

# ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ И ПРИБОРЫ НА ИХ ОСНОВЕ

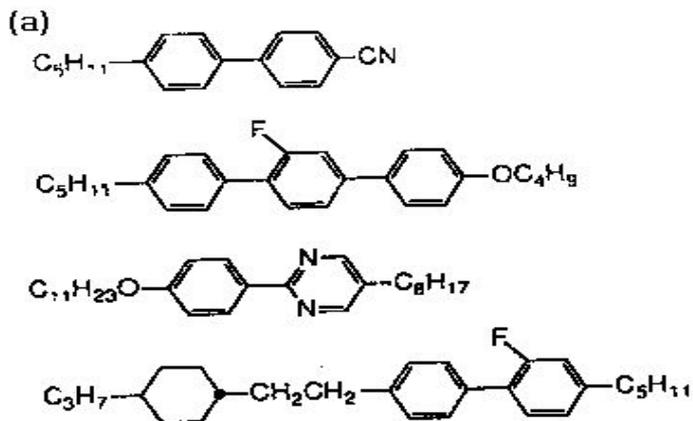
В настоящее время технологии жидкокристаллических мониторов ЖК были известны химикам еще с 1888 г., но только 1960-х годов началось их практическое использование (для экранов часов и калькуляторов). В 1990 г. Де Жен получил Нобелевскую премию за теорию ЖК. В настоящее время жидкие кристаллы произвели революцию в электронике — они используются в самых различных дисплеях (в часах, мини телевизорах), ЖК мониторах для компьютеров, как визуальные термодатчики (изменение цвета от температуры) и др.

Твердое тело (3-мерное)      →      мезофаза (1-2-мерная)      →      жидкость (изотропная)

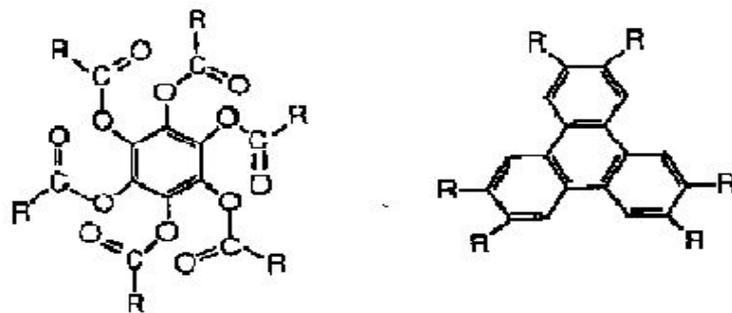
*Термином жидкий кристалл (ЖК) обозначается мезофаза между твердым состоянием и изотропным жидким состоянием, при этом мезофаза сохраняет фундаментальные свойства присущие двум состояниям материи .*

«Мезос», означает промежуточный, средний.

В отдельных случаях мезофаза оказывается стабильной в широкой области температур, включая комнатную, тогда говорят о ЖК.



b1

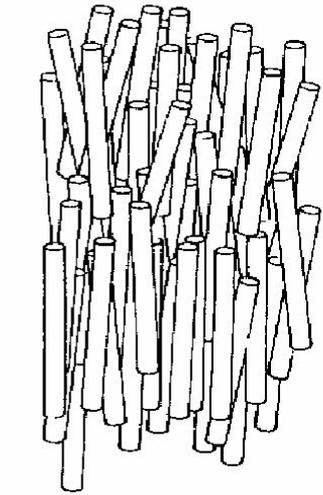


*Химическая структура молекул, образующих жидкие кристаллы.*  
 а) -стержневые молекулы, образующие ЖК – смектики и нематики,  
 б)- молекулы, образующие ЖК –дискотики.

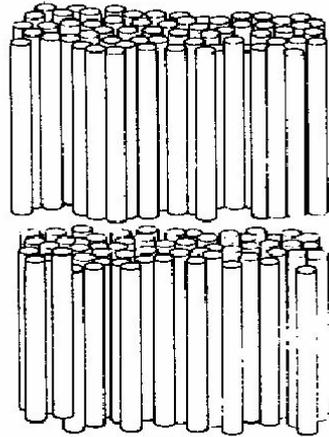
**Нематики.** Это название происходит от греческого «нема» (nhma), что означает нить. Для характеристики ориентационного порядка нематиков вводится вектор единичной длины – директор, направление которого совпадает с направлением усредненной ориентации длинных осей молекул. Кроме того, вводится еще одна величина, параметр порядка  $S$ , которая характеризует степень ориентационного упорядочения молекул.,

$$S = \frac{3}{2} (\overline{\cos^2 \theta} - \frac{1}{3})$$

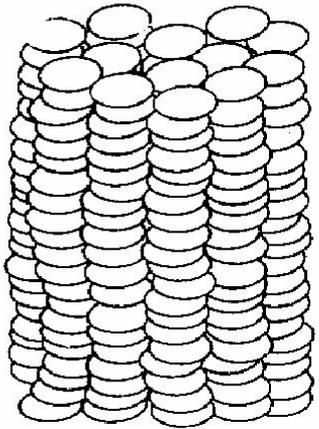
где  $\Gamma$  - угол между направлениями директора и мгновенным направлением длинной оси молекул. Очевидно, что параметр может принимать значения от 0 до 1. Значение  $S = 1$  соответствует полной ориентационной упорядоченности,  $S = 0$  означает полный ориентационный беспорядок и соответствует изотропной жидкости



(a)



(b)



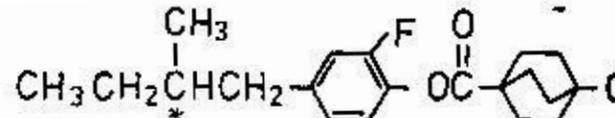
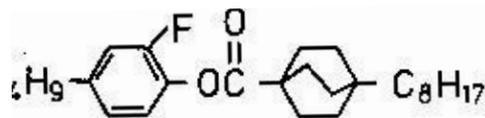
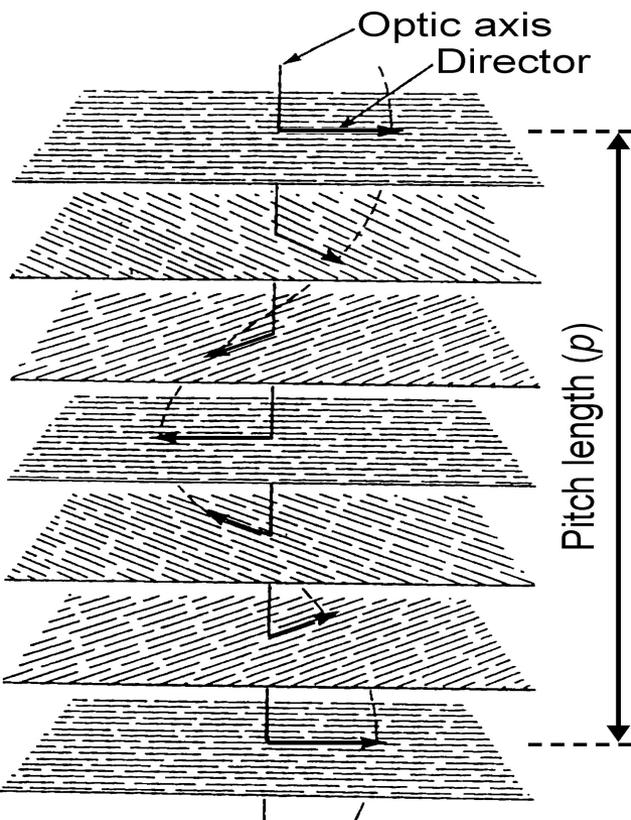
(c)

- **Смектики.** Название произошло от ~~их кристаллов~~ греческого «смегма» (smēgma), что ~~означает «мыло»~~ означает «мыло». В этих материалах, помимо ориентационной упорядоченности молекул, существует частичное упорядочение центров тяжести молекул. Иначе говоря, центры тяжести молекул организованы в слои, расстояние между которыми фиксированы. Слои молекул легко смещаются относительно друг друга, и смектики на ощупь мылоподобные. **Колонноидальный дискотик**

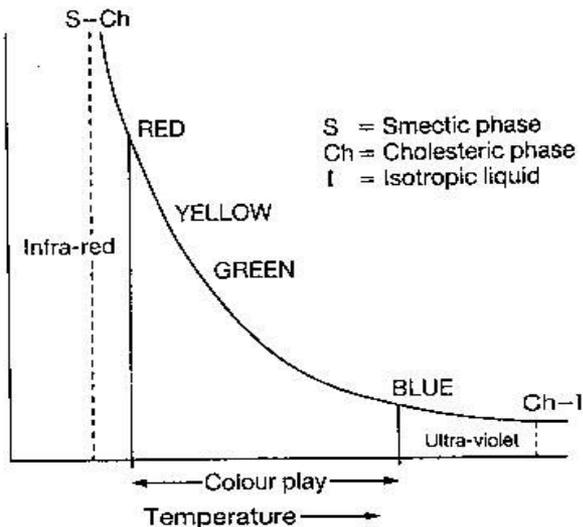
можно также отнести к смектикам  
 Нематики – более текучая фаза ЖК не имеет слоев, а имеет только преимущественное направление (директор

*Типы жидких кристаллов*

*А – нематик, Б – смектик, С — дискотик*



- **холестерики**, получившие свое название от холестерина (первого открытого соединения). Такая молекула имеет оптическую ось, вокруг которой может поворачиваться директор. при переходе от одного слоя к другому директор постепенно вращается, создавая уникальную спиральную структуру. Показаны оптическая ось молекулы, направление директора и шаг винта –  $p$ , (расстояние, на котором директор поворачивается на 360). Длина волны света, который отражается от ЖК-холестерика  $\lambda = np$ , где  $n$ -коэффициент преломления. Часто эти длины волн располагаются в видимом диапазоне. Важным свойством холестерика является зависимость шага винта от температуры, т.е. зависимость от температуры длины волны отраженного света. Более высокие температуры соответствуют голубому цвету, более низкие- красному.

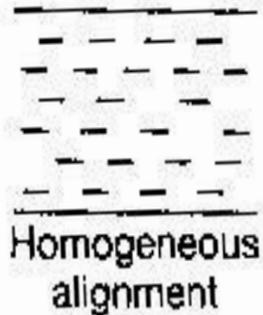


# Применение жидких кристаллов в дисплеях

основное применение ЖК 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).**

## 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.



2. **Диэлектрическая анизотропия** ЖК может быть записана как разность диэлектрической проницаемости в направлении параллельном директору и перпендикулярном ему  $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp}$ . Если директор выстраивается параллельно полю то  $\Delta\varepsilon > 0$ . Эта анизотропия является основной движущей силой для работы дисплеев. Электрический вклад в свободную энергию кристаллов содержит член, который зависит от угла между директором ( $n$ ) и приложенным электрическим полем ( $E$ ), при этом директор будет вращаться, чтобы минимизировать свободную энергию и выстраивается параллельно полю. Отметим, что этот вклад не является дипольным, не зависит от направления электрического поля.

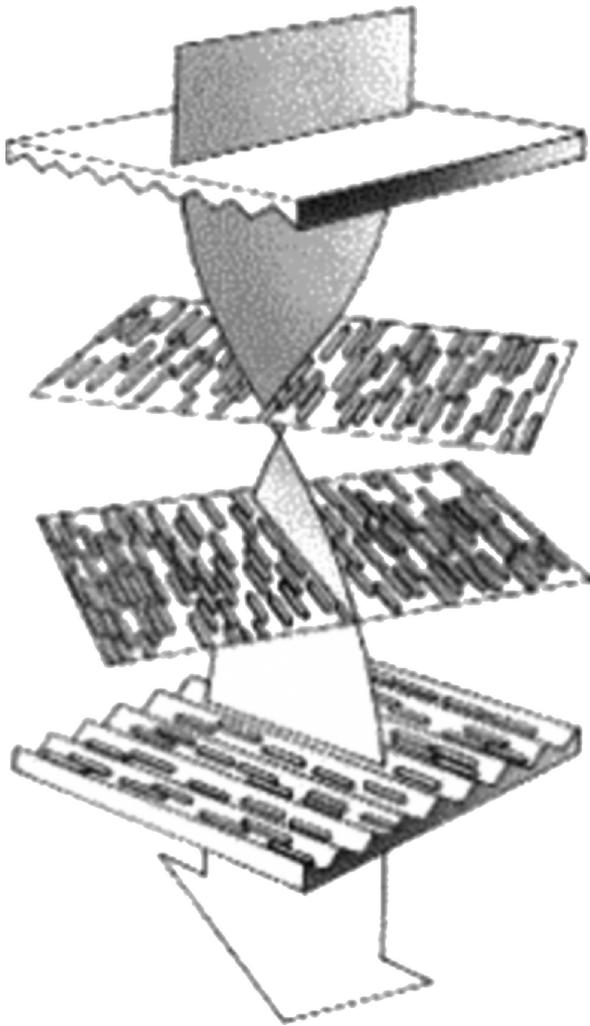
$$F_E = -1/2 \varepsilon_0 \Delta\varepsilon (nE)^2$$

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  $\Delta n = n_{\parallel} - n_{\perp}$  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  $K_{33}$

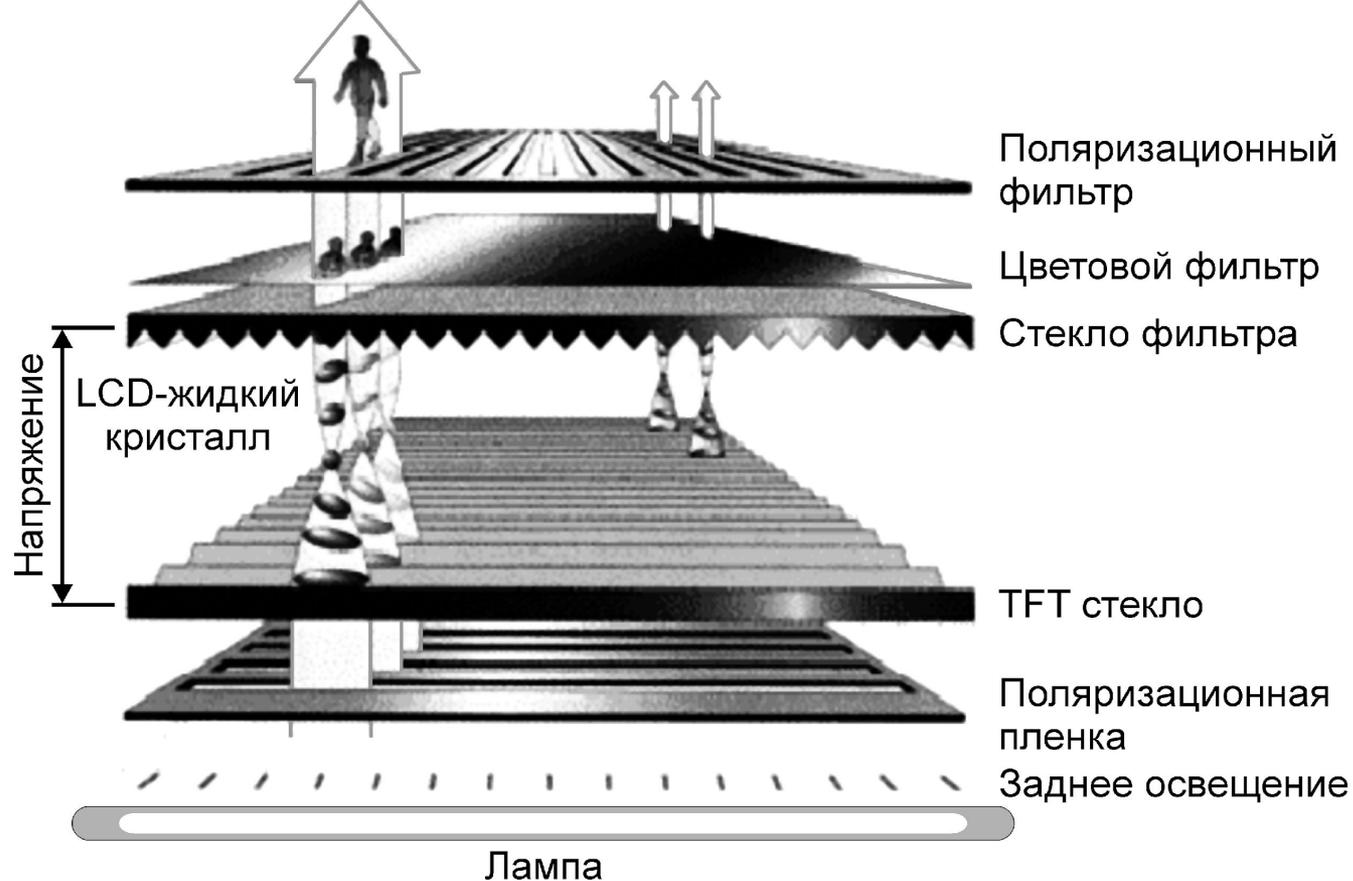
## простейший ЭО прибор.



Поляризатором ЖК-кюветы и нижнюю поверхность кюветы натирают в перпендикулярных направлениях, так что директор ЖК поворачивается от верха кюветы к низу на  $90^\circ$ , 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 2-5В и определяется диэлектрической анизотропией и эластичными константами

$$V_c = \pi \sqrt{\frac{K_{11} + 1/4(K_{33} - 2K_{22})}{\epsilon_0 \Delta \epsilon}}$$

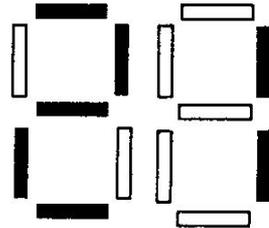
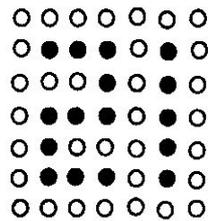
*Вращение плоскости поляризации в ЖК кювете*



**ЖК дисплей** имеет несколько слоев:

две панели, сделанные из очень чистого стекла -подложка. Слои содержат тонкий слой жидких кристаллов между собой. На панелях имеются бороздки. Бороздки расположены таким образом, что они параллельны на каждой панели, но перпендикулярны между двумя панелями.. 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

## Дисплеи с пассивной матрицей

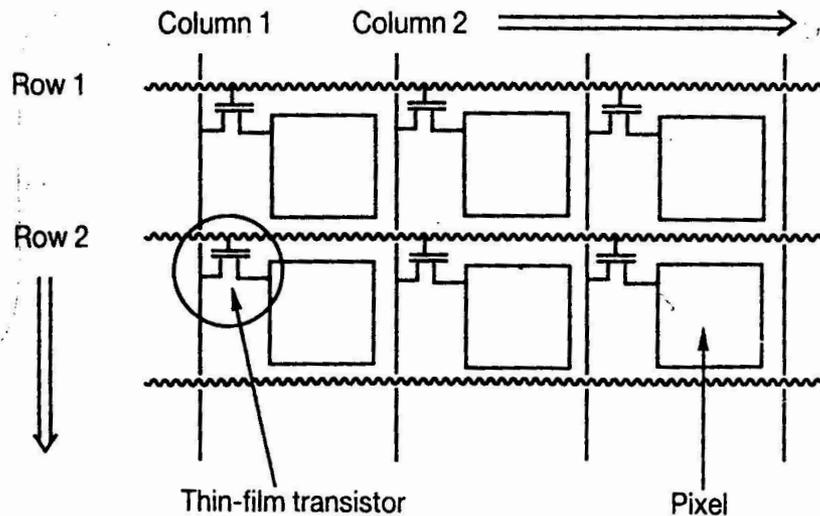


*Электроды к ЖК дисплею*

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), на одной и той же площади экрана можно расположить большее число электродов, что увеличивает разрешение.

Цвет получается в результате использования трех фильтров, которые выделяют из излучения источника белого света три основные компоненты. Комбинируя три основных цвета для каждой точки или пикселя экрана, появляется возможность воспроизвести любой цвет. Изображение формируется строка за строкой путем последовательного подвода управляющего напряжения на отдельные ячейки, делающего их прозрачными.

# Дисплеи с активной матрицей

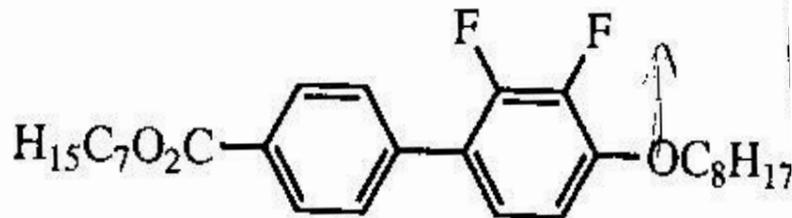


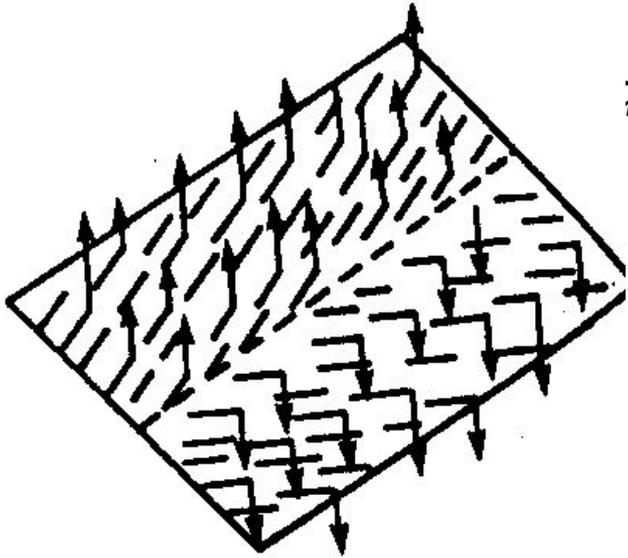
Запоминающие транзисторы должны производиться из прозрачных материалов, что позволит световому лучу проходить сквозь них. Для этих целей используются тонкие пленки Thin Film Transistor (или — TFT). Это те управляющие элементы, при помощи которых контролируется каждый пиксель на экране. транзистор очень тонкий, 0,1–0,01 мкм. Изготовлен из аморфного кремния (a-Si),

- В активной матрице (active matrix) используются отдельные усилительные элементы для каждой ячейки экрана - матрице электродов, которая управляет ячейками жидких кристаллов дисплея. В случае с пассивной матрицей разные электроды получают электрический заряд циклическим методом при построчном обновлении дисплея, а в результате разряда емкостей элементов изображение исчезает, так как кристаллы возвращаются к своей изначальной конфигурации. В случае с активной матрицей к каждому электроду добавлен запоминающий транзистор, который может хранить цифровую информацию (двоичные значения 0 или 1) и в результате изображение сохраняется до тех пор, пока не поступит другой сигнал.

# Сегнетоэлектрические дисплеи

Несмотря на широкое применение дисплеев с активной матрицей на основе нематических ЖК, у них имеется принципиальный недостаток – большое время релаксации (время поворота директора ЖК после выключения электрического поля  $\sim 20$  ms). Сейчас существует принципиально другая технология для изготовления плоских, быстро переключающихся дисплеев, основанная на применении сегнетоэлектрических, жидкокристаллических смектиков (флуоробифенил на рис). На первый взгляд кажется странным, что для создания быстрых приборов используется более вязкая (по сравнению с нематиком) смектическая фаза ЖК. Молекулы такого смектика обладают дипольным моментом и расположены слоями, в каждом слое наклонены под одинаковым углом к плоскости слоя. Одинаковый угол





фаза.

- Одинаковый угол наклона возникает вследствие взаимодействия диполей молекул — наличия сегнетоэлектрической фазы. Приложение электрического поля может изменить направление диполей на противоположное и соответственно изменится угол наклона молекул. Таким образом, в слое молекул имеется две возможные ориентации диполей и самих молекул (без электрического поля и с ним), рис. Время поворота молекул в этом случае достаточно мало  $\propto 1\text{ мкс}$ , что на 2-3 порядка меньше времени возврата молекул в нематической фазе.
- исходно поляризаторы света устанавливаются таким образом, чтобы свет не проходил (один параллельно направлению директора молекул, другой — перпендикулярно). После приложения электрического поля, диполи молекул поворачиваются параллельно полю, а директор молекул разворачивается на некоторый угол  $\theta$  по отношению к поляризатору, при этом свет начинает частично проходить через структуру.

*Слой молекул в смектике в сегнето-электрической фазе.*