

光電系統與應用

The Application of Electro-optical Systems

林宸生 策劃

林奇鋒
陳進益

林宸生
李昆益

張文陽
陳坤煌

王永成
李孝貽 編著

本書
特色

- ★ 本書為教育部顧問室「半導體與光電產業先進設備人才培育計畫」之成果。
- ★ 包含光電系統之基本原理、架構、發展、應用及趨勢，章節清楚完整。
- ★ 可作為大專院校專業課程教材，適用於光電、電子、電機、機械、材料、化工等理工科系之教科書，同時亦適合一般想瞭解光電知識的大眾閱讀。



光電系列
Optoelectronic Series

光電系統與應用

The Application of Electro-optical Systems

林宸生 策劃

林奇鋒
陳進益

林宸生
李昆益

張文陽
陳坤煌

王永成
李孝貽

編著

本書
特色

- ★ 本書為教育部顧問室「半導體與光電產業先進設備人才培育計畫」之成果
- ★ 包含光電系統之基本原理、架構、發展、應用及趨勢，章節清楚完整。
- ★ 可作為大專院校專業課程教材，適用於光電、電子、電機、機械、材料、化工等理工科系之教科書，同時亦適合一般想瞭解光電知識的大眾閱讀。

五南圖書出版公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

光電系統與應用／林宸生等著．——初版．

——臺北市：五南，2013.05

面：公分

ISBN 978-957-11-7054-1（平裝）

1. 光電科學 2. 電子光學

448.68

102004758



5DF9

光電系統與應用

The Application of Electro-optical Systems

作 者 — 林奇鋒 林宸生 張文陽 王永成 陳進益

李昆益 陳坤煌 李孝貽

發行人 — 楊榮川

總編輯 — 王翠華

主 編 — 穆文娟

責任編輯 — 王者香

封面設計 — 小小設計有限公司

出 版 者 — 五南圖書出版股份有限公司

地 址：106 台北市大安區和平東路二段339號4樓

電 話：(02)2705-5066 傳 真：(02)2706-6100

網 址：<http://www.wunan.com.tw>

電子郵件：wunan@wunan.com.tw

劃撥帳號：01068953

戶 名：五南圖書出版股份有限公司

台中市駐區辦公室/台中市中山路6號

電 話：(04)2223-0891 傳 真：(04)2223-3549

高雄市駐區辦公室/高雄市新興區中山一路290號

電 話：(07)2358-702 傳 真：(07)2350-236

法律顧問 元貞聯合法律事務所 張澤平律師

出版日期 2013年5月初版一刷

定 價 新臺幣420元

序

本書為教育部顧問室「半導體與光電產業先進設備人才培育計畫」之成果，半導體與光電產業為我國全力發展的『兩兆雙星』關鍵性產業，目前，政府正積極和業者共同朝提高產品附加價值、提高設備自給率及建立自主研發能力等方向進行努力。在此特別感謝教育部支持，讓我們能夠有更多的資源將相關教材加以整理，使其得以顯現出更佳的面貌。同時也要謝謝逢甲大學林宸生教授協助召集作者群進行教材編撰與義務彙總排版的貢獻，在此一併致謝。

本書包含了光電系統之基本原理、架構與發展、應用與趨勢，各章節及其作者群條列如下：

1. 太陽能與光電半導體基礎理論（聯合大學林奇鋒博士）
2. 半導體概念與能帶（逢甲大學林宸生博士）
3. 光電半導體元件種類（逢甲大學林宸生博士）
4. 位置編碼器（虎尾科技大學張文陽博士）
5. 雷射干涉儀（雲林科技大學王永成博士）
6. 感測元件（光電、溫度、磁性、速度）（虎尾科技大學陳進益博士）
7. 光學影像系統元件（逢甲大學林宸生博士）
8. 太陽能電池元件的原理與應用（矽晶太陽能電池，化合物太陽能電池，染料及有機太陽能電池）（聯合大學林奇鋒博士）
9. 材料科技在太陽光電的應用發展（中華科技大學李昆益博士）
10. LED 原理及驅動電路設計（逢甲大學陳坤煌博士）
11. 散熱設計及電路規劃（中華科技大學李昆益博士）
12. LED 照明燈具應用（高雄應用科技大學李孝貽博士）

對光電產業的發展趨勢與其相關產業之設備自給率而言，培養相關設備人才之重要性實為當務之急，而適當的光電專業教材，則可以強化光電設備產業

的競爭力。本書可作為大專院校專業課程教材，也適合理工背景之讀者拿來當作學習光電科技之基礎，及一般想瞭解光電知識的大眾閱讀，並可提供企業中現職從事策略管理、新事業開發、業務、行銷、研究、企劃等人員作為參考，或給有興趣學習與研究的學生深入理解與認識光電科技，歡迎大家不吝給予批評指教。

作者謹識

目 錄

序

第一章	太陽能與光電半導體基礎理論	林奇鋒	1
1.1	前言		2
1.2	太陽能電池的簡史		2
1.3	太陽能電池概述		4
1.3.1	光伏效應		4
1.3.2	空氣質量與太陽光譜		5
1.3.3	材料吸收		7
1.3.4	材料能隙		10
1.4	元件特性		10
1.4.1	量子效率		10
1.4.2	功率轉換效率		12
1.4.3	暗電流與開路電壓		15
1.4.4	等效電路模型		17
1.4.5	非理想狀態的等效電路		18
	參考書目		19
第二章	半導體概念與能帶	林宸生	21
2.1	光能與輻射		22
2.1.1	鎢絲燈		25
2.1.2	鹵素燈		26
2.2	半導體材料的內部		27
2.3	半導體之製程與微影技術		32
2.3.1	IC製造流程		33

參考書目	37
第三章 光電半導體元件種類 林宸生	39
3.1 發光二極體	40
3.2 半導體雷射	44
3.3 受光元件	47
3.3.1 以下介紹幾種常見的受光元件	48
3.4 訊號雜訊	52
3.5 複合元件	55
參考書目	56
第四章 位置編碼器 張文陽	57
4.1 位置檢測原理	58
4.2 光學式編碼器	60
4.2.1 光學式增量式編碼	61
4.2.2 光學絕對式編碼器	63
4.2.3 混合式編碼器	65
4.3 電磁式編碼器	65
4.3.1 霍爾感測器之編碼器	66
4.3.2 磁阻感測器之編碼器	68
4.4 編碼解析度與應用電路	70
4.4.1 編碼解析度	70
4.4.2 編碼器應用電路設計	72
4.5 數位編碼與解碼邏輯設計	75
4.5.1 編碼邏輯電路設計	75
4.5.2 解碼邏輯電路設計	78
4.5.3 計數器電路設計	79
參考書目	80

第五章	雷射干涉儀 王永成	81
5.1	光的干涉原理	82
5.1.1	光的干涉概述	82
5.1.2	光干涉基本條件	86
5.1.3	光束分割方式	91
5.2	干涉儀簡述	93
5.2.1	雙光束干涉儀	93
5.2.2	多光束干涉儀	96
5.3	雷射干涉儀的應用	101
5.3.1	長度量測	101
5.3.2	角度量測	103
5.3.3	應變量測	104
5.3.4	透光薄膜厚度量測	105
5.3.5	光學元件幾何參數量測	107
5.3.6	流場量測	108
5.4	精密奈米定位	110
	參考書目	112
第六章	感測元件 陳進益	115
6.1	光電感測元件	116
6.1.1	光二極體	116
6.1.2	光電晶體	117
6.1.3	光耦合器	119
6.1.4	光遮斷器與光反射器	120
6.1.5	光敏電阻	121
6.2	溫度感測器	122
6.2.1	熱敏電阻	122
6.2.2	熱電耦	123
6.2.3	電阻式溫度檢測器	125

6.2.4	感溫IC AD590與LM35	126
6.3	磁性感測元件	129
6.3.1	霍爾元件	129
6.3.2	霍爾IC	130
6.4	速度感測器	131
6.4.1	轉速發電機	131
6.4.2	轉速計	132
6.5	感測元件應用電路	132
6.5.1	光電晶體應用電路	132
6.5.2	光敏電阻應用電路	134
6.5.3	熱敏電阻應用電路	135
6.5.4	AD590應用電路	136
	參考書目	137

第七章 光學影像系統元件 林宸生 139

7.1	光學轉移矩陣與視覺取像基本設計	140
7.1.1	光線遇另一介質反射的情況	140
7.1.2	光線遇另一介質折射的情況	141
7.1.3	光線通過一平行區間	141
7.1.4	光線遇一透鏡的情況	142
7.1.5	光線遇一球面反射鏡的情況	143
7.1.6	光線遇一球面的情況	145
7.2	CCD攝影機與感測元件	152
7.3	數位相機與光學鏡頭	156
7.3.1	數位相機主要組成部份之光學鏡頭	157
7.4	其它的光學影像系統	161
7.4.1	影像掃描器概說	161
7.4.2	傳真機	163
7.4.3	線性影像感測器	163
7.4.4	條碼機	166

7.4.5	利用影像技術進行身份識別	169
7.4.6	膠囊內視鏡	170
7.4.7	光學顯微影像系統	171
7.5	光學影像系統之像差	174
7.5.1	球面像差 (Spherical Aberration)	174
	參考書目	179

第八章 太陽能電池元件的原理與應用 | 林奇鋒 181

8.1	前言	182
8.2	矽晶太陽能電池	182
8.2.1	矽晶太陽能電池結構與製程	182
8.2.2	薄膜太陽能電池	183
8.2.3	非晶矽薄膜太陽能電池	184
8.2.4	CdTe薄膜太陽能電池	187
8.2.5	CIGS薄膜太陽能電池	188
8.3	化合物太陽能電池	191
8.3.1	III-VI化合物太陽能電池概觀	191
8.3.2	GaAs太陽能電池設計	192
8.3.3	有機太陽能電池	195
8.4	染料及有機太陽能電池	196
8.4.1	小分子有機太陽能電池	198
8.4.2	元件壽命及應用	200
8.4.3	高分子太陽能電池	201
8.4.4	染料敏化太陽能電池	203
8.4.5	太陽能電池模組化技術	204
	參考書目	205

第九章 材料科技在太陽光電的應用發展 | 李昆益 209

9.1	前言	210
9.2	矽晶太陽能電池材料	210

9.2.1	單晶矽太陽能電池材料	211
9.2.2	單晶矽（single crystalline silicon）製作	211
9.2.3	多晶矽太陽能電池材料	214
9.2.4	多晶矽（multicrystalline silicon）製作	215
9.2.5	非晶矽太陽能電池材料	218
9.3	化合物太陽能電池材料	219
9.3.1	GaAs薄膜太陽能電池材料	219
9.3.2	CdTe薄膜太陽能電池材料	221
9.3.3	CdTe太陽能電池材料	221
9.3.4	CuInSe ₂ 薄膜太陽能電池材料	223
	參考書目	225

第十章	LED 原理及驅動電路設計 陳坤煌	227
10.1	前言	228
10.2	LED的發展史	228
10.2.1	發現電致發光的效應	228
10.2.2	第一個紅外LED的發明	229
10.2.3	紅、橙、黃、綠LED的開發	229
10.2.4	藍光LED的開發	229
10.2.5	白光LED的開發	230
10.2.6	LED開始適用於普通照明	230
10.3	LED 結構	231
10.4	LED 發光原理	232
10.5	白光 LED	234
10.5.1	採用藍光 LED 結合螢光粉實現白光 LED	234
10.5.2	採用紫外光LED結合紅、綠、藍螢光粉形成白光 LED	235
10.5.3	採用多晶片 LED 形成白光 LED	237
10.6	LED 的特性及優點	238
10.6.1	可靠性高、壽命長	238
10.6.2	發光效率高	239

10.6.3	功率消耗低	239
10.6.4	感應速度快	239
10.6.5	單色性好、色彩鮮豔豐富	240
10.6.6	耐碰撞	240
10.6.7	體積小、輕便	240
10.6.8	綠色環保	240
10.7	LED 驅動電路之設計	241
10.7.1	LED亮度與電流之關係	241
10.7.2	LED電流與電壓之關係	241
10.7.3	LED 驅動電路設計的技術要求	243
10.7.4	LED電源驅動電路的分類	244
10.7.5	LED在驅動電路中的連接形式	245
10.7.6	LED驅動電路設計方式	248
10.7.7	LED驅動電路的結構	251
10.8	LED 的應用與未來發展	255
	參考書目	255

第十一章 散熱設計及電路規劃 | 李昆益 257

11.1	前言	258
11.2	LED 發熱問題及影響	258
11.2.1	LED 散熱問題	260
11.3	LED 散熱設計	261
11.3.1	晶片層級	261
11.3.2	封裝層級	261
	參考書目	267

第十二章 LED 照明燈具應用 | 李孝貽 269

12.1	淺說 LED 照明	270
12.2	LED在照明上的應用	272
12.3	LED 燈源	276

12.4	LED 燈具—COBLED 聚光燈之設計與模擬	280
12.4.1	LED 聚光燈設計架構及期望目標	280
12.4.2	聚光二次元件結構設計與模擬	282
	參考書目	289

索引	291
----	-----

太陽能與光電半導體基礎理論

作者 林奇鋒

1.1 前言

1.2 太陽能電池的簡史

1.3 太陽能電池概述

1.4 元件特性

參考書目

1.1 前言

石化燃料，如煤炭、天然氣，以及石油，可視為將太陽能「儲存」於地球上的物質，為人類社會提供了廣大的能量來源。自工業革命以來，石化燃料大量的使用，亦促成了人類科技不斷的往前邁進。然而，使用石化燃料並非沒有代價的。這些遠古光和作用產物的儲存量是有限的，以人類消耗能源的速度估計，這些石化燃料的蘊藏量只能再提供不到百年的使用時間，且消耗的速度隨著眾多國家的開發與經濟的進步而提升。此外，隨著石化燃料的消耗，人類正逐漸將長久以來所儲存於地殼內的二氧化碳釋放回大氣中，造成大氣中二氧化碳含量的提升與氣候的變遷。近年來，由於體認到上述地球資源耗竭的潛在危機以及環保議題，人類開始積極的找尋各式的替代性能源以設法取代目前主流的石化燃料的應用。其中一種有效脫離石化燃料的方式便是使用如風力、海洋，與太陽能等再生性能源。根據計算，以 10% 的轉換效率，轉換 1% 地球陸地面積的太陽能，其能量即為全球所需能源的兩倍之多。若以目前的太陽能轉換技術，在一個 161 平方公里且陽光充足的區域架設太陽能發電系統，其一年產生的能量即可供給全美國一整年的能源需求。太陽能如此驚人的能量提供率，以及毫無蘊藏量限制，長久以來已被視為替代性能源的最佳選擇。

1.2 太陽能電池的簡史

回顧太陽能的歷史，乃是一系列物體光電轉換特性的研究歷程。物體的光電轉換特性中最為人所知的就是 1905 年由 Einstein 所提出的光電效應。當金屬表面被藍光或更短波長的紫外光照射時，光子所提供的能量足以讓金屬中的電子被激發且完全離開金屬表面，進一步的被觀測到。但光電轉換特性其實首先由 Edmund Bequerel 於 1839 年時所提出。他觀察到將銅氧化物或鹵化銀塗層的金屬電極浸入電解液中，即可在光作用下產生電流。1876 年，William Adams 以及 Richard Day 發現將硒（selenium）樣品的兩端連接

白金接點時可產生光電流。此光電流的產生不同於矽本身的光導特性，在這個過程中，矽的光電流是自發性的產生，且無須外部電路提供能量的。而這個早期的光電元件也已經建立了金屬—半導體接面整流特性的概念。到了 1894 年，Charles Fritts 將矽夾在兩層金屬間，製備了第一個大面積的太陽能電池。在隨後的幾年當中，光伏效應都陸續的被發現在各種不同的結構當中，如銅—氧化銅的薄膜結構、硫化鉛，以及鉍硫化物。這些早期的太陽能電池都屬於肖特基勢壘（Schottky barrier）的半透明（穿透式）結構，但直到了 1914 年，金屬—半導體的接面整流特性才由 Goldman 和 Brodsky 所發表，而金屬—半導體的接面勢壘理論則是在 1930 年代才由 Schottky 及 Mott 所發展。

到了 1950 年代，由於矽電子元件的蓬勃發展以及 P-N 接面（P-N junction），的開發，讓元件產生比肖特基勢壘更好的整流接面特性，也進一步提升了光伏效應的能力。Chapin 以及 Fuller 在 1954 年發表了第一個矽太陽能電池，其功率轉換效率為 6%，高於早期所開發的元件效率六倍之多，被視為第一個具代表性的固態太陽能電池。而後，隨著半導體製程技術的進步，元件效率在往後的數十年中也不斷的有顯著提升。然而，在早期的太陽能電池中，其發電成本為 \$200/W，如此高的發電成本使得太陽能電池無法大量的用於發電系統當中。因此在早期的發展中，太陽能電池應用的主要目標乃是位於電力與燃料無法輸送的偏遠地帶。此外，在太空衛星方面，需要的是高可靠度與低重量發電系統，而不在乎發電成本。故在 50 及 60 年代，矽晶元太陽能電池亦廣泛的被應用於太空科技當中。

到了 1954 年，以鎘硫化物（CdS）所製程的 P-N 接面太陽能電池開發成功，且具備 6% 的功率轉換效率。在隨後的幾年當中，由砷化鎵作為主動層材料的 P-N 接面太陽能電池亦成功的發表。這些材料提供了更高的光電轉換效率，然而，由於半導體製程以及微電子產業的進步，矽太陽能電池依然存在，且仍為最重要的太陽能電池材料。

在 1970 年代之後，由於石油危機促使世界各國產生了找尋替代性能源

的興趣，帶動了太陽能電池的發展。到了 90 年代，伴隨著越來越多的能源危機以及環保意識，人們更加積極的找尋代替石化燃料作為電力來源的可能性，擴大了太陽能發電的發展。在 90 年代後期，太陽能電池生產的規模以每年 15-25% 的速度擴張，帶動了成本的降低，更提升了太陽能發電的競爭力。

1.3 太陽能電池概述

1.3.1 光伏效應

光伏 (photovoltaic) 效應的能量轉換是一個將光能轉換成電能的單一步驟的轉換過程。光以光子的形式入射材料中，每個光子的能量取決於光子本身的頻率（即波長），當光子的能量足以激發材料中的電子，便可使其躍遷至更高的能態進行傳輸。在一般的情況下，當光被材料所吸收，且光子將能量轉移至被激發的電子後，這些被激發的電子將會以非常快的速度進行能量的釋放，並且回到初始的基態。但在一個光伏元件 (photovoltaic device)，或通常稱之為太陽能電池 (solar cell) 中，我們可經由內建的非對稱能量差異，在電子進行能量釋放前將之導出元件之外並輸送至外部電路中。帶有能量的電子將產生電位差或電動勢 (emf)，這些能量驅動電子通過外部電路中的負載，產生電能。

在半導體當中，通常利用元件內部 P-N 接面所產生的內建電場，將光伏效應產生的電子—電洞對導出元件。由於參雜物以及參雜濃度的不同，半導體可區分為富有電子的 n 型半導體，以及缺少電子，即富有電洞的 p 型半導體。在兩種不同極性的半導體形成接面時，半導體內的多數載子（電子或電洞）將因濃度分佈不均而在接面處往相對極性的半導體中擴散與復和。這樣的擴散與復合行為將在 P-N 接面處產生一個僅有陰陽離子，沒有自由電荷的空乏區 (depletion region)，並且因陰陽離子的分佈而產生一內