

Модуль №2 Пассивные и активные диэлектрики и
элементы на их основе

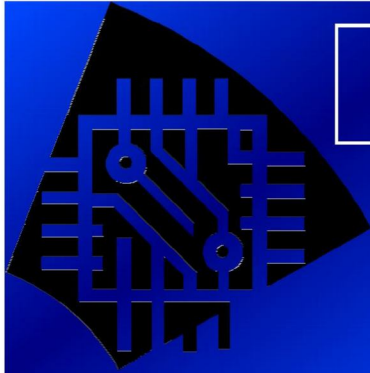
ТЕМА 2.5 Активные диэлектрики и элементы
функциональной электроники

ЛЕКЦИЯ 2.12 **СЕГНЕТОЭЛАСТИКИ, ЭЛЕКТРЕТЫ И
ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ**

План лекции

- 2.12.1. Сегнетоэластики
- 2.12.1.1. Основные свойства сегнетоэластиков
- 2.12.1.2. Применение сегнетоэластиков
- 2.12.2. Электреты
- 2.12.3. Жидкие кристаллы

Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники



Сегнетоэластики делятся на :

Чистые сегнетоэластики

Кристаллы, обладающие только сегнетоэластическими свойствами, но не являющиеся сегнетоэлектриками или ферромагнетиками

К ним относятся кристаллы ортофосфата свинца $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$, тригидроселенита калия $\text{KH}_3(\text{SeO}_3)_2$ и др

Смешанные (комбинированные)

Кристаллы, являющиеся одновременно сегнетоэластиками и сегнетоэлектриками или сегнето-эластиками и ферромагнетиками

К ним относятся кристаллы титаната бария BaTiO_3 , молибдата гадолиния $\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$, дигидрофосфата калия KH_2PO_4 и др

Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники

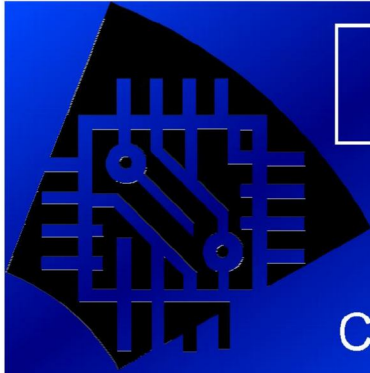
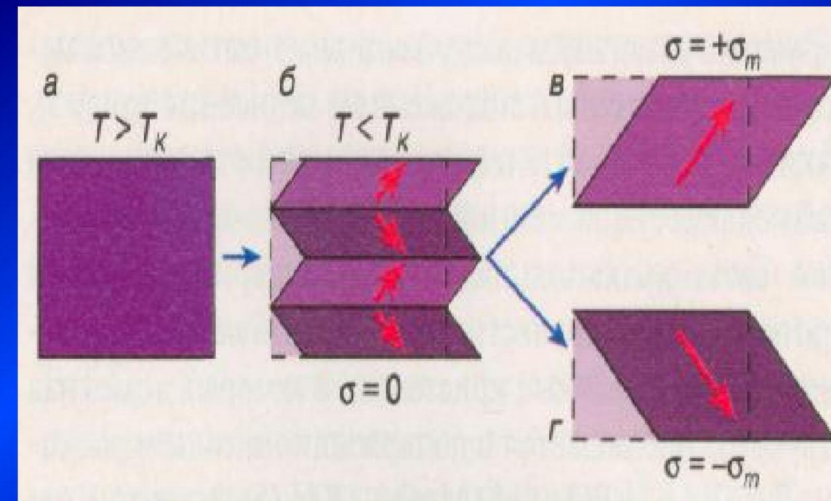


Схема возникновения и перестройки доменной структуры в сегнетоэластическом кристалле

При охлаждении до точки Кюри T_K из параэластической фазы в сегнетоэластическую, в механически свободном состоянии, то есть при отсутствии внешних механических напряжений, сегнетоэластик разбивается на сегнетоэластические домены таким образом, чтобы суммарная деформация образца с учетом ее знаков в каждом домене равнялась нулю.

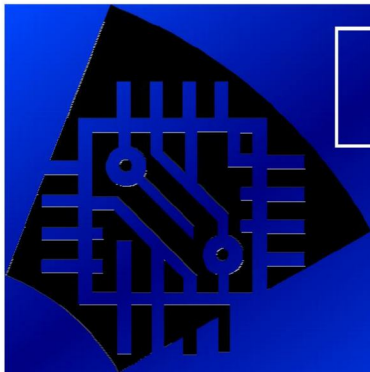
Домены — это области сегнетоэластика с постоянным значением спонтанной деформации, различающиеся направлением спонтанной деформации.

Разбиение кристалла на домены соответствует минимуму упругой энергии кристалла.

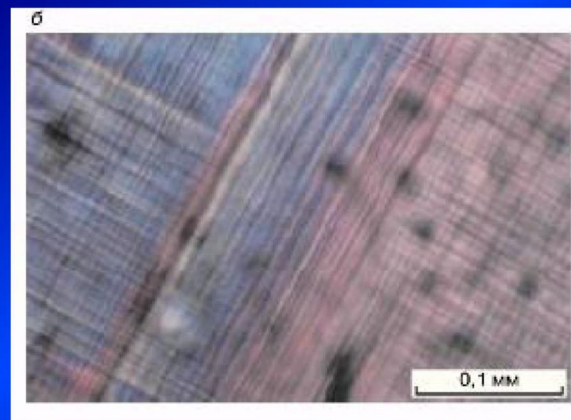
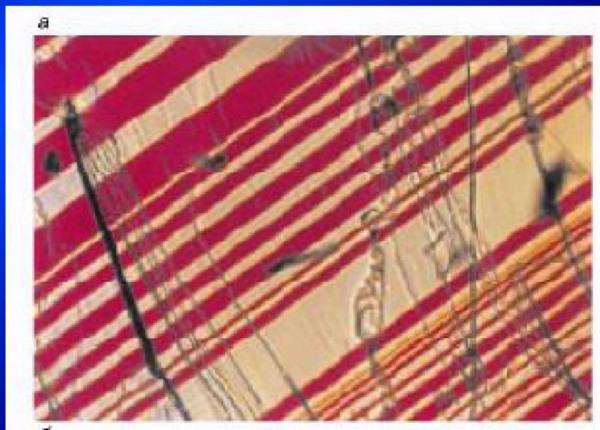


Схематическое изображение возникновения (а, б) и перестройки {б-в; б-г) доменной структуры в сегнетоэластическом кристалле.

Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники



- Доменные структуры сегнетоэластиков.
- В прозрачных сегнетоэластических кристаллах доменную структуру можно наблюдать с помощью оптического поляризационного микроскопа.

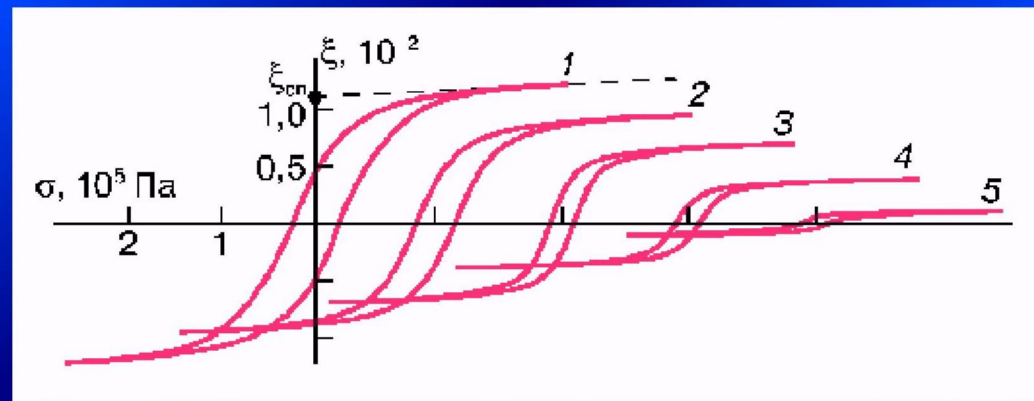


Здесь изображены доменные структуры монокристаллов титаната бария (а) и сегнетовой соли (б) в поляризованном свете.

Все известные кристаллы, в которых доменная структура наблюдается в поляризационном микроскопе (BaTiO_3 , KH_2PO_4 , $\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$, $\text{KH}_3(\text{SeO}_3)_2$ и др.), являются сегнетоэластиками.

Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники

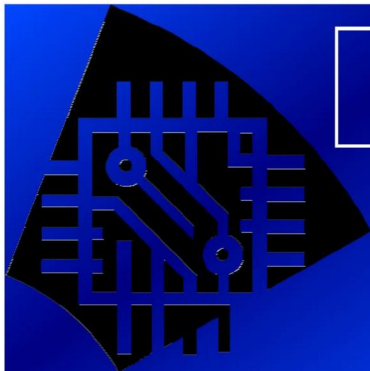
- Зависимость деформации ξ от величины механического напряжения σ нелинейна и имеет вид петли гистерезиса.



Температурная эволюция петель сегнетоэластического гистерезиса при приближении к точке Кюри ($T_K = 211$ K) кристалла $\text{KN}_3(\text{SeO}_3)_2$: 1 - 93, 2- 173, 3-198, 4-208 и 5-210 K

Форма петли гистерезиса $\xi(\sigma)$ зависит от температуры, частоты внешнего поля, количества примесей и дефектов материала.

Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники

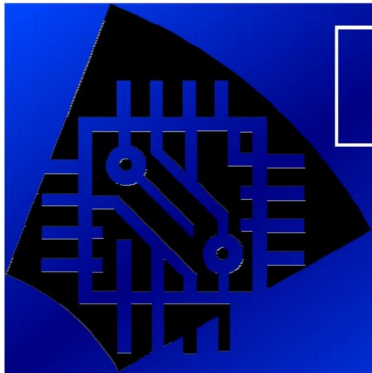


- Величина $\xi_{\text{сп}}$ наиболее сильно зависит от температуры в области фазового перехода и в самой точке перехода исчезает либо скачком (фазовый переход первого рода, например в BaTiO_3), либо непрерывно (фазовый переход второго рода, например в тригидроселените калия)

Температурная зависимость $\xi_{\text{сп}}$ ниже T_K определяется выражением

$$\xi_{\text{сп}} = \sqrt{\frac{\alpha_0(T_K - T)}{\beta}},$$

где α_0 и β — постоянные коэффициенты, T_K — температура Кюри.



Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники

С приближением к точ-ке Кюри упругая податливость “ s ” резко возрастает. В большинстве сегнетоэластиков зависимость упругой податливости температуры при $T > T_K$ подчиняется закону Кюри-Вейсса:

$$s = s_{\infty} + \frac{C_W}{T - T_K},$$

- Где s — неаномальная часть упругой податливости вдали от T_K ,
- C_W — константа Кюри—Вейсса, T_K — температура Кюри.

Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники

Основные типы устройств на основе сегнетоэластиков можно разделить на три класса: оптические, акустоэлектронные и электромеханические.

Здесь изображен оптический затвор - основанный на эффекте : оптические индикатрисы в соседних доменах обязательно разориентированы.

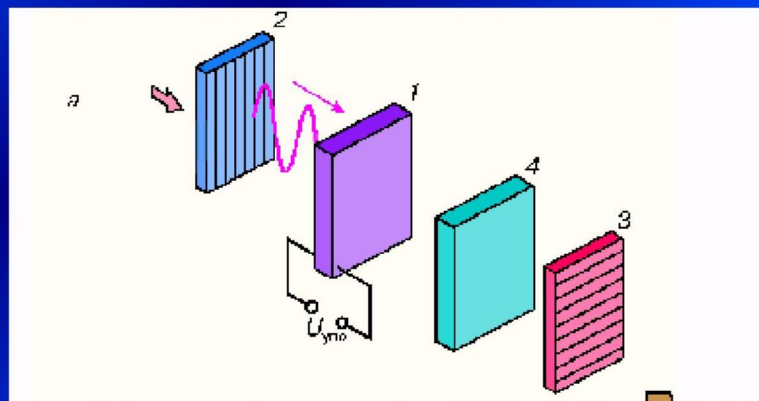


Схема оптического затвора: 1 - пластина сегнетоэластика ($\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$) с напыленными на его грани прозрачными электродами расположена между скре-щенными поляроидами

(поляризатором 2 и анали-затором 3)) , 2 - поляризатор, 3 - анализатор, 4 - чет-вертьволновая пластина; $U_{\text{упр}}$ - управляющее элект-рическое напряжение;

Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники

Отличающиеся от свойств кристалла оптические свойства доменной стенки используются в приборах, получивших название сканаторов. Пример электрически управляемого сканатора приведен ниже.

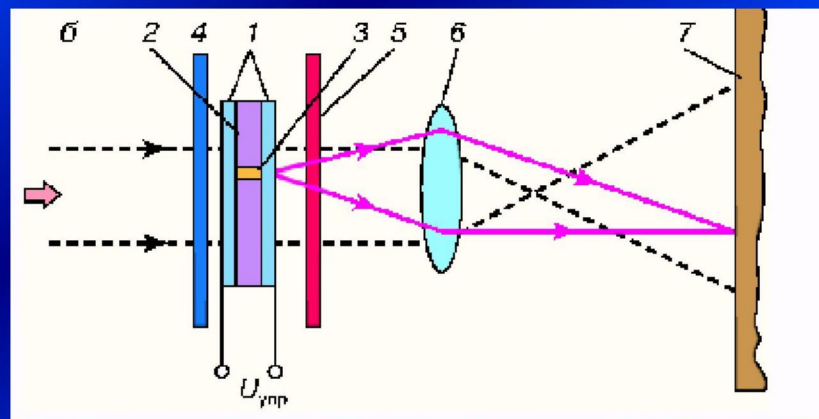
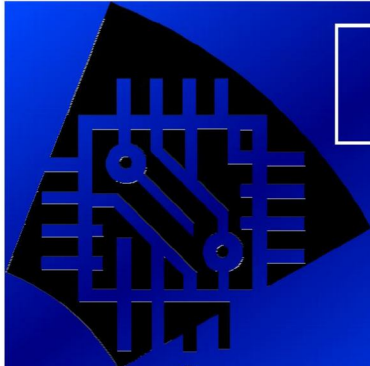


Схема оптического сканатора: 1 - прозрачные электроды для управляющего на-пряжения, 2 - полуволновая пластина сегнетоэлас-тика, 3 - доменная стенка, 4 - поляризатор, 5 - ана-лизатор, 6 - линза, 7 – экран.

Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники



- Электретом называют тело из диэлектрика, длительно сохраняющее поляризацию и создающее в окружающем его пространстве электрическое поле, т. е. электрет является формальным аналогом постоянного магнита.
- Электреты по своим свойствам подразделяются на :

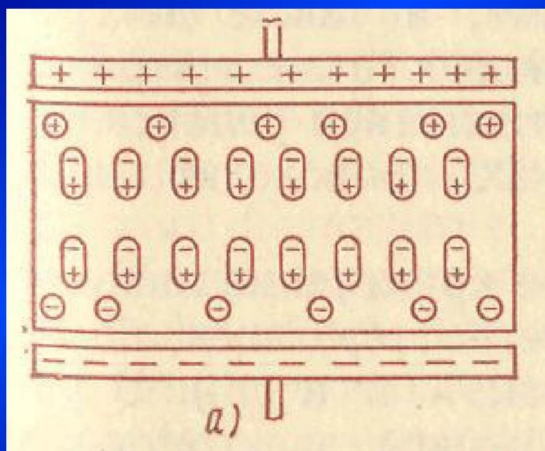
1) Термоэлектреты – которые способны создавать электрическое поле в окружающем пространстве в течение многих месяцев и даже лет.

2) Фотоэлектреты – изготавливаются из материалов, обладающих фотоэлектропроводностью (сера, сульфид кадмия и др.)» при одновременном воздействии света и электрического поля.

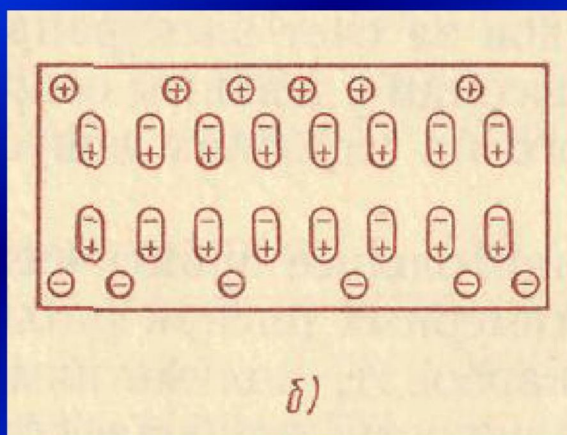
3) Электроэлектреты - образуются при воздействии на диэлектрик только электрического поля без нагрева или облучения

Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники

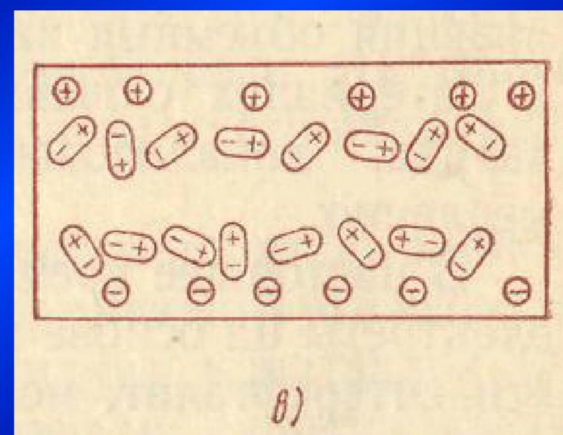
Образование электретного состояния в диэлектрике поясняет



Здесь видно, что на каждой из поверхностей электрета, находящегося под поляризующими электродами, образуются электрические заряды обоих знаков.



Здесь видно, что сразу после окончания поляризации преобладает гетерозаряд.

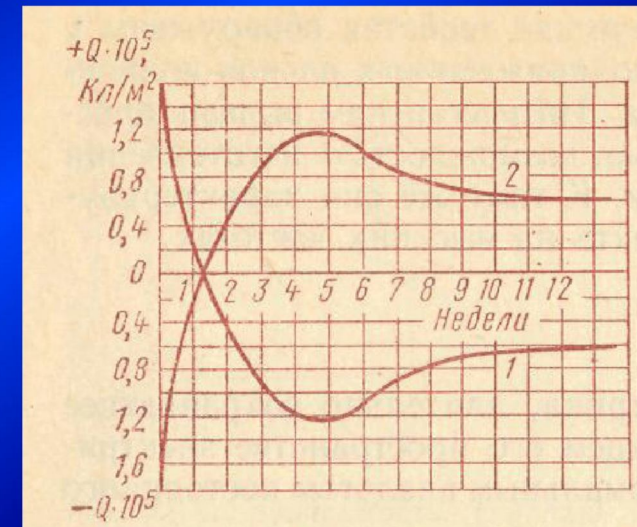


А спустя некоторое время, когда тепловое движение дезориентирует диполи, преобладающим оказывается гомозаряд.

Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники

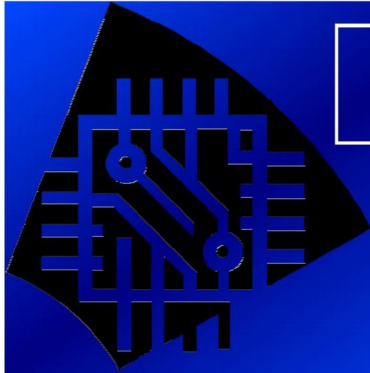
Кривые зависимости заряда электрета от времени

- У органических полярных электретов преобладают гетерозаряды, у неорганических (керамических) материалов и органических неполярных диэлектриков — гомозаряды.
- У такого известного неполярного диэлектрика, как пленочный фторопласт, существует очень прочно удерживаемый и значительный по величине гомозаряд.
- Гомозаряд локализован только в поверхностных слоях электрета, тогда как гетерозаряд распределен по всему объему электрета, что и подтверждает физическую природу этих зарядов.



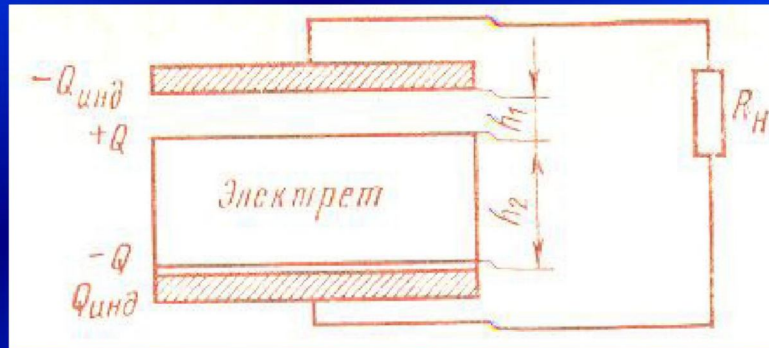
- 1 — сторона электрета, обращенная к минусу поляризующего напряжения;
- 2 — то же — к плюсу.

Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники



Применение электретов

- Обычно электрет имеет вид тонкой пластинки или пленки с разноименными зарядами одинаковой поверхностной плотностью на противоположных сторонах.
 - Если электрет поместить между металлическими обкладками

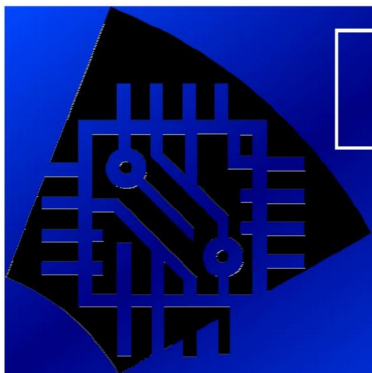


то индуцированный заряд на них будет равен :

где Q – заряд на поверхности электрета, h_1 – зазор между поверхностью Электрета и электродом, h_2 – толщина электрета, ϵ – диэлектрическая проницаемость материала электрета.

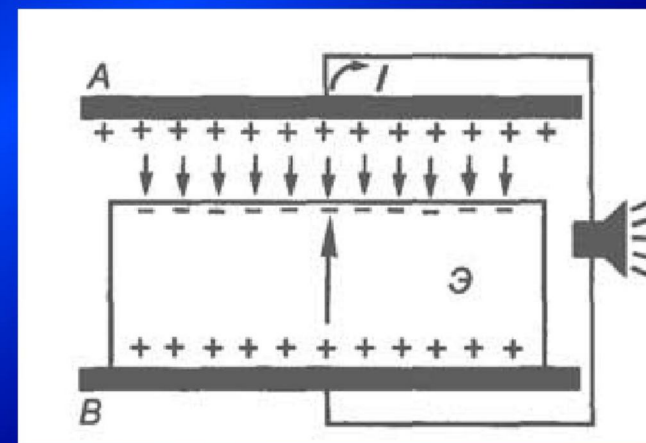
$$Q_{\text{инд}} = \frac{Q}{\epsilon h_1 / h_2 + 1},$$

Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники

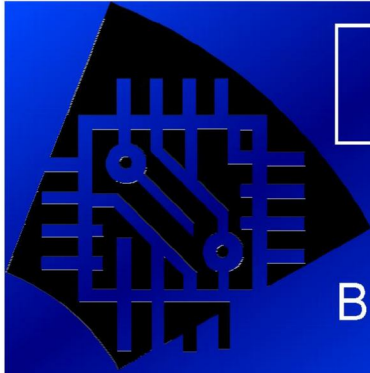


- Принцип работы электрета в микрофоне.

- При использовании электрета 'Э' в микрофоне его помещают между плоскими электродами 'А' и 'В'.
- При этом нижний электрод 'В' прижат к электрету, а между верхним электродом и электретом имеется зазор.
- Если электрод 'А' вибрирует, то меняется величина индуцируемого заряда, и в цепи генерируется ток.
- Так электрет преобразует механическую энергию колебаний электрода в энергию электрического поля.



Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники

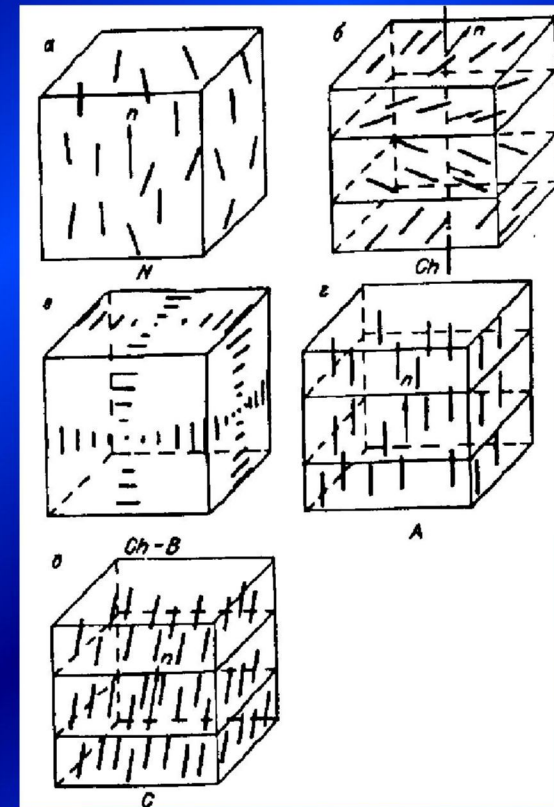


В зависимости от характера микроскопического упорядочения ЖК принято делить на несколько главных типов.

- а — нематические;
- б — холестерические.
- в — холестерический с двумерным ориентационным упорядочением;
- г - смектический (А);
- д — смектический (С).

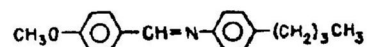
На данном рисунке показаны ориентационные порядки в структурах жидких кристаллов.

Черточками показаны выделенные оси структурных элементов. Их длина пропорциональна наклону структурных элементов

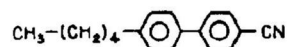


Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники

Нематики:

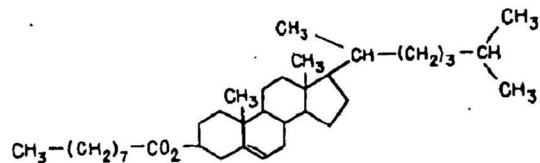


4-метоксибензилиден-4'-бутиланилин (MBVA);

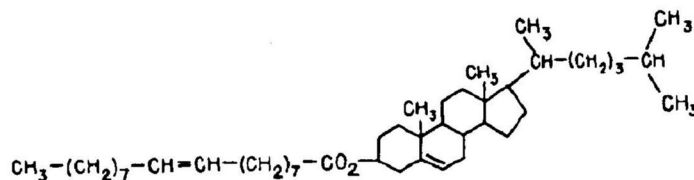


пентацианобифенил (SCB).

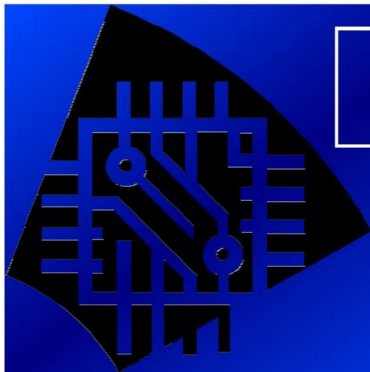
Холестерики:



холестерилпеларгонат;

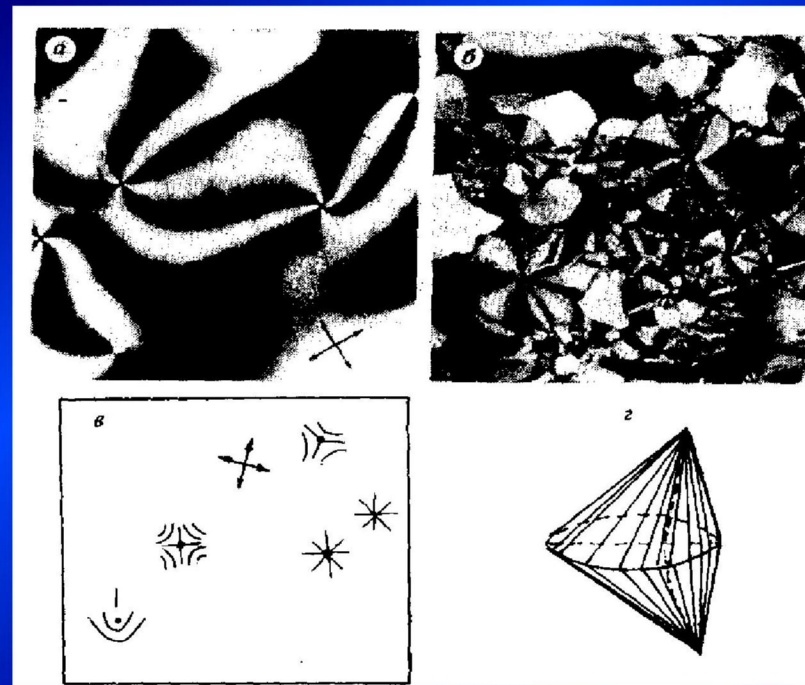


Жидкие кристаллы — это большой класс соединений, преимущественно органических, отличающихся обязательным присутствием ориентационного порядка.



Текстуры жидких кристаллов

- а — шлирен-текстура нематика;
- б — конфокальная текстура холестерика;
- в — схематическое изображение поля директора вблизи дисклинаций этой текстуры (стрелками указаны направления поляризатора и анализатора);
- г — схематическое изображение конфокального домена



Каждый тип ЖК образует свои характерные текстуры, если не приняты специальные меры к созданию определенным образом ориентированных препаратов. Для нематиков это шлирен-текстура (а)