

525149

暨編 士精 碩合 秀聯 優生 大究 台研

電子學研究突破

(附歷年試題暨解答)

最新研究所入學叢書

傅鐘出版事業公司 印行
研究所輔導諮詢中心

李聖隆律師代表傳鐘出版事業公司聲明啓事

- 一、本律師茲據傳鐘出版事業公司負責人委稱：「查敝公司所印行高普特檢考、預官考選、研究所入學考試等各類參考用書，均係禮聘各科專家學者精心編著而成，由於內容週詳，合乎實用，已受各界好評。因恐不法之徒，正思剽竊，抄襲、翻印、為特委請貴律師代為刊登啓事：凡剽竊、抄襲、翻印、改竄敝公司所印行各書者，均將依法嚴加追訴。」等語前來。合代啓事如上。
- 二、

律 師：李 聖 隆

事務所：臺北市復興南路二段45號 樓

(如意大樓四樓)

電話：七二一九三三九・七三一一九二九

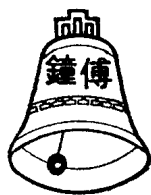
想成功，必須作萬全的準備，而一本好書更是準備的指南，成功的保障！

本公司為使考生們能順利榮登金榜，特禮聘全國第一流學府一國立台大、政大、師大優秀研究所博士研究生，根據臺大等名校權威教授之講義筆記，融以自己親身臨考所獨獲的經驗與心得，參照坊間各家書籍，擇其優點，針對最新命題趨勢與重點，聯合精心編寫：「研究所入學考試叢書」，以饗讀者。

最後敬祝諸位

金榜題名
順利成功

傅鐘出版事業公司
研究所輔導諮詢中心 謹上



致參加有志報考研究所朋友們的一封信

諸位應考朋友們：

教育部已於七十二年公布三專、二專、五專畢業的同學，亦可報考研究所。此項消息對有志繼續深造的朋友們而言，實為一大喜訊！研究所已經不是大學畢業生的專利，只要有才學的人均可藉着考試方式公平競爭，施展抱負，而不再有「懷才不遇」之嘆！所謂「十年寒窗無人問，一試成名天下知」，有機會就該把握，知道把握、成功就是你的。

然而在此放寬考試資格限制的今天，報考人數必增、競爭更烈。以往研究所之門已窄，以後勢必更窄，在「僧多粥少」的情況下，若

傅鐘考試叢書編輯陣容

編輯顧問：廖文山

臺大法學士，法學碩士
司法官特考、律師高考、留學考及格

文史地理主義科類：莊以德

臺大文學士、文學碩士
高考、留學考及格

許澤浩
臺大歷史系、師大碩士
留學考及格

王彰沅
臺大三民主義研究碩士

法律政治行政科類：吳鴻章

政大法學士、臺大法學碩士
司法官特考及格

郭華偉
臺大政治系、政治學碩士
外交官特考、留學考及格

程建儒
政大公共行政系、公共行政學碩士
行政人員特考及格

財經金融會計科類：黃宇陽

臺大經濟系、經濟學碩士
金融人員特考及格

李華彬
政大財稅系、財政學碩士
財稅人員特考及格

張方國
政大國際貿易系、國際貿易碩士
國際貿易人員高考及格

電信郵政交通科類：李淑惠

臺大文學士
交通事業電信郵政雙重特考及格

黃國輝
臺大畢業，電信特考及格

林福龍
成大交通管理系畢業，電信特考及格

預官考選叢書：臺大優秀碩士研究生預官學長
研究所入學：各司所長，集體創作

編輯大意

近年來政府爲促進工業升級，需要大量科技人才，因而全力發展高級科技教育，各研究所均擴大招生，爲有志深造之學子提供了許多進一步學習的機會。其中電機工程尤爲發展尖端科技的重心，舉凡半導體元件、通信系統、計算機、數值控制、機器人、雷射、電力系統等，莫不是電機工程之範圍。其中，電子學又爲必備之基本能力，其重要性不言可喻。

電子學乃投考各校電機或電子研究所之必考科目，本書之編輯，即爲讓準備投考之同學，能夠事前練習，熟悉出題方式，培養充分的實力。本書之編輯方式，以各校最廣泛使用之密爾曼電子學課本爲藍本，依其章節整理出點，並附以歷屆各校研究所入學試題（以台大電研所爲主），再輔以精選之交大、交大、成大等校之電子學期中、期末考試題，均加以詳細解答。同學們詳讀後，除能加深觀念，熟悉各類題目之解法外，相信在研究所入學考試中，也已掌握了致勝的關鍵。

電子學研究突破

目 錄

第 一 章 半導體

1-1	帶電粒子	1
1-2	電場強度電位及能量	1
1-3	能量的“電子伏”單位	2
1-4	移動率與傳導係數	2
1-5	本質半導體內之電子與電洞	3
1-6	施體與受體雜質	3
1-7	半導體中的電荷濃度	3
1-8	鎢與鈔的電性	4
1-9	霍爾的效應	4
1-10	熱阻器與敏阻器	5
1-11	擴散	5
1-12	在有階半導體中電位的變化	6

第 二 章 接面二極體的特性

2-1	斷路的P—n接面作為整流器用	13
2-2	P—n接面作為整流器用	14
2-3	伏特—安培特性	14
2-4	V/I 特性曲線與溫度的關係	15
2-5	二極體電阻	15
2-6	空間電荷或變遷區之電容 C_T	16
2-7	二極體中少數載子之儲存	16
2-8	擴散電容	17
2-9	崩潰二極體	17
2-10	二極體作為一個電路元件	18
2-11	負荷線的觀念	18
2-12	片斷式線型二極體模型	18
2-13	接面二極體的開關時間	19

第 三 章 雙載子電晶體特性

3-1	接面電晶體	27
3-2	電晶體中各項電流分量	28
3-3	電晶體作為放大器	28
3-4	電晶體的製作	29
3-5	共基阻態	29
3-6	共射阻態	30
3-7	共射的截止電流	31
3-8	共射的飽和區	31
3-9	典型電晶體接面電壓值	32
3-10	共射的電流增益	32
3-11	反向的操作方式	33
3-12	電晶體的各項額定	33
3-13	附加的電晶體特性	33
3-14	電晶體的交換時間	34
第四章 積體電路：製法與特性		
4-1	積體電路的製作術	47
4-2	基本單石積體電路	47
4-3	晶膜增長	47
4-4	罩幕與蝕刻	48
4-5	雜質之擴散	48
4-6	單石電路的電晶體	48
4-7	單石二極體	49
4-8	金屬與半導體間的接觸	50
4-9	積體電阻器	51
4-10	積體電容器	51
第五章 數位電路		
5-1	系統的數位運算	55
5-2	或閘	55
5-3	及閘	56
5-4	反閘	57
5-5	禁止(致能)運算	57
5-6	互斥或閘	57
5-7	笛摩根定律	58

5-8	二極體——電晶體式的反及開與反或開	58
5-9	修改後的DTL 開	58
5-10	高臨界邏輯開(HTL)	59
5-11	電晶體——電晶體邏輯開(TTL)	59
5-12	輸出級	60
5-13	電阻器——電晶體(RTL)和直接耦合的電晶體邏輯(DCTL)	61
5-14	射極耦合的邏輯(ECL)	62
5-15	邏輯種類之比較	63
第 六 章 組合的數位系統		
6-1	標準開的組合	77
6-2	二進位之加法器	77
6-3	算術函數	79
6-4	數位式比較器	80
6-5	同位校對器/產生器	81
6-6	解碼器/解多工器	82
6-7	數據選擇器/多工器	83
6-8	編碼器	85
6-9	只讀記憶(ROM)	86
6-10	只讀記憶的維位址	86
第 七 章 序向數位系統		
7-1	一位的記憶	93
7-2	時序S-R 正反器	94
7-3	J-K, T 和D型的正反器	94
7-4	移位暫存器	96
7-5	鏈波計數器	96
7-6	同步對數器	97
第 八 章 場效電晶體		
8-1	接面場效電晶體	103
8-2	接面場效電晶體的伏特——安培特性曲線	104
8-3	接面場效電晶體製法	104
8-4	增強式金氧半場效電晶體	105
8-5	空乏式金氧半場效體	105

8-6	臨限電壓之改進	106
8-7	金氧半場效電晶體反相器	106
8-8	金氧半場效電晶體反相器邏輯閘	108
8-9	互補式金氧半場效電晶體	109
第九章 大型積體電路		
9-1	動態MOS 移位暫存器	117
9-2	無比例 (Ratioless) 的移位暫存級	117
9-3	MOS 的只讀記憶 (ROM)	118
9-4	可規劃的邏輯陣列 (PLA)	119
9-5	隨機出入的記憶 (RAM)	119
9-6	電荷耦合的裝置 (Charge - Coupled Device CCD) ...	120
9-7	積體注入式邏輯 (1^2L)	120
第十章 類比式二極體電路		
10-1	模型與簡單應用	127
10-2	二極體的應用	128
第十一章 低頻放大器		
11-1	雙載子接面電晶體的操作點	137
11-2	偏壓的穩定性	138
11-3	自偏或射極偏壓	138
11-4	I_{CO} , V_{BE} 及 β 對 I_C 的影響	139
11-5	雙載子接面電晶體在小訊號下的近似模型	140
11-6	共射極放大器	141
11-7	射極追隨器	142
11-8	共基極放大器	143
11-9	有射極電阻的共射極放大器	143
11-10	串接的電晶體放大器	144
11-11	高輸入電阻的電晶體	145
11-12	場效電晶體的偏壓	146
11-13	場效體的小訊號模型	147
第十二章 回饋放大器特性		
12-1	附加回饋之轉換增益	155
12-2	一般特性	155
12-3	輸入電阻	155

12-4	輸出電阻	157
第十三章	放大器之頻率響應	
13-1	頻率失真	181
13-2	放大器之步階響應	181
13-3	電晶體之高頻等效模型	182
13-4	串接級的頻寬	182
第十四章	回饋電路之頻率響應	
14-1	回饋對放大器頻寬的影響	193
14-2	雙極點之轉換函數加上回饋之結果	193
14-3	多極點回饋放大器之近似分析	195
14-4	穩定性	195
第十五章	運算放大器之特性	
15-1	基本運算放大器	205
15-2	差動放大器	206
15-3	射極耦合差動放大器	206
15-4	差動放大器之轉換特性	207
15-5	運算放大器設計技巧	208
15-6	偏差電壓與電流	208
第十六章	運算放大器系統	
16-1	基本運算放大器之應用	215
16-2	差動放大器	215
16-3	類比信號之積分微分	216
16-4	有源濾波器	216
16-5	有源共振帶通濾波器	216
第十七章	整波電路及波形產生電路	
17-1	比較器	227
17-2	再生比較器	227
17-3	移相振盪器	228
17-4	振盪器之一般型式	228
17-5	WIEN 電橋振盪器	229
17-6	晶體振盪器	229
第十八章	功率電路與系統	
18-1	大信號放大器	245

18-2	諧波失真	246
18-3	A類放大器之效率	246
18-4	B類推挽式放大器	247
18-5	AB類失真	248
18-6	電晶體之熱效應	249
附錄：電研所入學考試試題彙編		257

第一章 半導體

【重點整理】

§ 1 - 1 帶電粒子

原子係由質子、中子、電子所構成，其基本特性如下：

1. 電子：電量 $e = -1.6 \times 10^{-19}$ 庫倫
質量 $m = 9.11 \times 10^{-31}$ 仟克
荷質比 $= e/m = 1.76 \times 10^{11}$ 庫倫 / 仟克
2. 中子：電量 $e = 0$ 庫倫（不帶電）
質量 $\approx$ 質子之質量 $= m = 1.68 \times 10^{-27}$ 仟克
3. 質子：電量 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ 庫倫
質量 $m = 1.68 \times 10^{-27}$ 仟克

半導體結晶中，每一對相鄰的離子共有二個電子，此種組態被稱為共價鍵（Covalent bond）。當鍵上失去一個電子則留下一個“電洞”。電洞的流動與正電荷流動的效果相當，故亦形成電流。

§ 1 - 2 電場強度電位及能量

一個單位正電荷 q 在電場中所受之力 f ， $f = qE = m \frac{dv}{dt}$ （ f ：牛頓

， q ：庫倫， E ：伏特 / 米）， B 點對 A 點的電位 V （伏特） $V = - \int_A^B E dx$

故同理 $E = - \frac{dV}{dx}$ 。

位能 U （焦耳）等於電位 V 乘上被考慮的電荷 q ， $U = qV$

能量守恒定律： $W = U + \frac{1}{2}mv^2 = \text{const}$
（總能量）（位能）（動能）

§ 1-3 能量的“電子伏”單位

對於電子的能量單位而言，能量的單位 J (焦耳) 或爾格 (ergs) 均嫌太大，故定義一個功或能的單位為電子伏 (electron-volt)

$$\begin{aligned} 1 \text{ eV} &= 1.60 \times 10^{-19} \text{ 焦耳} \\ &= \text{一個電子落下一伏特電位動能之增加量} \\ &= (1.60 \times 10^{-19} \text{ 庫倫}) \times (1 \text{ 伏特}) \end{aligned}$$

§ 1-4 移動率與傳導係數

1. 電子氣體 (electron gas)：由於金屬原子外層的價電子不屬於任何特定的原子，其可以在原子間自由的遊動，因此，電子氣體的構想就是把金屬想像為一個由重且緊束的離子所組成的三維的週期式排列區域 (在其中摻雜著一群可以相當自由移動的電子)。

2. 平均自由路徑 (mean free path)：電子運動時碰到重的離子時會改變方向，碰撞之間的平均距離被稱為平均自由路徑。

無外加電場時，電子的運動是隨意的，故平均說來，平均電流為零。

3. 漂移速度 (drift velocity)：當外加電場時，由於電子與離子作非彈性碰撞會損失能量，故電子的速度會達漂移速度 v

$$v \propto E \Rightarrow \therefore v = \mu E$$

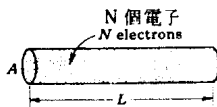
μ ：移動率 (mobility)：伏特·秒 / 米²

4. 電流密度 (current density)

$$I = \frac{Nq}{t} = \frac{Nqv}{L}$$

N ：導體中的總電子數

$$v：\text{漂移速度} = \frac{L}{t}$$



$$\text{電流密度 } J = \frac{I}{A} = \frac{Nqv}{LA}$$

$$\begin{aligned} &= nqv = \rho v \end{aligned}$$

n ：電子濃度
 $\rho = nq$ 為電荷密度

5. 傳導係數： $J = nqv = nq\mu E = \sigma E$

$$\sigma = nq\mu = \text{金屬的傳導係數}$$

$$I = JA = \frac{\sigma ALE}{L} = \frac{\sigma AV}{L} = \frac{V}{R}$$

故電阻 R , $R = \frac{L}{\sigma A}$

§ 1 - 5 本質半導體內之電子與電洞

良導體： $n \sim 10^{28}$ 個電子 / 米³，很大

絕緣體： $n \sim 10^7$ 個電子 / 米³，很小

半導體： $10^7 < n < 10^{28}$ 電子不能自由地運動

在室溫下斷開一個共價鍵所需之能量 E_G ：鎢： $E_G = 0.72 \text{ eV}$

矽： $E_G = 1.1 \text{ eV}$ ，在純半導體中電子數目等於電洞數目，熱的激發會繼續地產生新的電洞，電子對，而電子與電洞的再結 (recombination) 使一些電洞，電子對消失。電洞的濃度 p 等於電子的濃度 n ， $n = p = n_i$ 其中 n_i 稱為本質濃度。

§ 1 - 6 施體與受體雜質

1. 施體 (donor)：將純矽摻以五價的砷 (Sb) 雜質，Sb 的第五個價電子為自由電子 (五價的銻、亦是)，因它們可以提供一個額外的電子，故稱之為施體或 n 型雜質受體 (acceptors)。

將三價的雜質如硼、鎂、鋁等加於純半導體中第四鍵會有一個空缺而形成電洞，故稱之為受體，而此種三價雜質稱為 p 型雜質。

在 n 型半導體中電子為多數載子，而在 p 型半導體中電洞則為多數載子而電子則為少數載子。

2. 質量—作用定律 (Mass-Action law)：在熱平衡條件下，正與負載子之濃度乘積為一常數而與所加之施體或受體的份量無關，即 $np = n_i^2$ 。

§ 1 - 7 半導體中的電荷濃度

設： N_D = 施體原子之濃度， N_A = 受體原子之濃度，半導體中之總正電荷密度為 $N_D + P$ 負電荷密度為 $N_A + n$ 故 $N_D + P = N_A + n$

$$n \text{ 型材料 } N_A = 0, n \gg P, n \approx N_D \therefore P = \frac{n_i^2}{N_D}$$

$$P \text{ 型材料 } N_D = 0, P \gg n, P \approx N_A \therefore n = \frac{n_i^2}{N_A}$$

§ 1 - 8 鎢與矽的電性

1. 傳導率：半導體以電子與電洞來傳導電流的稱之為雙載子 (bipolar) 型半導體，在電場 E 作用下，電子與電洞反向移動，形成的電流方向則為一致，若電子與電洞的移動率以 μ_n 與 μ_p 則 $J = (n\mu_n + p\mu_p) q E$ 傳導率定義為 $\sigma = (n\mu_n + p\mu_p) q$
2. 本質濃度：本質濃度與溫度的理論關係如下：

$$n_i^2 = A_0 T^3 e^{-E_{G0}/KT}$$

其中 E_{G0} = 在 0°K 時之能隙寬度 (eV)

K = 波茲曼常數 = $8.620 \times 10^{-5} \text{ eV}/^\circ\text{K}$

A_0 = 常數

3. 能隙寬度：半導體之能隙寬度 E_G 隨溫度上昇而減小

對矽而言 $E_G(T) = 1.21 - 3.60 \times 10^{-4}T \text{ (eV)}$

$$E_G(300^\circ\text{K}) = 1.1 \text{ eV}$$

對鎢而言 $E_G(T) = 0.785 - 2.23 \times 10^{-4}T \text{ (eV)}$

$$E_G(300^\circ\text{K}) = 0.72 \text{ eV}$$

4. 移動率：在 100°K 到 400°K 的溫度範圍內， $\mu \propto T^{-m}$ 其中 m 為

對矽而言 $m = \begin{cases} 2.5 \text{ (電子)} \\ 2.7 \text{ (電洞)} \end{cases}$

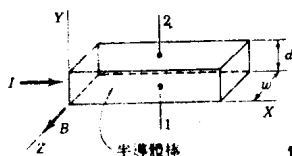
對鎢而言 $m = \begin{cases} 1.66 \text{ (電子)} \\ 2.33 \text{ (電洞)} \end{cases}$

(1) 若 $E < 10^3 \text{ V/cm}$, μ 不隨 E 而變

(2) 若 $10^3 < E < 10^4 \text{ V/cm}$, $\mu \propto E^{-\frac{1}{2}}$

(3) 若 $E > 10^4 \text{ V/cm}$, $\mu \propto 1/E$

§ 1 - 9 霍爾效應



霍爾效應圖示。棒中載體 (不論是電子或電洞) 受到一個負 Y 方向的磁力。

若將半導體材料帶電流 I ，放在一個橫向磁場 B 中在垂直與 I 與 B 的方向上就會感應出一個電場 E ，此現象稱之為 Hall effect，可決定半導體為 n-type 或為 p-type 也可決定載體濃度， σ 與 μ 如半導體為 n-type，則電子聚集在“1”處，如半導體為 p-type，則電子聚集在“2”處而 1 與 2 二側間的電位即霍爾電壓 V_H

1. 由於 V_H 與 B 成正比，故 Hall effect 可做磁場計。
2. 如 B 已知，則 Hall effect 可做安培計。
3. 若電流 I 與一信號成比例，而 B 與另一信號成綫性關係，則 Hall effect 可得二者之乘積。

§ 1 - 10 熱阻器與敏阻器

熱阻器 (thermistor)：電阻之溫度係數為負的，例如鎢（矽）的傳導率每增加 1°K 約增加 $6(8)\%$ ，故電阻值下降。

敏阻器 (sensistor)：電阻之溫度係數為正的。摻了過多量雜質的半導體，溫度增加時雜質因不規則的碰擴擁擠故移動率下降，電阻上昇。

§ 1 - 11 擴散

由於半導體中電子、電洞的濃度是不可能均勻的，故會有一擴散電流 J_p, J_n 因應而生

$$J_p = -qD_p \frac{dp}{dx} \quad (\text{對電洞而言})$$

$$J_n = qD_n \frac{dn}{dx} \quad (\text{對電子而言})$$

其中 D_p, D_n 為擴散常數 (米²/秒)

$$\text{愛因斯坦公式} \quad \frac{D_p}{\mu_p} = \frac{D_n}{\mu_n} = V_T$$

$$V_T = \text{溫度的伏特當量} = \frac{\overline{K}T}{q} = \frac{T}{11600}$$

$$\overline{K} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ k} = 1.60 \times 10^{-19} \cdot 8.62 \times 10^{-5}$$

$$= 1.381 \times 10^{-23} \text{ 焦耳 / } ^\circ\text{K}$$

$$V_T (300^\circ\text{K}) = 0.0259 \text{ V}$$