

CH.18電性質

$$\rho = \frac{VA}{Il}$$

Ohm's law

$$V = IR$$

另一表示式

$$J = \sigma \mathcal{E}$$

電場強度

$$\mathcal{E} = \frac{V}{l}$$

R受式樣影響與電流無關

resistivity

($\Omega \cdot m$)

$$\rho = \frac{RA}{l}$$

反比

electrical conductivity

($\Omega \cdot m$)⁻¹

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

金屬 $10^7 (\Omega \cdot m)^{-1}$

半導體 10^{-6} to $10^4 (\Omega \cdot m)^{-1}$

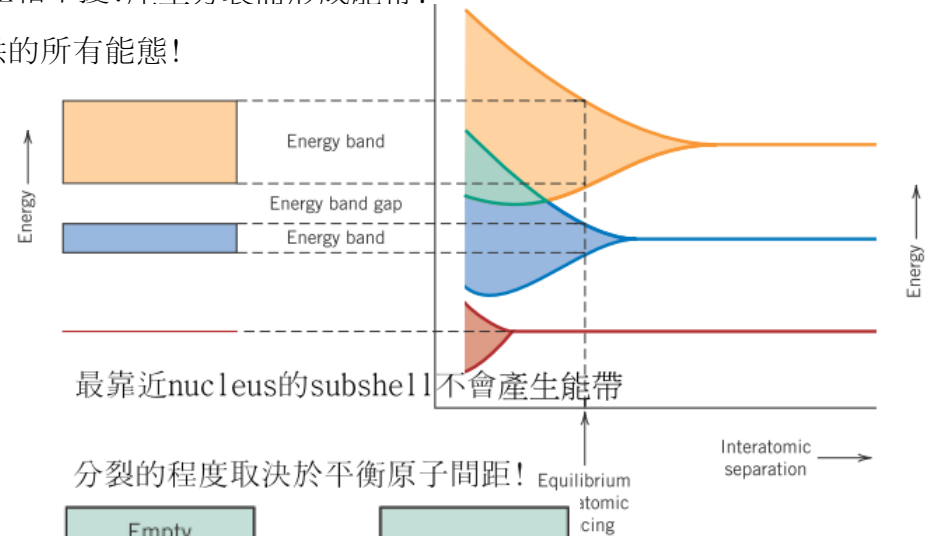
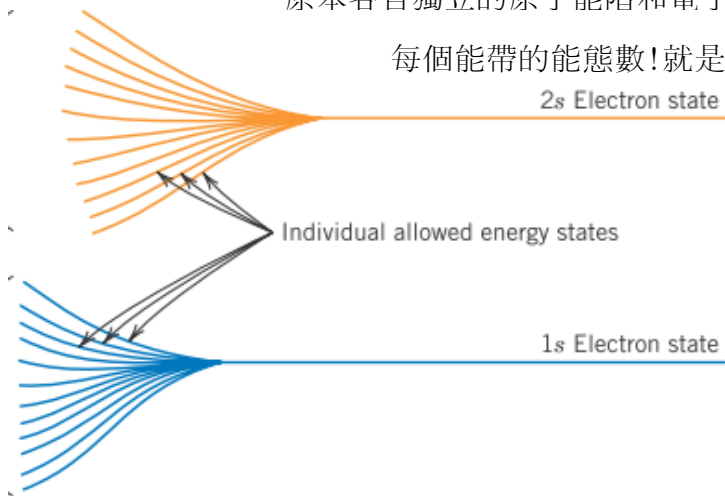
絕緣體 $10^{-10} \sim 10^{-20} (\Omega \cdot m)^{-1}$

-10~-20.-6~4.7

與式樣幾何無關.但與R成此關係式

固體中的能帶結構:可以想成一開始分離的N個原子.把他聚集並鍵結成規則原子排列於晶體材料
原本各自獨立的原子能階和電子組態.因而互相干擾.產生分裂而形成能帶.

每個能帶的能態數!就是N個原子提供的所有能態!

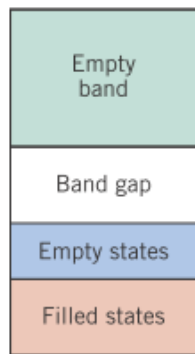


最靠近nucleus的subshell不會產生能帶

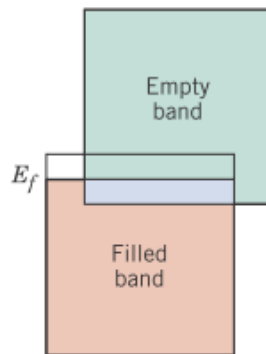
分裂的程度取決於平衡原子間距!

Fermi energy

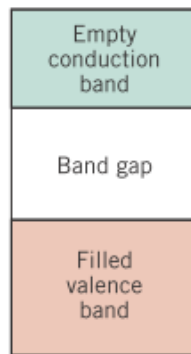
0K時.對應最高填滿狀態的能量



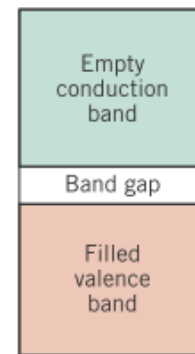
Cu. 4s半滿(未填滿)
無重疊



Mg. 固體形成時
3s和3p重疊



絕緣體
能帶大間隙>2eV



半導體
能帶間隙<2eV

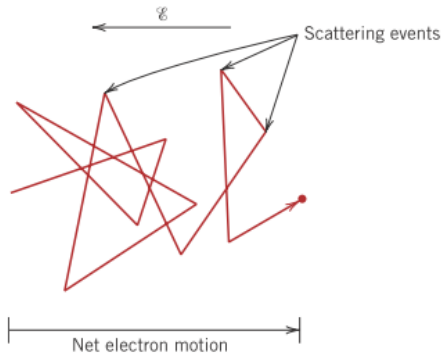
(0K)

自由電子:在電場作用下,能量大於廢米能量的才能作用和加速並參予導電過程

電洞:在半導體和絕緣體中,另一個帶電的entity,其能量低於廢米能量,也參予導電

導電性為自由電子和電洞數目的函數!

ELECTRON MOBILITY



依據量子力學,完美晶體內,加速電子和原子間無交互作用

然而實際上,有雜質,空孔,差排,插入原子,熱震動..導至散射使洞能損失和改變方向
所以電流不會無限制增加,而會達到一個定值

$$v_d = \mu_e \mathcal{E} \quad \text{飄移速率代表外加電場方向,電子的平均速率}$$

μ_e is called the electron mobility 是散射頻率的指標 ($\text{m}^2/\text{V-s}$)

$$\sigma = n|e|\mu_e \quad \text{注意}n\text{為單位體積的電子數目!!}$$

Matthiessen's rule

$$\rho_{\text{total}} = \rho_t + \rho_i + \rho_d \quad \text{電阻是源於不同的散射機構貢獻的總合}$$

熱 雜質 變形

$$\rho_t = \rho_0 + aT \quad \text{熱震動,空孔數目隨溫度增加 (線性)}$$

$$\rho_i = Ac_i(1 - c_i) \quad \text{雜質} \quad 50\% \text{電組最高,超過雜質會溶解}$$

商業應用

導電系數: $\text{Ag} > \text{Cu} > \text{Au} > \text{Al} > \text{Fe}$ 淫童精女舔

Oxygen-free high-conductivity copper (OFHC)

犧牲導電性提升機械性質-->固溶合金,冷加工,Cu-Be析出硬化

加熱元件:必須有高電阻且具高熔點->EX. Ni, Ni-Cr (常見加熱元件)

變形 差排數目增加

Cu VS Al

Cu:導電較高,熱膨較小

Al:導電較低,熱膨較大

半導體 本質半導體: 電性來自於純物質本身的結構
外值半導體: 來自於雜質原子

* 周期越小 band gap 越大

intrinsic

	Material	Band Gap (eV)	Electrical Conductivity $[(\Omega\cdot m)^{-1}]$	Electron concentration (n)
4	Si	1.11	4×10^{-4}	Elemental
	Ge	0.67		
3-5	GaP	2.25	—	III-V Compounds
	GaAs	1.42		
	InSb	0.17		
2-6	CdS	2.40	—	II-VI Compounds
	ZnTe	2.26		

形成化合物電負度差更多, 更離子化, 能隙增加

$$\sigma = n|e|\mu_e + p|e|\mu_h$$

μ_h is always less than μ_e for semiconductors.

電子貢獻總是較多!

$$\begin{aligned}\sigma &= n|e|(\mu_e + \mu_h) = p|e|(\mu_e + \mu_h) \\ &= n_i|e|(\mu_e + \mu_h)\end{aligned}$$

對本質半導體來說, 每個電子躍遷會產生一個電洞
所以單位體積 電子數目等於電洞數目

extrinsic

n-type

電子

4A+5A->有個位鍵結電子->易成為自由傳導電子(施體能態)
無對應的電洞產生!!(也有些會從本質價帶激發, 但很少)

$$\sigma \cong n|e|\mu_e$$

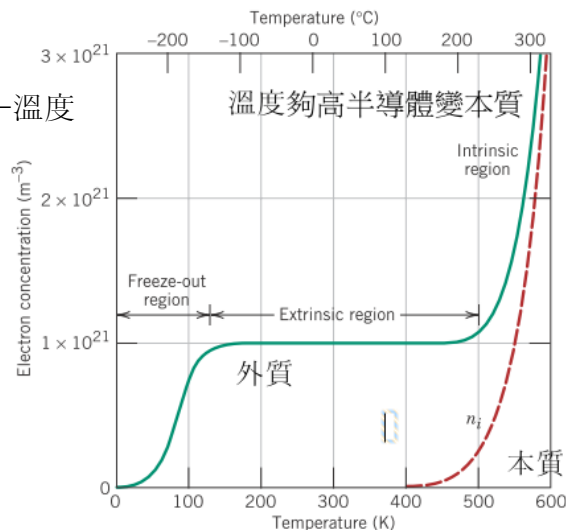
p-type

電洞

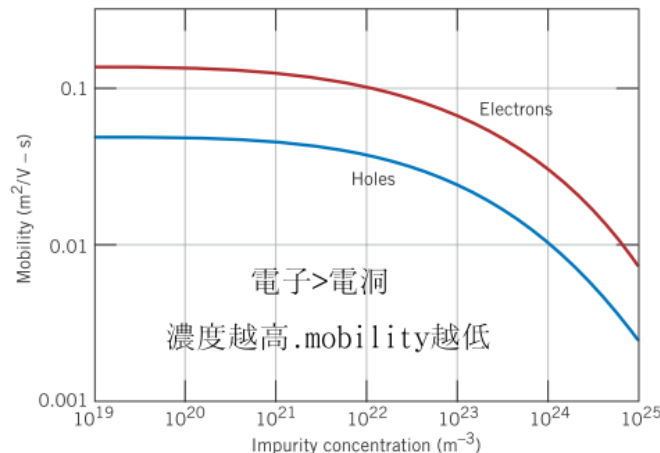
4A+3A->產生受體能態

$$\sigma \cong p|e|\mu_h$$

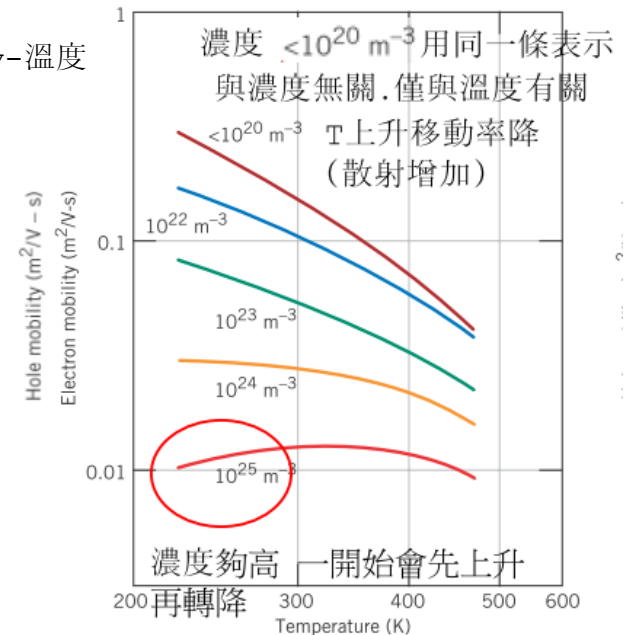
電子濃度-溫度



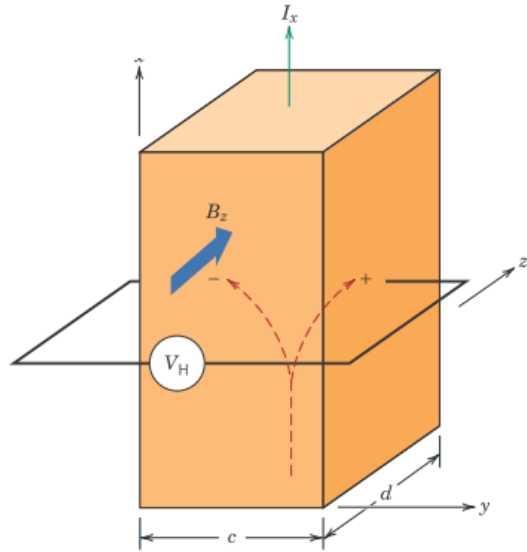
mobility-濃度



mobility-溫度



THE HALL EFFECT



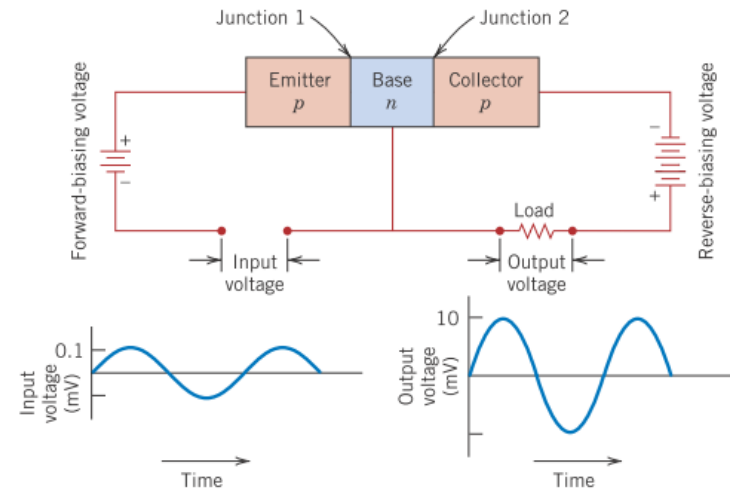
$$V_H = \frac{R_H I_x B_z}{d}$$

Hall coefficient, $R_H = \frac{1}{n|e|}$ 若為金屬, 導電靠電子為負值

$\mu_e = |R_H| \sigma$ 由導電度可推得mobility

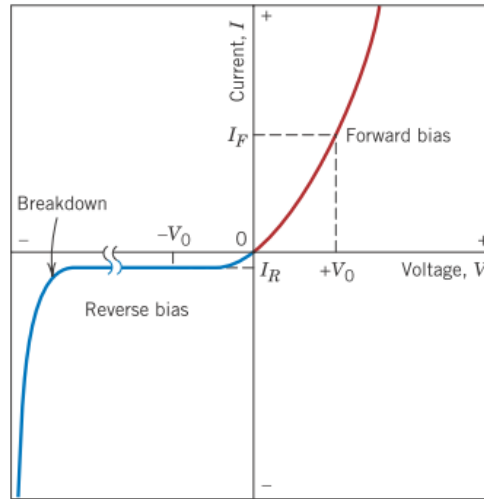
$$E = JB / nq$$

p-n-p: 過base進collector的是電洞
n-p-n: 電子



p-n Rectifying Junction

diode. 整流器. 需使用單晶



半導體裝置

Tranistors

triode. 放大訊號
開關元件. 處理. 儲存資訊

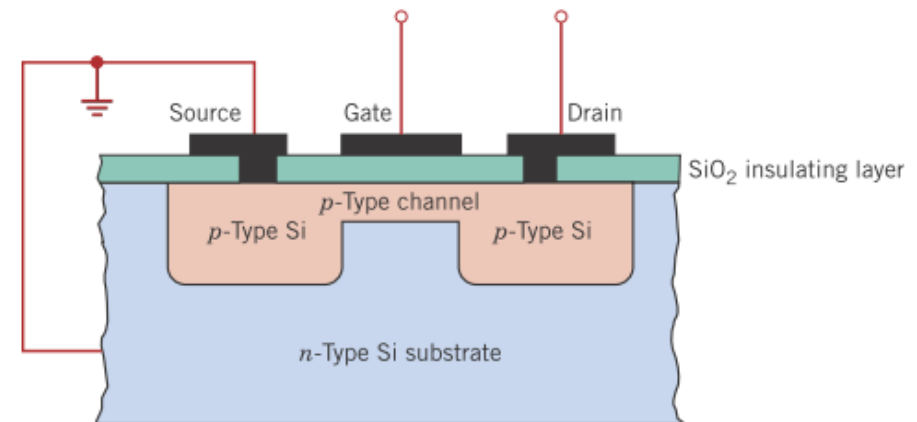
Junction Transistor

hole在emitter受偏壓推動. 過base進collector
大量電洞過接面2->放大

MOSFET

gate施電場使channel
的電洞離開. 導電下降

可用很低的電流得到相同的放大效果
(與Junction Transistor比較)



CONDUCTION IN IONIC MATERIALS

$$\sigma_{\text{total}} = \sigma_{\text{electronic}} + \sigma_{\text{ionic}}$$

電子&離子貢獻

$$\mu_I = \frac{n_I e D_I}{kT}$$

n_I and D_I represent, respectively, the valence and diffusion coefficient

大多數的離子材料是絕緣的. 即使在高溫.

Conducting Polymers

導電率到 $1.5 \times 10^7 (\Omega\text{-m})^{-1}$ 接近金屬(銅的四分之一)

有這種現象的高分子的共同特色: 有交替的單鍵和雙鍵. 或 aromatic unit

當高分子參雜 **AsF₅, SbF₅, or iodine** 等雜質會出現導電性

非等向性的高分子. 再取相化方向有最高的導電性

應用: 反靜電服裝. 高分子電極. 電磁遮蔽材料...

Dielectric Behavior 介電. 電絕緣體有或者可被製造出 electric dipole (分離的正負電荷實體)

Dielectric displacement (surface charge density)

$$D = \epsilon \mathcal{E}$$

其實只是符號跟習慣的不太一樣.
就是高斯. 注意 D 是電荷密度!

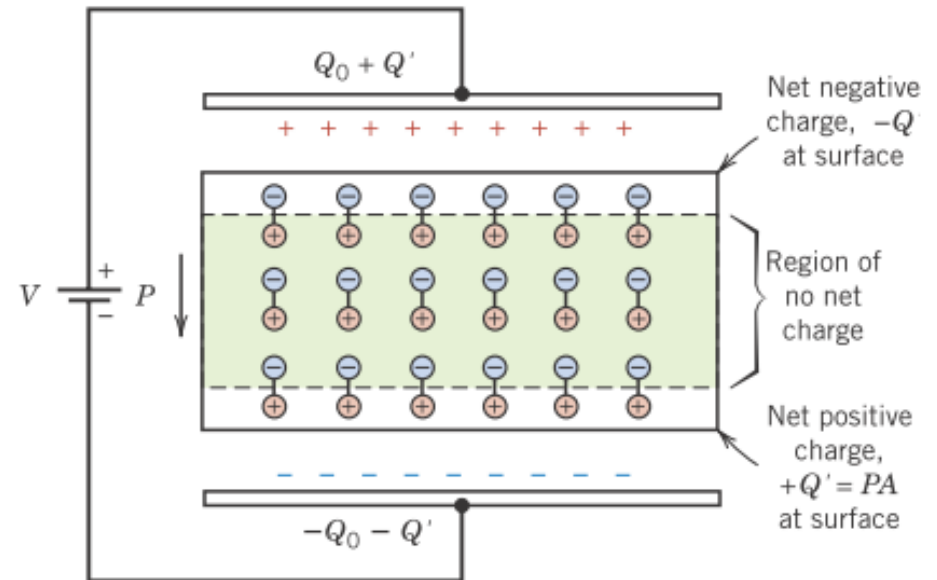
polarization

dipole alignment 的現象. 使電荷密度增加.
他的單位就跟電荷密度一樣!

$$D = \epsilon_0 \mathcal{E} + P$$

$$P = \epsilon_0 (\epsilon_r - 1) \mathcal{E}$$

P 與電場成正比



TYPES OF POLARIZATION

$$P = P_e + P_i + P_o$$

Electronic Polarization 負電荷電子雲相對nucleus的位移.出現在所有介電材料.但必須有電場才會出現

Ionic Polarization 出現在離子材料

Orientation Polarization 只出現在擁有永久dipole moment的材料.受電場時產生的旋轉
當溫度升高.會產生thermal vibration.會減少極化現象.

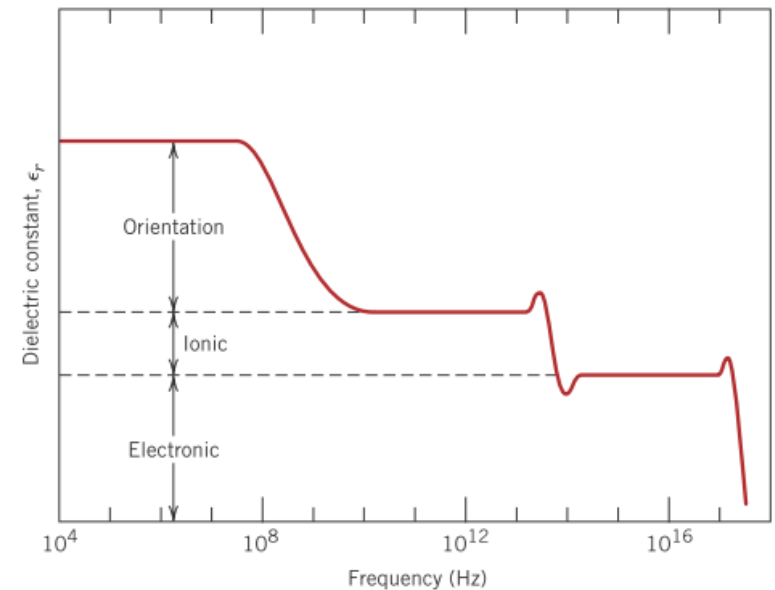
relaxation frequency 若電場一直轉換方向.轉到超越一個頻率(來的急轉向的最小時間).
則該dipole就無法對介電常數有所貢獻

dielectric loss 介電材料施加轉向電場.而吸收的電能

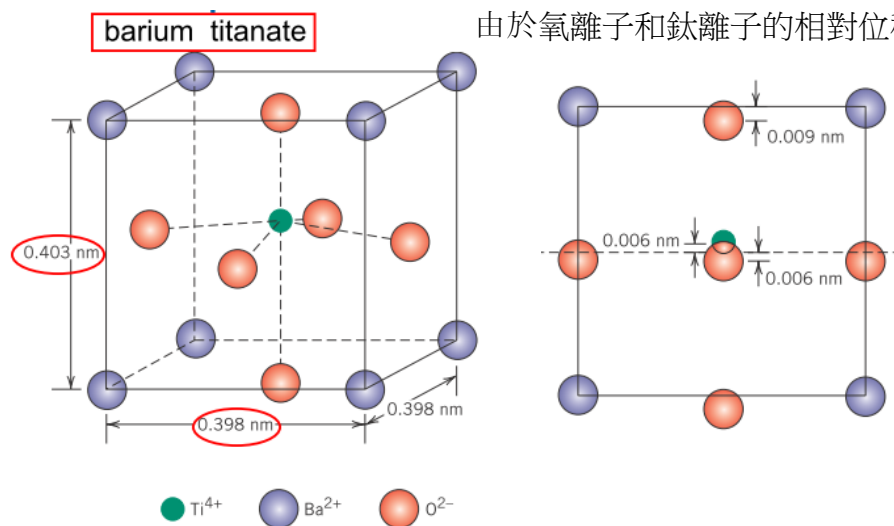
dielectric strength 當加很高的電壓.電子運動劇烈
進而產生熔化.燃燒.蒸發等等degradation

BaTiO_3 , TiO_2 有很高的介電常數

*通常陶瓷的介電常數比高分子高



FERROELECTRICITY 介電材料不需施電場. 就可以自發極化-->有永久electric dipole



由於氧離子和鈦離子的相對位移. 產生永久electric dipole

然而若加熱加到超過120度C
(ferroelectric Curie temperature)
換主轉變成cubic的perovskite crystal structure
此時鐵電性消失

其他有鐵電性的材料 Rochelle salt ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4), potassium niobate (KNbO_3), and lead zirconate-titanate ($\text{Pb}[\text{ZrO}_3, \text{TiO}_3]$). Ferro-

PIEZOELECTRICITY 用在 transducers. 電能和機械應變的相互轉換

Piezoelectric materials include titanates of barium and lead, lead zirconate (PbZrO_3), ammonium dihydrogen phosphate ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), and quartz. This property is characteristic of materials having complicated crystal structures with a low degree of symmetry. The piezoelectric behavior of a polycrystalline specimen may be improved by heating above its Curie temperature and then cooling to room temperature in a strong electric field.