

基本電子裝置

Fundamentals of
Electronic Devices

原著者：David A. Bell

譯述：黃 穗 雄

科技圖書股份有限公司

基本電子裝置

Fundamentals of
Electronic Devices

原著者：David A. Bell

譯述者：黃 穗 雄

科技圖書股份有限公司

原 序

我寫本書的目的是要把今日常用的重要電子裝置給予一番清晰的解釋，使讀者對各種裝置的特性、參數、電路應用，和限制能完全瞭解。

本書開始先研究基本半導體理論和 pn 接合理論，這對瞭解固態裝置是不可缺少的。有一章單獨討論半導體二極體，舉凡二極體特性、參數、等效電路、圖示分析、作整流器的應用，和二極體數據資料等都詳細敘述。

雙極接合晶體理論詳述於第四章， r -參數和 h -參數的起源及等效電路均予涉及。第五章分析基本晶體電路的電壓增益、電流增益、功率增益、輸入阻抗和輸出阻抗等，其分析工作以 h -參數來執行，而化簡近似法在本書中常常使用。第六章講晶體偏壓技術、晶體製造方法和特性資料等列於第七章，包括晶體功率消耗、頻率響應、雜音、和交換速率等。

第八章和第九章論稽納和透納二極體，包括稽納二極體電壓調整器和透納二極體放大器。接下的三章專論場效晶體，第十章研究各種 FET 的工作理論，以及 FET 電路結構、特性資料，和等效電路。第十一章研究基本 FET 電路，第十二章研究 FET 偏壓。SCR、UJT、光電裝置，其他各種各類的裝置，與積體電路分述於第十三章到第十七章中，包括擬程單接晶體（PUT）、太陽電池、液晶電池、OO 壓電電池、VVC 二極體，和 IC 放大器。因電子管仍然在用，故最後一章略述之，包括的有：真空二極管、真空三極管、三極管電路、四極管、五極管、五柵變頻管，和必須論及的陰極射線管等。

本書中有許多例題，藉以引導學生對所學的裝置能夠應用。各章末尾均附有重要名詞和復習問題。數學程度不超過代數方程式和對數，我希望讀者們已學過基本電學，能將本書（電子裝置課程）同時並進。

但願本書能對各位讀者的電子研究有所助益和參考。

目 錄

作者序

第一章 基本半導體理論

1-1 概 說	1
1-2 原 子	1
1-3 電子軌道與能階	3
1-4 能 帶	4
1-5 固體中的傳導	5
1-6 導體、絕緣體、與半導體	7
1-7 原子間的鍵力	8
1-8 半導體摻雜	9
1-9 熱與光的效應	11
1-10 漂移電流和擴散電流	12
重要名詞彙	14
習 題	16

第二章 pn 接合理論

2-1 概 說	18
2-2 pn 界面	18
2-3 逆偏壓界面	22
2-4 順偏壓界面	24
2-5 溫度效應	26
2-6 接合電容	28
2-7 界面等效電路	28
重要名詞彙	29

習 題	30
-----	----

第三章 半導二極體

3-1 概 說	32
3-2 二極體符號與形狀	32
3-3 二極體製造	35
3-4 二極體特性與參數	35
3-5 二極體電路的圖解	37
3-6 二極體片段線性特性	41
3-7 二極體等效電路	43
3-8 半波整流	44
3-9 全波整流	50
3-10 二極體交換時間與頻率響應	53
3-11 二極體特性資料	55
重要名詞彙	57
習 題	59

第四章 接合電晶體

4-1 概 說	61
4-2 電晶體的工作	61
4-3 晶體電流	66
4-4 電晶體符號與電壓	69
4-5 共基極特性	70
4-6 共射極特性	76
4-7 共集極特性	78
4-8 電晶體 T - 等效電路與 r - 參數	80
4-9 h - 參數	81
重要名詞彙	86
習 題	88

第五章 基本電晶體電路

5-1 概 說	90
5-2 共射極電路	90
5-3 共射極 h - 參數分析	92
5-4 共集極電路	99
5-5 共集極 h - 參數分析	100
5-6 共基極電路	105
5-7 共基極 h - 參數分析	107
5-8 串級共射極電路	113
重要名詞彙	115
習 題	116

第六章 電晶體偏壓

6-1 概 說	118
6-2 直流負載線與偏壓點	119
6-3 定電流偏壓	123
6-4 集極對基極偏壓	125
6-5 射極電流偏壓	127
6-6 基本偏壓電路的比較	131
6-7 熱穩定	131
6-8 交流旁路與交流負載線	134
重要名詞彙	138
習 題	139

第七章 電晶體的構造、規格與工作

7-1 概 說	141
7-2 電晶體構造對電性工作的影響	142
7-3 半導體物質的製造過程	143
7-4 合金與微合金電晶體	146

基本電子裝置

7-5 凸型晶體	148
7-6 擴散平面晶體與環形晶體	150
7-7 晶體的包裝	151
7-8 晶體特性資料	153
7-9 功率消耗	157
7-10 分貝和頻率響應	159
7-11 晶體的雜音	165
7-12 晶體交換	171
重要名詞彙	177
習題	179

第八章 稽納二極體

8-1 概 說	181
8-2 稽納崩潰與果增崩潰	182
8-3 稽納二極體特性與參數	184
8-4 補償參考二極體	185
8-5 稽納二極體電壓調整器	188
8-6 含參考二極體的電壓調整器	193
8-7 其他稽納二極體的應用	193
重要名詞彙	195
習題	196

第九章 透納二極體

9-1 概 說	198
9-2 工作理論	198
9-3 透納二極體符號、特性與參數	203
9-4 片段線性特性	204
9-5 透納二極體等效電路	206
9-6 透納二極體並聯放大器	206
9-7 並聯放大器的增益公式	209

9-8 實際並聯放大電路	210
9-9 並聯放大器的圖解	213
9-10 透納二極體串聯放大器	215
9-11 串聯放大器的增益公式	217
9-12 透納二極體開關	217
9-13 透納二極體的偏壓	219
重要名詞彙	220
習題	221

第十章 場效電晶體

10-1 概 說	223
10-2 n -道接合場效電晶體原理	223
10-3 n -道 JFET 的特性	225
10-4 p -道接合場效電晶體	230
10-5 JFET 資料單和參數	231
10-6 JFET 結構	239
10-7 絕緣閘場效電晶體 (IGFET) 或金氧半場效電晶體 (MOSFET)	240
10-8 場效電晶體等效電路	245
重要名詞彙	246
習題	248

第十一章 基本場效電晶體電路

11-1 概 說	250
11-2 共源極電路	250
11-3 共源極電路的交流分析	252
11-4 共洩極電路	255
11-5 共洩極電路的交流分析	257
11-6 共閘極電路	260
11-7 共閘極電路的交流分析	261

基本電子裝置

重要名詞彙	264
習題	265

第十二章 場效電晶體偏壓

12-1 概 說	267
12-2 直流負載線和偏壓點	267
12-3 特性曲線的分佈與定偏壓電路	270
12-4 自偏壓	271
12-5 外接電源的自偏壓	274
12-6 洩對開偏壓	277
12-7 偏壓金氧半場效電晶體	279
12-8 FET 偏壓電路的設計	285
重要名詞彙	287
習題	288

第十三章 矽控整流器 (SCR)

13-1 概 說	293
13-2 SCR 的工作	294
13-3 SCR 特性和參數	296
13-4 SCR 規格	299
13-5 SCR 控制電路	301
13-6 三端開關 (TRIAC) 與雙向開關 (DIAC)	305
13-7 其他 四層裝置	307
重要名詞彙	311
習題	313

第十四章 單接電晶體 (UJT)

14-1 概 說	315
14-2 工作理論	315
14-3 UJT 特性	317

14-4	UJT 參數與規格	319
14-5	UJT 製造方法	322
14-6	UJT 弛張振盪器	323
14-7	SCR 的 UJT 控制	327
14-8	可換程單接電晶體	328
重要名詞彙		330
習 題		331

第十五章 光電裝置

15-1	概 說	332
15-2	光電倍增管	333
15-3	光導電池	335
15-4	光二極體	340
15-5	太陽電池	343
15-6	光電晶體	346
15-7	光場效電晶體	349
15-8	放光二極體 (LED)	350
15-9	液晶顯示	352
15-10	光電耦合器	355
重要名詞彙		355
習 題		357

第十六章 其他裝置

16-1	壓電性	360
16-2	壓電晶體	360
16-3	電壓可變電容二極體 (VVC 二極體)	369
16-4	熱阻體	374
重要名詞彙		379
習 題		380

第十七章 積體電路

17-1 概 說	383
17-2 單石、薄膜、厚膜和混合積體電路	383
17-3 單石積體電路的製造	386
17-4 積體電路元件	389
17-5 差動放大器	395
17-6 積體電路差動放大器	403
17-7 數位積體電路	407
17-8 積體電路的包裝	409
重要名詞彙	409
習 題	412

第十八章 電子管

18-1 簡 介	413
18-2 真空二極管	414
18-3 真空三極管	418
18-4 三極管的特性	419
18-5 三極管參數	423
18-6 共陰極電路	425
18-7 共陰極電路的交流分析	427
18-8 共屏極電路	431
18-9 共柵極電路	432
18-10 三極管偏壓法	433
18-11 四極管	436
18-12 五極管	439
18-13 變 - μ 或遙截止五極管	441
18-14 五柵變頻管	443
18-15 陰極射線管	445
重要名詞彙	452
習 題	456

基本半導體理論

Basic Semiconductor Theory

1-1 概 說

電子裝置 (electronic device) 的作用是控制電子 (electrons) 的運動。研究這種裝置的第一步是瞭解電子，及它與原子其他部份的關係如何。明白之後，必須進而探索固體內結合原子在一起的鍵力 (bonding forces)，和電子由一原子移至另一原子的情形。此項探索的結果，可使你弄清楚導體 (conductors)，絕緣體 (insulators) 和半導體間的差別，及半導體的特殊性質。

1-2 原 子

原子被認為是由中央的原子核 (nucleus) 繞以軌道電子所組成 (見圖 1-1)。因此，它可比作軌道上繞以衛星的行星。正如同衛

2 基本電子裝置

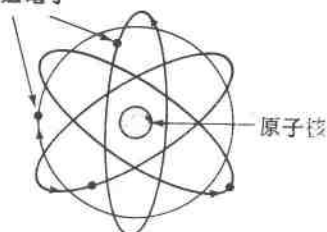
星是被行星質量產生的重力吸住在軌道上一樣。每個電子也是被它與原子核間的靜電力 (electrostatic force) 吸住在軌道上。

電子帶有 1.602×10^{-19} 庫倫 (Coulombs) (C) 的負電荷，而原子核內的某種質點帶有等量的正電荷，因異性電相吸，故帶相反電荷的電子和原子核間存在一吸引力。如同衛星的情形一樣，此吸引力被電子繞行原子核的離心力所平衡〔圖 1—1(b)和(c)〕。

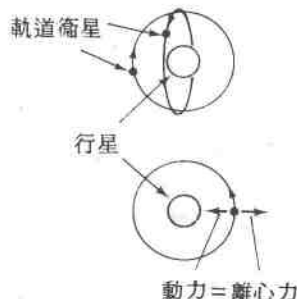
電子的質量與原子核相比，微小得幾可不計。事實上，我們可以把它當作根本沒有質量的負電微粒。

原子的核心聚集着兩種質點：質子 (protons) 和中子 (neutrons) (圖 1—2)。質子帶正電荷，電量與電子上的負電荷相等 (但極性 polarity 相反)；中子不帶電荷，質子和中子的質量均為電子的 1800 倍。一個原子的原子核內所含質子數目通常等於軌道電子的數目。

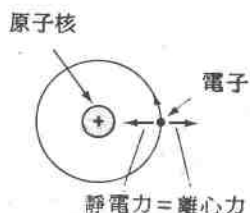
軌道電子



(a) 原子核與軌道電子



(b) 行星對軌道衛星的作用力



(c) 原子核對軌道電子的作用

圖 1-1 行星形式的原子

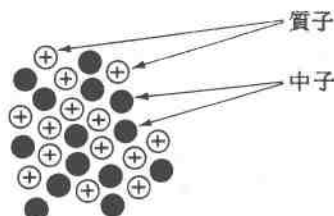


圖 1-2 矽原子的原子核

因質子和軌道電子數目相等，電荷量相等而極性相反，故電性互相中和。因此，所有原子通常均為電中性。若原子失去一個電子，即失去一些負電荷。那麼它將變為帶正電 (positively charged)，我們稱它為正離子 (positive ion)；同樣，若原子得到一個電子就變成帶負電 (negatively charged)，我們稱它為負離子 (negative ion)。

原子間的差異大都是由於這三種質點的數目和安排法不同而形成的。但是，所有的電子都是相同，質子和中子也是一樣。一個原子中的電子可以取代任何原子中的電子。不同的物質是由不同種類的原子，或幾種原子的不同組合而形成的。

原子內的質子（或電子）數目，稱為此原子的原子序 (atomic number)，原子量 (atomic weight) 大約等於原子核內質子和中子的總數。半導體 (semiconductor) 矽 (silicon) 元素的原子有 14 個質子，14 個中子，和 14 個軌道電子。因此它的原子序是 14，原子量約為 28。

1-3 電子軌道與能階

原子可用圖 1—3 所示的平面圖方便地表示出來。人們發現電子只能佔據某些距原子核固定距離的軌道環 (orbital rings) 或殼 (shells)，且各軌道只能容納定數的電子，外層軌道的電子決定原子的電性（和化性 chemical）。這些電子通常稱為價電子 (valence electrons)。一個原子的外軌道或價軌道 (valence shell) 可完全充滿或僅部份充滿。

4 基本電子裝置

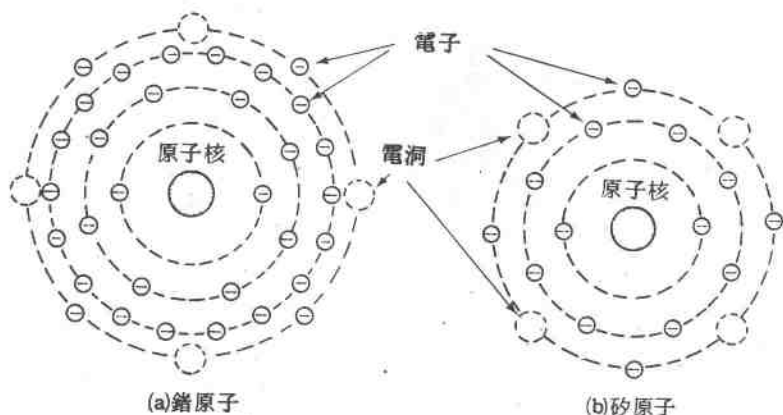


圖 1-3 矽和鍺原子的平面圖

圖 1—3 顯示兩種重要的半導體原子，矽 (silicon) 和鍺 (germanium)；由圖中可以看出各原子的價軌道最多可容納 8 個電子，現只有 4 個。因此我們說它們的價軌道有 4 個電子和 4 個電洞 (holes)。電洞，簡單地說就是軌道中可以有電子存在之處而缺少電子。雖然矽和鍺原子的價軌道有 4 個電洞，但仍為電中性 (electrically neutral)，因為軌道電子的總數等於原子核中的質子總數。

電子愈近原子核，束縛力愈大。各軌道都有相關聯的能階 (energy level)，代表吸引一個電子離開該軌道所必須供給的能量。因價軌道中的電子最遠離原子核，吸引它們離開原子所需的能量最少。相反地，最接近原子核的電子需要最大能量以吸離原子。

以上所述的能階量度，用電子伏特 (electron volts (eV))。一個電子伏特，被定義為移動一個電子經過一個伏電位差所需的能量。

1-4 能 帶

到目前為止，我們所討論的都是針對圍繞孤立原子的電子系統。孤立原子的電子只受原子內的力的作用。但是，當把原子拉近如在固

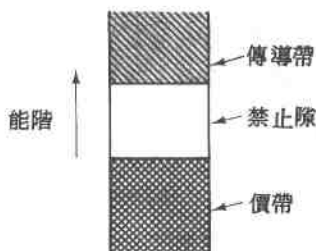


圖 1-4 能帶圖

體中一般的接近，電子將受其他原子的力的影響。電子群所佔的能階交融而形成能帶（energy bands）。任何物質之內，都有兩個分明的能帶可存在電子；價帶（valence band）和傳導帶（conduction band），分隔此兩能帶的是一能帶間隙（energy gap），通常電子不能存在於此間隙區中。我們稱此間隙為禁止隙（forbidden gap）。價帶、傳導帶，和禁止隙均分別示於圖 1—4。

傳導帶內的電子不是已逃離的原子，就是僅受原子核輕微的束縛。因此，加上不太大的能量，就可使它輕鬆地在物體內移動。要從價帶中吸出一個電子，或使它在價帶內移動，所需的能量就大得多。價帶中的電子通常在正常的繞行原子核的軌道上。任何種類的物質的禁止隙，或大或小或不存在。導體、絕緣體、和半導體之間的分別，大部份在於禁止隙的相對寬度。

1-5 固體中的傳導

在任一物體中，當加一個電位差，造成電子在物體內向期望方向移動時，傳導就發生了。這現象可歸因於兩種過程之一或全部：電子移動（electron motion）和電洞轉移（hole transfer）。在電子移動過程中，傳導帶的自由電子（free electrons）受所加電場的影響而移動。因電子帶負電，故被由所加電壓的負端推向正端。電洞轉移產生於仍吸著在原子的電子；亦即在價帶中的電子。

若價帶中的一些能階未被電子佔據，就有了電洞可讓電子存在。

6 基本電子裝置

電子能從一個原子中跳出，填入另一個原子的電洞裏。當它跳出時，留下一個電洞，因此我們說電洞向電子的相反方向移動。如此形成了因電洞的移動而造成的電流。

圖 1—5 (a) 中，所加的電位使一個電子由 y 原子跳至 x 原子。填入 x 原子價軌道的電洞中，而留下一個電洞在 y 原子，如圖 1—5 (b) 所示。現在假設一個電子受所加電位的影響而跳出 z 原子，填入 y 原子價軌道的電洞中，它將在 z 原子中留下一個電洞〔圖 1—5 (c)〕。就如此，造成電洞由 x 原子移至 y 原子，再至 z 原子。

電洞可視作是正粒子，以電子的反方向移動經過電場 (electric field)，即是說，正粒子被吸向所加電壓的負端。利用電洞移動的觀念，比電子由一原子跳至另一原子的觀念更為方便。

因電流是由傳導帶的電子移動和價帶的電洞移動所組成，電子和電洞被認作是電荷載子 (charge carriers)。每次電洞移動，電子必須供給足夠的能量使它能從其原子中逃出。移動自由電子所需供給的能量比電洞少，因為它們已與原子分開。因此之故，電子比電洞有較大移動率 (greater mobility)。

電流的單位是安培 (ampere) (A)。一個安培，被定義為當一

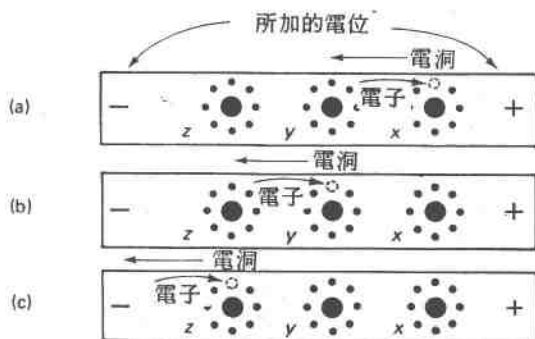


圖 1-5 電洞轉移造成的傳導 (a) 電子由 y 原子跳至 x 原子，(b) 它填入 x 原子的電洞中，而留下一個電洞在 y 原子，(c) 若一電子由 z 原子跳至 y 原子，它將在 z 原子裏留下一個電洞。