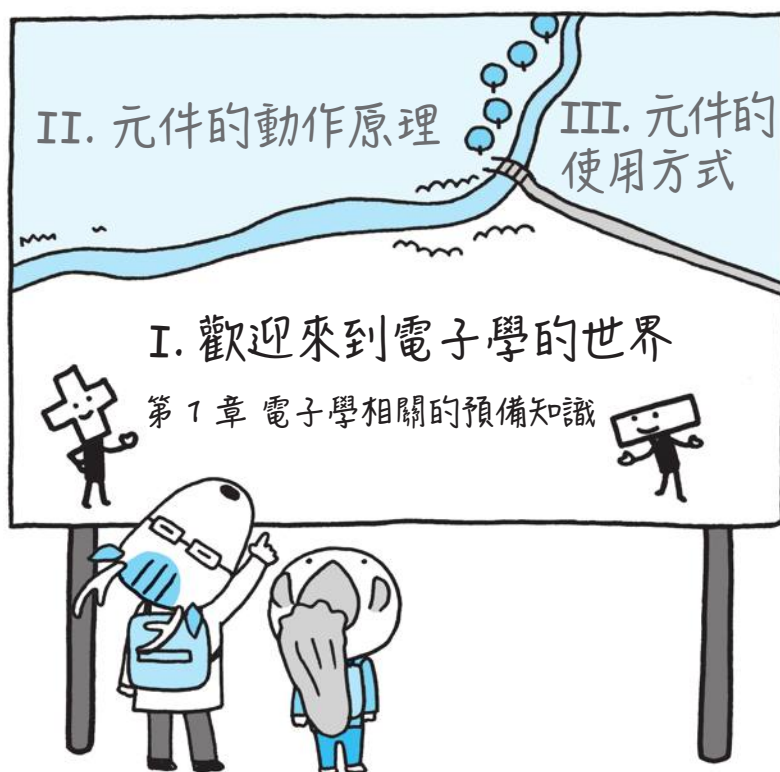


第 1 章

電子學相關的預備知識



微觀世界中的「電子」具有相當神奇的性質。在本章，會介紹這些神奇的電子性質。

1-1 ▶ 什麼是半導體？

～導體、絕緣體、半導體～「半」是什麼意思？

能夠通電的物質為**導體** (conductor)，不能通電的物質為**絕緣體** (insulator)，而電子电路使用的主要材料，是稱為**半導體** (semiconductor) 的物質。如同其名，只有一「半」為「導體」。

如圖 1.1.1，導體能夠流通電流、半導體僅能稍微流通電流，而絕緣體沒有流通電流。

那麼，具體來說，能夠流通多少電流的為導體、不能流通多少電流的為半導體呢？嚴格來講沒有絕對的答案。圖 1.1.2 為各種物質的電阻率（長 1 m、表面積 1 m² 的電阻值），但這僅是大致區別導體、半導體、絕緣體的指標，實際上並非以電阻率來分類。

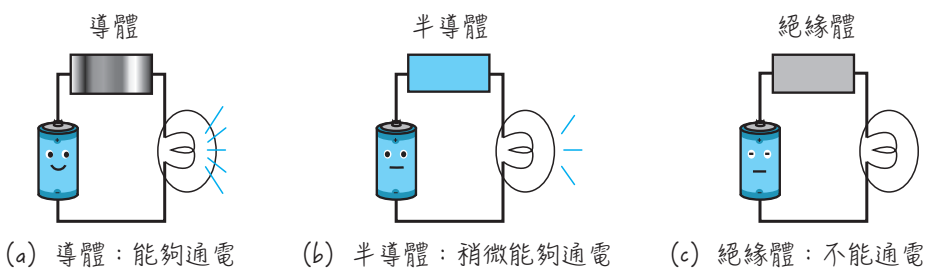


圖 1.1.1：試著通電……

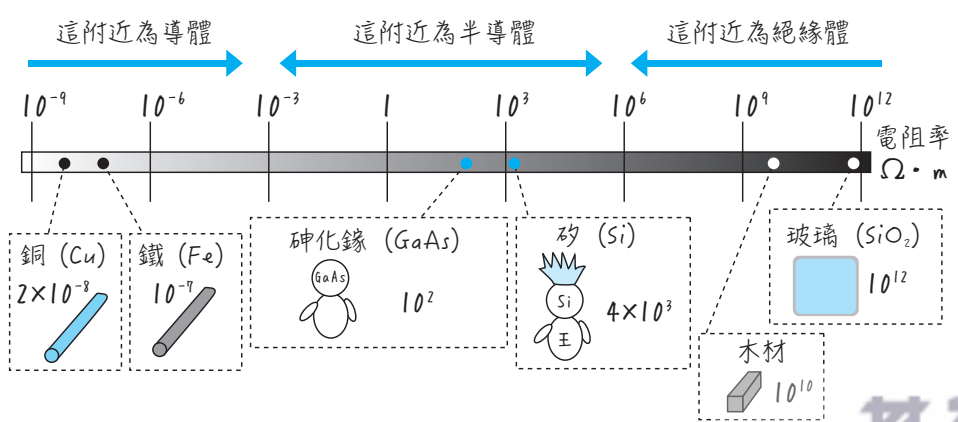


圖 1.1.2：物質的電阻率

1-2 ▶ 原子的結構

～帶正電的原子核與帶負電的電子～

所有物質，都是由無法再分解的最小單位**原子**（atom）所構成。物質的性質是由微觀世界中的原子性質複雜交錯，顯現為我們巨觀世界中的現象。這節先來介紹原子的結構。

圖 1.2.1 為碳的原子結構，但並非代表實際的形狀。原子是存在於微觀世界的物體，結構相當複雜奇異，這邊僅介紹基本的構成要素，瞭解原子中存在什麼東西。

原子的中心有著稱為**原子核**（atomic nucleus）的沉重中心部分，原子核是由帶正電荷的**質子**（proton），和不帶電荷的**中子**（neutron）所組成。

目前已經確認 100 種以上的原子，以質子數為原子序來分類。比如，圖 1.2.1 的碳原子有 6 個質子，所以原子序為 6。原子核聚集了正電荷的質子，相同符號的電荷照理來說會相互排斥，但中子將質子們結合在一塊。

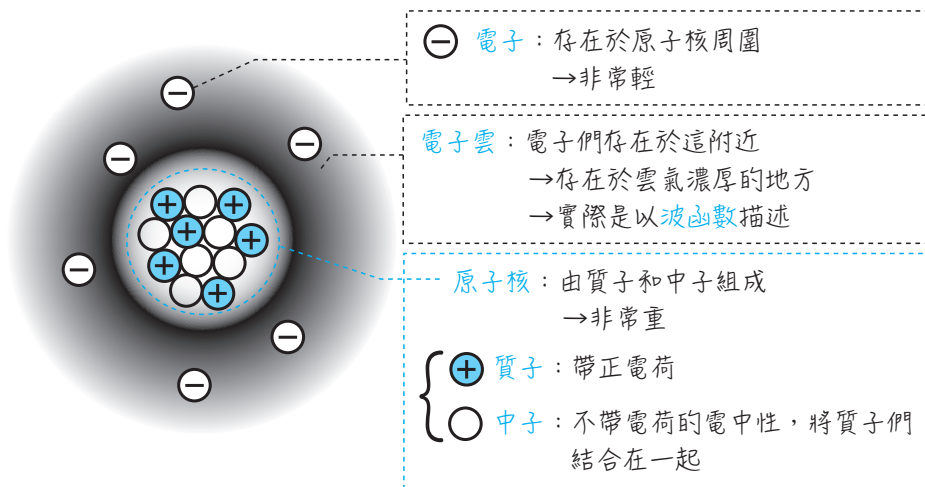


圖 1.2.1：原子序 6 的碳原子 C 結構（僅為示意圖）

中子會以非常強大的力量聚集成一個原子核。最先證明這件事的人是，獲頒諾貝爾物理獎的湯川秀樹博士。

接著是**電子** (electron)，它們會在原子核周圍徘徊飛躍。存在於哪裡？是怎麼運動？電子過於渺小難以觀測，因此會以**電子雲** (electron cloud) 的雲氣形式來描述。等到後面學到量子力學的**波函數** (wave function)，就能清楚理解如何觀測如被雲氣包圍的神奇電子。現在可先想成「就是那樣的東西」。

每個電子帶有 $-e = -1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ 的電荷；每個質子帶有 $+e = +1.602 \times 10^{-19} \text{C}$ 的電荷。電子和質子的電荷大小相同，僅正負號不一樣。原子中的質子數和電子數相同，如圖 1.2.3 整個原子會是不帶正負電的電中性。另外，中子數未必等於質子數。雖然中子與電荷量無關，但會影響原子的重量。

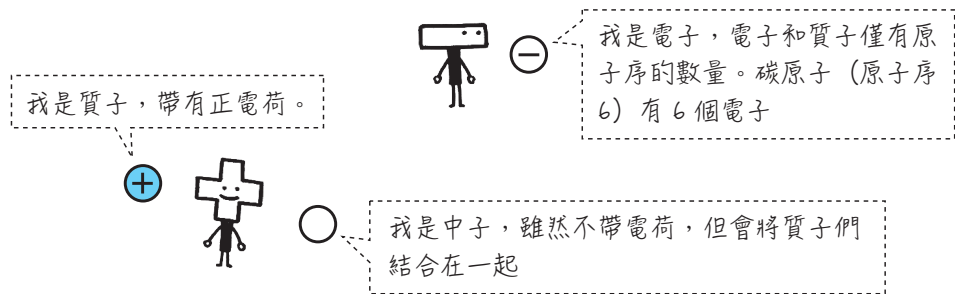


圖 1.2.2：原子的構成成員

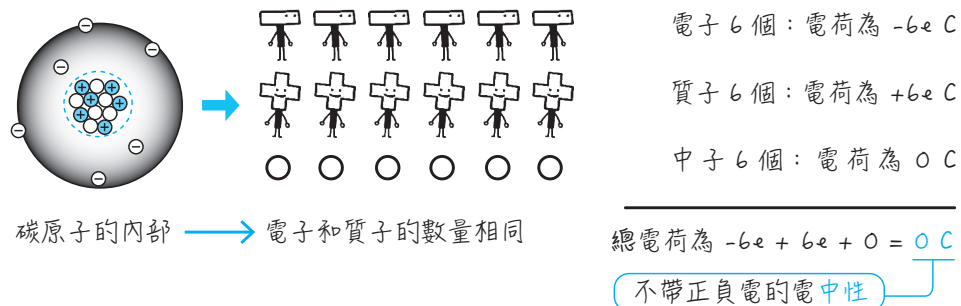


圖 1.2.3：整個原子會是電中性

2-2 ▶ n 型半導體的形成方式

～由施體獲得 1 個電子～



▶ 【n 型半導體】

由施體獲得電子，以電子作為載體導通電力。

注入本質半導體的物質，稱為**雜質**（impurity）。製作 n 型半導體時，帶有負電荷的雜質為**施體**。下面來說明其名稱的由來。

先來看未含雜質本質半導體的晶體結構。圖 2.2.1 為矽晶體形成方式的簡易示意圖。如 1-9 的說明，實際上是鑽石結構，但這邊以圓 ● 表示電子、以一條粗線 — 表示鍵結。圖 2.2.1 (a) 為矽使用 4 個^{*1} 電子鍵結的情況，圖 2.2.1 (b) 為連接許多鍵結形成結晶的情況^{*2}。

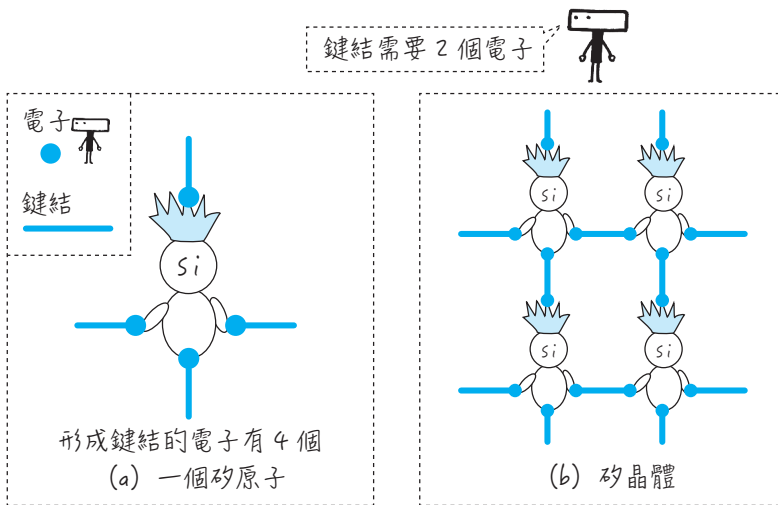


圖 2.2.1：矽形成方式的示意圖

*1 3s 軌域、3p 軌域上共有 4 個電子。

*2 實際上是鑽石結構，圖 2.2.1 (b) 為簡易的鍵結示意圖。

在圖 2.2.1 (b)，所有電子都發揮了鍵結的功能，沒辦法移動來導通電力。這是本質半導體幾乎不通電的理由。

在如圖 2.2.1 的本質半導體中，試著摻雜電子數多出 1 個的磷 (P：原子序 15)。由於磷比矽多出 1 個電子，能夠形成鍵結的電子也多一個，可形成 5 個鍵結 (圖 2.2.2 (a))。在矽晶體中摻雜少許磷的話，如圖 2.2.2 (b) 磷的位置會多出 1 個電子。多出來的電子可在晶體中自由移動，發揮導通電力的功能。

如圖 2.2.2 的磷，提供本質半導體電子的物質，稱為**施體** (donor：提供者)。內臟移植時，提供臟器的捐贈者也稱為 donor。作為施體的磷摻雜前為電中性，但提供電子後，本身會變成帶正電。另外，如圖 2.2.2，電子在半導體中扮演導通電力的角色，稱為**載體** (carrier：搬運者)。**n 型半導體的載體是電子**。

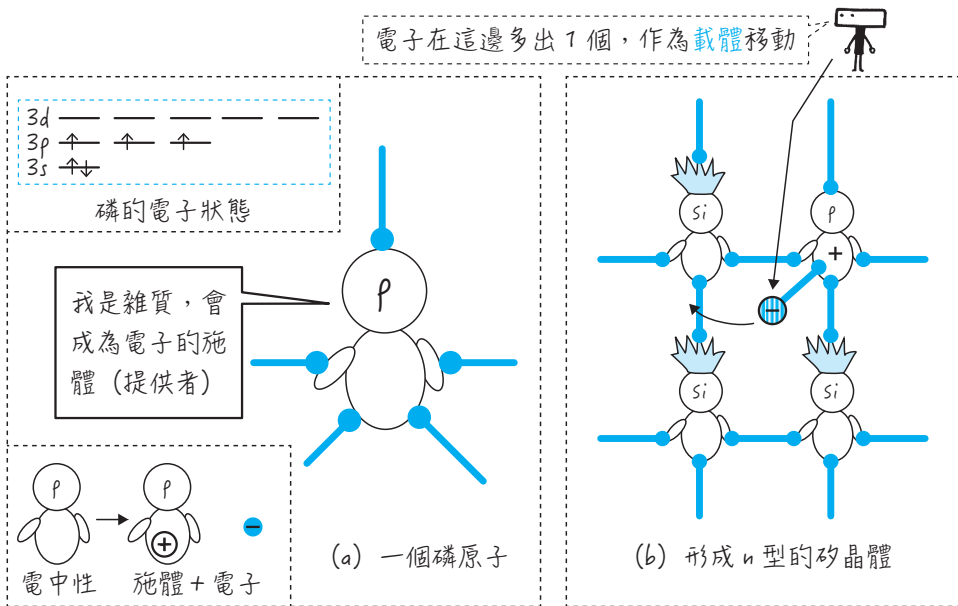


圖 2.2.2：n 型半導體 (矽+磷) 形成方式的示意圖

2-7 ▶ pn 接合的能帶結構

～基礎最不好學～



▶【在 pn 接合】

p 型和 n 型的費米能階一樣。

這節試以能帶結構說明二極體的 pn 接合原理。理解這一節後，後面就能輕鬆閱讀喔！

圖 2.7.1 (a) 為二極體的實物，(b) 表示其能帶結構。p 型半導體的受體能階緊接在價帶上方，由價帶最上方提供電洞（正孔），所以電洞為載體。另一方面，n 型半導體的施體能階緊接在導帶下方，由導帶最下方提供電子，所以電子為載體。兩種半導體接合在一塊時，兩者的費米能階會如 (b) 的右圖對齊接合^{*1}，其他能階也會上下接合起來。在出現空乏區的地方，除了費米能階之外，其他能階都會彎曲。

接著說明為何因為這樣的能帶結構，使得二極體在一般狀態下無法形成電流。圖 2.7.2 是 n 型半導體的載體電子沒辦法移動到左側的示意圖。原本能夠自由移動的載體電子，由於 p 型半導體的導帶能量高，感覺像是在 pn 接合面碰到無法跨越的高牆。除非從外部給予跨越該差距的能量，否則 n 型半導體的載體無法移動到左側。

電洞也是相同的情況。在圖 2.7.3，想要 p 型半導體的載體電洞移動到右側的話，n 型半導體的價帶電子必須跟電洞交換移動到左側。然而，價帶電子無法跨越能量差移動往左移動，電洞也就無法往右移動。

*1 費米能階是大量電子從能量低的能階填入時，表示填入電子和未填入電子之間的能量狀態。想要改變費米能階的位置，必須從外部給予能量才行。相反地，未從外部獲得能量的話，則電子處於穩定狀態，費米能階不受位置影響為固定值。就像湖泊水面，儘管底部的深度不同（不受風、月球引力影響的話），感覺湖面位於相同高度。

無論是 n 型半導體還是 p 型半導體，載體都能往自由的方向移動。但是，以 pn 接合組成的二極體，載體能夠移動的方向受到限制。這是後面 2-8 整流作用的基礎現象。

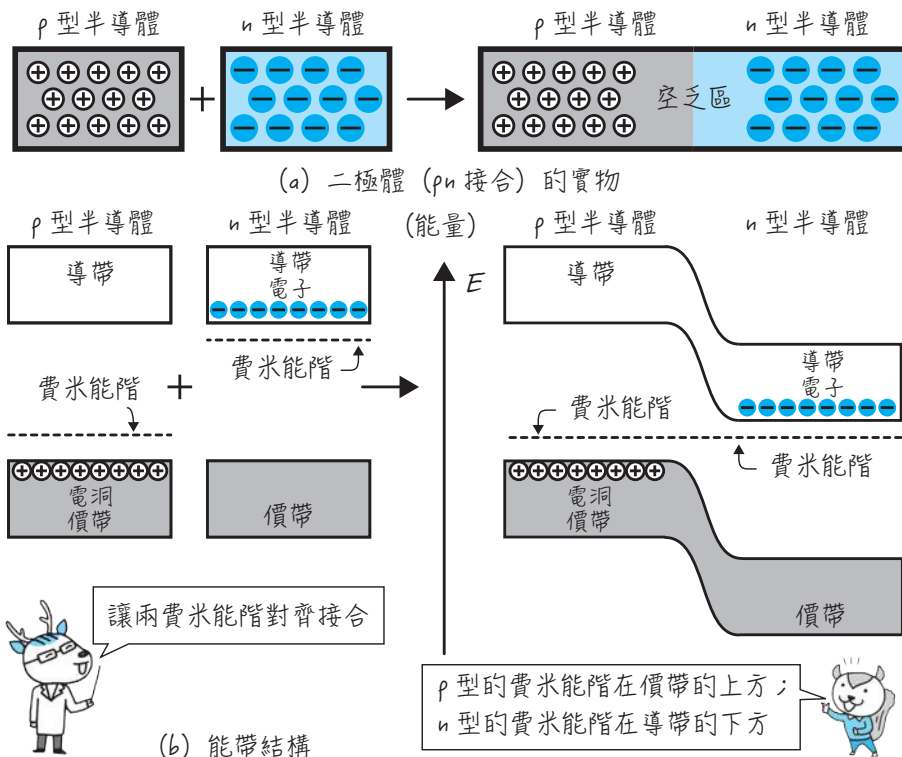


圖 2.7.1 : pn 接合的實物與能帶結構

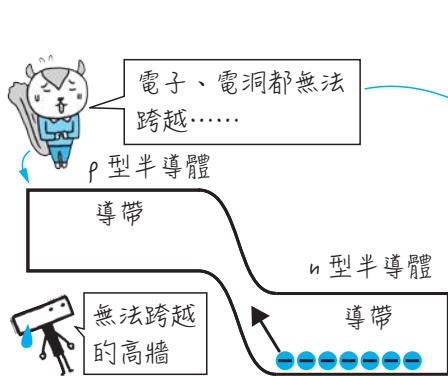


圖 2.7.2 : 電子的心情

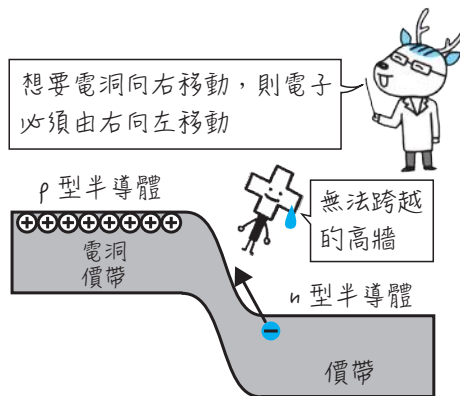
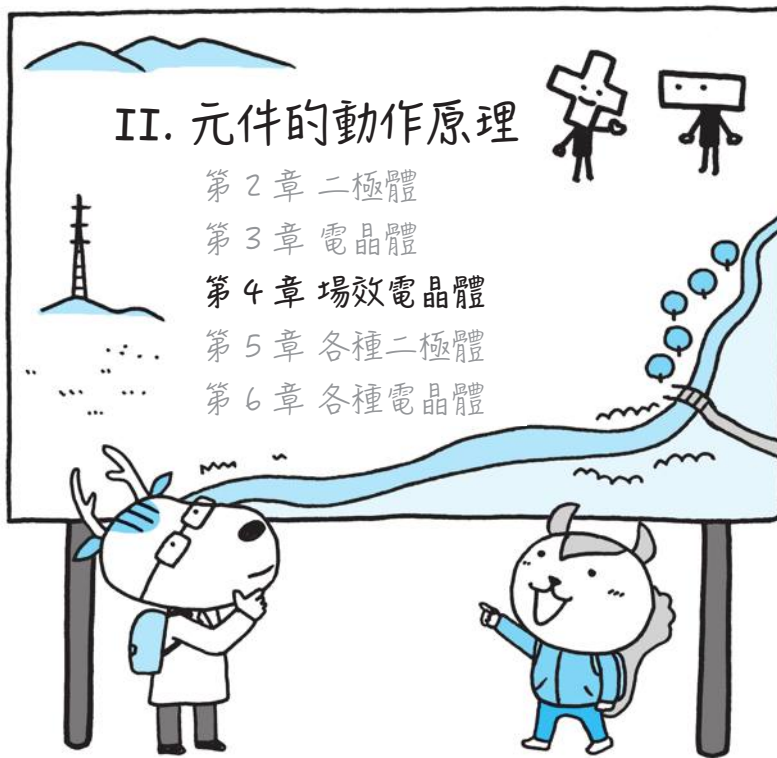


圖 2.7.3 : 電洞的心情

第 4 章

場效電晶體



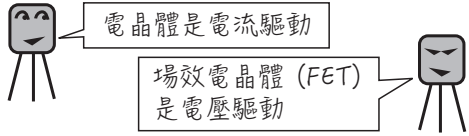
場效電晶體的外觀跟電晶體相似，但內部構造完全不同。為了方便設計電子電路，會作成「電壓驅動」元件。

4-1 ▶ 電流驅動與電壓驅動

～來自電路業者的要求～

【電流驅動與電壓驅動】

- 電晶體是電流驅動。
- 場效電晶體是電壓驅動。



前面所學的電晶體，是輸入電流動作的**電流驅動**（current drive）元件。在基極與射極之間的pn接合通入順向電流，形成對應的放大集極電流。圖4.1.1為電晶體主要功能的示意圖。以安培計檢測麥克風流出的電流，透過揚聲器發出對應電流的輸出。實際上，如圖3.7.1的等效電路，電晶體的輸出會表示成輸入電流 h_{fe} 倍的電流源。

然而，對電路設計者來說，電流驅動的元件出現了一點問題。比如圖4.1.2麥克風等輸入裝置，流通愈多電流，輸出電壓會愈小，變得無法正確傳遞訊號。正確來說，如圖4.1.2右側的等效電路，麥克風會換成具有電源、內部阻抗 Z_i 〔 Ω 〕像電池一般的電路。流通電流 i 〔A〕時， Z_i 〔 Ω 〕會發生電壓下降，使得麥克風的輸出電壓 v 〔V〕跟著減少。因此，電路設計者需要的是，不流通電流、根據電壓放大的**電壓驅動**（voltage drive）元件。

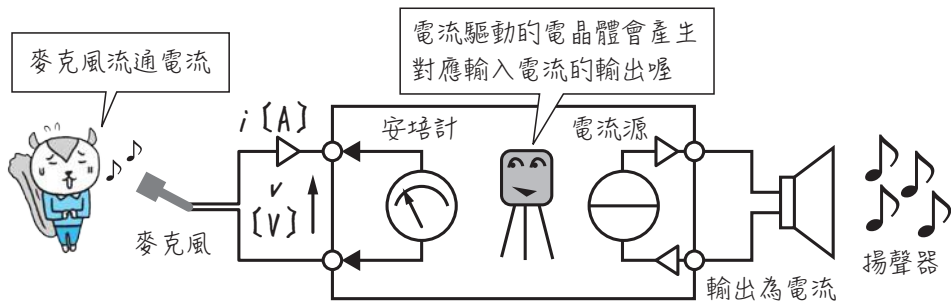
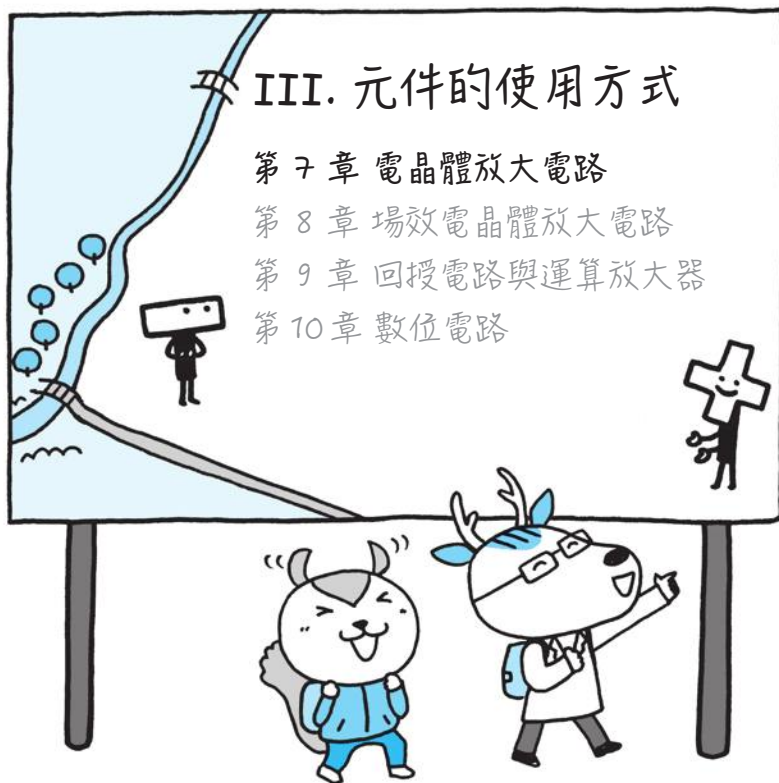


圖 4.1.1：電晶體是電流驅動（示意圖）

第 7 章

電晶體放大電路



電晶體具有「放大作用」，是非常好用、用途廣泛的元件。建議可一面複習第 3 章的電晶體性質，一面來閱讀本章。

7-1 ▶ 訊號與電源

～區別交流與直流吧～



【訊號與電源】

訊號為交流，電源為直流。

在電子學世界，訊號和電源經常分開來處理。

約定俗成**訊號為交流**、**電源為直流**。如圖 7.1.1 (a)，麥克風發出的聲音訊號，是隨時間強弱變化的電力，所以分類為「交流」。而如圖 7.1.1 (b) 的電池，供給電源的裝置總是給予固定電力，所以分類為「直流」。使用半導體放大訊號時，會供給半導體直流電。

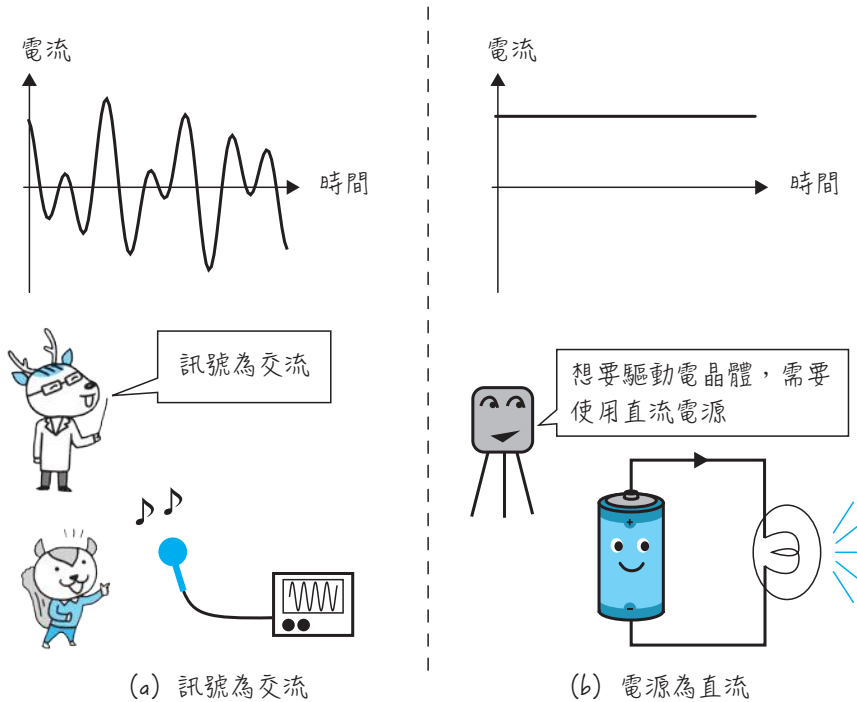


圖 7.1.1：訊號為交流，電源為直流