

## 【附件一】參考文章

## 應用材料創新科技種子營學員讀物

## 半導體知識大公開

## 一、熱門的半導體元件

不管你有沒有注意到，科技已經在你的生活中，扮演了不可或缺的角色。

幫你考試高分的電子字典、電子計算機裡面有科技；讓你和朋友哈拉的手機、電話機裡面有科技；幫媽媽做家务的微波爐、冰箱、電鍋、洗衣機裡也有科技；讓大家的生活更愉快舒適的電視機、網際網路、卡啦 ok、線上遊戲、Wii、PS2 遊戲機、iPod/iPhone/iPad、MP3、DVD 放映機、電子書、冷氣機、熱水器、電腦、傳真機、影印機、擴音器、音響、電影的特效裡更是一定要有科技！

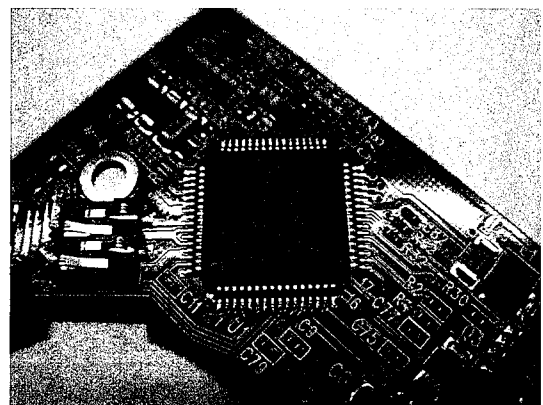
還有電子錶、街口的紅綠燈、LED 照明、鬧區的廣告看板、電視台、球場裡；科技產品幾乎是無所不在地包圍了我們。

常見的半導體有哪些呢？以下介紹幾樣最夯的半導體給你認識。

## (一)、積體電路(Integrated Circuits, IC)

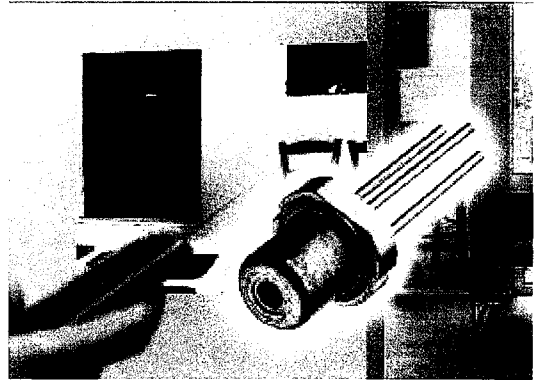
積體電路是所有半導體元件裡，最常見、應用最普遍的一種。包括電腦、手機、網際網路、醫療設備、家用電器、遊戲影音、金融理財等生活面向，都離不開 IC。應用在工業、軍用和車用的 IC，也讓科技深入到各行各業。

報章雜誌上常見的微處理器、記憶體、功率管理和數訊號處理、驅動控制器等都是 IC，這就是為什麼很多時候大家會把「IC」和「半導體」混為一談，但是實際上，IC 只是半導體產品的一部份。



## (二)、雷射二極體(Laser Diode)

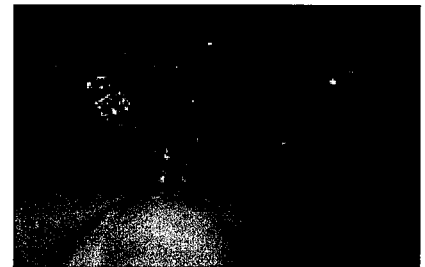
雷射二極體是以半導體材料做的發光元件，目前以砷化鎵 (GaAs) 為材料的雷射二極體較為成熟。這個元件雖然不像 CPU、DRAM 那麼常聽見，它其實也是很普遍的，舉凡辦公室裡的雷射印表機、電腦的光碟機，或是做近視手術的醫療設備裡，甚至軍事用的雷射測距、雷射追蹤器等，都有它的蹤影。隨著光纖海底電纜，把全球幾大洲的電腦都連線起來，雷射二極體更成為現代光通信的關鍵核心器件，是光纖通信系統中最實用的光源。



## (三)、發光二極體(Light-Emitting Diode, LED)

發光二極體的發明和 IC 差不多同時，早期多半用在指示燈、顯示板等，隨著近年白光發光二極體的出現，LED 開始應用到照明上，也更加普及。

LED 被視為 21 世紀的新型光源，具有效率高、壽命長、不易破損等傳統光源無法與之比較的優點。發光二極體能發出單色、不連續的光。改變所採用的半導體材料的化學組成成分，可使發光二極體發出在近紫外線、可見光或紅外線的光。

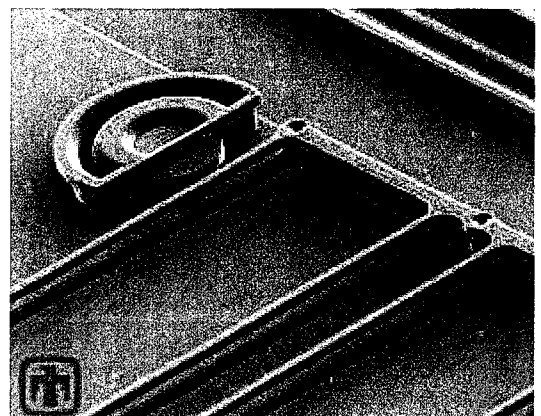


## (四)、微機電(Micro-electromechanical System, MEMS)

猜猜看，有沒有可能吞下一顆膠囊，就把你的食道、胃、小腸、大腸的內部，全都照相出來給醫生看？這顆藥丸裡，可得塞進一台攝影機、訊號發送器、燈泡和電池喔！

答案是可能的。而且，早在西元 2000 年就有人做出來了！所使用的就是微機電。拜 IC 技術之次，微機電裡面的元件，可以做得比塵蟎還要小。(圖：微引擎 - 雙層彈簧，圖片來: Sandia National Laboratories, SUMMIT(TM) Technologies, [www.mems.sandia.gov](http://www.mems.sandia.gov))

你可以想像和頭髮直徑一般大小的馬達嗎？微機電做得到！而且它也在我們的生活週遭。例如；智慧型手機裡面，把聲音振動轉換成電子信號的麥克風，以及當我們翻轉手機時，會自動對應翻轉畫面的感測能力，都來自微機電。



微機電是在一九六〇年代中期開始發展，利用半導體的製程，來製造很小的幫浦、閥門、齒輪、馬達、夾子等機械元件的技術。微機電系統應用很廣泛，遍及工業生產、國防工業、農林及水產、環保工安、太空及航空、資訊通訊電子、生物醫療保健等。

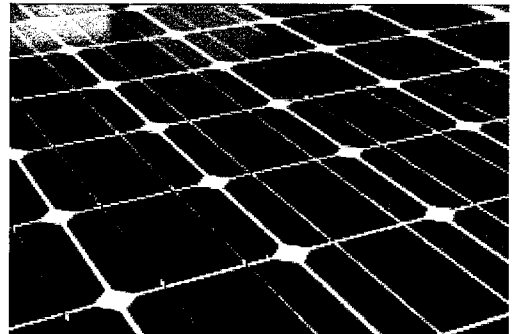
### (五)、太陽光電 (Photovoltaic, PV)

陽光、空氣、水是生命三要素。排在首位的陽光，在一小時之內，照在地表產生的總能量，可以供全人類使用一整年。這樣取之不盡的太陽能，是不是應該善加運用呢？

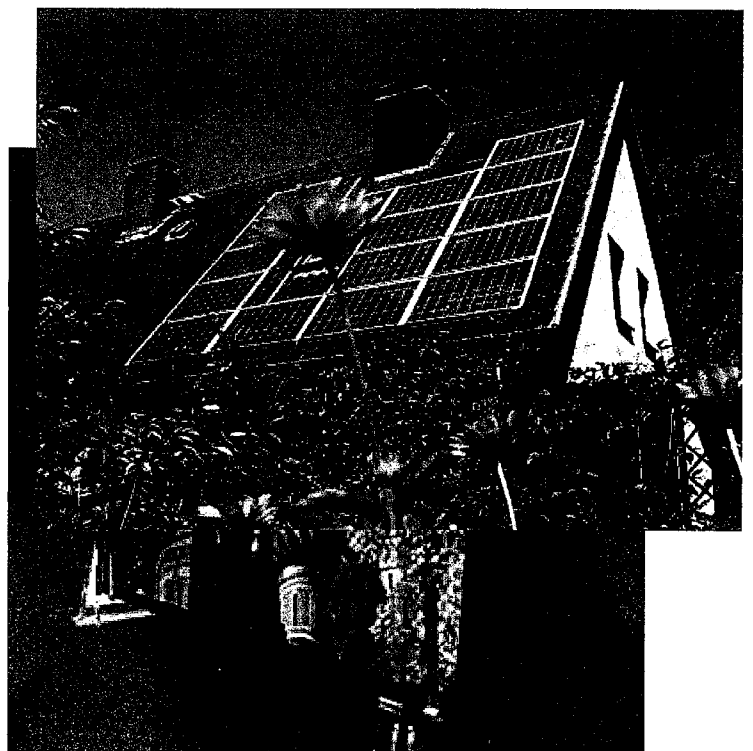
利用太陽能的方法有很多，其中最熱門的是將太陽的輻射能轉換成電力；也就是以半導體材料，做成太陽能電池。

當半導體材料受到光照時，半導體內會產生電流，這就是半導體材料的「以光生電」效應。換句話說，利用半導體的光電效應，只要有光照，不需要電源，就會自己產生電。這就是太陽能電池。拿來做太陽能電池的半導體材料有很多種，包括矽、砷化鎵、硫化鎘等，其中矽太陽能電池效果最好。目前，太陽能電池的能量轉換效率已可達到 20% 左右。

太陽能電池會用在哪裡呢？目前最常見到的地方是電子計算機上的小方塊，另外，在於有些建築物的頂樓，也會看到很大塊深色的太陽能電池板；還有，在街燈上，有時也會看見太陽能電池的蹤影。其實，只要在不方便插電源的地方，將來都有可能成為安裝太陽能電池的所在。例如，人造衛星安裝上太陽能電池後，可以長期為衛星提供能源，讓我們靠衛星導航，或是從衛星接收電視訊號。還有太陽能車、太陽能飛機、太陽能船等，都有機會安裝太陽能電池。  
(圖：太陽能電池)



太陽能電池這麼方便，為什麼目前還不常看到呢？那是因為目前太陽能電池的製造成本還很高，還沒有普及。未來，它會像 IC 晶片一樣，變得很便宜、效率更好，而且可以安裝在手機、電腦、甚至衣服上面，讓我們的生活更便利、污染更少。



### (六)、薄膜電晶體液晶顯示器

## (TFT LCD)

TFT-LCD(薄膜電晶體液晶顯示器)是液晶顯示器的一種。電視機、筆記型電腦、PSP, 以及手機、平板電腦、觸控螢幕都用 TFT-LCD。

TFT LCD 之所以能夠取代早期的陰極射線管 (CRT)，只用一個平面就顯示彩色，也是運用半導體的原理。簡單說，TFT LCD 面板的結構就是兩片玻璃板，中間夾著一層液晶。

上層的玻璃基板和彩色濾光片 (Color Filter) 貼合在一起；下層的玻璃則有電晶體鑲嵌於上。當電流通過電晶體開關，引起電場變化，造成液晶分子轉向。這樣改變了光線的偏極性，再利用偏光片，決定畫素 (Pixel) 的明暗狀態。此外，上層玻璃因與彩色濾光片貼合，形成每個畫素 (Pixel) 各包含紅藍綠三顏色，這些發出紅藍綠色彩的明暗畫素，便構成了面板上的影像畫面。

TFT LCD 與早期的陰極射線管相比有很多優點，包括：佔用空間小、低功耗(省電)、低輻射、無閃爍、降低視覺疲勞等。

## 二、到底什麼是半導體？

### (一)、先來複習絕緣體、導體

顧名思義，「導體」(conductor)和「絕緣體」(insulator)分別是可以導電和不導電的物質。如果我們把『電』的流動方式，想像成和『水』一樣流動的話，導體就像一條暢通的水管：當電流遇到導體的時候，它可以從導體的一邊進入，然後從另一邊出來。絕緣體則像是堵塞的水管：當電流遇到絕緣體的時候，它不能從一邊進入，也不會從另一邊流出來。

### (二)、認識半導體

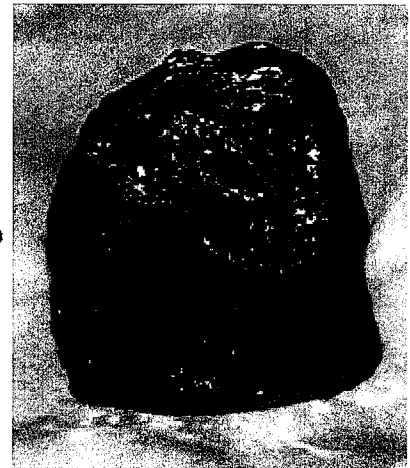
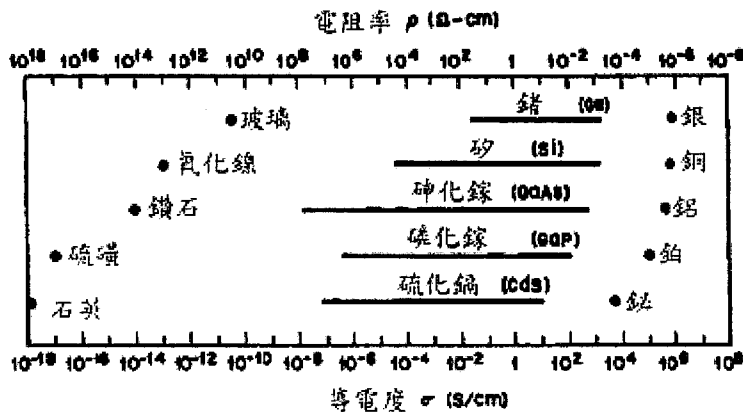
「半導體」(semiconductor)是有時候可以讓電流通過，有時候不讓電流通過的特殊水管。好比在水管中間加上一個「開關」，當開關打開的時候，電就可以流過去，這時候，半導體和導體一樣可以導電。當開關關起來的時候，半導體就像絕緣體一樣不導電。

正常的時候，半導體的這個水龍頭都是關著的。什麼時候開關才打開呢？當我們給它加熱、打燈光或是摻雜一點其他的成分進去的時候，開關才會打開。而且加得越多，開關開得越大，可以流過去的電越多。

不要小看一個簡單的「開關」喔！它可是所有複雜運算的基礎。

科學家的把所有的固體，都拿來量量看他們的導電性，然後給他們分類。換句話說，任何一個固體，如果不是導體，就是絕緣體，否則就是半導體。

下面這個圖就是科學家量出來的結果。越靠右邊的物質，例如銀、銅，越容易導電，所以是導體；越靠左邊的東西，例如玻璃、鑽石，越不容易導電，屬於絕緣體。中間的鍺、矽、砷化鎵等，日常生活中很少看到的東西，就是有時導電、有時不導電的半導體。



在元素週期表上，就有一些半導體元素，如矽(silicon, Si)和鍺(germanium, Ge)。還有一些半導體，是合成兩、三種化學元素做出來的。

### 1. 元素半導體 (element semiconductors) :

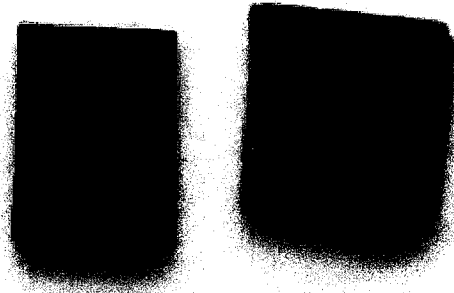
就是矽和鍺。在元素表上，矽和鍺屬同一家族，都是四價元素(有四個價電子)。

(1). 鍺(Ge)：一九五零年代初期，鍺是最主要半導體材料，也是第一個製造電晶體的材  
料。由於它遇熱之後，穩定性較差，而且  
無法加工成為氧化物，又是稀有元素，所  
以後來就逐漸被矽取代了。(圖：多晶鍺)

(2). 矽(Si)：一九六零年初期以來，矽成為主要半導體材  
料。純矽可以從隨處可見的沙子中提煉出  
來，是成本最低的半導體材料，也是製造



積體電路(Integrated Circuit, IC)、太陽能電池的主要原料。(圖：矽晶)



打開個人電腦的外殼，主機板上一顆顆的黑色方塊就是 IC。在所有讓手機、網路、自動提款機，或電視機正常運作的半導體元件中，約有 95% 是從「矽」經過晶圓廠的繁複製程所做成的 IC。

從沙子到 IC，「點石成金」不再是煉金師的魔術，而是現代科技的真實故事。

## 2. 化合物半導體(compound semiconductors)：

由週期表中兩種以上元素組成的半導體。主要組成化合物半導體的元素，都在週期表的 II B、III A、IV A、V A、VI A 族：

- (1). 砷化鎵(GaAs)：砷化鎵是個多才多藝的半導體材料。少了它，我們的行動電話就不能通話了。它也是 LED 的原料；給它通電之後，它就會發光。我們現在可以隨時透過網際網路，查到存放在歐美、日本的資料，也要感謝砷化鎵。因為，靠它才能發出光纖通訊用的雷射光源。用砷化鎵做的高效率太陽能電池，曾經隨著太空船登陸火星，負責供應在火星表面探勘的電力喔！(圖：砷化鎵)
- (2). 從氮化鎵材料 P 型摻雜為首的光電半導體：這些複雜的化合物半導體是製造 LED 的材料，可以發出藍光、綠光。未來這些應用在光顯示、光存儲、光照明等領域的半導體，絕對會大放異彩的！
- (3). 其他：包含有機半導體、陶瓷半導體等。

## 三、半導體怎麼導電呢？

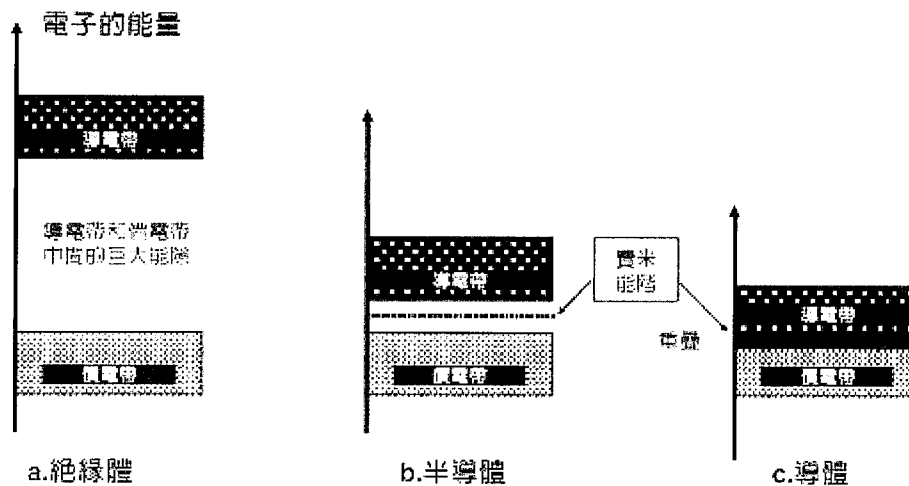
我們可以說，一切科技進步的關鍵，就是在於讓半導體導電。

半導體在常溫之下，和絕緣體一樣，是不導電的。當我們改變它的導電性之後，半導體就能發光、發電、感測、計算或儲存資料，成為電腦、手機、電動遊戲機，以及所有的 3C 電子產品的關鍵零件。

想要更深入了解半導體的導電原理，就需要認識二十世紀物理學的最大的成就之一，就是由波爾、狄拉克、海森堡等人所提出的「量子力學」。從量子力學推導出半導體的「能帶理論」，之後，產生了整個半導體產業，以及現代化的科技生活環境。

## (一)、量子力學在固態物理的應用：半導體的「能帶理論」

矽和其他半導體材料，都具有晶體構造，在固態時是由數不清的原子緊密地堆疊而成，在如此近距離的空間內，加上晶體構造的空間週期重覆的特性，各個原子的未配對的最外層電子，依量子力學的解釋，在晶格中會呈現某種波動性質，這些價電子就是藉由此波動性散佈於晶體之間，其行為就不再局限於單一原子附近。由於在固態晶格中原子堆疊緊密，鄰近原子的能階重疊合併成一個個能帶區間(即可視為一種帶狀連續的能量分佈)。而不同的能帶之間的能量差就稱為能帶間隙。不同元素的固態晶體的導電特性及光學特性就由其能帶間隙決定的。



如果接受用能帶理論說明半導體的導電性，許多半導體元件的工作原理，便變得易於理解。例如，絕緣體材料的能帶間隙非常大，而且能量較低的「價電」能帶內被填滿了「價電子」。由於價電子無法由外部環境獲得足夠的能量以躍遷至較高的導電帶，因此不導電。相反地，導體的能帶間隙非常小甚至是零，且「價電帶」內尚有許多空缺，電子可以任意地在「價電帶」與「導電帶」之間移動，因此導電性很高。

半導體的能帶間隙則介於絕緣體與導體之間，在室溫下，價電能帶裡的少數價電子有機會藉由環境的熱能被激發到上層的導電能帶，因此可有微弱的導電特性。但是半導體材料有一個非常特殊的特性——可摻雜性，即可利用摻雜其他的元素的方式，來大幅改變導電粒子的個數。例如在 IV 族的矽半導體中，每放入一個 V 族的砷原子或 III 族的硼原子，就可增加一個電子或電洞。因此半導體材料的導電特性可以藉由調節摻雜源的個數來掌控，這是金屬或絕緣體材料所沒有的性質。

另外因為半導體材料的能帶間隙很小，因此也可以藉由外加電場、光照射、加溫等方式，來激發價電子躍遷至導電能帶，以調整半導體材料的導電性。

在常溫下純淨的半導體是不導電的，因為半導體跟絕緣體一樣都是空導帶滿價帶的，但是由於其帶隙比較下，因此通過加熱或者摻雜可以使價帶電子躍遷到導帶上而可以移動，發生導電的現象。

至於電洞，就是價帶電子被激發去了導電帶後，在價帶所留下的空位，它的行為其實就是價帶上留下來的電子的集體行為，只是因為用“電洞”的形象，比較容易說明。

## (二)、半導體的摻雜

根據摻雜的不同，有 N 型和 P 型等，兩種基本的半導體型態：

### (1) N 型半導體

在純淨的矽晶體中摻入五價元素（如磷），使之取代晶格中矽原子的位置，就形成了 N 型半導體。

N 型半導體的導電特性：它是靠自由電子導電，摻入的雜質越多，自由電子的濃度就越高，導電性能也就越強。

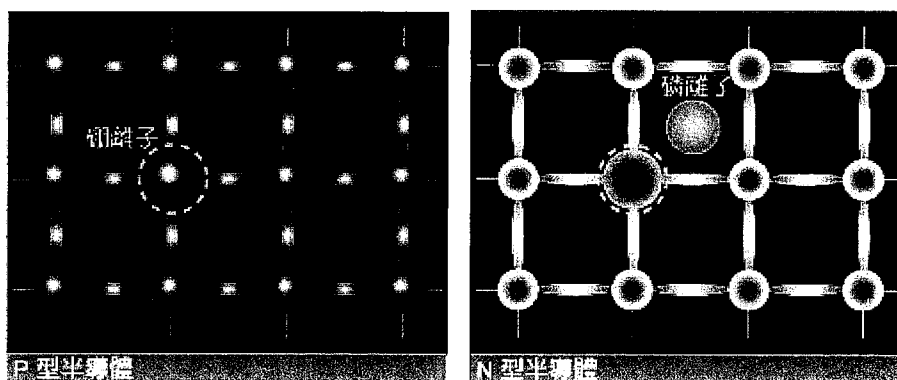
多數載子：N 型半導體中，自由電子的濃度大於電洞的濃度，稱為多數載子。

少數載子：N 型半導體中，電洞為少數載子。

施主原子：雜質原子可以提供電子，稱施主原子。

### (2) P 型半導體

在純淨的矽晶體中摻入三價元素（如硼），使之取代晶格中矽原子的位置，形成 P 型半導體。

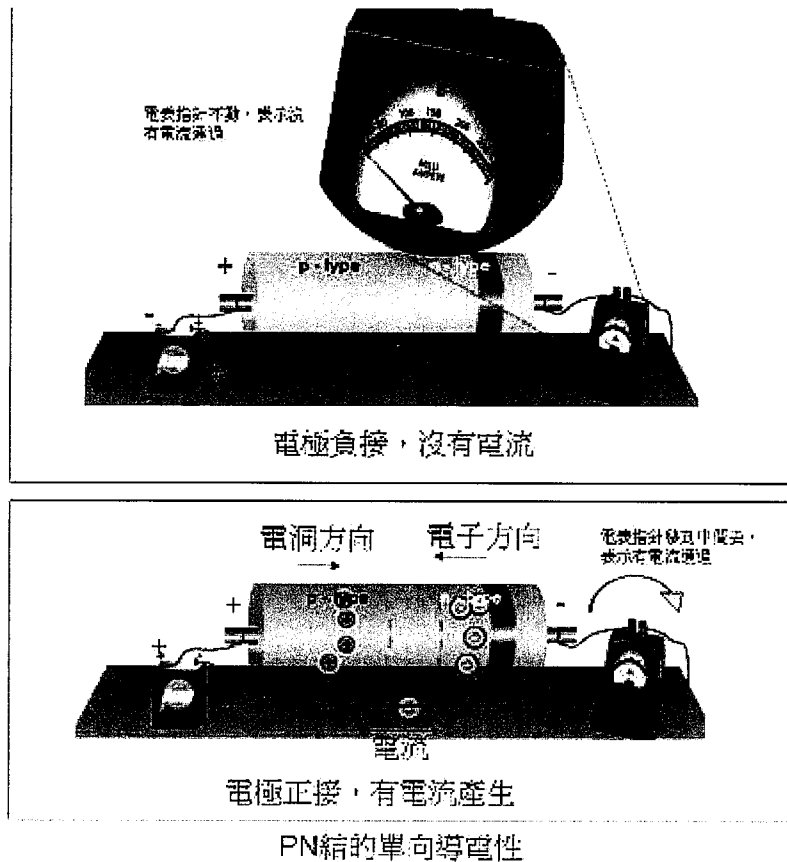


## (3) PN 結的形成



將P型半導體與N型半導體製作在同一塊矽片上，在它們的交界面就形成PN結。PN結是最簡單的半導體元件，常常用於教學，解釋半導體為何能夠計算。

PN結的特點：PN結具有單向導電性，像一個單行道上的柵欄，當它開啟的時候，可以讓電流單向通過。



#### 四、半導體晶片的誕生過程

工程師是怎樣把「地上的沙子」和「讓電腦飛快運算的半導體晶片」連起來的呢？沙子又是怎樣搖身一變，成為有眼睛的數位相機晶片或是金頭腦計算機晶片的呢？

從半導體晶片的功能設計開始，經過幾百道繁複的製造程序，把設計的線路縮小製作在晶圓上。有些晶片小得和一粒沙一樣，從一片晶圓，可以切出幾百到上萬顆晶片。把這些精緻又脆弱的晶片，裝上線路接腳，並且各別保護包裝起來，最後經過品管測試，證實晶片的功能正常，才算完成一顆半導體晶片，可以把它安裝在電子裝置裡。

在台灣，這樣的晶片製造過程，至少經過八種不同的公司(設計、光罩、晶圓、製造、設備、化學材料、封裝、測試)才能完成。



主辦『創新科技種子營』的應用材料公司，是全世界最大的半導體設備製造商。

## 五、摩爾定律

你知道 IC 為什麼可以讓電子產品大量普及嗎？那是因為「摩爾定律」。

摩爾定律是英特爾公司協同創辦人摩爾在 1966 年的一篇論文裡提出的。

摩爾觀察到，從 1958 到 1966 年，晶片上的電晶體數量每年都比前一年增加一倍，他當時大膽預測，這個趨勢應該會持續至少 10 年以上。

這個觀察出奇的準確。雖然摩爾本人曾經修正為「電晶體數量每兩年增加一倍」，最後，被大家普遍接受的週期是「每一年半增加一倍」。

不要小看這增加一倍的威力喔！

把一張只有 0.001 公分厚的白紙對折 26 次之後，這張紙的高度是 671 公尺，比台北 101 大樓(508 公尺)還要高！)，但這個「週期性倍增」的概念和事實，卻深深的影響了所有人的生活。

摩爾定律最具威力的地方是：當 IC 的性能倍增時，成本卻維持不變。

比方說：在 1958 年全世界第一顆 IC 晶片只有 4 顆電晶體，賣價為 150 美元。今天，一顆 IC 晶片上面有 10 億顆電晶體，賣價還不到 150 美元。這就是現在數位相機、手機、PC 這些產品功能，進步得這麼快，價格下降也這麼快的原因喔！