

## ◆ 一、壓電介紹

- 1、歷史
- 2、基本電學「電荷、電場、電位移、極化」
- 3、壓電效應「正壓電效應、逆壓電效應」
- 4、電致伸縮

## ◆ 二、壓電材料

- 1、異向性材料
- 2、中心對稱
- 3、晶系
- 4、石英 ( $\text{SiO}_2$ )
- 5、陶瓷 (PZT、BT、PT)
- 6、塑膠 (PVDF)

## ◆ 三、壓電理論

- 1、純力學
- 2、純電學
- 3、機電耦合
- 4、機電耦合係數
- 5、機械品質因素

## ◆ 四、壓電應用

- 1、蜂鳴器
- 2、點火器
- 3、超音波探頭
- 4、表面聲波原件
- 5、壓電馬達

# 【Ch1-壓電介紹】

## ◆ 壓電歷史

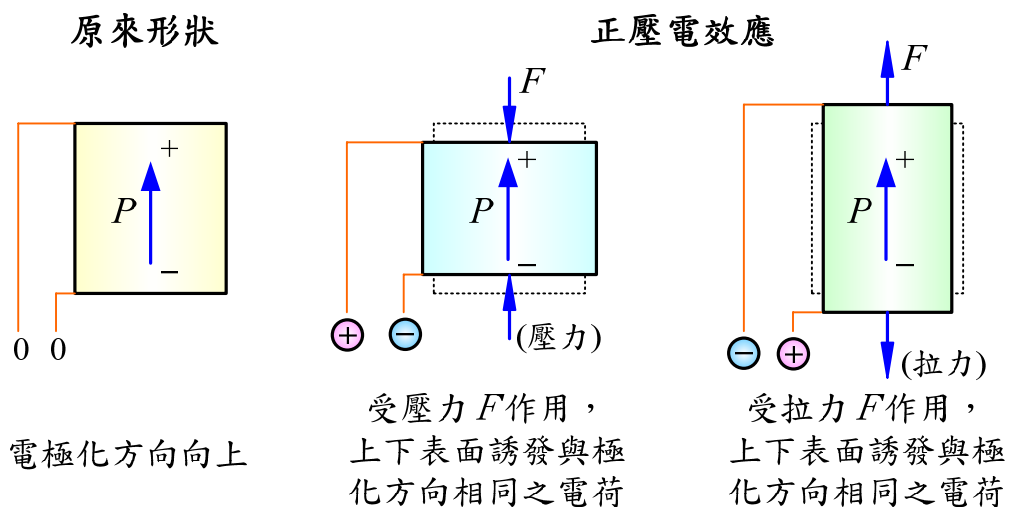
電氣石(tourmaline，來自梵文的turamali，意思為「混合寶石」)的化學式為 $\text{NaR}_3\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4$ ，在珠寶行業中被譯名為碧璽，其常在同一晶體上顯現多種顏色，是其主要特色。相傳在西元1703年，荷蘭的阿姆斯特丹有幾個小孩玩著荷蘭航海者帶回的石頭，發現這些石頭除了在陽光底下出現的奇異色彩外，更驚訝這些石頭有一種能吸引或排斥輕物體如灰塵或草屑的力量，因此，荷蘭人把他叫做「吸灰石」。



電氣石由於具有熱電性(溫度變化使得晶體的兩端產生不同電性的電荷)及壓電性(當施應力於晶體時，亦可感應出電荷)，容易因靜電效應而帶電，因而得名。十七世紀時巴西向歐洲輸出深綠色的長柱狀碧璽，稱為「巴西祖母綠」；但是它有一項祖母綠沒有的特質：熱電性質。十八世紀以前，人們把電氣石與祖母綠相混，事實上兩者是不一樣的東西。

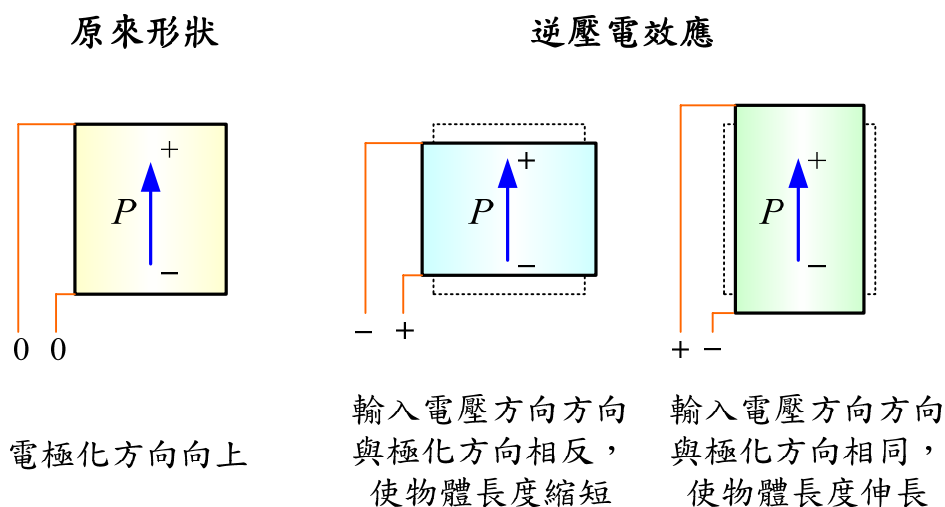
## ◎ 正壓電效應(Direct Piezoelectric Effect)-1880年

Pierre Curie & Jacques Curie(居里兄弟)在1880年發現對電氣石施加機械應力，可在電氣石表面得到電荷，如下圖。此效應稱之為正壓電效應。



## ◎逆壓電效應(Converse Piezoelectric Effect)-1881年

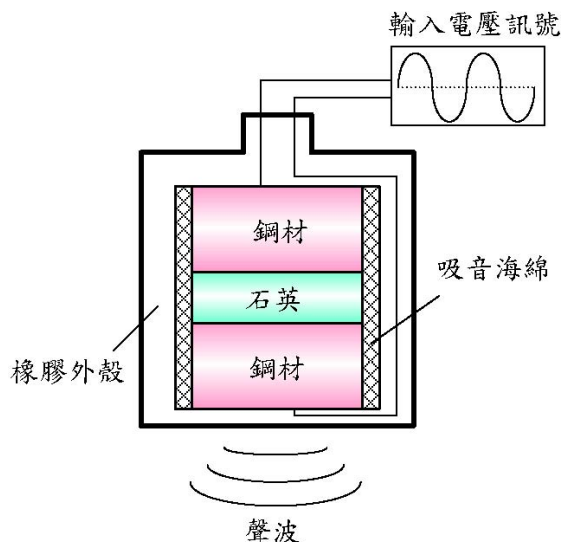
居里兄弟利用李普曼(M.G. Lippmann)的熱力學理論證實了壓電性的逆效應存在，即外加電壓於電氣石，則電氣石產生機械變形，如下圖所示。



根據居里兄弟的實驗結果，具有壓電性的材料有閃新礦(zinc blende)、納氯酸鹽(sodium chlorate)、電氣石(tourmaline)、石英(quartz)、酒石酸(tartaric acid)、蔗糖(cane sugar)、方硼石(boracite)，異極礦(calamine)、黃晶(topaz)及若歇爾鹽(Rochelle salt)。研究發現，這些晶體都具有異向性(anisotropic)結構，而對於等向性(isotropic)結構材料是不會產生壓電性。

## ◎壓電應用-1917年

在居里兄弟發現壓電性後的幾十年，壓電效應沒有受到任何重視，連居里兄弟本身也是拿來測量鐳元素所輻射出的電荷而已。到了第一次世界大戰，盟軍軍艦受到德國潛艇的攻擊大量受損，因為電磁波無法有效穿透海水而聲波容易在海裡傳播，因此法國科學家朗哲文(Langevin)利用石英和鋼材作為聲波產生器。可惜等有了好結果，大戰已經接近尾聲而來不及用上了。其構造如圖所示，其原理為：石英兩面各貼一片鋼片，外加電脈波訊號，則經換能器轉換成生波傳至海底，經過一段時間後，換能器能接收由海底反射之回波，由來回時間以及波在海中行進的速度，可決定換能器到目標物的距離。



### ◎最早被使用的壓(鐵)電陶瓷-1947年

MIT的Von Hippel以及蘇俄的科學家Vul以及Goldman分別發現BaTiO<sub>3</sub>陶瓷材料。

### ◎性能優越的壓電陶瓷(PZT)-1955年

Jaffe等人發現鋇鈦酸鉛(PZT)固溶液材料所具有的優良壓電特性後，PZT即被廣泛的應用在各種壓電裝置， $PZT = PbTiO_3 + PbZrO_3$ 。

### ◎壓電聚合物(PVDF)-1969年

Kawai發現聚偏氟乙烯薄膜製程的駐極體具有優良的壓電性後，聚合物駐極體的研究和應用迅速發展起來。

Q：壓電效應為1880年居里夫人所發現。

Q：壓電原理的第一次應用是超音波探測器，目的為探測德國潛艇之用。

# 基本電學

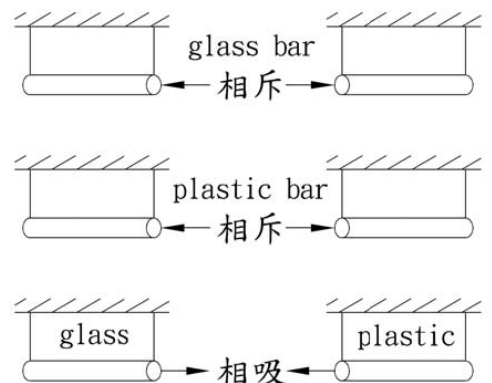
## 電的起源

- ◎古希臘人摩擦琥珀時，意外發現摩擦後的琥珀可以吸住小東西如穀物、稻草等。
- ◎1540年Gilbert把絲絹摩擦玻璃棒，玻璃棒吸引小紙片，此現象跟古希臘時代把琥珀摩擦吸引小碎片之現象相同，因此玻璃棒稱被琥珀化(amber)，希臘文amber翻譯成英文electrified，即玻璃棒被電化。



## Dufay實驗(1733年)

- ◎二根經絲絹摩擦後之玻璃棒擺在一起，產生相斥作用如圖上。
- ◎二根經毛皮摩擦後之塑膠棒擺在一起，產生相斥作用如圖中。
- ◎將絲絹摩擦後之玻璃棒和毛皮摩擦後之塑膠棒擺在一起則產生相吸作用如圖下。



所以為了解釋這兩種現象，需要兩種不同的電性。因此Dufay把這兩種電性稱為似玻璃性(vitreous electricity)與似琥珀性(resinous electricity)。

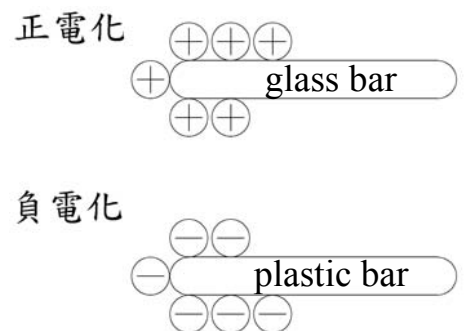
## Franklin的定義(1752年)

### ◎絲絹摩擦玻璃棒

電性是正電化(positively electrified)

### ◎毛皮摩擦塑膠棒

電性是負電化(negatively electrified)

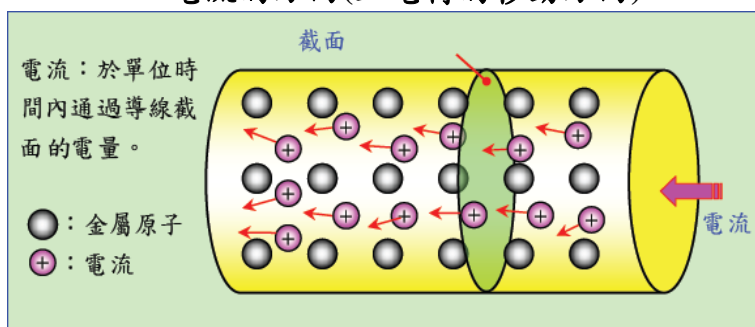


富蘭克林發現此兩種電性可以互相抵銷。

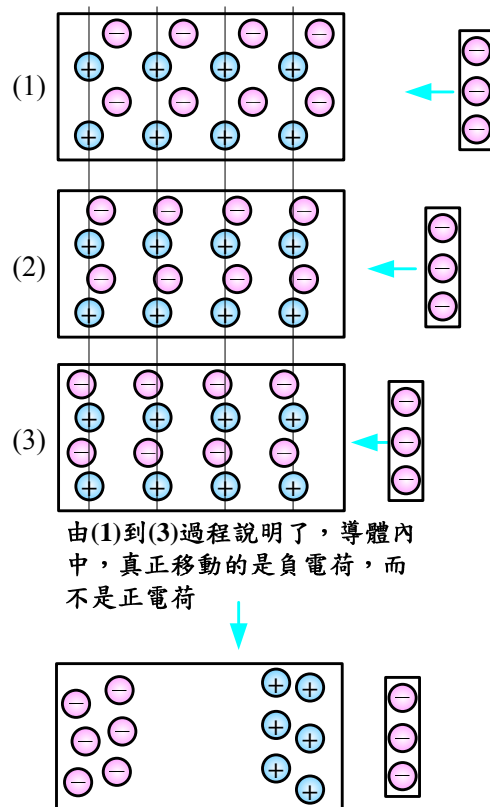
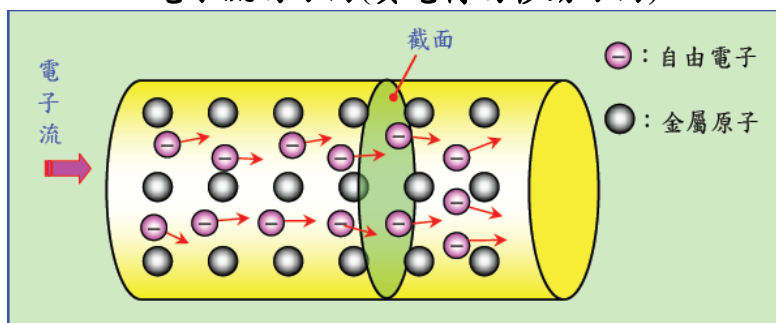
## ◆電荷 (electric charge)

- ◎物體之電化性質稱為電荷(charge意味著賦予電性)。我們常將「帶電體基本粒子」稱為電荷，但電荷本身並非「粒子」，只是我們常將它想像成粒子以方便描述。
- ◎因此我們可以說，絲絹摩擦後的玻璃棒帶正電荷，毛皮摩擦後塑膠棒帶負電荷。
- ◎電荷的符號用「 $q$  或  $Q$ 」，電荷的多寡即電量。
- ◎電子：電荷之載具。
- ◎Franklin發現閃電與摩擦起電是相似的過程，並將正電荷移動的方向稱為電流方向(當初以為物體會導電是帶正電的粒子在移動，與我們今天所知道帶負電的電子更易流動的觀念恰好相反)。

電流的方向(正電荷的移動方向)



電子流的方向(負電荷的移動方向)



某些物質容易傳遞這兩種電性，我們稱為導體(conductors)。某些物質，這些電性不容易移動，這類物質稱為絕緣體(insulators)，絕緣體又稱為極性物質(dielectrics)。

## ◇電中性

◎物體本身帶正電荷量 = 負電荷量  $\Rightarrow$  不帶電

分子：以物理方法分割，未改變原有物質特性之最小微粒。

ex：水分子 $H_2O$

原子：以化學方式分解，失去原有物質特性之最小微粒。

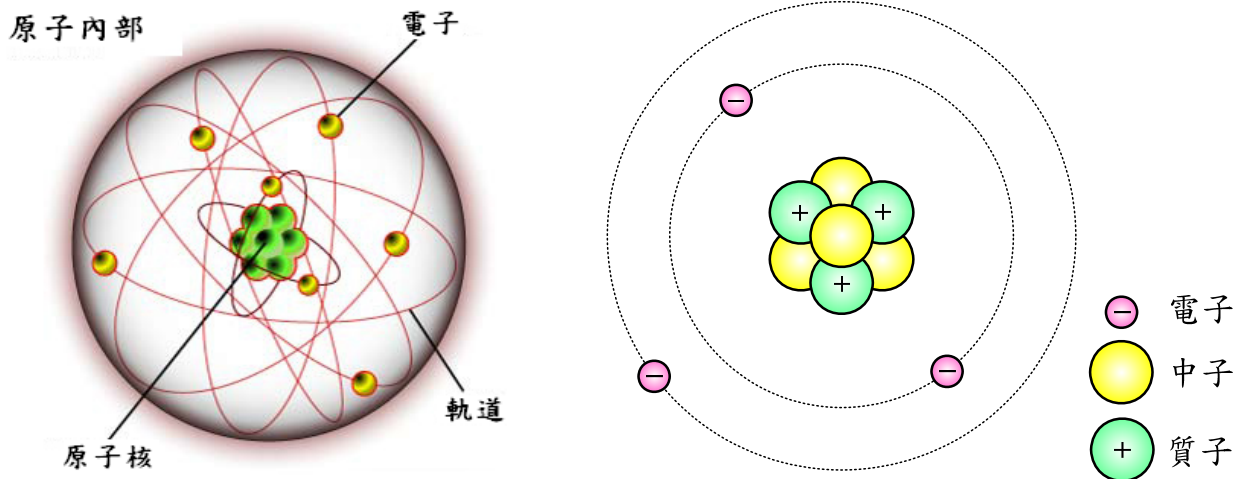
ex：鈉原子Na，氫原子H

離子：帶電荷之原子

ex： $NaCl(\text{分子}) = Na^+(\text{鈉離子}) + Cl^-(\text{氯離子})$

因此原子跟分子皆為電中性的粒子。

## ◎原子



原子的直徑約為一億分之一公分，內部還可發現它是由中子、質子及電子等三種更小的粒子組成，其中電子帶負電，質子帶正電，中子則不帶電。而這些粒子的數目因原子種類的不同而有異，如氫原子中只有1個質子及1個電子，而氧原子卻由8個中子，8個質子及8個電子所組成。

中子與質子會緊密結合形成原子核(中子與質子靠核力結合在一起)，電子則循著固定的軌道繞著原子核旋轉，原子的直徑即是最外層電子軌道的直徑，而原子核的直徑約為原子直徑的萬分之一。

原子核周圍的電子是很規則地在一層層的軌道繞行，外層電子因為受到原子核的束縛力較小，容易受外力激發脫離軌道如受到其他電子撞擊，或受電場的吸引，而成為自由電子，且依不同物質而有不同的能力。因此一個物質之所以帶電，就是此物質失去電子或者獲得電子之結果。

## ◆電荷之單位

◎1庫倫(C) = 1安培電流在1秒內輸運的電量，庫倫為導出單位。

Ex：一次閃電所帶電量約 $q = 20 \text{ C}$

Millikan(1868)由油滴實驗發現物體所帶電(荷)量為一個電子所帶電量之整數倍，且一電子的帶電量 $1 e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。

$q = ne$ ； $q$ ：電荷量， $n$ ：電荷量子數，為整數， $e$ ：一個電子之電量。

Ex：物體之電量  $q = 50 e$

## ◆物體依導電性分類

能夠讓電流通過的材料，導體依其導電性還能夠細分為超導體、導體、半導體及絕緣體。在科學及工程上常用利用歐姆來定義某一材料的導電程度。當電流在導體內流過時，事實上是因為導體內的自由電荷(在金屬中的自由電荷是電子，而在溶液中的自由電荷則為陽、陰離子)產生漂移而造成的，根據材料的不同，自由電荷的漂移方式也不相同。

在超導體中，電子幾乎不受原子核的干擾而能夠快速移動(原子核帶正電，會對移動的電子造成阻礙)；而在導體內電子的移動受限於該材料所造成的電子海的能階大小(原子核的阻礙小，易導電，阻礙大則不易導電)；而在半導體內，電子能夠移動是因為電子-空穴效應；而絕緣體則是電子受限於分子所構成的共價鍵，使得電子要脫離原子是一件非常困難的事。因此沒有絕對絕緣的絕緣體，只要有足夠大的能量(例如高壓電)就可以使電子得以通過某絕緣體。而在溶液中的電子流動是因為離子游動而造成的，能夠讓電流通過的溶液稱為電解質溶液。

Q：某一物質含有15個質子，14個電子與6個中子，則該物質

(A)帶正電 (B)呈電中性 (C)帶負電 (D)為非導體 (E)以上皆非

Q：氧離子我們寫成 $\text{O}^{2-}$ ，表示此氧原子

(A)失去二個質子 (B)失去二個電子 (C)獲得二個電子 (D)獲得二個質子 (E)獲得二個中子為非導體。



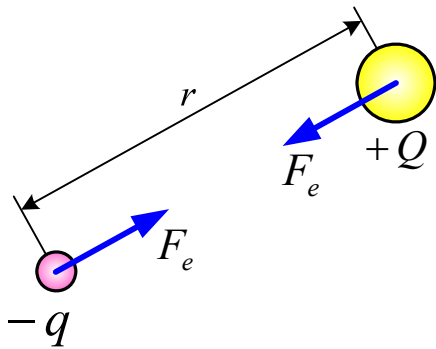
### ◆接觸力和超距力

◎力：一物體對另一物體之"作用"。

◎接觸力：經由接觸才可產生之"作用"。

◎超距力：不經由接觸才可產生之"作用"，如靜電力、磁力與重力。

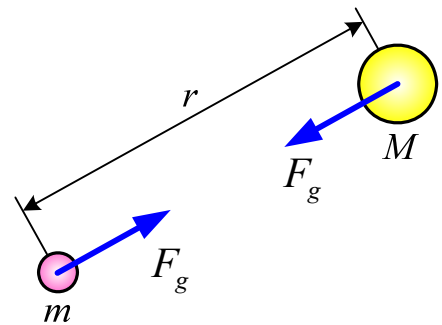
### ◆庫倫定律(1791年)與牛頓萬有引力定律(1687年)



$$\mathbf{F}_e = K \frac{qQ}{r^2} = q\mathbf{E}$$

$$E = K \frac{Q}{r^2} \text{ (電場)}$$

$$K = 8.9876 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$



$$\mathbf{F}_g = G \frac{mM}{r^2} = m\mathbf{g}$$

$$g = G \frac{M}{r^2} \text{ (重力場)}$$

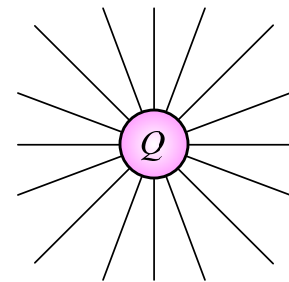
$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

### ◆場之觀念(1831年，法拉第提出電場與磁場的觀念)

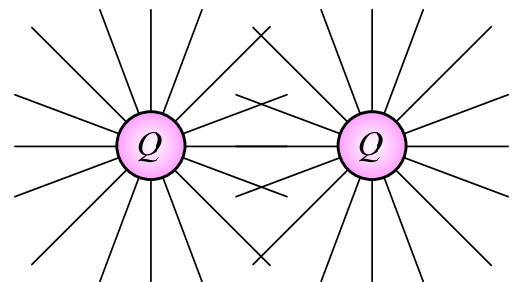
二個帶電物質無接觸，然而當兩個場有交互作用時即可生出力。

電場：電力(線)所構成(分佈)的空間即為電場。

重力場：重力所構成(分佈)的空間即為電場。



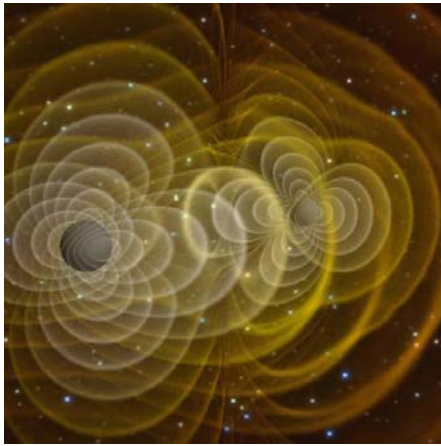
想像帶電體 Q 散發一種物質，稱為"電場"



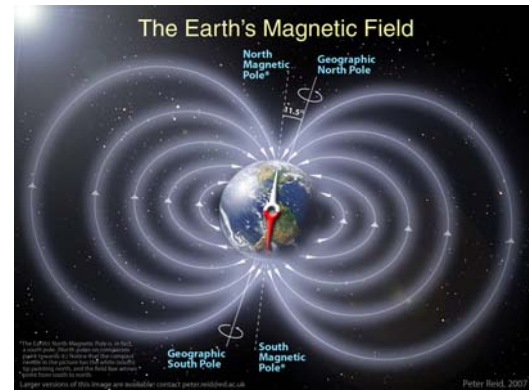
當兩個帶電體的"電場"有交互作用時，則會產生"靜電力"

靜電力	磁力	重力
<p>同號相斥，異號相吸</p>	<p>同極相斥，異極相吸</p>	<p>永遠相吸</p>
<p>物體可以全部帶正電或帶負電荷，因此可以存在點電荷。</p>	<p>物體的磁極一定兩端N、S極共存，因此不可能存在點磁極。</p>	<p>質量恆為正，因此點質量可以存在。</p>
<p>靜電力</p> $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2}$	<p>磁力</p> $F = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{pP}{r^2}$	<p>萬有引力</p> $F = G \frac{mM}{r^2}$

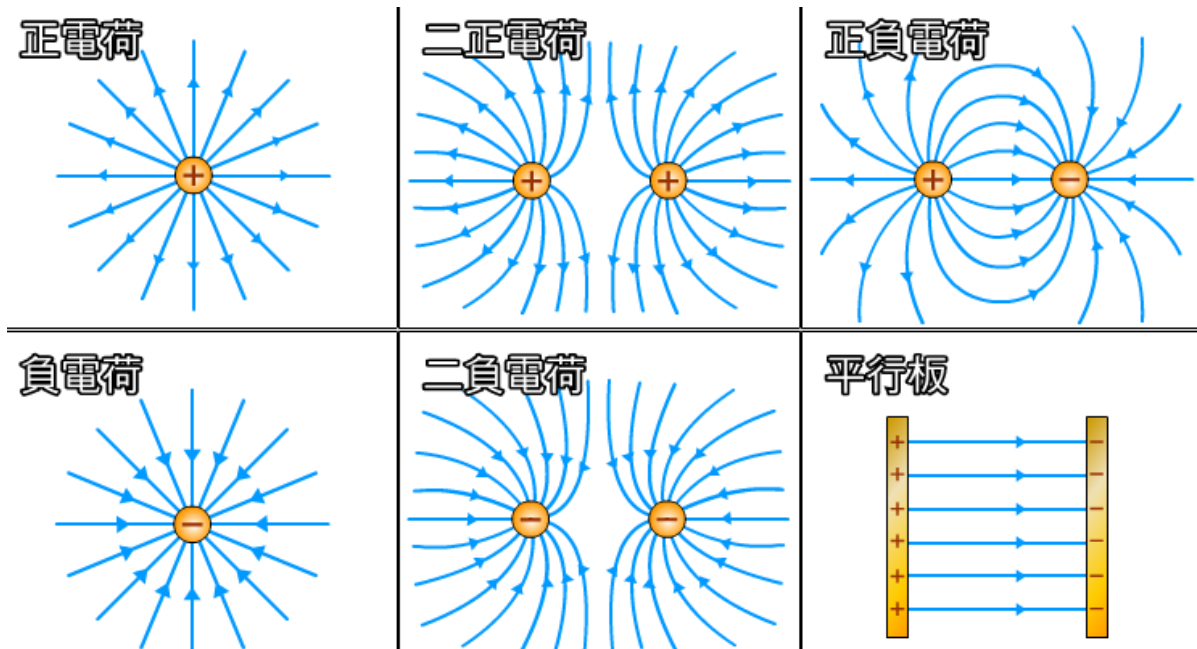
重力場(波)：



磁場(磁力線)：



電力(場)線：



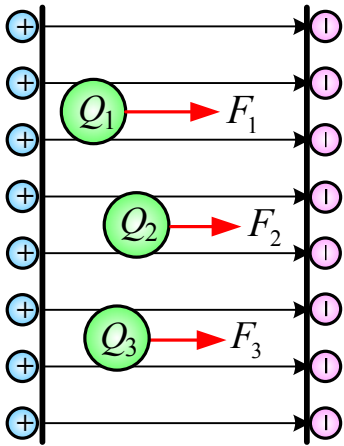
Q：空間有A、B、C三質點，設C帶負電荷，而A與B相互吸引，C與B互相排斥，則A質點帶正電荷。

Q：兩帶電質點間距離減半時，則其間之作用力 (A)加倍 (B)減半 (C)變成4倍 (D)為原來的1/4倍 (E)不變。

Q：在平行電極板中，帶電質點與電極板間距離減半時，則其間之作用力 (A)加倍 (B)減半 (C)變成4倍 (D)為原來的1/4倍 (E)不變。

## ◆ 平行電板之電場

◎ 電場方向一定是正電荷指向負電荷。



根據實驗，在同一電場中放入不同帶電量的正電荷  $Q_1$ 、 $Q_2$  與  $Q_3$ ，則每個電荷所感受到的靜電力  $F_1$ 、 $F_2$  與  $F_3$  有下列的關係：

$$\frac{F_1}{q_1} = \frac{F_2}{q_2} = \frac{F_3}{q_3} = \text{常數} = E$$

因此可以得到  $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$

這與庫倫定律所得到的靜電力公式的形式相同，即

$$\mathbf{F} = K \frac{qQ}{r^2} = q\mathbf{E}, \text{ 其中 } E = K \frac{Q}{r^2}$$

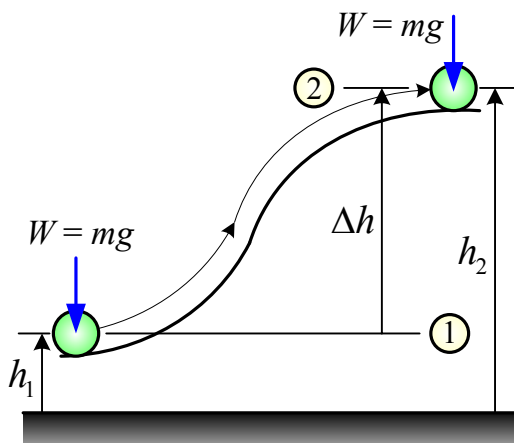
Q：將一電子放在上圖的平行電極板內，則此電子將向右運動。

Q：將一質子放在上圖的平行電極板內，則此質子將向右運動。

Q：將一中子放在上圖的平行電極板內，則此中子將向右運動。

Q：一電量為  $0.3 \times 10^{-3}\text{C}$  的電荷，置於電場中某點所受的作用力為  $0.6\text{N}$ ，則該點的電場強度為  
20 (B) 2000 (C) 1800 (D) 500 (E) 200 N/C。

◎重力位能 ( $V_g$ )



質量為  $m$  的物體由 ① 運動到 ②  
重力所作的功為

$$U_{12} = -mg\Delta h = -mg(h_2 - h_1)$$

引進一勢能(位能)函數  $V_g$ ，並令

$$V_g = mgh$$

所以在位置①與位置②的重力位能分別為

$$(V_g)_1 = mgh_1, \quad (V_g)_2 = mgh_2$$

因此重力所作之功與位能函數的關係如下

$$U_{12} = -mg(h_2 - h_1) = -((V_g)_2 - (V_g)_1) = -\Delta V_g$$

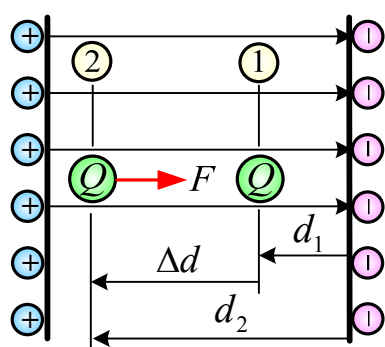
重力位能： $V_g = mgh$ ，物體在高度  $h$  具有的能量。

$\mathbf{F}_g$	=	$m$	$\mathbf{g}$
重力場力		質量	重力場
⇕		⇕	⇕
電場力		電荷量	電場
$\mathbf{F}_e$	=	$q$	$\mathbf{E}$

$U_g$	=	$m$	$g$	$-\Delta h$
重力的功		質量	重力場	沿重力場方向的位移
⇕		⇕	⇕	⇕
電場力的功		電荷量	電場	沿電場方向的位移
$U_e$	=	$q$	$E$	$-\Delta d$

$V_g$	=	$m$	$g$	$h$
重力位能		質量	重力場	距離基準面高度
⇕		⇕	⇕	⇕
電位能		電荷量	電場	距離基準面位置
$V_e$	=	$q$	$E$	$d$

## ◆ 電壓(位) (Voltage)



電量為 $Q$ 的物體由 ① 運動到 ②

靜電力 $F$ 對電荷 $Q$ 所做的功為

$$U_{12} = -F\Delta d = -QE\Delta d = -QE(d_2 - d_1)$$

引進一電勢能(電位能)函數 $V$ ，並定義 $V$ 為單位電荷所做之功，即

$$V = \frac{U_{12}}{Q} = Ed$$

所以在位置①與位置②的電位能(電壓)分別為

$$V_1 = Ed_1, \quad V_2 = Ed_2$$

因此靜電力所作之功與電壓的關係如下

$$U_{12} = -qE(d_2 - d_1) = -q(V_2 - V_1)$$

所以

$$E = \frac{\Delta V}{\Delta d} = \frac{V_2 - V_1}{\Delta d}$$

**電壓**：單位電荷所作的功。

**電位**：單位電荷在某位置具有的**電位能**，如位置①與②其電位為 $V_1$ 與 $V_2$ 。

**電位差**：任兩點電位的差值，即 $\Delta V = V_2 - V_1$ 。

**電壓就是電位差。**

然而電壓這個名詞通常是指電源所能提供的電壓，例如去買電池的時候，我們會說：我要買電壓6伏特的電池，而不會說：我要買電位差6伏特的電池。反過來說，我們會想求某電阻器兩端的電位差，但是不會說：要求電阻器的電壓。

Q：一帶有3庫倫之電荷，由a點移至b點，所作之功為12焦耳，則a、b兩點之電位差為

(A)12 (B)0.25 (C)4 (D)36 (E)3 伏特。

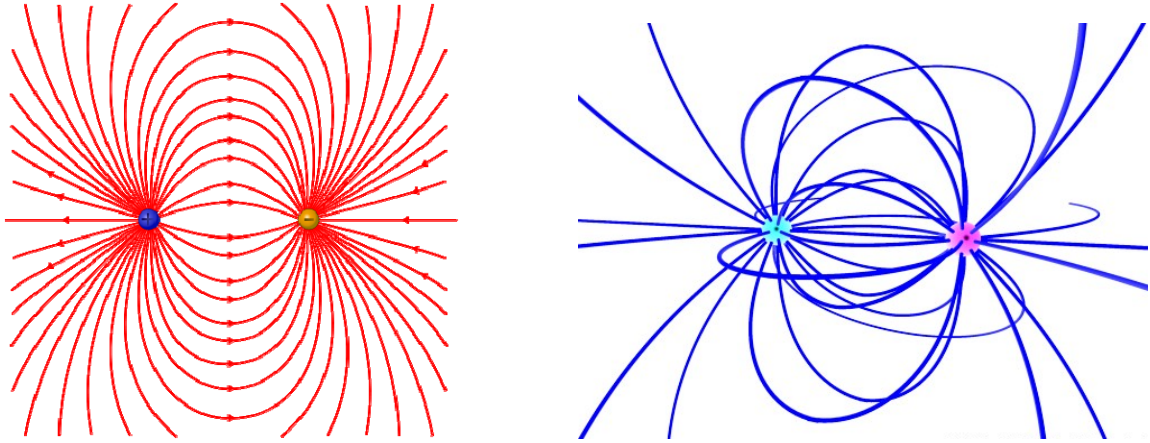
Q：一平行金屬板之板距為0.2cm，電位差為20V，則其電場強度為

(A)4000 (B)10,000 (C)1,000 (D)100 (E)0.01 V/m。

◆ 電偶極 (electric dipole)

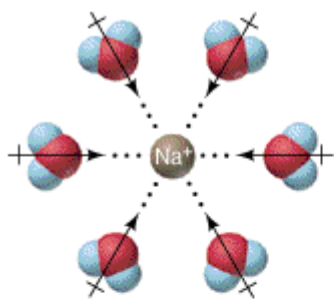
◎ 定義：一對等大異號且相距一距離之電荷。  $\mathbf{P} = q\mathbf{d}$  (方向從  $-q$  指向  $+q$ )

◎ 力偶：一對等大反向且相距一距離之力。  $M = Fd$

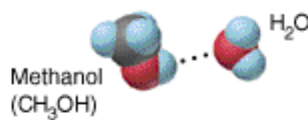


電偶極的電力線

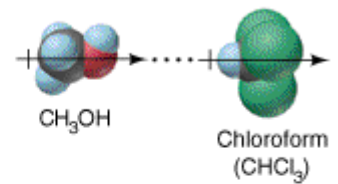
Q：若有一對等大異號的電荷，若兩電荷相距  $r$  時，其電偶極的大小為  $P$ ，現在讓兩電荷相距  $2r$ ，此時所得到的電偶極大小為 (A)  $4P$  (B)  $2P$  (C)  $P$  (D)  $P/2$  (E)  $P/4$



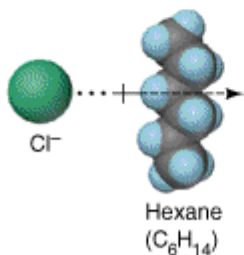
Ion-dipole



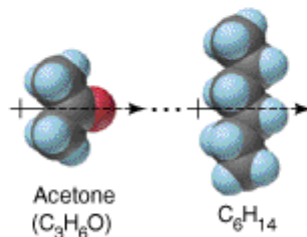
H bond



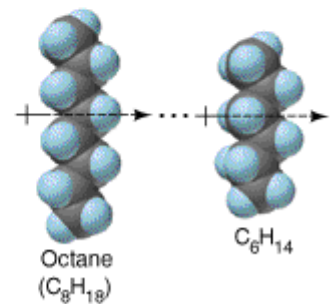
Dipole-dipole



Ion-induced dipole



Dipole-induced dipole



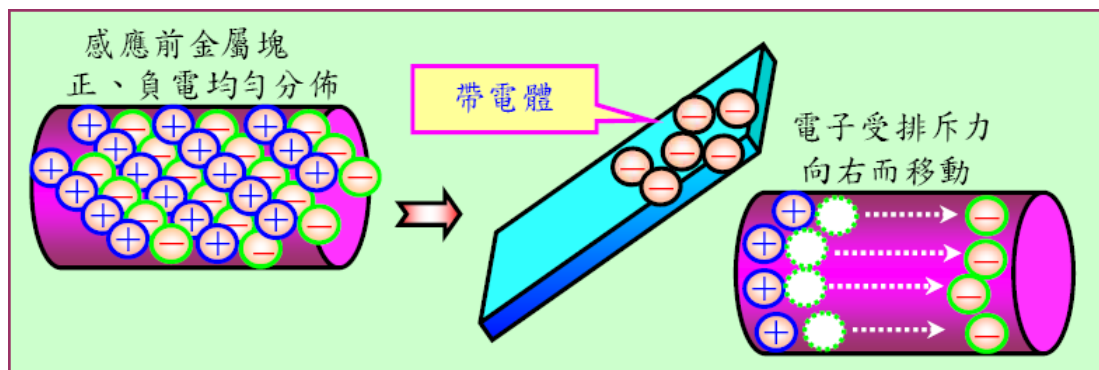
Dispersion

## ◆極化和感應

◎極化：絕緣體正、負電荷分離之現象。

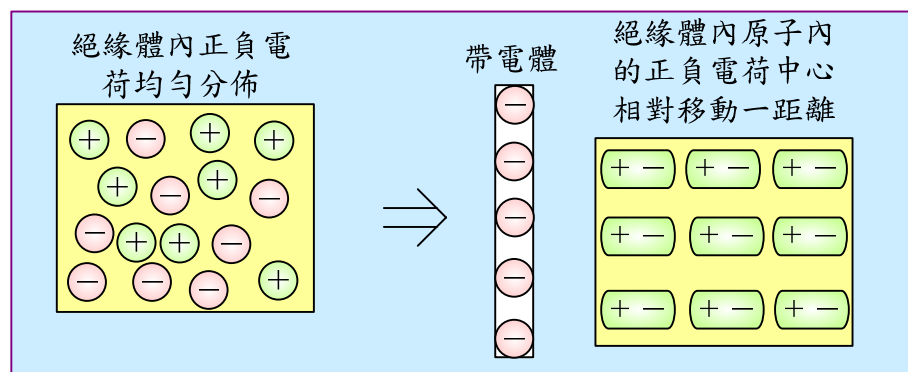
◎靜電感應：物體內的電荷因受外界電荷的影響而重新分佈。

導體：



如果把帶負電的物體靠近一塊金屬，則金屬上的正電荷將會被吸引過去，而負電荷則會被排斥。這樣便導致金屬的靠近外界電荷的部分帶有正電荷，而遠離外界電荷的部分則帶有負電荷。由於這只是電荷的重新分佈，因此物體仍然是不帶電的。靜電感應是可逆的，也就是說，如果外界的電荷被移走了，那麼由於物體上正電荷和負電荷之間的吸引，它們將重新混和起來。

絕緣體：



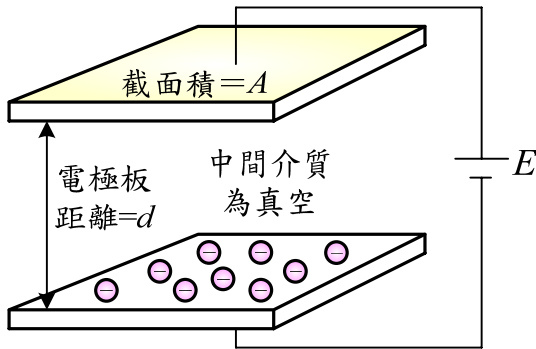
在絕緣體中，電子被原子束縛著，不能在物體中自由移動；但是在原子內可以移動一點點。如果把帶正電的物體靠近絕緣體，則每一個原子中的電子都會被吸引而稍微移動一點，而原子核則會被排斥，而往相反的方向移動一點。這種現象稱為極化。由於這時物體中的負電荷離外面的帶電物體較近，而正電荷則距離較遠，將導致吸引力比排斥力大一點點。這個現象是微觀的，但因為有那麼多的原子，加起來效果就很明顯了，足以使較輕的物體(如小紙片)被吸引。

◎導體的靜電感應是靠電荷移動來完成，絕緣體之極化靠電荷轉向達成。

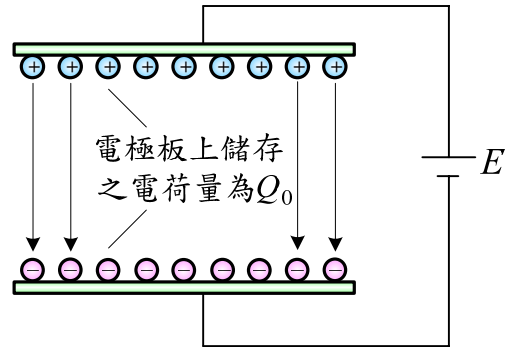


## ◆ 介電材料

### ◎ 電介質



真空電容之三維示意圖



真空電容之平面示意圖

當外加電場  $E = 0 (V = 0)$  則上下電極板不會有電荷堆積，此時  $Q_0 = 0$ 。若外加電場  $E$  增大 ( $V \uparrow$ ) 則電極板堆積的電荷量  $Q_0$  也會等比例增加。這樣的電壓跟儲存電荷量成正比的現象可以寫成

$$Q_0 = C_0 V$$

$C_0$ ：稱為真空電容(Space Capacitance)常數，物理意義為兩電極板間介質為真空時，電極板貯存電荷之能力。

$$C_0 = Q_0 / V \rightarrow \text{電容單位} = \text{庫倫/伏特} = \text{法拉(Farad)}$$

由高斯定律：

$$\text{電場通量 } \Phi = \int \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} \begin{cases} = \frac{Q_0}{\epsilon_0} & \text{點電荷} \\ = EA & \text{平行電極板} \end{cases} \Rightarrow \epsilon_0 = \frac{d}{A} C_0$$

$\epsilon_0$ ：稱為真空容電常數(Space permittivity constant)，其值  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$  F/m 為一固定常數。

由  $\epsilon_0$  與  $C_0$  的關係式可以知道兩者成正比，因此真空容電常數  $\epsilon_0$  也代表介質(真空)貯存電荷的能力。

電介質：具有容電常數之一切物質，電介質必為絕緣體(空氣也是電介質)。

Q：電容器中，如將兩極板間的距離加長一倍，則電容量為原來的 (A)2倍 (B)4倍 (C)1/2倍 (D)1/4倍。

Q：電容量的大小與其兩極板之間介電質的介電係數成正比。

Q：兩平行板邊長為10 cm的正方形，若兩板之間無介質且相距0.5 cm，此電容器的電容量為

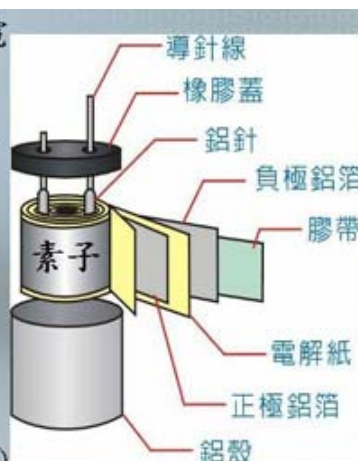
(A) 8.85 pF (B) 17.7 pF (C) 8.85  $\mu$ F (D) 17.7  $\mu$ F (E) 4.43 pF

## 電解電容器構造

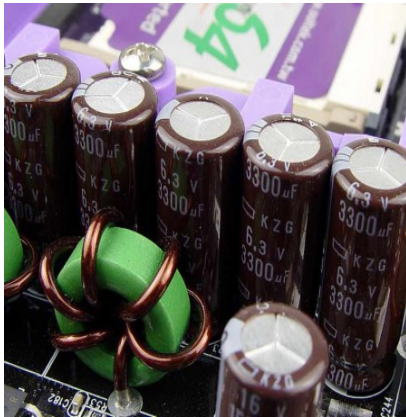
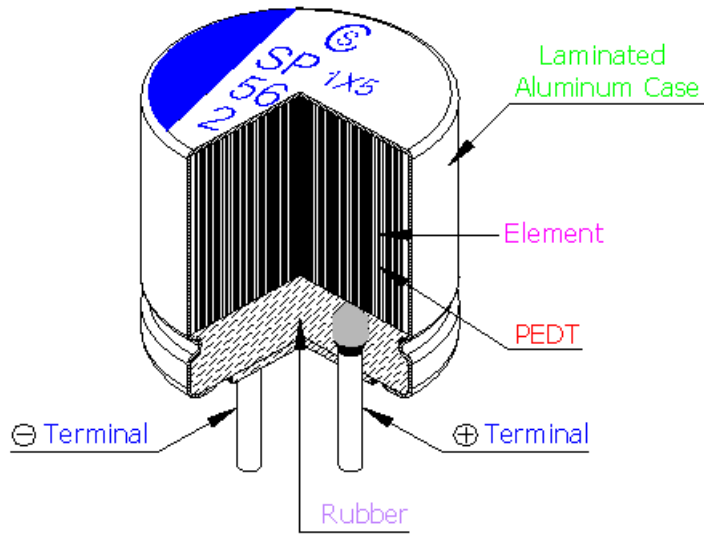
鋁質電解電容的設計是由兩電極之間加入介質，成為其基本構造。

電解電容器之組成(如右圖)，是由：

- 1 將正極鋁箔、電解紙、以及負極鋁箔一齊捲繞成素子。
- 2 再以端子(導針)作為正極箔與陰極箔之引出線。
- 3 將素子以電解液含浸。
- 4 最後將完成之素子裝入鋁殼內，再以封口材料(橡膠蓋)將其緊密封住即完成。



## 固態電容器構造



具防爆紋的電解電容



電容開始鼓起來了

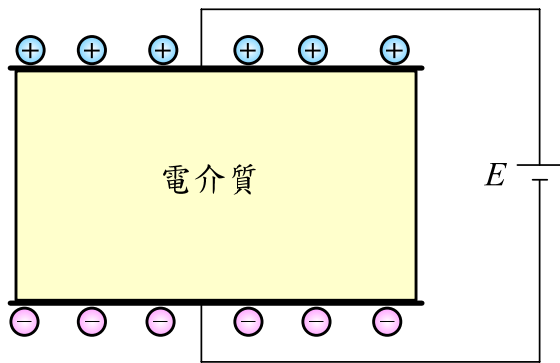


電容爆漿



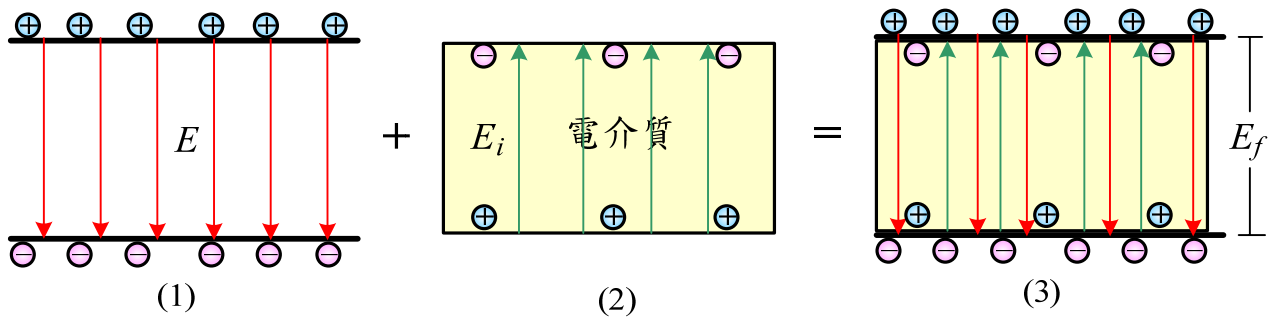
不具防爆紋的固態電容，雖然也有爆裂危險，但機率相較於電解電容小很多

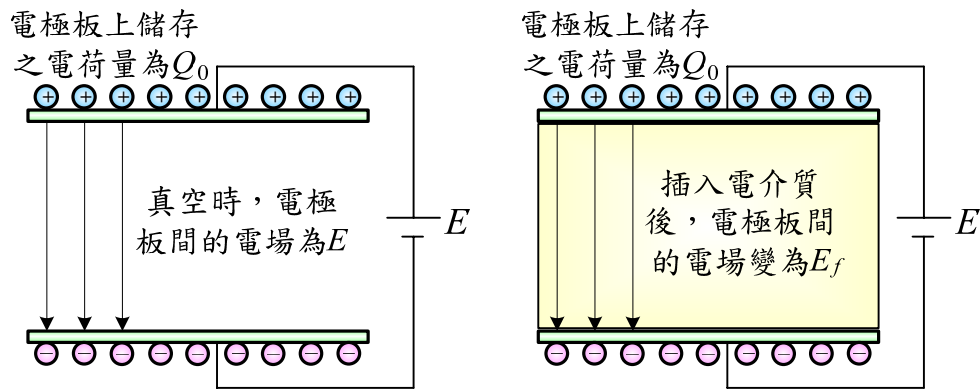
## ◆電介質之介電常數



在二塊電極板間，插入一物質(電介質)，外加電場  $E$  使電介質產生極化，如左圖所示。利用重疊原理，可以將電介質的影響拆成以下三張圖之合成。

圖(1)為電極板間沒有電介質下的外加電場大小為  $E$ 。圖(2)為電介質受圖(1)電場影響，在電介質內部誘發出的電荷所生的內電場為  $E_i$ 。圖(3)則為電極板內含有電介質時的最後的得到的電場  $E_f = E - E_i$ 。





總結：

真空時：電極板間之電場為 $E$ ，此時兩電極板間的電壓差  $V = Ed$ ，而電極板上的電荷量為 $Q_0$ 。此時電荷量與電壓差的關係為  $Q_0 = C_0 V$ ，其中  $C_0 = \frac{A}{d} \epsilon_0$ 。

插入電介質後：因為電介質無法導電，且外加的電場 $E$ 不變，因此電極板上儲存的電荷量仍為 $Q_0$ ，然而內電場變為 $E_f$ ，電極板兩邊的電壓差變為  $V_f = E_f d$ 。此時電荷量與電壓差的關係可以寫成  $Q_0 = C V_f$ ，其中  $C = \frac{A}{d} \epsilon$

由

$$C V_f = C_0 V \Rightarrow \frac{C}{C_0} = \frac{V}{V_f} = \frac{E}{E_f} \quad \text{又} \quad \frac{C}{C_0} = \frac{\epsilon A / d}{\epsilon_0 A / d} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_r$$

定義：

$\epsilon$ ：電介質所擁有之容電常數(permittivity constant).

$\epsilon_r$ ：介電常數(dielectric constant)，為電介質容電常數與真空介電常數的比值。

Q：電容器的介質由空氣改為介電常數為5的電介質時，則其電容量為原來的5倍。

Q：已知某材料的介電常數為 100，則其容電常數約為  $8.85 \times 10^{-10} \text{ F/m}$ 。

Q：塞入電介質前，外加電場  $E$  為  $10 \text{ V/m}$ ，塞入電介質後，電介質受電極板的影響在電介質內部產生了大小為  $9 \text{ V/m}$  的逆電場，請問此時兩電極板的電場變為多少 \_\_\_\_\_  $\text{V/m}$ ？

Q：由此實驗結果，此電介質的介電常數(dielectric constant)為何 ( $\epsilon_r =$  \_\_\_\_\_)？這個電介質的容電常數(permittivity constant)為何 ( $\epsilon =$  \_\_\_\_\_  $\text{F/m}$ )？

## ◆介電強度 (dielectric breakdown strength)

◎ 讓物體從絕緣體變成導體所需外加之電場大小稱為介電強度。

電學： $E_{\text{外加}} > E_{\text{介電強度}} \rightarrow$  電介質電性損壞

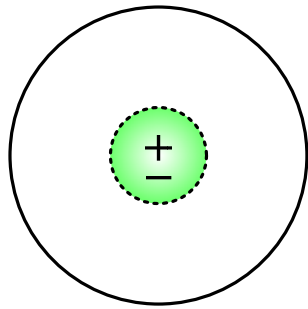
力學： $\sigma = P/A > \sigma_{\text{allow}} \rightarrow$  材料損壞

各種常物質之介電常數 ( $\epsilon_r$ )		
	$\epsilon_r$	介電強度
真空	1	無 (真空不導電)
乾空氣	1.0006	$3 \times 10^6$ (V/m)
水	80	N/A
乙醇	26.4	N/A
玻璃	5.6	$14 \times 10^6$ (V/m)
石英	3.78	$8 \times 10^6$ (V/m)
BT	1700	N/A
PZT	1500	N/A

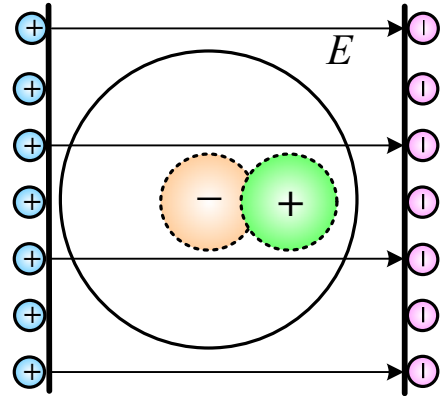
## ◇ 極化原理

◎ 極化：電介質內正負電荷被分離。主要有以下三種型態。

### 1、電子位移極化：

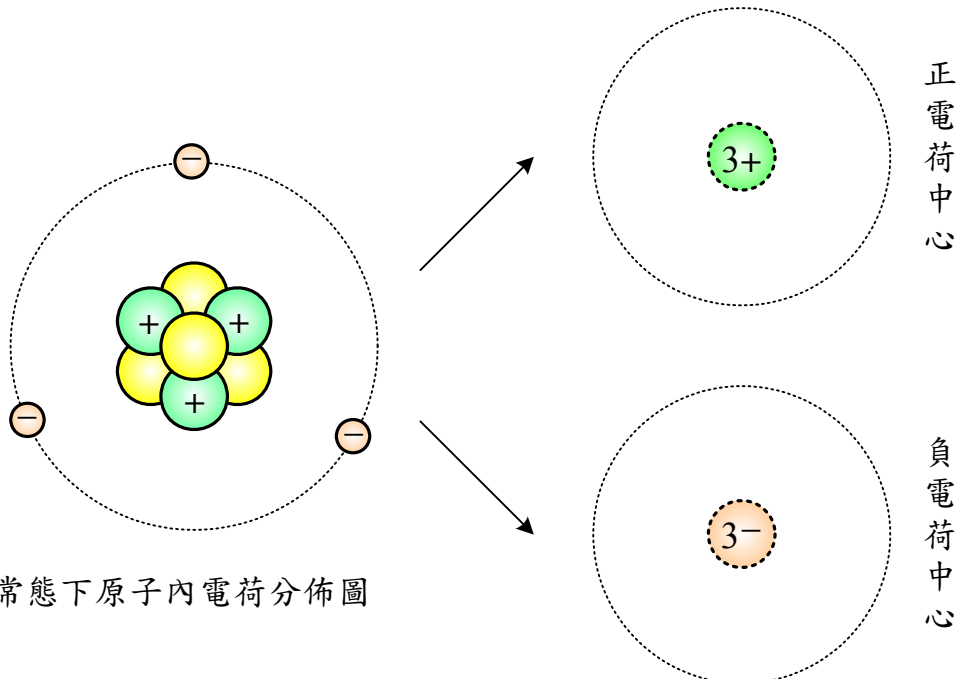


常態下



外加電場 $E$ 後

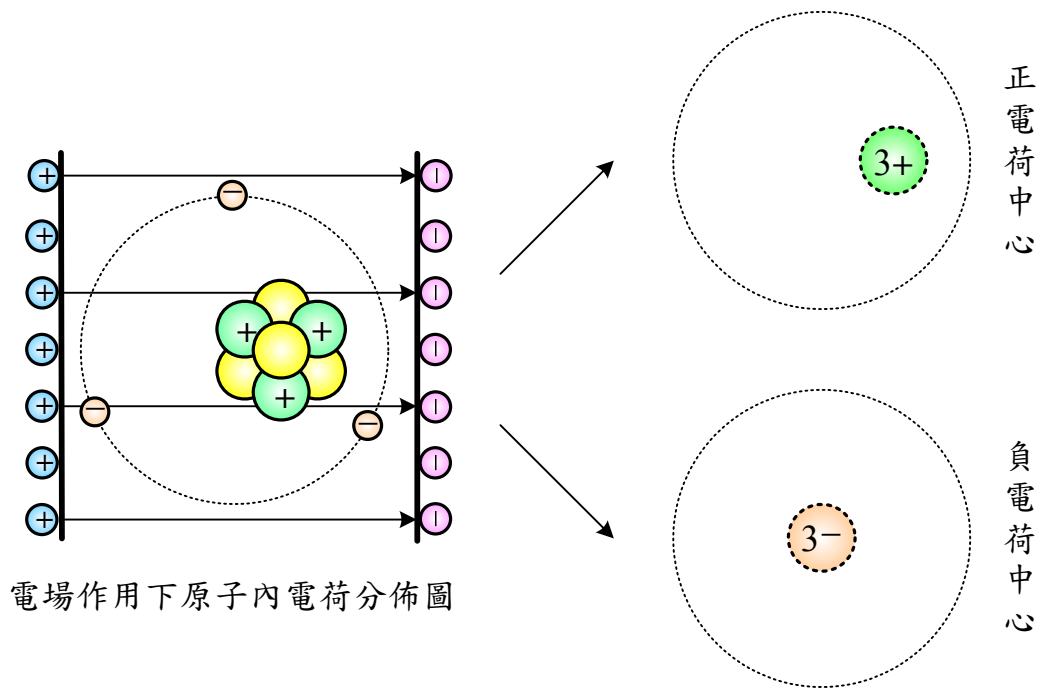
註：正負電荷中心



常態下原子內電荷分佈圖

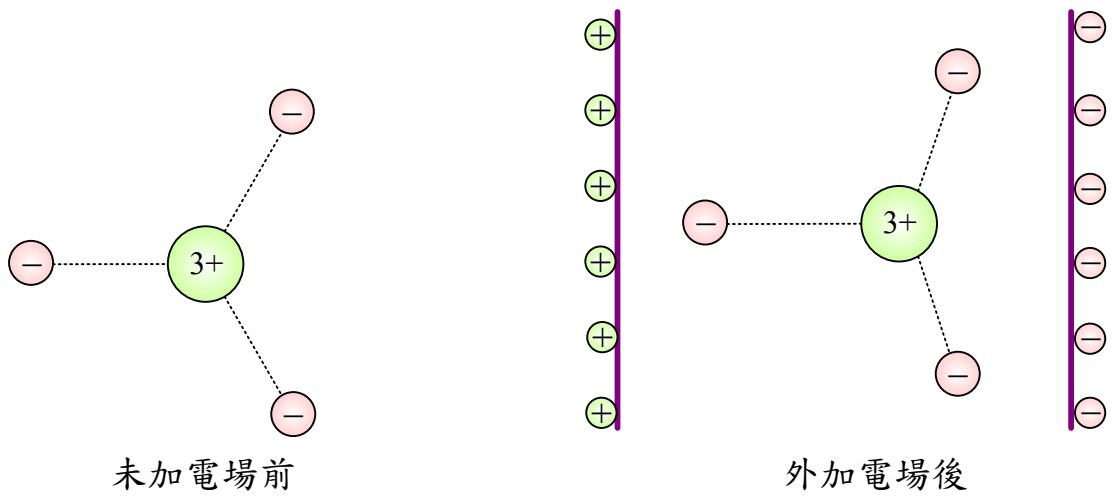
正電荷中心

負電荷中心



2、離子位移極化(大部份之電介質之極化屬於此種)：

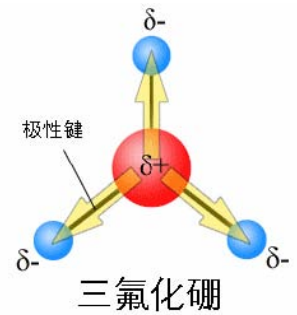
以 $\text{BF}_3$ (三氟化硼)為例：



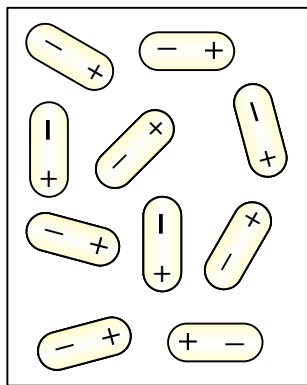


註：

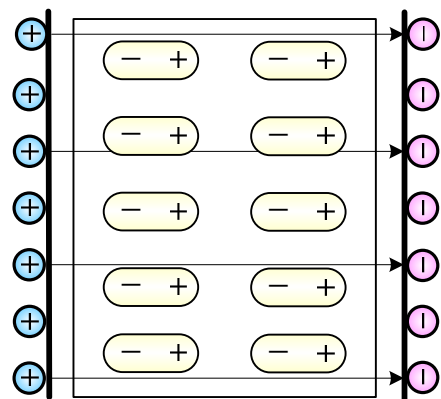
三角形的三氟化硼分子。儘管3根鍵都是極性鍵，但分子是非極性分子。因為分子對稱，正負電荷中心重合了。



### 3、極性分子轉向極化：



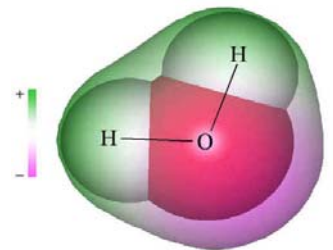
常態下

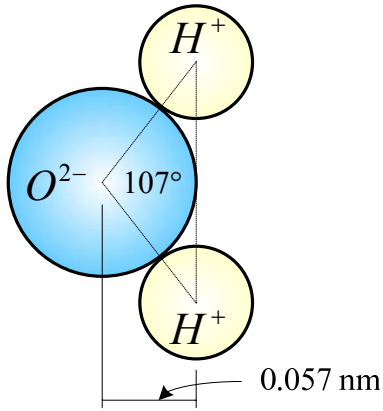


外加電場 $E$ 後

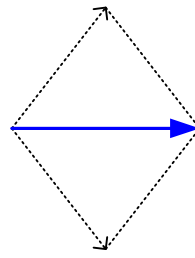
註：

極性分子：本身具有電偶極的分子。水是極性化合物。由於氧原子強烈的電負性，電子對明顯偏向氧一側，因此氧周圍聚集負電荷，氫原子周圍聚集正電荷。





水分子實際幾何結構



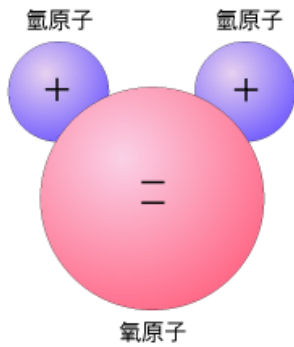
$$\begin{aligned}
 P &= qd = 0.66ed \\
 &= 0.66(1.602 \times 10^{-19})(0.057 \times 10^{-9}) \\
 &= 6 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

水分子電偶極大小

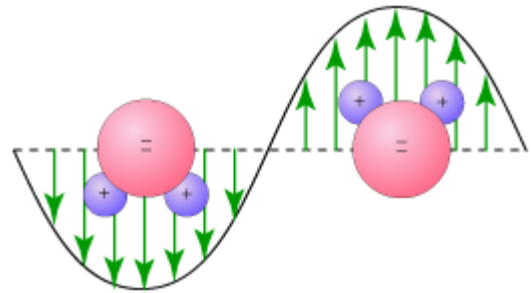


極性分子示意圖

微波爐加熱原理：

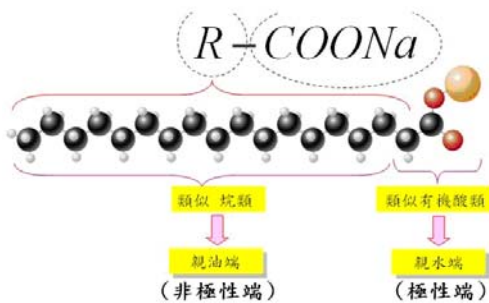


帶電耦極的水分子

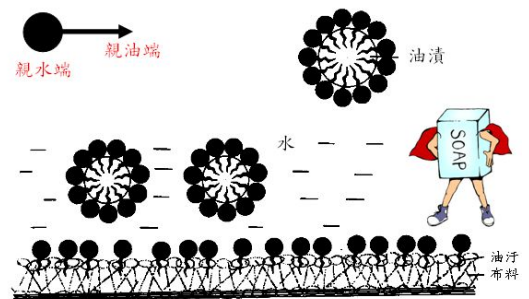


當微波經過水時，振動的電場便會使水分子上下擺動而產生熱能

肥皂去污原理：



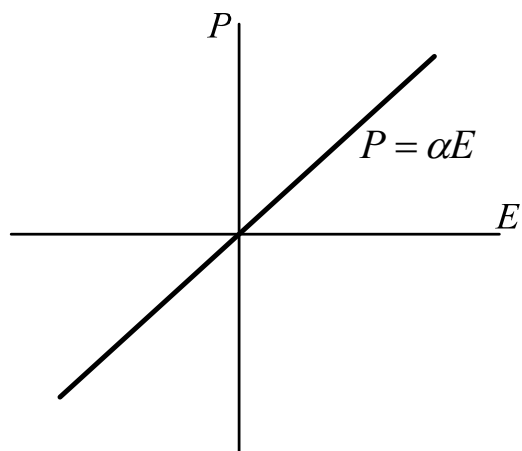
具長鍊狀之高分子聚合物，一端為極性端，一端為非極性端



非極性端跟油漬結合，極性端則和水分子結合

## ◆ 電介質之P-E關係

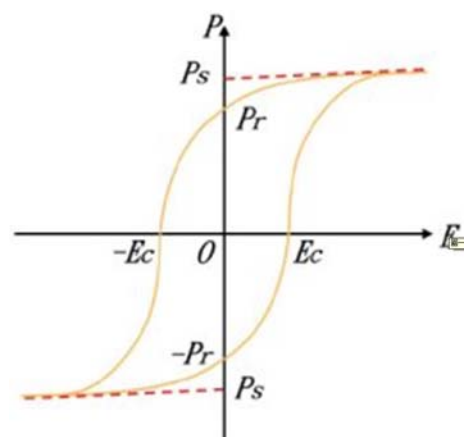
◎具有介電常數之一切物質 或者 外加電場可使物質產生極化之物質。



<P：材料所生電耦極大小，E：外加電場>

## ◎鐵電性與介電性之差異

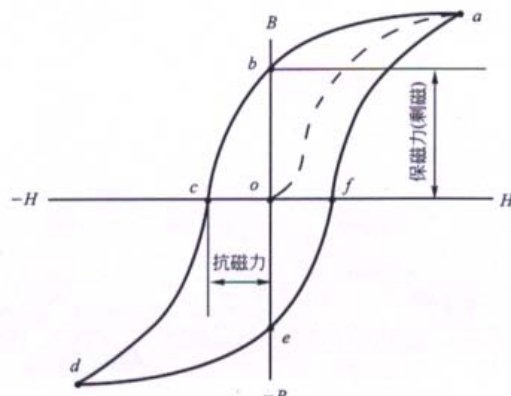
由於鐵電材料之電場 $E$ 和極化 $P$ 有電滯現象，此種現象與磁鐵的「磁滯」現象性質非常相似，因此給于 $P$ - $E$ 曲線具有遲滯現象的性質，稱「鐵」電性。



鐵電材料之電滯曲線

## ◎磁滯曲線

磁通密度 $B$ (magnetic flux density)與磁場強度 $H$ (Magnetic field intensity)之間關係為  $B = \mu H$ ， $\mu$ 稱為導磁係數(permeability)，在真空中的導磁係數稱為絕對導磁係數 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (亨利/公尺)，其它物質導磁能力與真空中的導磁能力比較，稱為相對導磁係數 $\mu_r$ (relative permeability)，其中 $\mu_r = \mu/\mu_0$ 。



磁滯曲線圖

## ◆介電、壓電、焦電、鐵電

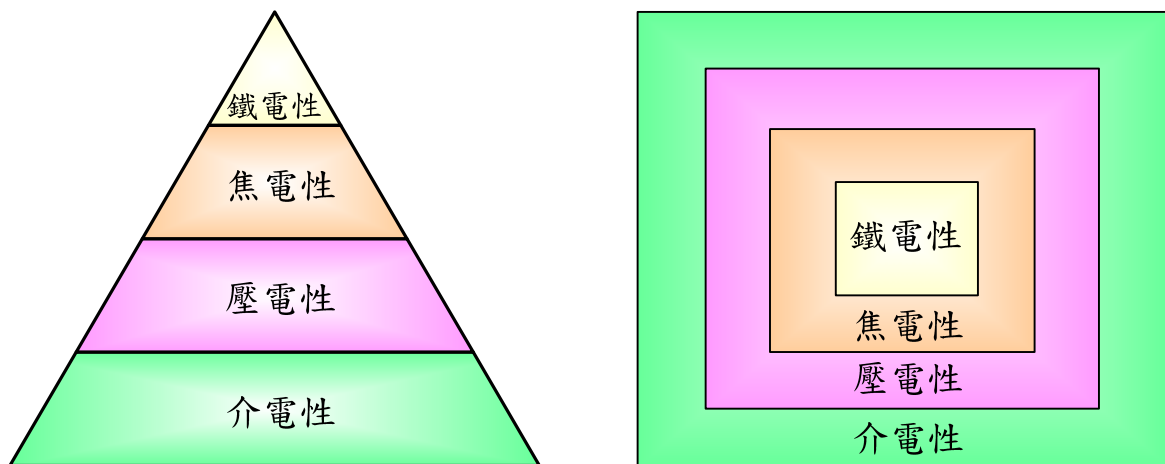
介電性(Dielectric)：外加電場，產生(電)極化之性質，又稱"順電性"。

壓電性(Piezoelectric)：外加機械應力，產生(電)極化之性質。

焦電性(Pyroelectric)：外加熱源，產生(電)極化之性質，又稱"熱電性"。

鐵電性(Ferroelectric)：在常態下，本身具電耦極，且 $P-E$ 曲線具有遲滯現象者，又稱"強電性"。

## ◎介、壓、焦、鐵電性之間的關係



一個材料若已知具鐵電性，則此材料必同時具有介、壓、焦電性。

ex：PZT、BT、PVDF

一個材料已知具有壓電性，則此材料未必具有焦、鐵電性，但它必有介電性。

ex：SiO<sub>2</sub> (石英)只具有壓、介電性但不具鐵、焦電性。

Q：對壓電材料施予外加電場，則材料會產生極化現象。

Q：對介電材料施予外加機械應力，則材料會產生極化現象。

◆正壓電效應、逆壓電效應原理

◎正壓電效應：外加機械應力；材料誘發電荷。

◎逆壓電效應：外加電場於材料；材料產生機械變形。

原因-守恆或平衡

## ◆逆壓電效應 V.S. 電致伸縮效應(electrostriction)

在外電場作用下電介質所產生的與場強二次方成正比的應變，稱為電致伸縮。這種效應是由電場中電介質的極化所引起，並可以發生在所有的電介質中，其特徵是應變的正負與外電場方向無關。對於壓電體中外電場還可以引起另一種類型的應變，其大小與電場強度成比例，當外場反向時應變正負亦反號，這種稱為壓電效應的逆效應，不是電致伸縮。外電場所引起的壓電體的總應變為逆壓電效應與電致伸縮效應之和。對於非壓電體，外電場只引起電致伸縮應變。

一般地，電致伸縮所引起的應變比壓電體的逆壓電效應小幾個數量級。要在普通電介質中獲得相當於壓電體所能得到的大小的應變，外電場需高達 $10^8\text{V/m}$ 。但在某些介電常數很高的電介質中，即使外電場低於 $10^6\text{V/m}$ ，亦可獲得與強壓電體相近的機電耦合作用而提供技術應用。電致伸縮的另一個特點是在應用中其重現性較好。在外加強直流偏置電場作用下，對於疊加的交流電場，電致伸縮材料的機電耦合效應的滯後及老化現象比之常用的鐵電性壓電陶瓷要小得多。這個優點使得電致伸縮效應常用於壓力測量、連續可調雷射器、雙穩態光電器件等方面。近年來，隨著布裏淵散射、次級光電效應的研究、鐳射自聚焦等非線性光學的發展，電致伸縮諧振子和感測器相繼問世，電致伸縮現象逐漸引起了人們的關注。

目前關於電致伸縮材料的研究方向在於使其獲得可與壓電陶瓷相比擬的形變。已經在兩個方面取得進展：製成了電致伸縮效應相當大而電滯後效應和老化現象都很小的材料，以及採用獨石電容器結構工藝使產生足夠的應變所需的電壓相當程度地降低。其中最為可取的是以鈮鎂酸鉛為基體的弛豫型鐵電陶瓷，這類材料正在用於製成電致伸縮換能器。

◎逆壓電效應：外加電場，材料產生機械變形。

◎電致伸縮效應：外加電場，材料產生機械變形。

以上為二者相同之處，不同處如下表。

	逆壓電效應	電致伸縮效應
對材料之要求	壓電材料	任何電介質材料
變形方向和電場方向	有關	無關
變形大小和電場大小	成正比	非線性
相同電場作用下變形量大小	大	小

