

工程與生活

光電半導體元件簡介

郭艷光 Yen-Kuang Kuo

彰化師大物理系暨光電科技研究所教授

兼彰化師大理學院院長

電子郵件: ykuo@cc.ncue.edu.tw

網頁: <http://ykuo.ncue.edu.tw>

課程大綱

- 半導體雷射(LD)
- 發光二極體(LED)
- 有機發光二極體
(Organic LED, OLED)

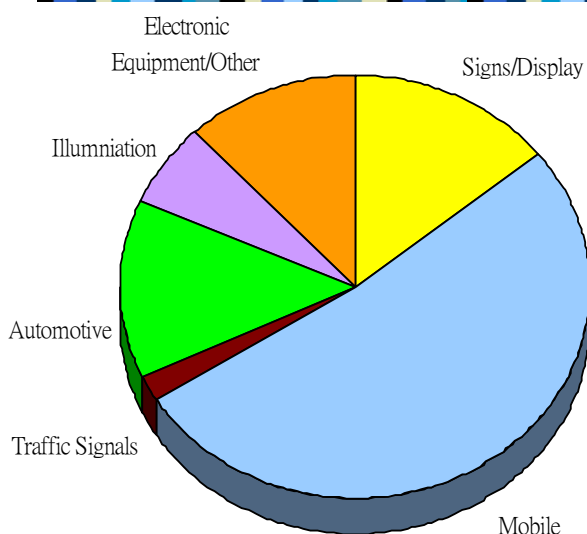
名詞釋義(Nomenclature)

- **LD (Laser Diode, 雷射二極體, 又稱半導體雷射)**
- **LED (Light-Emitting Diode, 發光二極體)**
- **OLED (Organic Light-Emitting Diode, 有機發光二極體)**

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師

3

2005年全球高亮度LED應用領域



就應用領域分析，手機為LED最主要應用市場，但市場佔有率呈現下滑趨勢，反倒是在照明及汽車領域有明顯成長。

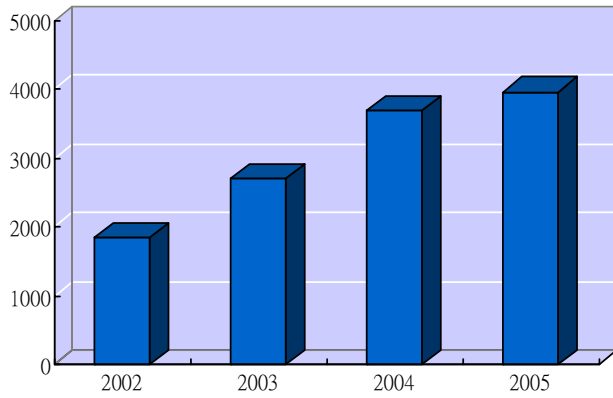
資料來源：工研院IEK-ITIS計畫，2006/4

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師

4

全球高亮度LED市場規模

單位：百萬美元



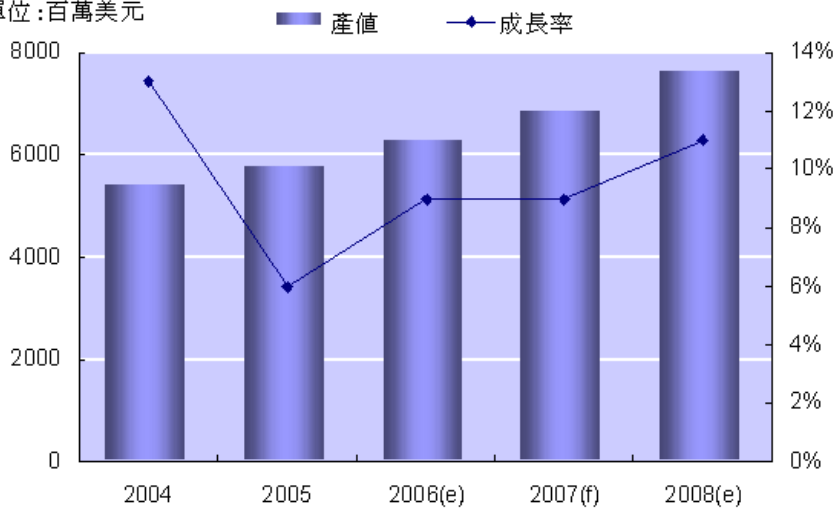
2005年高亮度LED市場受到產品單價持續下滑，及大尺寸背光模組等新興市場成長不如預期影響，市場僅呈現微幅成長，較2004年微幅成長7%，達3,963百萬美元。

資料來源：工研院IEK-ITIS計畫，2006/4

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 5

2004~2008年全球LED市場規模

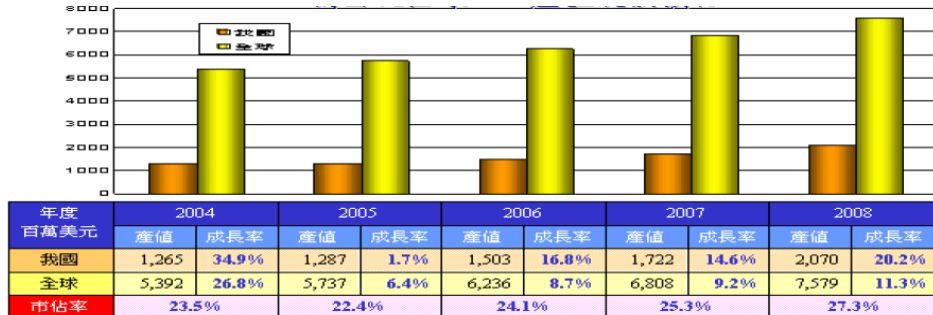
單位：百萬美元



資料來源：工研院IEK-ITIS計畫，2006/4

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 6

我國及全球LED產值規模預估



2005年全球LED市場產值受到產品單價快速下滑的影響，產值成長率大幅下滑至6.4%。所幸在未來幾年內，LED應用在中大型面板背光、車用及裝飾照明市場將持續成長，LED產值成長率亦將漸漸回升。我國LED產值成長率表現也在05年掉至谷底，此後之年成長率將回升至10%以上。大體而言，我國產值成長率在未來幾年內將持續優於全球市場表現。

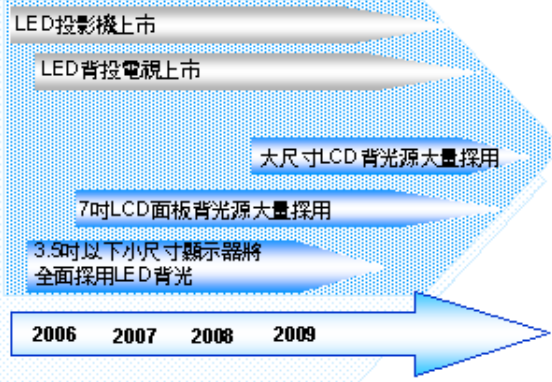
2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師

7

LED應用範圍與發展趨勢

LED應用範圍

- 手機
按鍵背光源
螢幕背光源
- 相機閃光燈
- 家庭裝置
遙控器
冷氣
音響
- 交通號誌
- 戶外看板
- 數字顯示
電子鐘
電梯應用
- 汽車
煞車燈
尾燈
儀表板
指示燈
- 照明



資料來源：DigiTimes Research，2006/6

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師

8

LED用於LCD TV背光源優劣勢比較

優勢

- 更具寬廣的色彩再現性。採用LED的背光模組可達NTSC 100%~130%。
- 無汞，符合歐洲環保基準。
- 壽命長
- 反應速度快，高速動作畫面應用上表現優異。
- 固態光源，構造比採用氣體及玻璃管的CCFL型背光模組更為穩定（較耐震及衝擊）。

劣勢

- 成本高
- 發光效率低
- 耗電量高
- 熱量產生
- 壽命均一度差
- 使TV背光模組厚度增加

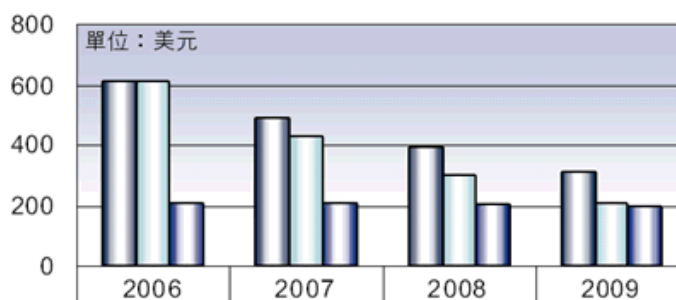
資料來源：DigiTimes Research，2006/6

<http://tech.digitimes.com.tw/ShowNews.aspx?zCatId=116&zNotesDocId=CE07A4130262B4DE4825718C00344ADF>

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師

9

2006~2009年40吋LED背光模組價格預估



單位：美元	2006	2007	2008	2009
LED每年降幅約20%	610	488	390	315
LED每年降幅約30%	610	427	298	209
CCFL價格預估	210	207	202	198

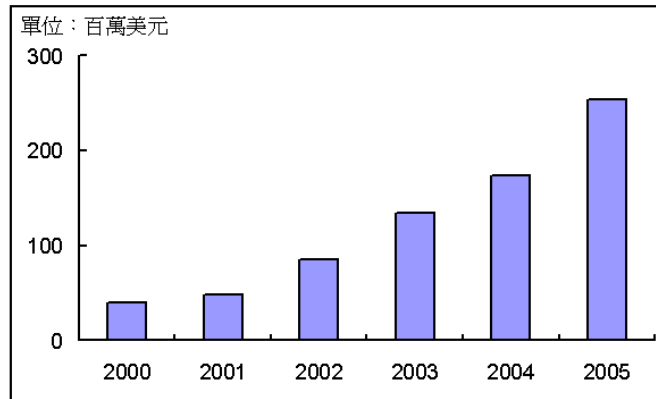
資料來源：DigiTimes Research，2006/6

<http://tech.digitimes.com.tw/ShowNews.aspx?zCatId=116&zNotesDocId=CE07A4130262B4DE4825718C00344ADF>

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師

10

全球一般照明用發光二極體市場



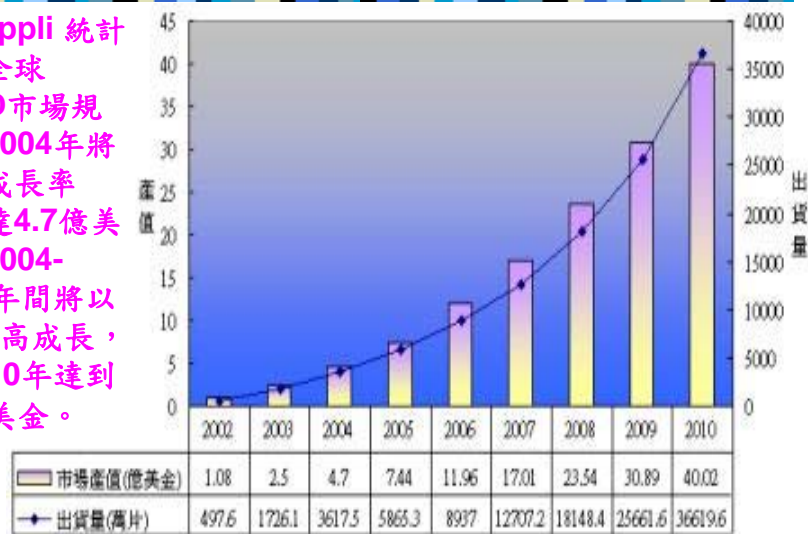
資料來源：Strategies (2006)

2005年全球一般照明用發光二極體市場需求達2.5億美元，2000至2005年的複合成長率高達44%。

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 11

國內外OLED產業發展(1)

據 iSuppli 統計
分析全球
OLED市場規模，2004年將
以年成長率
88%達4.7億美金，2004-
2010年間將以
751%高成長，
至2010年達到
40億美金。



2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 12

國內外OLED產業發展(2)

表一 2005年全球OLED廠商排行			
2005年排名	廠商	2005年佔有率	2004年佔有率
1	三星SDI	27.33%	43.69%
2	錒寶	26.87%	24.62%
3	先鋒	15.08%	20.18%
4	悠景	10.13%	6.35%
5	樂金	6.12%	N/A
	其他	14.47%	5.16%

Source :iSippli · 2006年6月

根據iSippli在2006年6月統計，三星在2004~2005年之市佔率奪冠，但在2005年三星的市佔率大幅降低，這是因為其他廠商降低價格增加出貨量所導致。

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 13

電磁波的頻譜

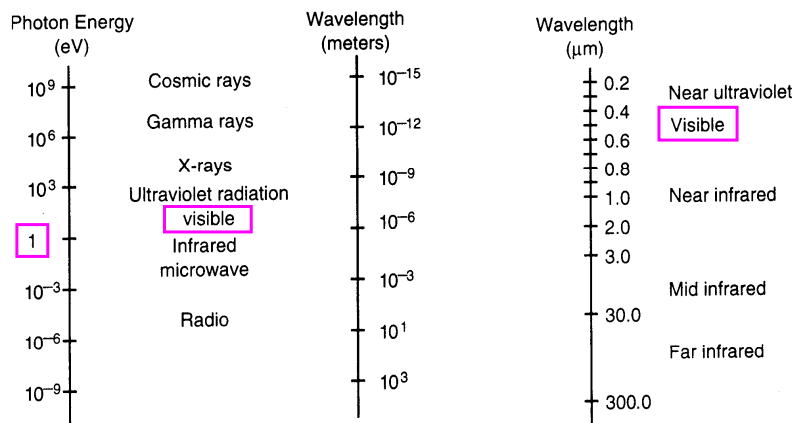
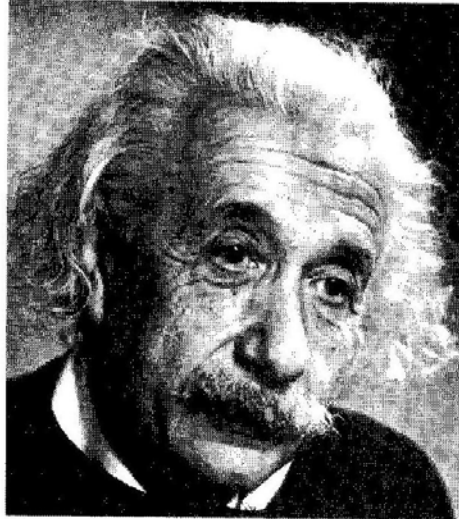


Figure 3.4a The electromagnetic spectrum.

Figure 3.4b The optical portion of the electromagnetic spectrum.

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 14

Albert Einstein (1879–1955)



愛因斯坦

相對論

$$E = mc^2$$

受激放射

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 15

光子與電子之間的交互作用

Process	Before	After	Example
Absorption 吸收			Photodetector 光偵測器
Spontaneous Emission 自然放射			Light-Emitting Diode OLED
Stimulated Emission 受激放射			Laser Diode 雷射二極體 (光子不可分辨)

$$\text{發光波長： } \lambda \text{ (nm)} = 1240 / E_g \text{ (eV)}$$

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 16

雷射原理與雷射系統的發明

- 1958年，A. L. Schawlow與C. H. Townes第一次詳細描述在光學頻段的雷射效應(Phys. Rev. 112, 1940, 1958)。
- 1960年，Maiman發明人類第一具雷射：紅寶石($\text{Cr}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$)雷射(Nature 187, 493, 1960)。

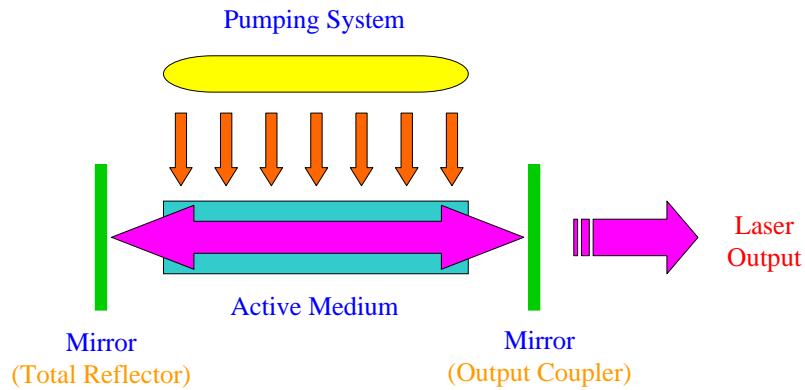
2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 17

什麼是雷射？

- LASER is the abbreviation of 『Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation』
- Taiwan ⇨ 雷射 (取其音)
- China ⇨ 激光 (取其意)

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 18

雷射系統的基本元素



2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 19

雷射的種類與典型範例

- 1) **Gas Lasers (氣態雷射)**
He-Ne Laser, Ar⁺ Laser, CO₂ Laser, N₂ Laser, ...
- 2) **Liquid Lasers (液態雷射)**
Organic Dye Lasers, ...
- 3) **Solid-State Lasers (固態雷射)**
Ruby Laser, Nd:YAG Laser, Nd:Glass Laser, ...
- 4) **Semiconductor Lasers (半導體雷射)**
AlGaAs, InGaAsP, AlGaInP, InGaN, InGaAsN, ...
- 5) **Other Lasers (其他雷射)**
Chemical Laser, Free-Electron Laser, ...

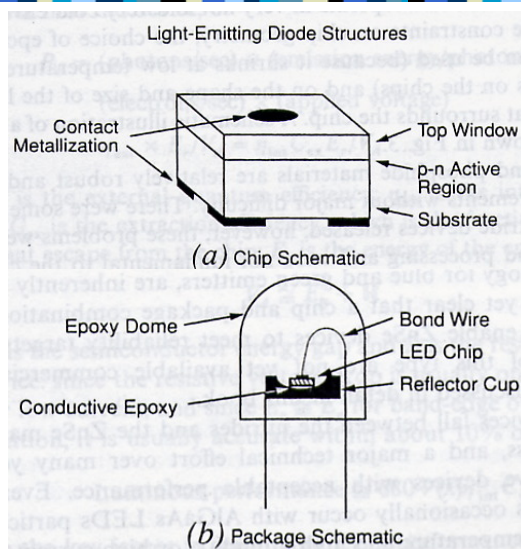
2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 20

發光二極體(LED)的應用

- TFT LCD 背光光源
- 單色/彩色顯示器
- 白光與各色燈泡
- 汽機車照明與指示燈
- 驗鈔筆/驗鈔機

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 21

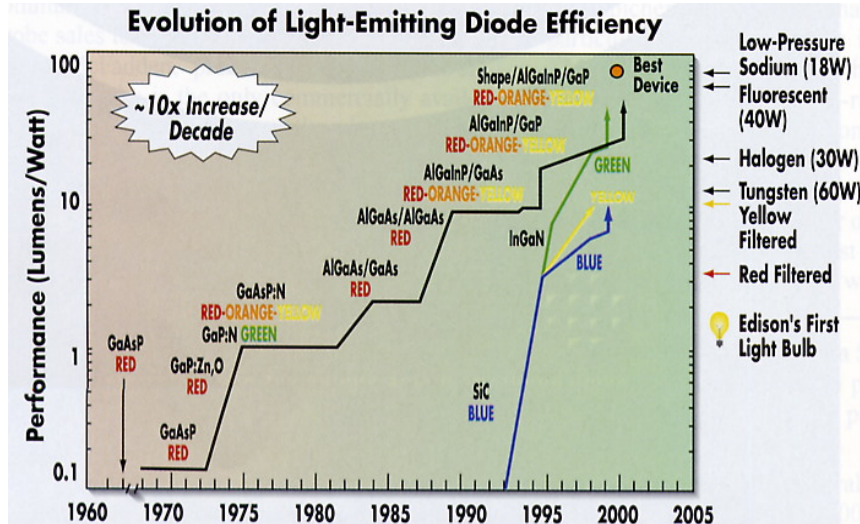
LED基本結構與發光機制



- ① 電子與電洞經由n態與p態電極注入LED元件。
- ② 電子與電洞在活性層結合，多餘的能量以光的型態釋出。

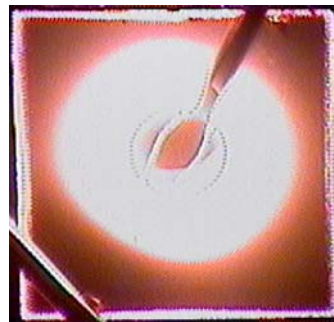
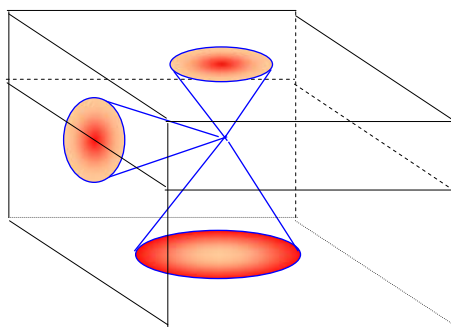
2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 22

LED發光效率的演進過程



2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 23

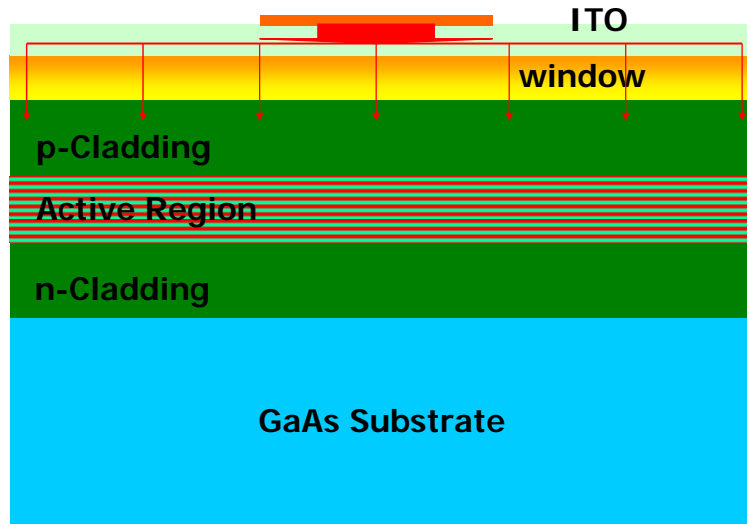
活性層光線輸出的效率問題



- 由於LED半導體元件與外圍封膠之間的折射率差相當大，每一面的光輸出均在4%以下。
- 如果電流散開的情況不佳，光線輸出效率還會更差。

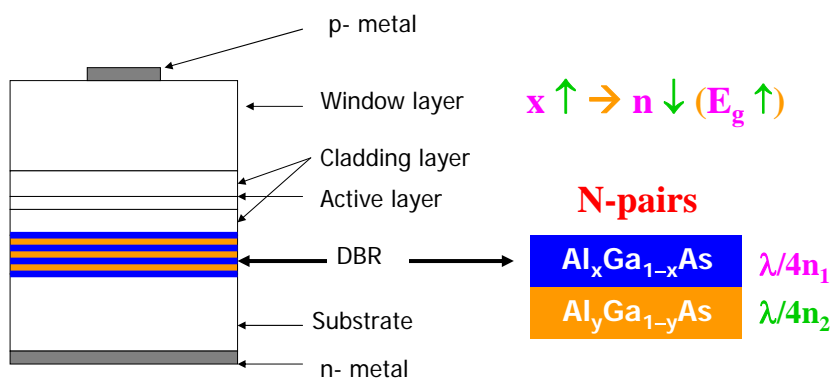
2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 24

使用ITO (Indium Tin Oxide)作電極



2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 25

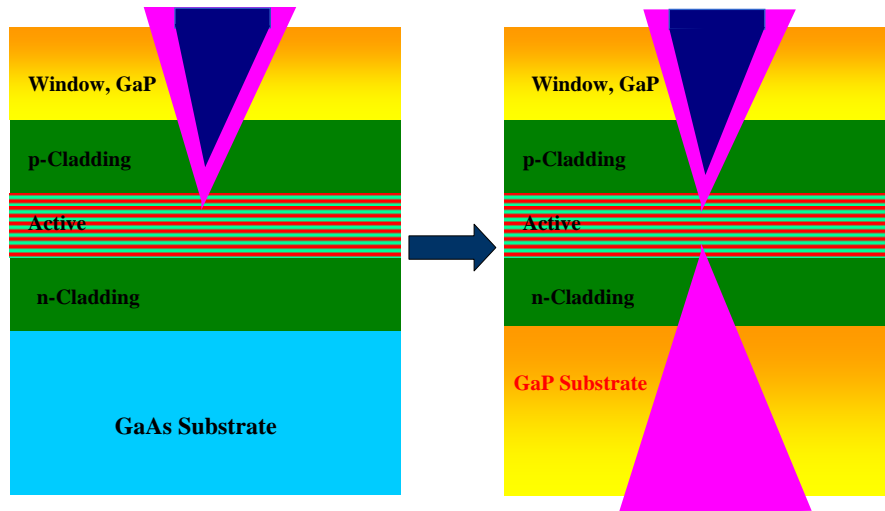
Distributed Bragg Reflector (DBR)



DBR設計準則：兩層都不能吸光，折射率差越大越好。

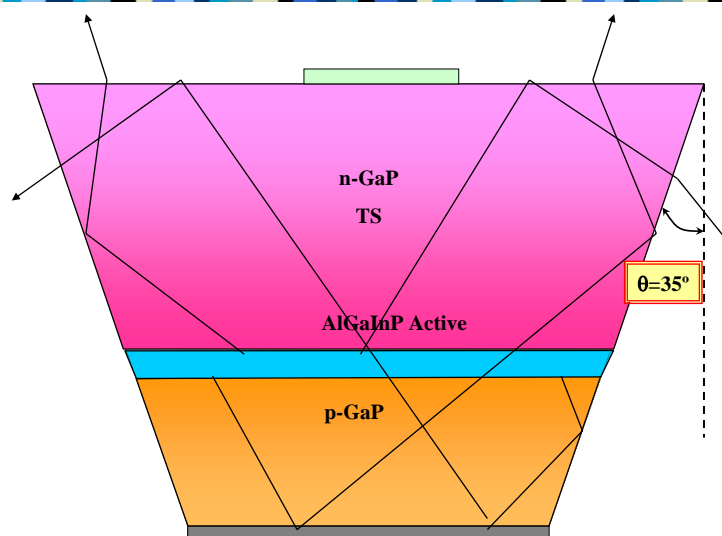
2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 26

使用透明基板(向下發光)



2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 27

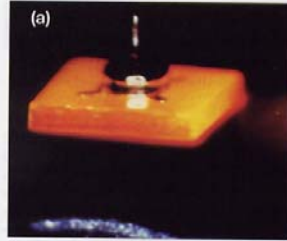
特殊形狀之LED結構



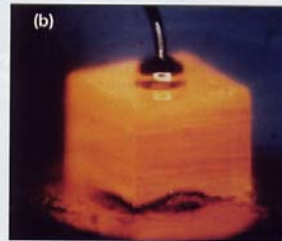
2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 28

Lumileds公司的透明基板LED

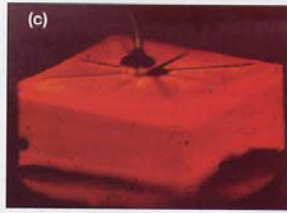
1991
吸光之
GaAs基板



1994
透明之
GaP基板



1998
大尺寸之
GaP基板



2001
透明之
TIP基板

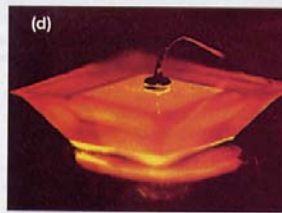


Fig. 1. Four generations of AlGaInP LEDs: (a) absorbing substrate (AS) LED; (b) transparent substrate (TS) LED with two to three times the AS flux; (c) high-power LED with five times the TS flux; (d) truncated inverted pyramid (TIP) LED with eight times the TS flux.

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 29

LED晶片與金屬反射鏡熔接術

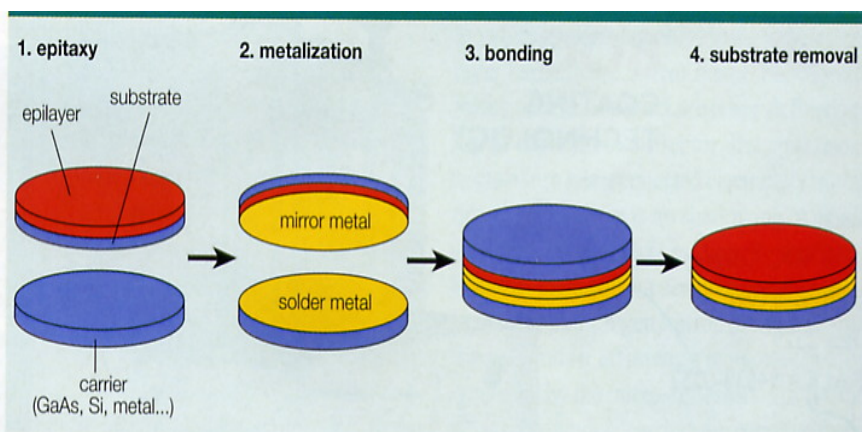


Fig. 3. A metal-bonding scheme used for creating an "artificial" wafer with epilayers on a new carrier and buried metal-mirror layers in between.

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 30

表面粗糙術與金屬反射面

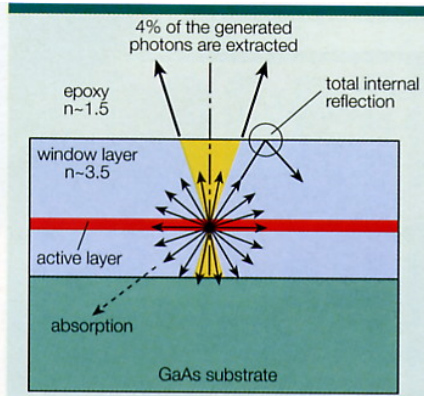


Fig. 1. Total internal reflection and substrate absorption limit the photon extraction efficiency of conventional LEDs grown on absorbing substrates.

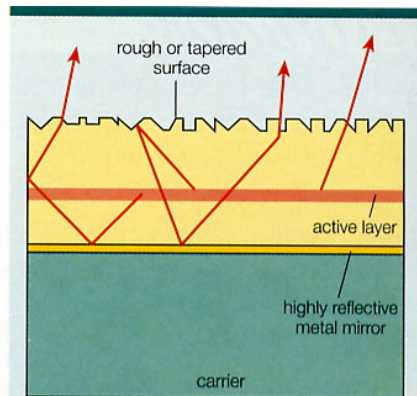
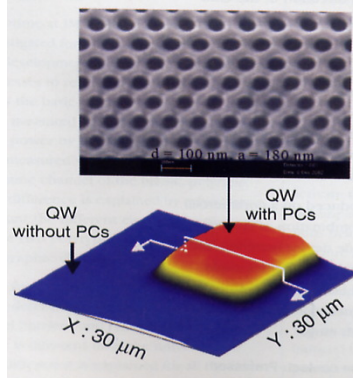


Fig. 2. In substrate-less LEDs a highly reflective metal mirror reflects all the downward-travelling light. The thin active layer minimizes internal absorption.

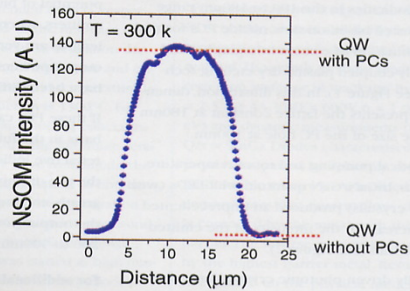
2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 31

使用光子晶體技術提升光輸出量

KSU Optically-pumped III-Nitride Photonic Crystals 20 times enhancement in emission intensity



SEM image and near-field scanning optical microscopy (NSOM) intensity image collected above the patterned photonic crystal (PC) region - 20 times enhancement under optical pumping.



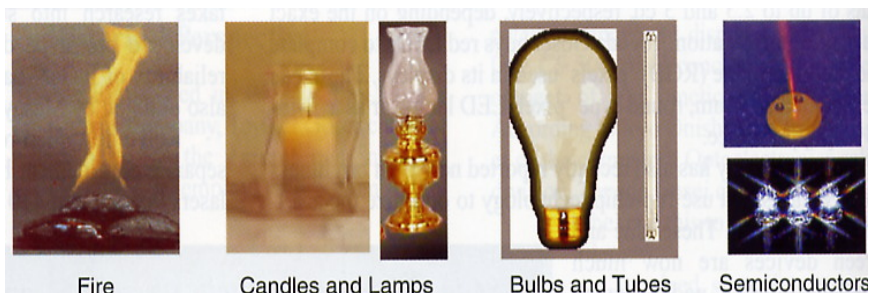
2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 32

明日之星→白光LED

- 日本通產省(MITI)於1998年4月開始執行「21世紀照明計劃」，預計5年內投資50億日圓(約為美金4仟萬元)，結合日本30多家廠商，發展GaN為主之白光源，預定2010年達成120流明/瓦為長程目標。
- 美國1999年10月提出「發展半導體照明光源白皮書」，規劃10年內投入5億美金發展白光LED。

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 33

照明設備的演化過程



LED即將扮演重要的角色!!

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 34

LED於車用產品之應用

Center high-mounted stop lamps (CHMSL)
& cargo bed lighting

Backup
lighting
and stop
lamps

License plate
illuminators

Turn signals

Signal mirrors,
approach lighting,
and exterior
security lighting



Interior Applications

- Map lamps
- Passenger reading lights
- PRNDL/gear selector lighting
- Dome lights
- Interior door lights
- Instrument panel lights & displays
- Ambience lighting
- Trunk lights

資料來源：東貝光電，2005/6

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 35

白光LED的應用(頭燈與相機照明)



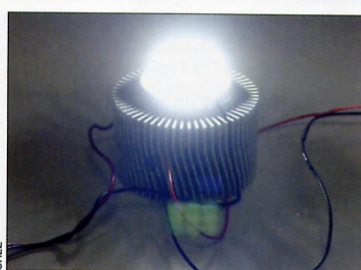
Fig. 1. Applications of white LEDs. Left: a Ford concept car uses Luxeon LEDs from Lumileds as part of an adaptive lighting system that can produce different beam patterns to suit different situations such as highway, in-town or curve driving. Right: white LEDs can replace conventional discharge lamps as the flash for mobile phone cameras. The RGB multichip version can produce a variety of color temperatures.

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 36

白光LED的應用(燈泡)



Ledtronics include DécorLED lamps with Edison screw bases.



CREE

Fig. 3. This white lamp produced 1200 lm, about the same as an incandescent bulb, but with twice the efficiency.

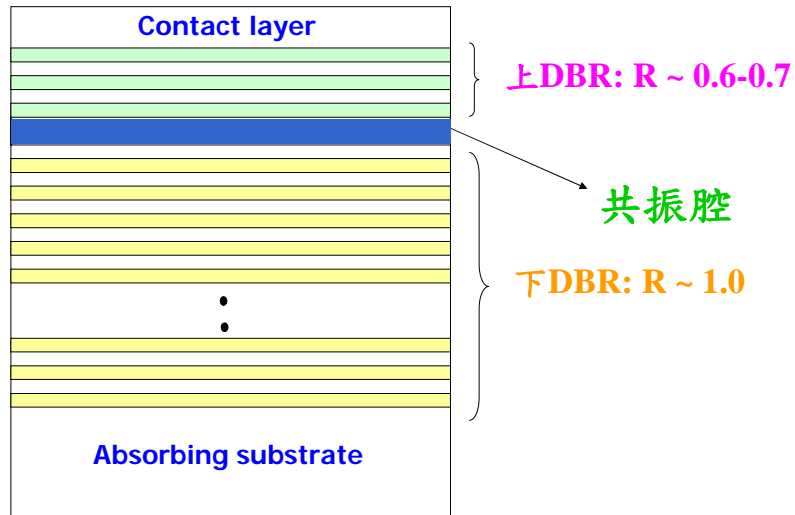
2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 37

共振腔LED (RC-LED)

- RC-LED在LED活性層上方加上數對DBR，其光學特性介於LED與VCSEL之間。
- 與LED相比，RC-LED有以下優點：方向性較好，亮度較高，頻寬較窄，調變(Modulation)速度較高。

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 38

RC-LED結構示意圖



2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 39

RC-LED與LED方向性比較

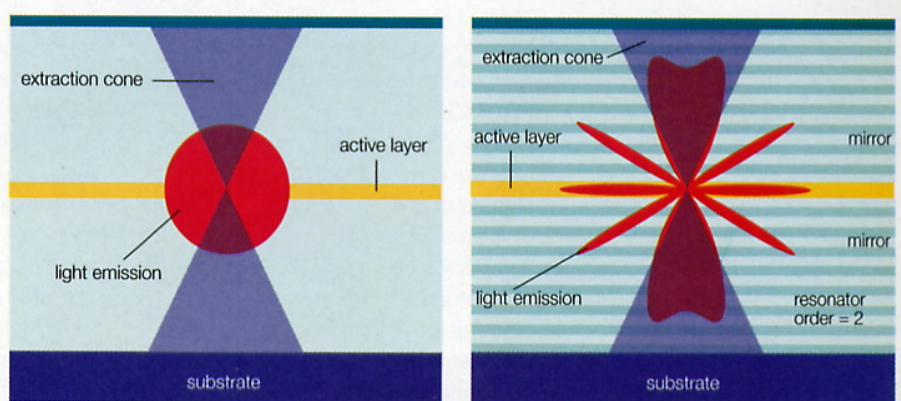
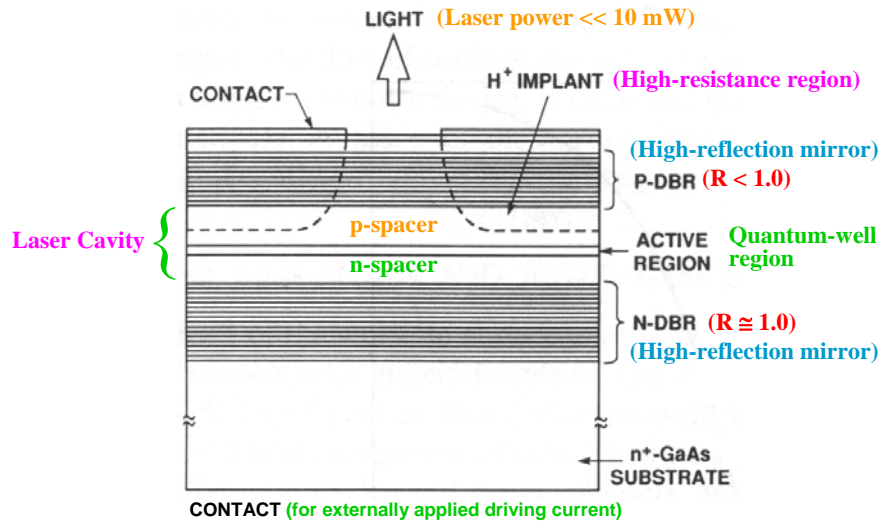


Fig. 1. In a conventional LED (left) the light emission is isotropic. Only a small percentage of the emitted light can be extracted. In an RCLED (right) the active layer and mirrors can be designed such that the light is emitted mostly inside the extraction cone.

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 40

面射型半導體雷射(VCSEL)



2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 41

LED、RC-LED、與VCSEL之比較

特性	LED	RC-LED	VCSEL
頻寬	寬	中等	窄
調變速度	低	中等	高
光輸出效率	低	中等	高
亮度	低	中等	高
價格	低	中等	高

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 42

The Clusterlab 600 Research MBE System



國立彰化
師範大學
奈米科技
中心已於
2005年6
月購入乙
台MBE!

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 43

什麼樣的顯示器是我們期待的呢?



隨身穿戴的彈性用途



2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 44

有機發光二極體(OLED)顯示器

- 傳統的CRT陰極射線管螢幕厚重、佔體積，因此已逐漸被厚度較薄且大尺寸的PDP電漿顯示器及LCD液晶顯示器所取代。
- 另外一項新技術：**OLED** (有機發光二極體)。OLED是Organic Light-Emitting Diode的簡稱，是一種有機電激發光元件。

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 45

OLED顯示器發展簡史

- 1963年，Pope發表了世界上第一篇有關OLED的文獻，當時使用數百伏特的電壓通過Anthracene晶體時，觀察到發光的現象。但由於其過高的電壓與不佳的發光效率，在當時並未受到重視。
- 1987年，美國柯達公司的 C. W. Tang 及 Steve Van Slyke 等人發明以真空蒸鍍法製成多層式結構的OLED元件的小分子OLED元件後，大幅提高了元件的性能，其低操作電壓、與可使電洞電子侷限在電子傳輸層與電洞傳輸層之界面附近再結合高亮度的商業應用潛力，吸引了全球的目光。
- 1990年，英國劍橋大學的Friend等人成功的開發出以塗佈方式將多分子應用在OLED上，即Polymer LED(簡稱PLED)，不但再引發第二波研究熱潮，更確立了OLED在二十一世紀產業中所佔有的重要地位。

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 46

OLED顯示器的優點

- 自行發光、不需背光源
- 高亮度 ($> 100,000 \text{ cd/m}^2$)
- 反應時間快(μs)、沒有殘影現象
- 製作容易、輕薄(2 mm)、寬視角($>170^\circ$)
- 寬廣操作溫度範圍、低驅動電壓(3-9 V)
- 色彩豐富、高對比、價格持續降低當中
- 可撓曲、可做多樣化形狀及尺寸
- 符合環保潮流(不含Hg \rightarrow 2006年歐盟停用)

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 47

OLED的可能應用領域

- TFT-LCD 背光光源
- 平面顯示(電子報紙等)
- 平面光源照明
- 曲面顯示器(廣告看板)
- 可撓曲式顯示器

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 48

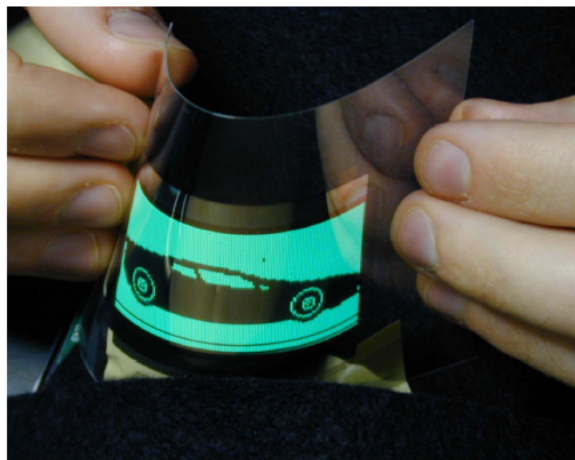
OLED目前主要應用產品



2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 49

可撓曲式單色OLED

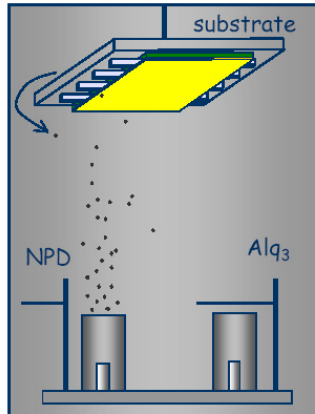
FOLED-based Pixelated, Monochrome Display



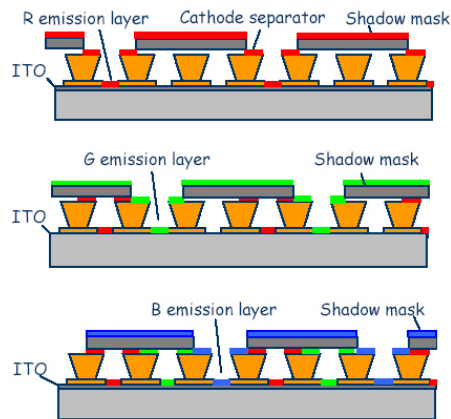
Source: UDC, Inc.

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 50

低分子OLED全彩製程



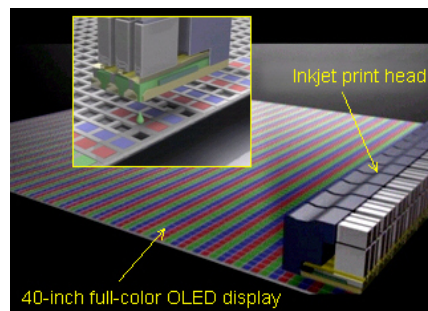
Small molecules are thermally evaporated in vacuum



R, G, B patterning is defined by shadow masking in vacuum

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 51

Seiko Epson 40吋OLED全彩顯示器



日本Seiko Epson公司於2004年5月發表了40吋OLED全彩顯示器，為當時世界最大的OLED全彩顯示器。與以往一般小分子OLED所使用的蒸鍍製程不同的是，該項產品採用高分子OLED噴墨印刷技術。

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 52

目前OLED的發展瓶頸

- OLED發光材料普遍呈現色彩純度不足的現象
- 有機層材料壽命短
- 大尺寸面板開發困難
- 專利的問題有待克服

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 53

OLED元件的衰變問題

- OLED元件的衰變原因主要為以下三種：(1)熱衰變；玻璃轉移溫度 T_g 可以作為其熱穩定性的依據， T_g 低的材料在高溫操作下容易損壞。(2)光化學衰變；有些有機材料在光照射下不穩定，可能發生光化學反應。(3)界面的不穩定；OLED元件中有三種界面：ITO/有機層、有機層/有機層、金屬/有機層。有些有機材料在其它有機材料或無機材料上的黏附性能很差。
- 無機材料衰變原因主要為以下兩類：(1)ITO的表面污染；器件中的ITO表面必須沒有有機雜質，表面遺留物會導致工作電壓升高，導致效率和使用壽命降低。(2)陰極的腐蝕；陰極腐蝕是最常見的導致器件衰變的原因，如果封裝不好，陰極就會出現被氧化的黑點。

2009/04/10 工程與生活--陳明飛等14位教授合開課程 / 物理系郭艷光老師 54

Blue Laser Laboratory



Thank you for your attention.