

科學圖書大庫

固態電路故障檢修指南

譯者 張去疑

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

固態電路故障檢修指南

譯者 張去疑

徐氏基金會出版

美國徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大庫

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 林碧鏗 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有

不許翻印

中華民國六十三年 五 月十五月初版

固態電路故障檢修指南

基本定價2.40元

譯者 張去疑 國立清華大學教授

內政部內版臺業字第1347號登記證

出版者 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 臺北郵政信箱53-2號 電話 785250 號
783686 號

發行人 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 林 碧 鏗 郵政劃撥帳戶 第 15795 號

印刷者 中 美 美 術 印 刷 廠

地 址：台 北 市 天 水 路 3 2 號

我們的工作目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識與技術的傳播，是提高工業生產、改善生活環境的主動力，在整個社會長期發展上，乃人類對未來世代的投資。從事科學研究與科學教育者，各就專長，竭智盡力，發揮偉大功能，共使科學飛躍進展，同把人類的生活，帶進更幸福、更完善之境界。

近三十年來，科學急遽發展之成就，已超越既往之累積，昔之認為絕難若幻想者，今多已成爲事實。人類一再親履月球，是各種科學綜合建樹與科學家精誠合作的貢獻，誠令人有無限興奮！時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就科學人才，促進科學研究與發展，允爲社會、國家的基本任務。培養人才，起自中學階段，學生對普通科學，如物理、數學、生物、化學，漸作接觸，及至大專院校，便開始專科教育，均仰賴師資與圖書的啓發指導，不斷進行訓練。從事科學研究與科學教育的學者，志在貢獻研究成果與啓導後學。旨趣崇高，至足欽佩！

科學圖書是學人們研究、實驗、教學的精華，明確提供科學知識與技術經驗，本具互相啓發作用，富有國際合作性質，歷經長久的交互影響與演變，遂產生可喜的收穫。我國民中學一年級，便以英語作主科之一，然欲其直接閱讀外文圖書，而能深切瞭解，並非數年所可苛求者。因此，本部編譯出版科學圖書，引進世界科技新知，加速國家建設，實深具積極意義。

本基金會由徐銘信氏捐資創辦，旨在協助國家發展科學知識與技術，促進民生樂利。民國四十五年四月成立於美國紐約。初由旅美學人胡適博士、程其保博士等，甄選國內大學理工科優秀畢業生出國深造，前後達四十人，返國服務者十不得一。另贈國內大學儀器設備，輔助教學頗收成效；然審度衡量，仍嫌未能普及，乃再邀承國內外權威學者，設置科學圖書編譯委員會，主持「科學圖書大庫」編譯事宜。主任委員徐銘信氏爲監修人，編譯委員林碧鐸氏爲編輯人，各編譯委員擔任分組審查及校閱。「科學圖書大庫」首期擬定二千冊，凡四億言，叢書百種，門分類別，細大不捐；分爲叢書，合則大庫。從事翻譯之學者五百位，於英、德、法、日文中精選最新基本或實

II

用科技名著，譯成中文，編譯校訂，不憚三復。嚴求深入淺出，務期文圖並茂，供給各級學校在校學生及社會大眾閱讀，有教無類，效果宏大。賢明學人同鑑及此，毅然自公私兩忙中，撥冗贊助，譯校圖書，心誠言善，悉付履行，感人至深。其旅居國外者，亦有感於為國人譯著，助益青年求知，遠勝於短期返國講學，遂不計稿酬菲薄，費時又多，迢迢乎千萬里，書稿郵航交遞，報國熱忱，思源固本，僑居特切，至足欽慰！

今科學圖書大庫已出版七百餘冊，都一億八千餘萬言；排印中者，二百餘冊，四千餘萬字。依循編譯、校訂、印刷、發行一貫作業方式進行。就全部複雜過程，精密分析，設計進階，各有工時標準。排版印製之衛星工廠十餘家，直接督導，逐月考評。以專業負責，切求進步。校對人員既重素質，審慎從事，復經譯者最後反覆精校，力求正確無訛。封面設計，納入規範，裝訂注意技術改善。藉技術與分工合作，建立高效率系統，縮短印製期限。節節緊扣，擴大譯校複核機會，不斷改進，日新又新。在翻譯中，亦三百餘冊，七千餘萬字。譯校方式分為：(1)個別者：譯者具有豐富專門知識，外文能力強，國文造詣深厚，所譯圖書，以較具專門性而可從容出書者屬之。(2)集體分工者：再分為譯、校二階次，或譯、編、校三階次，譯者各具該科豐富專門之知識，編者除有外文及專門知識外，尚需編輯學驗與我國文字高度修養，校訂者當為該學門權威學者，因人、時、地諸因素而定。所譯圖書，較大部頭、叢書、或較有時間性者，人事譯務，適切配合，各得其宜。除重質量外，並爭取速度，凡美、德科學名著初版發行半年內，本會譯印之中文本，廣即出書，欲實現此目標，端賴譯校者之大力贊助也。

謹特掬誠呼籲：

自由中國大專院校教授，研究機構專家、學者，與從事科學建設之工程師；

旅居海外從事教育與研究學人、留學生；

大專院校及研究機構退休教授、專家、學者。

主動地精選最新、最佳外文科學名著，或個別參與譯校，或聯袂而來譯校叢書，或就多年研究成果，撰著成書，公之於世。本基金會樂於運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。祈學人們，共襄盛舉是禱！

原 序

固態電路與真空管電路比較時顯得非常渺小，因此在焊接或測試時，必須格外小心。用力不當可能會損壞很多細小零件，測試電壓過高亦可燒毀電晶體。但是技術人員對於這種元件之微小化很快就可以適應。

因為固態元件只不過在電路中取代了真空管的地位而已，所以不論是那一種電路形式，從方塊圖的觀點上看，各種電子儀器的結構主要都是一樣的。甚至所用的電阻、電容，和電感元件亦都是一樣。最大不同之處乃是在於固態元件本身和用來推動他們的電源供應。

當我們在作故障檢修時，我們必須發展出一種與固態元件有關之思考圖像。這些圖像之產生乃是隨着我們辨認各種固態電路能力之改進，以及研判電子在此等電路中流動的方向，和兩極體、電晶體、場效電晶體等元件如何影響這種電子流動的能力而來。因此我們的腦海中就會告訴我們在檢修時該使用何種測試儀器以及從那裏開始尋找故障。根據這樣一種分析研判和逐步消去的方法，我們就會走上正確的道路，並能很快的隔離出有故障的零件和接線。只要故障零件找到，即使電路微小，剩下來的修理工作就非常容易而機械化了。

在本書的前四章裏，我們以一個故障檢修者的眼光來討論各種固態元件的特性。在其餘各章裏，我們研討這種固態元件在各種典型電路中的工作原理。在本書各章節中我們附有實際固態電路以及如何調節和如何修護這些電路的建議。對我們特別有興趣的乃是由摩托羅拉公司（Motorola）及通用電氣公司（General Electric）所發展的線路圖和檢修思考用圖表。這些圖表舉例說明了一種最佳方法：即如何研判一張電路，如何仔細分析以及如何追蹤直到找着故障為止。

在本書編纂過程中，下列諸君和電子公司給予本人大力合作幫助，本人在此謹致最深的謝意：通用電氣公司的訓練及技術出版主任漢納（R. C. Hannum）先生，摩托羅拉公司的訓練部經理穆勒先生（El Muller），RCA 公司的技術出版部經理傅羅斯先生（W. H. Fulroth），薛凡尼公司

IV

(Sylvania) 的技術出版部經理奈尼先生 (E. M. Nanni) ，增你智公司 (Zenith) 的全國服務部副經理柯白先生 (E. Cob) 。

麥高里司 (Art Margolis) 謹識

目 錄

第一章 固態元件的構造-----	1
共價鍵 1 P型和N型材料的製造 4 N型材料 5 P型材料 7	
P-N接面 10 接面的偏壓 12 接面二極體的測試 14	
第二章 二極體和雙載子電晶體-----	17
檢波二極體 18 二極體的電容量 19 曾納二極體 21	
變容二極體 22 雙極電晶體 24 二極體的測試 32	
電晶體的檢驗 34	
第三章 場效電晶體-----	37
接合型FET 37 IGFET及MOSFET 41 FET的測試 46	
第四章 積體電路和矽控整流管-----	50
積體電路 50 IC的測試 54 矽控整流管 55	
第五章 射頻放大電路-----	61
雙極(雙載子)射頻放大器 64 自動增益控制 71 FET射頻放 大器 74 射頻線路的測試 75 電視的高頻校準 76	
第六章 中週放大電路-----	81
通頻帶 82 晶體中週級 83 中週變壓器 83 放大器 86	
穩定化 88 耦合 88 中週AGC 90 中週線路的測試 91	
校準 92 指標注入 101	
第七章 音頻及影像放大器-----	104

音頻放大器 104 A 類和 B 類放大器 106 電壓放大器 108
 功率放大器 108 視頻放大器 109 音頻和視頻線路的測試 114
 檢修流程圖 116

第八章 功率放大器 ----- 122

推挽式功率放大器 124 無變壓器推挽輸出級 126 垂直輸出
 線路 127 水平輸出電路 128 發射機射頻功率放大器 129
 功率放大器的測試 131 檢修流程圖 133

第九章 振盪器 ----- 138

晶體振盪器 138 倍頻器 141 LC 振盪器 142 RC 振盪器 144
 振盪線路的偵測 146

第十章 變頻電路 ----- 149

轉化損失 150 晶體變頻器 150 晶體混波器 151 JFET 混波
 器 152 雙閘極混波器 153 二極體混波器 154 直接轉化線路 156
 變頻器的測試 158 晶體用耦合變壓器 158

第十一章 檢波器 ----- 160

時間常數 162 FM 檢波器 163 比例檢波器 169

第十二章 自動控制線路 ----- 171

AGC 172 AFC 177 變容二極體 (變容器) 181

第十三章 遙控線路 ----- 185

無線電遙控 185 超音波遙控 187 典型的發射機 189
 典型的接收機 191 繼電器驅動級 192

第十四章 分離器 (線路) ----- 196

同步訊號的分離 198 分離線路 200 雜訊消除器 201
 水平及垂直同步訊號的分離 202 彩色同步分離電路 204
 分離電路的偵測 205

第十五章 電源供應 ----- 206

半波整流 206 橋式全波整流器 207 主動濾波器 208

高壓電源供應 210 倍壓器 210

索 引 ----- 213

第一章 固態元件的構造

在固態電子學領域內，所有的半導體元件，都是由一種叫做“N型材料”的物質和另一種稱為“P型材料”的物質所構成；例如：我們只要把一片P型材料和一片N型材料接合在一起，就可以形成一個簡單的二極體（見圖1-1）。如果我們在此二極體的N型區外面，再加上另一片P型材料即形成一種三明治式的PNP結構，那便是一個PNP電晶體；同樣的，如果我們在此二極體的P型區外，再加上一片N型的材料而形成NPN三明治結構，那就變成一個NPN電晶體了。此外，如果我們將一個電晶體的輸出和輸入部份均接到三明治的中間層（即所謂的通道—Channel），這時我們所得到的便是一個FET；如果我們將兩個PN二極體接合在一起而使它同時具有整流器和電晶體的特性，那就是一個所謂的矽控整流管（Silicon Control Rectifier，簡稱SCR）。

顧名思義，不論是P型或N型的半導體，均不是真正的導體或絕緣體，而是介乎二者之間的一種物質。一物體之為導體，半導體或絕緣體，主要的是由電子在此物體內部移動的難易程度來決定；例如：我們只須加一個很小的電壓，就可以在導體內部引起大量的電子流動；對半導體而言，則需要加上相當的電壓才能引起相當數量的電子流；但是對絕緣體而言，即使我們加上極大的電壓，也只有少量的電子流過此物體！

共價鍵

在半導體學中，我們可以用共價鍵來描述兩種最基本的半導體物質—矽（Silicon） 鍺（Germanium）所處的物質態（The material state），所以共價鍵在半導體學的領域裡，佔有非常重要的地位。以顯微的眼光看來，一個矽原子就像是一個小太陽系一般，原子核和太陽一般居於中心位置，而核外的十四個電子就像行星繞日般的圍著原子核旋轉（見圖1-2）。此原子的最外層軌道具有四個電子，這些電子必須在所謂的“鈍態”（inert state）下才會穩定下來，而且所有的原子結構均有趨向於這種鈍態的傾向。對矽原

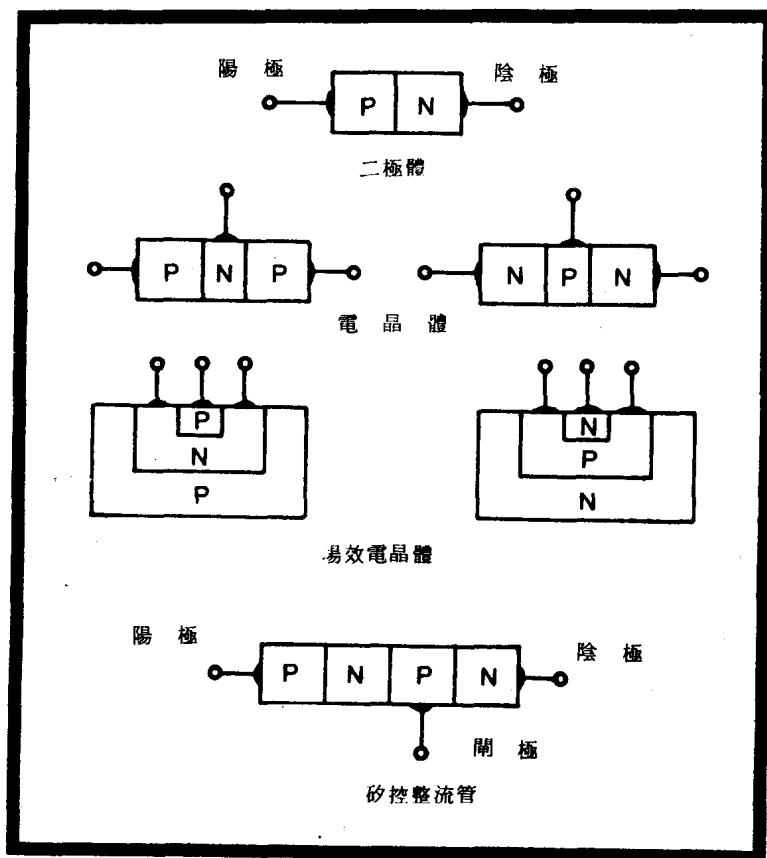


圖 1-1 所謂的“固態”元件都是由基本的 N 型及 P 型材料構成的方塊結構

子而言，當每一個原子的外層電子數由四個增加到八個時，就達到了這種“鈍態”（見圖 1-3），為什麼在這層軌道中有了八個電子就會產生這種惰性呢？我們並不知道其中的詳情，只知道它是這個宇宙中的一個自然律。

當一個矽原子和另一個矽原子結合在一起而共用它們的外層電子時，它們就可以產生這種“鈍態”。我們把這些外層軌道稱作“價殼”（Valence shell），而把其中的電子稱為“價電子”（Valence electrons）。在關於半導體電路的檢修方面，我們只對這些價電子感到興趣，而不考慮到原子的其他部份。

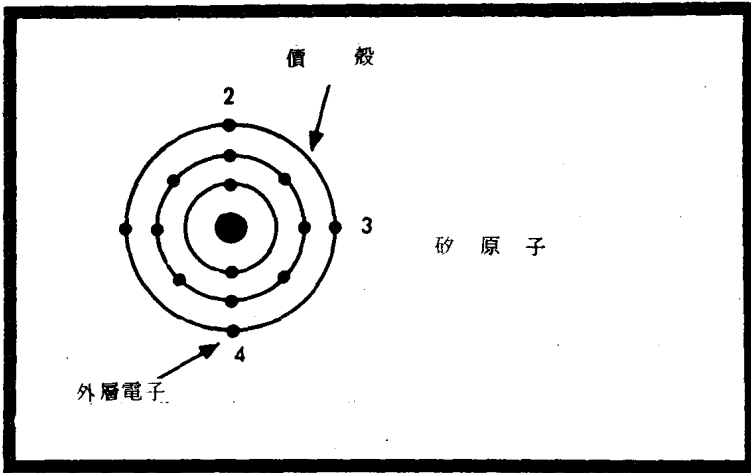


圖 1-2 矽原子的價殼含有四個電子，它們的移動就形成電流

當兩個矽原子共用它們的價電子時，就形成了一個矽分子；這時，我們稱這兩個原子乃是以共價鍵而結合的。正如同我們所預料的情況一般，當兩個矽原子結合成分子之後，它們的性質變得異常不活潑而成爲一種良好的絕緣體，因爲這八個共價電子緊密的結合在一起，使得我們很難游離出其中的一個電子而傳導電流。在此情況下，矽並不是一種半導體而是變成了一種絕

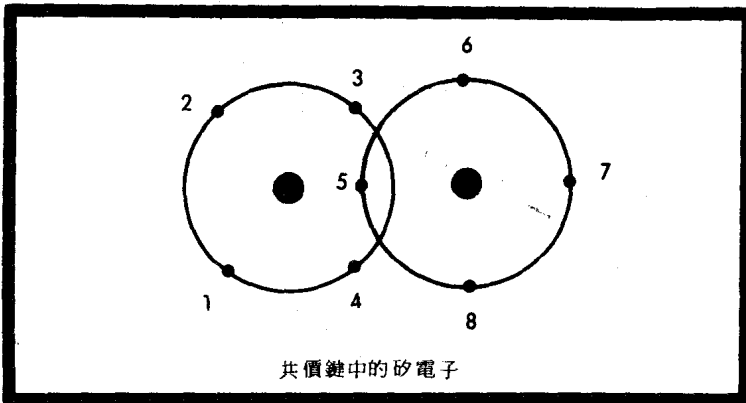


圖 1-3 價殼中的八個電子形成一個穩定的鍵

緣體。此外，矽原子還會形成一種晶體結構 (Crystal structure)：所謂的晶體結構就是“一群原子，彼此之間以一定的方式排列在一起”。由這種晶體結構，我們很容易的就可以製造出兩種很有用的半導體材料來。

P 型和 N 型材料的製造

純料的矽晶體結構並未具有任何特殊的半導體特性，但是如果我們在此晶體中加入一些其他的物質—即所謂的雜質 (Impurity)，這時的晶體就會顯示出完全不同的性質來。

我們可以任意將一片純矽製造成 P 型或 N 型材料；如果我們在這片純矽中加入一些三價原子 (具有三個價電子的原子)，它就變成了一片 P 型材料 (見圖 1-4)。當一個三價原子和一個四價的矽原子結合在一起時，就形成了一個具有七個電子的價殼，而由前面的敘述我們知道在價殼中，必須具有八個電子才會達成“飽態”，因此這個七價物體就傾向於“接受”另外一個電子。所以我們把這些外加的三價原子叫做“受體” (Acceptor)。在製造 P 型材料時，我們常用的三價元素包括鋁 (Aluminum)，銻 (Gallium) 以及硼 (Boron) 等。

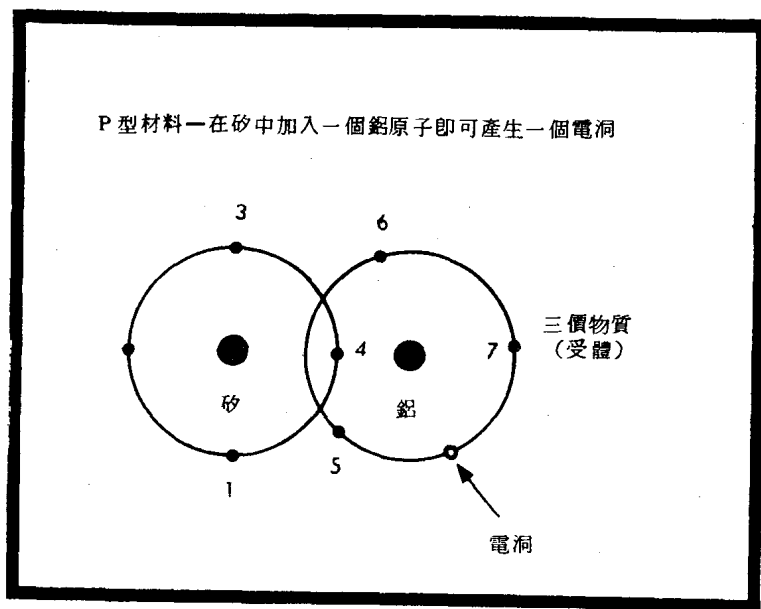


圖 1-4 去掉八個穩定電子之一而形成一個電洞，這片矽晶體就變成 P 型材料

如果我們在純矽中加入一些五價原子（具有五個價電子者），就可以產生一片N型材料（見圖1-5）。當一個五價原子和一個四價矽原子結合在一起的時候，就形成了一個具有九個電子的價殼；既然鈍態下的價殼只含有八個電子，那麼這個九價物體就會傾向於“施給”一個額外的電子而回到穩定的鈍態，所以我們稱這些外加的五價原子為“施體”（Donor）；常用的施體元素包括砷（Arsenic），銻（Antimony）及磷（Phosphorous）等。

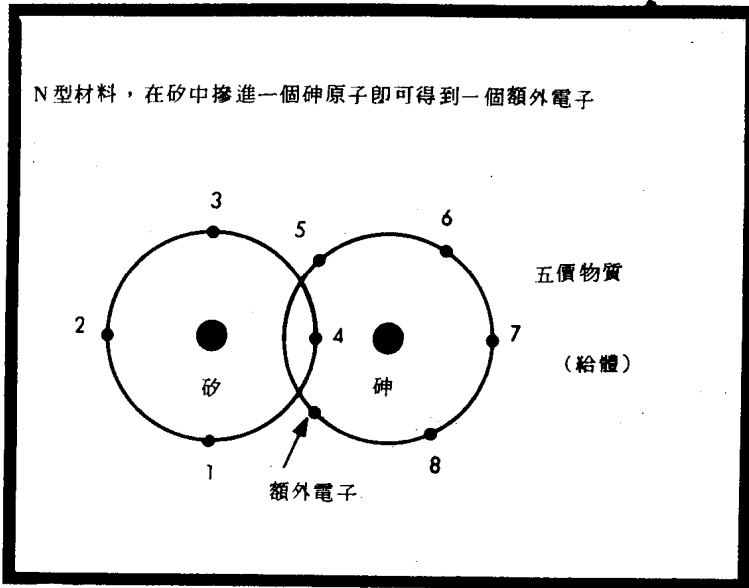


圖 1-5 在價殼中多加一個電子就形成 N 型材料

我們並不需要在矽裡面加入太多的雜質；在成百萬的矽原子當中，只要加入一個其他的原子，就可以使矽晶體顯示出這種特性來。此外，我們也可以在鍺（Germanium）晶體中摻入一些雜質而產生類似的 P 型材料及 N 型材料來；雖然鍺的性質和矽完全不同，但是當我們將它們轉變成 P 型材料或 N 型材料之後，它們的性質却極為相似；所以我們在前面所討論的那些將不活潑的矽晶體轉變成半導體物質的方法，也可以用來將鍺晶體轉變成 P 型或 N 型半導體。

N 型材料

當我們在一片矽晶體或鍺晶體中加入一些施體原子（即砷、磷之類的五價原子）之後，晶體和施體之間便產生了共價鍵；這些分布在整個晶體中的複合體（Combina material），其外殼具有九個價電子，而此外殼實際上只有容納八個電子的位置，因此，第九個電子便沒有一個固定的所在而鬆鬆的圍繞著外殼打轉。

在一片N型材料內，具有成千成萬的這種漫游電子。它們具有負電荷，各自圍繞著其母原子（Parent atom）旋轉，只要有任何光、熱或電流等少許的能量，即可輕易的將這些額外的電子游離出來，而這些自由電子就會在整片N型材料中漫無目的的游動。事實上，我們可以這樣子想像；這些額外的電子隨時均在整片N型材料中作散亂運動（Random movement）；如果我們想要中止這種電子的漫遊，惟一的方法就是將這片N型材料置於極低的溫度之下。

在矽晶體裡面的這種遊動電子，構成了攜帶電流的載子（Carrier）；在N型材料內，我們稱這些電子為主載子（majority carrier）。如果我們把一個電池的兩極接到一片N型材料的兩端，那麼電子就會由電池的負極進入N型材料內，而那些漫遊電子便會受到排斥而往接在電池正極的另一端移動（見圖 1-6）。在靠近電池正極的這一端，N型材料中的電子將會流入電

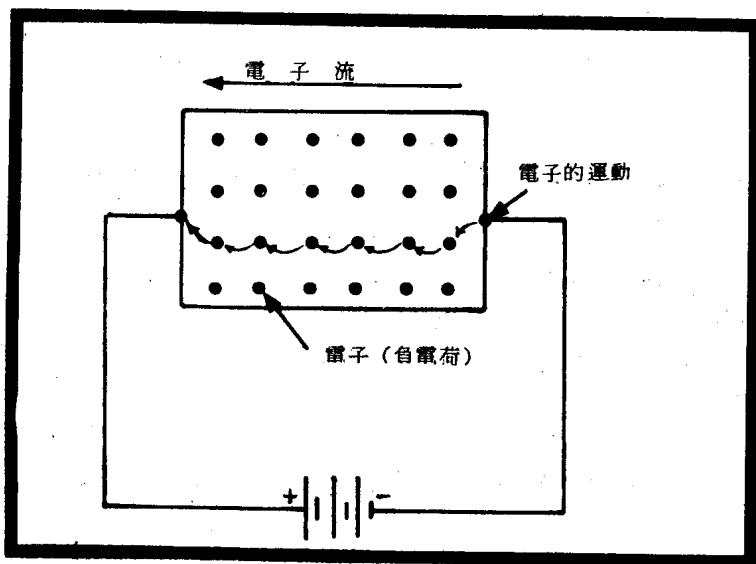


圖 1-6 由外電流來的電子排斥額外電子而形成 N 型材料中的電流

池，其空位則由自電池負極流入的電子所填補。所以只要我們將電池接上之後，便會有一個電流自N型材料的一端流到另一端。在第三章中，我們將會討論到N通道FET (N-channel FET)，其工作原理和我們現在所討論的情形完全相同。

在檢修固態電路時，我們必須時時刻刻在腦海裡保持這種觀念：只有電子才能流過半導體材料。當然，在檢修真空管電路時，我們也必須保持這種想法，只是在真空管中電子只能由陰極 (Cathod) 流往屏極 (Plate)，還不致於引起太大的困擾，但是在固態組件中，電子却可以由射極 (emitter) 流到基極 (Base) 及集極 (Collector) (NPN電晶體)；也可以由集極和基極流向射極 (PNP 電晶體)；對場效電晶體 (FET) 而言，情形相同。電子可以由源極 (Source) 流到吸極 (Drain) (N通道FET)，也可以由吸極流到源極 (P通道FET)。因此在檢修固態電路時，我們常會為電子流的方向而深感困擾；所以在檢修之際，我們必須能夠立刻看出電子流的真正方向。

大自然的法則，使得電子由電子過剩的地方——也就是負電荷，流到一個缺少電子的地方——也就是所謂的正電荷；這種說法，正足以混淆我們的視聽。在習慣上，我們並不把“過剩”當作“負”，也不把“缺少”當作“正”，而不幸的是，我們却用錯了。

有一種很好的想法可以幫助我們避免這種混淆，我們可以試着這樣想：在電子電路裡面，所有的電子均流入電源供應器 (Power supply) 的正端，而不是“電” (Electricity) 由電源供應器流出來。在考慮到真空管電路時，我們可以“看”到由電源供應器所提供的電壓，但是在考慮到固態電路時，我們却必須能“看”到電子由底板的接地端流出，並且流向正電壓或缺少電子的地方。如果我們要使電子流向底板 (接地端)，惟一的方法就是使電源供應端為負，亦即帶有過多的電子，這樣電子就可以由B⁻端流向底板 (接地端)。

P 型材料

由於電子在N型材料中流動的方式，和真空管電路中電子的流動方式相同，所以我們只要把這兩種電路比較一下，就可以很容易的瞭解N型材料的特性；事實上N型材料本身差不多就是一種導體，它和其他的導體一般，以同一種方式來傳導電子。對P型材料而言，情況就沒有這麼簡單了，我們必須接受一個全新的觀念：除了考慮到電子流以外，我們還必須考慮到“電洞”