

АКТИВНЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ

Активные диэлектрики отличаются от обычных тем, что их свойствами можно управлять в широком диапазоне, воздействуя на них электрическим, магнитным, тепловым и другими полями. Так поляризация может создаваться не только электрическим полем, но и при деформации (пьезоэлектрический эффект), намагничиванием (сегнетомагнитный эффект), изменением температуры (пироэлектрический эффект). Возможны также и обратные явления.

Активными (управляемыми) диэлектриками называют диэлектрики, свойства которых существенно зависят от внешних условий (температуры, давления, напряженности поля и т.д.). Их используют в разнообразных датчиках, преобразователях, генераторах, модуляторах и других активных элементах.

К числу активных диэлектриков относят **сегнето-, пьезо- и пароэлектрик; электреты; материалы квантовой электроники; жидкие кристаллы; электро-, магнито- и акустооптические материалы; диэлектрические кристаллы с нелинейными оптическими свойствами и другие.**

Сегнетоэлектрики

Сегнетоэлектрики – это материалы, обладающие спонтанной (самопроизвольной) поляризацией в определённом интервале температур, направление которой может быть изменено с помощью внешнего электрического поля. Они имеют сверхвысокое значение диэлектрической проницаемости ϵ .

Температура ТК (сегнетоэлектрическая точка Кюри) - температура фазового перехода, ниже этой температуры сегнетоэлектрик обладает доменной структурой; выше этой температуры происходит распад доменной структуры и сегнетоэлектрик переходит в параэлектрическое состояние.

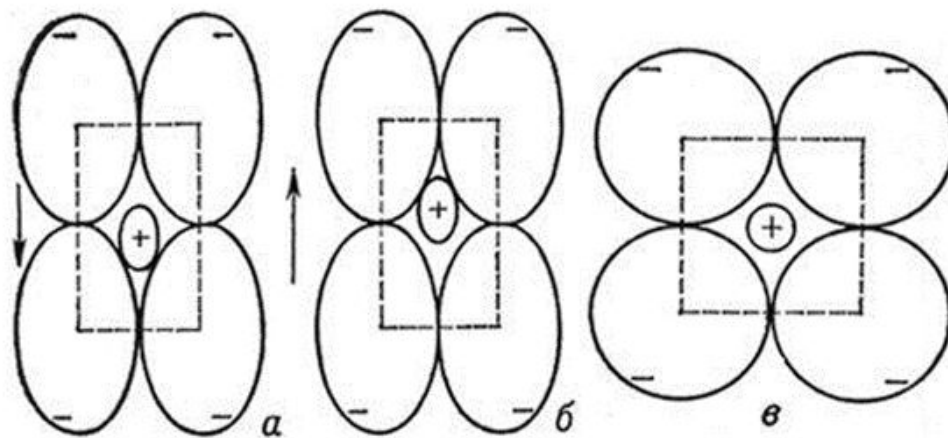
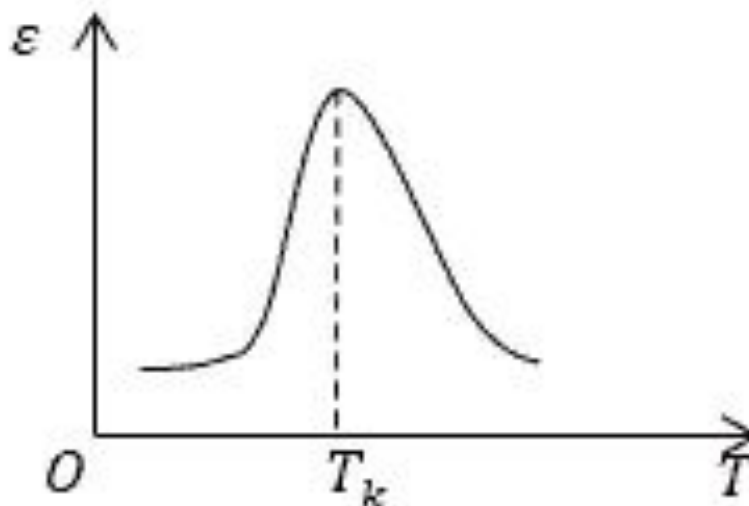


Рис. 1. Схематическое изображение элементарной ячейки сегнетоэлектрика в полярной фазе (а и б) и в неполярной фазе (в); стрелки указывают направление электрических дипольных моментов.

Точка Кюри сегнетоэлектриков



| Сегнетоэлектрик | T_C , °C |
|---|-------------------|
| Титанат бария $BaTiO_3$ | 120 |
| Сегнетова соль $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ | От -18 до $+24$ |
| Ниобат калия $KNbO_3$ | 434 |
| Дигидрофосфат калия KH_2PO_4 | -150 |
| Титанат свинца $PbTiO_3$ | 490 |
| Ниобат лития $LiNbO_3$ | 1210 |
| Титанат висмута $Bi_4Ti_3O_{12}$ | 675 |
| Молибдат гадолиния $Gd_2(MoO_4)_3$ | 159 |
| Цирконат-титанат свинца (ЦТС) $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ | Зависит от x |

Следствием доменного строения сегнетоэлектриков являются нелинейная зависимость их электрической индукции от напряженности электрического поля (рис. 1) - диэлектрической петли гистерезиса, и резко выраженная

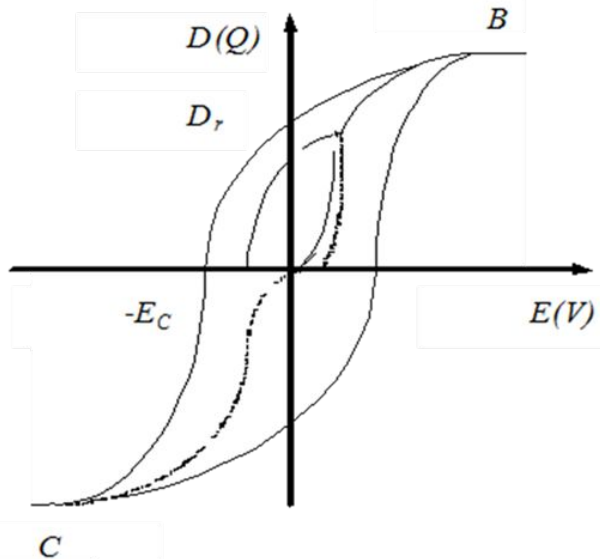


Рисунок 1 - Основная кривая поляризации сегнетоэлектрика и петля диэлектрического гистерезиса

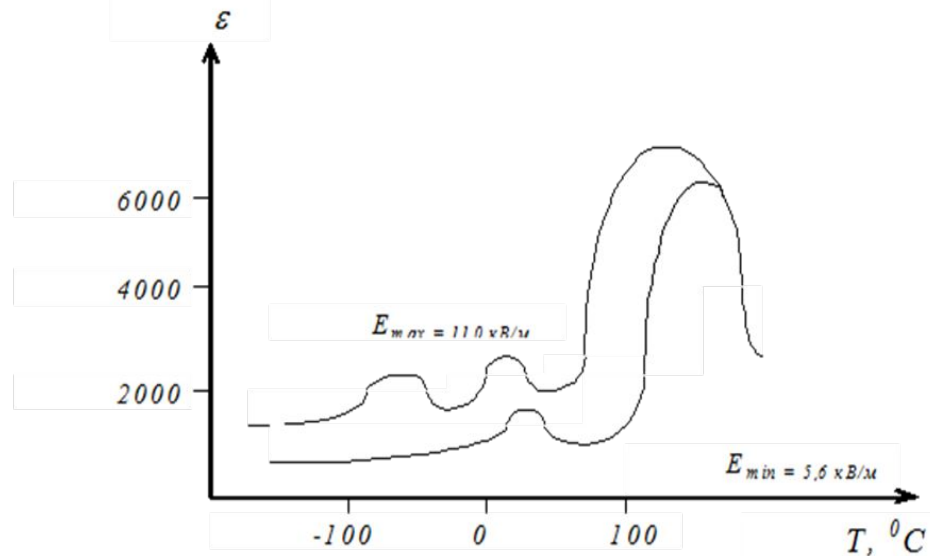
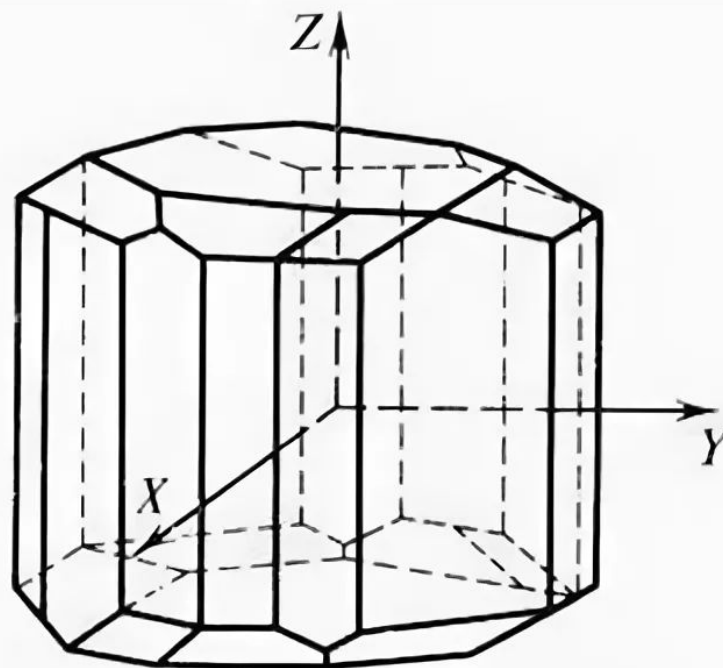


Рисунок 2 - Диэлектрическая проницаемость титаната бария в зависимости от температуры при различной напряженности электрического поля

Название «сегнетоэлектрики» произошло от сегнетовой соли, двойной калий-натриевой соли винно-каменной кислоты ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6$). Сегнетова соль была первым материалом, в котором обнаружена спонтанная поляризация. Она широко применялась для изготовления различных приборов в годы ВОВ но у неё низкие свойства.



Установка кристалла сегнетовой соли в кристаллофизической системе координат

После 1944 года широкое применение получил титанат бария $BaTiO_3$. Титанат бария представляет собой бесцветные кристаллы. Нерастворим в воде. Характеризуется высокими значениями диэлектрической проницаемости (до 104; 1400 ± 250 при н.у.);

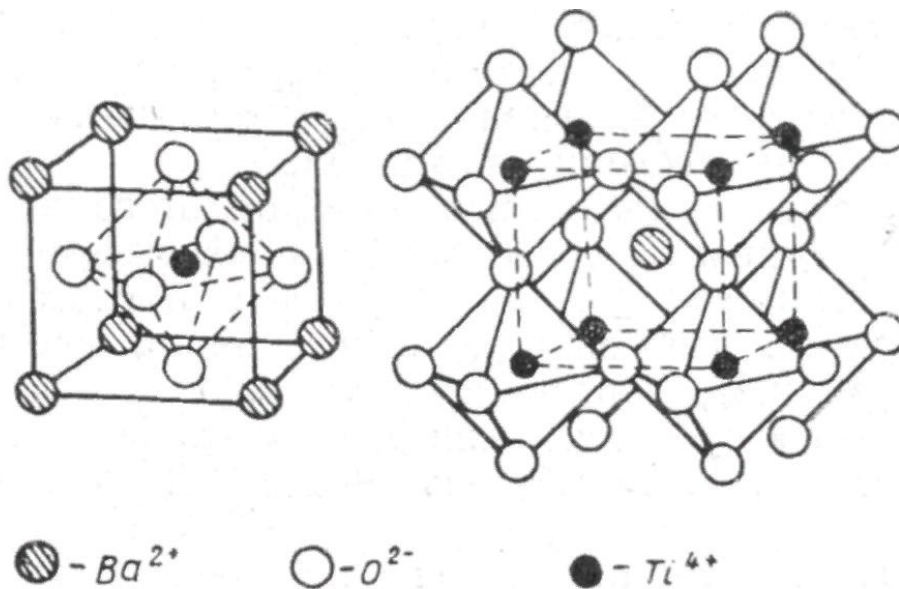
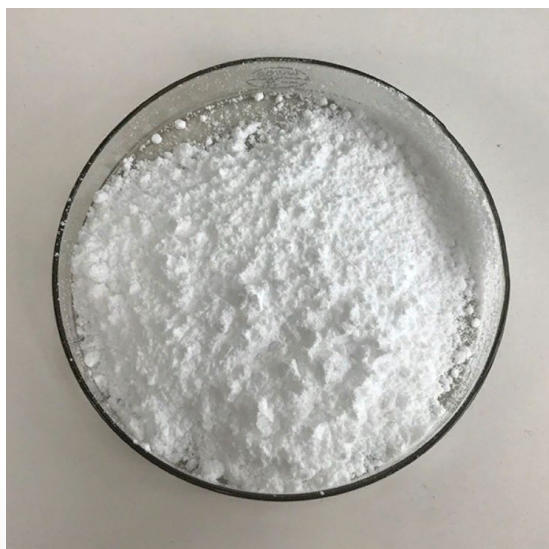


Рис. 41. Кристаллическая решетка титаната бария

На базе титаната бария изготавливают материалы с различными свойствами:

- **Конденсаторная керамика** применяется для изготовления нелинейных конденсаторов, в усилителях напряжения и мощности, стабилизаторах.
- **Нелинейная сегнетокерамика** применяется для изготовления варикондов – нелинейных конденсаторов.
- **Терморезистивную керамику** применяют для изготовления терморезисторов-позисторов, которые используют для измерения и регулирования температуры, термокомпенсации радиосхем, в малогабаритных термостатах, стабилизаторах и др.
- **Сегнетоэлектрики с прямоугольной формой петли гистерезиса** применяют в запоминающих устройствах (ЗУ) электронно-вычислительных машин (ЭВМ) для записи информации. Для лучших сегнетокерамических материалов быстродействие составляет десятки наносекунд.

Пьезоэлектрики

Пьезоэлектрики –твёрдые анизотропные кристаллические вещества, обладающие пьезоэффектом, который наблюдается **только при несимметричной** кристаллической решетке. Пьезоэффект был открыт в 1880 году братьями Кюри.

Материалы с **прямым пьезоэлектрическим эффектом** применяются для преобразования механических напряжений или смещений в электрические сигналы (звукосниматели, приёмники ультразвука, датчики деформаций).

Материалы с **обратным пьезоэлектрическим эффектом** используют для преобразования электрических сигналов в механические (акустические излучатели, генераторы ультразвука).

К пьезоэлектрическим материалам относится большое количество веществ, обладающих пьезоэлектрическими свойствами, в т.ч.– все сегнетоэлектрики.

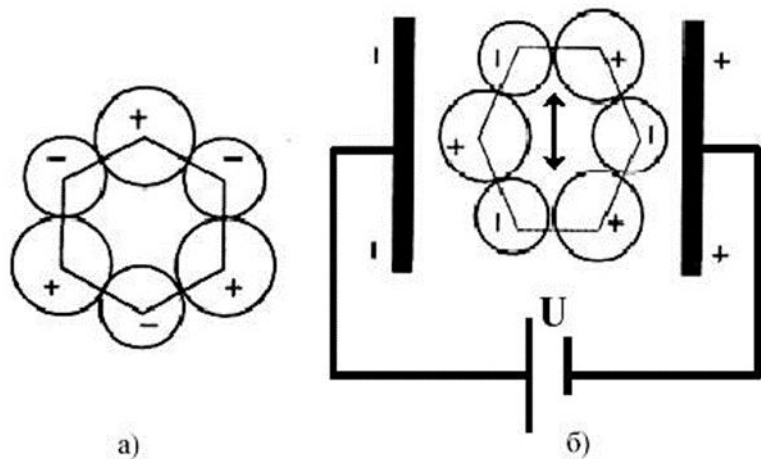
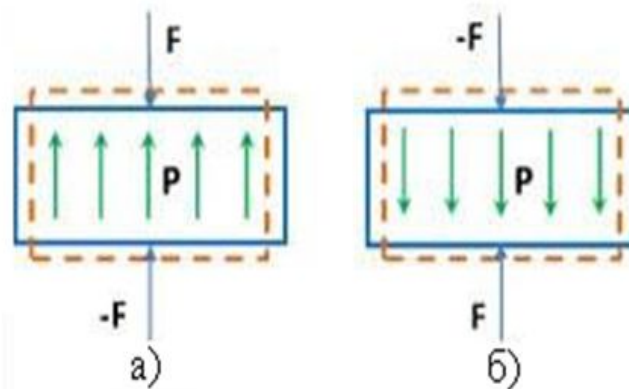


Рис.2. Схема структуры кварца (а) и возникновения обратного пьезоэлектрического эффекта(б)

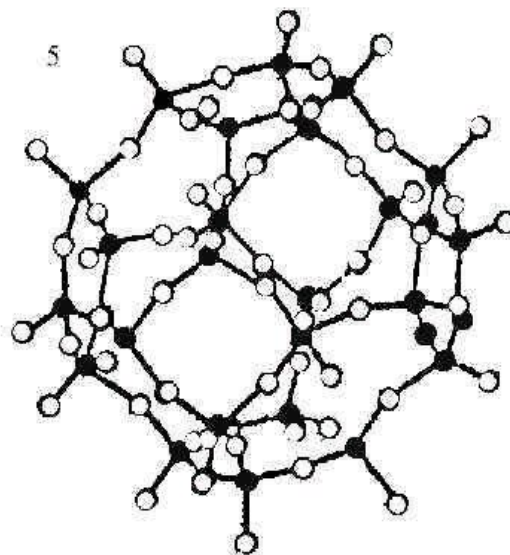
Рис.2.1. Схема изображения прямого пьезоэффекта, стрелкой F обозначена механическая сила, штриховыми линиями показаны контуры пьезоэлектрика до внешнего воздействия, сплошными линиями - контуры после деформации пьезоэлектрика; P - вектор поляризации



Одним из наиболее известных пьезоэлектриков является монокристаллический кварц (горный хрусталь), обладающий высокими электрическими свойствами (тангенс угла диэлектрических потерь меньше 0,0001), твёрдостью и механической прочностью. Его применяют для стабилизации частоты генераторов электрических колебаний.

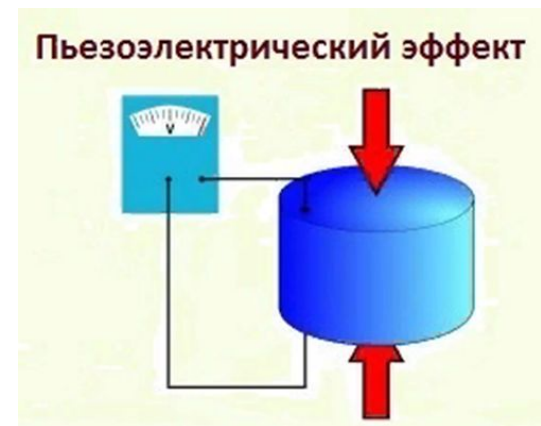
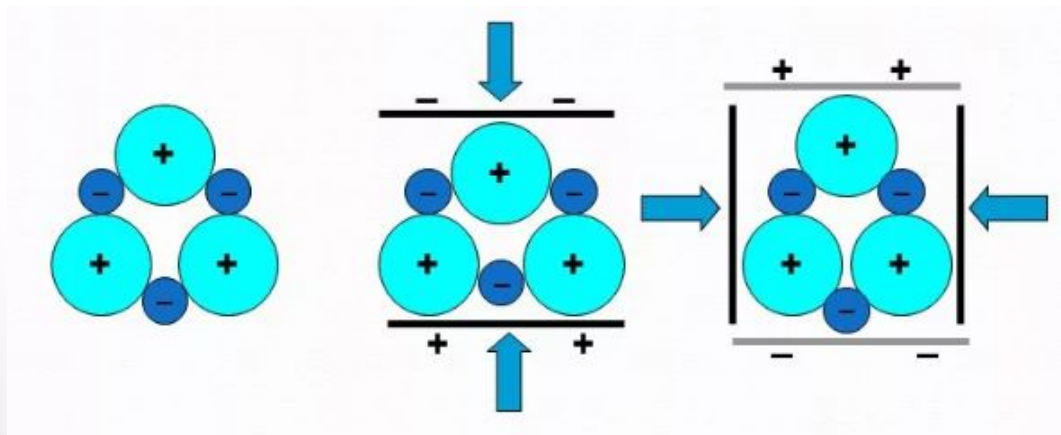


КАРКАСНАЯ СТРУКТУРА КВАРЦА



Всё шире используются синтетические пьезоэлектрики: **ниобат лития** и **танталат лития**. Их применяют в линиях задержки и фильтрах объёмных и поверхностных волн в диапазоне ВЧ и СВЧ.

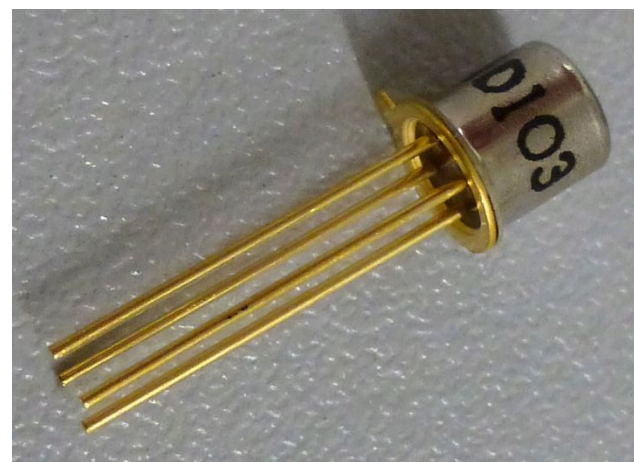
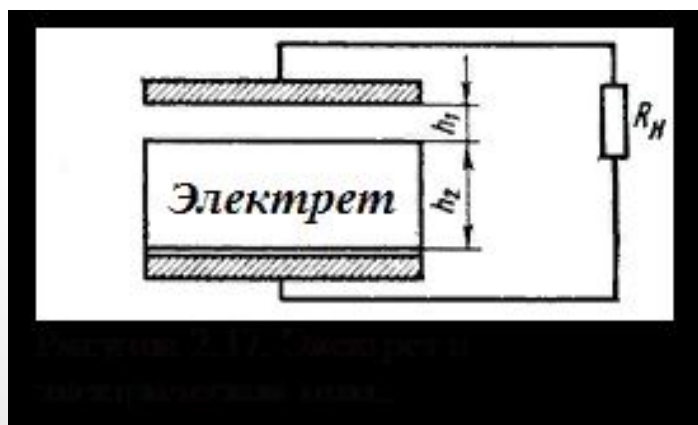
Сфалерит, сульфид кадмия, оксид цинка используют в основном для плёночных преобразователей электромагнитных колебаний в акустические на высоких и сверхвысоких частотах (до 40 ГГц).



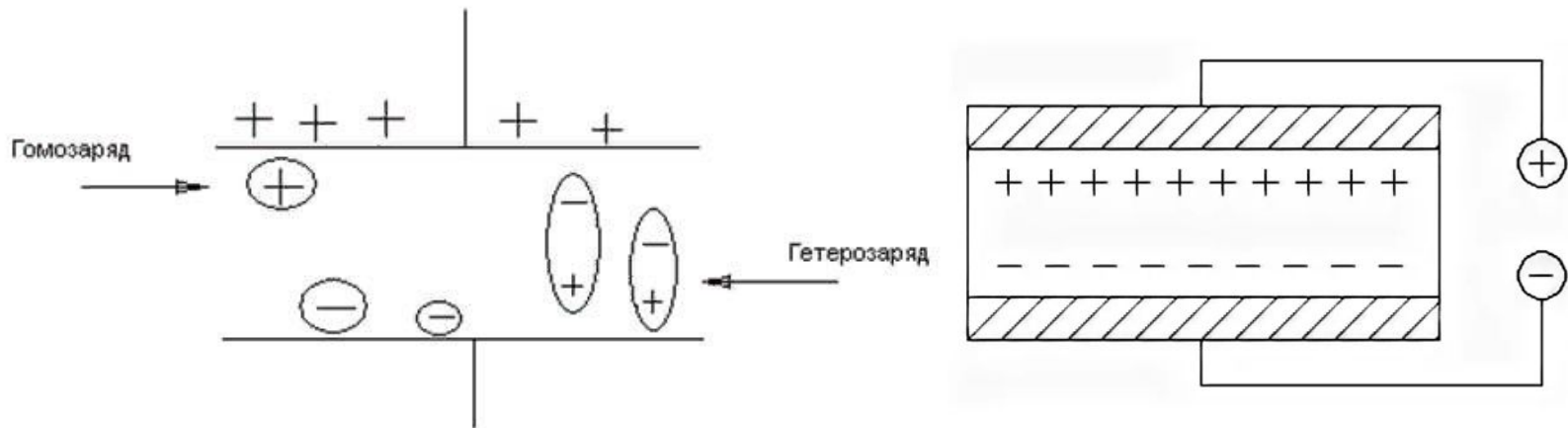
Электреты

Электреты – это диэлектрики, которые длительное время создают в окружающем пространстве электрическое поле за счёт предварительной электризации или поляризации.

Это смеси воска и смол, расплав которых охлаждают в постоянном электрическом поле. При застывании поверхность электрета, обращённая к аноду, сохраняет отрицательный, а противоположная - положительный заряды.



В 1919 году японский ученый-физик Егути поместил расплавленный воск между двух электродов и присоединил их к источнику высокого напряжения. После определенного времени экспозиции воск охлаждался и отвердевал, подача тока прекращалась и электроды отсоединялись. При этом на гранях материала обнаружился электрический заряд, противоположный подключенным электродам. Впоследствии он получил название гетерозаряд.



Егути экспериментально обнаружил и такое явление, позже неоднократно наблюдавшееся на опыте разными исследователями, как переход от гетеро - к гомозаряду в процессе хранения поляризованного электрета.

Гомозаряд – заряд поверхности диэлектрика, совпадающий по знаку с зарядом прилегавшего к ней электрода. Явление указывает на существенную роль инжекции носителей заряда из электродов в процессе изготовления электрета.

- 1 — гетерозаряд;
- 2 — гомозаряд;
- 3 — суммарный заряд

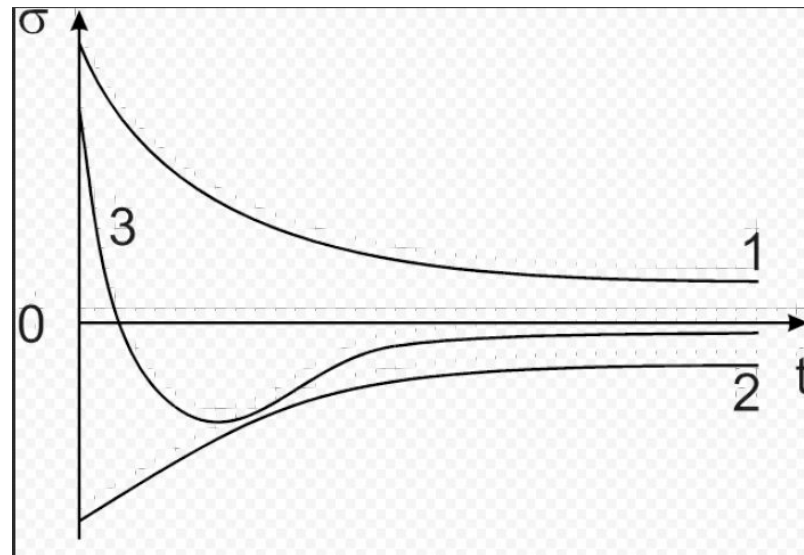


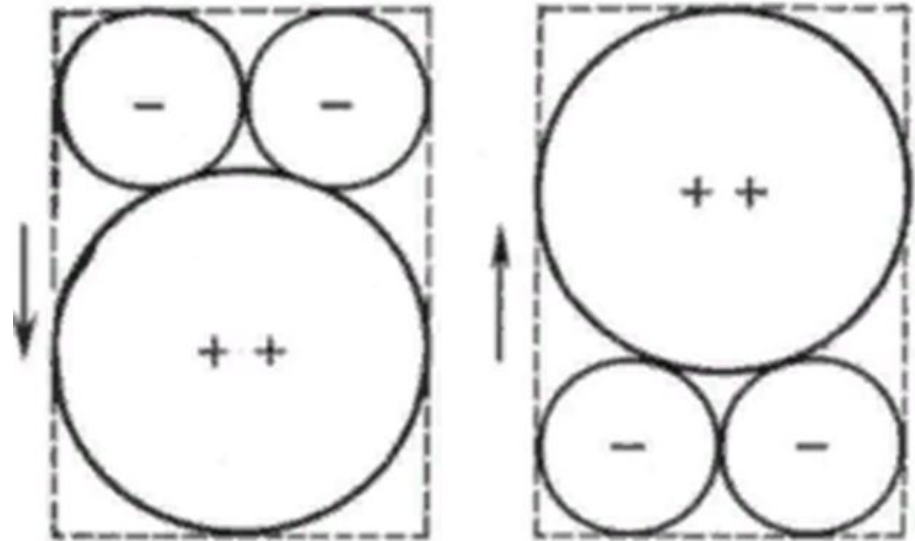
Таблица 1.

| № примера | Подложка | Наличие света | Продолжительность УФИ обработки | Разность потенциалов $\Delta\phi$, мВ | Электрическая емкость С, нФ | Суммарная поверхностная плотность заряда σ , Кл/м ² |
|-----------|----------|-----------------------|---------------------------------|--|-----------------------------|---|
| 1 | Al + Cu | - | - | - | - | $10^{-6} - 10^{-7}$ |
| 2 | ПЭТФ | дневной свет | - | 100 | 0,015 | 10^{-9} |
| 3 | Целлофан | дневной свет | - | 500 | 0,020 | 10^{-8} |
| 4 | Al | дневной свет | - | 700 | 0,030 | 10^{-7} |
| 5 | Al | лампа мощностью 40 Вт | - | 400 | 0,021 | 10^{-7} |
| 6 | Al | дневной свет | - | 700 | 0,030 | 10^{-7} |
| 7 | Al | лампа мощностью 25 Вт | - | 600 | 0,025 | 10^{-7} |
| 8 | Al | лампа мощностью 60 Вт | - | 200 | 0,018 | 10^{-8} |
| 9 | Al | в темноте | - | 800 | 0,040 | 10^{-6} |
| 10 | Al | в темноте | 10 минут | 3000 | 0,022 | 10^{-6} |
| 11 | Al | в темноте | 30 минут | 1000 | 0,022 | 10^{-7} |
| 12 | Al | в темноте | 20 минут | 2000 | 0,022 | 10^{-6} |
| 13 | Al | в темноте | 5 минут | 700 | 0,022 | 10^{-8} |
| 14 | Al | в темноте | 60 минут | 400 | 0,022 | 10^{-8} |

Пироэлектрики

Пироэлектрики – материалы, способные поляризоваться при нагревании либо охлаждении. Эффект возможен только тогда, когда вещество имеет спонтанную или остаточную поляризацию, которая зависит от температуры

Все пироэлектрики проявляют обратный эффект, то есть их температура меняется при поляризации, все они являются пьезоэлектриками.

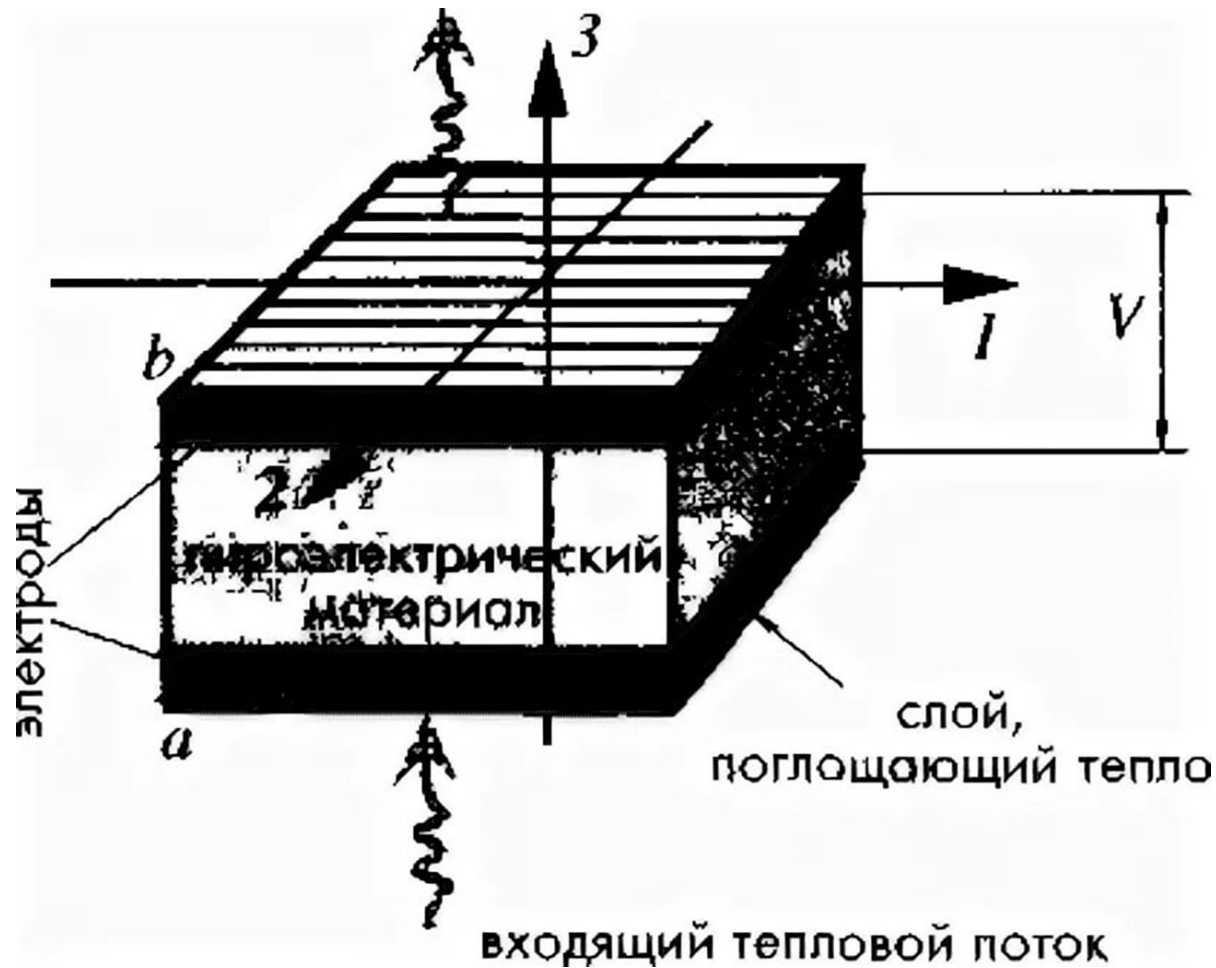


Согласно записям, Теофрастус в 314 году до нашей эры как-то заметил, что кристаллы минерала турмалин, будучи разогреты, начинают притягивать к себе кусочки пепла и соломы. Значительно позже, в 1707 году, явление пироэлектричества было открыто вновь немецким гравером Иоганном Шмидтом.

Взаимосвязь пироэлектричества кристаллов с другими похожими электрическими явлениями будет доказана и развита в 1757 году, когда Франц Эпинус и Йохан Вильке начнут исследовать поляризацию определенных материалов при их трении друг о друга.

Через 127 лет немецкий физик Август Кундт покажет яркий эксперимент, в котором разогреет кристалл турмалина и осыпет его через сито смесью порошков сурика и серы.

Применяют пьезоэлектрики в детекторах оптических сигналов, особенно инфракрасных и тепловых датчиках



В основе формулы турмалина — бор и силикат алюминия. Основную расцветку кристаллу придают примеси, которых может быть очень много. Существует больше десятка разновидностей камня, каждая со своим уникальным составом. Твердость по шкале Мооса — от 7 до 7,5 баллов из 10. Плотность — 3,26 грамма на кубический сантиметр. Камень ярко блестит. Ювелирные образцы прозрачны, промышленные минералы мутные.

