

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

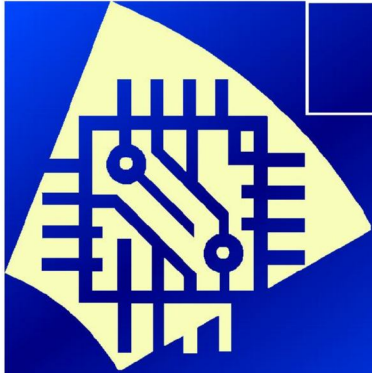
ТЕМА 2.5 Активные диэлектрики и элементы
функциональной электроники

ЛЕКЦИЯ 2.11

**ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКИ И
ПИРОЭЛЕКТРИКИ**

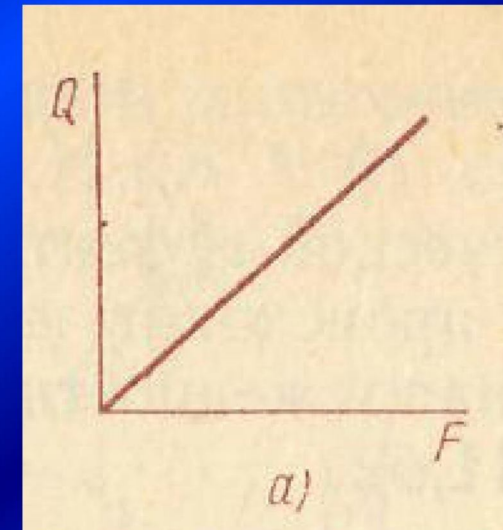
План лекции

- 2.11.1 Пьезоэффект
- 2.11.2 Материалы пьезоэлектриков
- 2.11.3 Применение пьезоэлектриков
- 2.11.4 Пироэлектрический эффект
- 2.11.5 Материалы пироэлектриков
- 2.11.6 Применение пироэлектриков

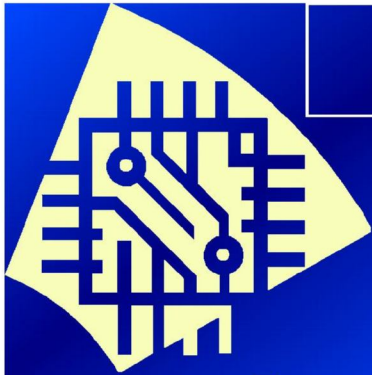


$$Q = dF; \quad Q/S = dF/S = qs = P = d\sigma,$$

где Q — заряд; d — пьезомодуль; F — сила; S — площадь; qs — заряд, который приходится на единицу площади; P — поляризованность;



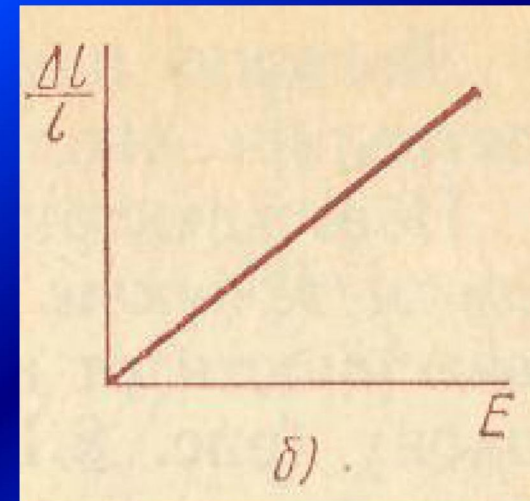
Линейная зависимость электрического заряда от приложенных механических усилий.

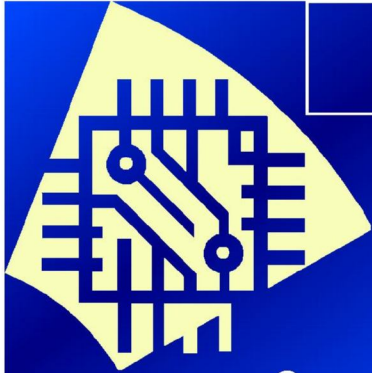


При обратном пьезоэлектрическом эффекте происходит изменение размеров диэлектрика $\Delta l/l$ в зависимости от напряженности электрического поля E по линейному закону :

$$\Delta l/l = \delta = dE,$$

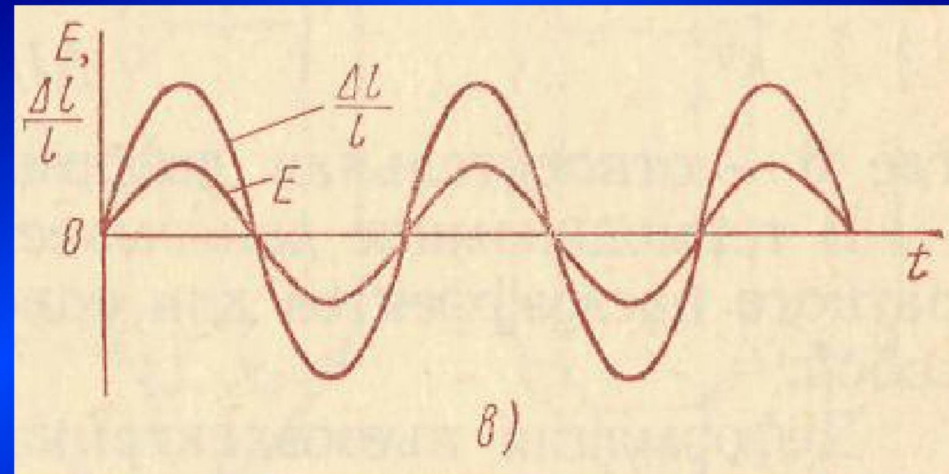
- где δ — относительная деформация.
- Линейная зависимость изменения размеров диэлектрика в зависимости от напряженности электрического поля .

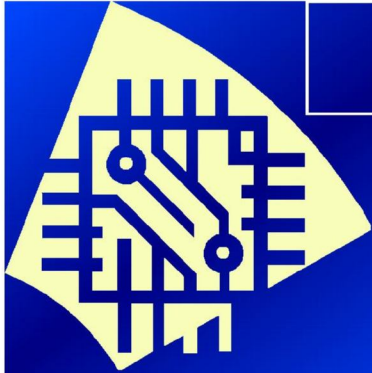




Зависимость вида деформации от направления приложенного к нему электрического поля.

Здесь показано, что при приложении к пьезоэлектрику синусоидального электрического поля у него возникают синусоидальные деформации той же частоты.

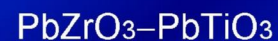
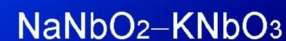




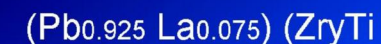
Материалы пьезоэлектриков

1) Керамика

твердые растворы:



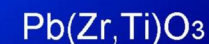
Керамики состава

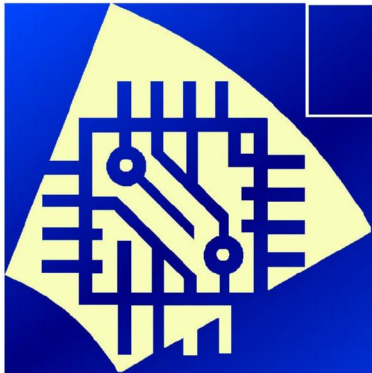


2) Модифицированный КОМПОЗИТ

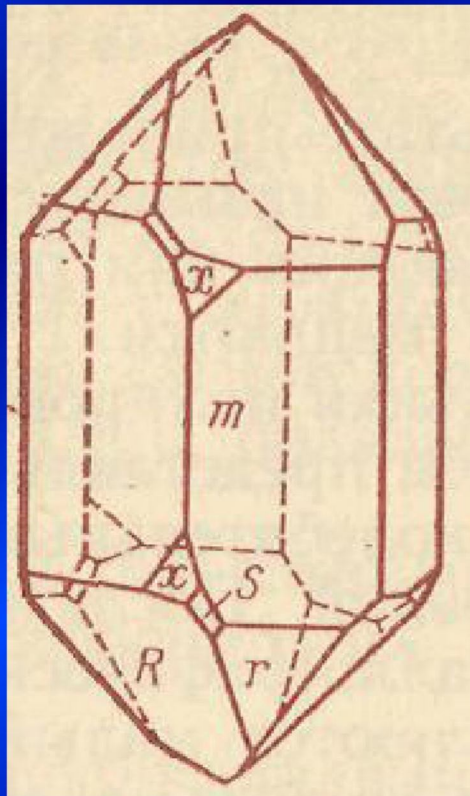


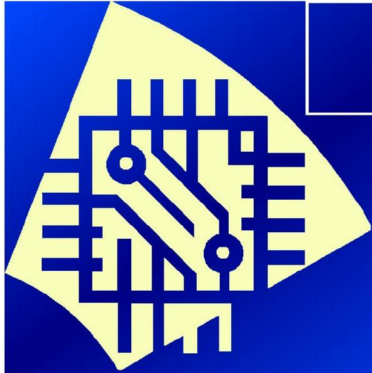
3) Тонкие пленки





Идеальная форма кристалла кварца.
 $\text{PbZrO}_3\text{—PbTiO}_3$



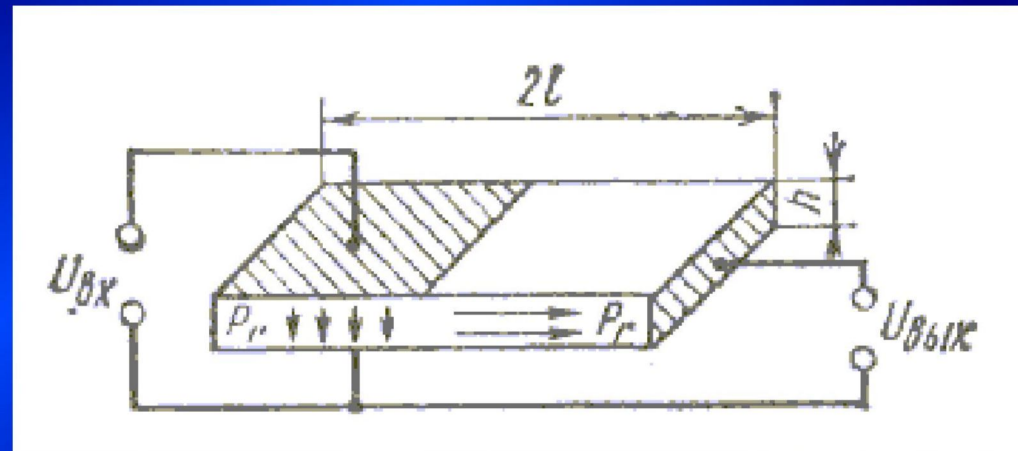


• Пьезотрансформаторы.

- Их обычно выполняют в виде пластины или бруска, одна половина которого (возбудитель колебаний) поляризуется по толщине, а другая половина (генератор) — по длине бруска

Схема высоковольтного пьезоэлектрического трансформатора
(стрелки указывают направление остаточной поляризованности)

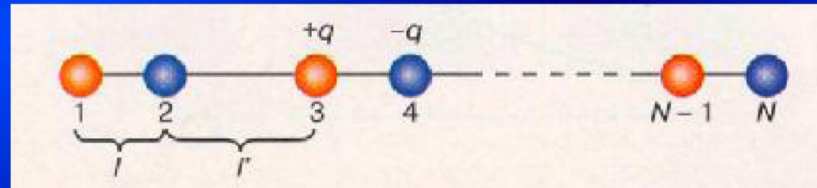
Трансформаторы могут быть сконструированы для работы в диапазоне частот 10—500 кГц.



Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники



Одномерная модель полярного диэлектрика со спонтанной поляризацией



где расстояние l между $(2n - 1)$ -м и $2n$ -м атомами отлично от расстояния l' между $2n$ -м и $(2n + 1)$ -м атомами

Очевидно, что поляризация такой цепочки P_0 — электрический момент на единицу ее длины.

$$P_0 = \frac{ql}{l + l'},$$

где $\pm q$ — заряды соседних атомов.

Если при какомлибо внешнем воздействии длина цепочки изменится так, что l увеличится на малую величину Δl , а l' — на $\Delta l'$, поляризация цепочки изменится.

$$\Delta P = \frac{q(l' \Delta l - l \Delta l')}{(l + l')^2}.$$



Уравнение пирозлектрического эффекта записывают в виде:

$$-P_{сп} = p dT,$$

где $P_{сп}$ — спонтанная поляризованность диэлектрика;
 p — пирозлект-рический коэффициент.

- Изменение спонтанной поляризованности сопровождается освобождением некоторого заряда на поверхности диэлектрика, благодаря чему в замкнутой цепи возникает электрический ток:

$$i = - S dP_{сп} / dt = S p dT / dt,$$

- где S — поверхность пирозлектрика;
- dT/dt — скорость изменения температуры.



Качество пьезоэлектрического материала принято характеризовать приведенным физическим параметром

$$R_E = p/(\epsilon C),$$

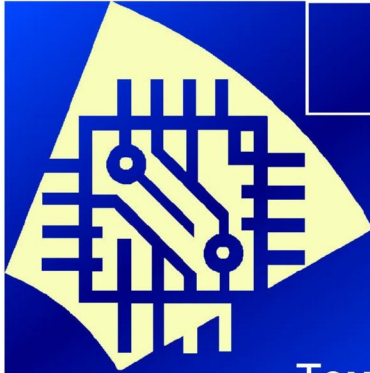
Где ϵ — диэлектрическая проницаемость;

C — удельная объемная теплоемкость.

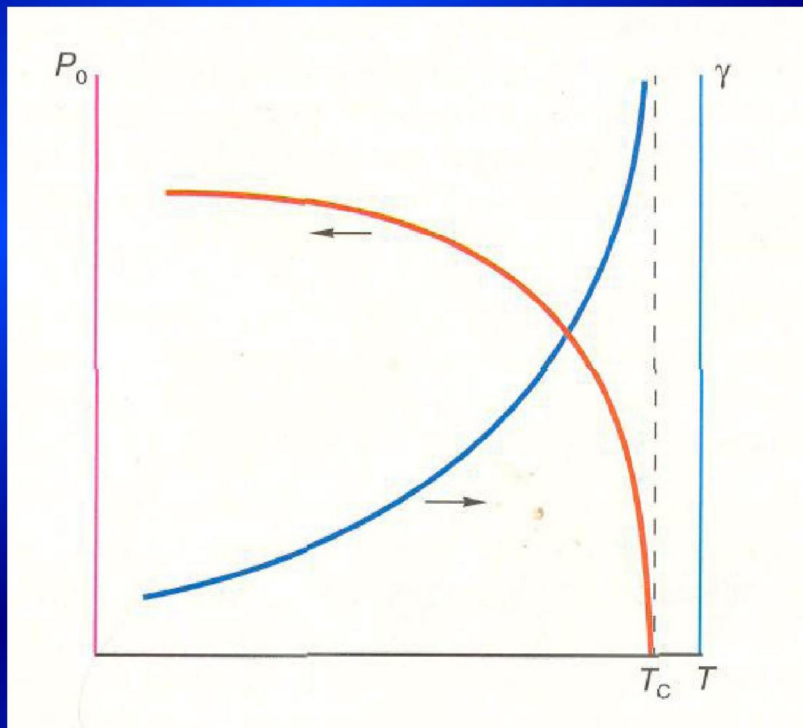
Появление так называемого деполяризующего поля $E_{\text{деп}}$, приводит к появлению дополнительной положительной энергии ($W_{\text{деп}}$).

$$W_{\text{деп}} = \frac{1}{2} \int \mathbf{D} \mathbf{E}_{\text{деп}} dV,$$

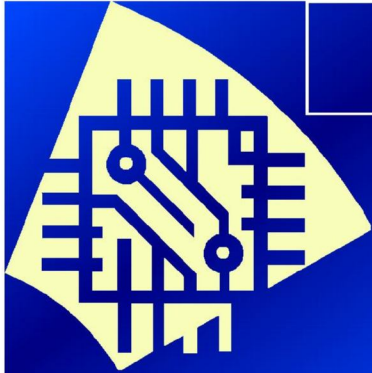
где $\mathbf{D}$ — вектор электрической индукции и интеграл берется по всему пространству.



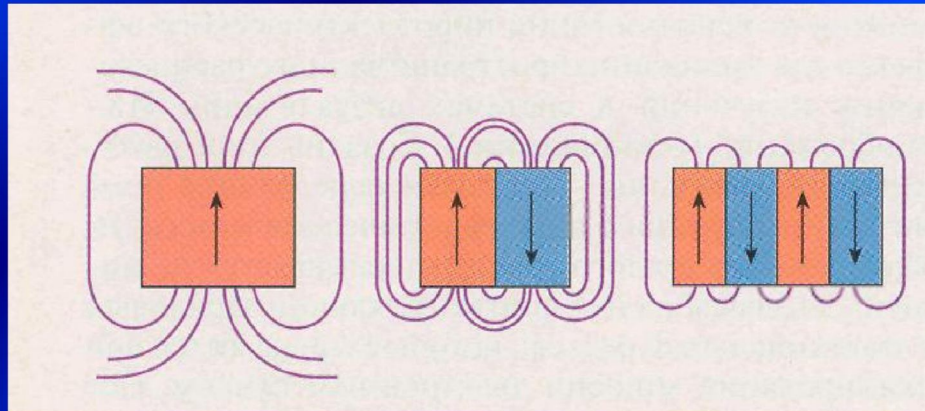
Температурная зависимость спонтанной поляризации (T_c) и пирозлектрического коэффициента (P_0) в сегнетоэлектрическом кристалле.



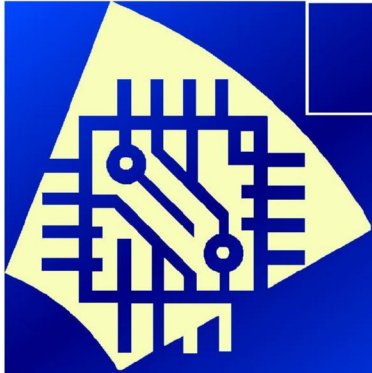
Известные линейные пирозлектрики, спонтанная поляризация в которых существует во всей области существования кристаллической фазы вплоть до температуры плавления, имеют весьма низкие значения пирозлектрического коэффициента порядка 10^{-5} – 10^{-4} Кл/(м² ■ К). Поэтому вопрос о практическом применении пирозлектриков не вставал, пока не появились сегнетоэлектрические кристаллы (см. [1]), у которых спонтанная поляризация возникает при некоторой определенной температуре и сравнительно быстро увеличивается при ее понижении.



При разбиении кристалла на домены происходит уменьшение положительной энергии, поскольку пространственная протяженность электрического поля уменьшается вследствие замыкания электрических силовых линий непосредственно вблизи поверхности кристалла

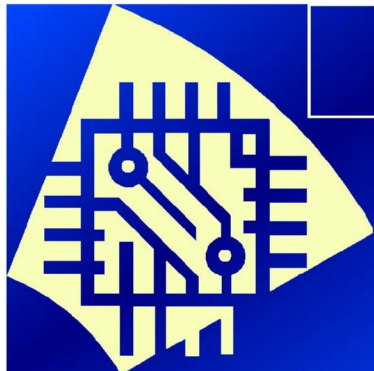


Процесс разбиения кристалла на домены заканчивается, когда уменьшение энергии электрического поля компенсируется положительным вкладом энергии доменных границ — пограничных слоев между доменами.

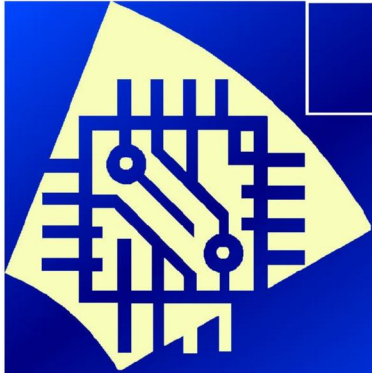


- 1) Кристаллы LiNbO_3 и LiTaO_3 - стабильность пьезоэлектрических свойств.
- 2) Пленки PbTiO_3 , LiNbO_3 , LiTaO_3 , KNbO_3 , KTaO_3 , $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ используются в пьезоэлектрических детекторах.
- 3) Керамические материалы на основе твердых растворов:
 $\text{PbTiO}_3\text{-PbZrO}_3\text{-PbNb}_{2/3}\text{Zn}_{1/3}\text{O}_3\text{-PbSb}_{2/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_3\text{-PbW}_{1/2}\text{Mg}_{1/2}\text{O}_3$
(система I)
и $\text{PbTiO}_3\text{-PbZrO}_3\text{-PbNb}_{2/3}\text{Zn}_{1/3}\text{O}_3\text{-PbSb}_{2/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_3\text{-PbNb}_{2/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_3$
(система II)

характеризуются высоким показателем качества, что делает их перспективными для использования в качестве пьезоэлектрических детекторов.

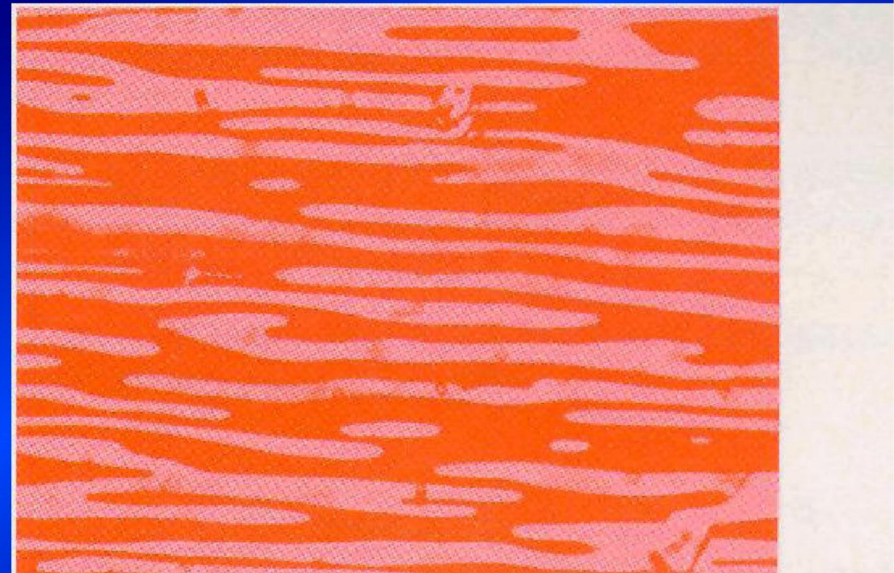


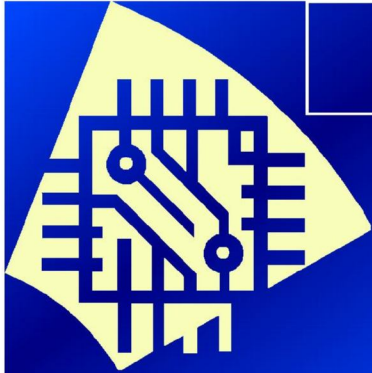
- Пирозлектрическими свойствами обладают некоторые линейные диэлектрики (например, **турмалин, сульфат лития**) и **все сегнетоэлектрические материалы**.
- Сегнетоэлектрики проявляют пирозлектрические свойства только **в монокдоменизированном состоянии**, для которого характерна одинаковая ориентация спонтанной поляризованности всех доменов. **Монокдоменизация сегнетоэлектрика осуществляется** путем выдержки его в постоянном электрическом поле при температуре несколько ниже точки Кюри.
- Наиболее высоким значением $R = (8,5-10-12 \text{ м/В})$ обладают **кристаллы триглицинсульфата**. При комнатной температуре пирозлектрический коэффициент в кристаллах триглицинсульфата (ТГС) составляет $360 \text{ мкКл/м}^2\text{К}$.
- **$\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{NbO}_6$** считается одним из лучших пирозлектриков. Оптимальная толщина пленки составляет 4–8 мкм.



Фотография доменов вблизи точки фазового перехода в кристаллах триглицинсульфата ($T_c = 49^\circ\text{C}$).

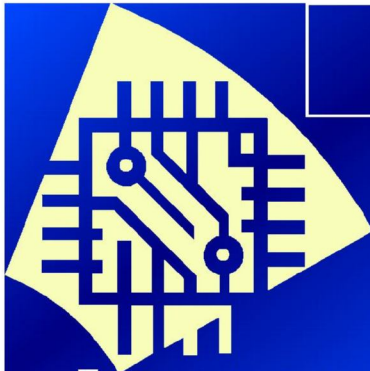
При размерах кристалла в несколько кубических миллиметров линейные размеры (ширина доменов) составляют величину порядка нескольких микрометров.





- Для создания **тепловых датчиков** для регистрации инфракрасного и СВЧ-излучения, в качестве светочувствительного элемента для **ИК-датчиков изображения**.
- Пирозлектрическое ИК определяющее устройство, состоящее из множества детекторных элементов, включает активный материал, который является сегнетоэлектрической керамикой вышеуказанного состава.
- **Приемников лучистой энергии** - лучистая энергия, попадая на зачерненную (поглощающую) поверхность сегнетоэлектрического кристалла, нагревает его. В результате нагревания изменяется спонтанная поляризованность кристалла и возникает импульс тока, который регистрируется электронной схемой.
- **Пиролитический детектор излучения** с чувствительным элементом на основе **тонкой пленки PZT** на кремниевом субстрате позволяет контролировать все основные типы дифференциального позиционно-чувствительного фотоэлектрического детектора излучения.

Тема 2.5 Активные диэлектрики и элементы функциональной электроники



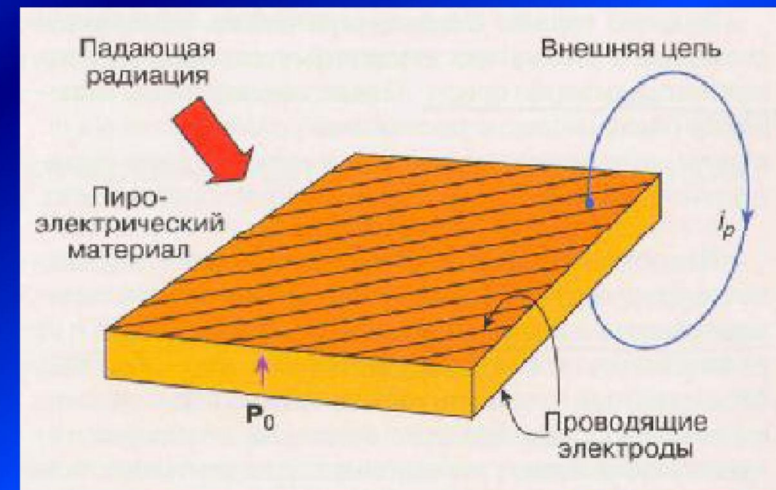
Пироэлектрические материалы находят широкое применение в качестве сенсорных устройств различного назначения, детекторов и приемников излучений, датчиков теплотрических приборов.

Используется главным образом их основное свойство — любой вид радиации, попадающий на пироэлектрический образец, вызывает изменение его температуры и соответствующее изменение поляризации.

Пироэлектрический детектор излучений основанный на этом принципе.

Для плоскопараллельного образца с поверхностью S и направлением спонтанной поляризации, перпендикулярным этой поверхности, нагревание на малую величину dT приведет к изменению связанного заряда на поверхности на dq

$$\frac{dq}{S} = \frac{dP}{dT} dT.$$



Если поверхности S покрыты проводящими электродами и эти электроды соединены проводником, по нему будет протекать ток

$$i = S \frac{dP}{dT} \frac{dT}{dt} = S \gamma \frac{dT}{dt}.$$

Где (гамма) - пироэлектрический коэффициент.