

工程學叢書③

最新電子工程

遠藤正 著

世一書局印行

作者簡介

昭和 7 年（1932）

昭和 30 年（1955）

昭和 30 年（1955）

昭和 46 年（1971）

昭和 53 年（1978）

現

在

Tadashi ENDOH

生於山形縣米沢市

山形大學工學部機械工學科畢業
服務於日本電信電話公社（技師
長室）。就職後，於總公司（技
術局、保全局）、電氣通訊研究
所（宅內機器研究部）等單位，
從事於印刷電信機、電信宅內裝
置、資訊宅內裝置及電信交換裝
置的開發。並且，從事於傳送電
信裝置。電信饋線的保全工作，
迄今。其間：

以「有關改善電信饋線之通信品
質的研究」而獲得東北大學工學
博士。

以電傳印字機專家，應（國
際電氣通信聯合會）之推荐，被
派赴緬甸（約 6 個月），於該國
交通部協助開發緬甸語之電傳印
字機。

任職日本電信電話公社總公司技
術局專門顧問。

目 錄

第一章 電子裝置	1
1-1 半導體	1
1-1-1 電子之物理特性	1
1-1-2 半導體 (Semiconductor)	10
1-1-3 PN 結合 (P-N junction)	15
1-1-4 二極體	22
1-1-5 矽控整流體 (thyristor)	24
1-1-6 電晶體 (transistor)	28
1-1-7 積體線路	50
1-1-8 電荷結合裝置及 CCD 記憶元件	55
1-1-9 光電變換元件	59
1-1-10 磁氣半導體元件	73
1-1-11 非晶體型半導體	74
1-1-12 壓感元件	75
1-1-13 HEMT	76
1-1-14 喬塞芬生元件	77
1-1-15 磁氣泡裝置	80
1-2 電子管	84

1-2-1 真空管	84
-----------	----

1-2-2 表示用電子管	88
--------------	----

第二章 類比線路 91

2-1 放大線路	91
----------	----

2-1-1 放大線路	91
------------	----

2-1-2 低頻放大線路	91
--------------	----

2-1-3 調諧放大線路	93
--------------	----

2-1-4 寬頻帶放大線路	97
---------------	----

2-1-5 直流放大線路	97
--------------	----

2-1-6 回授放大器	100
-------------	-----

2-1-7 功率放大器	106
-------------	-----

2-1-8 運算放大器	109
-------------	-----

2-2 振盪線路	122
----------	-----

2-2-1 振盪線路	122
------------	-----

2-2-2 LC 振盪器	122
--------------	-----

2-2-3 CR 振盪器	123
--------------	-----

2-2-4 石英水晶振盪器	125
---------------	-----

2-3 解調變線路	126
-----------	-----

2-4 電源線路	128
----------	-----

2-4-1 定電壓回路	128
-------------	-----

2-4-2 定電流線路	129
-------------	-----

第三章 脈衝及數位線路	131
3-1 脈衝線路.....	131
3-1-1 脈衝.....	131
3-1-2 波形轉換線路.....	131
3-1-3 波形整形線路.....	137
3-1-4 脈衝產生線路.....	141
3-2 數系.....	142
3-2-1 數的型式.....	142
3-2-2 數系之變換.....	143
3-3 邏輯運算.....	144
3-3-1 2 值線路及真值表.....	144
3-3-2 布耳代數.....	145
3-3-3 邏輯設計及係數合成.....	148
3-4 邏輯線路.....	152
3-4-1 邏輯線路.....	152
3-4-2 二極體邏輯線路.....	154
3-4-3 電晶體邏輯線路.....	158
3-4-4 電晶體、二極體邏輯線路.....	160
3-4-5 組合的邏輯線路.....	162
3-5 積體線路之邏輯線路.....	166
3-5-1 數位積體線路之設計要件.....	166

4 最新電子工程學

3-5-2 數位積體線路型式.....	170
3-5-3 基本閘極線路.....	200
3-5-4 利用 NAND, NOR 構成的 IC 邏輯線路.....	206
3-6 功能線路.....	207
3-6-1 記憶線路.....	207
3-6-2 計數線路.....	221
3-6-3 加減算線路.....	228
3-6-4 數位・類比, 類比・數位轉換線路.....	232
3-7 記憶器.....	239
3-7-1 利用積體線路之記憶器.....	239
3-7-2 RAM.....	242
3-7-3 ROM.....	244
3-7-4 IC 連想記憶器.....	248
3-8 PLA.....	248
3-8-1 組合邏輯線路.....	248
3-8-2 順序邏輯線路.....	249
3-8-3 PLA 的應用.....	250

第四章 機械控制..... 253

4-1 控制的基礎.....	253
4-1-1 自動控制.....	253

4-1-2 微電腦及其控制	270
4-2 周邊、終端裝置	275
4-2-1 周邊、終端裝置及控制	275
4-2-2 線路部份及機構部分的總合和動作	275
4-2-3 文字選擇及印字、記錄	280
4-3 事務用自動機器	298
4-4 工作母機	299
4-4-1 工作母機的自動控制及數值控制	299
4-4-2 伺服機構	299
4-4-3 NC 系統	300
4-4-4 自動化及無人化	302
4-4-5 利用自動化及光纖維的資料傳送方式	302
4-5 機器人	303
4-5-1 種類	303
4-5-2 控制	303
4-5-3 感覺、認識功能	306
4-5-4 聲音處理	307
4-5-5 機器人的應用	311
4-6 汽車	312
4-6-1 汽車的電子控制	312
4-6-2 引擎控制	313
4-7 照像機	316

6 最新電子工程學

4-7-1 照像機的電子控制	316
4-7-2 照像機的控制	317
4-7-3 自動聚焦	319
4-8 時鐘	319
4-9 縫紉機	320
4-10 碟影機	320
4-10-1 方式及構成	321
4-10-2 光學式碟影機系統	321
4-11 P O S	322
4-12 玩具遊樂器	323
4-13 家庭用電腦	323
4-14 船舶	323
4-15 農業設施	324

第五章 電子工程的應用

5-1 電氣通訊	325
5-1-1 通信網	325
5-2 傳送	327
5-2-1 光通信	327
5-2-2 衛星通訊	331
5-3 交換機	331
5-4 終端機	331

第一章 電子裝置

1-1 半導體

1-1-1 電子之物理特性

(1) 原子的構造

原子 (atom) 係由原子核 (atomic nucleus) 及電子 (electron) 所構成，而電子係在原子核外部的軌道上，環繞著原子核轉動。若電子之總數為 z ，而各電子之電荷為 e (電子為負電荷； $e = 1.602 \times 10^{-19}$ 庫倫)，則電子的總電荷即為 $-ez$ 。以原子的整體而言，原子並不具電性。原子核由帶有 $+e$ 電荷的 z 個質子 (proton) 及不帶電荷之中子 (neutron) 所構成。原子序 (atomic number) 即為電子的總數目。

在原子核外側軌道上的電子，由於距離原子核較遠，所承受的原子核引力較小，因此，如果給它一點能量，就會很容易地脫離原子核，而成為自由電子 (free electron)；因此，自由電子係脫離原子核的引力，而在物質中或真空中自由運行，如果受到電場或磁場的感應，也會受影響而運動。相反地，在原子核內側軌道內的電子，因受原子核強大的引力，而無法輕易地脫離原子核，固定在原子核內側的軌道上運行，此種電子，即稱為束縛電子 (bound electron)。

(2) 電子狀態及能量

電子之能態，係由主量子數 (principal quantum number) n ，方位量子數 (azimuthal quantum number，又稱為副量子數或軌道量子數) ℓ ，磁量子數 (magnetic quantum number，又稱為全角運動量量子數) m_L ，自轉量子數 (spin quantum number) m_s 等，來加以區別。波立 (Pauli) 認為：在一個多電子的原子內，同一個能階中，只能有一個電子，這就是波立不相容原理 (Pauli's exclusion principle)。

主量子數係與原子核至電子間的距離有關，為決定電子能態的一個重要因素。 n 的值可以為 1, 2, 3, ……， n 的值愈大，電子能態也愈大；具有相同 n 值的軌道群，稱為軌道層 (shell)， $n = 1$ 時之軌道群所對應的即稱為 K 層； $n = 2$ 時之軌道群所對應的則稱為 L 層。

構成原子內的電子能態，皆由最小狀態 (即：基態) $n = 1$ 開始，逐漸增高， $n = 2, 3, 4, \dots$ 。在同一 n 值能態內的電子數為 $2n^2$ 個電子。因此，當 $n = 1$ 時，即在 K 層軌道群中，其最大的收容電子數為 2 個 ($2 \times 1^2 = 2$)。而 $n = 2$ 之 L 層中的電子數，即為 $2 \times 2^2 = 8$ 個電子。同理，在 $n = 3$ 的 M 層中，具有 18 個電子。

因此，若一軌道層中，具有該軌道層所能容納的最大電子數，則該軌道層稱為封閉層 (closed shell)。若一軌道層未能完全具有該軌道層所應具有的最大電子數，則最外層之電子，稱為價電子 (valence electron)，此價電子對化學性質的影響至為重要。

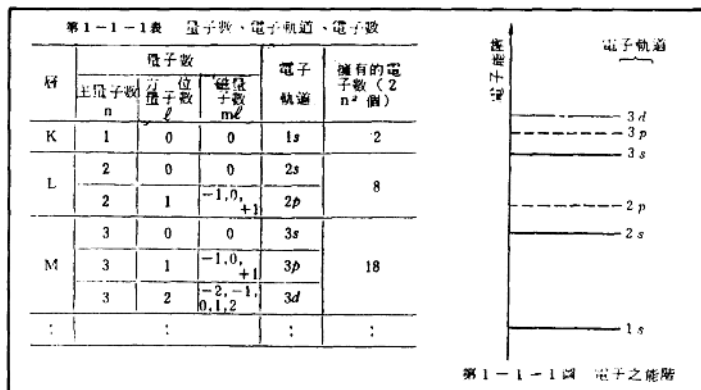
方位量子數與角運動量有關； $\ell = 0, 1, 2, 3$ 時，分別以 s, p, d, f 表示之。而且，更附在主量子數上，以 ns, np, nd, nf 等方式表示。例如：在 $n = 2$ ，s 狀態時，以 2s 表示；而在 $n = 3$

， p 狀態時，則以 $3p$ 表示。在同一 n 值時，以 ℓ 值愈大者，電子能態也愈大。又， ℓ 為量子化的不連續值， ℓ 及 n 之間，有下列的關係：

$$\ell = 0, 1, 2, 3, 4, \dots (n-1)$$

若將原子放在磁場中時，會發現一個能階 (energy level，即是能態的位準) 會被分裂，而成為幾股分量的現象，這就是所謂的塞曼效應 (Zeeman effect)。這表示方位量子數的能階，被分為數個能階。此種量子數，稱為磁量子數，以 m_ℓ 或 m 來表示，其能階被分為 $(2\ell + 1)$ ，可以用下列式子表示之：

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm (\ell - 1), \pm \ell \quad \text{第 1-1-1 表}$$



又，電子本身會自轉 (spin)，自轉的狀態有左轉及右轉兩種，此自轉之量子數，即稱為自轉量子數，以 m_s 或 S 表示之。

各種量子數之間的關係，如第 1-1-1 表所示；而能階的關係圖，則如第 1-1-1 圖所示。

(3) 費米階 (Fermi level)

在金屬內的自由電子，由於其密度較氣體還高，氣體分子的運動

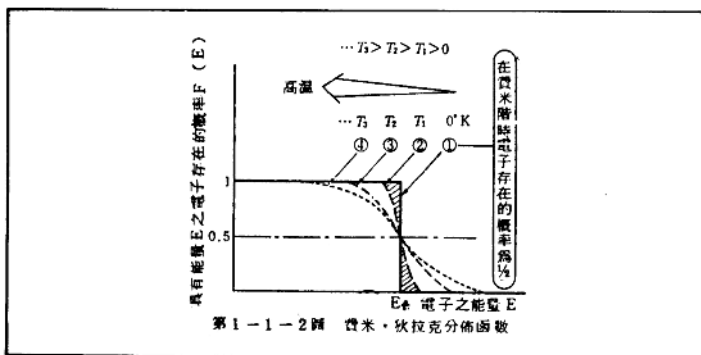
4 最新電子工程學

法則是依據馬克斯威爾·波滋曼分佈法則 (Maxwell · Boltzmann distribution rule)，而金屬內的自由電子則根據費米·狄拉克分佈法則 (Fermi · Dirac distribution rule)；這就是說，當一個金屬中的自由電子，在溫度 T 的熱平衡系統中，會處在能量 E 的狀態時，其概率為 $F(E)$ 。此概率 $F(E)$ 即稱為費米·狄拉克分佈函數，可用以下的式子表示之：

$$F(E) = \frac{1}{1 + e^{(E-E_f)/kT}} \quad (1-1-2)$$

式中， k 為波滋曼常數， E_f 即稱為費米階 (Fermi level)

在 $T = 0^\circ K$ ， $E < E_f$ 時，若要使 $e^{(E-E_f)/kT}$ 為無限小，則 $F(E) = 1$ 。又， $E_f < E$ 時，為使分佈函數之分母為無限大時， $F(E) = 0$ 。這就表示，在溫度為 $0^\circ K$ 時，所有電子能階都在費米階 E_f 以下；而沒有分佈在 E_f 以上的能階。如第 1-1-2 圖所示。

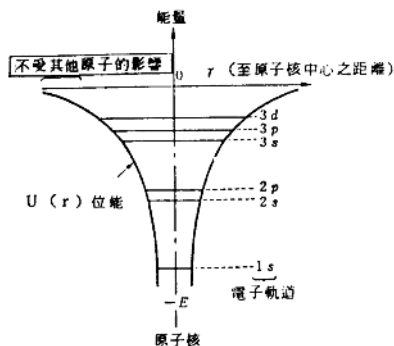


又，依照費米·狄拉克分佈函數所示，當 $E = E_f$ 時， $F(E) = 1/2$ ，因此，費米階就是電子存在概率為 $1/2$ 時的能階。當溫度逐漸上昇時，其概率分佈如第 1-1-2 圖內之②，③，④的圖形變化，而

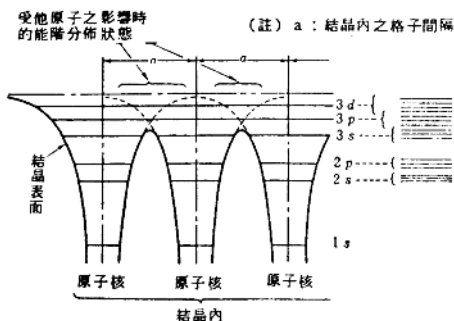
電子所具有的最大能階，也隨著溫度的增加而逐漸增大。

(4) 結晶中之電子狀態及能階

當一個原子單獨存在時，可以假設原子間的距離過大，此時，電子的能階，並不受他原子的影響，其位能函數，如第1-1-3(a)圖



(a) 單獨原子



(b) 結晶中的原子

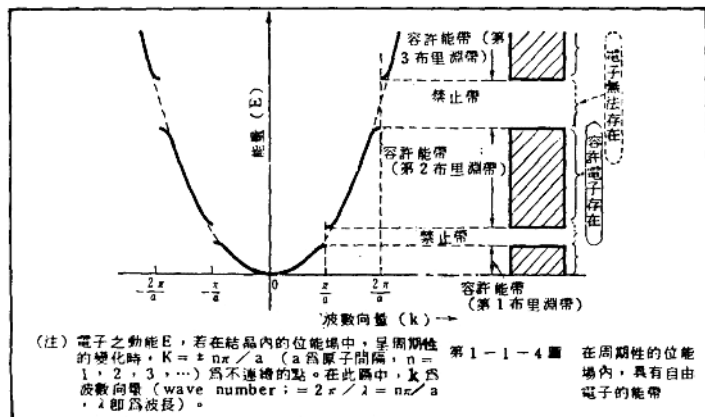
第1-1-3圖 原子附近之位能分佈

所示。當原子互相接近，由於受其他原子的影響，能階的改變頗大，即如第 1-1-3(b)圖所示，鄰近原子間的位能 (potential) 曲線之頂部變得很低。此即因為原子的外層電子 (主量子數 n 值很大者) 被其他的原子所共佔而引起的。

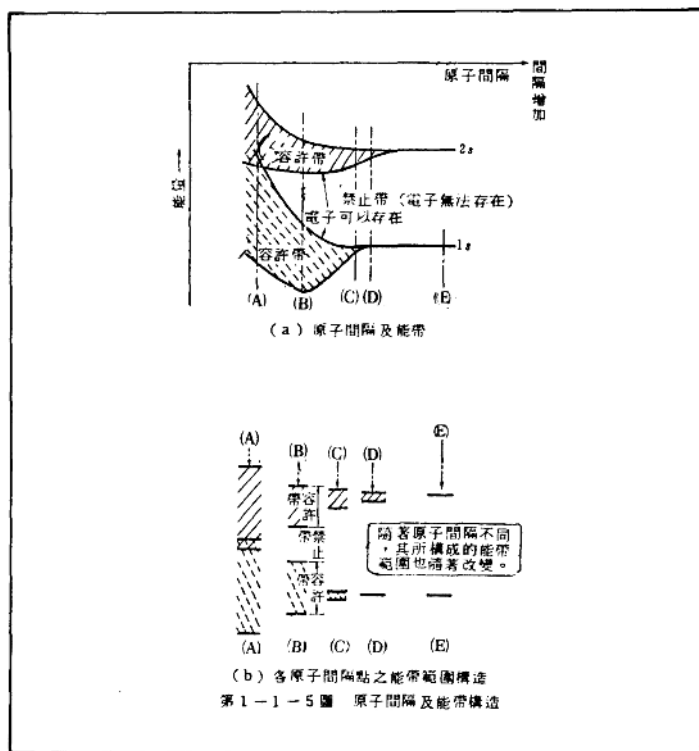
因而，首先原子之外側電子受其他原子之影響，此種具有高位準之能階綫即開始分裂，並具有分裂的寬度；當原子與原子間的距離愈小，即原子與原子愈接近時，內側電子的能階也同樣會發生分裂現象。

在實際的結晶體內，存在著非常多數而且距離非常靠近的原子，因此，分裂開的能階間隔也非常地小，事實上，也可以說，它已經形成一條連續帶狀的能帶 (energy band) 了；這一能帶，稱為容許帶 (allowed band) 或布里淵帶 (Brillouin band)，因為，在這個能帶的範圍內，可容許電子的存在。在容許帶與容許帶之間，稱為禁止帶 (forbidden band)，也稱為能隙 (energy gap)，因為在此範圍內並不容許電子的存在。

在結晶體內，原子規則地排列的情況下，其內部存在的自由電子



本身所具有的能階，即如第 1-1-4 圖及第 1-1-5 圖中不連續的部份所示，圖中並可以看出禁止帶及容許帶交互地存在著，此種交互存在的能階，可以將之分別稱為第 1 布里淵帶，第 2 布里淵帶……。



(5) 電氣傳導性及能帶

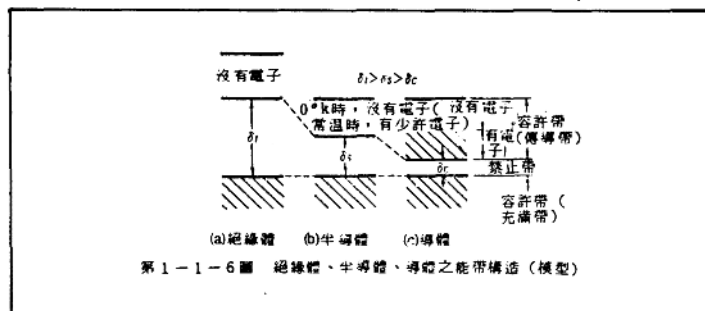
(A) 能帶 (energy band)

由於具有低能量的電子，易被收容，因此，在下位的容許帶，即填滿電子。但是，如第 1-1-6 圖所示，在最上位的容許帶內，有

8 最新電子工程學

的是完全沒有電子存在；有的是，只有一部份電子存在。當電子完全存在於容許帶內時，稱此容許帶為充滿帶（filled band）。

在最上位的容許帶，稱之為導電帶（conduction band）或傳導帶。另外，當原子結合時，共用價電子而成為共有結合時，價電子即集合於傳導帶下位的充滿帶，此稱為價電子帶（valence band）；又，充滿帶及傳導帶中間，有一個禁止帶（forbidden band），此稱為能源（energy gap）。



(B) 絕緣體、半導體、導體

(a) 絕緣體

絕緣體（insulator），如第 1-1-6 圖(a)中所示，由於其最上位的容許帶內完全沒有電子（自由電子），以致沒有電流流動，也就是說，電子與核的結合度太大，而使得原子間沒有自由移動的電子，具有此特性的物質，就是絕緣體。另一方面而言，在絕緣體內，最上位的充滿帶中，完全被電子填滿（在此之上，電子無法入內），在此之上的傳導帶內，完全沒有電子存在。如果外加電場，供給傳導帶內的電子一些能量，均不足以使電子由價帶移到傳導帶，因此沒有電子移動；而且，絕緣體的能隙很大，例如鑽石的能隙約為 6 ~ 7 eV（電子伏特，electronic volt）。〔電子伏特定義為：當

一個電子，移動1伏特的電位差時，它增加的動能量，等於它位能的損失量，等於1 eV。所以， $\text{eV} = (1.60 \times 10^{-19} \text{ 庫倫}) \times (1 \text{ 伏特}) = 1.60 \times 10^{-19} \text{ 焦耳} = 1 \text{ eV}$ 。

若在常溫時加熱，儘可能地使電子的熱能達到1 eV 的程度；通常，在常溫時，絕緣體內的傳導帶內是沒有電子存在的，但是，如果加高溫度時，一部份的電子會移動至傳導帶內，而成為具有導電性，此種移至傳導帶內之電子，即成為自由電子（也稱為傳導電子）。

(b) 半導體 (semiconductor)

具有代表性的半導體物質有：矽 (silicon) 及鎢 (germanium)，其單結晶的能帶構成，與絕緣體的鑽石相同，但是，矽與鎢的能隙較小，矽為1.1 eV，鎢為0.7 eV；而鑽石為6~7 eV。

然而，在常溫時，有時也會顯示出電子在傳導體內的導電性。此即，半導體與絕緣體在能帶構造上本質的差異，然而，半導體與絕緣體最大的不同，仍在於能隙的差異。

(c) 導體

導體 (conductor)，如第1-1-6圖(c)中所示，在最上位的容許帶（傳導帶）上，完全沒有電子聚集的情況，（例如：銅、銀、鋁等金屬），但是在傳導帶的下側能隙內即有電子存在；因此，在外加電場的影響下，電子可以獲得更多的能量，而移動到更高位的能隙上，由於此種移動而成為自由電子，因此，使傳導帶具有更多數的

