

## Раздел 3. Лекция 3.

Графическая под-система ПЭВМ, дисплейные устройства (мониторы) и проекторы, интерфейсы подключения дисплейных устройств. Часть 2

# Основные вопросы лекции

1. Классификация и принцип действия дисплейных устройств (мониторов).
2. Технология ЭЛТ.
3. Технология LCD.
4. Технология OLED.
5. Технология E-ink.

# 1. Компьютерные дисплеи

**Компьютерный дисплей** является основным устройством вывода информации, с помощью которого осуществляется интерфейс «человек-машина» (HID – Human Interface Device).

Первоначально дисплей был рассчитан на вывод текстовой информации, пригодной к просмотру и последующей печати с помощью принтера. Развитие техники привело к появлению графических и видео-адаптеров, способных выводить на дисплей графику и видео соответственно.

На сегодня типичный персональный компьютер поддерживает подключение не менее четырех дисплеев.

**Дисплейный процессор** читает содержимое видеопамати и в соответствии с ним управляет работой дисплея, на котором оно превращается в изображение.

# 1. Классификация графических дисплеев

По способу формирования изображения:

- дисплеи с произвольным сканированием отображающей точки (векторные дисплеи);
- дисплеи с растровым сканированием (растровые).

По техническим способам получения изображения:

- дисплеи на электронно-лучевых трубках (ЭЛТ, cathode ray tube - CRT);
- жидкокристаллические дисплеи (ЖК, LCD – liquid crystal display);
- плазменные дисплейные панели (PDP – plasma display panel);
- светодиодные технические средства (LED – light emitted diode);
- лазерные системы.

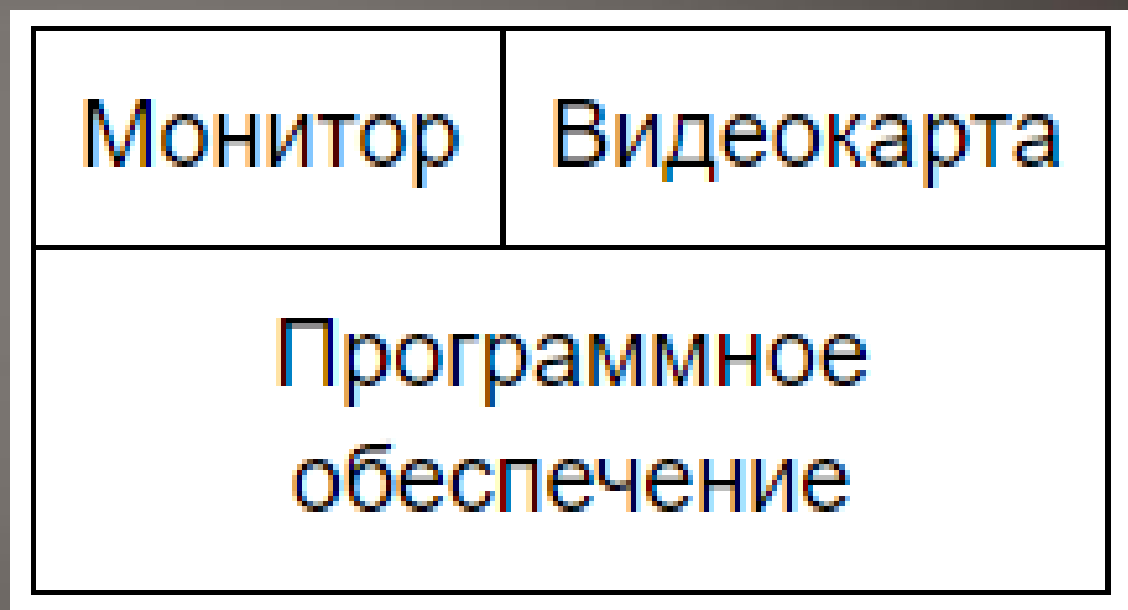
По способам использования в больших системах:

- простейшие алфавитно-цифровые табло;
- индивидуальные дисплеи;
- устройства отображения коллективного пользования с большими экранами.

# 1. Основные характеристики дисплея

- размер экрана по диагонали;
- разрешение экрана;
- формат экрана;
- частота регенерации изображения;
- яркость экрана;
- контрастность;
- глубина цвета;
- размер пикселей;
- углы обзора;
- графические возможности.

# 1. Типовая блок-схема системы отображения информации в ЭВМ



# 1. Монитор. Блок видеокарты.

## Программное обеспечение

**В состав монитора входят:**

- блок развертки электронного луча (для ЭЛТ), блок адресации пикселей (для LCD, PDP);
- блок управления основными характеристиками (яркость, контрастность, цветность);
- блок питания.

**Основные блоки видеокарты:** память, контроллер, ЦАП, видео-ПЗУ, графический процессор.

Современные видеокарты разбиваются на отдельные блоки, такие как: отдел текстурной памяти, отдел кадровых буферов и др.

Контроллер отвечает за вывод изображения из буфера кадров, регенерацию его содержимого, формирование сигналов развертки (CRT - ЭЛТ) или адресацию (LCD, PDP).

Графический процессор: создает трехмерные изображения, ведёт обработку контента изображения на экране. Существуют два основных метода формирования трехмерных изображения – прямой и обратный методы трассирования луча.

**ЦАП** – преобразование кода цвета в аналоговую величину.

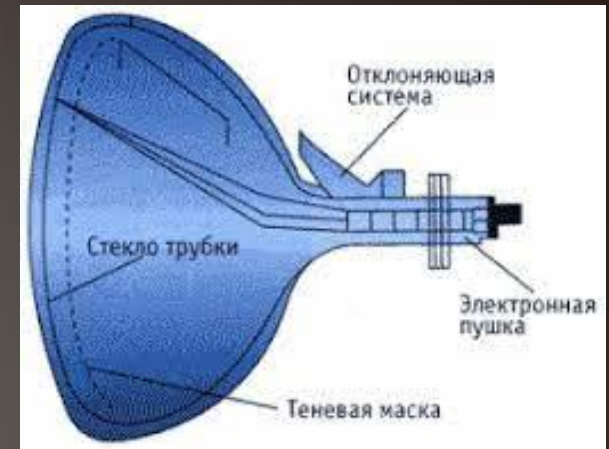
**Видео-ПЗУ** – ПЗУ, в котором записана основная информация для вывода данных: видео BIOS, экранные шрифты.

**Программное обеспечение:**

1. Программные интерфейсы – API. Традиционные: DirectX, OpenGL. Особенность: отсутствие привязанности к аппаратной платформе.
2. Драйверы: связь API-интерфейса с аппаратными средствами.
3. Графические пакеты: 3D Max, CorelDraw, Maya.

## 2. Дисплеи на основе ЭЛТ

Исторически первым, но ныне не используемым на практике типом дисплея был монитор на основе ЭЛТ (CRT Display).



### Принцип работы:

1. Испускаемый пушками пучок электронов модулируется по интенсивности, фокусируется, разгоняется и направляется с помощью отклоняющей системы в заданную точку поверхности стеклянной колбы.
2. Внутренняя поверхность колбы покрыта **люминофором** — материалом, способным излучать свет (кратковременно) при попадании электронов.
3. Для предотвращения засветки соседних пикселей предусмотрена маска (black mask) — лист прочного материала с отверстиями, соответствующими конкретным субпикселям.
4. Луч электронов пробегает горизонтальную строку и по сигналу горизонтальной развертки возвращается назад, но на строку ниже. По сигналу вертикальной развертки луч возвращается в верхний левый угол.



## 2. Внешний и внутренний фотоэффект

Работа фоточувствительных поверхностей основывается на использовании **внешнего и внутреннего фотоэффекта**.

- При внешнем фотоэффекте освобожденные электроны покидают облученное вещество, вылетая в пространство, — фотоэлектронная эмиссия;
- При внутреннем — остаются внутри твердого тела, изменяя его проводимость, — фотопроводимость.

## 2. ЗАКОНЫ ФОТОЭФФЕКТА

1) **Закон Столетова** (основной закон фотоэффекта) – фототок фотоэлемента  $I_\phi$  пропорционален интенсивности светового потока вызывающего этот ток.

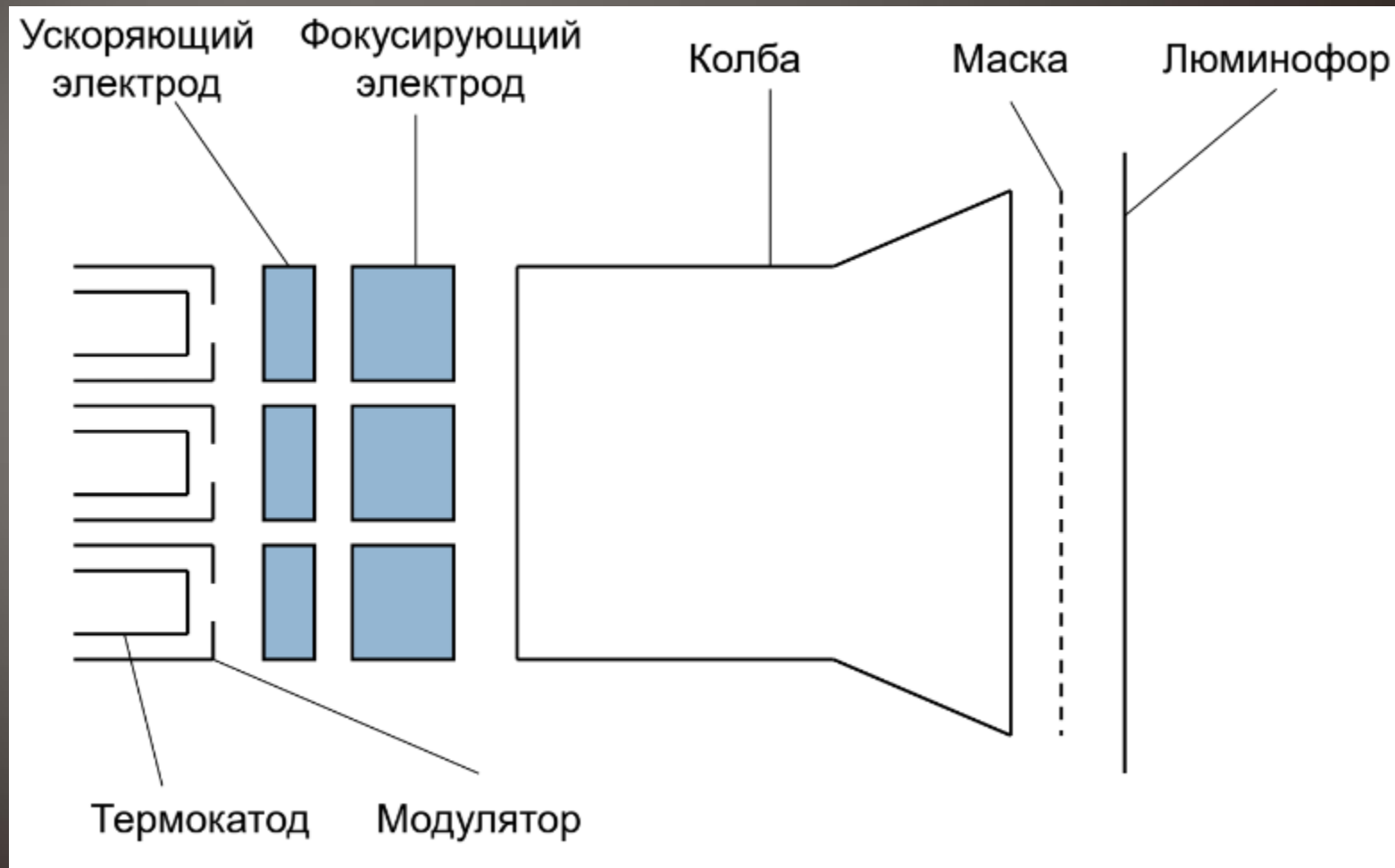
$$I_\phi = S\Phi,$$

где  $\Phi$  – световой поток, лм;  $S$  – чувствительность фотокатода, мкА/лм.

2) **Безинерционность фотоэлектронной эмиссии** – фототок следует за изменениями светового потока практически без запаздывания до частоты 100 МГц.

3) **Закон Эйнштейна** – максимальная энергия фотоэлектрона пропорциональна частоте падающего излучения и не зависит от его интенсивности. Она определяется энергией кванта света.

## 2. Устройство электронно-лучевой трубки



## 2. Трехкомпонентная модель цвета RGB

Наиболее популярной цветовой моделью на сегодняшний день является **RGB** (**Red** – красный, **Green** – зеленый, **Blue** – синий). В ней все три цвета равноправны и независимы. Если три параметра RGB имеют нулевые значения, они описывают черный цвет, если максимальные значения – белый. Эта модель хороша для цветовоспроизведения на устройствах с черным базовым фоном, например на мониторе, который излучает цвет. **RGB** – это аддитивная цветовая модель. Отображение реального цвета на мониторе зависит от производителя монитора и настроек.

В цифровой обработке изображений принято считать, что изображение представляется матрицей целых чисел размером  $N \times M$ , где значение каждого элемента отвечает определенному уровню квантования его энергетической характеристики, или яркости. Это так называемая **пиксельная система координат**.

В данном случае понятие **пиксел** (англ. pixel – сокращенно от picture cell – элемент изображения) имеет значение наименьшего логического элемента двумерного цифрового изображения.

## 2. Растровые изображения

**Растровое изображение** – это изображение, представляющее собой сетку (мозаику) пикселей — цветных точек (обычно прямоугольных) на мониторе, и других отображающих устройствах.

**Растровые изображения** можно разделить на четыре типа:

- бинарные;
- полутоновые;
- палитровые;
- полноцветные.

Их **основная характеристика** – глубина цвета. Этот термин означает количество бит, используемых для описания цвета одного пиксела, и в литературе он обозначается как bpp (от англ. bits per pixel). Выбор типа изображения зависит от решаемой задачи.

Элементы **бинарного** (двухуровневого) изображения описываются одним битом, который принимает значения 0 (черный) и 1 (белый). Эти значения получаются в результате обработки (бинаризации) полутоновых или цветных изображений.

**Полутоновое изображение** состоит из пикселов, которые могут принимать значения от 0 до  $N$ , где  $N=2^k$ . Это один из наиболее распространенных типов изображений. В большинстве случаев используется значение  $k=8$  бит (т. е. один байт) на пиксел.

**Полноцветное изображение** содержит информацию о яркостях цветов (обычно R, G, B), т. е. его можно рассматривать как три полутоновых изображения.

## 2. Расположение электронных пушек

Как получается цветное изображение на экране – **пиксель**.

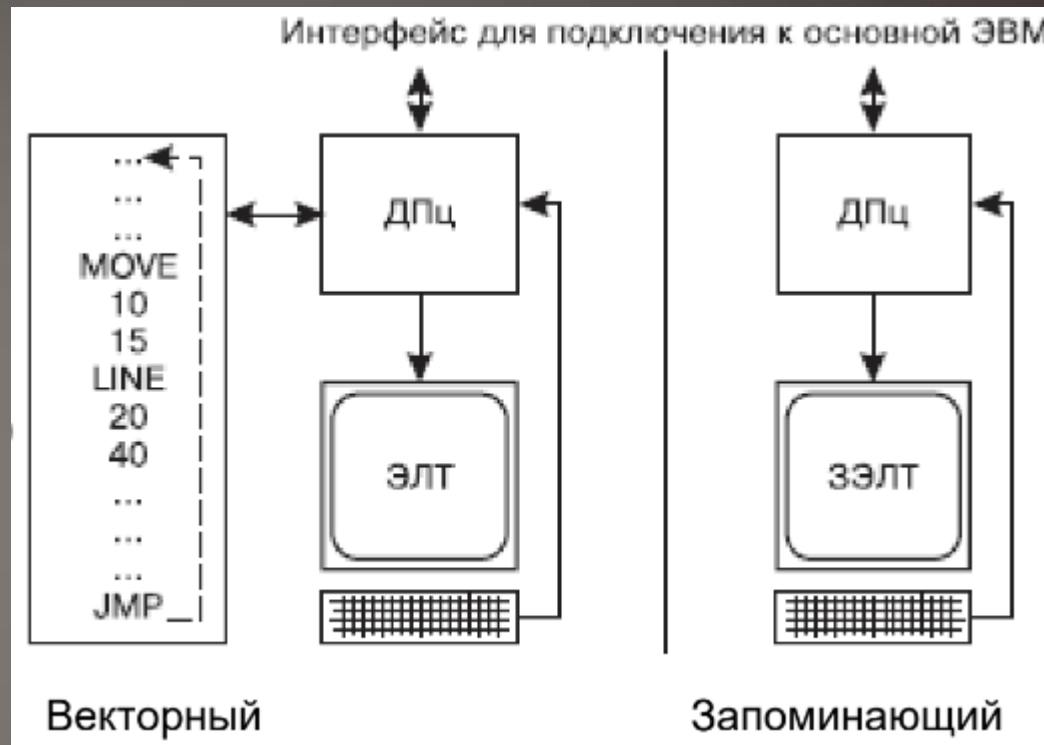
**Черно-белые мониторы.** На черно-белом экране пиксель, на который падает электронный луч, светится белым цветом. Неосвещенный пиксель — черная точка. При изменении интенсивности электронного потока получаются промежуточные серые тона (оттенки).

Каждый пиксель на **цветном экране** — это совокупность трех точек разного цвета: красного, зеленого и синего. Эти точки расположены так близко друг к другу, что нам они кажутся слившимися в одну точку. Из сочетания красного, зеленого и синего цветов складывается вся красочная палитра на экране.

Электронная пушка цветного монитора испускает три луча.



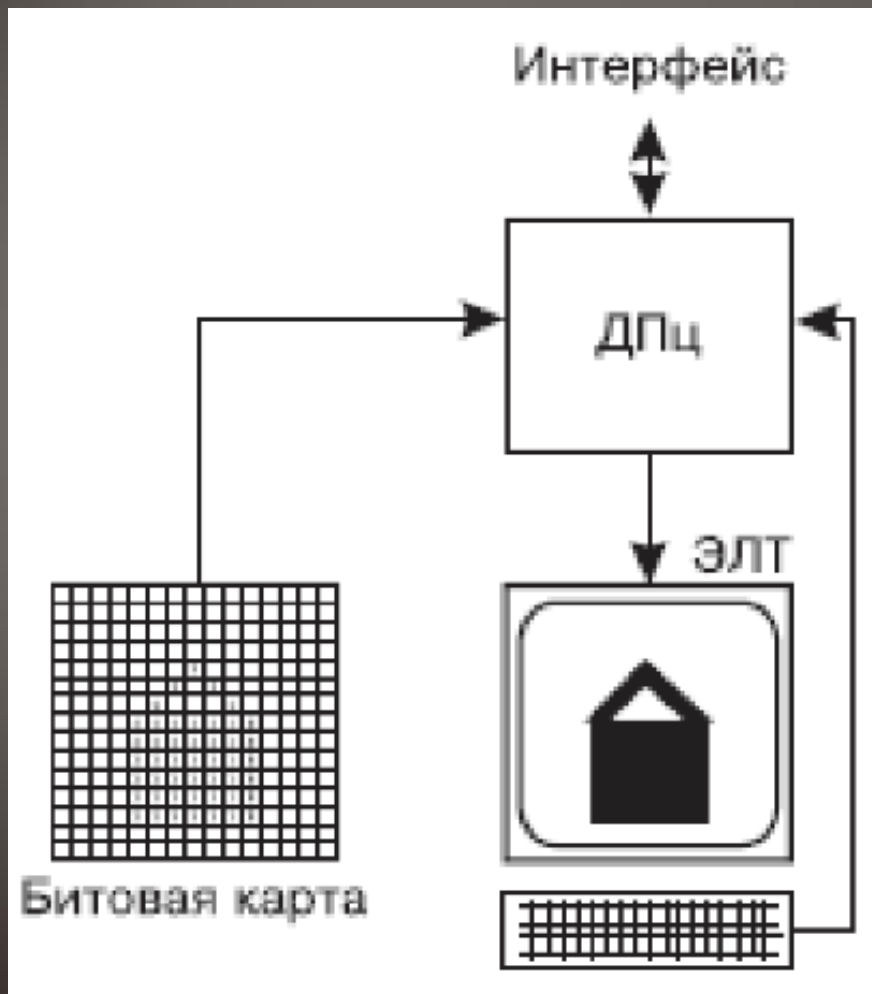
## 2. Устройство дисплея



**Векторный.** ДПц включает команды вывода точек, отрезков, символов. Луч вычерчивает линии на люминоформном покрытии ЭЛТ. Изображение нужно обновлять – *регенерация*.

**Запоминающий.** ЗЭЛТ позволил отказаться от буфера и регенерации. Изображение запоминается путем его однократной записи на запоминающую сетку с люминофором медленно движущимся электронным лучом

## 2. Устройства растрового дисплея



*Растровый.* В растровых дисплеях примитивы хранятся в памяти для регенерации в виде совокупности образующих их точек, называемых *пикселами*. Значения пикселей хранятся в битовой карте, которая и является в данном случае дисплейной программой.



## 2. Особенности работы дисплеев

1) **Векторный**. Дисплейная программа включает команды вывода точек, отрезков, символов. Эти команды интерпретируются дисплейным процессором, (ДПр), который преобразует цифровые значения в аналоговые напряжения, управляющие электронным лучом. Луч вычерчивает линии на люминофорном покрытии ЭЛТ. Полученное таким образом изображение не может храниться долго, так как светоотдача люминофора падает до нуля за несколько микросекунд. Поэтому изображение нужно обновлять - регенерация. Частота регенерации должна быть не меньше 25 раз в секунду, чтобы глаз человека не наблюдал мерцание. В связи с этим буфер, в котором хранится дисплейная программа, называют буфером регенерации.

2) **ЗЭЛТ** позволил отказаться от буфера и регенерации. Изображение запоминается путем его однократной записи на запоминающую сетку с люминофором медленно движущимся электронным лучом. Запоминающие трубки применяются в тех случаях, когда нужно вывести большое количество отрезков и литер и когда нет необходимости в динамических операциях с изображением.

3) **Растровый**. В растровых дисплеях примитивы хранятся в памяти для регенерации в виде совокупности образующих их точек, называемых пикселями. Значения пикселей хранятся в битовой карте, которая и является в данном случае дисплейной программой.

## 2. Получение изображения на векторном дисплее

Луч, управляемый дисплейным процессором, создает изображение, двигаясь от точки к точке по отрезкам прямых, которые называются **векторами**.

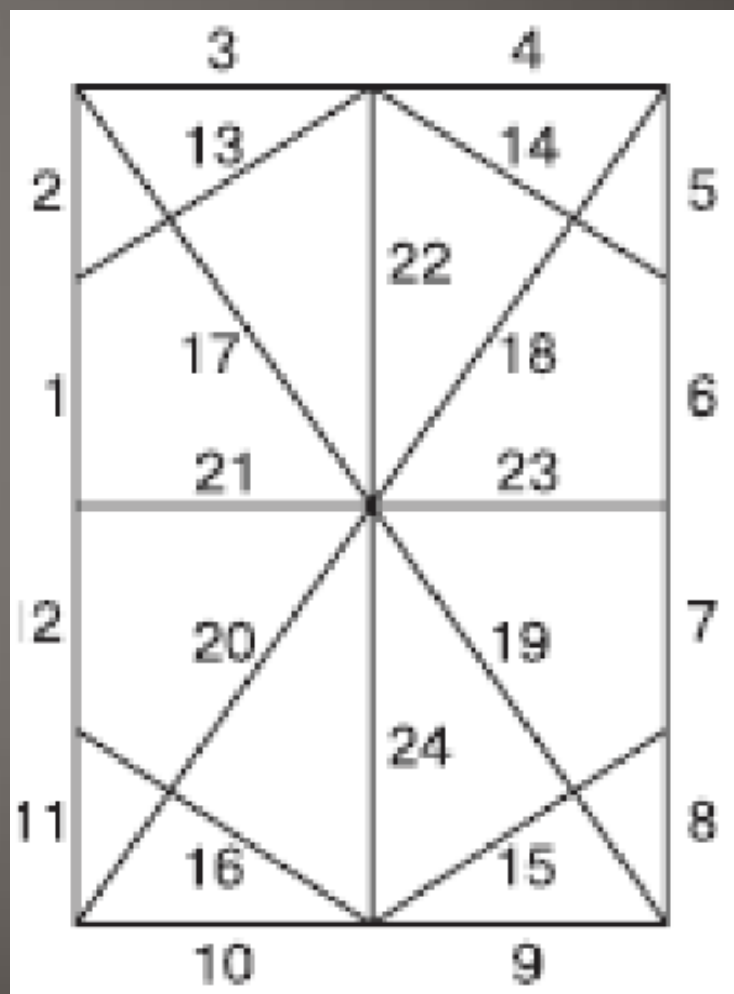
**Генератор векторов** должен управлять тремя параметрами:

- отклонением по оси  $X$ ;
- отклонением по оси  $Y$ ;
- интенсивностью.

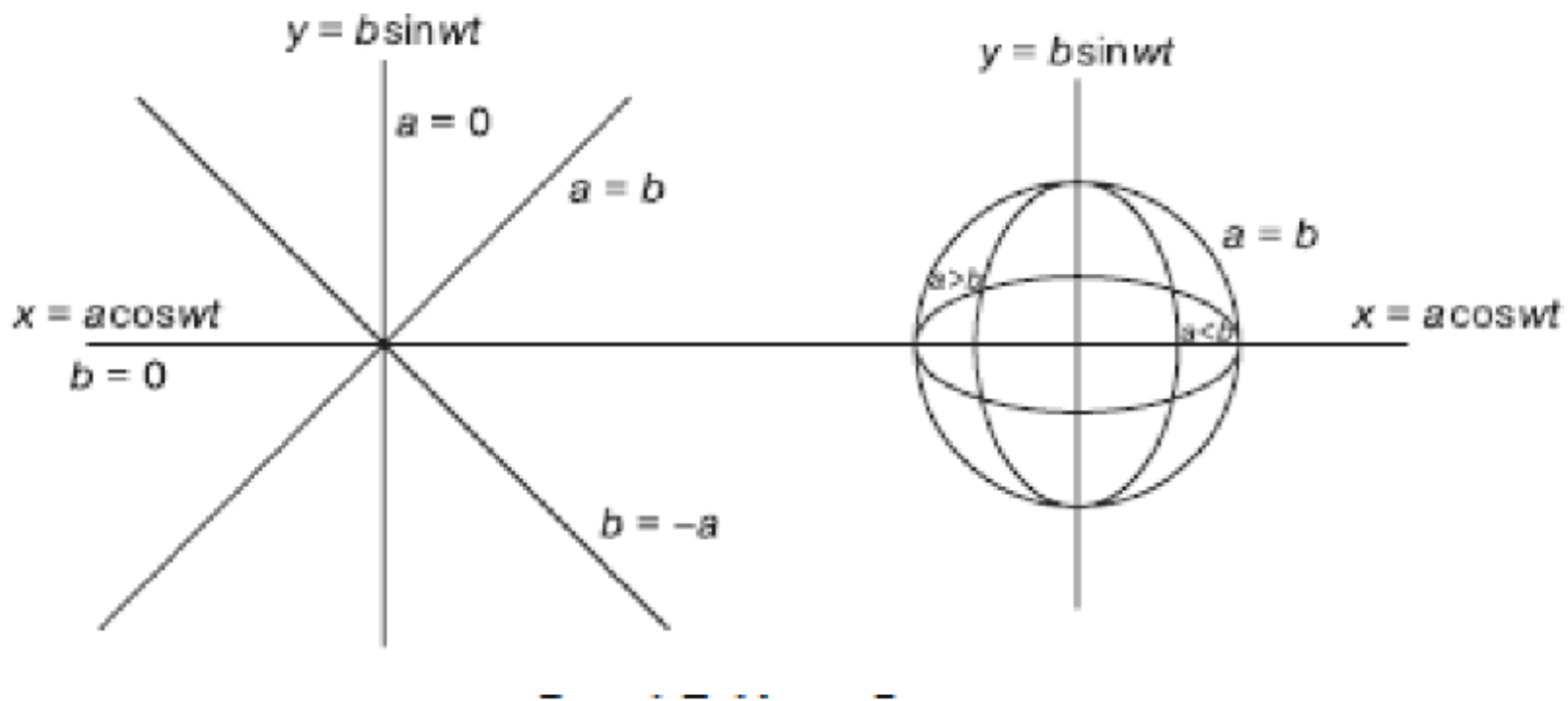
**Генератор символов** выделяют четыре способа :

- метод маски;
- метод Лиссажу;
- штриховой метод;
- метод точечной матрицы.

## 2. Метод маски

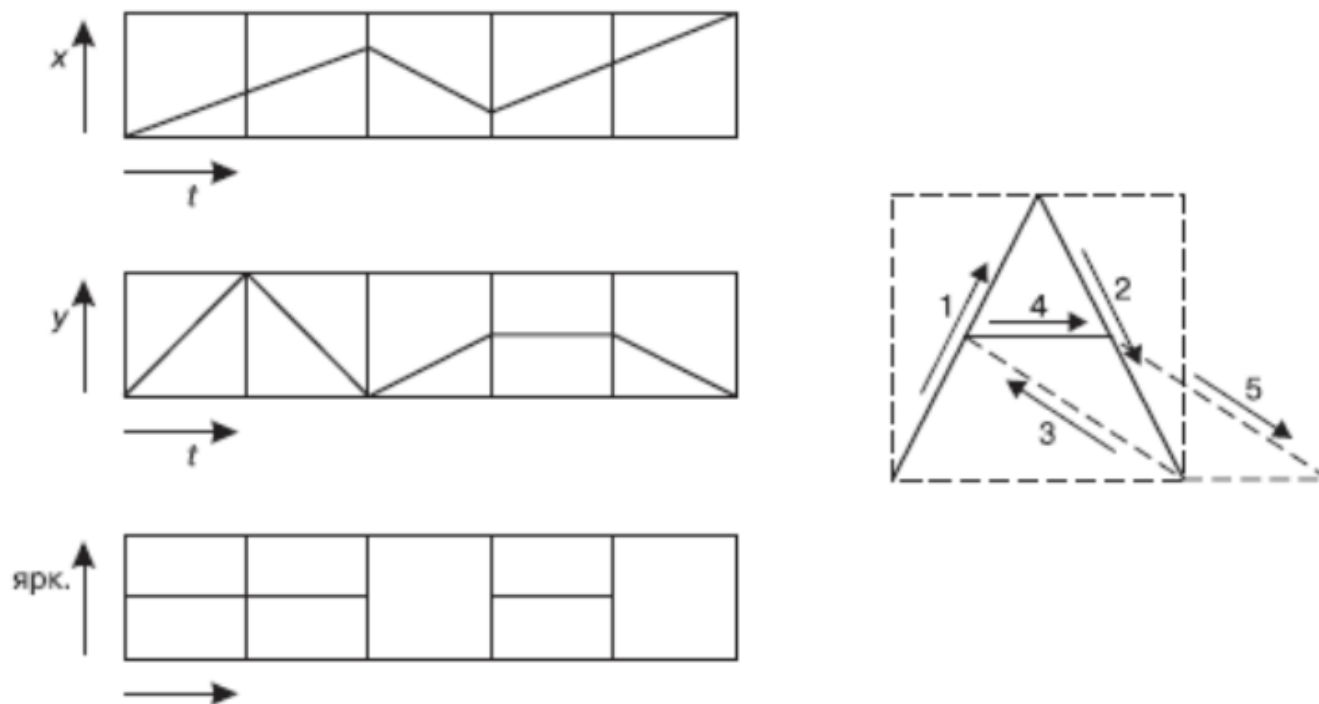


## 2. Метод Лиссажу



Для формирования символов используются фигуры Лиссажу. Этот способ получения символов является аналоговым. Различные возможности генерирования примитивов (отрезков и дуг), из которых формируются символы

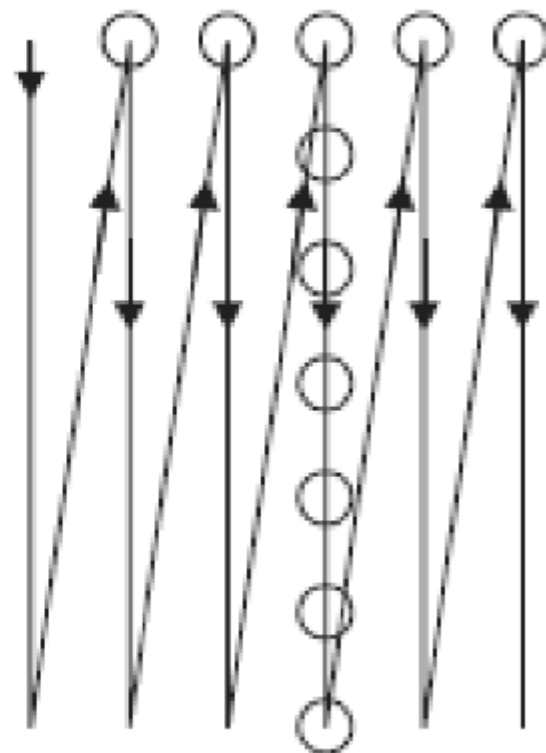
## 2. Штриховой метод



Штриховой генератор символа представляет собой аналоговое устройство, которое выдает волны различной формы отдельно для отклонения луча ЭЛТ по направлениям  $X$  и  $Y$ , а также сигнал яркости в виде «вкл./выкл.»

## 2. Метод точечной матрицы

1	1	1	1	1
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0
0	0	1	0	0



## 2. Компоненты растрового дисплея



## 2. Объем видеопамяти

Информационный объем рассчитывается:

$$I_{\text{п}} = I * X * Y$$

$I_{\text{п}}$  - информационный объем в битах,

$X$  – количество точек по горизонтали,

$Y$  - количество точек по вертикали.

$I$  – глубина цвета в битах на точку.

*Качество зависит от размера экрана и размера пикселя (0,28 мм; 2,24 мм; 0,2 мм ..)*



## 2. Графический режим

- Графический режим вывода изображения на экран монитора определяется величиной разрешающей способности и глубиной цвета.
- Для формирования изображения информация о каждой его точке (код цвета точки) должна храниться в видеопамяти компьютера.

Рассчитаем необходимый объем видеопамяти для графического режима с разрешением 800 x 600 точек и глубиной цвета 24 бита на точку.

Всего точек на экране:

$$800 * 600 = 480\ 000$$

Необходимый объем видеопамяти:

$$24\ \text{бит} * 480\ 000 = 11\ 520\ 000\ \text{бит} = 1\ 440\ 000\ \text{байт} = 1406,25\ \text{Кбайт} = 1,37\ \text{Мбайт}$$

## 2. Палитры цветов в системах цветопередачи

1. **RGB-палитра** цветов формируется путем сложения красного, зеленого и синего цветов (на восприятии излучаемого цвета). Уровень интенсивности цвета задается от min до max (десятичными кодами) в мониторах ПК, телевизорах.

2. **СМУК** – (основные голубой, пурпурный, желтый) путем наложения Г,П,Ж и Черной красок (на восприятии отражаемого цвета). В полиграфии, струйных принтерах.

3. **HSV** – путем установки значений оттенка цвета, насыщенности и яркости. (Hue – тон, Saturation – насыщенность, Value – значение) удобна для создания изображений художниками. В ней координатами цвета являются:

- Hue – цветовой тон, обычно варьируется в пределах  $0^{\circ}$ – $360^{\circ}$ , где  $0^{\circ}$  – красный,  $120^{\circ}$  – зеленый,  $240^{\circ}$  – синий (тон цвета задается в градусах);
- Saturation – насыщенность, изменяется в пределах 0;
- Value – яркость, задается в пределах 0–100 или 0–1.

### 3. 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.

### 3. 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 направление преобразования света – мы получаем управляемый светофильтр.

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

### 3. АНИЗОТРОПНОСТЬ

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

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.

### 3. 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** - это среда, физические свойства которой различны в различных направлениях.

### 3. Поляризация света

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



### 3. Закон Малюса

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

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



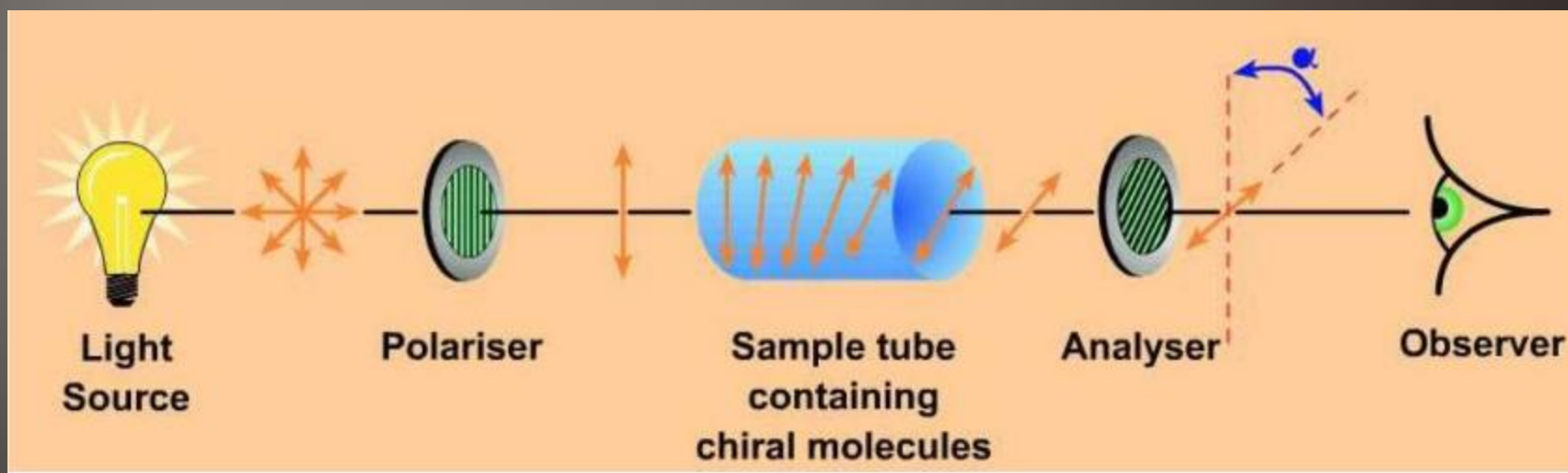


### 3. Закон Малюса



### 3. Оптически активное вещество

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



### 3. 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

### 3. 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.



### 3. Жидкие кристаллы

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.



### 3. 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.

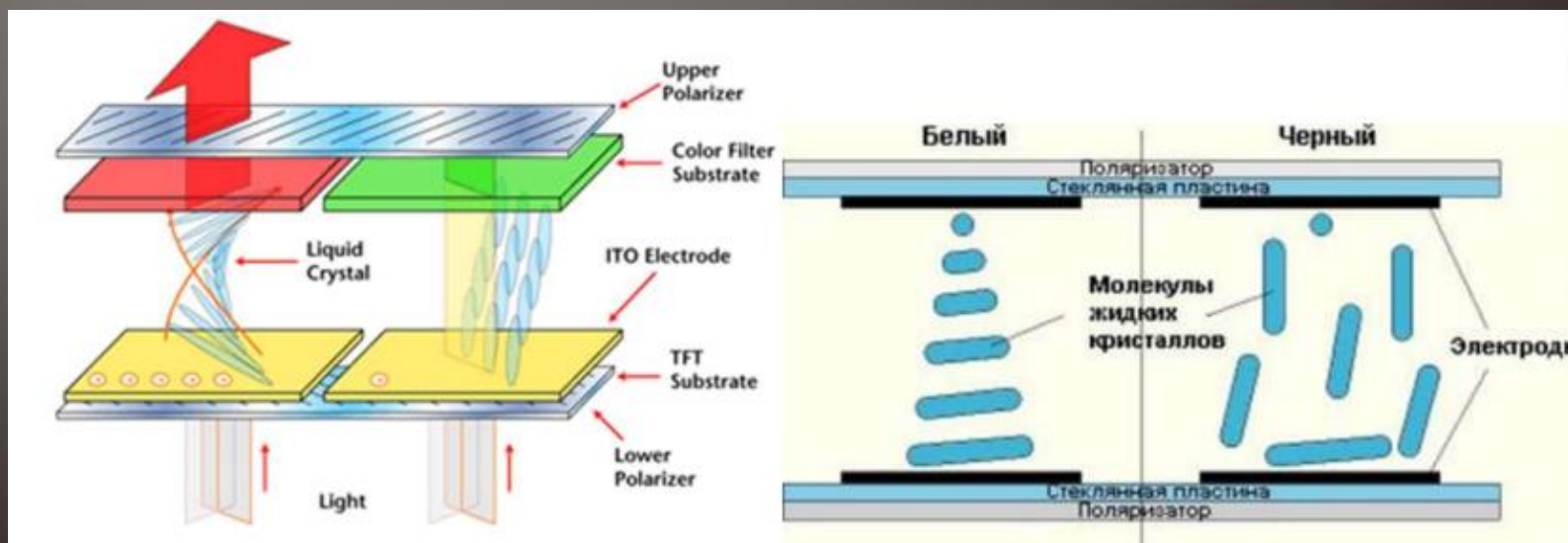
### 3. Технология Twisted Nematics (TN)

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.

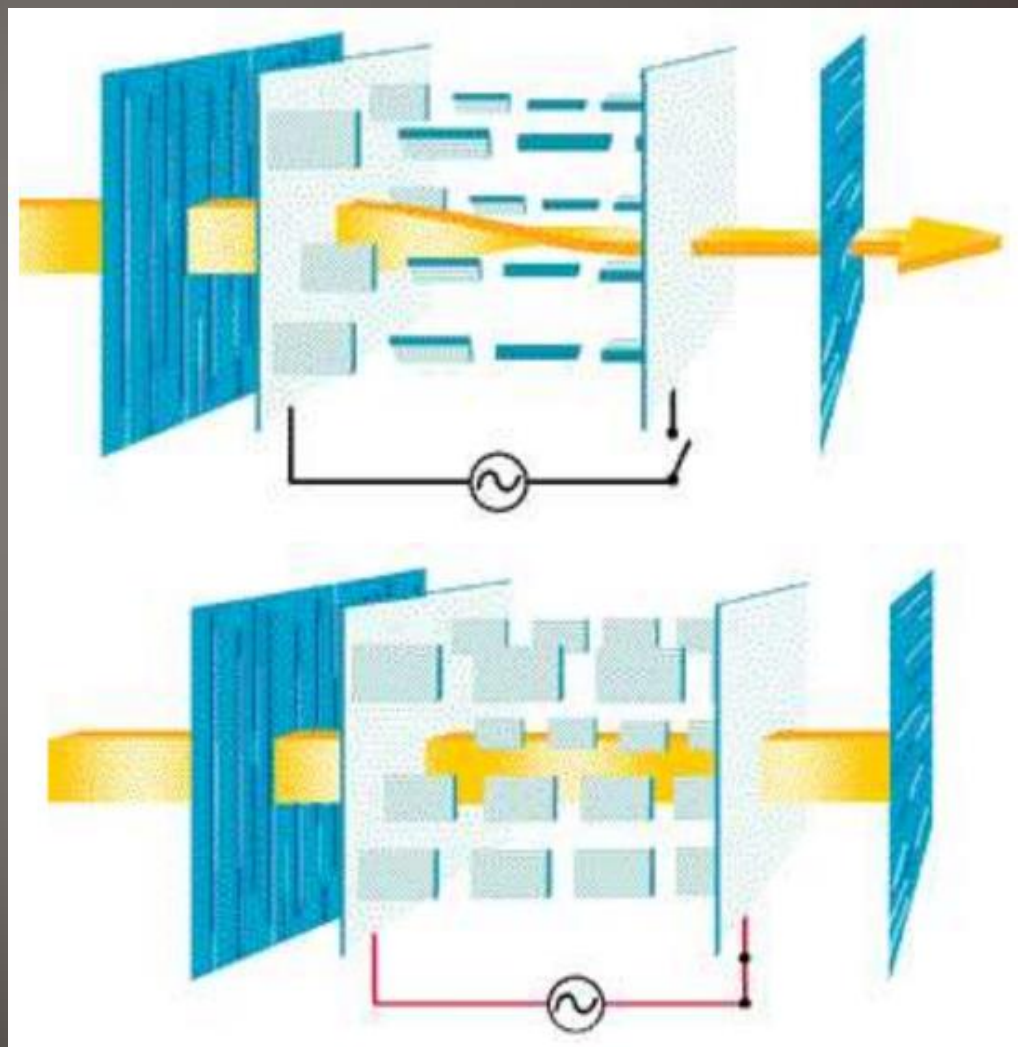
Под действием электрического поля (прозрачные электроды расположены с двух сторон) кристаллы выпрямляются, при снятии поля – восстанавливают спиральное расположение.

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.



### 3. Технология Twisted Nematics (TN)





### 3. Технологии ЖК: In-Plane Switching

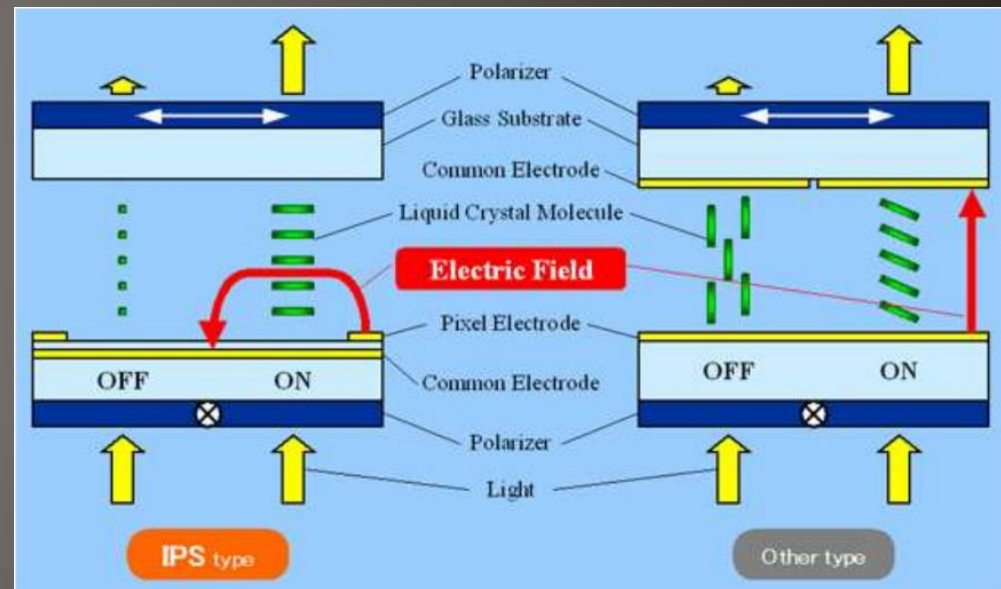
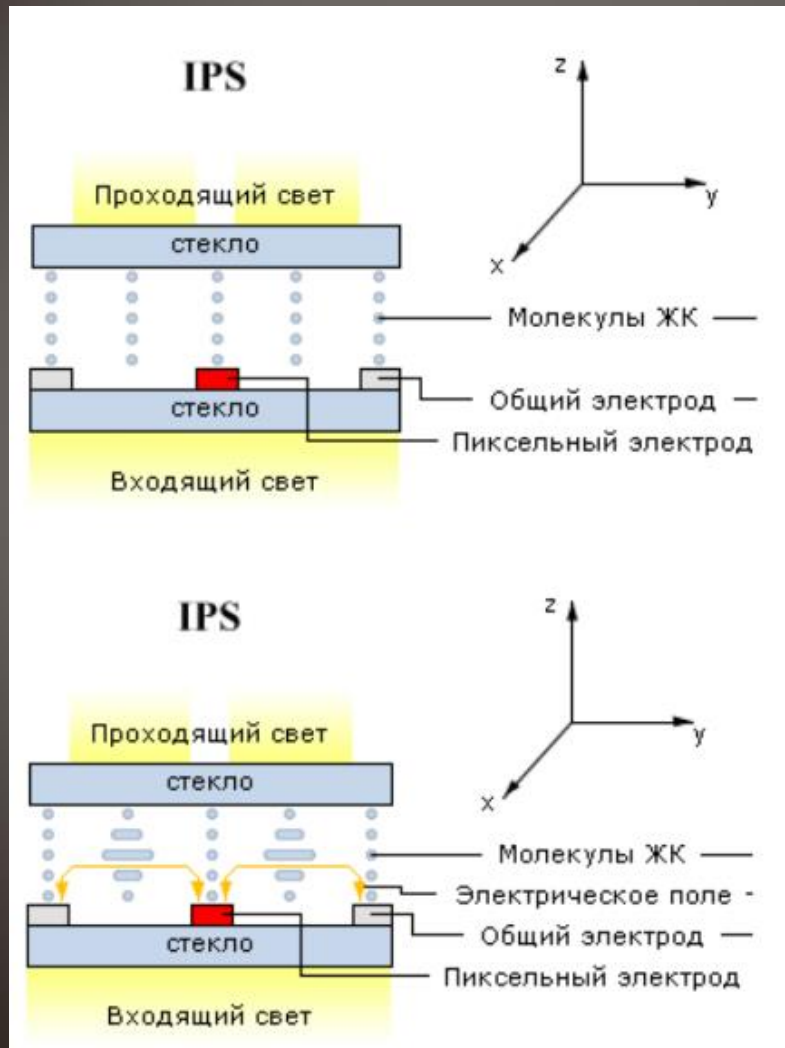
Используется планарная геометрия, а электроды нанесены на одну подложку – нижнюю. Все кристаллы выровнены вдоль одной оси, параллельной плоскости подложки.

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).



# 3. Технологии ЖК: In-Plane Switching

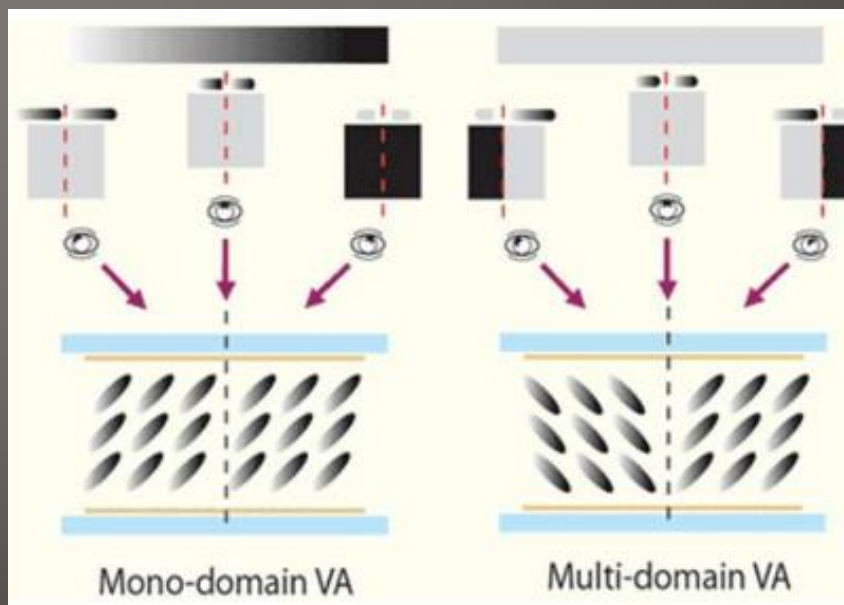


### 3. Технологии ЖК: Vertical Domain Alignment

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.



### 3. Аналоги MVA

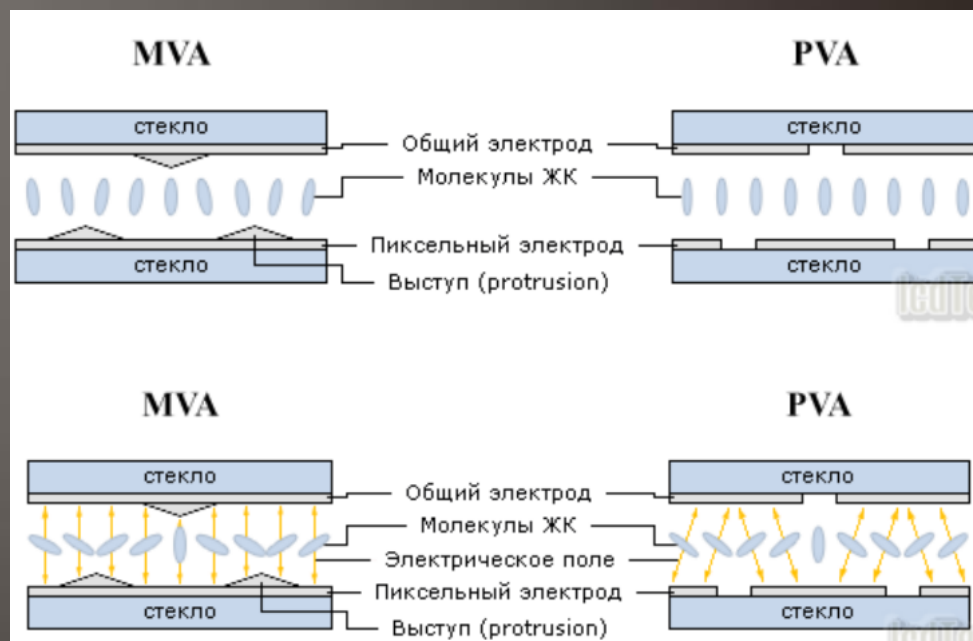
**PVA** (Patterned Vertical Alignment) - развитие \*VA технологии, предложенное фирмой Samsung, характеризуется в первую очередь увеличенной контрастностью изображения.

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 путем 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.



### 3. 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.

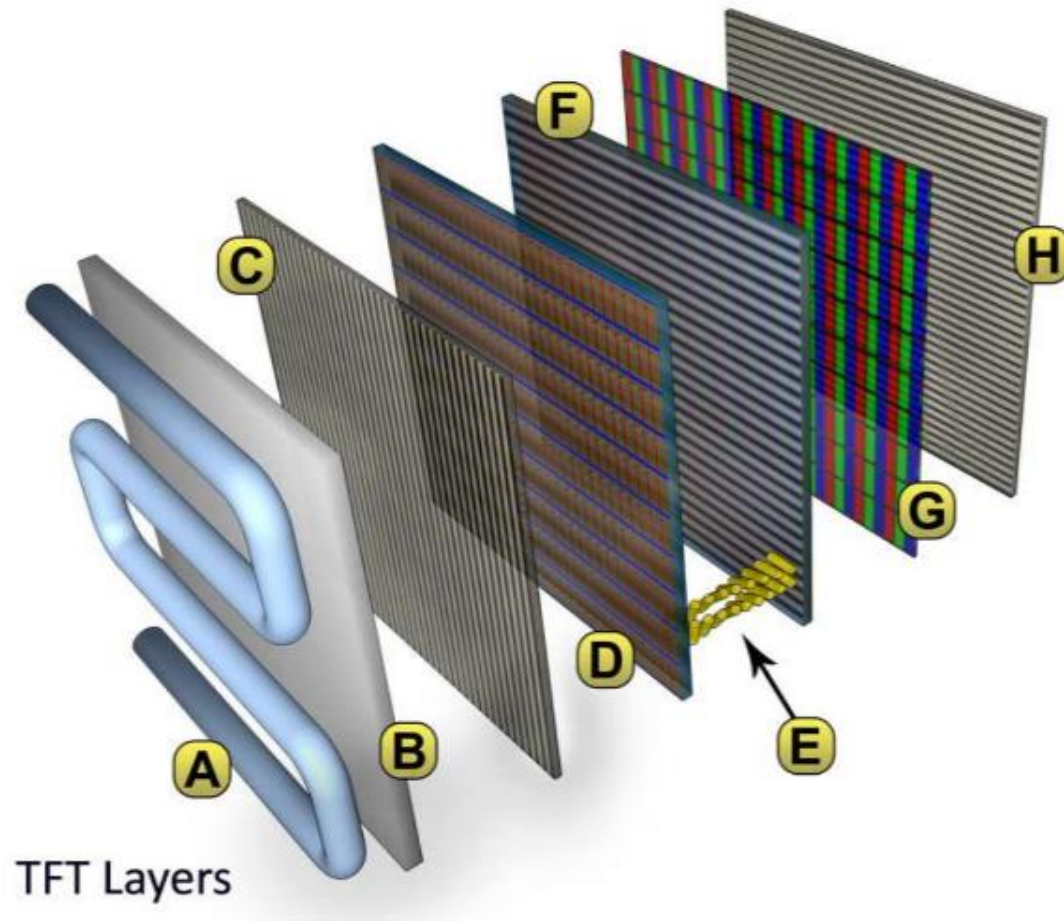
Жидкие кристаллы заключены между двух стеклянных панелей, имеющих на внутренней стороне рельеф (насечки), выполненный из полимерного материала.

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.



### 3. Конструкция ЖК-панели



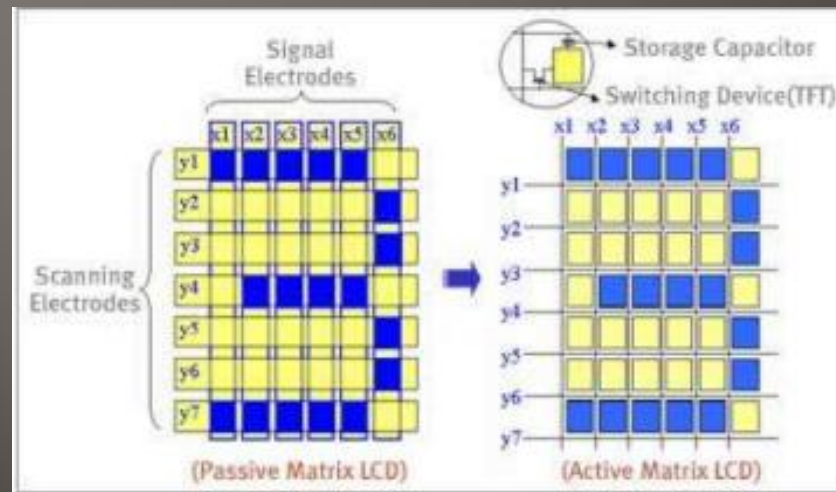
A – лампа подсветки, B – рассеиватель, C – поляризатор, D – нижняя панель, E – ячейки ЖК, F – верхняя панель, G – светофильтры, H – поляризатор

### 3. 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.



### 3. Пассивная и активная матрицы

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.



### 3. 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).

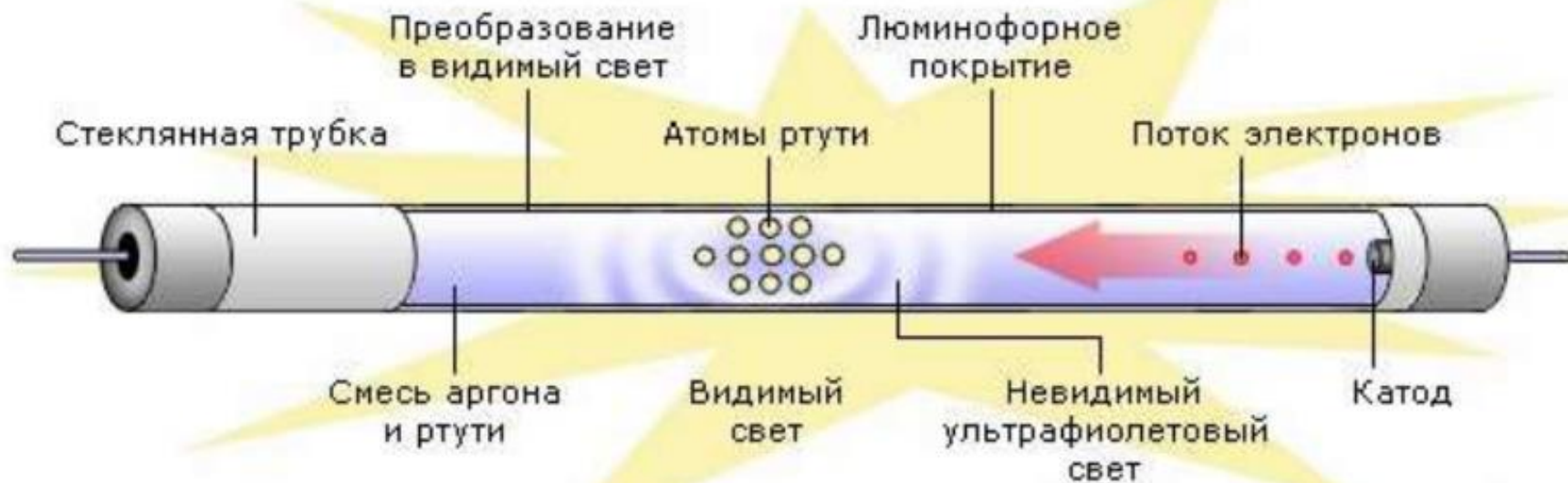
### 3. Подсветка ЖК-панели

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

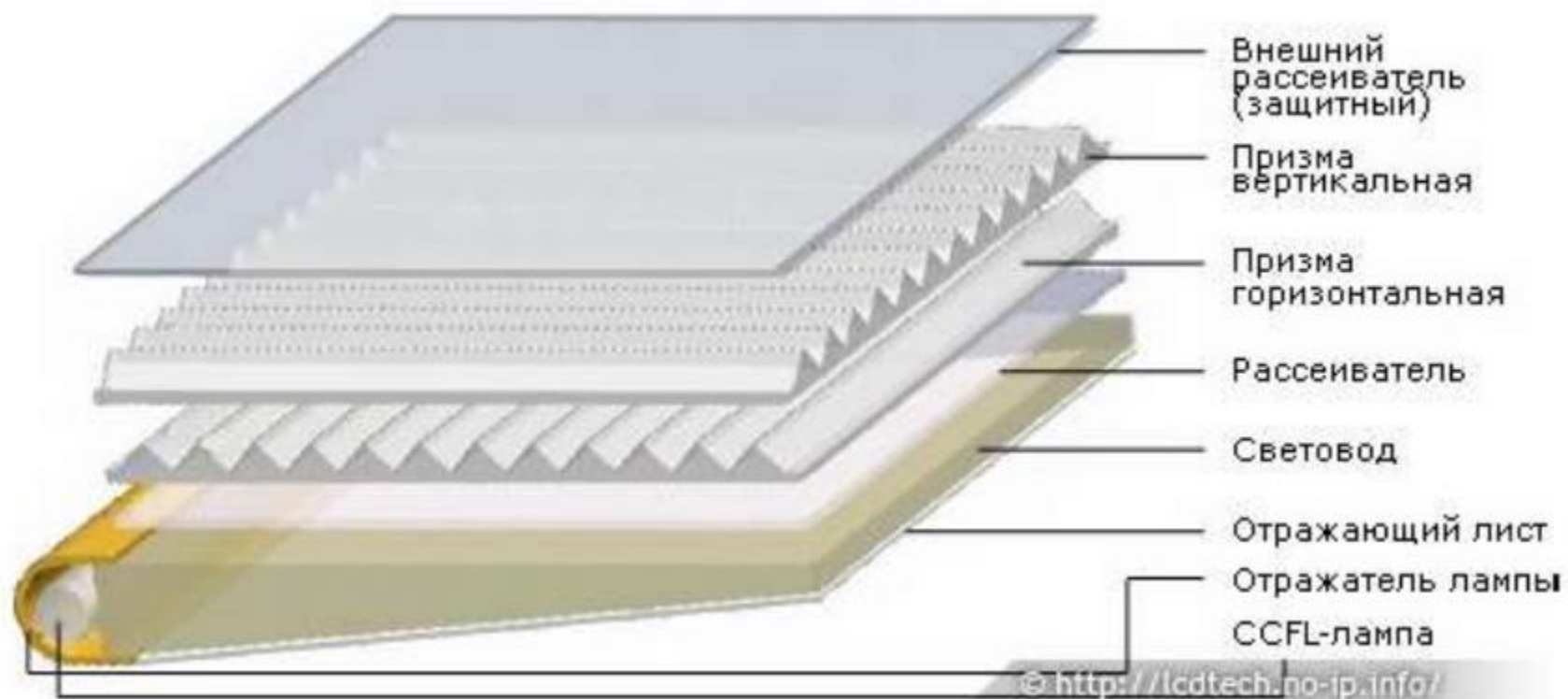
Традиционная подсветка выполнена на флуоресцентных лампах с холодным катодом (CCFL). В этих лампах отсутствует катод накаливания, благодаря чему снижается температура самих катодов (50-150 гр.). Лампа представляет собой трубку, заполненную аргоном с добавлением ртути. Подача высокого пускового напряжения (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.

### 3. Лампа CCFL



### 3. Лампа CCFL



### 3. 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.

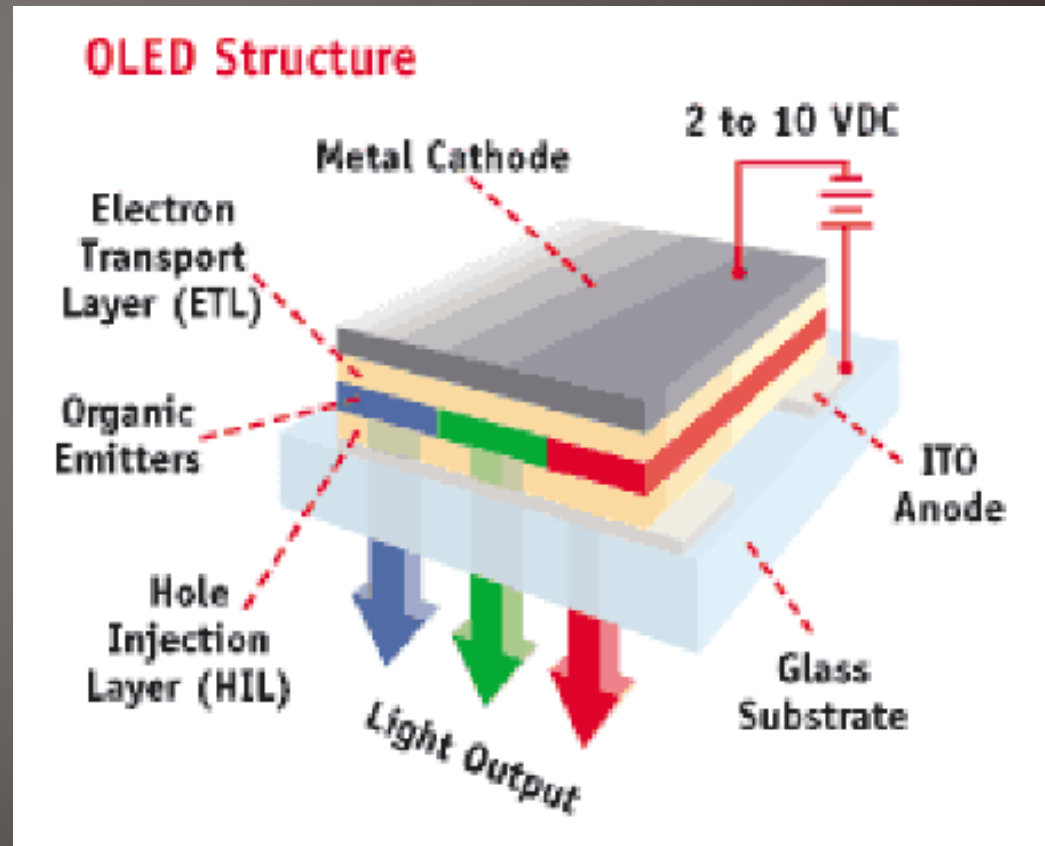
### 3. «Битые» пиксели

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.

## 4. Технология OLED

Технология OLED (Organic Light-emitting Displays) пришла на смену ЖК.



## 4. Технология OLED

Многослойная структура OLED состоит из:

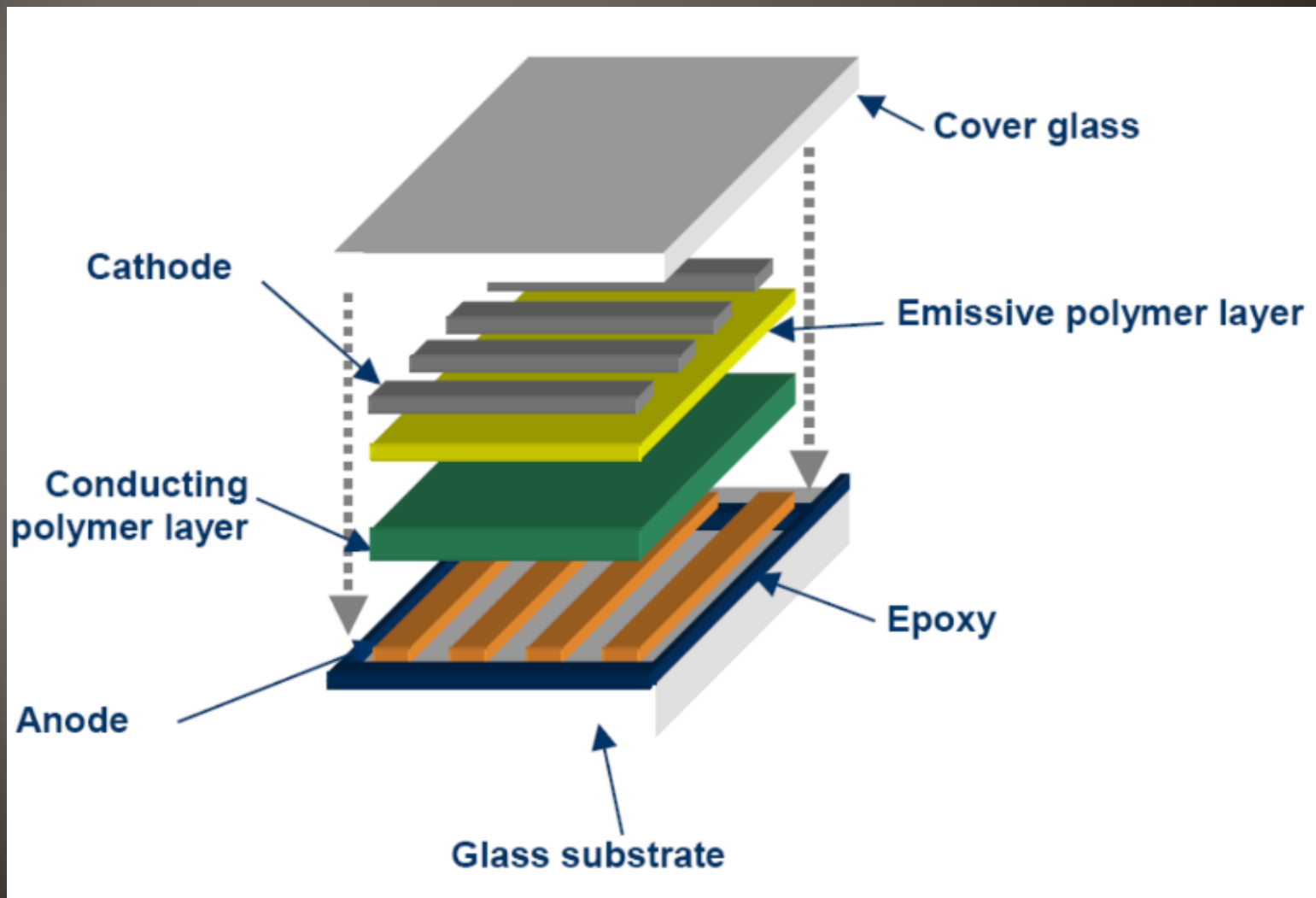
- металлического катода, выделяющего электроны;
- промежуточных органических светоизлучающих слоев;
- анода, в качестве которого выступает прозрачный слой специального вещества – индий-тин-оксида (ITO), нанесенного прямо на стекло или прозрачный органический слой.

**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.



## 4. Технология OLED



## 4. Технология OLED

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.

## 4. Разные варианты технологий

Разработки в области OLED продолжаются 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).

## 4. 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).

## 5. Технология E-ink

**E-Ink** – это уникальная технология, которая применяется при производстве дисплеев для электронных ридеров. Экраны с электронными чернилами максимально близки к обычной бумажной странице: они безопасны для зрения, максимально энергоэффективны, а также легко читаются на солнечном свете (в отличие от обычных TFT дисплеев).

Преимущества:

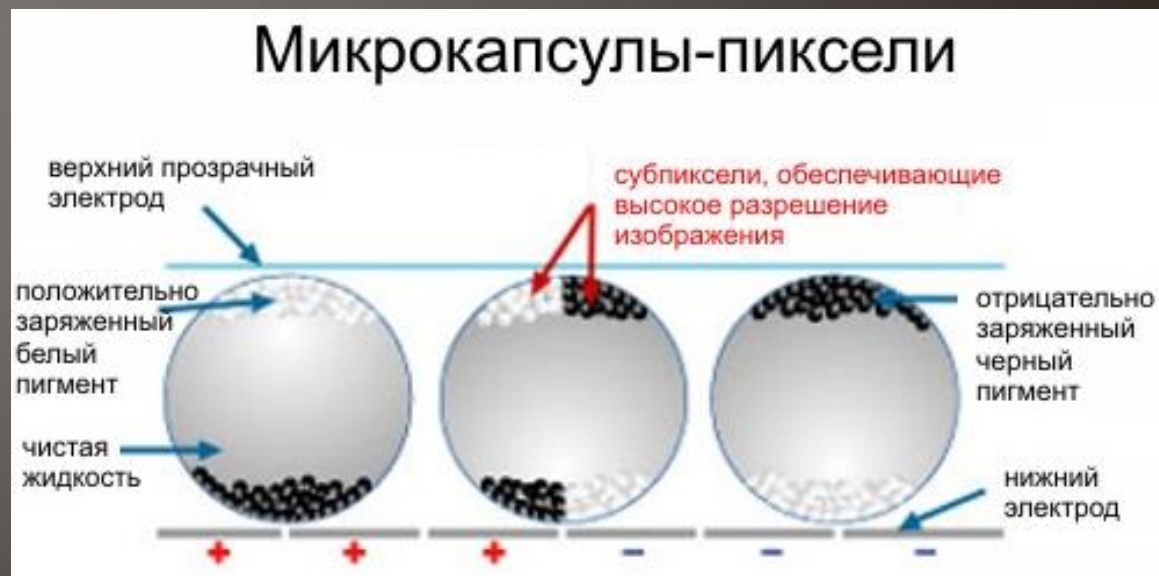
- Технология электронных чернил;
- До месяца без подзарядки;
- Комфорт чтения при солнце;
- Максимальная ширина угла обзора.

Недостатки:

- Нет возможности показывать увеличенный фрагмент большого текста или изображения на маленьком экране;
- Подверженность экрана механическим повреждениям (E-ink Vizplex, E-ink Pearl), но этот недостаток был исправлен заменой стеклянной подложки на пластиковую и после этого экраны стало возможным изгибать (E-ink Flex).

## 5. Технология E-ink

Электронная бумага была впервые разработана в Исследовательском центре компании Xerox в Пало Альто (англ. *Xerox's Palo Alto Research Center*) Ником Шеридоном (англ. *Nick Sheridan*) в 1970-х годах. Первая электронная бумага, названная Гирикон (англ. *Gyricon*), состояла из полиэтиленовых сфер от 20 до 100 мкм в диаметре. Каждая сфера состояла из отрицательно заряженной чёрной и положительно заряженной белой половины. Все сферы помещались в прозрачный силиконовый лист, который заполнялся маслом, чтобы сферы свободно вращались. Полярность напряжения, подаваемого на каждую пару электродов, определяла, какой стороной повернется сфера, давая, таким образом, белый или чёрный цвет точки на дисплее.



## 5. Электронные чернила

В 1990-х годах Джей-Ди Альберт, Барретт Комиски, Джозеф Джейкобсон, Джереми Рубин и Рассел Уилкокс изобрели другой тип электронной бумаги. Впоследствии они совместно основали корпорацию E Ink Corporation, которая, совместно с Philips, через два года разработала и вывела эту технологию на рынок.

**Принцип действия** был следующий: в микрокапсулы, заполненные окрашенным маслом, помещались электрически заряженные белые частички. В ранних версиях низлежащая проводка управляла тем, будут ли белые частички вверху капсулы (чтобы она была белой для того, кто смотрит) или внизу (смотрящий увидит цвет масла). Это было фактически повторное использование уже хорошо знакомой электрофоретической технологии отображения, но использование капсул позволило сделать дисплей с использованием гибких пластиковых листов вместо стекла.

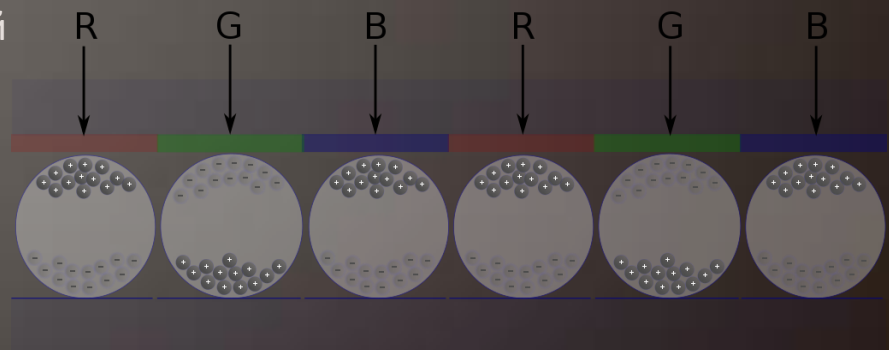
## 5. Многоцветная (полихромная) электронная бумага

Обычно цветная электронная бумага состоит из тонких окрашенных оптических фильтров, которые добавляются к монохромному дисплею, описанному выше. Множество точек разбито на триады, как правило, состоящие из трёх стандартных цветов CMYK: циановый, пурпурный и жёлтый. В отличие от дисплеев с подсветкой, где применяется RGB и сложение цвета, в e-ink цвета формируются методом вычитания, как и в полиграфии.

Первая компания, сумевшая вывести на рынок такую технологию — всё та же E-Ink. Её матрица Triton, выдающая несколько тысяч оттенков цвета, уже используется в ридерах.

В начале 2011 года был анонсирован первый eReader, использующий долгожданную технологию Mirasol компании Qualcomm. Совместно с компанией Kyobo book они вывели на рынок E-reader с этой технологией под названием Kyobo eReader.

Принцип действия многоцветной электронной бумаги, использующей светофильтры:





## 5. Поколения электронной бумаги

**Первое поколение:** Первая технология электронной бумаги, вышедшая на массовый рынок.

- VizPlex — 800x600, 16 оттенков серого. Контрастность 7:1.

**Второе поколение:** Во втором поколении были улучшены время отклика, энергопотребление и контрастность.

- Pearl — 800x600, 16 оттенков серого. Контрастность 10:1;
- Pearl HD — 1024x758, 16 оттенков серого. Контрастность 12:1;
- Carta — до 2200x1650, 16 оттенков серого. Контрастность 15:1.

**Третье поколение:** В третьем поколении появилось цветное изображение.

- Triton 1 — 800x600, до 4096 цветов (физическое разрешение 1600x1200). Контрастность 10:1. Цветной пиксель имеет 4 физических пикселя под каждым светофильтром: красный, синий, зелёный и белый;
- Triton 2 — 800x600, до 4096 цветов (физическое разрешение 1600x1200). Контрастность 10:1. Цветной пиксель состоит из 3 физических пикселей: красного, зелёного и синего.