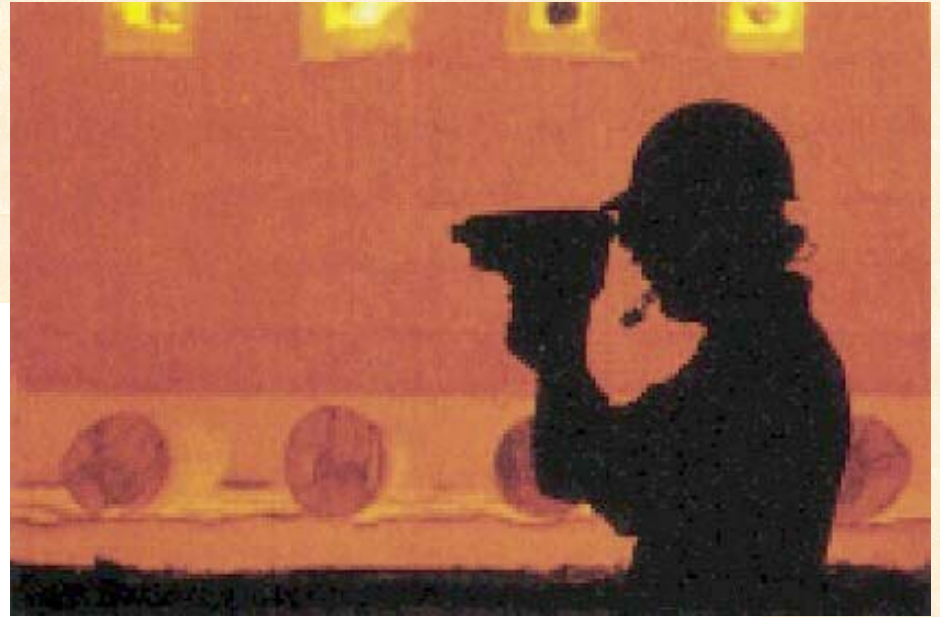


Ferroelectricidad: una visión general

Piroelectricidad

Piroelectricidad

- Introducción
 - Historia
 - Aplicaciones
- Teoría
 - Efecto piroeléctrico
 - Ecuaciones de Estado. Parámetros característicos
- Técnicas de caracterización



Historia

- Primera descripción del efecto piroeléctrico: Filósofo griego Theophrastus en el mineral turmalina.
- 1707: es publicado el libro “Curious speculations during Sleepless Nights” por Johann George Schmidt, donde se realiza una buena descripción del efecto piroeléctrico.
- Primera descripción científica: 1717 por Louis Lemery.
- 1756: el Dr. Franz Ulrich Theodor Aepinus presenta a la Academia de Ciencias en Berlín su estudio sobre las propiedades eléctricas de la turmalina.
- Siglo XIX: estudios más cuantitativos y comienza el desarrollo de técnicas de medición sofisticadas.
- 1824: David Brewster utilizó por primera vez el término “pyroelectricidad” en su artículo: “Observations on the Pyro-Electricity of Minerals” (sal de Rochelle).

Historia

- 1859: Jean-Mothee Gaugain hizo la primera medición precisa de cargas piroeléctricas.
- 1878: se publica el primer estudio teórico del fenómeno por William Thompson (Lord Kelvin).
- 1938: Yeou Ta propuso la utilización del efecto piroeléctrico para la detección de la radiación infrarroja.
- 1960: se manifiesta una explosión en el incremento de los estudios teóricos, mediciones básicas y aplicaciones, reportándose más de 7000 publicaciones en el período 1960-1996.

Aplicaciones

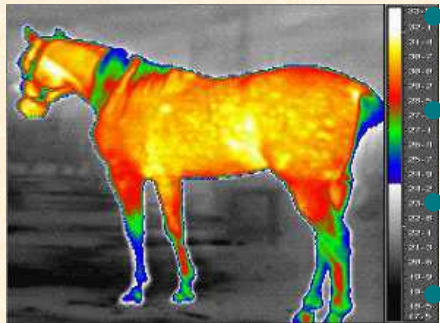
■ Principalmente: sensores de IR



- Sensores de luz/temperatura
sensores de presencia
criogenia
- Sistemas de visión nocturna
pyro-vidicon, p.ej: en el LANDSAT



■ Parámetros tecnológicos



$$p/c_p$$

amplificadores de baja impedancia

$$p/(c_p \epsilon)$$

amplificadores de alta impeancia

$$p/(c_p \alpha \epsilon)$$

sistemas de visión nocturna

$$p/c_p(\epsilon \tan \delta)^{1/2}$$

amplificadores de alta impedancia con
alto ruido piroeléctrico

Teoría

- El *fenómeno piroeléctrico* está dado por el cambio de la polarización espontánea con la temperatura. Cuando el material es sometido a una variación de temperatura se produce un cambio en la magnitud de su polarización eléctrica, induciéndose una separación de las cargas y una diferencia de potencial entre determinadas superficies del material (por ejemplo entre las caras planas si se trata de muestras cilíndricas). Este fenómeno se manifiesta con la aparición de una corriente eléctrica entre los electrodos del material.

Teoría

- Energía libre de Gibbs en ferroeléctricos

$$G = U - S_i T_j - D_m E_n - B_m H_n - sQ$$

Interacciones ferroeléctricas

$$\Rightarrow \begin{pmatrix} dS_i \\ dD_m \\ d\sigma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_{ij}^{E,\Theta} & d_{mj}^{\Theta} & \alpha_j^E \\ d_{ni}^{\Theta} & \epsilon_{nm}^{T,\Theta} & p_n^T \\ \alpha_j^E & p_m^T & c_P^{E,\Theta}/\Theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dT_j \\ dE_n \\ d\Theta \end{pmatrix}$$

Teoría

	S, T	D, E	σ, Θ
T, S	$[M]$ energía mecánica	$[ES]$ efecto electrostictivo	$[PyS]$ piroestricción
D, E	$[PzE]$ piezoelectricidad	$[E]$ energía eléctrica	$[PyE]$ piroelectricidad
σ, Θ	$[PzC]$ efecto piezocalórico	$[EC]$ efecto electrocalórico	$[\Pi]$ energía térmica

Ecuaciones de estado

- Ecuaciones de estado en forma diferencial

$$\begin{cases} S_i = s_{ij}^{E,\Theta} T_j + d_{in}^{\Theta} E_n + \alpha_i^E d\Theta \\ D_m = d_{mj}^{\Theta} T_j + \varepsilon_{mn}^{T,\Theta} E_n + p_m^T d\Theta \\ dQ_i = \Theta[\alpha_j^E T_j] + \Theta[p_n^T E_n] + \rho c_p^E d\Theta \end{cases}$$

- donde $i, j = 1..6$; $m, n = 1..3$
- $dQ = \Theta d\sigma$,
- $\alpha_i \Leftarrow$ coeficiente de expansión térmica
- $p_m \Leftarrow$ coeficiente piroeléctrico
- $c_p = (\Theta d\sigma) / (\rho d\Theta) \Leftarrow$ calor específico

Coeficientes piroeléctricos

■ Así pues en la ecuación anterior para D , a tensión y campo eléctrico constante, tenemos

$$p_m = \left. \frac{\partial D_m}{\partial \Theta} \right)_{T,E} \Rightarrow dD_m = p_m^{T,E} d\Theta$$

con lo que p será la carga por unidad de área que aparece al variar la temperatura y tendrá unidades de:

$$\text{C m}^{-2}\text{K}^{-1}$$

■ También se podría definir

$$p_m^{T,E} = - \left. \frac{\partial P_{S_m}}{\partial \Theta} \right)_{T,E}$$

y, evidentemente, es un parámetro que varía muchísimo en las proximidades de Θ_c

■ Para los grupos:

2, mm2, 4, 4mm, 3, 3m, 6, 6mm

-Una sola componente

grupo m - 2 componentes

grupo 1 - 3 componentes

Medidas: Relaciones

$$p_m^{T,E} = p_m^{S,E} + d_{mj}^{\Theta} c_{j,i}^{E,\Theta} \alpha_m^E$$

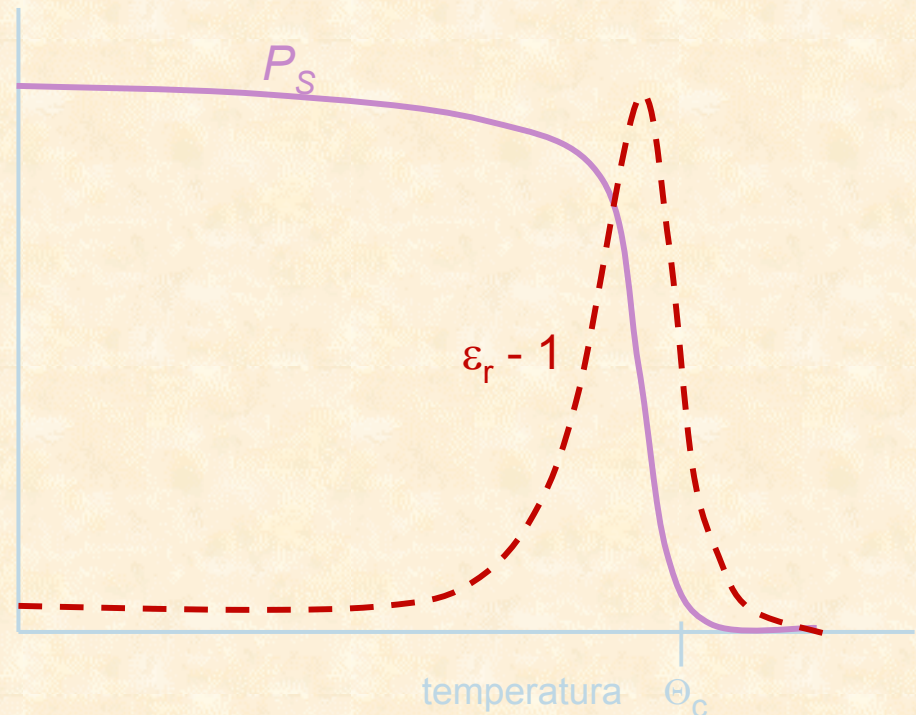
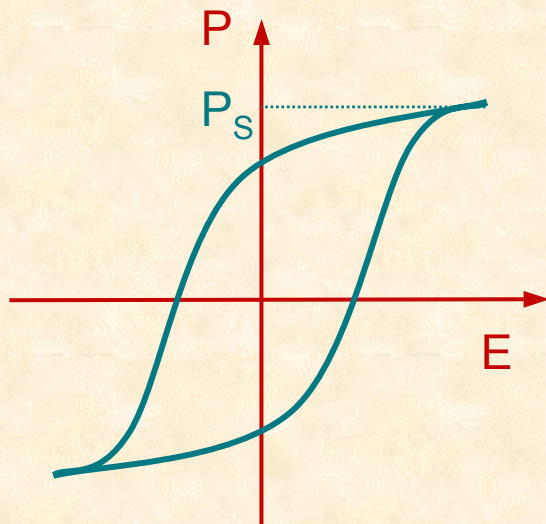
coeficiente piroeléctrico real

2º coeficiente piroeléctrico

- Si se mide el efecto con la muestra libre de tensiones, será necesario tener en cuenta el coeficiente de expansión térmica, el efecto piezoeléctrico y las propias constantes elásticas.
- Esto aparece agrupado en el llamado efecto pseudo-piroeléctrico.

Métodos de medida: Estable

- Medida de P_s a distintas temperaturas, mediante ciclos de histéresis
- Cálculo del coeficiente a partir de la curva de $P_s(T)$



Métodos de medida: Dinámico

- Se “activa” el efecto piroeléctrico por medio de una fuente pulsada de IR.
- Se producen cambios periódicos de Θ y de P.
- Se mide la corriente piroeléctrica

$$i = A \frac{dP_s}{dt} = A \frac{dP_s}{d\Theta} \frac{d\Theta}{dt}$$

- La relación $d\Theta/dt$ es constante, pero ¿cual?
- ¿Toda la corriente es piroeléctrica?

Métodos de medida: Integración de carga

- Se mide la carga “liberada” por la muestra durante un cambio de temperatura..

$$\Delta Q = A \Delta P_s = A \frac{dP_s}{d\Theta} \Delta\Theta$$

- ¿A qué temperatura lo hacemos? ¿Qué $\Delta\Theta$ utilizamos?