

物性を利用した検出要素

固体科学の急速な進展

⇒ 多くの物質の特性が明確化

⇒ センサ開発に物性を積極的に利用

物性形固体素子センサ: 被計測対象を忠実に検知

集積化技術 ⇒ 小型, 多機能インテリジェントセンサ

センサの感度, 精度が物性値で決まる.

⇒ 製作の安定性に多くの努力

圧電効果, 焦電効果, 熱電効果, ホール効果,
磁気抵抗効果

圧電効果 (piezo effect)

圧電性結晶に力 \Rightarrow ひずみ

\Rightarrow ある方向に誘電分極 \Rightarrow 電位差発生

逆に

電界 \Rightarrow ひずみ

[非対称性結晶]

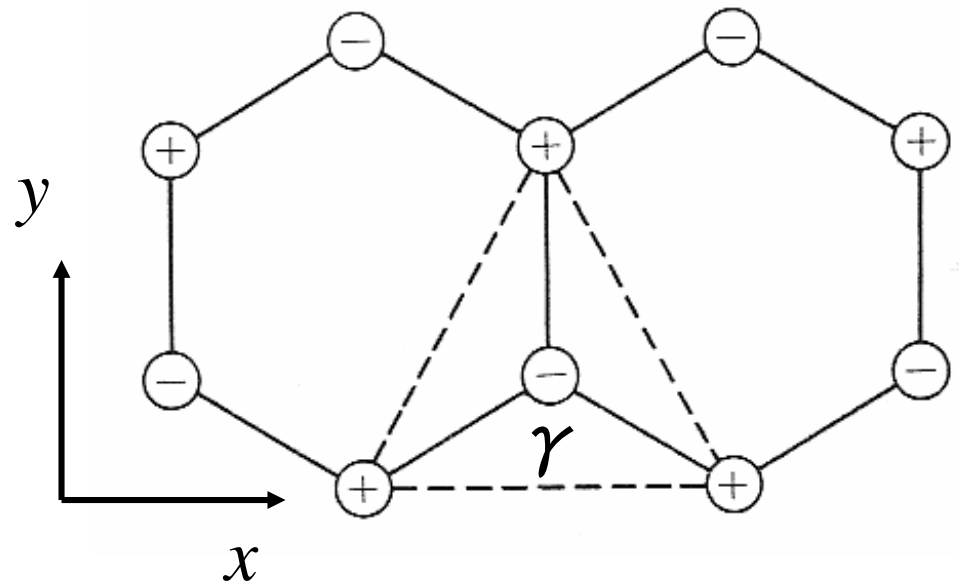
ひずみ零で中性

\rightarrow ひずみ

\rightarrow 正負イオンの移動に

非対称性

\rightarrow 分極



x 方向に引張り

$\Rightarrow \gamma$ 開く

$\Rightarrow y$ 方向に正分極

すべての結晶 32族, その中で非対称結晶 21族
その中で圧電性 20族

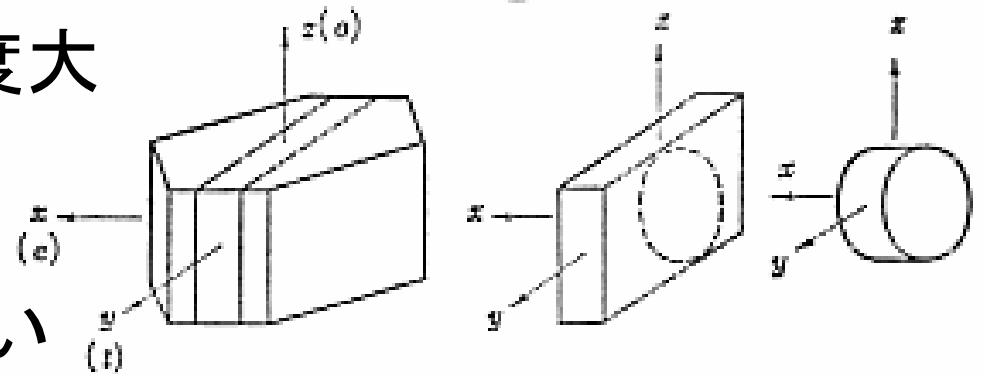
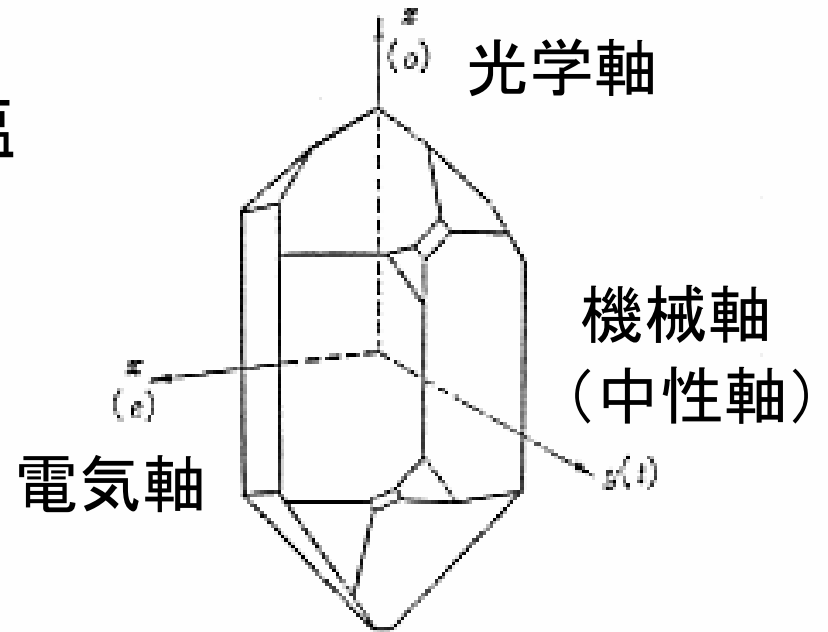
代表的圧電性結晶:
水晶, 電気石, ロッセル塩

水晶 (SiO_2)

電気軸に沿ってひずみ
→ 電荷を発生 (縦効果)

弾性定数, 機械的強度大
絶縁性良好

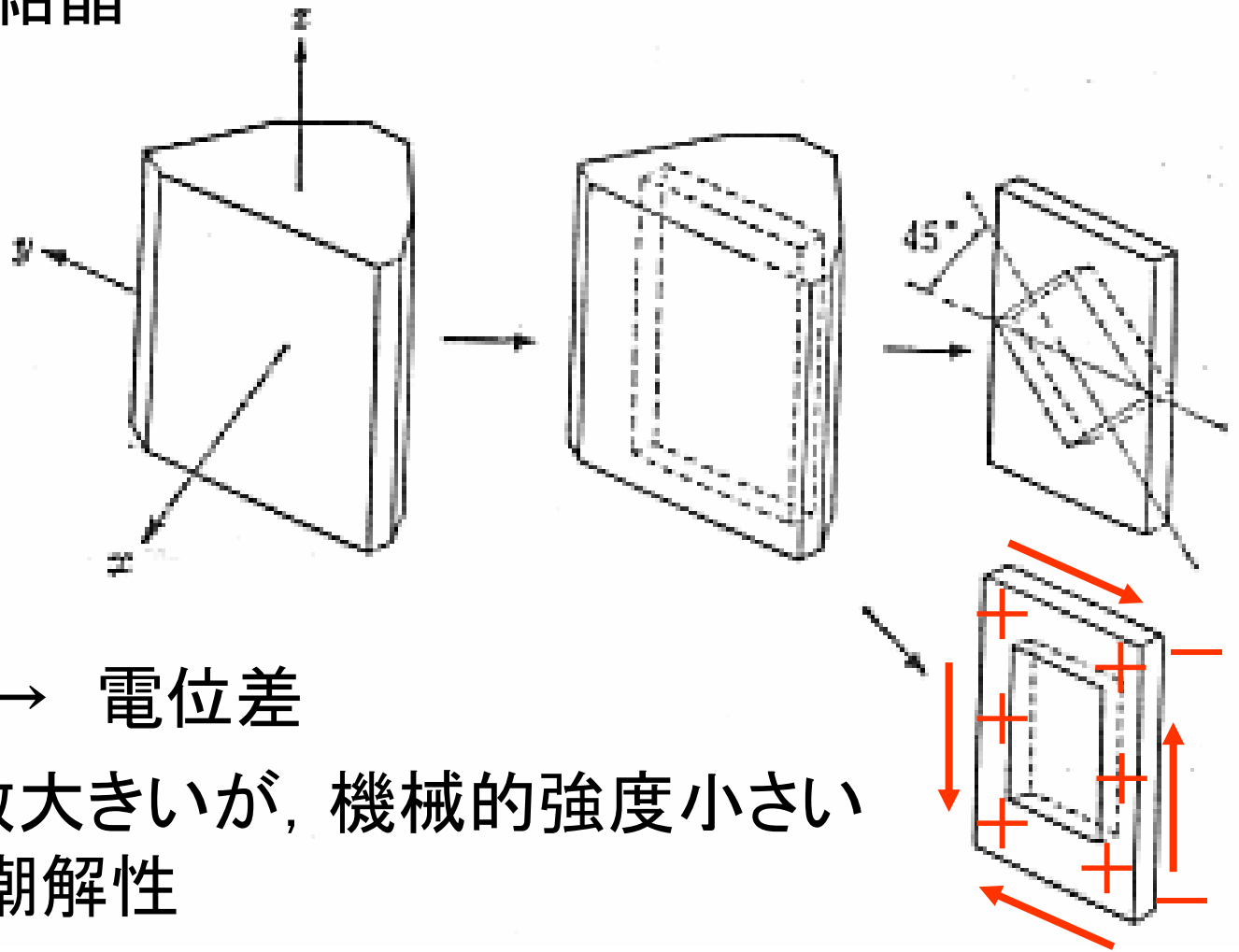
→ 良好な素子
ただし, 圧電定数小さい



ロッシエル塩

($\text{NaKC}_4\text{H}_3\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 酒石酸カリウムナトリウム)

斜方晶系結晶



せん断 → 電位差

圧電定数大きいが、機械的強度小さい

塩 → 潮解性

強誘電体圧電セラミックス

自発分極 ← 非対称性

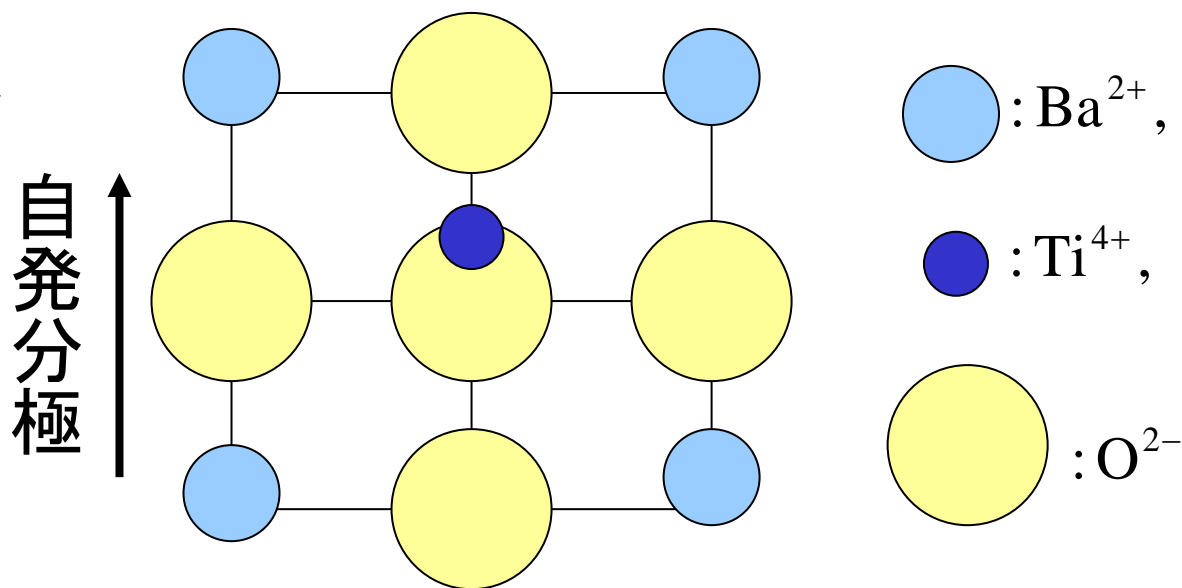
分域：同一方向自発分極がグループを形成

外部電場のないとき

多分域：多数の分域が分極を打ち消し合う

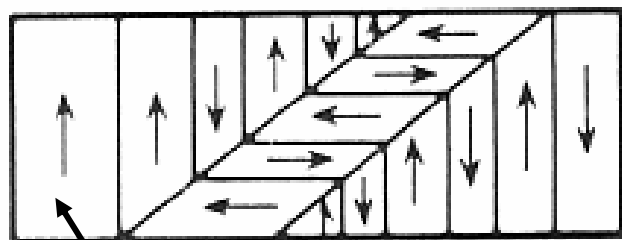
チタン酸バリウム
(BaTiO_3)

この方向に
格子も伸びて
いる



キューリー点 (120°C) 以下で自発分極

多分域

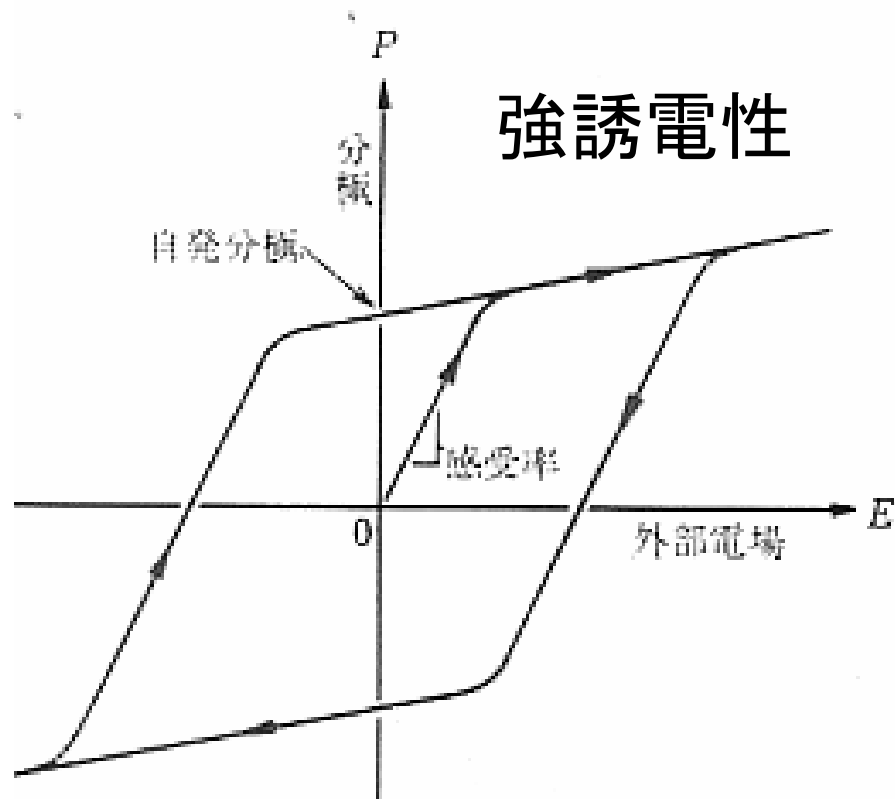


分域

外部電場の無い場合
分極は打ち消し合う

外部電場を作用させると、それに合う自発分極の分域が広がり、物質全体として分極を示す。

外部電場と分域の分布は1:1対応でないので、電場を取り去っても分極が残る。⇒ 残留分極
ひずみも残る ⇒ 残留ひずみ



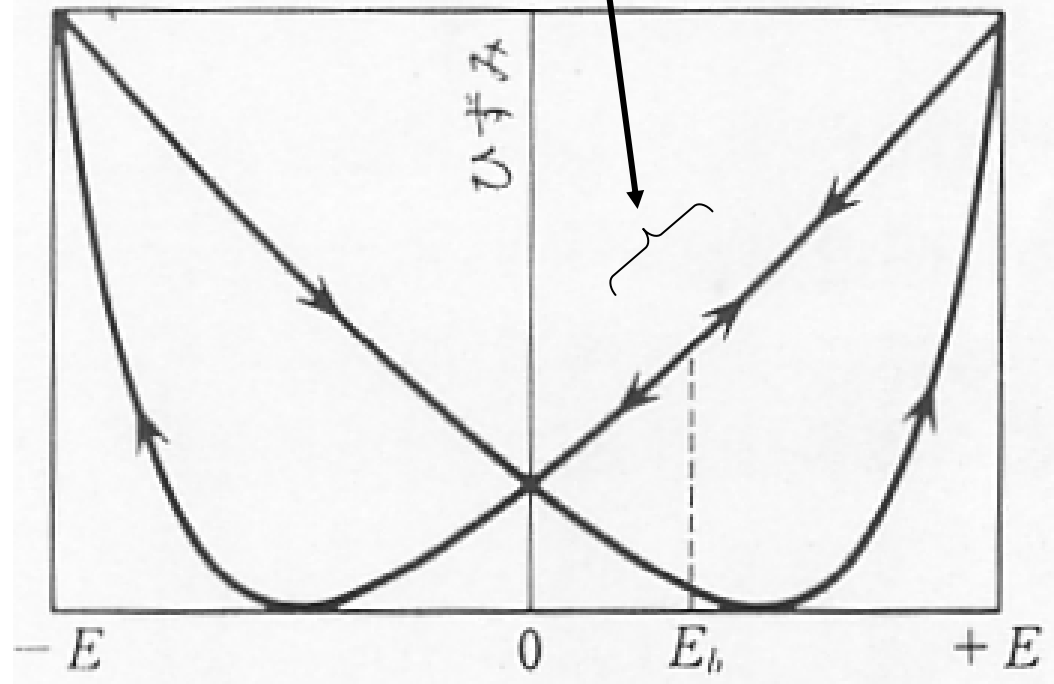
強誘電体の特性は

電わい現象 (electrostrictive phenomena) :

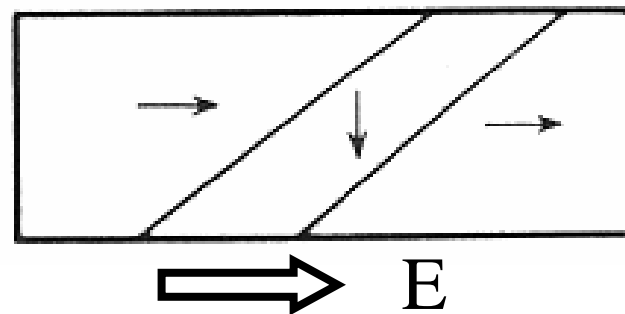
電気変位の2乗に比例したひずみの発生

ただし, 高電界を加えると, その近傍では圧電現象と
等価な現象

この部分では圧電特性



一旦、高電界を加え、残留分極を生じさせると、その後電界を加えなくても、圧電効果が発生する。



➡ 分極処理(単分域状態)

具体的に

[圧電セラミックチタン酸バリウム (BaTiO_3) の製作
(~~法~~チタン白と炭酸バリウムの混合物を参加炎 (1350°C)
の中で焼成 → セラミック

(2) 成形焼結後にキューリー点以上に加熱、高電界を加えながら常温まで徐冷 = 自発分極, 分極処理

他に、チタン酸鉛・ジルコン酸鉛 ($\text{PbTiO}_3 \cdot \text{PbZrO}_3$, PCM),
ジルコン酸鉛 (PbZrO_3 , PZT),
ニオブウムマグネシウム鉛 ($\text{PbNb}_{2/3}\text{Mg}_{1/3}\text{O}_3$)

その他の圧電物質

(a) エレクトレット

高分子フィルムを転移温度以上に加熱 → 高電圧

→ 不純物イオン, コロナ放電の電子, 注入イオン,
双極子などで分極

→ ガラス転移温度以下に冷却 → 分極が凍結

(b) 高分子フィルム

(ポリ弗化ビニリデン, ポリ弗化ビニル)

高温, 高電界: 分子鎖で形成される双極子を1方向
に揃える = 分極

圧電基本式

[物理量(状態量)]

機械系

\mathbf{T} : 応力, \mathbf{S} : ひずみ { (2次の) テンソル }

$$\mathbf{T} = (T_{ij}) = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{pmatrix}$$

添え字 2つ

ベクトル表示

$$\begin{aligned} \mathbf{T} &= (T_{11} \quad T_{22} \quad T_{33} \quad T_{12} \quad T_{13} \quad T_{23}) \\ &= (T_1 \quad T_2 \quad T_3 \quad T_4 \quad T_5 \quad T_6) \end{aligned}$$

電気系

\mathbf{E} : 電界, \mathbf{D} : 電束 (電気変位)

{ ベクトル (1次のテンソル) }

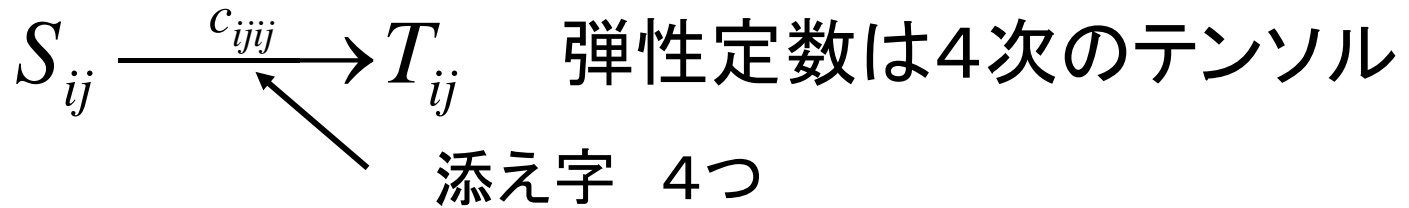
$$\mathbf{E} = (E_1 \quad E_2 \quad E_3)$$

添え字 1つ

[物性定数]

機械系内： 強度性状態量と容量性状態量間

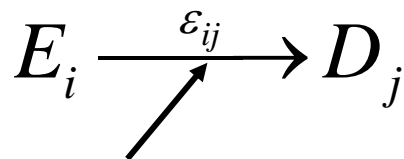
弾性定数： \mathbf{c} $\mathbf{T} = \mathbf{c} \cdot \mathbf{S}$



$$\begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} & c_{15} & c_{16} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} & c_{25} & c_{26} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} & c_{35} & c_{36} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} & c_{45} & c_{46} \\ c_{51} & c_{52} & c_{53} & c_{54} & c_{55} & c_{56} \\ c_{61} & c_{62} & c_{63} & c_{64} & c_{65} & c_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{pmatrix}$$

電気系内：強度性状態量と容量性状態量間

誘電定数： $\boldsymbol{\varepsilon}$ $\mathbf{D} = \boldsymbol{\varepsilon} \cdot \mathbf{E}$



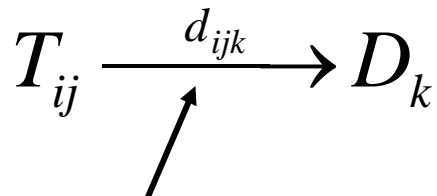
添え字は 2つ

誘電定数は2次のテンソル

$$\begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{pmatrix}$$

機械・電気間：

圧電定数： \mathbf{d} $\mathbf{D} = \mathbf{d} \cdot \mathbf{T}$

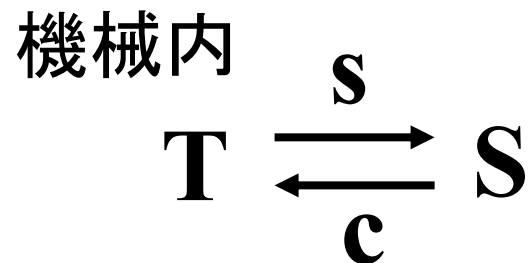


添え字は3つ

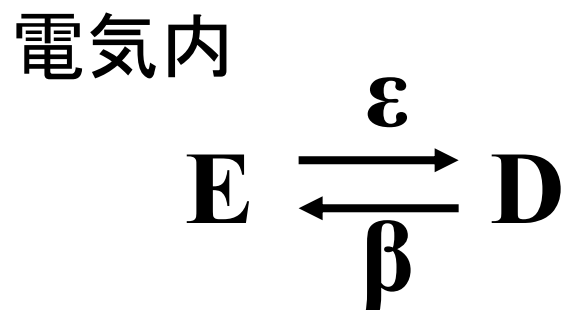
圧電定数は3次のテンソル

$$\begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} & d_{15} & d_{16} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} & d_{25} & d_{26} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} & d_{35} & d_{36} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \\ T_6 \end{pmatrix}$$

$$\text{d 形式} \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{S} = \mathbf{s} \cdot \mathbf{T} + \mathbf{d} \cdot \mathbf{E} \\ \mathbf{D} = \mathbf{d} \cdot \mathbf{T} + \boldsymbol{\varepsilon} \cdot \mathbf{E} \end{array} \right.$$



$$\text{e 形式} \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{T} = \mathbf{c} \cdot \mathbf{S} - \mathbf{e} \cdot \mathbf{E} \\ \mathbf{D} = \mathbf{e} \cdot \mathbf{S} + \boldsymbol{\varepsilon} \cdot \mathbf{E} \end{array} \right.$$



$$\text{g 形式} \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{S} = \mathbf{s} \cdot \mathbf{T} + \mathbf{g} \cdot \mathbf{D} \\ \mathbf{E} = -\mathbf{g} \cdot \mathbf{T} + \boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{D} \end{array} \right.$$

機械・電気間

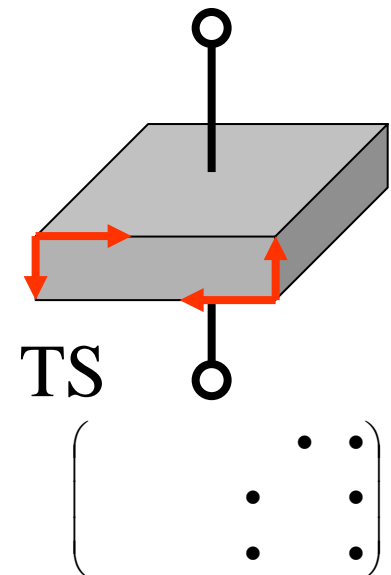
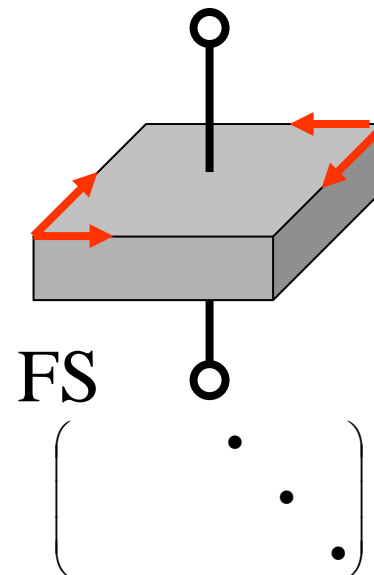
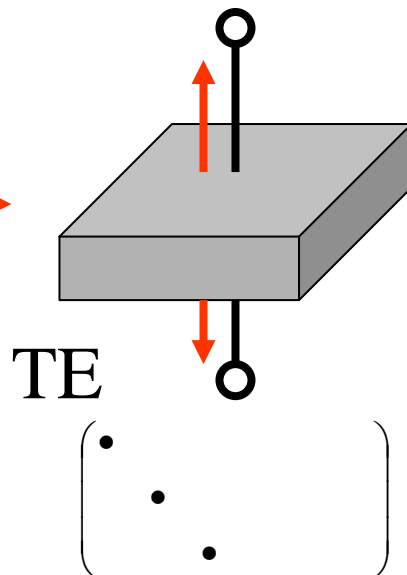
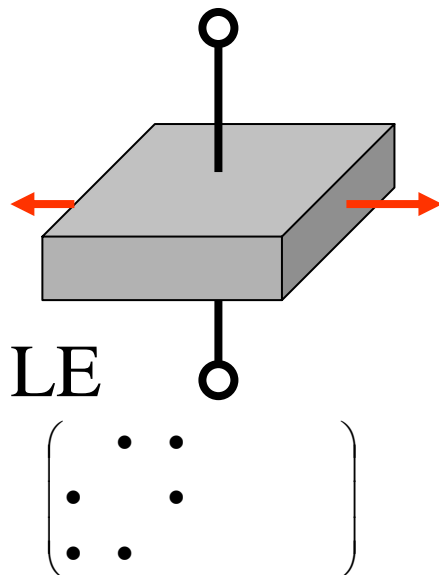
$$\text{h 形式} \left\{ \begin{array}{l} \mathbf{T} = \mathbf{c} \cdot \mathbf{S} - \mathbf{h} \cdot \mathbf{D} \\ \mathbf{E} = -\mathbf{h} \cdot \mathbf{S} + \boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{D} \end{array} \right.$$

	\mathbf{T}	\mathbf{S}
\mathbf{E}	\mathbf{d}	\mathbf{e}
\mathbf{D}	\mathbf{g}	\mathbf{h}

圧電効果と弾性波

- (a) 電気軸に直角方向の伸縮 LE(length expansion)
- (b) 電気軸に平行方向の伸縮 TE(thickness expansion)
- (c) 電気軸に直角な面内のずれ FS(face shear)
- (d) 電気軸に直角な面内のずれ TS(thickness shear)

	縦波	横波
縦効果	TE	TS
横効果	LE	FS



焦電効果 (pyroelectricity)

非対称性結晶 10種 → 自発分極

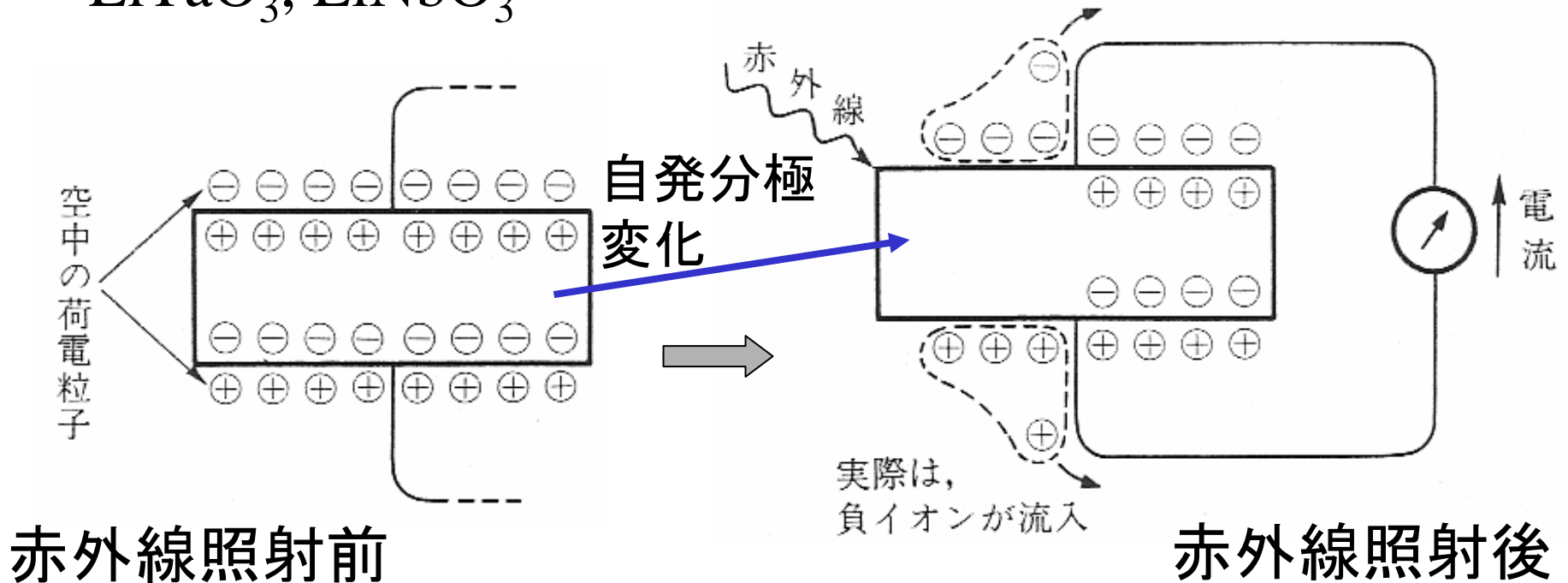
自発分極状態が温度で大きく変わる焦電センサ材料

酸化チタン(IV)バリウム (BaTiO_3),

硫酸グリシン (TGS, triglicine sulfate),

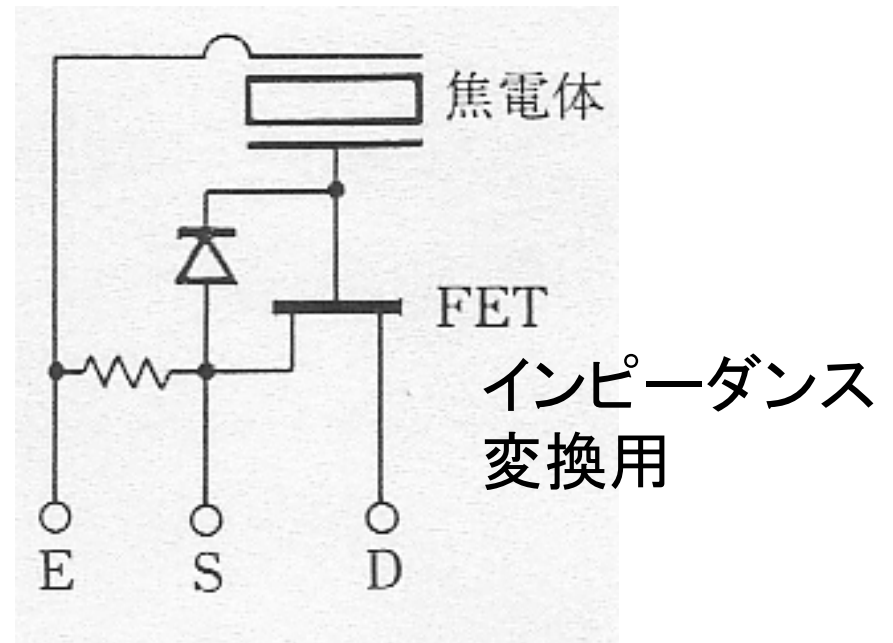
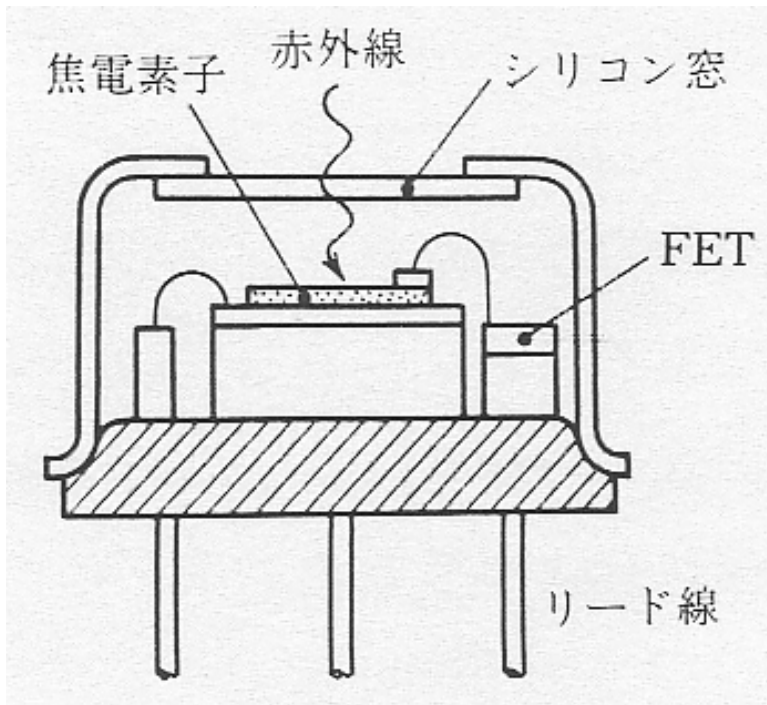
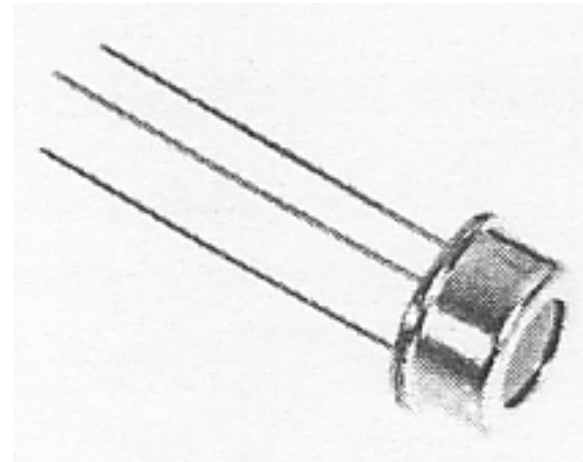
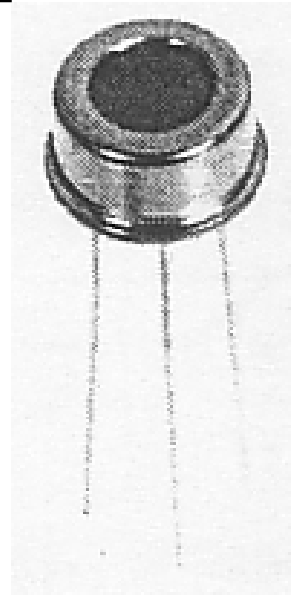
PLZT (lanthanum doped lead zirconate titanate),

LiTaO_3 , LiNbO_3



焦電形赤外センサの外観

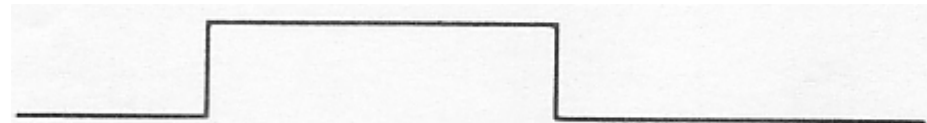
常温で作動
堅牢
 μ secの時間応答



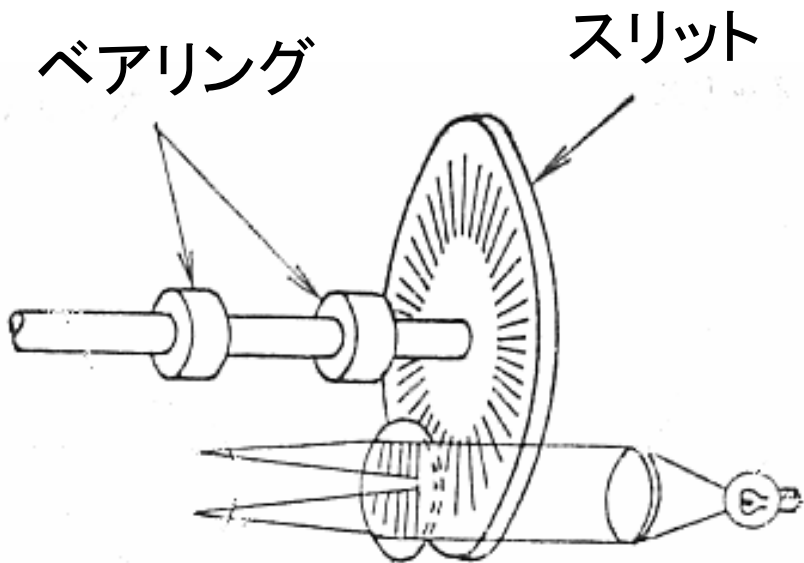
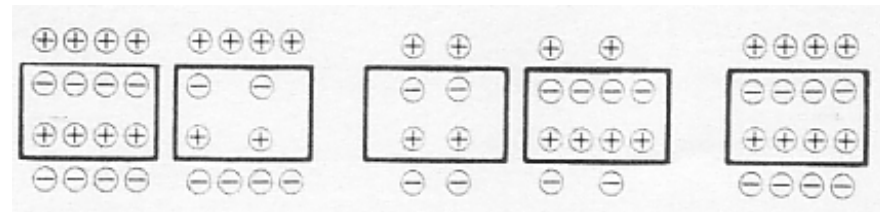
赤外線放射に変化ある ときのみ出力

- 一定温度の場合
- メカニカルチョツパ
などで赤外線を断熱照射

赤外線入力

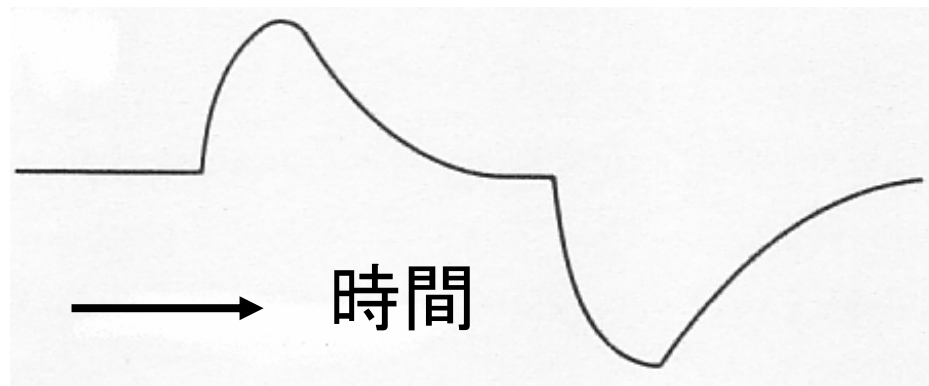


表面電荷の変化



メカニカルチョツパ

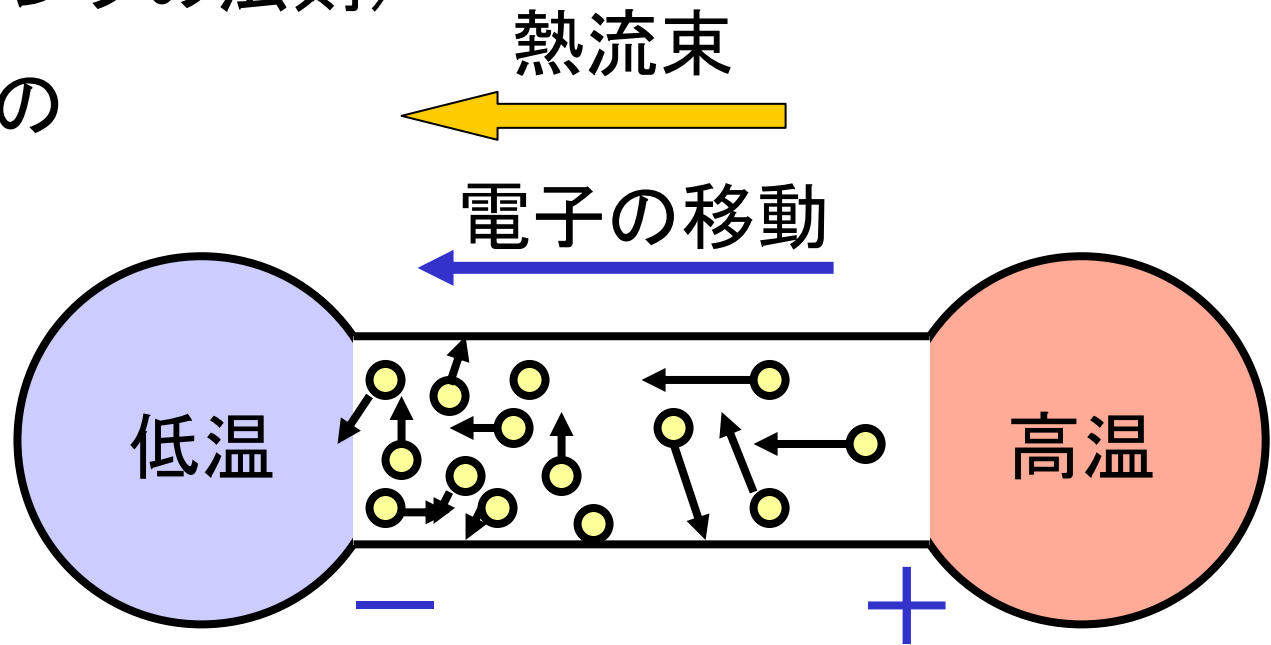
センサ出力



熱電効果

電子の運動による熱伝導
(ウィーデマン・フランツの法則)

熱伝導が電子の
移動による。

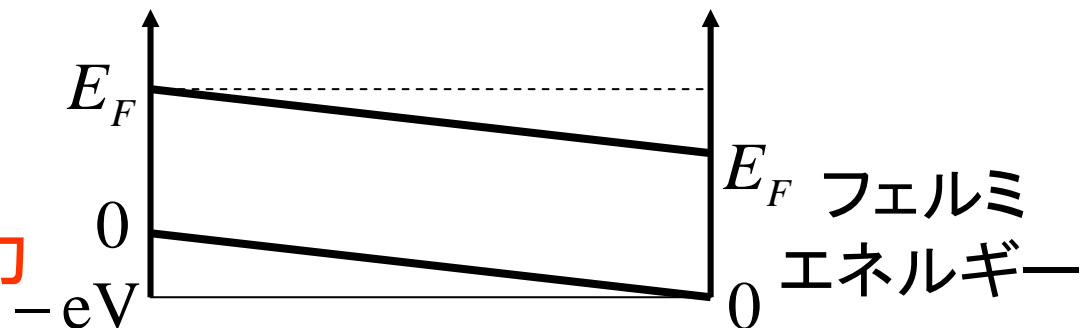


σ_{Cu} : 電気伝導率

$$\sigma_{\text{Cu}} > \sigma_{\text{Al}} > \sigma_{\text{Fe}} > \sigma_{\text{Cr}}$$

$$\sigma_{\text{Ni-Cr}} \approx 0$$

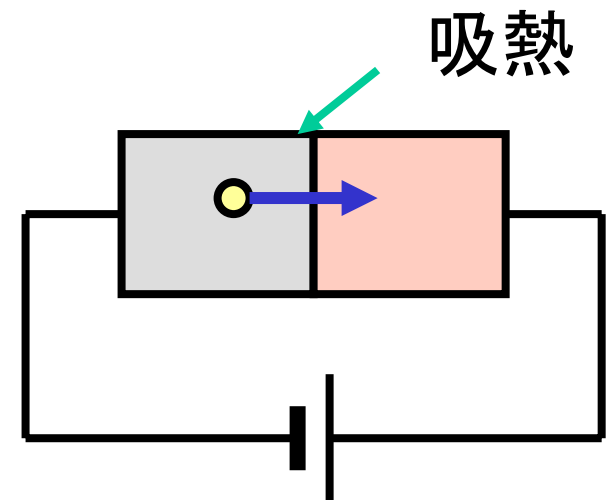
熱起電力



熱起電力:異なる2種類の金属,合金,半導体の両端を接合,接点に温度差をつけた場合の起電力

熱電対:導線の対

- (1)ゼーベック効果(Seebeck effect):温度差による熱流のために1つの導線の中に電位差が誘起される.
- (2)トムソン効果:温度差のある1つの導線の中での電子の流れによって吸熱あるいは発熱が起こる.
- (3)ペルチェ効果(Peltier effect):
2種類の導体の接合面を通過する電子の向きによって吸熱あるいは発熱が起こる.



起電力:
$$V = [\pi_{AB}]_{t_2}^{t_1} + \int_{t_2}^{t_1} (\sigma_A - \sigma_B) dt$$

$$\pi_A - \pi_B = \frac{q_A}{I} - \frac{q_B}{I} = \frac{\Delta q}{I} = \pi_{AB} \quad : \text{ペルチエ係数}$$

σ_A, σ_B : トムソン係数 (電気比熱)

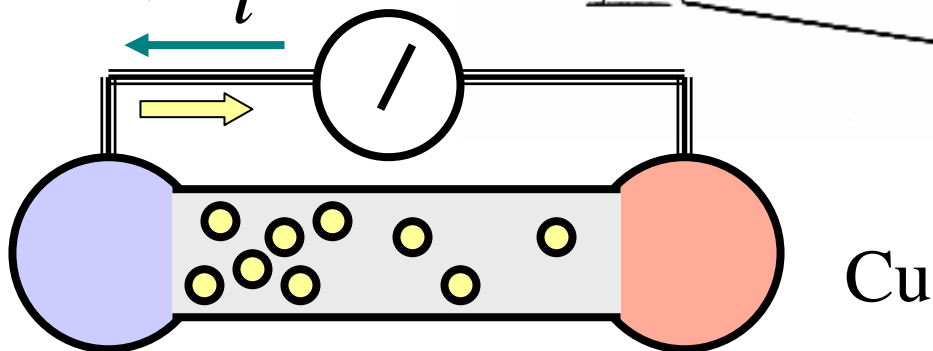
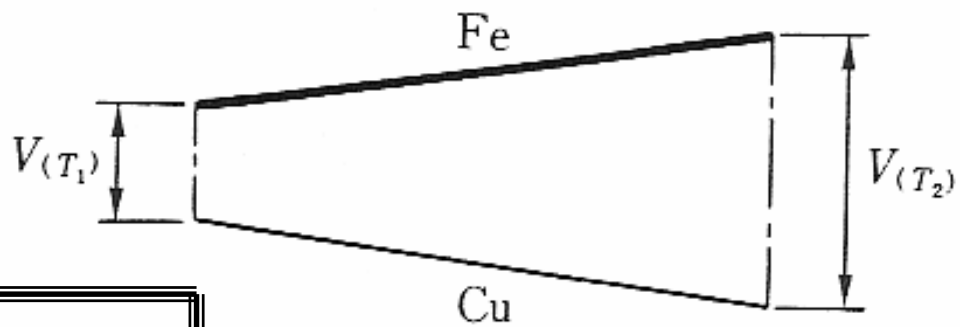
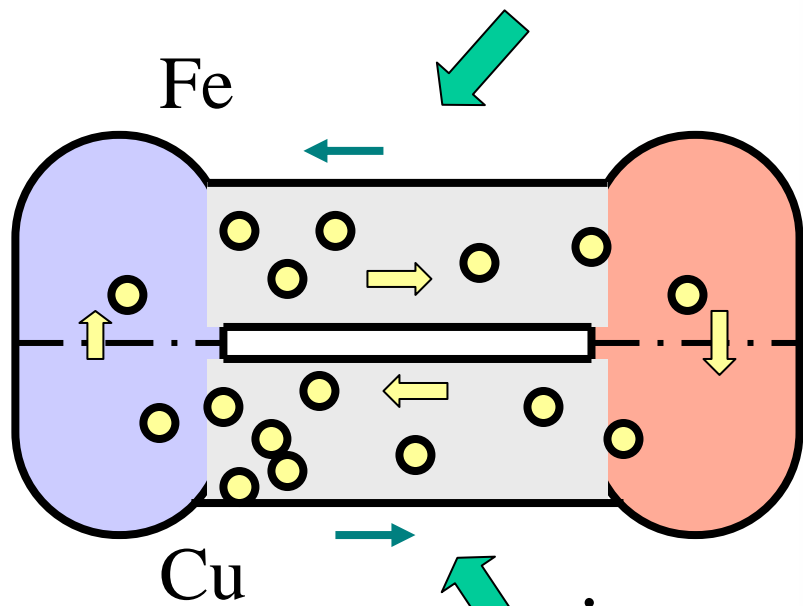
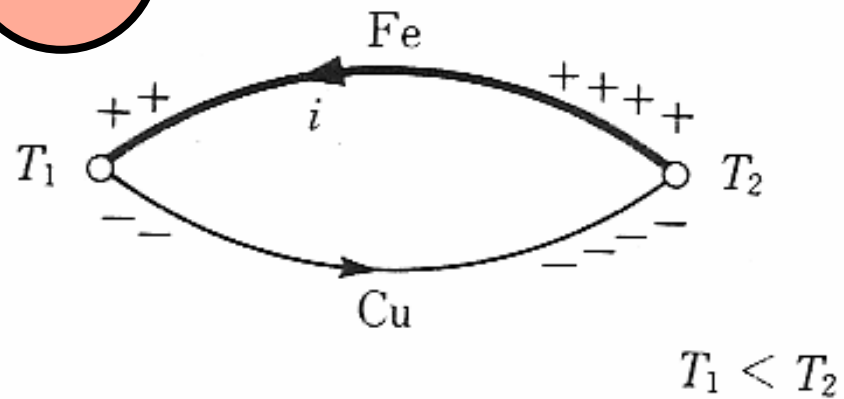
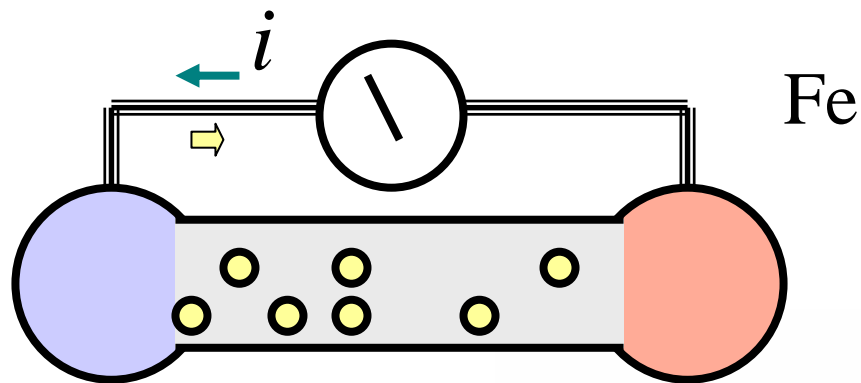
$\pi = \eta T, \quad \eta (= \partial V / \partial T)$: 熱電率

$$\sigma = d\pi/dT - \eta$$

$$V = a(t_2 - t_1) + b(t_2^2 - t_1^2)$$

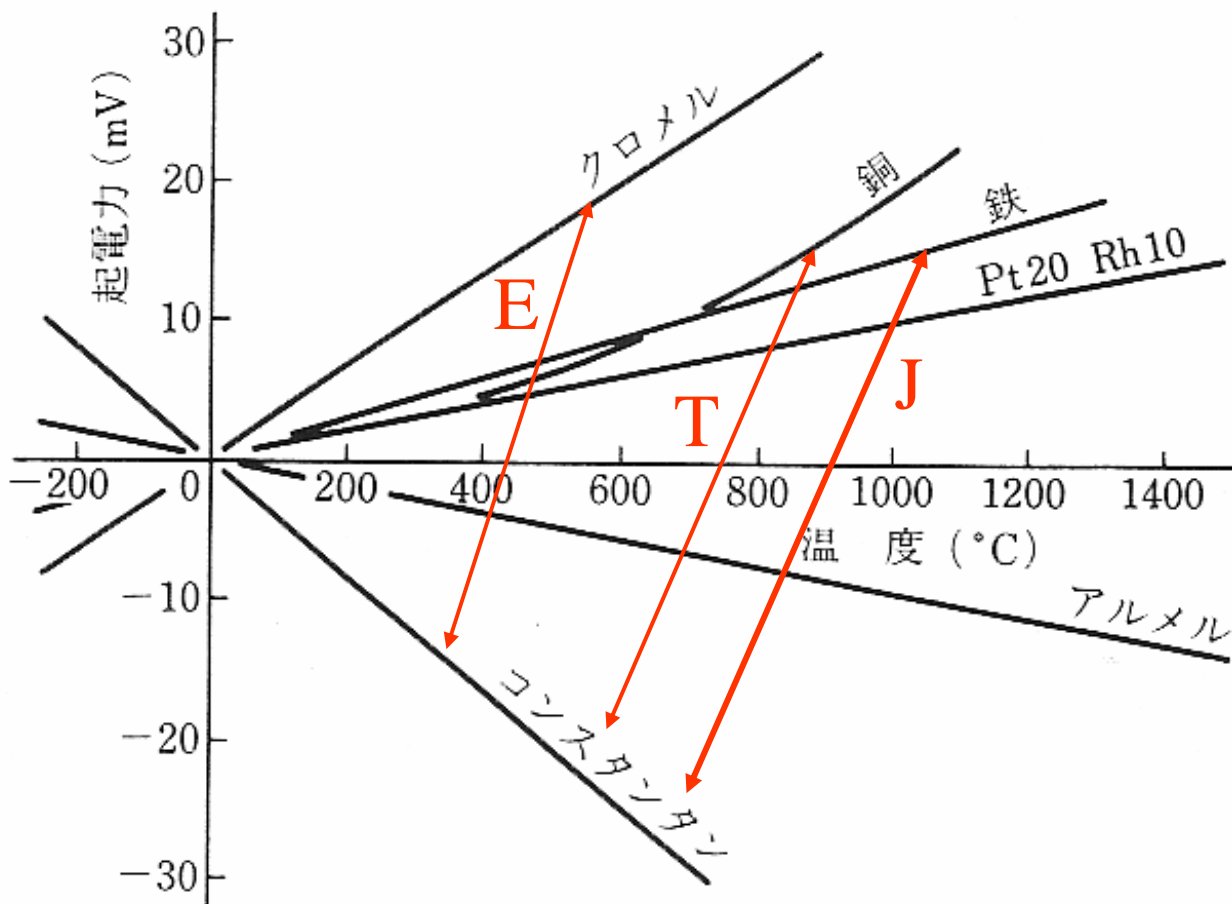
$t_2 = -2a/b$ で起電力は極大

熱電対



+, -
 T: 銅, コンスタantan
 J: 鉄, コンスタantan
 E: クロメル, コンスタantan

+, -
 K, N: クロメル, ニッケル
 R, S: Pt x% Rh, Pt
 B : Pt x% Rh, Pt y% Rh



熱電対として金属対が具備すべき条件

- (1) 高い熱起電力, 温度－熱起電力特性線形
- (2) 耐食性, 長時間使用しても変質汚染せず, 安定
- (3) 均質, 特性の再現性

(PR)白金ロジウム－白金 (PR-13, Pt87%, Rh13%) : 安定, 標準熱電対, 高温, 酸化性雰囲気, 熱電率小さい

(K)クロメル－アルメル: 高温, 温度－熱起電力特性線形, 精度, 互換性, 安価

(J)鉄－コンスタantan: 安価, 熱起電力, 中温用

(T)銅－コンスタantan: 低温, 均質, 安価

()タングステン－レニウム: 3000°C程度の高温

測定回路

