

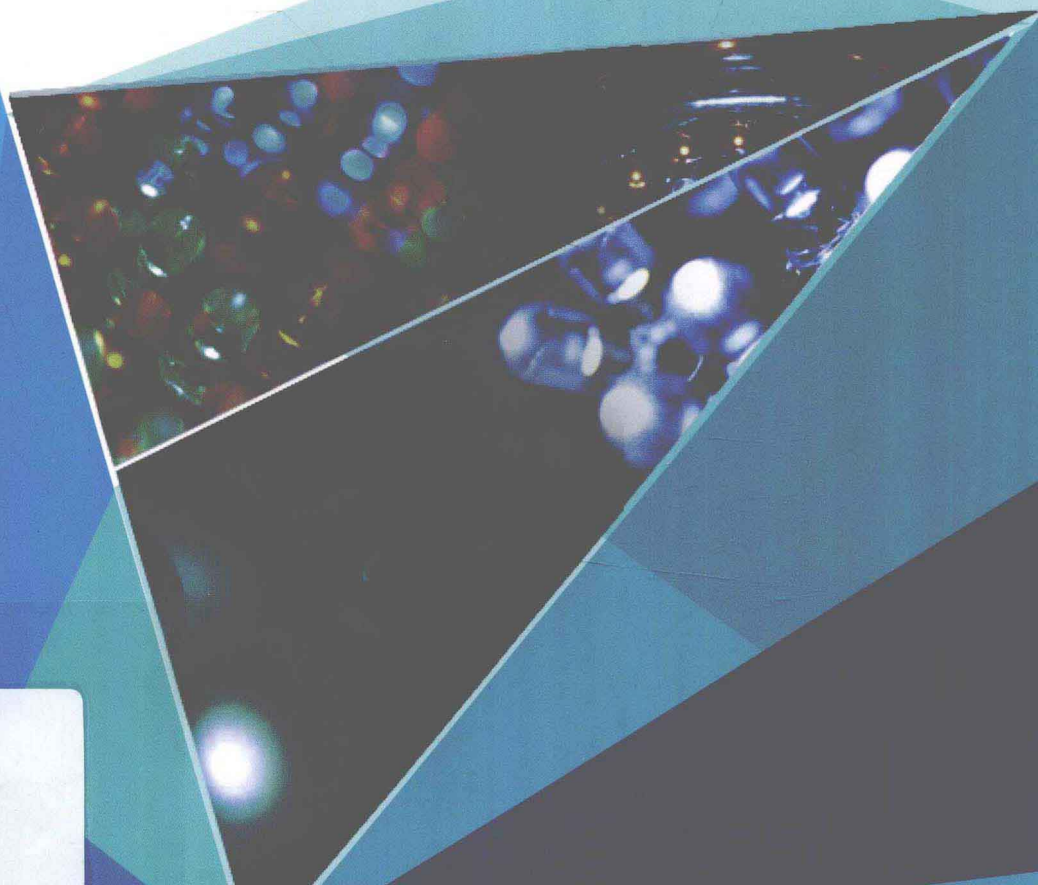


系列叢書

Devices & Introductory Industry of Light-Emitting Diode

LED 元件與產業概況

陳隆建 編著



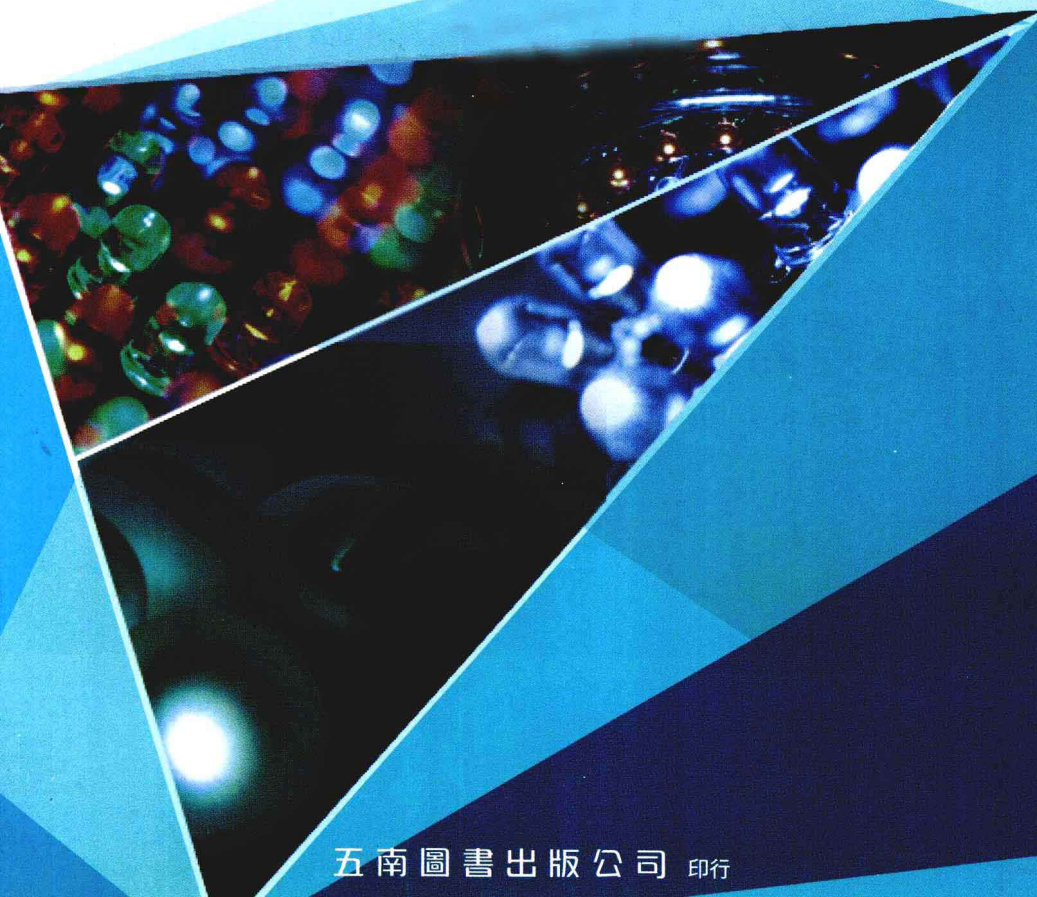


系列叢書

Devices & Introductory Industry of Light-Emitting Diode

LED 元件與產業概況

陳隆建 編著



五南圖書出版公司 印行

國家圖書館出版品預行編目資料

LED元件與產業概況／陳隆建著．——初版．

——臺北市：五南，2012.09

面；公分

ISBN 978-957-11-6825-8（平裝）

1.二極體 2.光電工業 3.產業發展

469.45

101016520



5DF6

LED元件與產業概況

Devices & Introductory Industry of Light-Emitting Diode

作 者 — 陳隆建

發行人 — 楊榮川

總編輯 — 王翠華

主 編 — 穆文娟

責任編輯 — 楊景涵

圖文編輯 — 蔣晨晨

封面設計 — 林承翰

文字編輯 — 賴俊良 邱創郁

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/台中市區中山路6號

電 話：(04)2223-0891 傳 真：(04)2223-3549

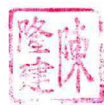
高雄市駐區辦公室/高雄市新興區中山一路290號

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 2012年9月初版一刷

定 價 新臺幣480元



序

發光二極體（Light Emitting Diode, LED）是一種電激發光的半導體元件，早期用於當作訊號顯示器，而隨著發光效率的提升和環保意識的抬頭，LED 的重要性也隨之提升，儼然成為下一世代的照明光源。

這本書的內容主要著重在 LED 的製作和產業發展環境的介紹，儘量避免提及艱深的理論，使讀者可以瞭解 LED 的產業狀況和未來趨勢。筆者在此要感謝北科光電所同學田青禾、吳家任和林文瑋，在資料收集、打字和校稿等方面的協助。

最後僅以此書獻給我摯愛的父親陳應科先生。

陳隆建

於國立台北科技大學光電工程系
民國 101 年 8 月 8 日，父親節。

目 錄

編者序

第一章 LED產業概況	1
1.1 LED發展簡史	2
1.1.1 電激發光的發現	2
1.1.2 固態照明技術簡介	7
1.1.3 照明光源簡史	8
1.1.4 何謂 LED	15
1.1.5 LED 光源的優點瓶頸	19
1.1.6 市場發展趨勢與應用	21
1.1.7 LED 未來展望	23
1.2 產業概論	32
1.2.1 LED 基板	34
1.2.2 LED 長晶	38
1.2.3 LED 磊晶製程和技術	46
1.2.4 LED 晶粒製程	55
1.2.5 LED 封裝	58
習題	70
參考資料	77

第二章 光電半導體元件

81

2.1 半導體特性基本概念	82
2.1.1 半導體的材料與種類	82
2.1.2 半導體的鍵結與晶格結構	83
2.1.3 半導體中的導電載子	85
2.1.4 半導體的產生與複合	85
2.1.5 半導體的摻雜	87
2.2 能帶基本概念	90
2.2.1 原子中的電子狀態和能階	90
2.2.2 包利不相容原理	91
2.2.3 能帶的形成	92
2.2.4 導體、半導體、絕緣體的能帶	94
2.2.5 本質半導體的導電機構	95
2.3 p-n 接面原理	96
2.3.1 半導體物理特性	96
2.3.2 理想二極體	98
2.3.3 實際二極體	99
2.3.4 p-n 二極體開路特性與崩潰現象	100
2.3.5 發光二極體	104
2.4 發光二極體操作原理	104
2.4.1 基本原理	104
2.4.2 電子轉移機制	106
2.4.3 注入機制	107

2.4.4	發光效率與量子效率	109
2.4.5	輻射光譜	111
2.5	發光二極體元件結構	114
2.5.1	傳統平面表面出光 LED 元件結構	114
2.5.2	基板	116
2.5.3	同質結構元件	118
2.5.4	異質結構元件	120
2.5.5	封裝後成品	123
2.5.6	螢光粉	125
2.6	基本電路驅動	130
2.6.1	LED 驅動電路設計基本考量	130
2.6.2	驅動電路設計種類	131
2.6.3	AC/DC Converters	133
2.6.4	各式 LED 驅動電路	133
2.6.5	LED 基本連接方式	135
	習題	138
	參考資料	150

第三章 LED 照明應用

151

3.1	LED 照明產品設計與應用	152
3.1.1	照明市場發展	152
3.1.2	LED 之照明應用現況	156
3.1.3	LED 照明發展趨勢分析狀況	166

3.1.4	光學設流程	166
3.1.5	LED 路燈設計	168
3.1.6	LED 車燈設計	169
3.1.7	LEDMR16 燈具設計	176
3.1.8	LED 檯燈設計	179
3.1.9	LED 日光燈設計	181
3.2	LED 國際照明規範常識	183
3.2.1	國際照明組織與標準概述	184
3.2.2	規範訂定考量因素	185
3.2.3	常用法規介紹	187
3.2.4	LED 照明法規制定方向	191
3.2.5	相關法規參考資料	193
	習題	195
	參考資料	207

第四章 LED 產品發展趨勢 209

4.1	LED 產品發展趨勢	210
4.1.1	技術發展趨勢	210
4.1.2	LED 產品之應用現況	224
4.1.3	LED 產品發展趨勢分析	225
4.2	LED 未來技術展望	227
4.2.2	LED 未來的競爭者—OLED	230
	習題	233

參考資料.....	234
-----------	-----

索 引	<u>237</u>
-----	------------

參考答案	<u>243</u>
------	------------

Chapter1 LED 產業概況



主要内容：

1. LED 發展簡史
2. 產業概論



1.1 LED發展歷史

1.1.1 電激發光的發現

LED 的歷史起源於二十世紀早期，英國的無線通訊工程師 Henry Joseph Round 在研究中無意發現金屬半導體整流器碳化矽（SiC）的電子特性，並發表了長達兩章節的短篇文章，報告此有趣的現象（圖 1-1）：詳細描述了從帶有一不對稱之電流通道的兩個電極的結構中發射出來的黃光，見證了第一道從有電流注入的固態半導體材料中射出的光線，此一現象稱為電激發光（electroluminescence, EL）。電激發光是一種電流通過材料，或有強電場通過材料時，材料發射光線的光學、電學現象。如今，這元件被稱為發光二極體或縮寫為 LED，這也是 Round 的這篇報導成為發光二極體領域之空前的第一篇報導，亦是史上第一顆發光二極體的誕生，奠定了 LED 被發明的物理基礎。

表 1-1 名詞定義與說明

Characteristic	Symbol	Unit	Description
Luminous Flux 光通量	Φ	lm	光源四面八方所有角度所發射出並被人眼感知之所有輻射能稱之為光通量。
Luminous intensity 光強度	I	cd	令光源所射出之光為一球體，在某一方向立體角之內光通量大小，故此單位與特定角度有關。
Illuminance 照度	E	lx,lm/m ²	從單位便知此為單位光通量均勻分佈在單位面積之比值，1 lux = 1 lm/m ² 。
Luminance 輝度	L	Cd/m ²	輝度指光源或被照面其單位表面在某一方向上的光強度密度。
Color temperature 色溫	CCT	K	『標準黑體（black-body radiator）』，某絕對溫度值之光色，可以在色度圖上之普朗克軌跡上找到其對應的光色和溫度。
Color-rendering index (CRI) 演色性	Ra	N/A	將顏色真實表現出來的一種參考指數，業界標準為使用 DIN 6169 規定之八個色樣逐一作比較並量化其差異性。

A Note on Carborundum.

To the Editors of *Electrical World*:

Sms:—During an investigation of the unsymmetrical passage of current through a contact of carborundum and other substances a curious phenomenon was noted. On applying a potential of 10 volts between two points on a crystal of carborundum, the crystal gave out a yellowish light. Only one or two specimens could be found which gave a bright glow on such a low voltage, but with 110 volts a large number could be found to glow. In some crystals only edges gave the light and others gave instead of a yellow light green, orange or blue. In all cases tested the glow appears to come from the negative pole, a bright blue-green spark appearing at the positive pole. In a single crystal, if contact is made near the center with the negative pole, and the positive pole is put in contact at any other place, only one section of the crystal will glow and that the same section wherever the positive pole is placed.

There seems to be some connection between the above effect and the e.m.f. produced by a junction of carborundum and another conductor when heated by a direct or alternating current; but the connection may be only secondary as an obvious explanation of the e.m.f. effect is the thermoelectric one. The writer would be glad of references to any published account of an investigation of this or any allied phenomena.

New York, N. Y.

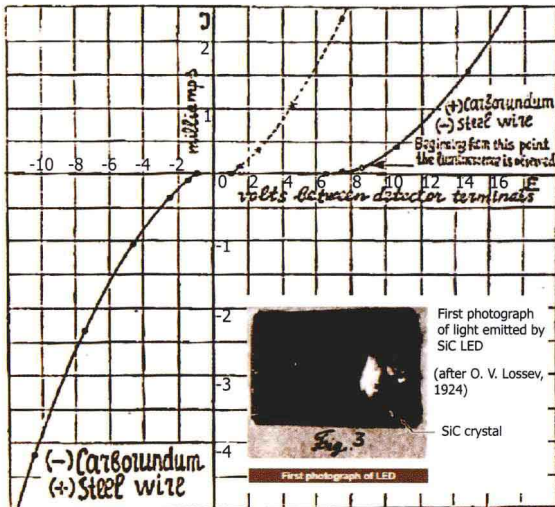
H. J. Round.



Henry Joseph Round

圖 1-1 Henry Joseph Round 簡短的報告

在 1920 年代中期，俄國的 Oleg Vladimirovich Losev 發表發光碳化矽之晶體偵測與偵測器（圖 1-2），發現當在順向偏壓時會有發光的現象，因此 1927 年，Losev 在俄羅斯通訊（Russian journal）上披露了



Oleg Vladimirovich Losev

圖 1-2 Oleg Vladimirovich Losev 所發表之 I-V 特性曲線

首個 LED 的細節。而後，他發表了大量關於 LED 功能的文章。遺憾的是，這些成果雖廣佈於英國、德國、俄國的科學期刊，但直到 20 世紀末和 21 世紀初才被世人認可。

1955 年，美國無線電公司（Radio Corporation of America）的 Rubin Braunstein 首次發現利用砷化鎵（GaAs）以及其他半導體合金能放出紅外線（Infrared），此為不可見光發光二極體的首次應用。

1961 年，德州儀器（TI）的實驗人員 Bob Biard 以及 Gary Pittman 發現砷化鎵（GaAs）材料，當施加一電子流時，會釋放紅外光輻射，並將此成果成功應用在商業用途，並優先取得紅外線 LED 的專利。

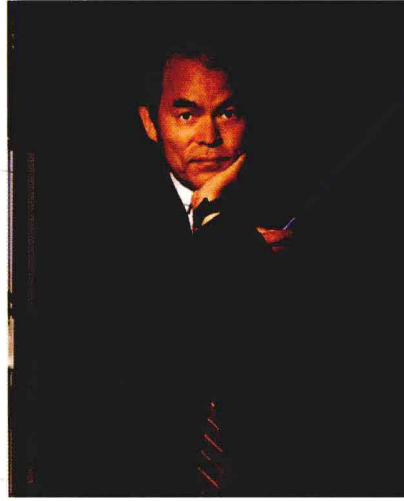
1962 年，通用電氣公司（General Electric Company）的 Nick Holonyak Jr. 教授在伊利諾大學香檳分校（University of Illinois at Urbana-Champaign）以氣相磊晶法（Vapor Phase Epitaxy, VPE）成長磷砷化鎵（GaAsP）材料在 GaAs 基板上，開發出可發出紅色可見光的 LED，這是世界第一顆可見光 LED。這個發明後來得到了廣泛應用，所以他的名字也隨 LED 的紅光一起紅了起來，因此，Holonyak Jr. 教授被譽為「可見光 LED 和 LD 之父」。圖 1-3 是 Holonyak 教授的照片。

1972 年，Holonyak Jr. 教授的學生 M. George Craford 以氮摻雜在 GaAsP 材料作為主動層，並成長在 GaAs 基板上，由此發明了第一個黃光的 LED，其亮度是先前紅色或橘紅色 LED 的 10 倍，意味著 LED 將朝向提高發光效率方向邁出的第一步。

20 世紀 70 年代末期，LED 已經發展出紅、橙、黃、綠、翠綠等顏色，且已廣泛應用在商業化，但依然缺少藍色和白色光的 LED。因為要實現全彩色 LED 顯示，需發明出藍光 LED 才可能實現，然而藍光 LED 的市場價值巨大，也是當時世界性的攻關難題。科學家們轉而將重點放在了提高 LED 的發光效率上面。而在 70 年代中期，磷化鎵（GaP）被使用作為發光光源，隨後就發出灰白綠光，此時 LED 產生綠、黃、橙



Nick Holonyak Jr.
可見光 LED 之父



中村修二 (Shuji Nakamura)
藍光 LED 之父

圖 1-3 Holonyak 教授與中村博士的照片

資料來源：wikipedia.org, engineering.ucsb.edu

色光時，發光效率已經可達到 1 流明 / 瓦。到了 20 世紀 80 年代中期對砷化鎵和磷化鋁材料的研究使用，使得第一代高亮度紅、黃、綠色光 LED 誕生，此時發光效率已可達到 10 流明 / 瓦。LED 真正的起飛是在 1990 年代白光 LED 出現後，才開始漸漸被重視，而應用面越來越廣。

1993 年，日本日亞化工 (Nichia Corp.) 的中村修二 (Shuji Nakamura) 發表了第一個高亮度的氮化鎵鎵 (InGaN) / 氮化鎵 (GaN) 藍光 LED，其結構採用 N 型 GaN 成長在藍寶石基板上，再堆疊 InGaN 主動層，並藉助由名古屋大學的赤崎勇 (I. Akasaki) 教授所發表的 P 型摻雜 GaN 而形成史上第一個藍光 LED。這是一項劃時代的發明，也因為藍光 LED 的迅速發展下，在 InGaN 材料研究中，該材料可藉由 In 含量的改變可控制 InGaN 能隙大小，進而發出紫光至綠光波長的光。由於中村修二博士，開發了第一顆藍光 LED 及藍光雷射 (LD)，被稱為世

紀發明、諾貝爾獎級別的發明，該項技術也曾被認為是 20 世紀不可能的任務，因此他被譽為「藍光 LED 與 LD 之父」。圖 1-3 為中村博士的照片。

因藍光 LED 的存在快速地引領了第一個白光 LED，1996 年，中村修二博士以 InGaN 藍光 LED 覆蓋淡黃色螢光粉塗層，其螢光粉材料為 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12} : \text{Ce}$ (YAG : Ce)，成功開發出白光 LED。中村修二博士於 2006 年也因其發明被頒予千禧科技獎 (Millennium Technology Prize)。由於藍光和白光 LED 的出現拓寬了 LED 的應用領域，使全彩色 LED 顯示、LED 照明等應用成為可能，使得 LED 不再局限於從前的指示燈。現階段白光 LED 主要用途是取代較耗電的傳統照明燈具，例如白熾燈泡 (Incandescent Bulbs)、日光燈 (Fluorescent lamp)、鹵素燈泡 (Halogen Bulbs) 等，然而在白光 LED 突破 60 lm/W，甚至超過 100 lm/W 後，就連螢光燈、高壓氣體放電燈等也倍受威脅，圖 1-4 說明了 LED 發展歷史。

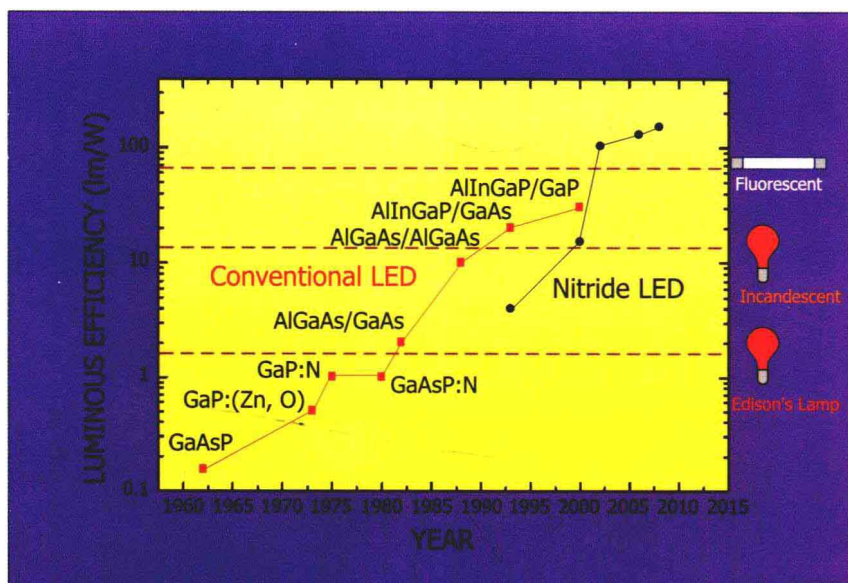


圖 1-4 LED 發展歷程與未來趨勢

1.1.2 固態照明技術簡介

近年來，能源節約與環保意識的大力提倡，耗能高或具污染性的光源逐漸被淘汰，而推行新一代的綠色光源。其中固態照明（Solid-state lighting, SSL）是一種照明技術，意指是將電能轉換為光能的綠色光源，即為發光二極體（Light Emitting Diode, LED）、有機發光半導體（Organic Light Emitting Diode, OLED）、高分子發光二極體（Polymer Light Emitting Diode, PLED）作為照明光源，以取代傳統的電燈泡、日光燈或平面顯示器等。

利用奈米碳管（CNT）來製作場發射陣列（奈米尖端），並配合奈米尖端放電的原理使電子射出形成電子束，在真空中加速撞擊螢光粉發出 RGB 三種顏色而發光，即為場發射光源（Field Emission Light, FEL），亦屬於固態照明光源之一。

圖 1-5 說明了固態照明光源之種類。

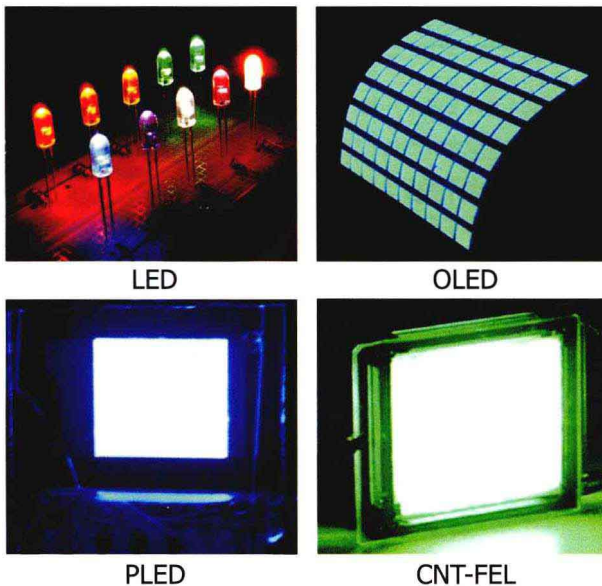


圖 1-5 固態照明光源種類照片

1.1.3 照明光源簡史

(A) 光源技術簡介

從古至今，人類最初是利用燃燒時的火光明照，如火炬、蠟燭，其後在演進使用油燈、瓦斯燈等作為照明之用，但是這些方法都無法得到安定的光源，而這時期的照明光源稱為燃燒光源。直至 19 世紀初，英國的漢弗萊戴維爵士（Humphry Davy, 1778～1829）發明碳弧燈，開啟人類用於實際照明的第一支電光源。直到 1879 年，美國發明家愛迪生（Thomas Alva Edison, 1847～1931）發明了具有實用價值的真空碳絲白熾燈，才真正揭開了解決照明問題的序幕，使人類從漫長的火光明照進入電氣照明時代。隨著科技的發展，鎢絲燈泡、日光燈、等各種不同原理的照明方式出現，造就了今日的光明世界。圖 1-6 為說明照明光源發展歷程與未來趨勢。

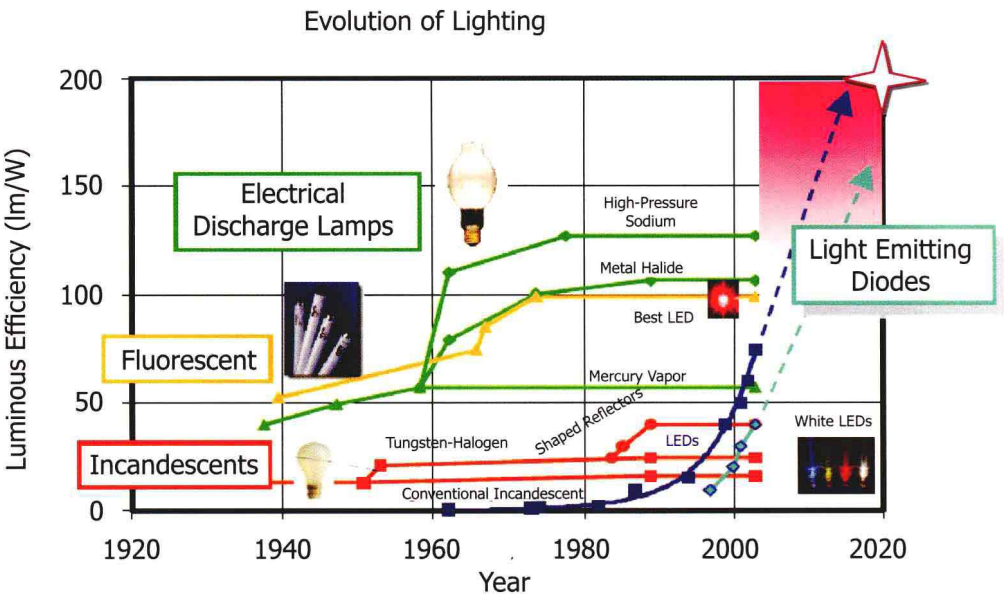


圖 1-6 照明光源發展歷程與未來趨勢