

創新材料學



◆ 作者 ◆ 田民波
◆ 校訂 ◆ 張勁燕

五南出版

創新材料學

◆ 作者 ◆ 田民波
◆ 校訂 ◆ 張勁燕

五南圖書出版公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

創新材料學／田民波著．——初版．——臺北

市：五南，2015.08

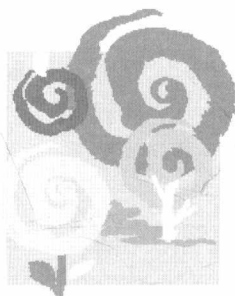
面：公分

ISBN 978-957-11-8149-3（平裝）

1. 工程材料

440.3

104009922



5D11

創新材料學

作 者 — 田民波(26.3)

校 訂 者 — 張勁燕

發 行 人 — 楊榮川

總 編 輯 — 王翠華

主 編 — 王者香

責任編輯 — 石曉蓉

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

法律顧問 林勝安律師事務所 林勝安律師

出版日期 2015年8月初版一刷

定 價 新臺幣850元



內容簡介

《材料學概論》和《創新材料學》作為材料學組合教材，系統鳥瞰學科概況。《材料學概論》按 10 條橫線討論緒論、元素週期表、金屬、粉體、玻璃、陶瓷、聚合物、複合材料、磁性材料、薄膜材料，說明每一類材料從原料到成品的全程、相關性能及應用，推薦作為本科新生入門教材，以《創新材料學》為輔。《創新材料學》按 10 條縱線介紹各類材料在半導體積體電路、微電子封裝、平面顯示器（包括觸控面板和 3D 電視）、白光 LED 固態照明、化學電池、太陽能電池、核能利用、能量及信號轉換、電磁遮罩、環境保護等領域的應用，推薦作為研究生新生教材，以《材料學概論》為輔。縱橫交叉，旁及上下左右，共涉及百餘個重要知識點，力圖以快捷、形象的方式把讀者領入材料學知識的浩瀚海洋。

本材料學組合材料既不是海闊天空的漫談，也不是《材料科學基礎》課程的壓縮，更不是甲、乙、丙、丁開中藥鋪。在內容上避免深、難、偏、窄、玄，強調淺、寬、新、活、鮮。在占有大量資料的前提下，採用圖文並茂的形式，全面且簡明扼要地介紹各類材料的新進展、新性能、新應用，力求深入淺出，通俗易懂。千方百計使知識新起來、動起來、活起來，做到有聲有色，栩栩如生。

本書可作為材料、機械、精密儀器、化工、能源、汽車、環境、微電子、電腦、物理、化學、光學等學科本科生及研究生教材，對於從事相關行業的科技工作者和工程技術人員，也具有極為難得的參考價值。

前言

材料一般指具有特定性質，能用於製造有用物品的物質。材料的獲得離不開人的勞動。人們在追求材料更高價值的同時，在原料、製造、使用、回收再利用等各個環節都必須考慮資源、節能、環境友好等因素。

最早為人類所用的材料，比如石塊、木棒、陶罐、青銅器具、鐵製武器、農具等，種類單一、形式簡單；而今天的汽車、飛機、電腦、平板電視、智慧型手機等，無一不是各種材料的最佳整合，不僅涉及種類繁多的材料、各種材料的性能都發揮到極致，而且處於激烈的競爭和日新月異的變化之中。

材料伴隨著人類社會的進步而進展。由於早期的粗放經營，加之近年來環境污染的現狀，一提到材料，人們往往會聯想到鋼鐵、水泥、電解鋁、平板玻璃、多晶矽等，給人的印象是粗放、耗能、低效、污染，似乎與創新和高新技術相距甚遠。因此，無論對於我們培養的學生還是普通民眾，必須消除對材料的誤解與偏見。

材料是人類一切生產和生活活動的物質基礎，是生產力的體現，被看成是人類社會進步的標誌。在人類發展的歷史長河中，材料起著舉足輕重的作用。對材料的認識和利用的能力，決定著社會的形態和人類生活的品質，歷史學家往往用製造工具的原材料作為歷史分期的標誌。一部人類文明史，從某種意義上說，也可以稱為世界材料發展史。

材料既古老又年輕，既普通又深奧。說「古老」，是因為它的歷史和人類社會的歷史同樣悠久；說「年輕」，是因為時至今日，它依然保持著蓬勃發展的生機；說「普通」，是因為它與每一個人的衣食住行資訊相關；說「深奧」，是因為它包含著許多讓人充滿希望又充滿困惑的難解之謎。可以毫不誇張地說，世界上的萬事萬物，就其和人類社會生存與發展關係密切的程度而言，沒有任何東西堪與「材料」相比。

「材料科學與工程」此學科包括四個基本要素，即材料的成分和結構、材料的製造與加工、材料的性能以及材料的應用行為。這四要素之間的密切結合，決定了材料科學的發展方向。性質是確定材料功能特性和應用的基準；組成與結構是構成任何一種材料的基礎；而材料的合成、加工與使用性能則是其能否發展的最關鍵的環節。所以材料科學與工程既包括基礎研究和應用研究兩個方面，同時還具有許多學科交叉的特點。

有人常用「一流的設備、二流的人才、三流的管理、四流的材料」來形容某些企業。意思是說，不少新建企業「不缺錢」，用大把的錢購進嶄新的設備，用大把的美元從國外購入先進的關鍵設備。同一些國家和地區的企業相比，我們後建的企業，設備普遍比他們的新，有的比他們的更先進，但同樣規模的企業，我們的效益卻望塵莫及。這樣的企業當然生產不出一流的產品。生產不出一流產品的企業，又如何會有一流的人員和一流的管理呢？

影響創新的其它原因暫且不談，單就材料而言，「巧婦難為無米之炊」，在科學發展史上，新材料的出現導致高技術誕生的實例屢見不鮮。例如，20 世紀 50 年代鎳基超級合金的出現，將材料使用溫度由原來的 700℃ 提高到 900℃，從而導致了超音速飛機的問世；而高溫陶瓷的出現，則促進了表面溫度高達 1000℃ 的太空梭的發展。與之相似，如同矽、鍺、化合物半導體材料之於電腦，螢光體材料、液晶材料、各種膜層、特殊玻璃之於顯示器，陽極材料、陰極材料、電解液、隔離層之於各類電池，猶如水之源、木之本。無一撇一捺，何談人字？

新材料是指新出現或已在發展中的、具有傳統材料所不具備的優異性能和特殊功能的材料。新材料更新換代快、式樣多變，其製造和生產往往與新技術緊密相連，其製造及在高技術中的應用，需要更綜合的知識和能力。每一種新材料的發現，每一項新材料技術的應用，都會給社會生產和人類的生活帶來巨大改變，把人類文明推向前進。材料工業始終是世界經濟的重要基礎和支柱，隨著社會的進步，材料的內容正在發生重大變化，一些新材料和相應技術正在不斷替代或局部替代傳統材料。

概括起來，材料是人類社會進步的標誌，材料是當代文明的根基，材料是各類產業的基礎，先進材料是高新技術的核心，新材料是國家核心競爭力的體現，材料可以「點石成金，化腐朽為神奇」，材料可以「以不變應萬變」，提高材料的性能永無止境，新材料應該不斷適應技術創新和產業創新。

「創新是一個民族進步的靈魂」。創新是經濟發展的根本現象。創新包括技術創新、管理創新和制度創新。創新應包括五個方面：新產品開發、新技術引入、開闢新的市場、獲得新的資源、創立新的組織。其中，材料創新具有舉足輕重的作用。目前，新材料已成為高新技術產業發展的關鍵、科學創新和技術創新的基礎。「製造材料者製造技術」，無論是原始創新、整合創新還是引進消化吸收再創新，往往都是以新材料作為基礎。

前二、三十年，我們發展的技術起點較低，所需要的技術大都是國外成熟的技術，甚至有些是過時的低端技術，因此從國外購買技術相對容易。然而，這種用大量金錢從國外購買技術、設備、材料的現象，是具有明顯的階段性特徵的，是不可能持續的。特別是，有錢難買新材料。在一個產業領域，不掌握核心材料，總歸要受制於人。我們不可能永遠擁有低成本的優勢，也不可能靠別人的技術實現我們自己的現代化，這只能是大而不強。

作為《材料學概論》的續篇，《創新材料學》共分 10 章，每章涉及一個相對獨立的材料領域，自成體系，內容全面，系統完整。內容包括半導體積體電路材料、微電子封裝和封裝材料、平面顯示器（包括觸控面板和 3D 顯示器）相關材料、半導體固態照明及相關材料、化學電池及電池材料、光伏發電和太陽能電池材料、核能利用和核材料；能源、信號轉換及感測器材料、電磁相容——電磁遮罩及 RFID 用材料、環境友好和環

境材料，涉及高新技術的各個領域。因此，本書所討論的既是高新技術中所採用的新材料，也是新材料在高新技術中的應用。

本書在每章之下採用「節節清」的論述方式，圖文對照。內容豐富，重點突出；層次分明，思路清晰；選材新穎，強調應用；綱舉目張，脈絡清楚。

本課程教學的最終目標是培養同學開發新材料的創新能力，而創新能力需要建立在學習理解能力、綜合運用知識能力、系統分析問題能力和創造能力基礎上。內容論述始終圍繞此一目標而展開，通過分析最前沿的實際問題，從各方面增強同學的創新意識，幫助他們樹立創新的理念和思維，積累創新的動力和本領，培養他們成為具有獨立思考，勇於創新的人才。

本書獲得清華大學 985 名優良教材立項資助，並受到清華大學材料學院的全力支持。劉偉、陳娟、程利霞、吳薇薇博士參加了本書的部分輔助工作，在此一併表示感謝。

作者水準有限，不妥或謬誤之處在所難免，懇請讀者批評指正。

田民波

2015 年 8 月

目 錄

1	半導體和積體電路 (IC) 材料	1
1.1	何謂積體電路 (IC).....	2
1.1.1	從分立元件到積體電路	2
1.1.2	由矽圓片到晶片再到封裝	2
1.1.3	從雙極性元件到 MOS 元件	3
1.1.4	半導體積體電路的功能及按規模的分類	3
1.2	積體電路 (IC) 發明逾 50 年——兩人的一小步，人類的一大步	5
1.2.1	從記憶體到 CPU、系統 LSI (CMOS 數位式 IC 的分類)	5
1.2.2	記憶體 IC 按功能的分類	6
1.2.3	DRAM 中電容結構的變遷	7
1.2.4	微處理器的進展	8
1.3	記憶體 IC (DRAM) 和邏輯 LSI 的進展	10
1.3.1	CMOS 構造的斷面模式圖 (p 型矽基板)	10
1.3.2	快閃記憶體單元電晶體「寫入」、「消除」、「讀出」的 工作原理	11
1.3.3	新元件靠材料和製程的革新而不斷進展	11
1.4	從矽石到金屬矽，再到 99.99999999% 的高純矽	14
1.4.1	「矽是上帝賜給人的寶物」	14
1.4.2	從矽石原料到半導體元件的製程	14
1.4.3	從矽石還原為金屬矽	15
1.4.4	改良西門子法生產多晶矽	16
1.5	從多晶矽到單晶矽棒	18
1.5.1	多晶矽的析出及生長	18
1.5.2	直拉法 (Czochralski 法) 拉製矽單晶	19
1.5.3	區熔法製作單晶矽	19
1.5.4	拋光片、磊晶片和 SOI	20
1.6	從單晶矽到晶圓	23
1.6.1	先要進行取向標誌的加工	23
1.6.2	將矽坯切割成一片一片的矽圓片	24

1.6.3	按電阻對絕緣體、半導體、導體的分類	24
1.6.4	pn 接面中雜質的能階	26
1.7	從晶圓到 IC(1)——氧化與擴散技術	26
1.7.1	塗佈光阻——製作圖形的第一步	26
1.7.2	曝光，顯影	27
1.7.3	絕緣膜的作用——絕緣、隔離、LSI 的保護	28
1.7.4	熱氧化法——製取優良的絕緣膜	28
1.8	從晶圓到 IC(2)——光罩與蝕刻技術	30
1.8.1	雜質的擴散法之一——熱擴散法	30
1.8.2	雜質的擴散法之二——離子植入法	30
1.8.3	濕式蝕刻	31
1.8.4	乾式蝕刻	32
1.9	IC 製作中的薄膜及薄膜加工——PVD 法	34
1.9.1	真空蒸鍍	34
1.9.2	離子濺射和濺射鍍膜	35
1.9.3	平面磁控濺射	36
1.9.4	晶圓流程中的各種處理室方式	36
1.10	IC 製作中的薄膜及薄膜加工——CVD 法	39
1.10.1	用於 VLSI 製作的 CVD 法分類	39
1.10.2	CVD 中主要的反應裝置	40
1.10.3	電漿 CVD (PCVD) 過程中，傳輸、反應和成膜的過程	41
1.10.4	離子植入原理	41
1.11	Cu 佈線代替 Al 佈線	44
1.11.1	影響電子元件壽命的大敵——電子遷移	44
1.11.2	斷線和電路缺陷的形成原因和預防、修補措施	44
1.11.3	Cu 佈線代替 Al 佈線的理由	45
1.11.4	用電鍍法即可製作 Cu 佈線	45
1.12	曝光光源向短波長進展和乾式蝕刻代替濕式蝕刻	48
1.12.1	步進重複曝光機光源向短波長的進展	48
1.12.2	曝光波長的變遷	49
1.12.3	圖形曝光裝置的分類	50
1.12.4	乾式蝕刻裝置的種類及蝕刻特徵	51

1.13 光學曝光技術	52
1.13.1 薄膜圖形加工概要	52
1.13.2 對基板的曝光及曝光波長的變遷	53
1.13.3 近接曝光和縮小投影曝光	53
1.13.4 曝光中的各種位相補償措施	54
1.14 電子束曝光和離子植入	57
1.14.1 電子束曝光	57
1.14.2 LEEPL (低加速電子束近接) 曝光	58
1.14.3 離子植入裝置	58
1.14.4 低能離子植入和高速退火	59
1.15 單大馬士革和雙大馬士革技術	62
1.15.1 大馬士革技術就是中國的景泰藍金屬鑲嵌技術	62
1.15.2 Al 佈線與 Cu 大馬士革佈線的形成方法比較	62
1.15.3 Cu 雙大馬士革佈線的形成方法	63
1.15.4 由大馬士革 (鑲嵌) 技術在溝槽中埋置金屬製作導體佈線的實例	63
1.16 多層化佈線已進入第 4 代	65
1.16.1 第 1 代多層化佈線技術——逐層沉積	66
1.16.2 第 2 代多層化佈線技術——玻璃流平	66
1.16.3 第 3 代多層化佈線技術——導入 CMP	67
1.16.4 第 4 代多層化佈線技術——導入大馬士革技術	67
1.17 摩爾定律繼續有效	69
1.17.1 半導體元件向巨大化和微細化發展的兩個趨勢	69
1.17.2 摩爾定律並非物理學定律	70
1.17.3 摩爾定律是描述產業化的定律	71
1.17.4 「踮起腳來，跳起來摘蘋果」	72
思考題及練習題	74
參考文獻	75

2 微電子封裝和封裝材料 77

2.1 微電子封裝的定義和範疇	78
2.1.1 微電子封裝的發展過程	78

2.1.2	前工程、後工程和封裝工程	78
2.1.3	電子封裝工程的範圍	78
2.1.4	微電子封裝的定義	79
2.2	一級封裝和二級封裝	82
2.2.1	LSI 裸晶片 (bare chip) 一級封裝的各種類型	82
2.2.2	引線鍵合 (WB) 和覆晶 (flip-chip) 連接方式	82
2.2.3	TAB 連接方式	83
2.2.4	二級封裝的類型和特徵	84
2.3	一級封裝技術	87
2.3.1	引線鍵合 (WB) 方式及連接結構	87
2.3.2	金線引線鍵合 (WB) 的技術過程	88
2.3.3	覆晶 (flip-chip) 凸點形成方法	88
2.3.4	利用 FCB 的連接方法	89
2.4	傳遞模注封裝和環氧塑封料 (EMC)	91
2.4.1	DIP 型陶瓷封裝的結構	91
2.4.2	球柵陣列封裝 (BGA) 的結構	92
2.4.3	傳遞模注塑封技術流程	92
2.4.4	環氧塑封料 (EMC) 及各種組分的效果	93
2.5	從半導體二級封裝看電子封裝技術的變遷	94
2.5.1	半導體封裝依外部形狀的變遷	94
2.5.2	LSI 封裝與印刷電路板安裝 (連接) 方式的變遷	97
2.6	三維 (3D) 封裝	98
2.6.1	何謂三維封裝?	98
2.6.2	晶片疊層的三維封裝	99
2.6.3	封裝疊層的三維封裝	99
2.6.4	矽圓片疊層的三維封裝	100
2.7	印刷電路板 (PCB) 用材料	102
2.7.1	作為基材的玻璃布	102
2.7.2	熱固性樹脂材料 (1)——酚醛樹脂和環氧樹脂	103
2.7.3	熱固性樹脂材料 (2)——聚醯亞胺、BT 樹脂和 A-PPE 樹脂	104
2.7.4	熱塑性樹脂材料	105

2.8	電解銅箔和壓延銅箔	108
2.8.1	電解銅箔的製作技術	108
2.8.2	壓延銅箔的製作技術	109
2.8.3	銅箔的表面處理工程	109
2.8.4	電解銅箔和壓延銅箔各有長短，分別適用於不同領域	110
2.9	軟性基板（FPC）	112
2.9.1	三層法和兩層法軟性基板	112
2.9.2	兩層法 FPC——鑄造法、濺鍍 / 電鍍法、疊層熱壓法製作技術	113
2.9.3	連接用和補強用軟性基板	114
2.9.4	用於手機和液晶電視封裝的軟性基板	114
2.10	表面貼裝技術（SMT）及無鉛焊料	117
2.10.1	何謂 SMD 和 SMT	117
2.10.2	表徵可靠性隨時間變化的浴缸曲線	118
2.10.3	貼裝元件故障分析	119
2.10.4	無鉛焊料的分類及其特性	119
2.11	無鹵阻燃	122
2.11.1	阻燃劑分類	122
2.11.2	阻燃機制	123
2.11.3	無鹵阻燃	124
2.11.4	添加型無鹵阻燃劑	125
2.12	半導體封裝的設計	125
2.12.1	半導體元件的分類	125
2.12.2	對半導體封裝的要求	126
2.12.3	半導體封裝的設計	126
2.12.4	半導體封裝的設計專案	127
	思考題及練習題	129
	參考文獻	130

3 平面顯示器及相關材料 131

3.1	平面顯示器——被列為戰略性新興產業	132
3.1.1	從陰極射線管（CRT）顯示器到平面顯示器（FPD）	132

- 3.1.2 透射型直視式液晶顯示器的基本結構 133
 - 3.1.3 液晶顯示器的用途分類 133
 - 3.1.4 直視式液晶顯示器的分類 133
- 3.2 液晶分子的四個組成部分各有各的用處 137
 - 3.2.1 液晶分子由四個部分組成 137
 - 3.2.2 向列型液晶和層列型液晶 137
 - 3.2.3 膽固醇相型液晶分子及其排列 138
 - 3.2.4 在電場作用下可改變分子取向的極性基 138
- 3.3 液晶顯示器可類比為一個電子窗簾 142
 - 3.3.1 用於液晶顯示器的液晶材料分子結構 142
 - 3.3.2 產生電子窗簾作用的液晶分子 142
 - 3.3.3 液晶顯示器的主要構成部件 143
 - 3.3.4 液晶顯示器的組裝結構 144
- 3.4 液晶顯示原理 147
 - 3.4.1 TN 型液晶顯示器的工作原理 147
 - 3.4.2 用簾子模型說明偏振片的作用 147
 - 3.4.3 電場效應雙折射控制型液晶顯示器的原理 148
 - 3.4.4 液晶光柵的兩種基本工作模式——常黑型和常白型 149
- 3.5 TFT LCD 的驅動 152
 - 3.5.1 液晶顯示器的兩種驅動方式——被動驅動和主動驅動 152
 - 3.5.2 ITO 透明電極及其製作方法 152
 - 3.5.3 TFT LCD 的像素陣列 153
 - 3.5.4 一個 TFT LCD 次像素的結構 154
- 3.6 TFT LCD 的圖像解析度和彩色化 157
 - 3.6.1 液晶顯示器的圖像如何才能更清晰逼真 157
 - 3.6.2 圖像解析度單位 (ppi) 和顯示規格 157
 - 3.6.3 採用數位電壓對像素實施驅動 158
 - 3.6.4 彩色顯示是如何實現的 158
- 3.7 TFT LCD 陣列基板（後基板）的製作 161
 - 3.7.1 溢流法製作玻璃基板 161
 - 3.7.2 玻璃是影響液晶顯示器性能的最主要部件之一 161
 - 3.7.3 TFT 陣列製作工程 162

3.7.4	驅動 TFT LCD 的驅動電路（驅動 IC）	163
3.8	TFT LCD 濾色膜基板（前基板）的製作	166
3.8.1	數位電壓信號位元（bit）數、灰階數與同時顯示色數的關係	166
3.8.2	彩色濾光片是用哪些步驟製作出來的	166
3.8.3	濾色膜製作於陣列之上的液晶模式	167
3.8.4	軟性液晶顯示器及其結構	168
3.9	液晶盒製作	170
3.9.1	TFT LCD 的三大製作工序	170
3.9.2	液晶盒的製造及其製作技術標準流程	171
3.9.3	如何使液晶分子取向（定向排列）	172
3.9.4	TFT LCD 的斷面構造	173
3.10	TFT LCD 模組組裝	176
3.10.1	偏光板的斷面構造	176
3.10.2	液晶模組的組裝	176
3.10.3	液晶模組中所使用的 TAB 及其連接方式	177
3.10.4	利用 ACF 實現液晶面板與驅動 IC 間的連接	178
3.11	ITO 透明導電膜	180
3.11.1	ITO 膜為什麼具有良好的導電性？	180
3.11.2	利用物質中的電子運動模型解釋 ITO 膜的導電率	180
3.11.3	ITO 膜為什麼是透明的？	181
3.11.4	簡單矩陣驅動的兩大問題	182
3.12	液晶顯示器的飛速進展	185
3.12.1	液晶顯示技術的四個階段	185
3.12.2	玻璃基板的進化——液晶顯示器產業的世代劃分	185
3.12.3	液晶顯示器的應用商品領域	186
3.12.4	薄型顯示器的競爭戰場	186
3.13	液晶顯示器進入市場的發展歷程	189
3.13.1	筆記型電腦液晶顯示器的發展過程	189
3.13.2	快速增長的液晶顯示器市場	189
3.13.3	液晶面板的透射率——如何降低液晶電視的功耗	190
3.13.4	圖像解析度、畫角、觀視距離的最佳配合	192

3.14 液晶電視的技術突破 (1)——擴大視角	193
3.14.1 TN 型液晶視角較小的原因	193
3.14.2 擴大視角的幾種技術	194
3.14.3 多域方式和 MVA 方式	194
3.14.4 IPS 方式和 OCB 方式	195
3.15 液晶電視的技術突破 (2)——提高相應速度	198
3.15.1 液晶電視提高回應速度的必要性	198
3.15.2 液晶結構的改善——採用 OCB 和新液晶材料（鐵電性液晶）的 開發	200
3.15.3 倍頻驅動和脈衝驅動	200
3.15.4 過調驅動	200
3.16 低溫多晶矽（LTPS）液晶	203
3.16.1 非晶矽、多晶矽、連續晶界矽和單晶矽的對比	203
3.16.2 多晶矽（poly-Si）TFT 顯示器是如何製造出來的？	203
3.16.3 多晶矽（poly-Si）TFT 的結構佈置	204
3.16.4 正在開發中的玻璃上系統（system on glass）液晶	205
3.17 液晶顯示器的背光源	208
3.17.1 液晶顯示器按照明方式的分類	208
3.17.2 背光源在液晶顯示器中的應用及分類	209
3.17.3 CCFL 背光源的組成及結構	209
3.17.4 背光模組中各部件的功能、構成及所用材料	210
3.18 LED 背光源	213
3.18.1 LED 背光源的採用和液晶電視的技術革新方向	213
3.18.2 LED 背光源在中小型顯示器中的應用	213
3.18.3 直下式和側置式 LED 背光源	214
3.18.4 LED TV 背光源的發展趨勢	214
3.19 觸控面板的原理和分類	217
3.19.1 觸控面板（TP）及其工作原理	217
3.19.2 TP 按位置分類	218
3.19.3 TP 按工作原理的分類	218
3.19.4 觸控面板應具備的特性	219

3.20 3D 顯示的原理	222
3.20.1 紅外線掃描型觸控面板和圖像認識型觸控面板	222
3.20.2 超音波表面彈性波方式和聲波辨識方式觸控面板	222
3.20.3 3D 顯示的原理	223
3.20.4 各種 3D 技術優劣勢解析	224
3.21 PDP 的原理如同螢光燈	227
3.21.1 螢光燈、PDP、陰極射線管發光原理的異同	227
3.21.2 PDP 像素放大圖	227
3.21.3 PDP 電漿放電的工作原理	228
3.21.4 PDP 放電胞的結構示意	229
3.22 PDP 的構成材料及功能	231
3.22.1 放電氣體的作用	231
3.22.2 PDP 用玻璃的特性	232
3.22.3 不含有機成分玻璃封接劑的優點	232
3.22.4 AC 型 PDP 的構成材料及功能	233
3.23 PDP 面板製作	236
3.23.1 噴砂法製作屏蔽	236
3.23.2 PDP 螢光體的塗佈及燒成	237
3.23.3 顯示器製作工程概要	237
3.23.4 PDP 電視製作技術路線	238
思考題及練習題	241
參考文獻	242

4 半導體固態照明及相關材料 243

4.1 發光二極體簡介	244
4.1.1 何謂二極體	244
4.1.2 何謂光電二極體	244
4.1.3 何謂發光二極體 (LED)	245
4.1.4 發光二極體 (LED) 的發展歷史	246
4.2 發光二極體的特徵	249
4.2.1 間接躍遷型和直接躍遷型發光二極體	249

- 4.2.2 發光二極體的特徵 249
- 4.2.3 發光二極體與白熾燈泡的比較 250
- 4.2.4 發光二極體與鹵素燈的比較 251
- 4.3 III-V 族化合物半導體 LED 元件 254
 - 4.3.1 雷射發光二極體的原理 254
 - 4.3.2 LED 的能帶結構 255
 - 4.3.3 化合物半導體中使用的元素在週期表中的位置 256
 - 4.3.4 III-V 族化合物的結構和性能參數 256
- 4.4 藍光 LED 的實現技術 259
 - 4.4.1 GaN MIS 磊晶層結構和早期 pn 接面 GaN 藍光 LED 結構 259
 - 4.4.2 同質接面 GaN 藍光 LED 結構及雙異質接面 GaN 藍光 LED 260
 - 4.4.3 單量子阱和多量子阱 LED 元件結構 261
 - 4.4.4 採用通道接觸接面的 LED 和低電壓 InGaN/GaN LED 結構 261
- 4.5 藍光 LED 中的關鍵結構——雙異質接面、緩衝層和量子阱 263
 - 4.5.1 LED 元件中的雙異質接面 (DH)、緩衝層 263
 - 4.5.2 LED 元件中的量子阱 264
 - 4.5.3 DH 結構中的能帶結構、載子濃度分佈、電流密度分佈的計算實例 265
 - 4.5.4 各種不同結構的 LED 示意圖 265
- 4.6 製作藍光 LED 的關鍵技術 267
 - 4.6.1 III-V 族化合物半導體薄膜的磊晶 267
 - 4.6.2 金屬有機化合物化學氣相沉積 (MOCVD) 和分子束磊晶 (MBE) 269
 - 4.6.3 III-V 族化合物半導體的 n 型摻雜和 p 型摻雜 269
 - 4.6.4 退火也是關鍵的一步 270
- 4.7 光的三原色 275
 - 4.7.1 發光色與色度圖的關係 275
 - 4.7.2 光的三原色和加法混色 276
 - 4.7.3 原子的受激發射過程 276
 - 4.7.4 視感度曲線——人的眼睛對綠色最為敏感 277
- 4.8 單色 LED 元件結構和發光效率 280
 - 4.8.1 LED 晶片的各種構造 280