

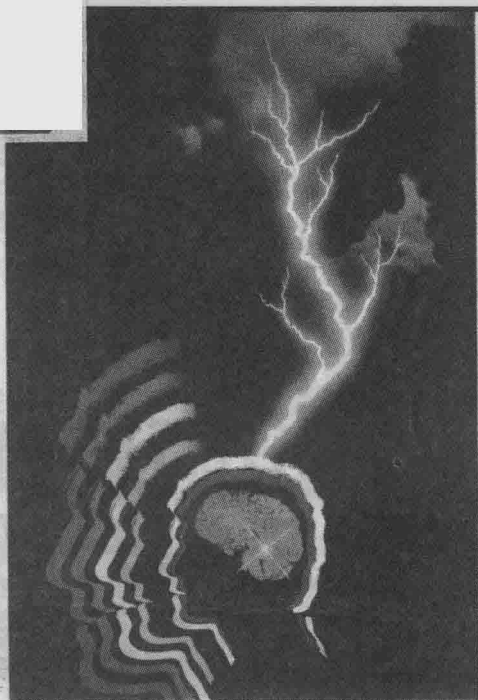


光電工學概論

許招墉 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行



大 專 用 書

光電工學概論

許招墉 編著



全華科技圖書股份有限公司 印行

國立中央圖書館出版品預行編目資料

光電工學概論 / 許招墉編著 . - - 初版 . - -

臺北市：全華，民79

面；公分

參考書目：面525-526

ISBN 957-21-0074-2（平裝）：

新臺幣320元

1. 電子光學

448.6

79001016

法律顧問：陳培豪律師

光電工學概論

許招墉 編著

定·價 新台幣 320 元

初版 / 79年11月

圖書編號 0112035

版權所有·翻印必究

出版者 / 全華科技圖書股份有限公司

地址：台北市龍江路76巷20-2號2樓

電話：5071300(總機) FAX:5062993

郵撥帳號：0100836-1號

發行人 / 陳 本 源

印刷者 / 宏懋打字印刷股份有限公司

行政院新聞局核准登記證局版台業字第〇二二三號

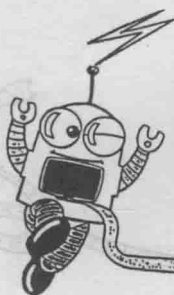
我們的宗旨：

**提供技術新知
帶動工業升級
為科技中文化再創新猷**

資訊蓬勃發展的今日，
全華本著「全是精華」的出版理念
以專業化精神
提供優良科技圖書
滿足您求知的權利
更期以精益求精的完美品質
為科技領域更奉獻一份心力！

為保護您的眼睛，本公司特別採用不反光的米色印書紙！！

序 言



由於電子計算機與新種光學玻璃問世以及高真空蒸鍍技術之提升，使傳統光學技術突破瓶頸而突飛猛進，並且促進光學之電子化。

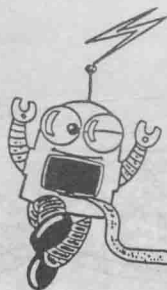
1960年發明雷射（使紅寶石振盪產生雷射光），繼而於1970年又研製光纖成功以及開發半導體雷射，加上半導體工業之進步與發展，乃整合光學與電子成為一體，而產生今世紀之新興科技——光電科技，使其與資訊科技成為二十一世紀之科技主流以及產業結構骨幹。

光電科技於今日以及未來，將廣泛地應用於光通信、光資訊、國防、環保、計測、醫療……甚至太空（宇宙）等科學。作者察覺光電科技之重要性，而我國正處於萌芽階段，為提高國人對光電科技之認識與興趣，增加光電科技人口，進而提升我國之光電科技水準，並且躋身於國際尖端科技國家之行列，為出版本書之目的。但願本書對研習光電科技之讀者諸兄先進稍有助益。

本書雖然力求完美，但作者才疏學淺，疏誤遺漏之處在所難免，尚祈先進專家不吝指正與批評，不勝感激。

最後感謝全華科技圖書公司給予出版本書之機會，同時也謝謝高士峰、賀志剛等同學協助撰寫文稿工作。

許招墉 謹誌



編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

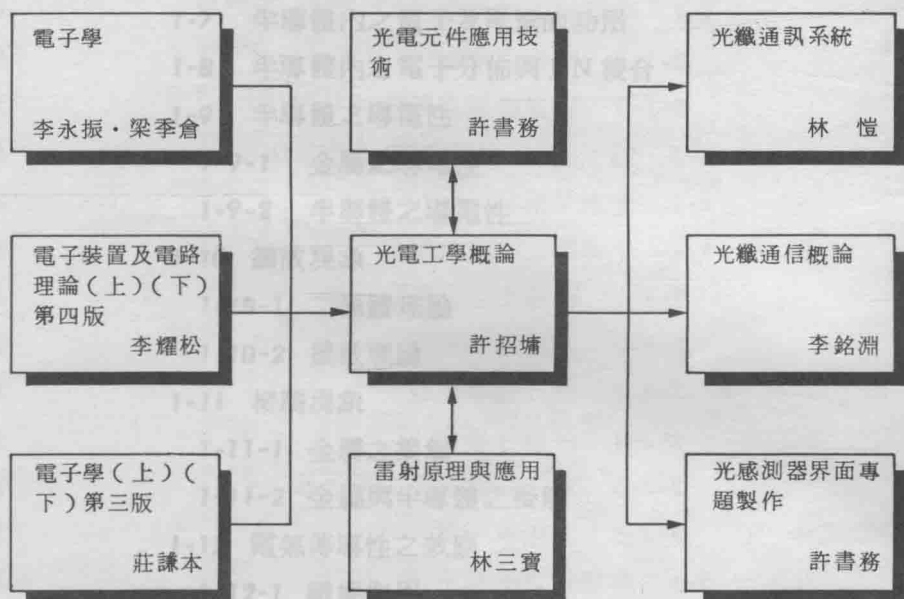
光電科技乃是整合光學和電子為一體的新興科技，有鑑於此，作者乃精編此書，綜合光電科技範圍之有關工學，如半導體工學、光電子工學、雷射工學、光纖維工學、光學原理和光學材料等，內容由淺至深，並配合圖表說明，閱讀本書必能加強光電科技之基本觀念與理論，並提高對光電科技的認識和興趣。適合做為大專電子、電機科系教材，或從事相關工作之人員參考研讀。

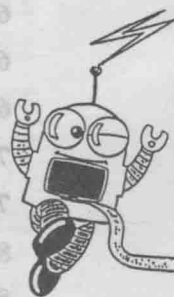
同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。

目 錄

第一章 半導體工學

流 程 圖





目 錄

第一章 半導體工學	1
1-1 固體之結合樣式與半導體	2
1-2 實際之半導體	6
1-3 結晶與格子振動	7
1-4 電子帶構造（結合與帶）	7
1-5 電場中荷電粒子之流動	9
1-6 不純物（施體與受體）	13
1-7 半導體內之電子及電洞的功用	14
1-8 半導體內之電子分佈與PN 接合	19
1-9 半導體之導電性	27
1-9-1 金屬之導電性	27
1-9-2 半導體之導電性	28
1-10 擴散現象	35
1-10-1 二極體理論	37
1-10-2 擴散理論	37
1-11 接觸現象	38
1-11-1 金屬之接觸	38
1-11-2 金屬與半導體之接觸	41
1-12 電氣傳導性之效應	45
1-12-1 磁場作用	45
1-12-2 熱電效應	49
1-12-3 光電現象	55

1-12-4 强電場效應	61
1-13 異界面	66
1-14 PNP (或NPN) 接合	67
1-15 雙極積體電路	76
1-15-1 基本之線性 IC	78
1-15-2 運算放大器	81
1-16 MOS 電晶體	83
1-17 MOS 積體電路	87
1-17-1 MOS 積體電路之技術性特徵	87
1-17-2 MOS 積體電路之種類與動作	87
1-17-3 各種MOS 電路	89
1-17-4 基本之MOS 積體電路	90
習題一	96
第二章 光電子工學	99
2-1 半導體之導電性	100
2-1-1 電場之漂移	100
2-1-2 濃度梯度之擴散	102
2-2 電子與電洞之再結合 (復合作用)	103
2-3 光與半導體	103
2-4 半導體之光吸收現象	105
2-4-1 物性上之光吸收現象	105
2-4-2 帶間遷移吸收	106
2-4-3 帶內遷移吸收	116
2-4-4 激發子吸收	116
2-4-5 格子缺陷或不純物吸收	117
2-4-6 自由載子吸收	118
2-5 半導體之光放出	120
2-5-1 物性上光放出	120
2-5-2 發光現象	122

2-5-3	發光機構	129
2-5-4	量子效率	131
2-6	發光元件	131
2-6-1	發光二極體	131
2-6-2	紅外線發光二極體	144
2-6-3	電場發光	145
2-6-4	顯示器	147
2-7	P-N接合之光學特性	154
2-7-1	光電伏打效應	158
2-7-2	光導電效應	161
2-8	受光元件	166
2-8-1	光二極體	166
2-8-2	PIN 光二極體	171
2-8-3	蕭特基光二極體	173
2-8-4	累崩光二極體	177
2-8-5	光電晶體	181
2-8-6	光場效電晶體	183
2-9	攝像元件	185
2-9-1	CCD 攝像元件 - 電荷積蓄裝置	185
2-9-2	MOS 型攝像元件	189
2-9-3	攝像元件之基本構成	192
2-9-4	固體(態)影像感測器之特性	196
2-10	太陽電池	198
2-10-1	P-N接面太陽電池	199
2-10-2	蕭特基電池及MIS電池	218
2-10-3	溫度對太陽電池之影響	222
2-11	光電元件之應用	224
2-11-1	光耦合器	224
2-11-2	發光二極體顯示器	227
2-11-3	光電邏輯電路	229

2-11-4	電位階指示器	229
2-11-5	固態電驛	230
2-11-6	光感測器	231
習題二		232
第三章	雷射工學	235
3-1	新光源	236
3-2	雷射之振盪原理	236
3-2-1	光之放射與吸收	236
3-2-2	諸振 - 振盪	245
3-2-3	雷射光	252
3-3	半導體雷射	254
3-3-1	構造與製造法	254
3-3-2	長波長雷射	260
3-3-3	電子轉移過程	260
3-3-4	侷限作用	263
3-4	固體雷射	266
3-5	氣體雷射	271
3-6	雷射週邊設備	273
3-6-1	光調變器	273
3-6-2	光偏向器	279
3-7	半導體雷射之特徵	283
3-8	半導體雷射之應用	288
3-8-1	光纖通信	290
3-8-2	光 碟	292
3-8-3	雷射印表機	293
3-8-4	測距(長度及距離)用	294
3-8-5	運動速度之測定	298
3-8-6	全像術(立體相像)	299
習題三		323

第四章 光纖維工學	305
4-1 光技術	306
4-2 光之傳播	307
4-2-1 光導 - 反射與折射	307
4-2-2 導光作用	312
4-2-3 光之傳播	316
4-3 電訊號與光訊號之差異	322
4-4 光纖維	324
4-4-1 光纖維之種類及性質	324
4-4-2 光纖維之材料	329
4-4-3 光纖維之製造方法	337
4-5 光纖之基本特性	347
4-5-1 結構損失	347
4-5-2 帶域(多模態光纖之場合)	349
4-5-3 分散(單模態光纖之場合)	350
4-5-4 信賴性(可靠性)	351
4-6 光纖通訊	357
4-6-1 光纖通訊之由來	357
4-6-2 光源	358
4-6-3 光纖通訊	363
4-7 光纖之傳送特性	376
4-7-1 光纖之傳送損失	377
4-7-2 光纖之傳送帶域	380
4-7-3 光纖之距離特性	383
4-8 光 纜	385
4-8-1 型式與製作程序	385
4-8-2 單模光纜之有關規定	386
4-8-3 光纖之連接與測試	393
習題四	398

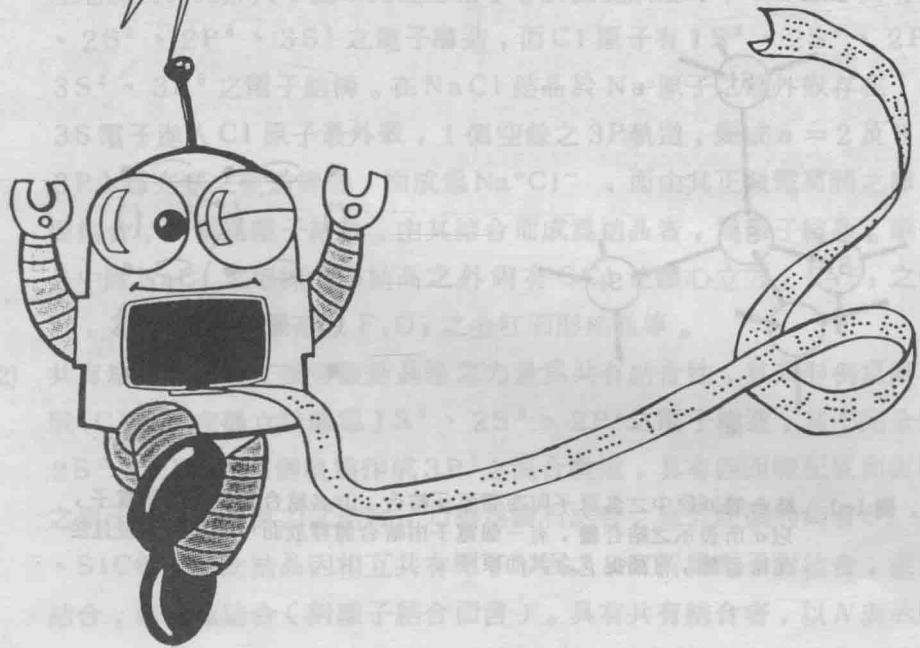
第五章	光學原理與光學材料	401
5-1	光之性質	402
5-1-1	光之直進	402
5-1-2	光之反射	404
5-1-3	光之折射	408
5-1-4	稜鏡	414
5-2	成(結)像	420
5-2-1	成(結)像之概念	420
5-2-2	共軸成(結)像 - 軸對稱成像	421
5-2-3	成(結)像之分類	425
5-2-4	成(結)像之合成	425
5-3	高斯(Gauss)光學	428
5-3-1	球面之折射	428
5-3-2	球面之反射	431
5-3-3	單(厚)透鏡	433
5-3-4	薄透鏡	436
5-3-5	透鏡之組合	439
5-4	光之色散	441
5-4-1	光之分散與消色稜鏡	441
5-4-2	直視稜鏡	443
5-4-3	透鏡之色像差	444
5-4-4	消色透鏡	447
5-5	像差 - 不完全之結線	451
5-5-1	球面像差	451
5-5-2	彗星像差	458
5-5-3	非點像差	459
5-5-4	像面彎曲	461
5-5-5	像面歪曲	463
5-6	干涉	464

5-6-1	二光束之干涉	466
5-6-2	非點光源之場合	469
5-6-3	使用聚光透鏡照明之場合	471
5-6-4	光源非單色光之場合	472
5-6-5	振幅分割之干涉	473
5-7	繞射	479
5-7-1	繞射積分	479
5-7-2	佛瑞奈繞射	481
5-7-3	佛拉溫霍爾繞射	483
5-7-4	有像差、吸收之場合	487
5-7-5	分解能力	487
5-8	光學材料	488
5-8-1	光學玻璃之種類與組成	488
5-8-2	二光學玻璃之光學性質	493
5-8-3	光學玻璃之化學性質	496
5-8-4	光學玻璃之缺陷	497
5-8-5	光學玻璃（毛胚）之製法	501
5-8-6	結晶材料	505
5-8-7	合成樹脂材料	510
5-9	微小光學元件	513
5-9-1	微小光學元件之種類	514
5-9-2	分佈折射率透鏡之特性	515
5-9-3	分佈折射率透鏡之應用	517
習題五		522
參考文獻		525
附錄A		527
附錄B		541

半導體材料是現代電子工業的基礎，其種類繁多，如矽、鍺、砷化鎵、氮化鎵等。它們具有獨特的物理性質，如電阻率隨溫度、光照、電磁場等條件而發生變化。例如，矽的電阻率在室溫下為幾歐姆·厘米，而在低溫下則可達到幾兆歐姆·厘米。又如GaAs，在Ga與As之間具有極佳的性能，其電阻率可由半歐姆至幾兆歐姆。

1

半導體工學



半導體之電阻有甚強之溫度依存性，因其在低溫時與絕緣體，而在高溫時與半金屬無多大差異。表1-1 表示於 300°K 時之代表性物質的電阻係數。

表 1-1 固體之電阻

分類	物質名	測定溫度	電阻係數 $\rho = \frac{1}{\alpha} [\Omega \cdot \text{cm}]$
金屬	銀	300°K	1.62×10^{-6}
	銅	300°K	1.72×10^{-6}
	鋁	300°K	2.75×10^{-6}
	鐵	300°K	2.1×10^{-5}
半導體	鎘	300°K	$10^{-1} \sim 10^2$
	CdS	300°K	$10^1 \sim 10^4$
絕緣體	NaCl	300°K	10^{17}
	TiO ₂	300°K	$\sim 10^{15}$
	玻璃	300°K	$10^{12} \sim 10^{15}$

1-1 固體之結合樣式與半導體

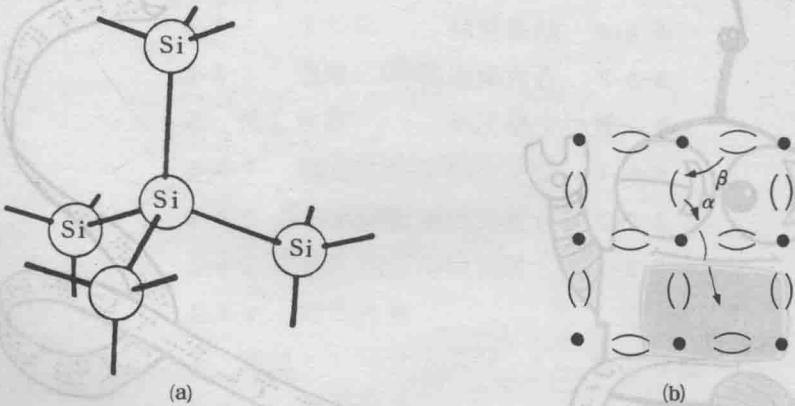


圖 1-1 結合體(a)矽中之各原子與四個原子結合。(b)各結合體中有二個電子，以 α 所表示之結合體，有一個電子由結合體釋放而可能運動，並且於此結合體，可捕捉 β 之其他原子。

固體為原子或離子之結合體，而得分類為：①等極結合，②離子結合，③金屬結合，④分子結合，⑤氫結合等五種。多數之半導體以等極結合為主體，而混合離子結合。例如，Si 為圖 1-1(a)所示之等極結合。又如GaAs，在Ga與As各有負及正電荷，並且具有等極性之結合。該電荷量可由半導體之遠紅外光反射光譜測試之。

【例 1-1】

固體中之原子或分子，因其結合樣式，結晶可分成幾種種類？

【解】

依照原子（分子）間結合之種類，結晶可分為離子結晶，共有結合性結晶（等極結合結晶）、金屬結晶、分子性結晶、以及氫結合性結晶等五種。

- (1) 離子結晶：離子結合係於構成結晶之原子的電氣陰性度非常相異之場合所產生之結合，而由正負離子之靜電吸引力所結合。其典型性例子為週期表第一屬之鹼原子與第七族之鹵素原子所成者。此場合，鹵原子之電氣陰性度小，而鹵素原子即大。例如氯化鈉（NaCl），由Na原子與Cl原子交互地做三次元排列，為單純之方格子。於孤立狀態時，Na原子具有 $1S^2$ 、 $2S^2$ 、 $2P^6$ 、 $3S^1$ 之電子構造，而Cl原子有 $1S^2$ 、 $2S^2$ 、 $2P^6$ 、 $3S^2$ 、 $3P^5$ 之電子結構。在NaCl結晶於Na原子之最外殼存在1個之3S電子進入Cl原子最外殼，1個空餘之3P軌道，變成 $n=2$ 及3（至3P）為充滿之軌道構造，而成為 Na^+Cl^- ，而由其正負電荷間之庫侖力而結合，乃稱為離子結合。由其結合而成為結晶者，為離子結晶。離子結晶中除NaCl之單純立方結晶之外尚有SCl之體心立方， CaF_2 之螢石形，ZnS之閃鋅礦形及 F_1O_2 之金紅石形結晶等。
- (2) 共有結合性結晶：保持該結晶性之力量為共有結合性。其典型例為鑽石，碳(C)原子在孤立狀態為 $1S^2$ 、 $2S^2$ 、 $2P^2$ 之電子構造，其不完全殼之 $2S^2$ 、 $2P^2$ 之四個軌道作成 $3P^3$ 之混合軌道，具有四面體配置而與鄰近之原子間形成強有力之結合，乃稱為鑽石結合。屬於此類的尚有Si、Ge、SiC等。在此結晶因相互共有電子，因之，又稱為電子對結合，或共有結合，或等極結合（對離子結合而言）。具有共有結合者，以 N 表示週期表中之族數時，均滿足 $(S-N)$ 規則。即具有 $(S-N)$ 個最鄰接原子。