

# 半導體工程講義

## 第一回

502170-1



社團  
法人  
考  
試  
證  
照  
考  
試  
升  
學  
考  
試  
檢  
定  
考  
試

考  
友  
社

出版  
發行  
考  
試  
證  
照  
考  
試  
升  
學  
考  
試  
檢  
定  
考  
試

# 第一講 電子與空穴

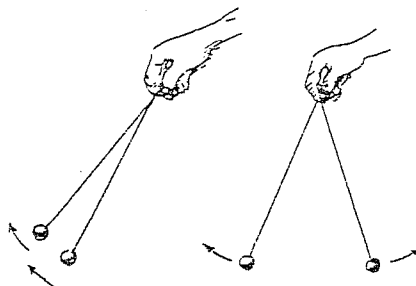
## ◎ 命 題 重 點 ◎

異於銅線等，半導體是不完全的導體，用來取代絕緣物又有漏電之虞，高不成低不就的物質却成時代的新秀。想來真是奇妙的物質，電阻因溫度而顯著變化，照射光就易通電流，金屬並無此種性質，接觸金屬時有整流作用。更有趣的是可通正、負兩種電流，分為P型與N型，此性質產生電晶體，使真空管退出電子世界。

### 一、能帶與能級距離

#### (一)、氫與鑽石

大致可說電子繞著質子轉就是氫原子。這是周期運動，這點類似單擺。2個氫原子靠攏時，兩個電子開始相互作用，全系呈複擺狀況。複擺有2種振動模式，第1模式是兩錘並列靜擺，第2模式是兩錘相撞。相撞模式的振動數高於靜擺模式的振動數，亦即處於高能級。2個氫原子欲結合形成安定的氫分子時，須成對應於複擺靜擺模式的狀態，其能級較低。低能級模式稱為結合模，高能級模稱為反結合模。圖1-1把二氫原子系的能量表成原子間距離的函數。遠離處無結合、反結合的區別。獨立的氫原子



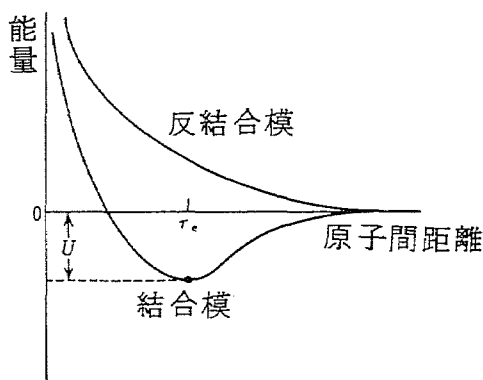


圖 1-1 氫分子的結合、反結合模  
圖中  $U$  為解離分子所必要的能量， $r_e$  為形成分子時的原子間距離

只有 2 個，接近某種程度，發生相互作用，才起複合化，能級在此分裂為二，更接近的話，造成電子間反斥，能量驟升，形成分子時的原子間距離對應於結合模的最低值，在可不計相互作用的距離，電子在各原子內處於  $1s$  狀態。

氫原子只有 1 個價電子，因而，1 對氫原子形成分子的話，即是完成結合。亦即形成  $H_2$  即告一段落，不可能有  $H_3$ 、 $H_4$  等存在。但是 IV 族的碳原子有 4 個價電子，其配位為  $(2s)^2(2p)^2$ ， $2s$  能級稍低於  $2p$  能級。碳原子間結合的機構與氫原子的結合同為共價鍵，只價電子數不同，各原子為尋求相鄰的 4 個碳原子，結合無限延長，巨大鑽石單結晶即如此產生。在此討論結合電子的能級，碳原子孤立時， $2s$  能級和  $2p$  能級各擁 2 個電子。另一方面，附屬這些能級的“狀態”數各有 2 個和 6 個，更嚴格地說， $2s$  能級有 1 對， $2p$  能級有 3 對狀態。每一對又分為結合與反結合，分開的原因在碳原子接近所致的相互作用，結果，每 4 個（1 個  $2s$  和 3 個  $2p$  狀態）狀態各成一團，形成結合能級與反結合能級。當然，結合能級有低能量，反結合能級有高能量。電子流往低能級，所以 4 個電子全穩定於結合能級。此時因有 4 個

狀態，狀態全由電子填滿。另一方面，反結合能級也有 4 個狀態，無電子來到此處，全為空席。若鑽石結晶擁有總數  $N$  個碳原子，則價電子總數為  $4N$  個。結合、反結合的狀態數也同樣成  $4N$  個，亦即規模全成  $N$  倍，此時，能級脹起，宜稱為能帶 (energy band)，圖 1-2 示此情形，結合帶稱為價電子帶、反結合帶稱為

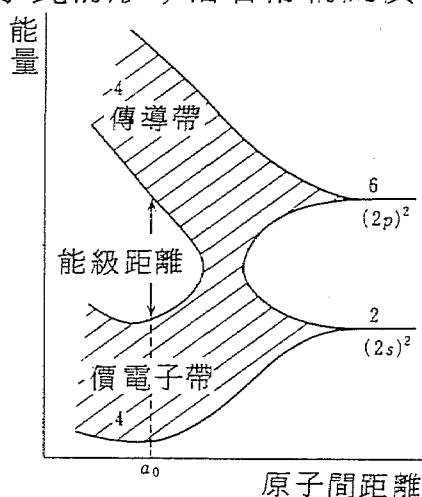


圖 1-2 鑽石的能帶形成

孤立碳原子的  $2s$  能級是 2 個電子與 2 個狀態對應， $2p$  能級是 2 個電子與 6 個狀態對應

為傳導帶，形成安定的鑽石晶格時，價電子帶上端與傳導帶下端之間有約  $5.3\text{eV}$  的能級距離 (energy gap)，此時最接近的碳原子間隔為  $1.548\text{\AA}$ 。 $5.3\text{eV}$  的能級距離又稱禁止帶，拒絕電子進入，圖 1-3 為如此形成的鑽石結晶結構。

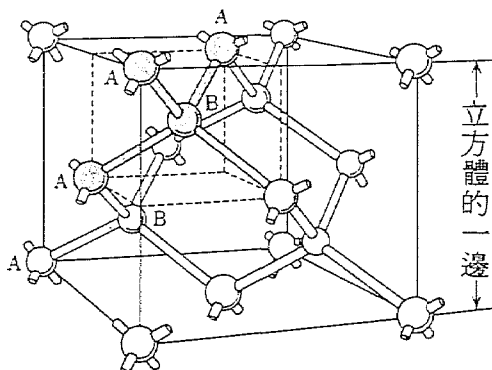


圖 1-3 形成鑽石結晶的碳原子配列  
相鄰原子 A、B 不是同等位置

## (二)、矽、鍺、化合物半導體

在周期表ⅣB族有C、Si、Ge排成一縱列，它們性質酷似，都形成鑽石型晶格。參與結合的價電子系在矽為 $(3s)^2(3p)^2$ ，在鍺為 $(4s)^2(4p)^2$ 。構成結晶時，能級距離在Si為1.1 eV，在鍺約0.7 eV，隨溫度而稍有變化。比起鑽石，矽的能級距離約1/5，鍺約1/8。能級距離大者為絕緣體，小者為半導體，兩者間無明確的分界，不過若把鑽石當成半導體就令人猶疑。

半導體不限於Ⅳ族元素，除了Ⅵ族單體、Se、Te外，還有CdS、PbS等化合物半導體。近年，GaAs、InP等Ⅲ-V族及它們的混晶為新時代的半導體。在此以矽、鍺為對象，敘述其基本性質。

任何半導體的低電子帶都由電子填滿，一個電子離席的話，其他電子不得不頂替，如此就無法通電流。反之傳導帶全空著，電子飛入其中即可自由移動，亦即發生電傳導，故稱傳導帶。欲從價電子帶供給參與傳導的電子時，能級距離愈小愈好。以熱或光的形式提供少許能量，即可把電子從價電子帶提升到傳導帶，發生電流。只將結晶置於室溫，就會使若干價電子上升到傳導帶。欲切斷一切的能量供應時，光固不待言，周圍溫度也須成絕對零度（0K）。此時，傳導帶無電子，價電子帶却座無虛席而動彈不得。因而，半導體不傳電流，無異於絕緣體。高純度矽在室溫有 $10k\ \Omega\ \text{cm}$ ，鍺有約 $50\ \Omega\ \text{cm}$ 的電阻係數。絕對零度時，電阻係數都理應無限大，實際却非如此，這是受有限量殘留不純物的影響。

## (三)、正與負的載流子

升到傳導帶的電子可算是自由，但不表示可脫出結晶。與真