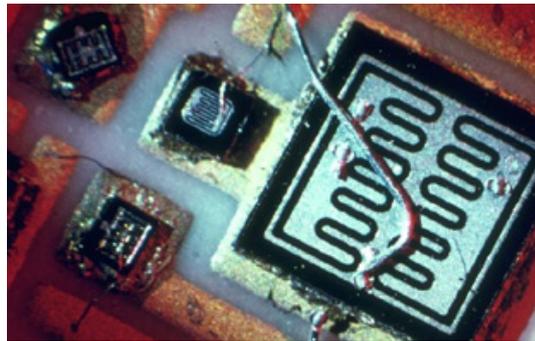
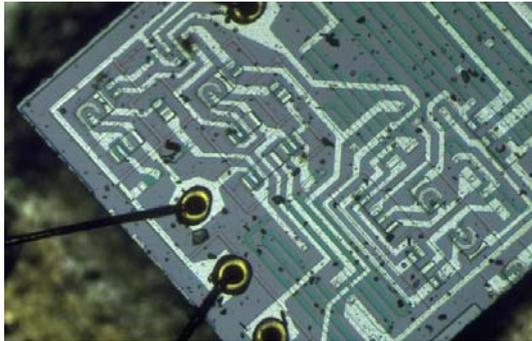


21-0 電子學基礎概念

210001 為什麼要學習二極體、電晶體等電路元件？

台灣已經從農業社會、工業社會進入資訊社會，目前是全球資訊產品的製造重鎮，許多電子產品的全球佔有率可以高達 90% 以上。Made in Taiwan 已成為高科技產品的代名詞。半導體產業大約佔台灣國民生產毛額的 10%，約 6000 億新台幣，因此學習半導體的相關知識，即使將來不從事半導體設計，亦必須對於台灣最主要的產業有所認識。

之前的章節從簡單電路學到複雜電路，我們在本章還要介紹何為**半導體**，以及三種半導體電路元件——**二極體**、**雙界面電晶體**、**場效電晶體**，最後再介紹(由為數龐大的二極體、電晶體、電阻、電容所構成的積體電路(IC, Integrated Circuit)。



210002 電子學基本概念

1. 何謂數位(digital)、何謂類比(analog)？

簡言之，**數位是不連續(discontinue)**，**類比是連續(continue)**的資料。比如，人的身高、體重是連續的變化，人不是一瞬間由 194 公分變成 195 公分。但是相對而言，人數就是不連續的資料，我們只能說有 16 個人，而不能說 16.625 個人。

以聲音為例，傳統記錄聲音的方式都是以類比的方式儲存，但是類比訊號容易受到雜訊干擾且不易再做進一步的處理，所以我們可以把類比訊號轉成數位訊號儲存，**優點是不易受雜訊干擾且容易處理**，但是天底下沒有白吃的午餐，卻又要付出**失真與資料量龐大的缺點**。因此，選擇以類比或數位方式儲存資料都有其應用價值，視應用目的而定，沒有絕對的優劣。因此在電子學中，會學到數位電路與類比電路，但兩者的處理理論並不相同。

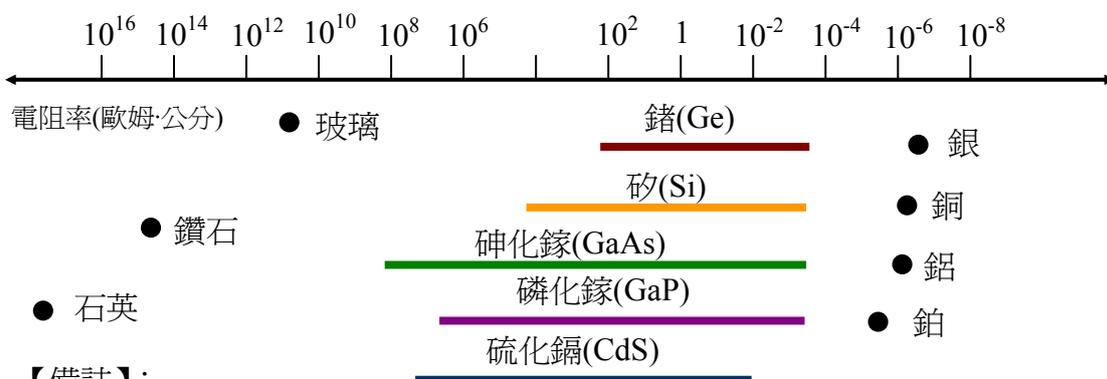


21-1 半導體(semi-conductor)

210101 物質導電性之分類：

物質的導電能力按電阻率 ρ 來區分時，可分為導體、半導體與絕緣體：

- **導體**：物質中含有可自由移動之帶電質點(電子或離子)。
- **絕緣體**：物質中所含有之帶電質點，不可自由移動。
- **半導體**：本身幾乎不導電，但加入三價或五價原子則可導電。
- **超導體**沒有電阻，其特性無法用一般的物理理論解釋。



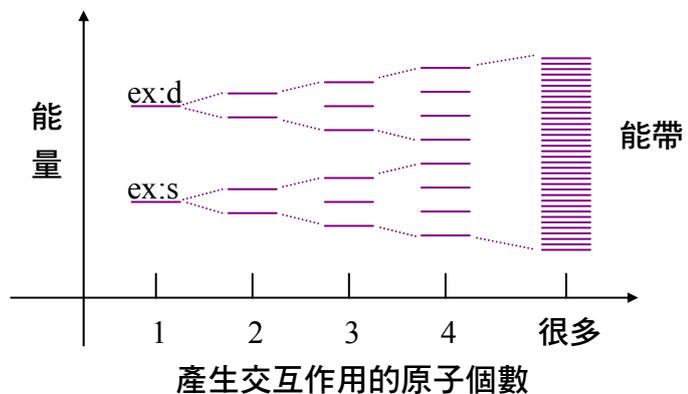
【備註】：

- ① 電導率 σ 與電阻率 ρ 都可用來表示不同材料的導電性，兩者互為倒數。
電阻率一般以「歐姆·公分」表示。而電導率則以「西門/公分」表示。
 - 電阻 $R = \rho \frac{L}{A}$ 要考慮長度與截面積。電阻率則與尺寸無關。
 - 為何半導體的電阻率不是一個值，而是一段範圍？
- ② 金屬的電阻率隨溫度提高而提高，但半導體則反之，即溫度愈高，電阻愈小。
 - 為何半導體，溫度愈高，電阻愈小？

210102 金屬能量帶

理論：

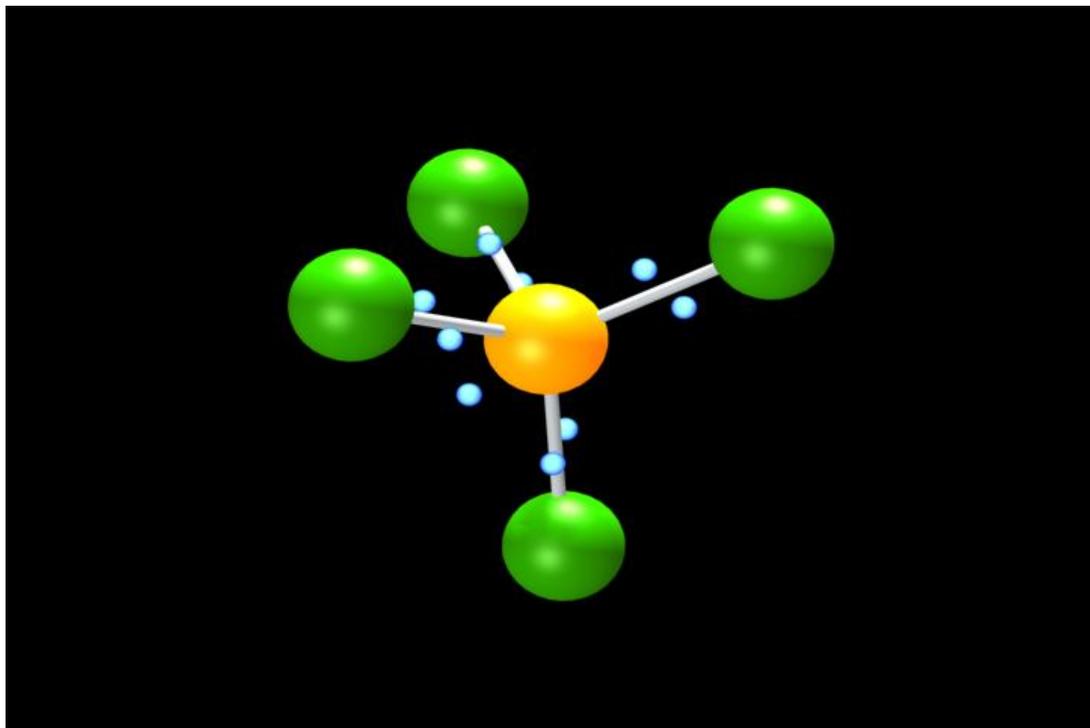
1. 兩個價原子軌域因為交互作用，會使得原來的軌域形成兩個價分子軌域(原子軌域的重疊會產生分子軌域)，一個比原來的能量高，一個比原來的能量低(如圖)；三個價原子軌域交互

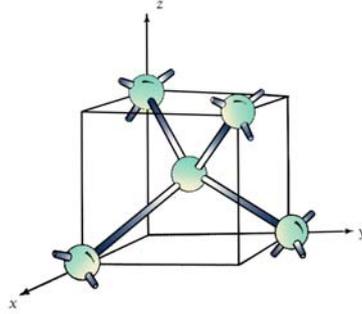
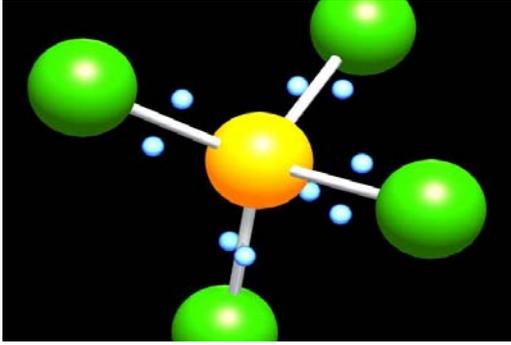


作用可生成三個價分子軌域，.....，當原子個數愈多，這些價分子軌域形成了**能帶**(energy band，band of allowed energy state)。

2. **價帶**(valance band)：價電子所佔有的能量帶。
3. **傳導帶**(conduction band)：未被價電子所佔有的能量帶。其能階較價帶高，只有在傳導帶的電子才可隨外加電場而移動。
4. 金屬、半導體、絕緣體之比較

	金屬導體	半導體	絕緣體
圖示	 <p>金屬導體 $E_g \sim 0$</p>	 <p>半導體 E_g 小</p>	 <p>絕緣體 E_g 大</p>
E_g	$E_g \sim 0$ ，價帶與傳導帶重疊	E_g 小，電子較有可能獲得足夠的能量躍遷至傳導帶	E_g 大，電子很難獲得足夠的能量從價帶躍遷到傳導帶而導電
溫度	溫度提高，導電度下降	溫度提高，導電度增加	溫度提高，導電度不變
原理	溫度提高，會增加金屬陽離子在晶體中之活動而阻礙電子之前進	溫度提高，會讓更多的價電子躍遷到傳導帶	溫度提高，不會顯著地更多的價電子躍遷到傳導帶
實例	Al、Cu	n 型半導體或 p 型半導體	B、P





加入五價元素的半導體，我們稱之為『**n 型半導體**(negative type semiconductor)』。這個五價元素因為提供了一個自由電子做為導電用，因此也稱為『**施體原子**(donor)』。

範例 01

210108 

長度為 0.3cm，矩形截面為 $50\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ 的純矽條，300K 的電阻率為 $2.3 \times 10^5 \Omega\text{-cm}$ ，如要產生 1mA 的電流，需在兩端加多大之電壓？

歐姆定律及電阻定律計算，並比較一下，半導體比較像導體或絕緣體？ 0.3cm 的

$$\text{矽條其電阻 } R = \rho \frac{L}{A} = 2.3 \times 10^5 \Omega\text{-cm} \times \frac{0.3\text{cm}}{50 \times 10^{-4} \text{cm} \times 100 \times 10^{-4} \text{cm}} = 1.38 \times 10^9 \Omega$$

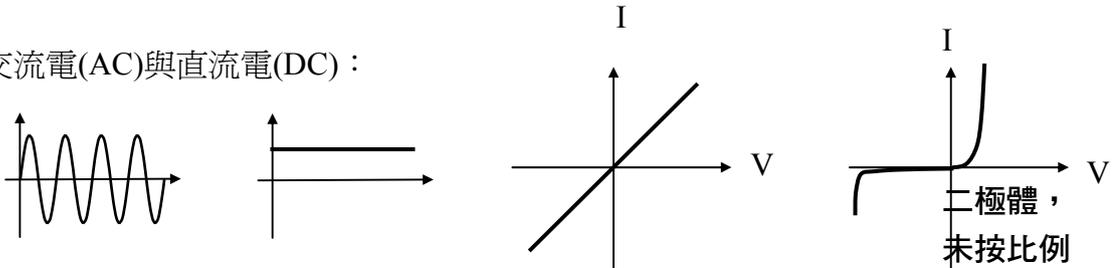
$$V = IR = (1 \times 10^{-3}) \times (1.38 \times 10^9) = 1.38 \times 10^6 = 1380000\text{V}$$

21-2 二極體

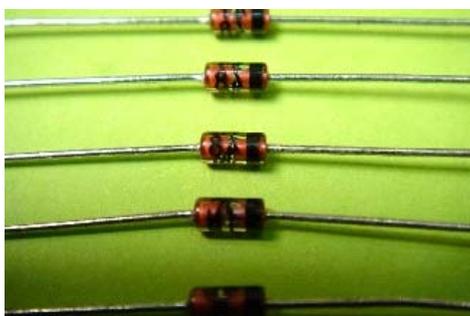
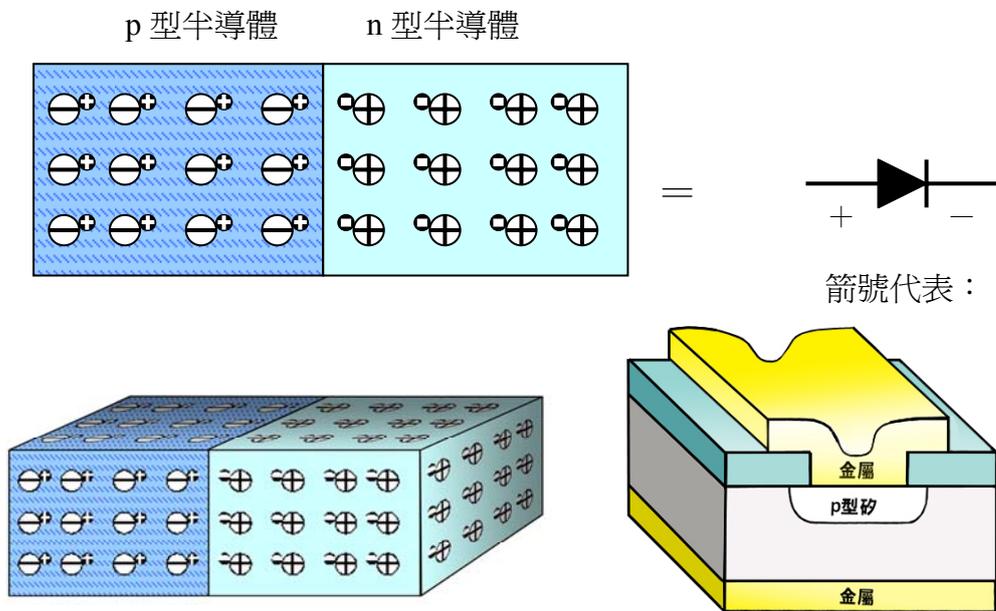
210201 電子元件的特性：

1. 線性導體與非線性導體(或稱歐姆導體與非歐姆導體)：

2. 交流電(AC)與直流電(DC)：



3. 二極體的符號：

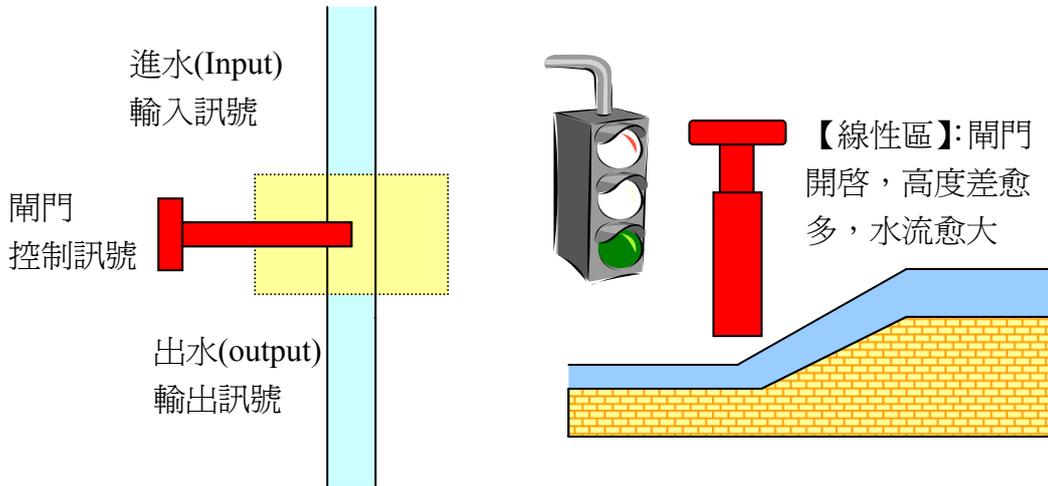


4. 電流的種類：

- ① 擴散電流(diffuse current)：因濃度差異所形成的電流[由濃度高擴散到濃度低]
- ② 漂移電流(drift current)：因電場(電位差)而形成的電流[因電位差，由能量高流向能量低]

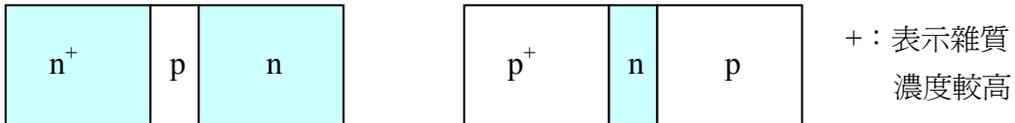
21-3 三極體

210301  三極體(電晶體)的由來：

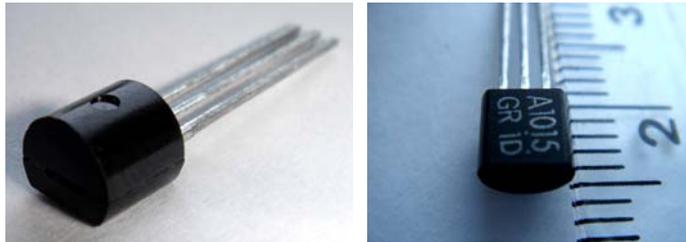


巴丁(Bardeen)、布來登(Brattain)、蕭克利(Shockley)於 1947 年首先製造出有放大電流的電子元件，其後改良為『**界面電晶體**』。

類似由兩個 pn 界面所製成(共有兩種排列組合)：



『**界面電晶體**』因有兩種不同極性的載子(自由電子與電洞)參與導電，故又稱為『**雙極性界面電晶體**』或『**雙載子界面電晶體**』(Bipolar Junction Transistor)，簡稱『**BJT**』。

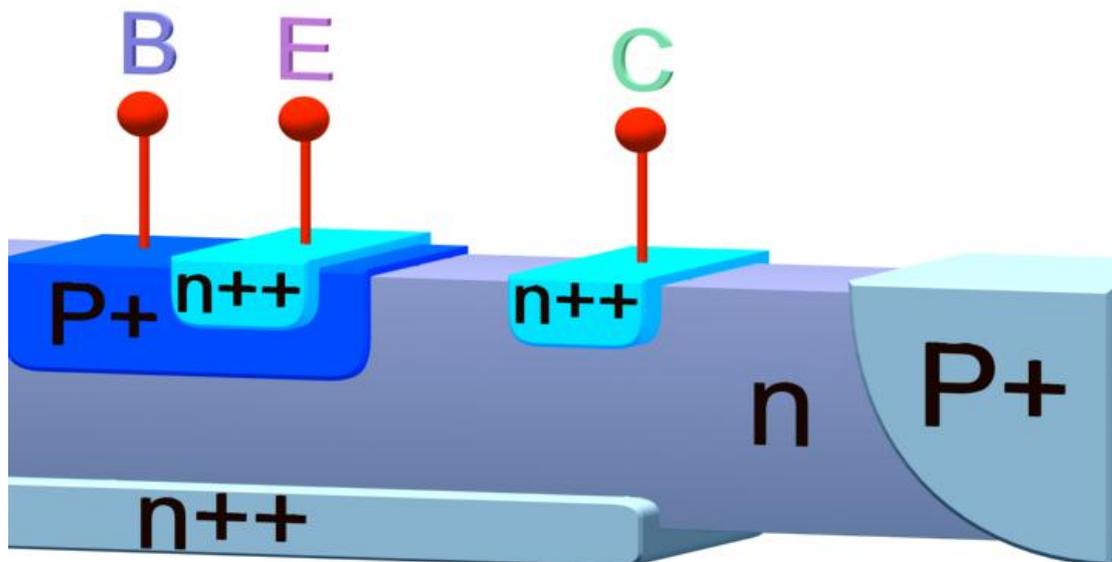
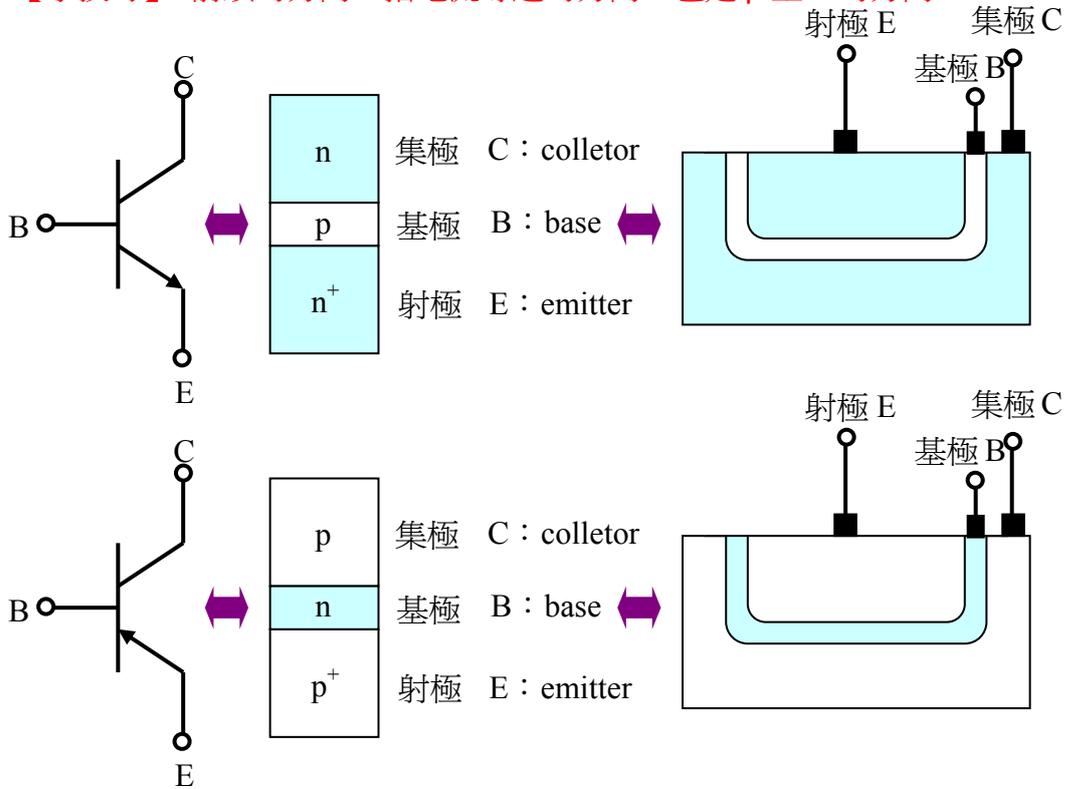


電晶體的英文字為 **transistor**，是個複合字，是由『**轉變(transfer)**』與『**電阻(resistor)**』組合而成，意義即為一種能轉變電阻的元件(利用電壓或電流控制的可變電阻)。

210302 

BJT 的構造：

【小技巧】：箭頭的方向，指電流通過的方向，也是 p 至 n 的方向。



21-4 場效電晶體

210401 接面場效電晶體

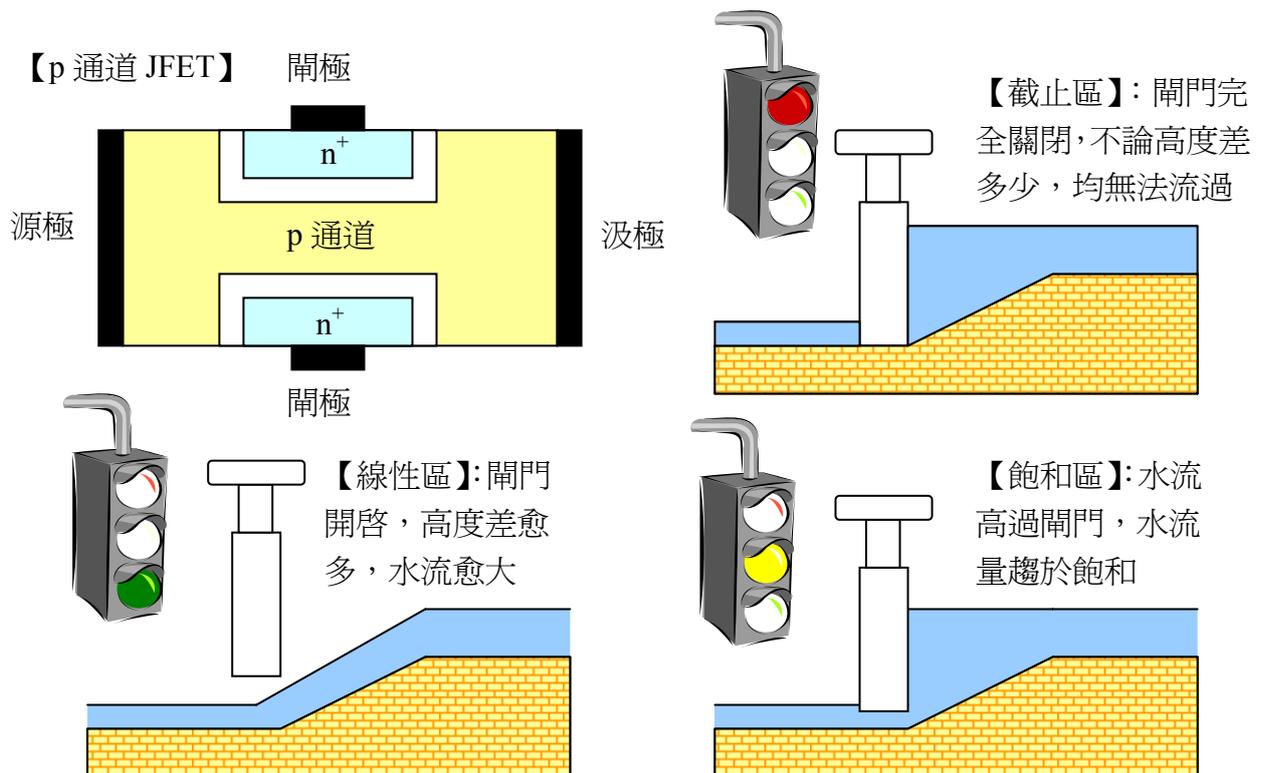
(JFET, Junction Field Effect Transistor) :

1952 年蕭克利(Shockley)設計出另一種可以藉由電壓控制而改變電阻的電晶體(tran-sistor)，稱為『場效接面電晶體』，簡稱 JFET。

它共有三個電極(三端元件)：

- ❶ **源極(S, Source)**：提供載子的來源。通常也是電壓的參考點：共源極(CS, Common Source)
- ❷ **汲極(D, Drain)**：汲取(接收)載子的電極，類似 BJT 的集極。
- ❸ **閘極(G, Gate)**：控制閘門的寬度，決定要讓多少載子通過或關閉。

根據載子的種類(電洞或自由電子)，分成 p 通道 JFET 及 n 通道 JFET。

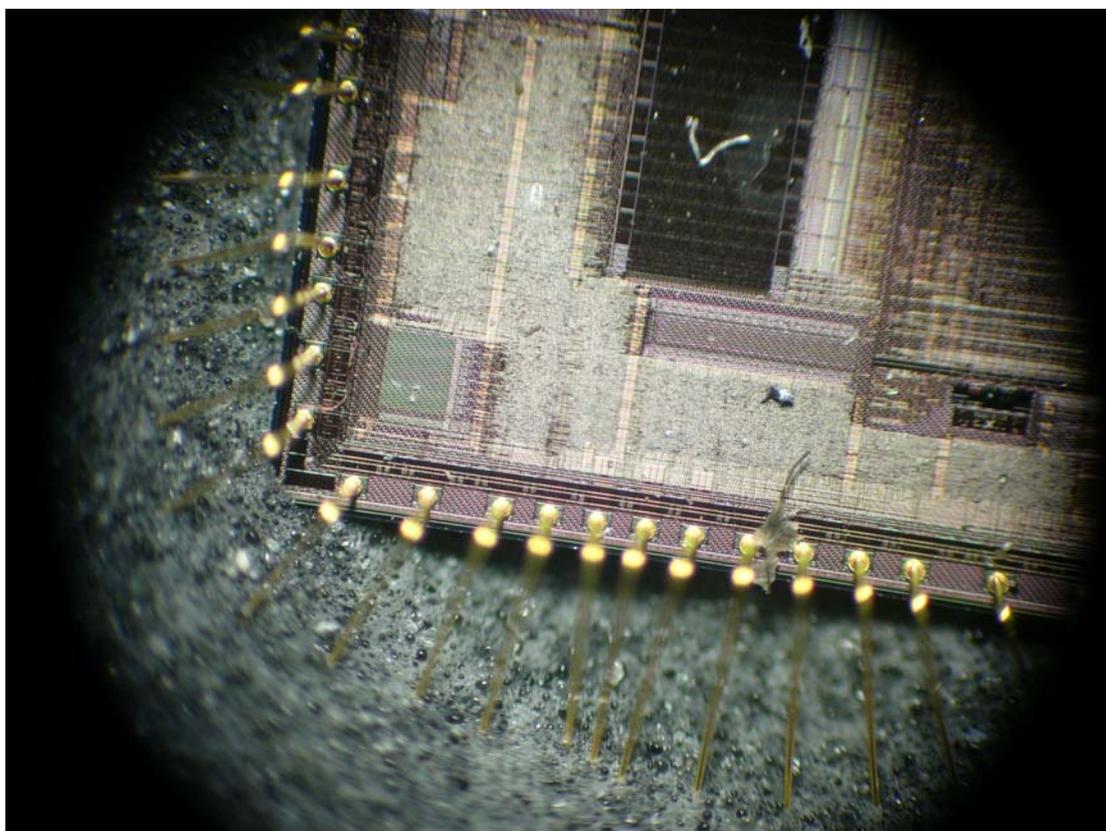
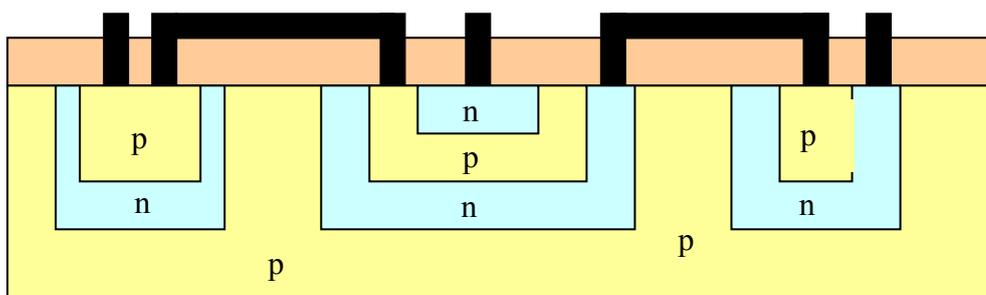
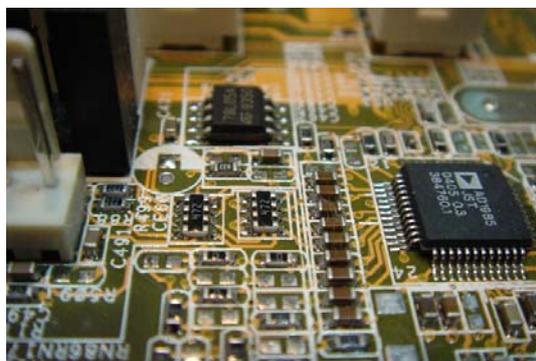


21-5 微電子技術

210501 

IC (Integrated Circuit, 積體電路) 是將電晶體、二極體、電阻器及電容器等電子元件，製作在矽晶片上，形成完整的電路。

(電晶體、二極體、電阻器、電容器) + 半導體 (矽晶片) = IC (積體電路)



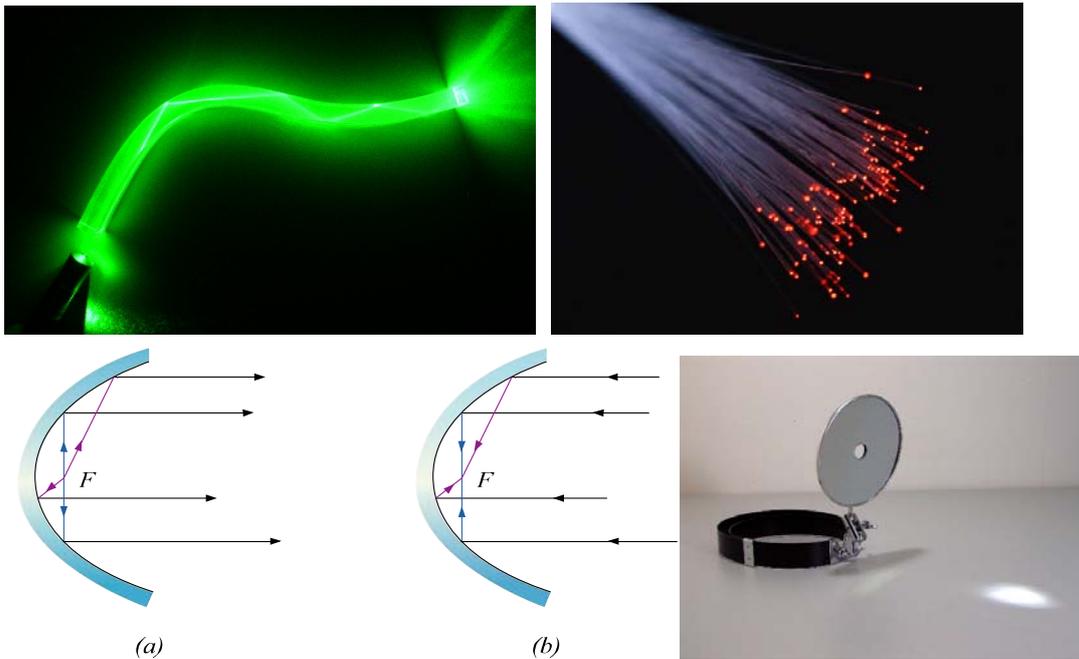
21-6 物理與醫療

210601 1.溫度計與耳溫槍

溫度在體溫範圍時，黑體輻射光譜強度的峰值在紅外線。
下視丘(hypothalamus)是人體控制體溫的中心，耳膜距離最近。



2.額鏡、內視鏡(Fiberscope)與光纖(optical fiber)



3.X 光與電腦斷層掃描(CT)

電腦斷層掃描 (Computerized Tomography 簡稱 CT) 是利用 X 射線旋轉照射人體，再利用電腦的三維技術重建出斷層面的立體影像。

21-7 超導體

210701 超導體 (superconductor) :

1908 年荷蘭物理學家翁納斯(Heike Kamerlingh Onnes)首先把氦氣液化，其沸點為 4.2K。1911 年翁納斯(Heike Kamerlingh Onnes)利用氦氣將汞降溫，發現汞在 4.2K 時電阻降為零，電阻為零的狀態稱為超導態(電阻為零，不會發熱)。4.2K 稱為汞轉變為超導體的臨界溫度(critical temperature)。使物體轉變為超導體的溫度，稱為臨界溫度。翁納斯因此得到 1913 年諾貝爾物理學獎。

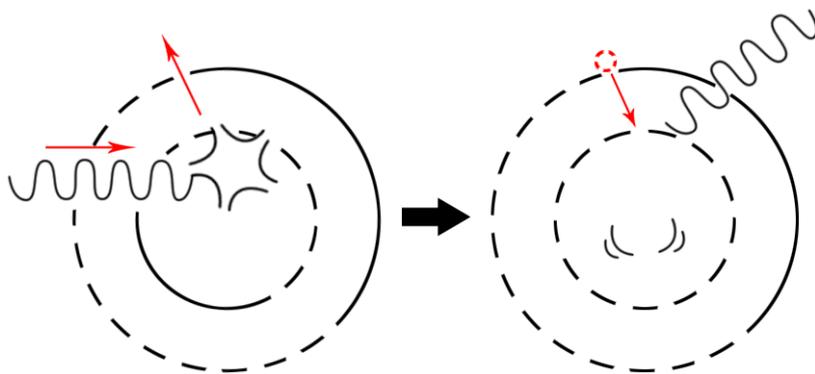
在週期表內有很多的元素，在適當的條件下都可以成為超導體，但其臨界溫度都很低，大都在 10 K 以內。反而，常見的導體，如：銅、銀、金卻不具有超導性。

21-8 人造光

210802 雷射:

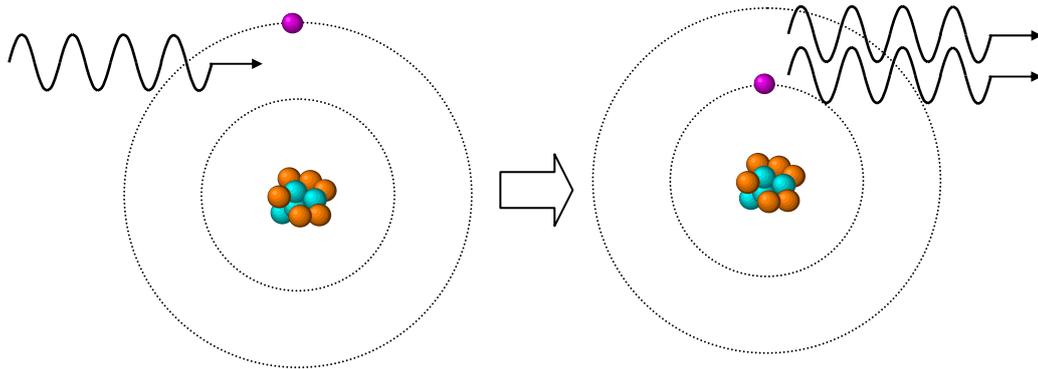
雷射(大陸翻譯成『激光』;香港翻譯成『鐳射』)的英文稱為「LASER」，乃是由 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation 的字首字母所組成的。意即：藉由受激發所產生之輻射來進行光能量的放大，簡稱為『受激輻射』。愛因斯坦於西元 1917 年提出原子與電磁波之交互作用有三種：

1. 自發吸收：電子透過吸收光子從低能階躍遷到高能階。
2. 自發輻射：電子自發地透過釋放光子從高能階躍遷到較低能階。



3. 受激輻射：光子射入，誘發電子從高能階躍遷到低能階，並釋放光子。入射光子與釋放的光子有相同的波長和相位，此波長對應於兩個能階的能量差。

一個光子誘發一個原子發射一個光子，最後就變成兩個相同的光子。



21-9 奈米科技

210901 奈米科技：

奈米 (大陸翻譯成『納米』)是英文(nano-meter=nm)的音譯，指 1 公尺的十億分之一。

原子的大小約為 1 埃，即 10 個原子等於 1 奈米。因此，奈米等於把長度的單位，縮小到原子分子的尺度。此時，量子力學的效應會相當明顯，其物理、化學、生物特性，與我們日常生活的巨觀尺度大不相同。1990 年，美國 IBM 的艾格勒把 35 個氙原子 (xenon，化學符號是 Xe) 排成 IBM 三個字母。這是人類歷史上首次操縱原子，用原子或分子製造分子馬達 (Molecular Motors)、奈米機器人 (nanobots)、...，不再是夢想。

蓮花表面的出污泥而不染的特性是因為蓮花表面的細緻結構和粗糙度大小都在奈米尺度的範圍內，所以不易吸附污泥灰塵。

奈米科技(Nanotechnology)是一門物理、化學、生物、醫學、機械工程、電子工程、材料科學、...領域的應用科學，其目的在於研究於奈米尺寸時，物質和設備的設計方法、組成、特性以及應用。

例如：奈米科技在醫學診斷、癌症治療上的應用。奈米碳管 (carbon nanotube, CNT) 的高強度特性(重量是鋼的 1/6，但強度是 100 倍)，在未來可應用於汽車、航太、建築、電子工程、燃料電池、...等領域。