

科學圖書大庫

自修電子學課程(三)

半導體元件

譯者 洪欽銘

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

自修電子學課程(三)

半導體元件

譯者 洪欽銘

徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會
監修人 徐銘信 發行人 王洪鎧

科學圖書大庫



版權所有

不許翻印

中華民國六十八年三月二十七日初版

自修電子學課程(三)

半導體元件

基本定價 5.40

譯者 洪欽銘 台北市私十信工商職校教師

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱53-2號 電話 7813686號
發行者 臺北市徐氏基金會 郵政劃撥賬戶第15795號
承印者 大原彩色印製企業有限公司 台北市西園路2段396巷19號
電話：3611986・3813998

譯 序

近來來我國電子工業快速成長，因此所需各級電子專業人員亦大幅度增加。

爲了供應所需之人才，政府除了在各大專院校及高工職校普遍設立電子工程科系外，並在各工業區附近成立職訓中心，招收社會青年，施予短期電子專業技能訓練，使其成爲電子專業人才。

電子科學之進步日逾千里，作爲一電子從業人員，爲了充實自己，必須隨時追求新知，有鑑於此，敝人不揣愚鈍修譯本書，但盼能有助於追求新知者。

本書共分十章，書中內容以半導體元件爲主，舉凡各種二極體，電晶體，場效電晶體，閘流體，光電元件及積體電路均在介紹之列。

本書之特點爲三：

1. 講解極爲淺易，並未涉及深澁之原理。讀者易於吸收。
2. 每章均有測驗題，測驗題後並附題解，可加深讀者之了解程度。
3. 除了理論之講解外，並配合各種實驗。

洪欽銘

Am 6/15

目 錄

譯 序

單元一 半導體基礎

一、引言.....	1
二、單元目標.....	1
三、單元操作指示.....	1
四、半導體的重要性.....	2
五、半導體材料.....	5
六、鎢與矽的原子與晶體.....	6
七、本質鎢與矽的導電.....	9
八、摻雜鎢與矽的導電.....	12
九、計畫單元摘要.....	15
十、單元測驗.....	16

單元二 半導體二極體

一、引言.....	20
二、單元目標.....	20
三、單元操作指示.....	20
四、P N接面.....	21
五、二極體偏壓.....	24
六、二極體特性.....	88
七、實驗 1 —— 半導體二極體的特性.....	34
八、二極體的結構.....	38
九、實驗 2 —— 測試半導體二極體.....	41
十、二極體的應用.....	44
十一、單元摘要.....	56

十二、單元測驗.....	47
--------------	----

單元三 會納二極體

一、引言.....	52
二、單元目標.....	52
三、單元操作指示.....	52
四、增納二極體特性.....	53
五、增納二極體的功率消耗.....	55
六、增納二極體的電流限制.....	57
七、溫度對增納電壓的影響.....	57
八、溫度補償增納二極體.....	58
九、增納二極體的阻抗.....	59
十、增納二極體的包裝.....	60
十一、使用增納二極體的電壓穩定.....	60
十二、實驗 3 —— 增納二極體.....	65
十三、單元摘要.....	70
十四、單元測驗.....	71

單元四 特殊用途的半導體二極體

一、引言.....	75
二、單元目標.....	95
三、單元操作指示.....	75
四、隧道二極體.....	76
五、變容二極體.....	80
六、高頻二極體.....	84
七、單元摘要.....	88
八、單元測驗.....	90

單元五 極性電晶體的作用

一、引言	93
二、單元目標	93
三、單元操作指示	93
四、PNP與NPN組態	94
五、電晶體的結構	95
六、電晶體的工作	99
七、電晶體的放大作用	102
八、電晶體電路的排列	105
九、測試雙極性電晶體	109
十、實驗4——測試雙極性電晶體	113
十一、單元摘要	116
十二、單元測驗	119

單元六 雙極性電晶體特性

一、引言	122
二、單元目標	122
三、單元操作指示	122
四、共基極電路特性	123
五、共射極電路特性	128
六、實驗5——集一射極電晶體特性	134
七、共集極電路特性	139
八、電晶體的最大額定值	142
九、單元摘要	144
十、單元測驗	145

單元七 場效電晶體(FET)

一、引言	149
二、單元目標	149
三、單元操作指示	149
四、接面場效電晶體(FET)	150
五、實驗6——接面場效電晶體的特性	156

六、絕緣閘場效電晶體(IGFET)

七、實驗7——絕緣閘場效電晶體的特性	162
八、場效電晶體電路的排列	175
九、單元摘要	178
十、單元測驗	179

單元八 閘流體

一、引言	183
二、單元目標	183
三、單元操作指示	184
四、矽控整流器(SCR)	184
五、實驗8——SCR特性	192
六、雙向三極閘流體	197
七、雙向觸發二極體	202
八、單接面電晶體(UJT)	205
九、實驗9——UJT特性	214
十、單元摘要	219
十一、單元測驗	219

單元九 積體電路(IC)

一、引言	223
二、單元目標	223
三、單元操作指示	224
四、IC的重要性	224
五、IC的基本結構	227
六、IC的應用	240
七、單元摘要	246
八、單元測驗	247

單元十 光電元件

一、引言	250
二、單元目標	250
三、單元操作指示	251

四、光的基本原理.....	251	八、實驗 11 —— L E D 特性	280
五、光敏元件	256	九、單元摘要	288
六、實驗 10 —— 光電晶體的 特性	267	十、單元測驗	284
七、光射元件	271		

單元一 半導體基礎

一、引言

在半導體基礎這個單元裏，你將學習“如何”及“為何”半導體被使用在電子上，你將檢驗各種形式的半導體材料同時研究其電的特性。

這個單元裏所提出的知識非常地重要，因為它構成基本的根基，在這個根基上，最後你將建立起你對半導體元件的知識。

密切地查看“單元目標”，由此你將確實知道在這個單元你可獲得什麼，然後小心地隨著在“單元操作指示”內的指示操作，以便確定你執行了“要成功地完成這個單元”所需的每一步驟。

當你執行在單元操作指示內的每一步驟時，在相關的方格中予以劃掉，如此，當你在進行時，可以熟悉你的工作。

空格已準備好，因此你能很方便地記錄，你花在每一指示的時間。

二、單元目標

當你完成半導體基礎的這個單元，你將能夠作到以下幾點：

1. 說出三種常見的半導體元件名稱。
2. 描述在電子設備上半導體的基本作用。
3. 描述被歸類為半導體材料的電機特性。
4. 說出兩種使用最普遍的半導體材料名稱。
5. 說明本質與摻雜半導體間的差異。
6. 定義名詞“電洞”。
7. 說明電流如何流過本質與摻雜半導體。
8. 說出五種半導體元件的優點。

三、單元操作指示

完成時間

- ☐ 閱讀 四、半導體的重要性
- ☐ 解答“自我復習測驗”問題 1-12

- ☐ 閱讀五、半導體材料 _____
- ☐ 解答“自我復習測驗”問題13-16 _____
- ☐ 閱讀六、鎢與矽的原子與晶體 _____
- ☐ 解答“自我復習測驗”問題17-28 _____
- ☐ 閱讀七、本質鎢與矽之導電 _____
- ☐ 解答“自我復習測驗”問題29-38 _____
- ☐ 閱讀八、摻雜鎢與矽之導電 _____
- ☐ 解答“自我復習測驗”問題39-47 _____
- ☐ 完成九、單元程序摘要 _____
- ☐ 完成十、單元最後測驗 _____
- ☐ 核對測驗答案 _____
- ☐ 開始下一單元 _____

四、半導體的重要性

半導體主要是作為電子零件的基本材料，這些半導體零件不斷地被用來組成電子電路與設備，三種最常用的半導體元件是二極體、電晶體以及積體電路，不過其他特殊的零件也是有用的。

電子設備中的半導體元件主要的作用是控制電壓或電流，在此種方式下可得到預期的效果，例如，二極體能作為整流器，將交流電變為脈衝直流電（pulsating dc），電晶體能作為可變電阻以改變元件中的電流，積體電路能用來放大與解調無線電信號（radio signal），所有的這些元件皆由被稱為半導體的特殊材料所製成。

半導體元件是體積小重量輕的零件，它消耗極少量的功率同時又具效率與高信賴度。

曾經被廣泛使用在各種電子設備上的真空管，如今幾乎已完全被更新更好的半導體元件所取代，讓我們為這意味深長的變換——在電子設備上由使用真空管變為半導體元件——分析一些明確的理由。

A. 優點

由半導體材料製成的零件，通常被歸類為固態零件，因為它們是由固體材料所製成。

因為是固態結構，這些零件比由玻璃、金屬與陶瓷材料所製成的真空管更堅固耐用。由於堅固耐用，因此半導體元件可在極為危險環境情況下工作。堅固耐用的特性保證了固態元件的高信賴度。

固態結構也免除了在所有真空管中所需的燈絲或加熱器，如此意指使燈絲工作所需的額外功率可省掉同時零件的工作溫度較低且較有效率。

由於免除了燈絲，因此困擾的主要來源也避免了。（此乃由於燈絲一般均有一有限的生命期）。

省略了燈絲也意指元件在正常工作前的加溫時間並不需要，換句話說，固態元件在接上電源之瞬間即可工作。

固態零件能工作於非常低的電壓（在1伏與25伏間），而真空管通常需要100伏以上的工作電壓，如此意指固態零件所使用的電源通常比真空管小，因此，更適合使用於由電池取得電源的手提式電子設備。此外，工作於低的電壓也比較安全。

袖珍型的收音機，手提式的計算機，以及電池工作的小型電視接收機，是使用高效率省電零件的典型例子。

固態零件的體積小使其適合使用於攜帶式的電子設備，縱使此型設備能由真空管所構成，但設備將會更大且更笨重。

一個典型的電晶體其高與寬僅是一吋的幾分之一，而相當工作能力的真空管可能有一吋以上的寬以及數吋的高，小的體積也意味著減低了重量。

固態元件也較相當作用的真空管便宜，固態元件的這個特性使其適合於大量製造，結果節省了大量費用，事實上，大量固態元件的製造能與單一元件的製造一樣容易，一樣快。

最奇妙的半導體元件是積體電路，這是一完整的電路，在此電路內的所有零件均用半導體材料組成，再置於一超小型包裝內，這個元件不但可取代個別的電路而且可取代設備的部份或全部的系統。

使用半導體材料製成的積體電路，使我們在電子設備的改進上跨了一大步。
所有的電子設備都從固態零件——特別是位於積體電路的發展——得到利益。

B. 缺點

雖然固態元件擁有許多超過曾被廣泛使用的真空管的優點，然而它們也具有一些先天的缺點。

首先，半導體元件對溫度的變化過於敏感，同時假如它們工作於極高溫將被燒燬。

為了穩定固態電路使其工作於一大範圍，常常需要附加一些零件。

一超過其功率消耗限制固態元件極易燒燬，同時也經常因正常的工作電壓被接反而燒燬，比較起來，真空管元件對溫度的變化或不正常的工作電壓較不敏感。

然而有一些地方半導體元件無法取代真空管，特別是在高功率，超高頻（300MHz ~ 3000MHz）的應用，不過，由於半導體技術的發展，這些限制將逐漸被克服。

雖然有剛提過的一些缺點，固態元件仍然是我們所能發現最有效率及高信賴度的元件。它們被使用在所有新的裝置設計上，同時這些元件在軍事上，工業上及消費上新的應用正不斷地被發現。

半導體材料不斷地用來製造新且較好的固態元件，幾乎可保證由於使用的技術不斷地精進，以低的價格得到優良的零件將是可能的。

半導體在電子設備的設計與應用上有深刻的影響，它們不但大量改進現有的設備與技

術，使其更好且更便宜，而且它們允許我們去作以前認為不可能的事。

半導體革新了電子工業而且還繼續顯示其更大的潛能，你在電子界的工作將經常涉及半導體元件。

小心地研究半導體基礎這個單元，你將從吸收的知識中獲利。

自我復習測驗

1. 由半導體材料所製成之元件，經常被歸類為_____元件。
2. 由半導體材料所製成之元件並不需要加熱時間。
 - a. 真
 - b. 假
3. 電晶體比真空管具信賴度且擁有一更長之生命期。
 - a. 真
 - b. 假
4. 由半導體製成的元件需要高的工作電壓。
 - a. 真
 - b. 假
5. 事實上，所有新型易攜帶且精密的電子設備都使用_____元件。
6. 半導體型的元件幾乎已完全取代了較老式的_____元件。
7. 由半導體製成的元件對溫度的變化過於敏感。
 - a. 真
 - b. 假
8. 利用半導體材料可設計一整個電路。
 - a. 真
 - b. 假
9. 列出四個半導體元件超過真空管的優點。
 - a. _____
 - b. _____
 - c. _____
 - d. _____
10. 三種最常用的半導體元件是_____, _____及_____。
11. 半導體元件最主要的作用是_____電路中的_____。
12. 最進步，複雜且奇妙的固態元件是_____。

答案

1. 固態 2. a. 真 3. a. 真 4. b. 假 5. 半導體或固態
 6. 真空管 7. a. 真 8. a. 真 (積體電路) 9. a. 價廉
 b. 低功率消耗 c. 體積小重量輕 d. 堅固且高信賴度
 10. 二極點, 電晶體, 積體電路 11. 控制, 電壓或電流 12. 積體電路

五、半導體材料

半導體這一名詞, 是用來形容任一特性介於絕緣體與導體間的材料, 換句話說, 半導體無法如導體般輕易的通過電流, 也無法如絕緣體般有效的阻隔電流。

一些半導體材料是純元素, 可在元素的週期表中找到, 而其它半導體則被歸類為化合物, 半導體材料的典型例子是碳, 鎢及矽元素。

適合各種電子設備的半導體是鎢與矽, 鎢是一種易碎且微帶灰白的地球元素, 於 1886 年被發現, 此材料能由碳的灰燼中取得, 為二氧化鎢粉末, 這個粉末然後再變成固態的純鎢。

矽是一種非金屬元素。被發現於 1823 年, 此材料在地球表面被廣泛地發現。一種白色有時是無色的二氧化矽 (或稱矽土) 被大量地發現, 例如沙子, 石英, 瑪瑙及打火石, 這些矽化合物能以化學方法製成固態的純矽。

這兩種材料的原子結構極易於改變而取得特殊的電機特性, 純的材料會被有效的使用, 現在它們必須適當的加工, 使其具有所需的性質, 去構成一特定應用的半導體元件。

自我復習測驗

13. 特性介於絕緣體與導體間的材料被稱為_____。
14. 兩種最常被用來製造電子零件的半導體材料是_____及_____。
15. 半導體材料的電阻與良導體例如銅的電阻相比是
 a. 較高
 b. 較低
 c. 幾乎一樣
16. 半導體元件能直接由純半導體材料製成而不需任何方式的改變。
 a. 真
 b. 假

答案

13. 半導體 14. 矽，鎢 15. a. 較高………半導體的電阻高於導體而小於絕緣體
16. b. 假

六、鎢與矽的原子與晶體

由你以前所學，你知道金屬例如銅與鋁可用來傳導電路中的電流，你已學得這些金屬被歸類為導體因為它們對電流僅造成極小的阻力，由以前所學你也知道阻止電流流動的材料例如玻璃，橡皮及陶瓷被歸類為絕緣體。

現在你將研究兩種材料（鎢與矽）的原子結構，這兩種材料的特性介於導體與絕緣體間，同時你將發現為何這些材料被歸為稱為半導體的第三類。

定義

元素：已知 104 種無法再被細分的化學材料之一

原子：仍具有元素特性的元素最小單元。

A. 半導體原子

在我們實際研究鎢與矽的原子與晶體的結構前，我們必需考慮關於所有原子中環繞原子核的電子數目與位置的一些重要規則。

原子包含三種基本成分：質子，中子與電子。

質子與中子在原子核中，位於原子的中心，而電子在環繞著原子核的軌道進行。

每一種元素的原子有一定數目的質子於其原子核內，假設原子是中性（未負電荷），則在軌道上的電子數目相同於質子數目。

決定元素之電的特性時，該元素中環繞原子核旋轉的電子排列方式非常重要。一般而言，每一電子有它自己的軌道，不過，相當的軌道合成一殼層，對已知存在的所有元素，最多祇能有七個殼層。

最接近原子核的殼層祇能有 2 個電子，而第二個殼層最多祇能有 8 個電子，第三個殼層不能超過 18 個電子，同時第四個殼層不能超過 32 個電子，以此類推（ $2n^2$ ）。

一原子的最外殼層被稱為價殼，軌道在價殼上的電子稱為價電子。

三種不同原子中質子與電子的排列如圖 1-1 所示，注意，氫原子祇有一個殼層，而碳原子有兩個，銅原子有四個，同時我們也注意到，有些殼層的電子數少於允許的最大電子數。

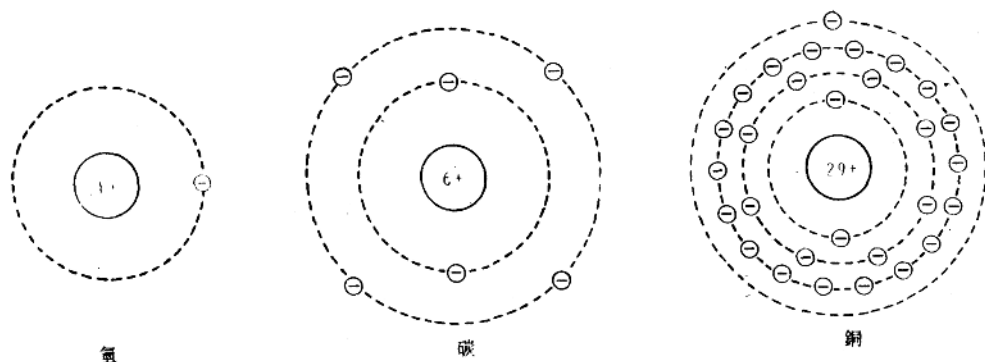


圖 1-1 典型原子的簡解

在任一原子中，較外的殼層從來不能超過 8 個電子，當較外的殼層恰好出現 8 個電子，此原子被認為完全穩定，同時它無法輕易的放棄電子也無法輕易的接受電子。

有這種性質的元素為氖及氬。（氦、氖、氬、氡）

這些元素被歸類為鈍氣，同時它們抗拒任何形式的電或化學作用。

當一原子其較外的殼層有 5 個以上的電子，為了能達到穩定狀態，它將試著去填滿其殼層，此種形式的元素可作良好的絕緣體，因為每一原子均嘗試去獲得電子而不是放棄它們。因此，電子由一原子到下一原子的自由移動是被禁止的。

當一原子其較外的殼層少於 4 個電子，則它傾向於放棄這些外層電子，具此種原子的元素可作為良導體，因為它們擁有大量自由電子，這些電子能隨意地由一原子漂移至次一原子。

當一原子其較外的殼層恰好有 4 個電子，它將無法輕易地放棄或接受電子，此種原子的元素不能作良好的導體或絕緣體，因此歸類為半導體，碳元素是半導體材料的典型例子，注意，圖 1-1 所示的碳原子，其最外殼層恰巧有 4 個電子。

最常用來構成電晶體兩種半導體材料是銻與矽。這兩種材料都由最外殼層（或價殼）為 4 個電子的原子所組成。

單一個銻原子如圖 1-2 所示，注意，銻原子有四個殼層，同時由第一層到最外層的電子分配情形是 2，8，18，4。因此，總數是 32 的電子環繞著原子核，同時，原子核內含有 32 個質子。

單一個矽原子如圖 1-3 所示，注意，這個原子祇有三個殼層，同時由第一層到價殼，電子的分配情形是 2，8，4，這原子有總數為 14 的電子環繞著原子核，同時其原子核有 14 個原子。

研究銻與矽原子的結構時，要考慮的最重要一點是這些原子都恰有 4 個價電子，雖然這兩種原子有額外的電子，然而決定電流流過銻與矽材料的難易的是價電子。

爲了簡化隨後的討論與圖示，我們所使用銻與矽原子圖解，僅顯示出 4 個價電子包圍著代表原子核與較內殼層的核心。這些簡化的圖解如圖 1 - 4 所示。注意，銻原子的核心以記號 Ge 表之，而矽原子的核心以記號 Si 表之，在每一種情形下核心是被 4 個電子所包圍。

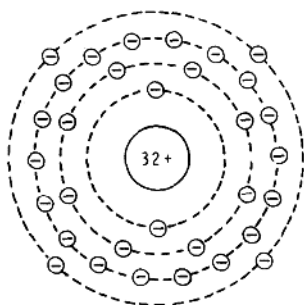


圖 1-2 銻原子

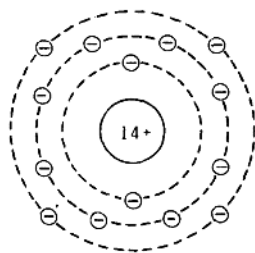


圖 1-3 矽原子

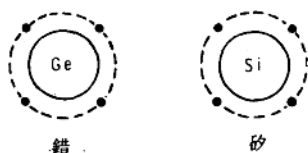


圖 1-4 簡化的銻與矽原子

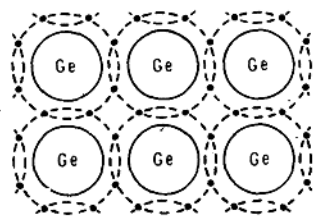


圖 1-5 簡化的銻晶體結構圖解

B. 半導體晶體

半導體材料例如銻原子其排列方式如圖 1 - 5 所示，每一原子與其四個鄰近原子分享四個價電子，如圖示。

電子的共用形成一個鍵，使原子結合在一起，這種電子對所形成的鍵一般均稱之爲共價鍵，共價鍵之所以發生，是因好此種結構中的每一原子，均嘗試去取得額外的電子以填滿 8 個電子的價殼。最後的結果是具有格子式的結構，也因而常常被稱爲結晶格子。

矽原子結合方式與銻原子相同，亦形成同樣形式的結晶構造如圖 1 - 5 所示，矽原子正如銻原子亦形成共價鍵。

剛才描述過的銻與矽結晶格子並無雜質，因此，稱之爲純或理想的材料。這些晶體也

被稱為本質材料。固態零件的構成例如電晶體端賴使用這些純或本質的半導體材料。

自我復習測驗

17. 一中性原子有相同數目的_____及_____
18. 一原子中包圍原子核的電子集成不同的_____
19. 任何原子的殼層數目不能超過_____個。
20. 原子中最接近原子核的殼層不能擁有超過_____個以上的電子。
21. 最外的殼層被稱之為_____殼。
22. 最外的殼層不能擁有超過_____個以上的電子。
23. 氖原子完全穩定此乃因其較外的殼層有_____個電子。
24. 一元素之電的特性乃由其原子中_____殼的電子數所決定。
25. 由較外殼層為4個電子的原子組成的元素被稱為_____。
26. 半導體中的原子是以_____的形式排列。
27. 半導體材料中的每一原子與其四個鄰近的原子共用電子而形成_____。
28. 本質半導體不能含有_____。

答案

- | | | | | | |
|-----------|--------|---------|----------|---------|-------|
| 17. 質子，電子 | 18. 殼層 | 19. 7 | 20. 2 | 22. 價 | 22. 8 |
| 23. 8 | 24. 價 | 25. 半導體 | 26. 結晶格子 | 27. 共價鍵 | |
| 28. 雜質 | | | | | |

七、本質銻與矽的導電

由於純半導體材料諸如銻與矽為結晶構造，在此材料內的原子核外圍觀察起來有8個價電子，而事實上每一個原子祇有4個價電子。因此每個原子傾向於穩定，並不輕易放棄或接受電子。然而，這並不意指在所有情況下，純半導體必然與前述的鈍氣，同樣地阻止任何形式的電作用。此乃因為其它因素必須加以考慮，這個因素就是溫度，半導體材料的電的特性完全視溫度而定。

A. 低溫度特性

在極低的溫度下，價電子被母原子緊緊束縛住，同時並不允許其半導體的結晶構造中漂移。

因為價電子不能由一原子漂移到次一原子，所以在這個時候，半導體材料並無法提供電流，也因此，在極低溫度下，純銻與矽晶體的作用如同絕緣體。

B. 高溫特性

當銻或矽晶體的溫度一被增加，在半導體材料中的價電子即被激動，同時其中一些經常會由共價鍵中逃逸而去，因此一小量的電子以雜亂的方式自由地由一原子漂移至次一原子。

假如電壓被加入此半導體材料這些自由移動的電子或自由電子能夠提供一小量的電流，換句話說，當半導體材料的溫度增加，則材料開始獲得導體的特性。無論如何，在所有實際應用中，甚至在室溫下，亦有足夠的熱能產生提供小量電流的小量自由電子。

祇有當半導體材料被暴露在極高的溫度，才能達到如同一般導體的導流情形，然而，在正常情況下，半導體使用於高溫下是絕對不允許的。

C. 電洞

要確實了解為何半導體能夠允許電流的流動，我們必須更近的觀察半導體材料的內部結構，當一個電子由一共價鍵中逃脫而去，一個空位將出現在鍵上，以前被電子所佔住的這個空位，被稱之為電洞。

一個電洞祇是表示缺少一個電子，因為一個電子有一負的電荷，所以電洞代表缺少一負電荷，此乃意指電洞具有正電荷粒子的特性。

每一次當一個電子逃逸出共價鍵，就形成了一個電洞，每一個相關的電子與電洞被稱為電子-電洞對。一典型的電子-電洞對繪於圖1-6中。注意，電洞以正號表示以指示它是正的，而電子僅以黑點表之，雖然電子具負電荷。如圖所示的半導體材料可能是銻也可能是矽。

半導體材料中產生的電子-電洞對的數目隨溫度而增加，甚至即使在室溫下，也將存在一小量的電子-電洞對，一些自由電子將傾向於散亂的漂移，而電洞將嘗試去吸收一些電子，此乃意指電子祇是由一般層跳入另一具電洞的殼層，

假如一個電子由一般層跳出而去填入一電洞，當電子離開殼層時將形成另一個電洞。因此，電洞與電子移動的方向相反假如另一個電子移入剛才形成的那個電洞，另一個電洞將被形成，前述的電洞在純半導體材料中顯示出散亂的移動。

D. 電流的流動

當一純半導體材料例如銻或矽承受如圖1-7所示的電位差或電壓時，帶負電荷的自由電子將被吸引至電壓源的正端，由自由電子所形成的電洞將向電壓源的負端漂移。

當自由電子流入電壓源的正端，相同數量的電子離開了電壓源的負端，這些電子注入了圖中半導體材料的左端，這些電子中的大部份將被電洞所捕捉或吸收，當電洞與電子經由此種方式再結合，則電洞將不復存在，因此，電洞不斷地漂移到左邊然後消失，而電子流至材料的右邊，然後流出材料進入電壓源的正端。