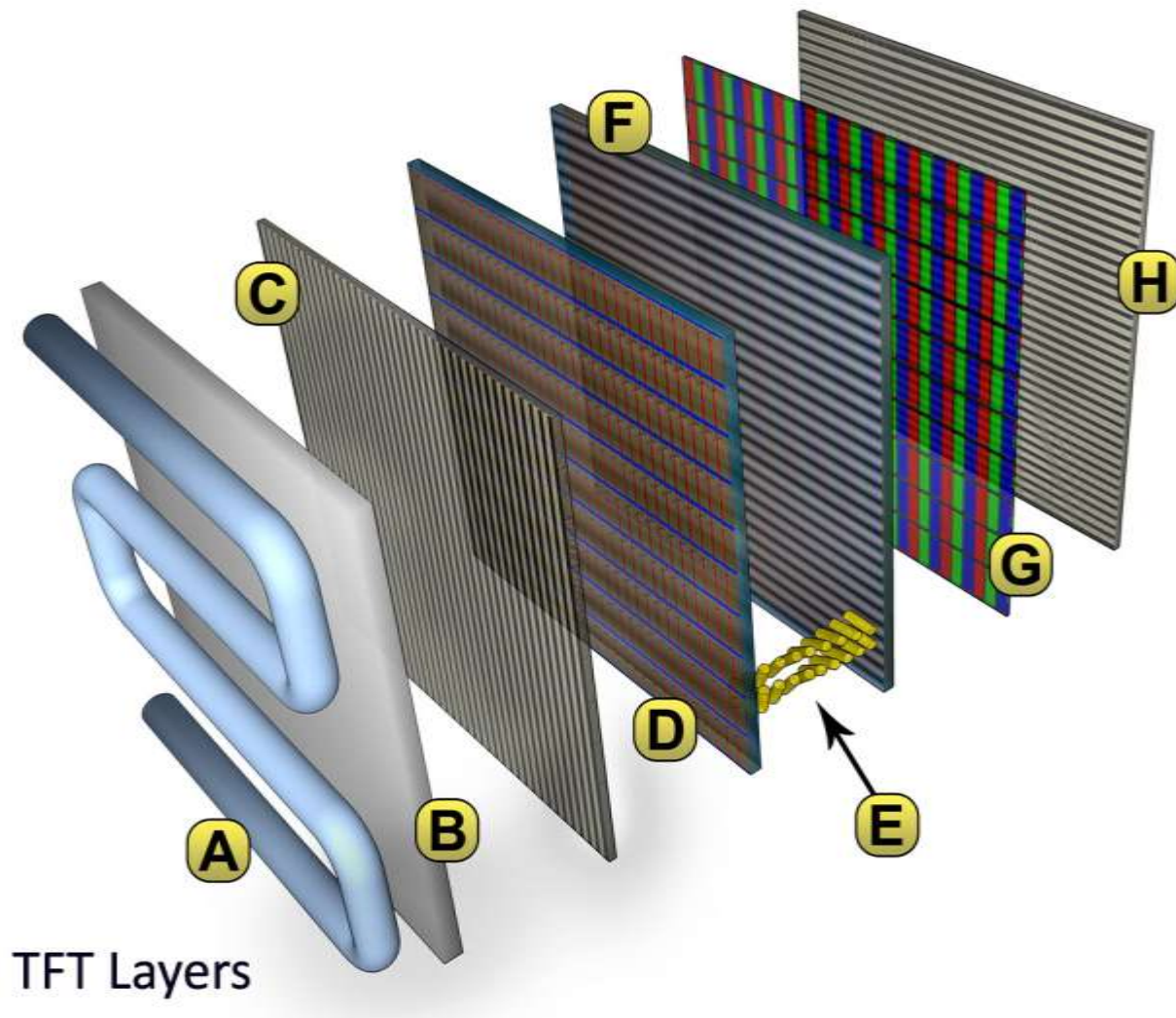
Жидкие кристаллы используются в многослойной плоской панели (Flat Panel), которая составляет основу жидкокристаллических дисплеев (LCD, или ЖКД).

Роль жидких кристаллов – управляемый затвор, позволяющий варьировать степень пропускания света от источника освещения (лампы), а в итоге – яркость субпикселей экрана.

Жидкие кристаллы заключены между двух стеклянных панелей, имеющих на внутренней стороне рельеф (насечки), выполненный из полимерного материала.

Помимо ячеек с жидкими кристаллами, на внутренних поверхностях стеклянных панелей имеются:

- Токопроводящая матрица, обеспечивающая подведение управляющих сигналов к ячейкам с жидкими кристаллами;
- «Черная матрица», затеняющая элементы управления
- Светофильтры над каждой ячейкой ЖК
- Распорки (spacers), обычно шариковые



А – лампа подсветки, В – рассеиватель, С – поляризатор, D – нижняя панель, Е – ячейки ЖК, F – верхняя панель, G – светофильтры, H – поляризатор



Стеклянные панели с наружной стороны содержат слой поляризатора, причем ориентация плоскостей поляризации различается (обычно на 90 градусов).

Под нижней панелью располагается модуль подсветки, состоящий из лампы, отражателя и рассеивателя.

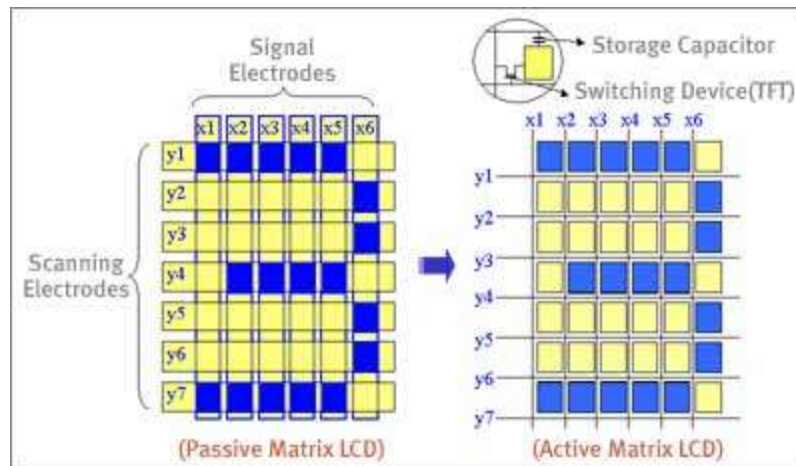
Над верхней панелью расположены защитные покрытия того или иного типа.

Верхний слой панели может быть либо матовым (с эффектом рассеивания света для устранения бликов), либо глянцевым (с эффектом повышения контраста).

Токопроводящая матрица подключена посредством ленточных контактов либо напрямую (при размещении управляющих микросхем прямо на стеклянной подложке) к электронной схеме формирования изображения (LCD Driver IC).

# Управляющая матрица

Формирование изображения на экране ЖКД выполняется растровым способом – ячейки ЖК организованы в матрицу. Управление ячейками выполняется с помощью матрицы электродов и подведенных к ним линий Data bus и Gate bus. Существуют два базовых метода построения матриц – Passive matrix и Active matrix. Первый способ наиболее прост и дешев – электроды просто подключены в местах пересечения линий. Второй способ предполагает наличие тонкопленочных транзисторов (TFT) и конденсатора для удержания заряда.



# Активная матрица

Пассивные матрицы используются только в самых дешевых экранах для различных устройств. Ввиду того, что разряд ячейки ЖК (которая играет роль конденсатора) происходит очень быстро, фактически до прихода следующего кадрового сигнала, экран с пассивной матрицей имеет низкую яркость.

Бороться с этим эффектом можно несколькими способами:

- Применением супертвист-кристаллов с закручиванием более 90 градусов, которые дольше удерживают заряд (технология STN).
- Увеличением частоты регенерации экрана вдвое (Dual Scan, DTN).
- Применением активной матрицы.

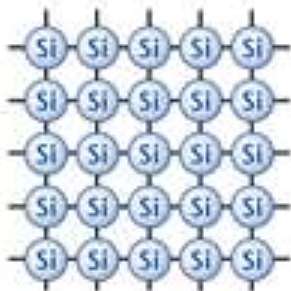
Активная матрица содержит ключевые транзисторы, которые позволяют накапливать заряд в конденсаторах, расположенных под ячейками с ЖК. До прихода следующего сигнала транзистор запирает конденсатор, что не позволяет кристаллам терять заряд.

Тонкопленочный транзистор выполняется из аморфного поликремния (A-Si) или поликристаллического низкотемпературного поликремния (LTPS Si).

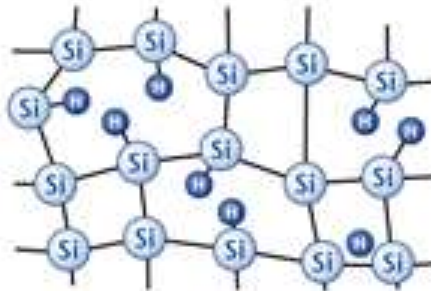
Второй способ дороже, однако ввиду значительно (в 100-150 раз) более подвижных носителей в LTPS Si характеристики панели (прежде всего контрастность и насыщенность цветов) существенно повышаются.

К транзистору подключен пиксельный электрод (Pixel electrode); общий электрод с постоянным напряжением нанесен либо на второй панели (TN, PVA/MVA), либо на той же. Электроды прозрачные.

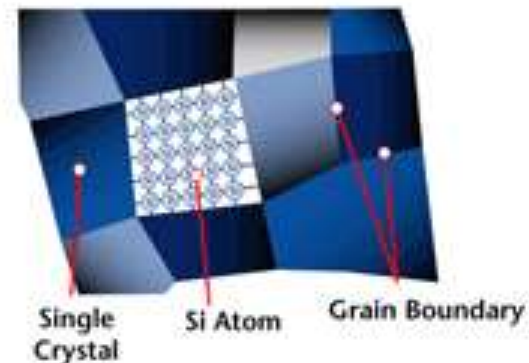
**Single Crystal Silicon**



**Amorphous Silicon**



**Poly-silicon (LTPS)**



# Управляющие микросхемы

Главный элемент схемы управления матрицей – LCD-драйвер (LCD Driver IC, LDI). Эта схема управляет формированием сигналов на строчных и столбцовых линиях матрицы.

Коммутаторы линий могут располагаться на стеклянной подложке или на ленточных контактах (TCP – tape carrier package).

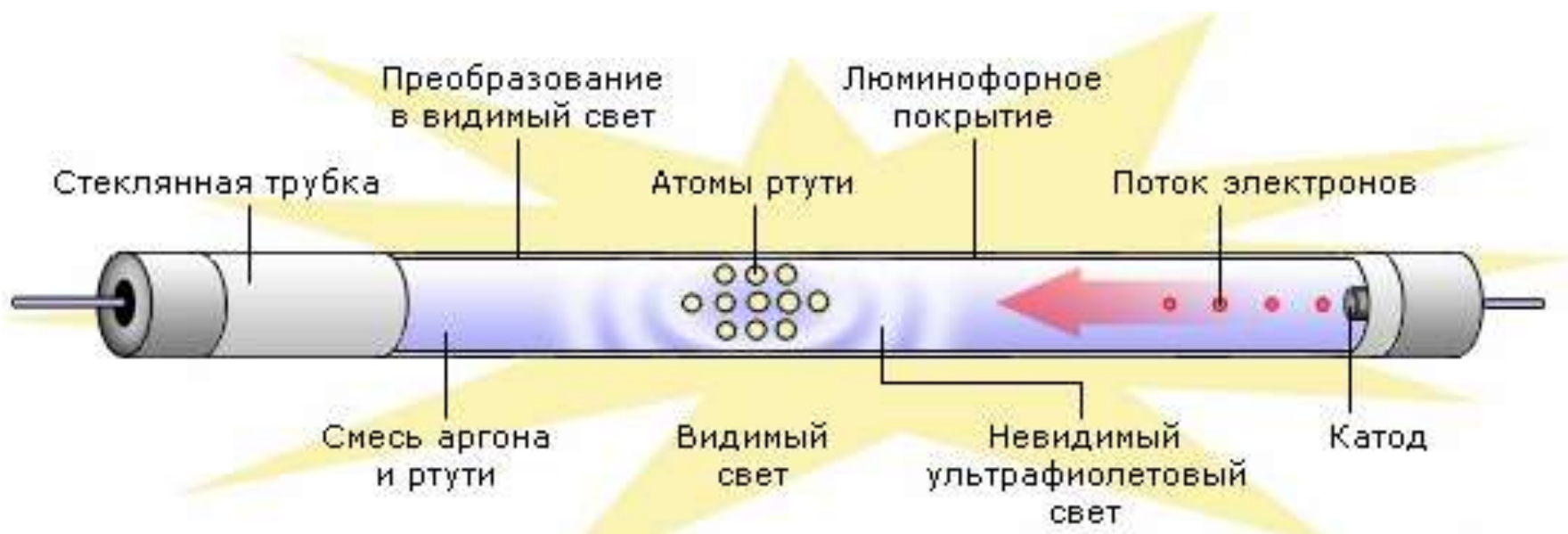
# Подсветка ЖК-панели

Подсветка – основной элемент ЖК-панели, поскольку сами ЖК служат лишь затворами, пропускающими или задерживающими свет за счет принципа изменения направления поляризации.

Традиционная подсветка выполнена на флуоресцентных лампах с холодным катодом (CCFL). В этих лампах отсутствует катод накаливания, благодаря чему снижается температура самих катодов (50-150 гр.). Лампа представляет собой трубку, заполненную аргоном с добавлением ртути. Подача высокого пускового напряжения (порядка 1-1.5 КВ) приводит к электрическому пробое и нарастанию количества носителей (электронов и ионов). В дальнейшем напряжение понижается, разряд переходит в состояние тлеющего. Ртуть нужна для появления излучения в УФ-диапазоне.

Трубка покрыта флуоресцентным составом, излучающим (под действием УФ) в видимом диапазоне..

# Лампа CCFL



Пропускающая способность ЖК-панели совсем небольшая, поэтому мощность лампы должна быть высокой. Подачу высокого напряжения обеспечивает инвертор.

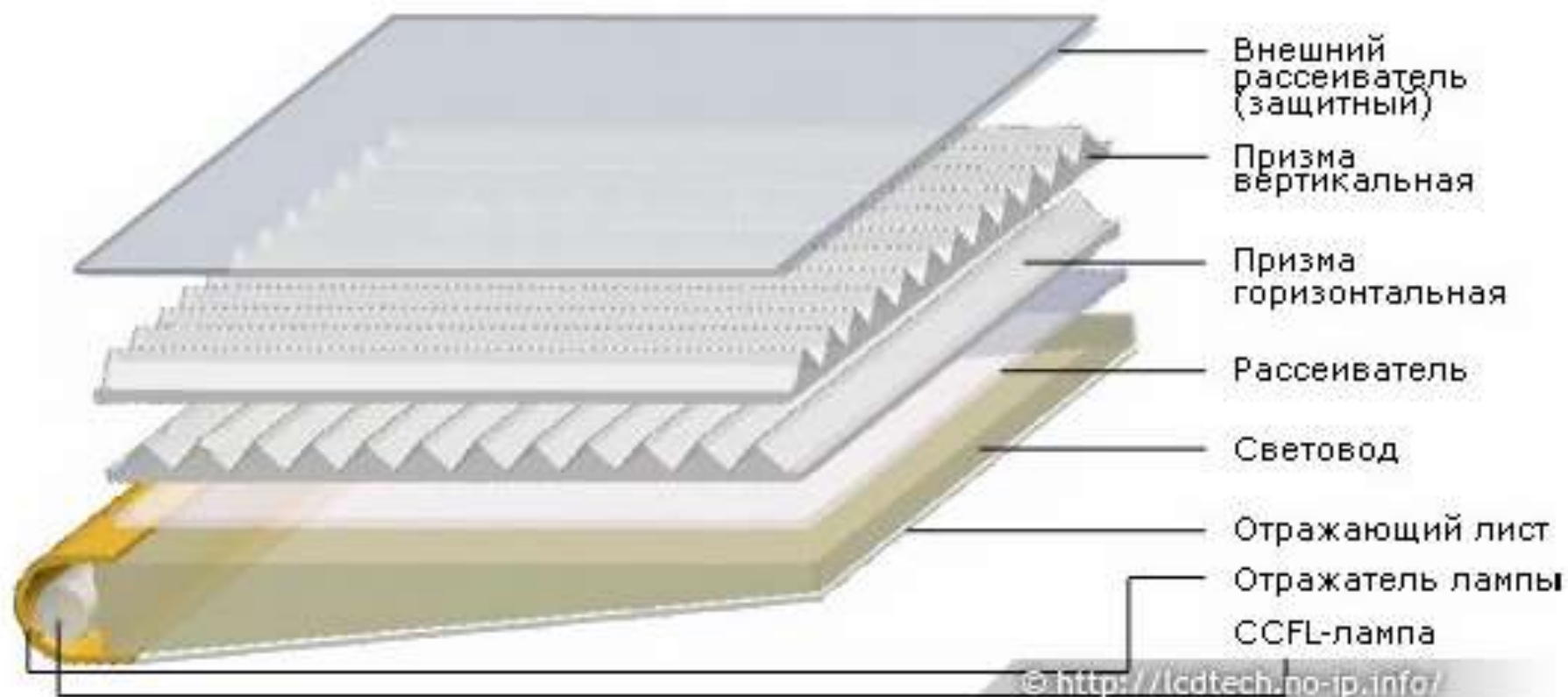
Лампы обычно располагаются на гранях модуля подсветки с одной или с двух сторон, возможно размещение ламп по всей плоскости поверхности «змеевиком».

Модуль подсветки включает также отражатель, панель-световод из оргстекла, многослойный рассеиватель (иногда призматический).

Управление яркостью ламп выполняется одним из двух методов:

- Варьированием напряжения лампы (более сложный метод, требующий применения качественных ламп, способных работать в широком диапазоне напряжений).
- ШИМ-модуляцией напряжения (используется чаще всего, но вызывает мерцание).





# Светодиодная подсветка

Основной недостаток CCFL-подсветки, помимо высокого энергопотребления – сильно неравномерный спектр излучения. Лампы нового поколения обеспечивают более широкий спектр, однако проблему до конца не решают.

Выход – применение светодиодной подсветки. Она может быть реализована:

- На сверхъярких белых светодиодах.
- На комбинации трех светодиодов.
- На массиве светодиодов, расположенных по поверхности.

В последнем случае появляется возможность реализовать неравномерную подсветку панели для улучшения контрастности участков изображения.

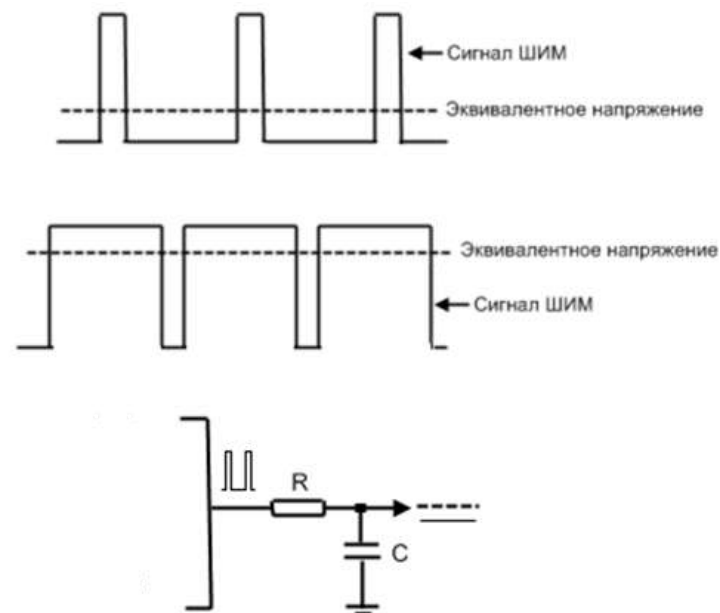
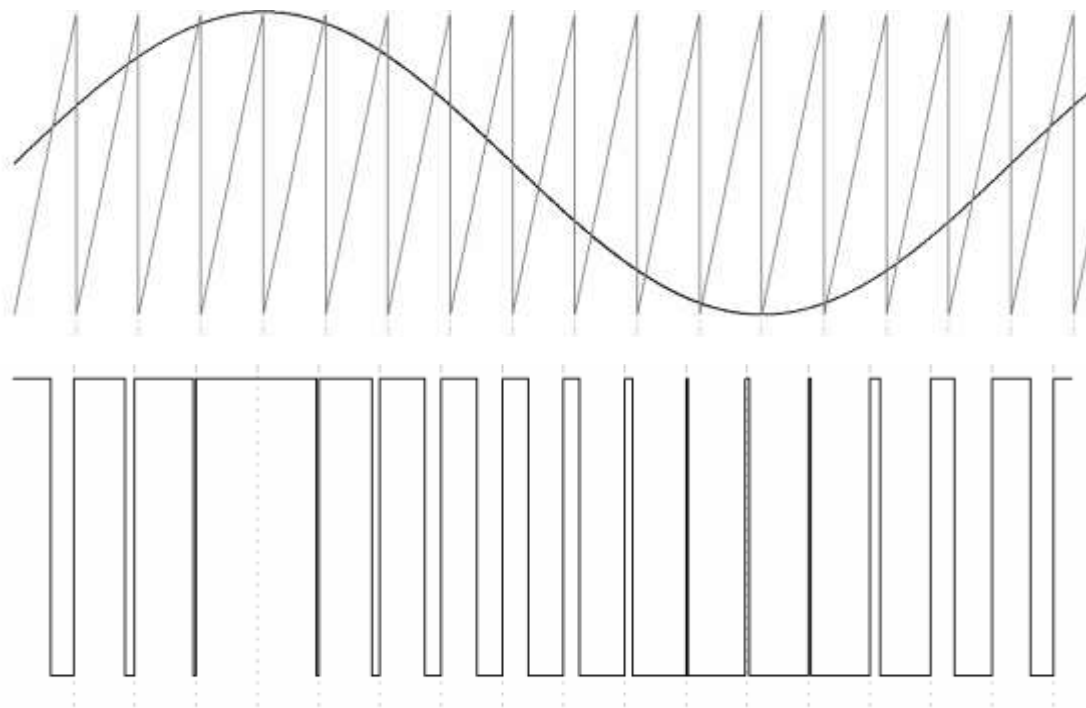
Яркость светодиодов регулируется ШИМ-модуляцией.

- **ШИМ (Широтно-Импульсная Модуляция (PWM — Pulse Width Modulation))**

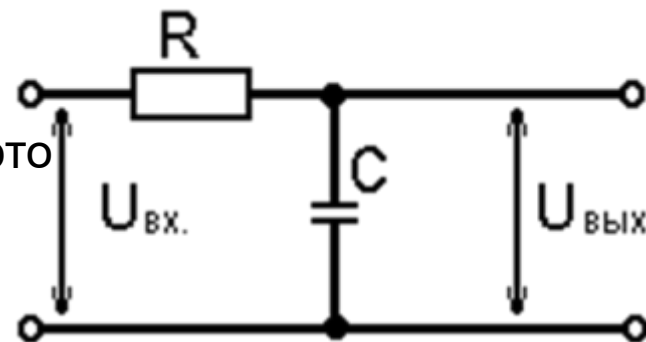
— импульсный сигнал постоянной частоты и переменной скважности (отношение длительности импульса к периоду его следования). С помощью задания скважности можно менять среднее напряжение на выходе ШИМ.

Т.е. хоть мы и работаем с цифровым устройством, которое понимает только 1 и 0 (высокий уровень напряжения +3..+5V (HIGH) и низкий уровень напряжения 0..+2V (LOW)), но мы всё же можем получить напряжение отличное от данных **изменяя скважность импульсов**. Другими словами – получаем аналоговый сигнал цифровыми методами.

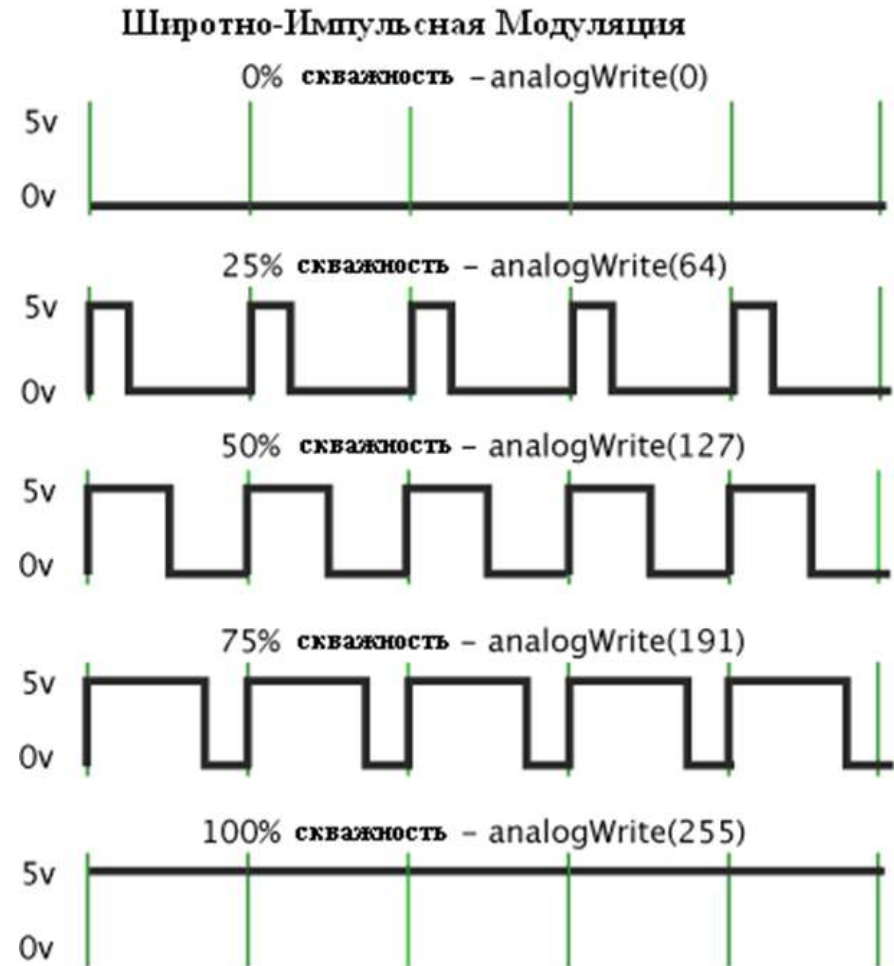
# ШИМ



мы регулируем скважность импульсов и тем самым изменяем эквивалентное напряжение. Скважность это отношение длительности периода к длительности импульса. Чтобы получить из цифрового сигнала постоянный аналоговый можно воспользоваться интегрирующей RC цепочкой.



Таким образом на выходе получим напряжение соответствующее площади под импульсами. Отсюда следует вывод, что меняя скважность можем менять эквивалентное напряжение на выходе. Например, на выходе у нас 50% высокий уровень, а 50% низкий, тогда эквивалентное напряжение будет равно половине от общего напряжения (если это выход МК и максимальная амплитуда импульса 5В, тогда напряжение будет равно 2.5В).



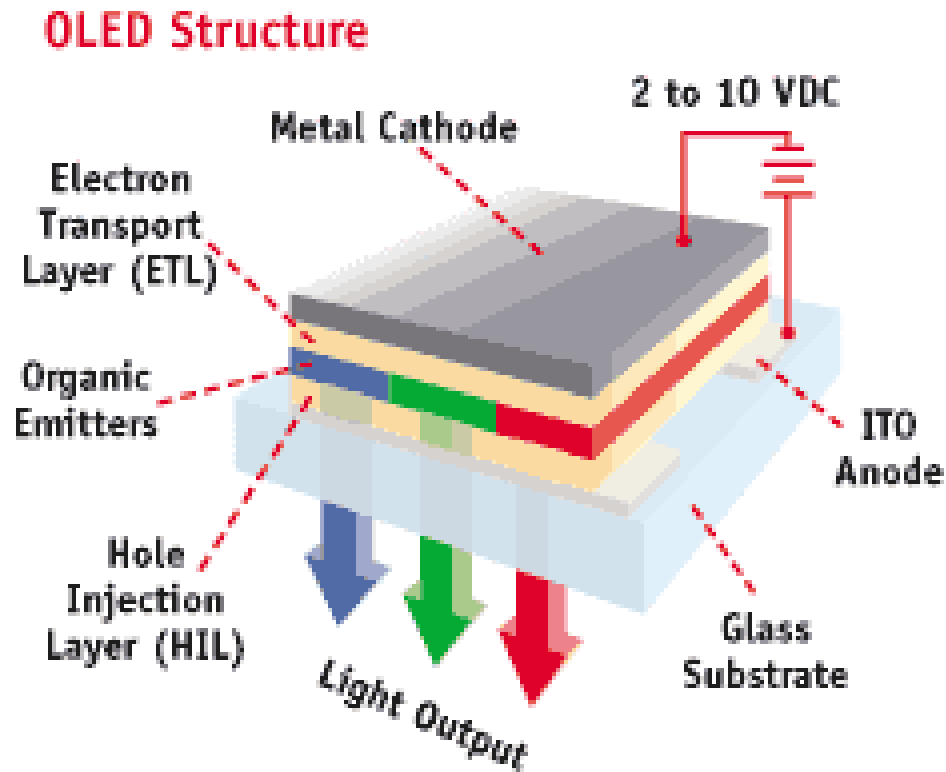
# «Битые» пиксели

Дефекты производства тонкопленочных транзисторов и прозрачных электродов приводят к появлению «битых» пикселей. В частности, замыкание или разрыв могут приводить к появлению ярких или темных субпикселей.

Существуют способы борьбы с этим явлением, но они усложняют разводку токопроводящей матрицы за счет дублирования проводников, а потому применяются редко.

# Альтернативные технологии дисплеев

Самая перспективная технология, которая сменит ЖК в дисплеях будущего – технология OLED (Organic Light-emitting Displays).



# Технология OLED

Многослойная структура OLED состоит из:

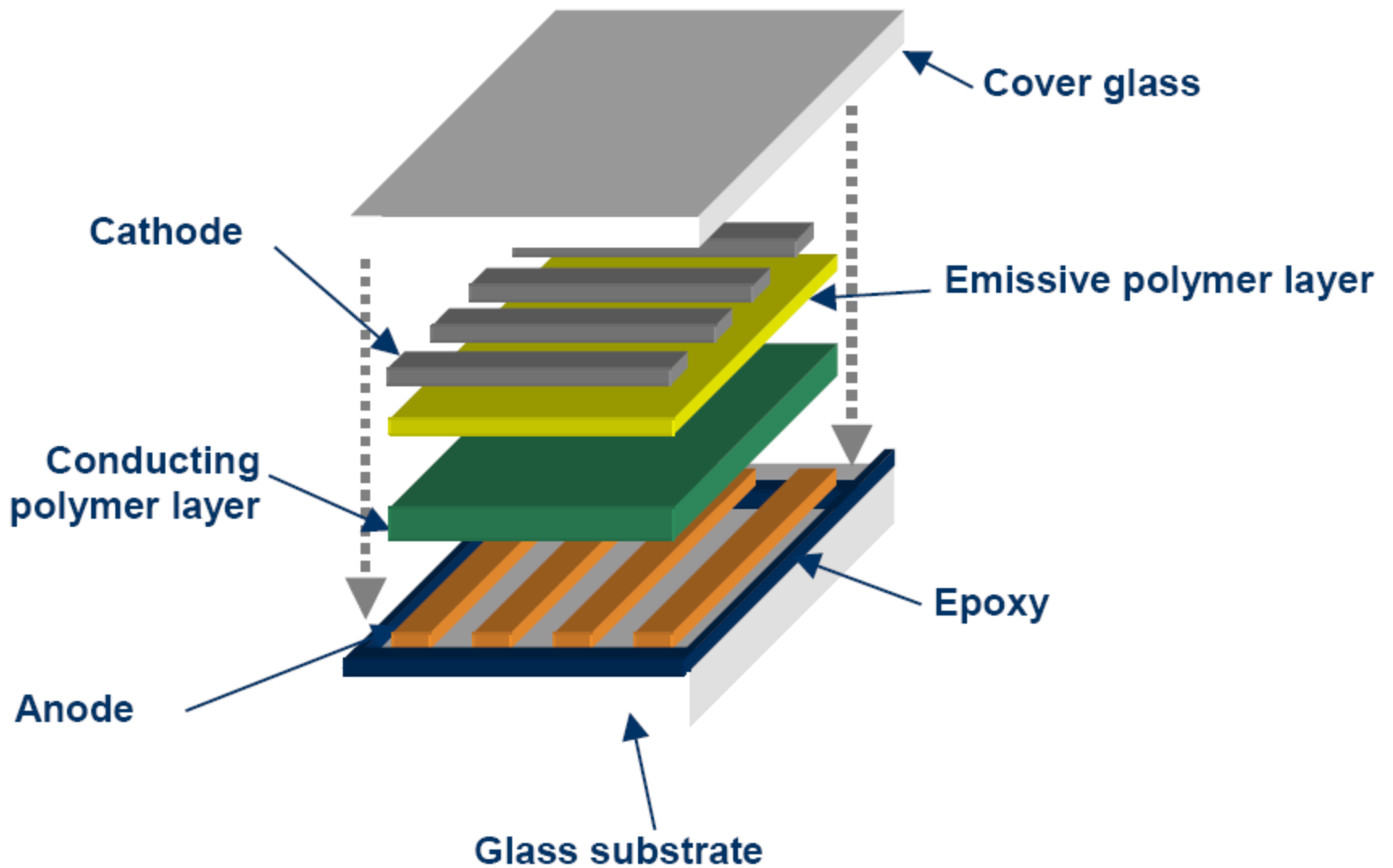
- металлического катода, выделяющего электроны;
- промежуточных органических светоизлучающих слоев;
- анода, в качестве которого выступает прозрачный слой специального вещества – индий-тин-оксида (ITO), нанесенного прямо на стекло или прозрачный органический слой.

Катод – магниево-серебряный или литий-алюминиевый сплав, обладающий отражающими способностями.

В активно-матричных OLED катодные проводники соединены с проводниками и транзисторами, отпечатанными на LTPS-панели тем же методом, что и при производстве ЖК.

В пассивно-матричных OLED разводка выполнена классическим способом, управление происходит подачей шаблона на строки и сканированием столбца. Скорость обновления кадра – 60 FPS.





Наиболее отработанная технология предполагает использование следующих слоев органического материала:

- Инжекторный слой, передающий дырки
- Проводящий дырки слой (conductive layer)
- Проводящий электроны слой
- Слой рекомбинации, излучающий кванты света (emissive layer)
- Инжектированные частицы флуоресцентного вещества позволяют увеличивать яркость и добавлять цвета

В зависимости от технологии полимерный слой может:

- Излучать свет в широком диапазоне (цвет образуется за счет светофильтров)
- Излучать свет в заданном диапазоне (субпиксели трех цветов)
- Излучать свет в синем диапазоне

# Разные варианты технологий

Разработки в области OLED продолжают до сих пор. Уже создано большое количество вариантов – как по типу используемого вещества, так и по структуре панели:

- Субпиксели организуются не триадами, а слоями друг над другом (технология Stacked OLED)
- Эффект электронной фосфоресценции вместо флуоресценции, что позволяет получить более высокий КПД (более 25%) (технология PHOLED)
- Использование полимерных материалов, позволяющих наносить ячейки методом струйной печати
- Использование металло-полимерных материалов с небольшими молекулами (SMOLED), обеспечивающих улучшение КПД на 50%
- Нанесение OLED-слоя не под тонкопленочные транзисторы активной матрицы, а на них – Top Emissive OLED (TOLED)

# Плюсы и минусы OLED

Плюсы OLED проистекают из базового свойства этой технологии – обеспечивать излучение света, а не модуляцию излучения подсветки/

Отсюда:

- Не нужны лампы – матрица получается тоньше
- Энергопотребление уменьшается
- Улучшается цветопередача
- Улучшаются углы обзора
- Нет механики – уменьшается время отклика
- Подложку можно сделать прозрачной (прозрачные OLED) или соединить два экрана вместе (двухсторонние OLED)
- Подложку можно сделать гибкой

Минус OLED только один – срок службы полимерных ячеек недолог, обычно не превышает 15-20 тыс. часов (для ячеек, излучающих свет в синем диапазоне).