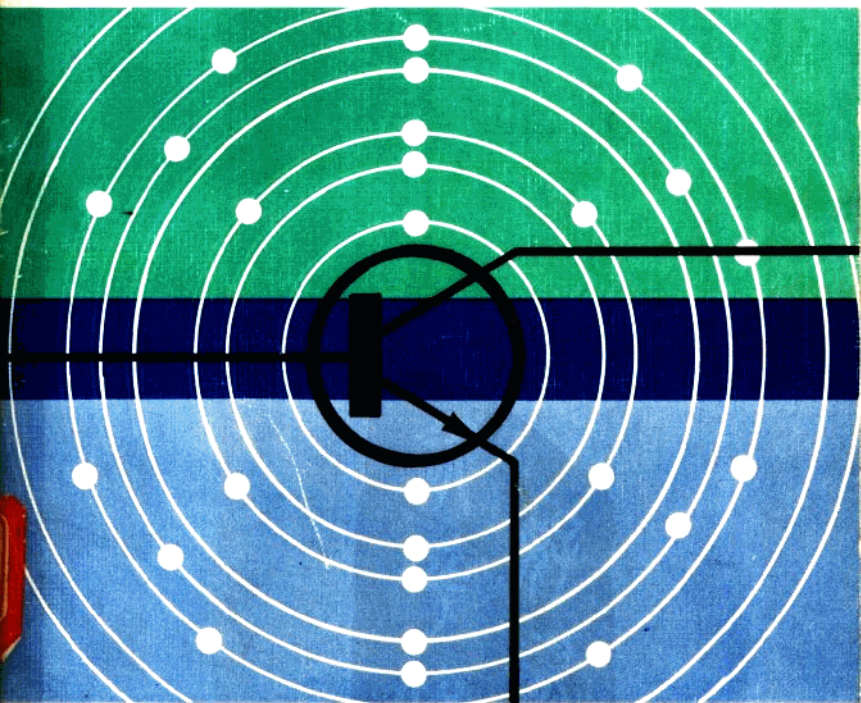


最新科技電子學(上)

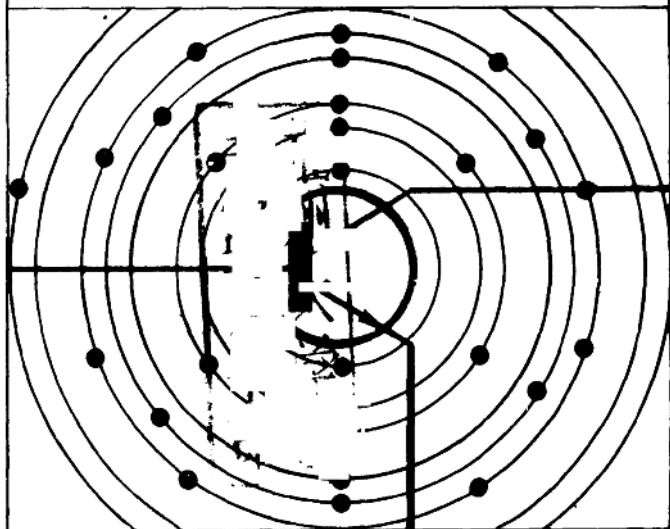
江金柱 編著



全華科技圖書公司印行

最新科技電子學(上)

江金柱 編著



全華科技圖書公司印行



全華圖書 版權所有 翻印必究

局版台業字第0223號

最新科技電子學(上)

江金柱 編著

出版者 全華科技圖書公司

北市建國北路85巷9號

電話:581-1300-564-1819

發行者 蕭 而 鄭

印刷者 慶福彩色印刷廠

東南亞 港 明 書 店

總經銷 香港九龍彌敦道500號2樓

電話:3-302846-3-309095

定 價 新臺幣 210 元

海外定價 港 幣 32 元

初 版 中華民國68年1月

編輯大意

1. 本書適用於大專電子、電機工程科系學生及相關方面工程技術人員使用。
2. 本書主要根據 Millman & Halkias 原著 "Integrated Electronics" (積體電子學) 及 Boylestad & Nashelsky 原著 "Electronics Devices and Circuit Theory" (電子裝置及電路理論) 二書為藍本，並參閱數十本相關的實用書籍，加以整理編譯而成。
3. 本書共分上、下二冊。上册內容包括：半導體物理、二極體特性和電路、電晶體特性、偏壓與穩定、低頻下電晶體及場效電晶體。下冊內容包括：高頻下電晶體、多級放大系統、頻率響應、音頻功率放大器、工業電子元件及其它電子裝置、負回授放大器、穩定性與振盪器、運算放大器（按：數位電子學部份另著專書介紹）。
4. 本書對電路分析及電子裝置的介紹，力避繁冗贅述，行文力求簡明淺顯。對於公式的推導力求完整明晰，使其脈絡一貫，幫助閱讀理解的連貫性；同時，對各重要公式的應用皆附例題。各章之後另列充實而詳細的複習問題及精選的習題藉以測驗讀者對該章理解的程度。
5. 本書承全華科技圖書公司本提倡科技新知之旨意，概予出版；本書雖經審慎編譯，但可能仍有疏漏或“尚須改進”之處，還望讀者先進不吝指教。

江 金 柱 謹識

民國六十七年七月

圖書之可貴 在其量也在其質

量指圖書內容充實、質指資料新穎够水準，我們就是本著這個原則，竭心盡力地為國家科學中文化努力，貢獻給您這一本全是精華的全華圖書。

目 錄

第一章 能階和能帶

1-1 帶電質點.....	1
1-2 帶電質點在電場內的運動.....	2
1-3 帶電質點在磁場內的運動.....	11
1-4 陰極射線管內的靜電與磁力偏向.....	14
1-5 原子的能階.....	18
1-6 元素的電子結構.....	22
1-7 晶體的能帶說.....	25

第二章 半導體內的傳導

2-1 金屬的移動率及傳導係數.....	31
2-2 金屬的費密階.....	36
2-3 本質半導體內的電子和電洞.....	39
2-4 施體和受體雜質.....	41
2-5 半導體中的費密階.....	47
2-5-1 本質半導體內的費密階.....	47
2-5-2 雜質半導體內的費密階.....	49
2-6 霍爾效應.....	54
2-7 傳導係數調變.....	57
2-7-1 改變溫度.....	57

2-7-2 使輻射線落到半導體上·····	57
2-8 半導體內載體濃度作為距離和時間的函數·····	59
2-9 注入的少數載體電荷·····	62
2-10 在有階的半導體中電位的變化·····	65

第三章 接面二極體特性

3-1 斷路的p-n接面·····	73
3-2 p-n二極體內的電流分量·····	78
3-3 二極體伏安特性曲線·····	84
3-4 二極體電阻·····	90
3-5 空乏區或過渡區電容 C_T ·····	93
3-6 擴散電容·····	100
3-7 二極體交換時間·····	104
3-8 電荷儲存的二極體·····	106
3-9 齊納二極體·····	109
3-10 隧道或透納二極體·····	118
3-11 背向二極體或隧道整流體·····	123
3-12 在二極體中的溫度作用·····	125

第四章 二極體電路

4-1 負荷線與二極體的特性區線·····	139
4-2 片斷式線性二極體模型·····	141
4-3 截波電路·····	147
4-4 箝位電路·····	163
4-5 抽樣閘·····	166
4-6 整流器·····	171
4-6-1 半波整流器·····	173
4-6-2 中間抽頭式的全波整流器·····	178

4-6-3 橋式整流電路	181
4-7 濾波器	186
4-7-1 電感濾波器	186
4-7-2 電容濾波器	190
4-7-3 L型濾波器	198
4-7-4 多節L型濾波器	206
4-7-5 π 型濾波器	207
4-8 濾波電路的總論	214
4-9 電壓倍增電路	219
4-10 其他二極體電路	224
4-10-1 比較器	224
4-10-2 邏輯閘	228
4-10-3 電路應用例	230

第五章 電晶體特性

5-1 接面電晶體	249
5-2 電晶體作為一個放大器	252
5-3 共基組態	253
5-4 共射組態	257
5-5 共射電流增益	268
5-6 共集組態	272
5-7 電晶體交換時間	274
5-8 最高電壓額定	276
5-9 電晶體的構造及外觀	281

第六章 電晶體偏壓與穩定

6-1 偏壓及穩定	293
6-2 共基偏壓電路	295

6-3	固有偏壓電路	298
6-4	自偏或射極偏壓電路	301
6-5	穩定因數分析	310
6-6	含射極電阻 R_e 的固定偏壓電路	318
6-7	含電壓回授的偏壓電路	321
6-8	含射極電阻 R_e 和電壓回授穩定的偏壓電路	324
6-9	共集（射極隨耦）偏壓電路	328
6-10	其他各種偏壓電路例	330
6-11	利用圖解法來分析直流偏壓	335
6-12	偏壓補償	341
6-13	在電晶體放大器中周遭溫度的考慮	346

第七章 低頻下的電晶體

7-1	拼合參數	367
7-2	電晶體的拼合模型	369
7-3	各 h 參數	373
7-4	三種電晶體組態其參數的變化公式	377
7-5	利用 h 參數對電晶體放大電路的分析	380
7-6	射極隨耦器	386
7-7	電晶體電路的線性分析	390
7-8	電晶體拼合模型的簡化分析	406
7-9	含射極電阻的共射放大器	413
7-10	電晶體放大器各種組態的比較	419
7-11	高輸入電阻的電晶體電路	421

第八章 場效電晶體

8-1	接面場效電晶體	448
8-2	JFET 的靜態理論分析	453

8-3	MOS 場效電晶體	458
8-4	場效電晶體的小訊號模型	465
8-5	對場效電晶體施偏壓	469
8-6	低頻下場效電晶體放大器的基本組態	487
8-7	單極—雙極電路的應用	498
8-8	場效電晶體作為壓變電阻器	504
8-9	高頻下場效電晶體放大器	506
附錄一 一般物理常數的概值		527
附錄二 變換因數及字首		529

1

能階和能帶

1-1 帶電質點

原子結構

拉塞福 (Rutherford) 在 1911 年發現原子是由一個帶正電而質量幾乎和原子相當的原子核 (nucleus) 以及若干圍繞此核而帶負電的電子所組成。其中原子核係由正性的質子 (proton) 及中性的中子 (neutron) 組成。

由實驗測定質子、中子及電子所携的電荷量及質量的數值列示於表 1-1 中：

表 1-1 質子，中子及電子電荷量及質量典型值

質 點	符 號	電 荷 量 q	質 量 m
質 子	p	1.602×10^{-19} 庫	1.673×10^{-27} 仟克
中 子	n	0	1.675×10^{-27} 仟克
電 子	e	-1.602×10^{-19} 庫	9.109×10^{-31} 仟克

由表 1-1 中，吾人可得：

一個電子的電荷對質量之比 $q/m = 1.759 \times 10^{11}$ 庫 / 仟克

2 最新科技電子學(上)

質子質量對電子質量的比 $m_p/m_e = 1.837 \times 10^3$

正離子 (positive ion) 所帶的電量是電子上電量的整倍數。但是符號相異。單離子所帶電量和電子上的電量相等；雙離子所帶電量則為電子的二倍。

原子量：表示原子的質量。由元素週期表中，發現矽 (Si) 原子量為 28，鎢 (Ge) 為 72。

原子序：指出圍繞原子核旋轉的電子數。得知矽為 14，鎢為 32。

電子的半徑被估計為 10^{-15} 米；原子的半徑約為 10^{-10} 米。由於這些粒子均非常小，因此所有電荷均將被當作質點來考慮。

1-2 帶電質點在電場內的運動

場強 (Field Intensity)

依定義，單位正電荷 q 在電場內任何一點所受的力 f_e (牛頓)，就是這個電場在這一點上的強度 ϵ 。運用牛頓第二運動定律，得到

$$f = q\epsilon = m \frac{dv}{dt} \quad (1-1)$$

其中 f 的單位是牛頓， q 的單位是庫倫， ϵ 是伏 / 米；質量 m 是仟克，速度 v 是米 / 秒。

如果電子所帶電荷是 e ，則電子在這電場裏所受的作用力就是

$$f = -e\epsilon \quad (1-2)$$

式中負號表示作用力的方向和電場相反。

• 在均勻電場內電子的單維運動：考慮如圖 1-1 所示在平行板電容器二個極片之間電子的單維運動。

假定初始條件為：

$$\text{當 } t = 0, v_x = v_{0x}, x = x_0, \quad (1-3)$$

由牛頓運動定律知：

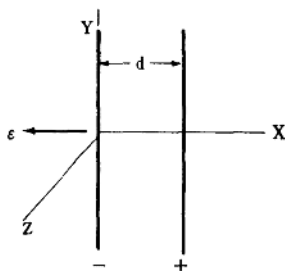


圖 1-1 平行板電容器二極片間單極式電場。

$$f_x = e\epsilon_x = ma_x$$

或

$$a_x = -\frac{e\epsilon_x}{m} = \text{常數} \quad (1-4)$$

式中腳註 x 表在 X 軸方向的分量。由式 (1-4) 可知電子在均勻電場中將以一定的加速度運行。

電子的位移和速度公式爲：

$$v_x = v_{0x} + a_x t, \quad x = x_0 + v_{0x} t + \frac{1}{2} a_x t^2, \quad (1-5)$$

式中假定 $a_x = \text{常數}$ ，不依時間 t 改變。若 a_x 隨時間而變，則式 (1-5) 必須改寫成：

$$\frac{dv_x}{dt} = a_x, \quad \text{及} \quad \frac{dx}{dt} = v_x \quad (1-6)$$

電位 (potential) 依定義，一點 x 對另一點 x_0 的電位 V (伏) 是將一個單位正電荷自 x_0 移到 x 時所需要對電場作的功。所以

$$V \equiv - \int_{x_0}^x \epsilon_x dx \quad (1-7)$$

如果是均勻電場，則

$$V \equiv - \int_{x_0}^x \epsilon_x dx = -\epsilon_x (x - x_0)$$

因此，若在圖 1-1 的電容器的二極片上加以 V 的電位差，則二片間的場強將是：

$$\epsilon_x = \frac{-V}{x - x_0} = -\frac{V}{d} \quad (1-8)$$

式中 ϵ_x 的單位是伏/米， d 是二極片間的垂直距離，單位是米。

若電場是距離的函數，則

$$\epsilon_x = -\frac{dV}{dx} \quad (1-9)$$

(1-9) 式中的負號表示電場的方向係由高電位處指向低電位處。

由牛頓第二定律可以得到

$$a_x = -\frac{e\epsilon_x}{m} = \frac{dv_x}{dt}$$

將上式乘以 $dx = v_x dt$ ，再積分，就變成：

$$-\frac{e}{m} \int_{x_0}^x \epsilon_x dx = \int_{v_{0x}}^{v_x} v_x dx \quad (1-10)$$

利用式(1-7)得

$$eV = \frac{1}{2} m (v_x^2 - v_{0x}^2) \quad (1-11)$$

茲考慮空間任何二點 A 和 B，假設 B 點電位比 A 點高 V_{BA} ，則式(1-11)

可重寫成：

$$qV_{BA} = \frac{1}{2} m v_A^2 - \frac{1}{2} m v_B^2 \quad (1-12)$$

其中 q = 電荷，單位是庫侖。

qV_{BA} = 位能，單位是焦耳。

v_A ， v_B 分別是在 A 點的初速和在 B 點的末速度，單位均是米/秒。

能量不減定理

式(1-12)左側表示由 A 到 B 所昇高的位能 (potential energy)，而右側則表示由 A 到 B 所降低的動能 (kinetic energy)。亦即說明增加的位能等於失去的動能，結果總能量不變。

電子由靜止狀態開始，其最終速度 v 可由式(1-12)求得：

令 $v_A = 0$ ， $V_{BA} = V$ 並以 $q = -e$ 及 $v_B = v$ 代入

即得：

$$v = \left(\frac{2eV}{m} \right)^{1/2} \quad (1-13)$$

或者，

$$v = 5.93 \times 10^5 V^{1/2} \quad (1-14)$$

能量的電子伏單位

電子伏 (electron-volt, eV) 係一功成能的單位，依定義：

$$1 \text{ 電子伏} = 1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ 焦耳}$$

當然，任何一種能量，不限於電能如機械能、熱能或別的，均可用電子伏來表示。

名稱由來：當一個電子“落”下1伏特的電位差時，其動能將增加其位能所損失的量，即是

$$\begin{aligned} eV &= (1.60 \times 10^{-19} \text{ 庫倫}) (1 \text{ 伏特}) = 1.60 \times 10^{-19} \text{ 焦耳} \\ &= 1 \text{ 電子伏。} \end{aligned}$$

一個E (電子伏) 的位能障壁就相當於一個V (伏特) 的位山，這些量之間的關係是

$$eV = 1.60 \times 10^{-19} E \quad (1-15)$$

注意：V和E在數值是相等的，但在因次上則不同。

例 1-1

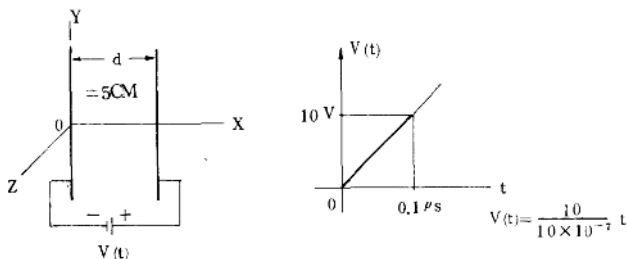
如圖1-2所示，一個電子在平行板電容器的一個極片上由靜止狀態開始。二片間的距離是5厘米。從電子被放羈的那一剎起，二極片之間的電壓在0.1微秒內，(1微秒 = $1 \mu\text{sec} = 10^{-6}$ 秒)，由零直線地增加到10伏特。

(a) 如果對面極片是正的，在50奈秒 (nsec, nanosecond, 10^{-9} 秒) 內，電子將達到什麼速度？

(b) 在第50奈秒末，電子將在何處？

(c) 電子到達對方極片時的速度是多少？

解：(a) 由式(1-8)得出電場強度：

圖 1-2 平行板電容器二極片上施加一時變線性電位 $V(t)$ 。

$$\varepsilon = \frac{V}{d} = \frac{10}{5 \times 10^{-2}} \times \frac{t}{10^{-7}} = 2 \times 10^9 t \text{ (伏/米)}$$

所以，

$$a_x = \frac{d v_x}{dt} = \frac{f_x}{m} = \frac{e \varepsilon}{m} = (1.76 \times 10^{11}) (2 \times 10^9 t) \\ = 3.52 \times 10^{20} t \text{ (米/秒}^2 \text{)}$$

將它積分就可得到

$$v_x = \int_0^t a_x dt = 1.76 \times 10^{20} t^2 \text{ (米/秒)}$$

當 $t = 5 \times 10^{-8}$ 秒時， $v_x = 4.40 \times 10^5$ (米/秒)

(b) 將 v_x 對 t 積分，並且利用 $t = 0$ ， $x = 0$ 的初始條件就可以得出：

$$x = \int_0^t v_x dt = \int_0^t 1.76 \times 10^{20} t^2 dt = 5.87 \times 10^{19} t^3$$

當 $t = 5 \times 10^{-8}$ 秒， $x = 7.32 \times 10^{-3}$ 米 = 0.732 厘米。

(c) 要求出電子到達對面極片時的速度，只要算出電子到達對面極片所需的時間 t 。由(b)中 x 值，求 t

$$t = \left(\frac{x}{5.87 \times 10^{19}} \right)^{1/3} = \left(\frac{0.05}{5.87 \times 10^{19}} \right)^{1/3} = 9.46 \times 10^{-8} \text{ 秒}。$$

所以，

$$v_x = 1.76 \times 10^{20} t^2 = 1.76 \times 10^{20} (9.46 \times 10^{-8})^2 \\ = 1.58 \times 10^6 \text{ 米/秒}。$$

• 在均勻電場內電子的二維空間運動：考慮一個平行板電容器，二極片

方向如圖 1-2 所示。

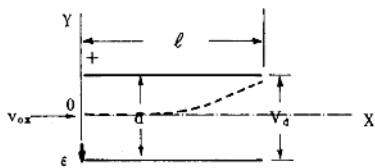


圖 1-2 在均勻電場內電子之二維空間的運動。

假定初始條件為：

$$\text{當 } t = 0, \quad v_x = v_{0x}, \quad x = 0$$

$$v_y = 0, \quad y = 0 \quad (1-16)$$

$$v_z = 0, \quad z = 0$$

在 X 方向，

$$\left. \begin{aligned} v_x &= v_{0x}, \\ x &= v_{0x} t, \end{aligned} \right\} \quad (1-17)$$

在 Y 方向，

$$\left. \begin{aligned} v_y &= a_y t, \\ y &= \frac{1}{2} a_y t^2, \end{aligned} \right\} \quad (1-18)$$

其中

$$a_y = -\frac{e \epsilon_y}{m} = -\frac{e V_d}{m d} \quad (1-19)$$

式中 V_d 即是二極片間的電位差；同時由上諸式確知 **電子在二極片間所受加速度是向上的。**

將 (1-17) 和 (1-18) 二式合併並消去 t ，就可以知道電子在這區域內運行的路線：

$$y = \left(\frac{1}{2} \frac{a_y}{v_{0x}^2} \right) x^2, \quad (1-20)$$

此乃一拋物線公式。故知 **電子在二極片之間是依拋物線運行的。**