

淺談LD、LED、 LCD、OLED

郭艷光 Yen-Kuang Kuo

美國南加州大學(USC)電機研究所博士
國立彰化師大物理系暨光電科技研究所教授

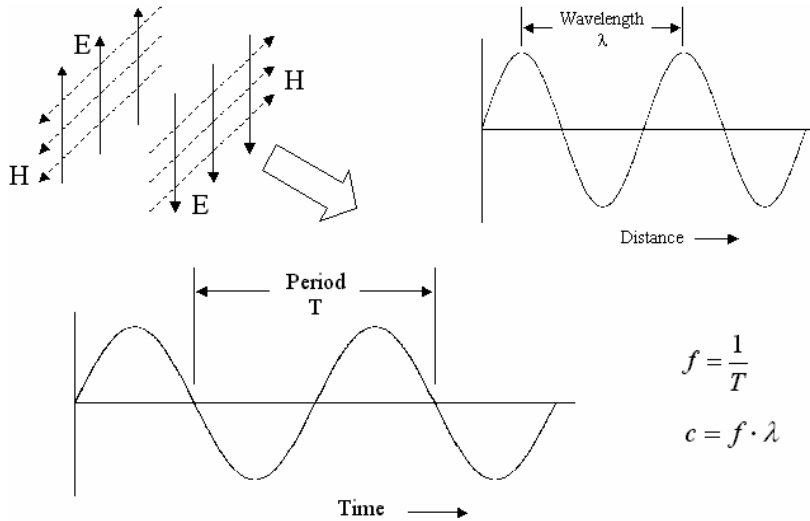
電子郵件: ykuo@cc.ncue.edu.tw

網頁: <http://ykuo.ncue.edu.tw>

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)
- LCD (Liquid Crystal Display, 液態晶體顯示器, 簡稱液晶顯示器)
- OLED (Organic Light-Emitting Diode, 有機發光二極體)

電磁波的波長、頻率、與週期



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 3

電磁波的頻譜

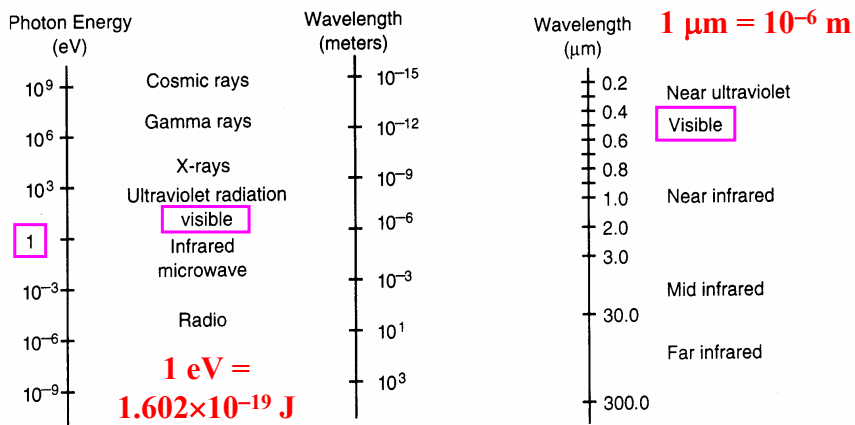
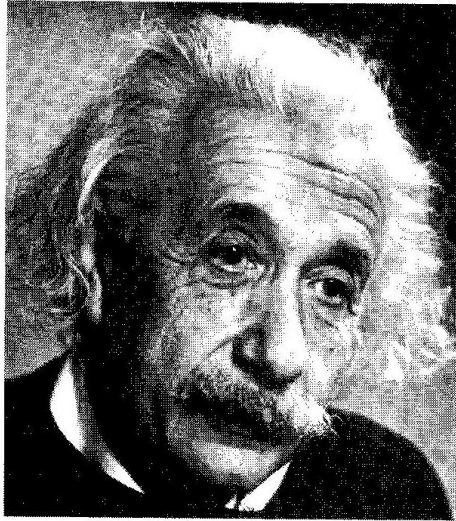


Figure 3.4a The electromagnetic spectrum.

Figure 3.4b The optical portion of the electromagnetic spectrum.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 4

Albert Einstein (1879–1955)



愛因斯坦

受激放射

相對論

$$E = mc^2$$

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授

5

光子與電子之間的交互作用

Process	Before	After	Example
Absorption			Photodetector
Spontaneous Emission			Light Emitting Diode OLED
Stimulated Emission			Laser Diode RC-LED ? (in phase)

$$\lambda \text{ (nm)} = 1240 / E_g \text{ (eV)}$$

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授

6

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)。

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)

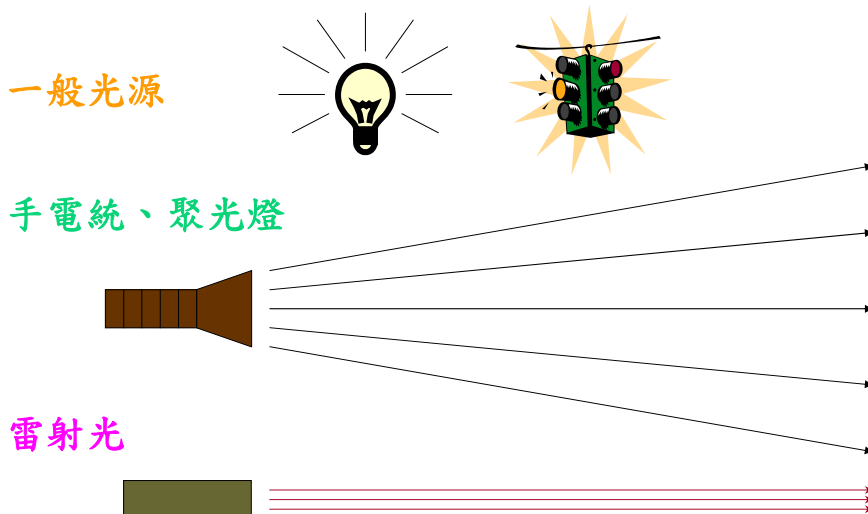
雷射光的基本性質

- 雷射光是一種電磁波，在真空中的行進速度為光速($\sim 3 \times 10^8$ 公尺/秒)。
- 雷射光是一種相當窄頻的光源，相當接近於單色光，如果以雷射光通過三稜鏡，比較不會產生色散的現象。
- 雷射光具有高同調性(Coherence)，以及高平行度，所以在行進很遠的距離後，仍然能維持一個很細的光點。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授

9

各種光源平行度之比較



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授

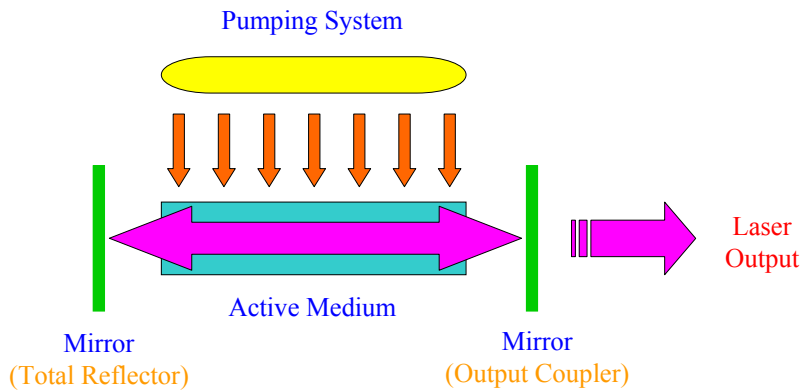
10

雷射光的各種應用

- 科學用途：干涉、繞射、全像術、光譜量測、生物學的應用等。
- 醫療用途：眼科、外科、皮膚科等。
- 工業用途：切割、鑽孔、焊接等。
- 通信用途：光纖通信、寬頻上網。
- 民生用途：CD、DVD、HD-DVD、雷射光筆、條碼讀取等。
- 軍事用途：雷射測距(步槍、戰車、飛機)、雷射標定(精靈炸彈)、雷射陀螺儀(飛機慣性導航)、高功率雷射武器、鈾的純化等。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 11

雷射系統的基本元素



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 12

雷射的種類

1) 氣態雷射(Gas Lasers)

He-Ne Laser, Ar⁺ Laser, CO₂ Laser, N₂ Laser, ...

2) 液態雷射(Liquid Lasers)

Organic Dye Laser, ...

3) 固態雷射(Solid-State Lasers)

Ruby Laser, Nd:YAG Laser, Ti:sapphire Laser, ...

4) 半導體雷射(Semiconductor Lasers)

AlGaInP, InGaN, AlGaAs, InGaAsP Lasers ...

5) 其他雷射(Other Lasers)

Chemical Laser, Free-Electron Laser, Excimer Laser, ...

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 13

典型的氣態雷射系統結構

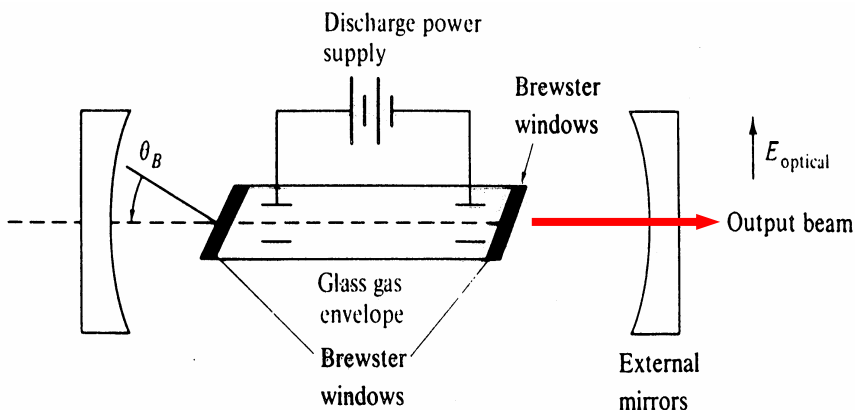
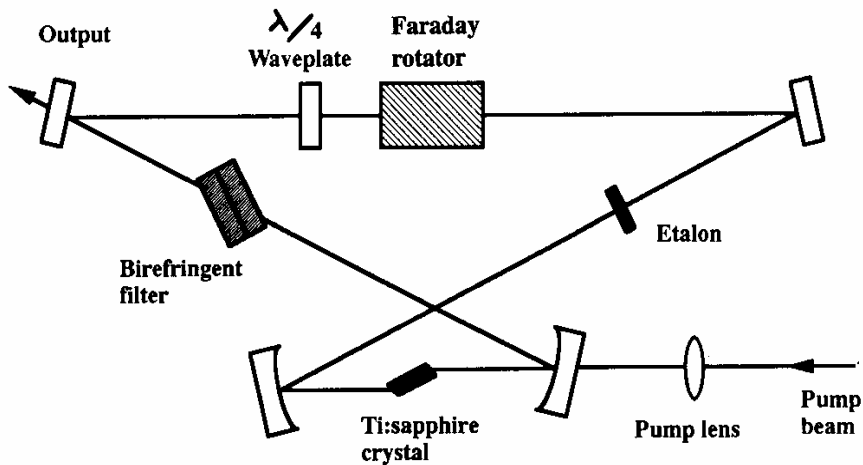


Figure 7-16 Typical gas laser.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 14

Ti:Sapphire 雷射系統架構圖



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 15

什麼是「半導體雷射」？

- **The material is “semiconductor”**
 - At very low temperature, their conductivity is low
 - At high temperature, they act like conductors
(temperature $\uparrow \Rightarrow$ conductivity \uparrow)
(For metals: temperature $\uparrow \Rightarrow$ conductivity \downarrow)
- **They are (the most widely used) “lasers”**
 - Active medium \Rightarrow p-n junction (active layer)
 - Pumping scheme \Rightarrow Current injection (usually)
 - Laser mirrors \Rightarrow Cleaved end surfaces (usually)

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 16

雷射二極體(LD)與發光二極體(LED)

- **Small Size, Light Weight**
- **Very Long Operation Lifetime (>> 1000 hours)**
- **High Efficiency, Low Power Consumption**
- **High Power Density, High Brightness**
- **Very Low Price (A laser pointer costs only a hundred NT!)**
- **Wide Bandwidth (Ranging from UV, visible light, to Infrared)**
- **Perfect for Optical Fiber Communication**

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 17

光電半導體材料

I	II	IIb	III	IV	V	VI
³ Li	⁴ Be		⁵ B	⁶ C	⁷ N	⁸ O
¹¹ Na	¹² Mg		¹³ Al	¹⁴ Si	¹⁵ P	¹⁶ S
¹⁹ K	²⁰ Ca	³⁰ Zn	³¹ Ga	³² Ge	³³ As	³⁴ Se
³⁷ Rb	³⁸ Sr	⁴⁸ Cd	⁴⁹ In	⁵⁰ Sn	⁵¹ Sb	⁵² Te
⁵⁵ Cs	⁵⁶ Ba	⁸⁰ Hg	⁸¹ Tl	⁸² Pb	⁸³ Bi	⁸⁴ Po

IV: Photo-detector

III-V & II-VI: LED/LD & Photo-detector

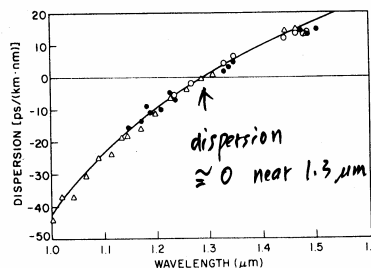
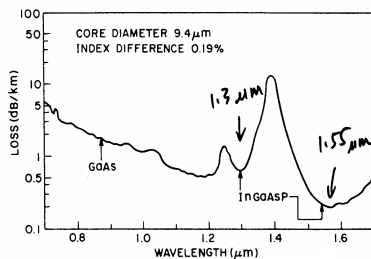
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 18

四個重要的半導體雷射/LED系統

- **Optical Fiber Communication: InGaAsP**
(λ : 1.3 μm / 1.55 μm)
Dispersion is minimum at 1.3 μm (less signal distortion); Loss is minimum at 1.55 μm (longer distance between repeaters).
- **CD Player/CD ROM : AlGaAs (λ : 780 nm)**
Storage capacity \approx 0.67 GB.
- **DVD-ROM/DVD-RAM/DVD-R : AlGaInP (λ : 650 nm)**
Storage capacity \approx 4.7 GB.
- **High Density DVD : InGaN (λ : 405 nm)**
Storage capacity \geq 15 GB.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 19

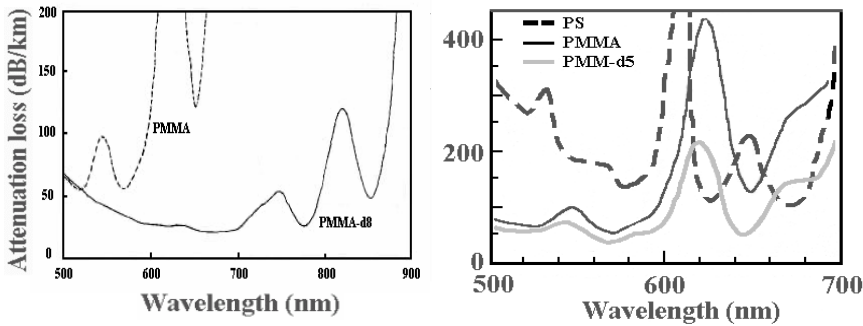
光纖通信用半導體雷射



- **Optical fiber (SiO_2) has low-loss windows at 1.3 μm and 1.55 μm .**
- **Loss \approx 0.2 dB/km at 1.55 μm (Loss \approx 3 dB after 15 km; i.e., the signal will attenuate to one half of its original amplitude in 15 km).**
Note: $\text{dB} \equiv 10 \log (P_1/P_2) = 20 \log (E_1/E_2)$
- **Dispersion is minimum near 1.3 μm . (Distortion of signals is minimized at 1.3 μm .)**
(Width of optical pulse is broadened by an amount of $\Delta\tau = D_p(\Delta\lambda_s)L$, where D_p is dispersion coefficient, $\Delta\lambda_s$ is the spectral width of light source, and L is the length of propagation.)
- **Laser diodes for long-range fiber communication: InGaAsP, AlGaInAs, InGaAsN**

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 20

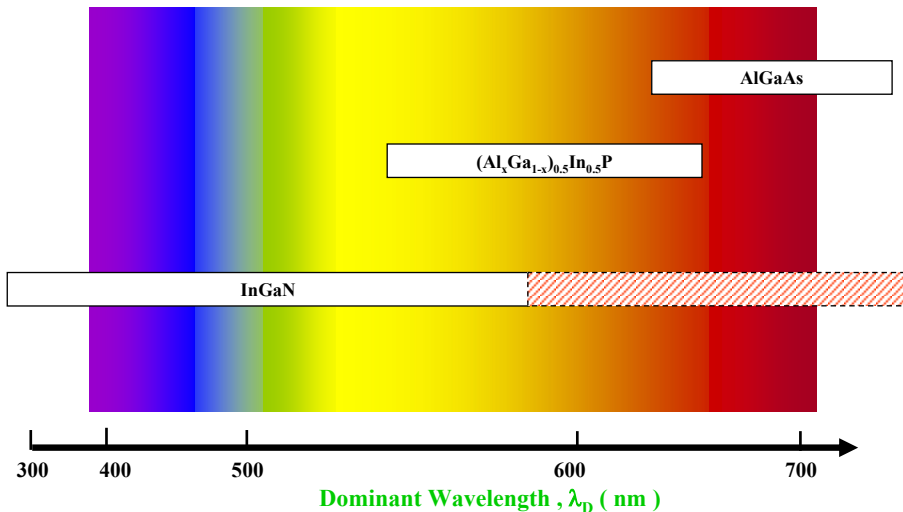
短程光纖通信用半導體雷射



- **PMMA (Polymethylmethacrylate) related optical fibers have low-loss windows at 570 nm, 650 nm, and 850 nm.**
- **Plastic fibers and short-wavelength (edge-emitting and vertical-cavity surface-emitting) semiconductor lasers are better materials for short-range optical fiber communication if cost is a major concern.**

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 21

可見光區的光電半導體材料



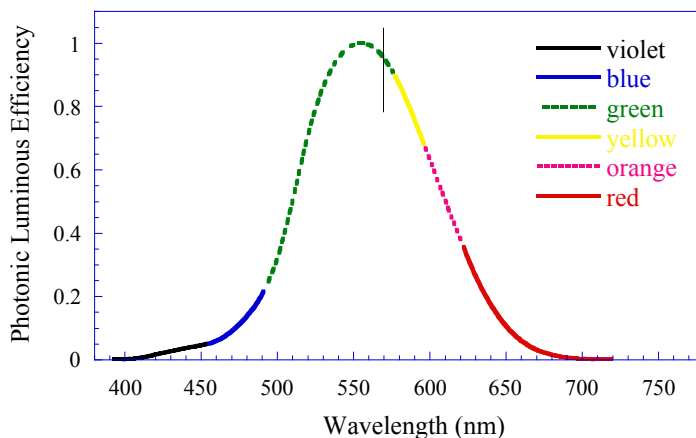
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 22

AlGaInP 半導體雷射材料

- 為了讓AlGaInP薄膜長在GaAs基板上晶格可以匹配，In的含量必須佔第III族原子的50%。
→ 化學式為 $(Al_xGa_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$
- AlGaInP直接能隙與間接能隙曲線在555 nm交叉，發光波長在570 nm(黃綠光)與650 nm(紅光)之間時，發光效率相當好。
- 交通號誌燈所使用的紅光及黃光LED均為AlGaInP LED。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 23

人眼對光之敏感度頻譜



Human eyes are sensitive to green light (~555 nm), and hence the development of green (or yellowish green) AlGaInP LED is desirable.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 24

InGaN 半導體雷射材料

- InGaN 沒有晶格匹配的基板，大部分長在不導電的藍寶石(Al_2O_3)基板上。
- 可以導電的碳化矽(SiC)也是不錯的 InGaN 基板，不過因為價格昂貴，較少被業界採用。
- InGaN 發光範圍橫跨整個可見光區與紫外線，但是黃綠光到紅光(570 nm~650 nm)這一個波段，目前還無法和 AlGaInP 做商業性的競爭。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 25

$\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ LD/LED 的發光範圍

Color	UV	Purple	Blue	Green	Yellow	Red	Infrared
λ	363 nm	405 nm	450 nm	520 nm	590 nm	650 nm	1610 nm
E_g	3.42 eV	3.06 eV	2.76 eV	2.38 eV	2.10 eV	1.91 eV	0.77 eV
x	0	0.09	0.173	0.282	0.372	0.438	1

$$E_g \approx x \cdot E_{g,\text{InN}} + (1-x) \cdot E_{g,\text{GaN}} - b \cdot x \cdot (1-x)$$

$b \equiv$ Bowing Parameter

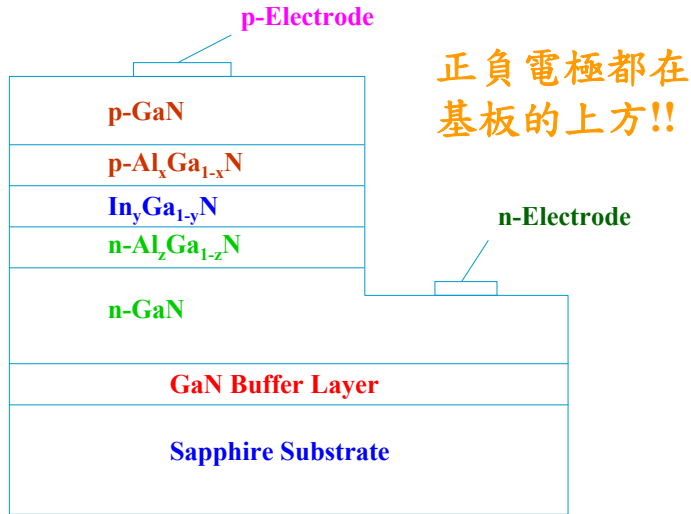
$$E_{g,\text{InN}} = 0.77 \text{ eV}, E_{g,\text{GaN}} = 3.42 \text{ eV}, b = 1.43 \text{ eV}$$

Reference: Wu *et al.*, Appl. Phys. Lett. 80, 4741, 2002.

III-N is very efficient between 250 nm and 570 nm.

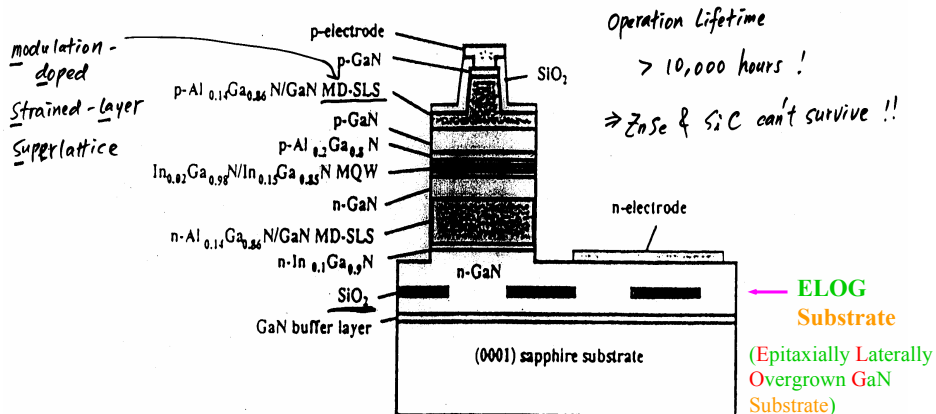
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 26

InGaN 半導體雷射的結構



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 27

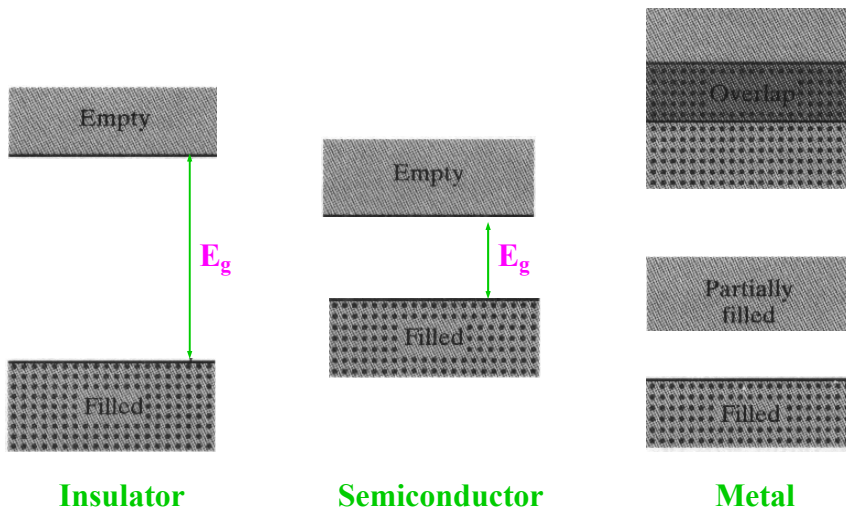
Nichia公司在1997年發表的InGaN半導體雷射



(LEOS'97 Postdeadline PD1.1 (11/12/'97) San Francisco)

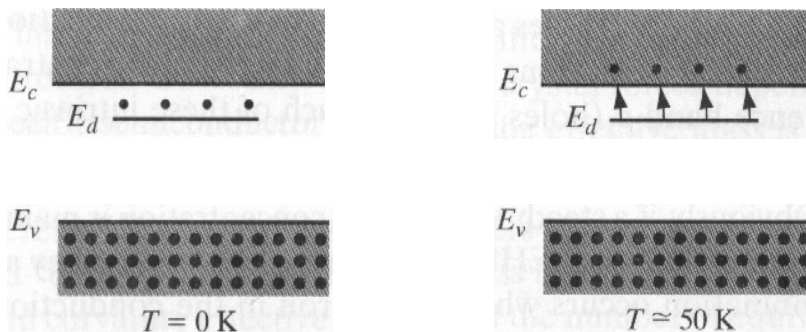
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 28

低溫(0K)下的能帶結構



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 29

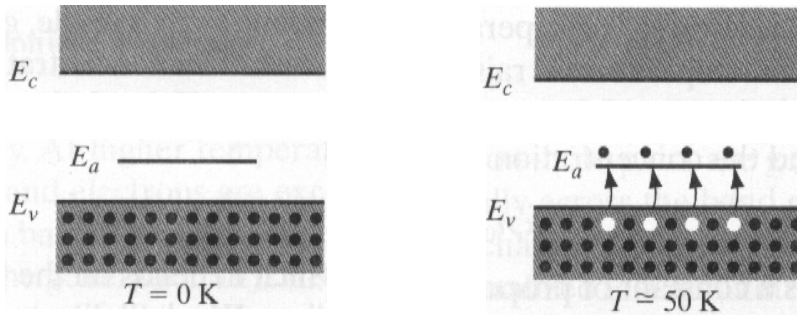
N-型半導體



- The impurity level is filled with electrons at 0 K.
- Very little thermal energy is required to excite these electrons to the conduction band. At about 50-100 K, virtually all of the electrons in the impurity level are “donated” to the conduction band.
- Such an impurity level is called a *donor level*, and the column V impurities in Si or Ge are called *donor impurities*.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 30

P-型半導體



- The impurity level is empty of electrons at 0 K.
- At about 50-100 K, enough thermal energy is available to excite electrons from the valence band into the impurity level, leaving behind holes in the valence band.
- Since this type of impurity level “accepts” electrons from the valence band, it is called an *acceptor level*, and the column III impurities in Si or Ge are called *acceptor impurities*.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 31

純質、N-型、P-型矽半導體

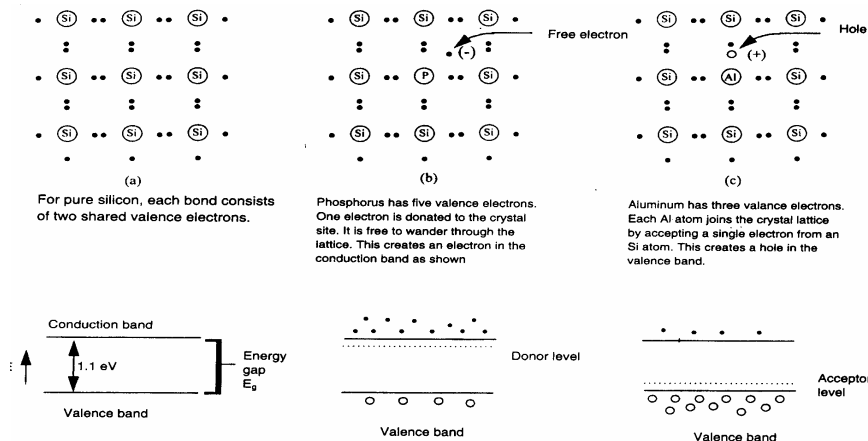
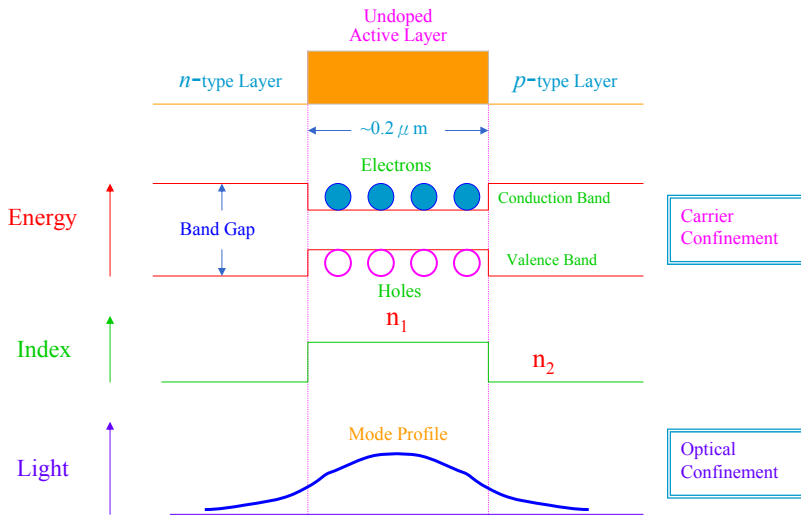


Figure 10.1 Silicon lattice structure for (a) pure, (b) n-type, and (c) p-type silicon. The energy band diagram is given below each type.

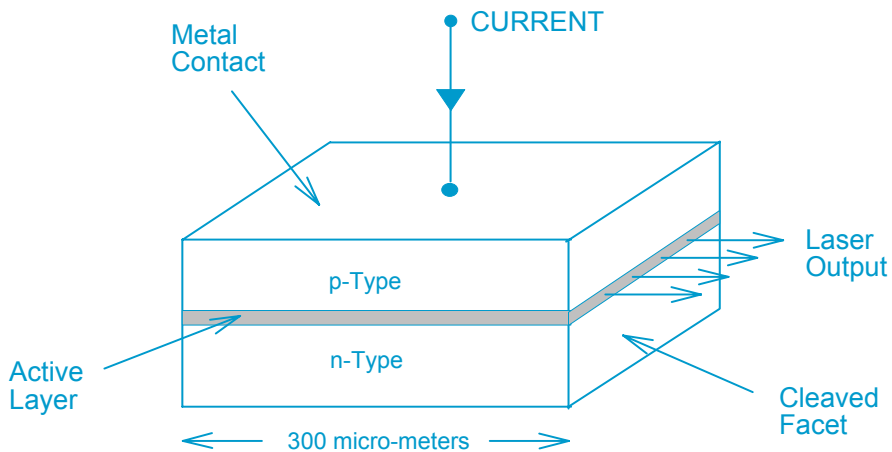
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 32

雙異質結構的電子與光子侷限



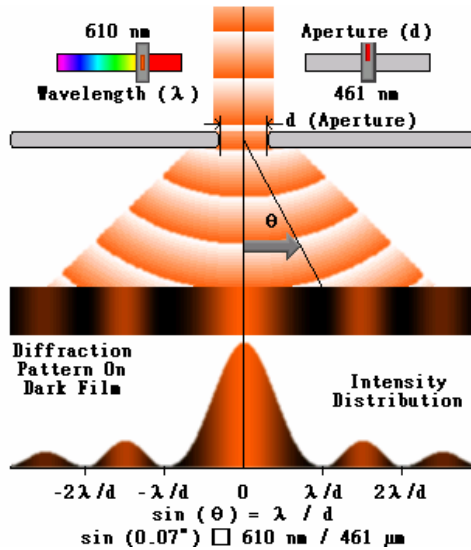
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 33

雙異質結構雷射二極體



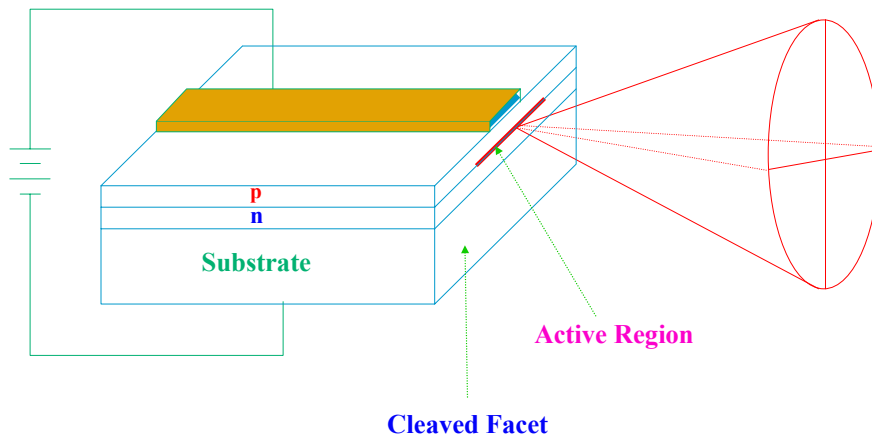
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 34

光的繞射(Diffraction)



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 35

側射型雷射(Edge-Emitting Laser, EEL)



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 36

量子井效應與量子井結構

- 當井(Well)的寬度窄到~15 nm以下時，量子效應(Quantum Effect)開始顯現。
- 量子井結構擁有許多優點：
 - 1) 可以改變(操控)雷射波長
 - 2) 電子與電洞結合的量子效率較佳
 - 3) 雷射二極體的臨界電流較低
 - 4) 發光頻譜的線寬(Linewidth)較窄

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 37

量子能階與波函數

For infinite well :

$$E_n = \frac{\hbar^2 k_n^2}{2m^*}$$

$$k_n \cdot L_z = n\pi, \quad n=1,2,3,\dots$$

$$\Rightarrow E_1 = \frac{\hbar^2 (\pi/L_z)^2}{2m^*}$$

$$E_2 = \frac{\hbar^2 (2\pi/L_z)^2}{2m^*}$$

$$\vdots$$

$$E_n = \frac{\hbar^2 (n\pi/L_z)^2}{2m^*}$$

$$\uparrow \\ L_z \downarrow \Rightarrow E_n \uparrow$$

(即, Active layer
愈窄, 能階愈
往上升)。

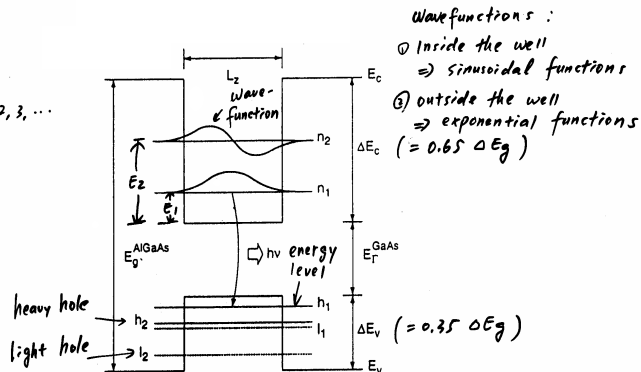


FIGURE 1.1. The eigenfunctions and eigenenergies for the first two conduction-band electron quantum states in an Al_xGa_{1-x}As-GaAs quantum-well heterostructure. By convention the lowest energy quantum state is the n = 1 or n₁ state. Also shown are the first two light-hole and heavy-hole valence-band eigenenergies.

當井寬變窄時： E_n 隨之變大

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 38

量子井寬度與發光波長之間的關係

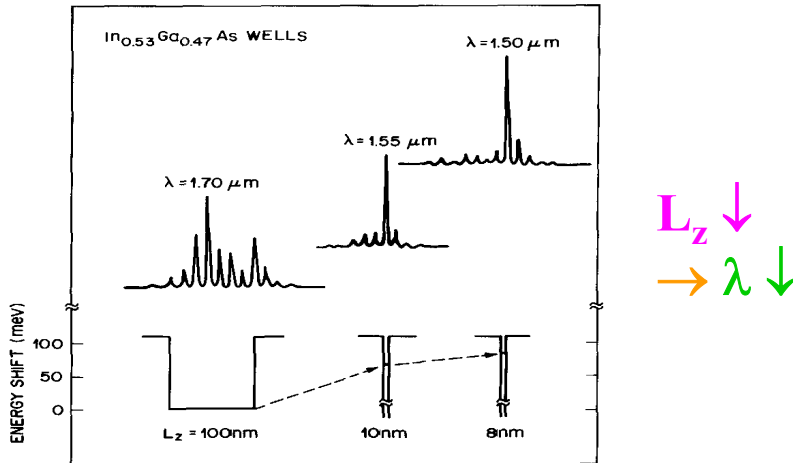


Fig. 9.7 Longitudinal-mode spectra for three well thicknesses of an InGaAs-InP multi-quantum-well structure. The wavelength shift corresponds to the energy-level shift of the quantum well (dashed lines). (Courtesy of H. Temkin)

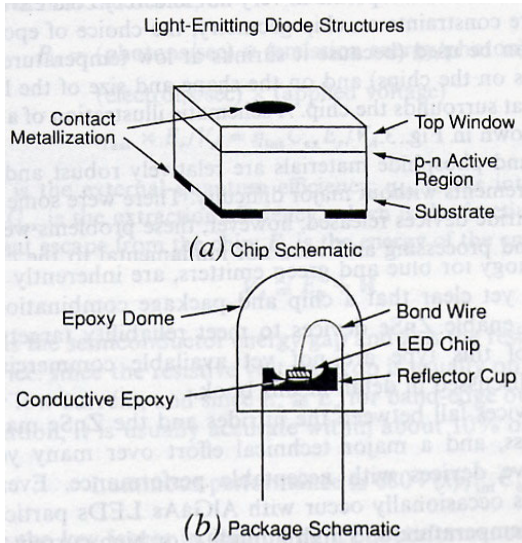
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 39

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

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 40

LED基本結構與發光機制



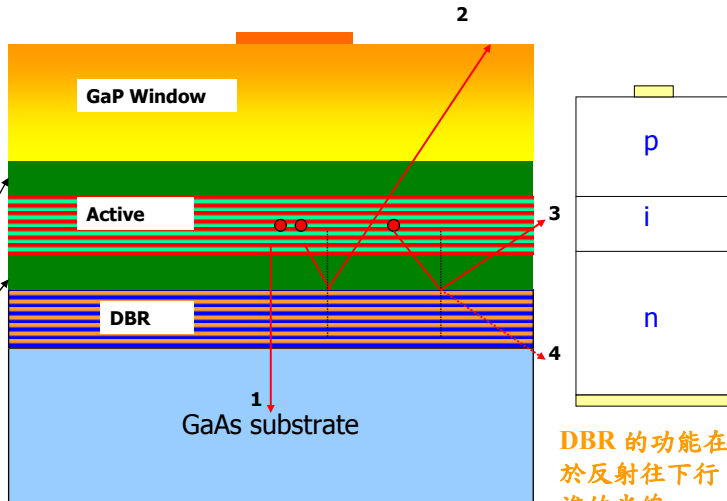
- ① 電子與電洞經由n態與p態電極注入LED元件。
- ② 電子與電洞在活性層結合，多餘的能量以光的型態釋出。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 41

LED橫截面結構示意圖

Window layer
的能帶間隙必須比活性區的能帶間隙高，以避免吸光

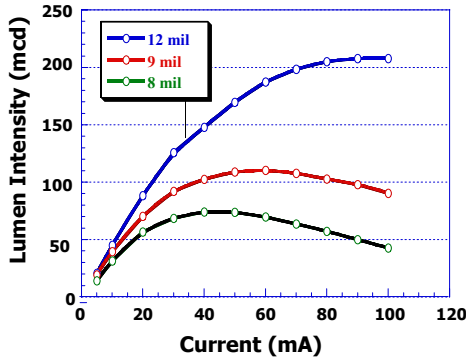
p, n - cladding
的主要功能為侷限載子(電子與電洞)



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 42

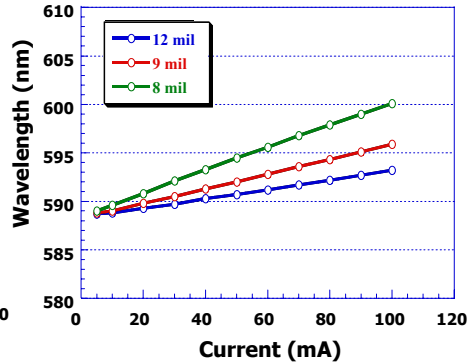
LED發光基本特性

Intensity Vs. Current



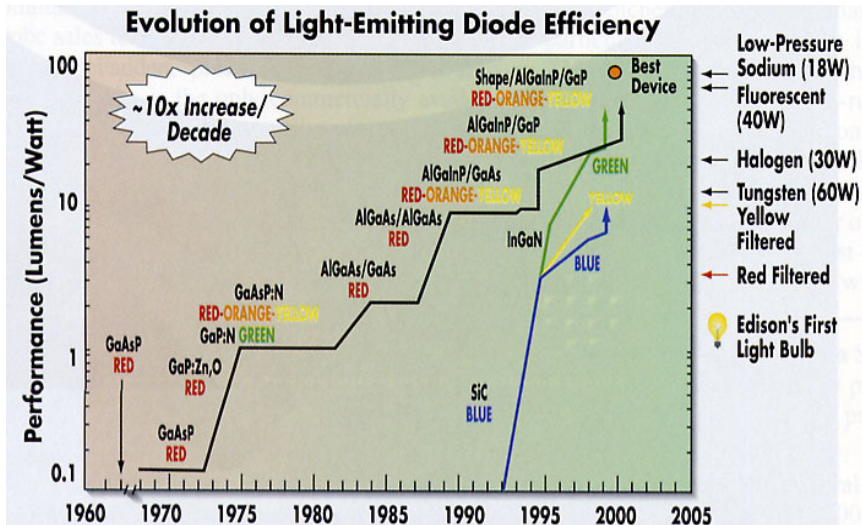
LED發光強度有極大值
(亦即有飽和的現象)

Wavelength Vs. Current

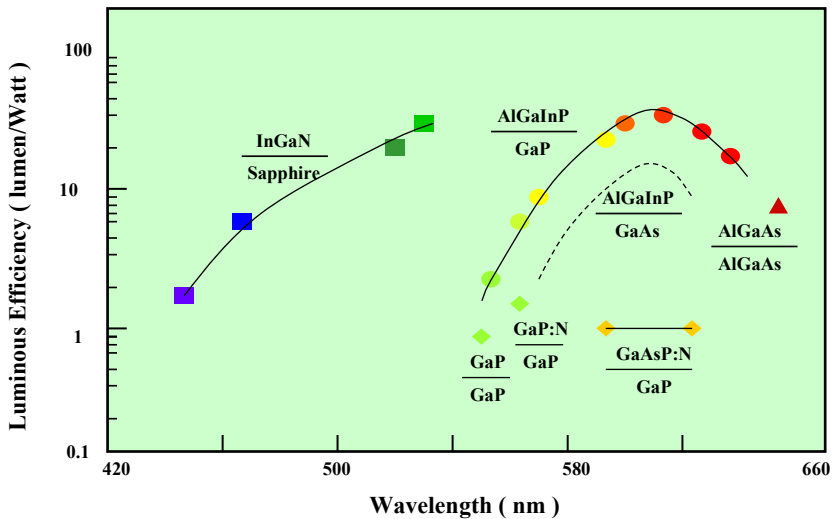


LED發光波長會隨注入
電流(及溫度)增加而增加

LED發光效率的演進過程

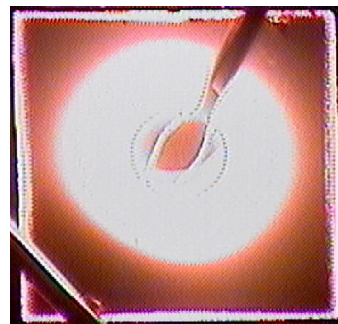
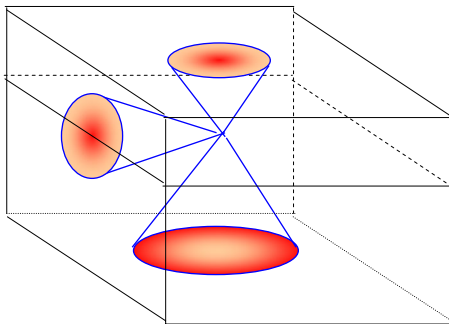


AlGaInP與InGaN天下無敵？



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 45

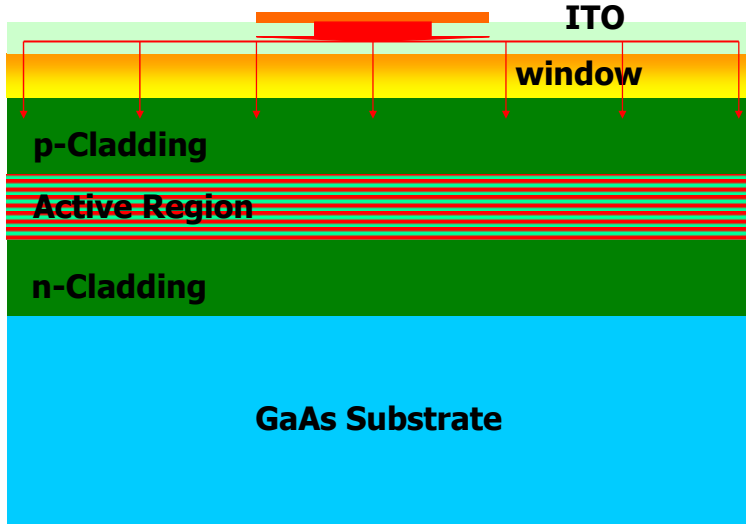
活性層光線輸出的效率問題



- 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。

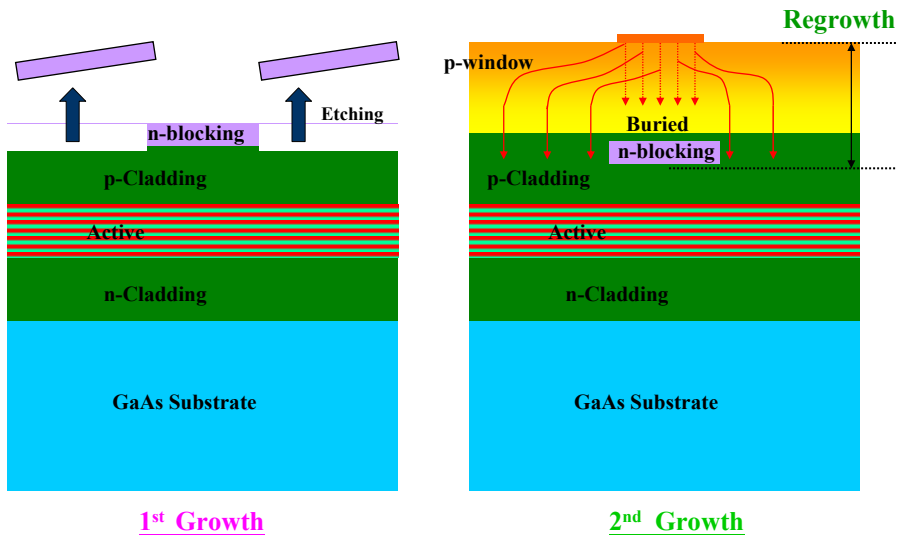
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 46

使用ITO (Indium Tin Oxide)作電極



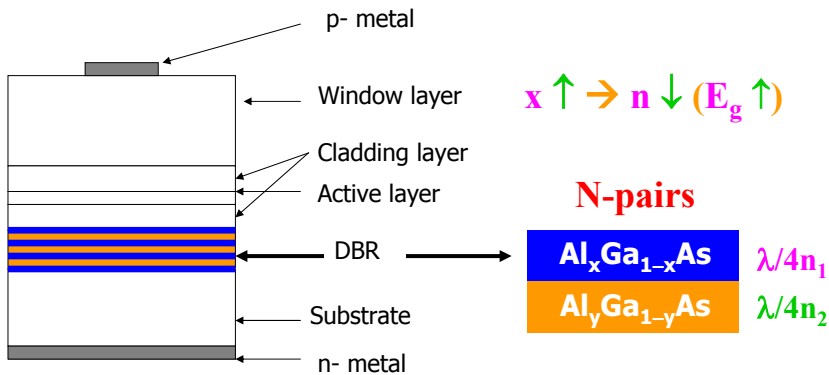
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 47

使用Current-Blocking設計



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 48

布拉格反射鏡(DBR)在LED的應用



DBR設計準則：兩層都不能吸光，折射率差越大越好。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 49

AlGaInP LED之DBR材料選擇

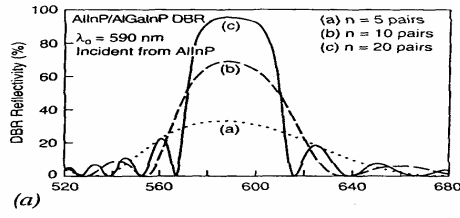
PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR DISTRIBUTED BRAGG REFLECTOR (DBR) MIRRORS UTILIZED IN $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ LIGHT-EMITTING DIODES

DBR Materials	Refractive Index Difference (Δn) at Design Wavelength ^a	Mirror Type
$\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}-\text{GaAs}$	0.85 (590 nm)	Lossy (Absorptive)
$\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}-\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$	0.61 (590 nm)	Lossy
$\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}-(\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$	0.37 (615 nm)	Transparent ($\lambda \geq 592$ nm)
$\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}-(\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$	0.35 (590 nm)	Transparent ($\lambda \geq 576$ nm)
$\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}-(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$	0.33 (570 nm)	Transparent ($\lambda \geq 560$ nm)

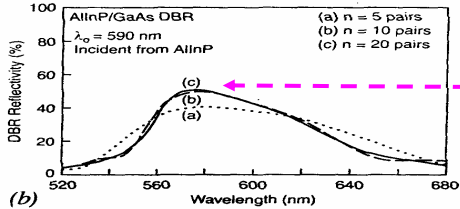
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 50

透明與不透明DBR的差異

Transparent DBR



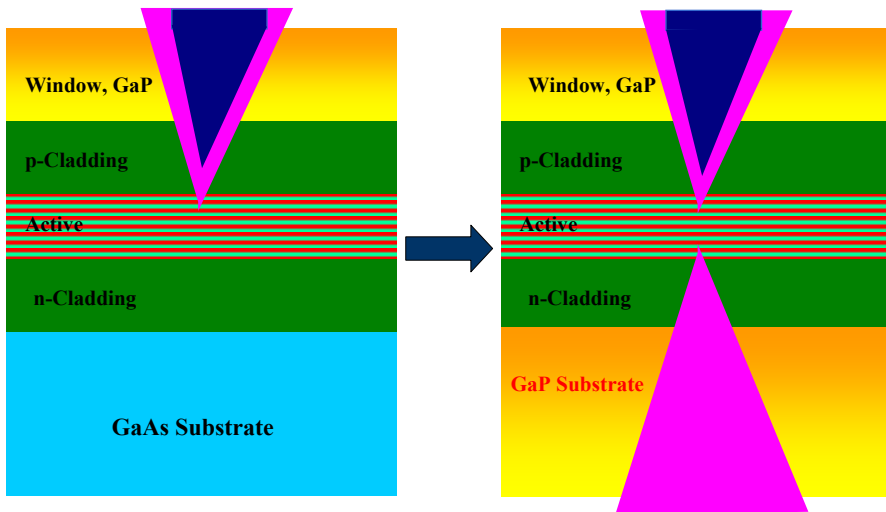
Lossy DBR



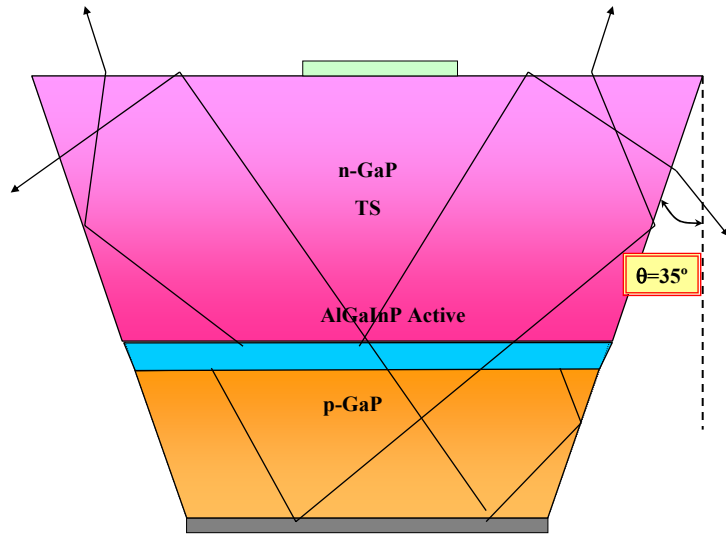
Reflectivity can never approach to 1.0.

FIG. 16. Calculated reflectivity versus wavelength for (a) transparent AlInP–AlGaInP DBRs and (b) lossy AlInP–GaAs DBRs. The reflectivity of the lossy DBRs (b) tends to saturate at a peak reflectivity less than 60% with an increasing number of DBR periods; however, the reflectivity of the transparent DBRs (a) increases significantly with an increasing number of periods, resulting a peak reflectivity of over 95% for a 20-period mirror structure.

使用透明基板(向下發光)



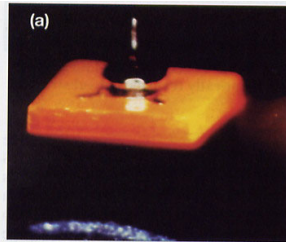
特殊形狀之LED結構



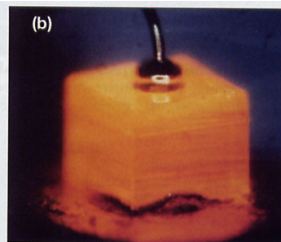
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 53

Lumileds公司的透明基板LED

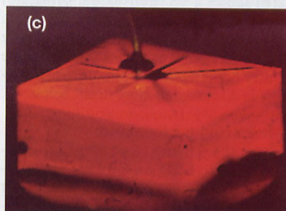
1991
吸光之
GaAs基板



1994
透明之
GaP基板



1998
大尺寸之
GaP基板



2001
透明之
TIP基板

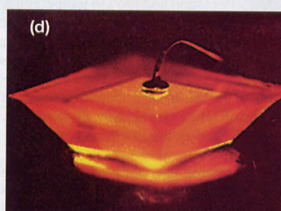


Fig. 1. Four generations of AlGaInP LEDs: (a) absorbing substrate (AS) LED; (b) transparent substrate (TS) LED with two to three times the AS flux; (c) high-power LED with five times the TS flux; (d) truncated inverted pyramid (TIP) LED with eight times the TS flux.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 54

表面粗糙術與金屬反射面

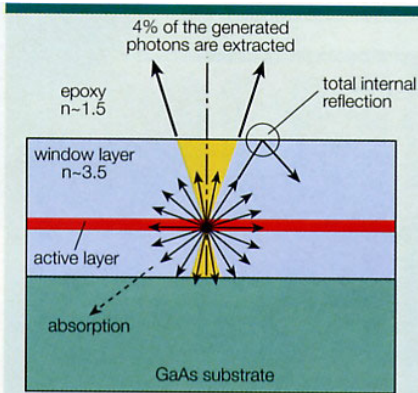


Fig. 1. Total internal reflection and substrate absorption limit the photon extraction efficiency of conventional LEDs grown on absorbing substrates.

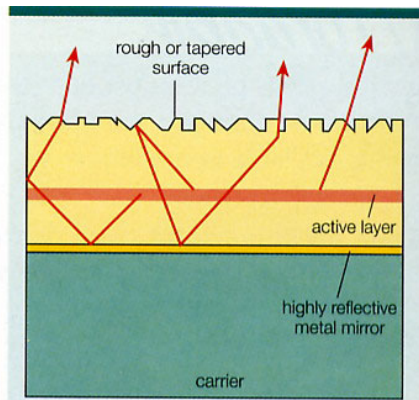
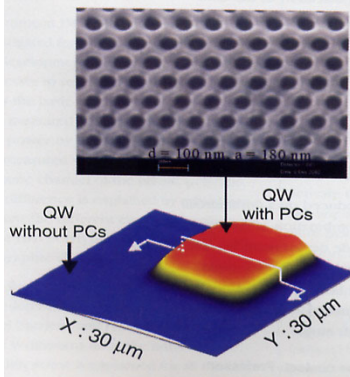


Fig. 2. In substrate-less LEDs a highly reflective metal mirror reflects all the downward-travelling light. The thin active layer minimizes internal absorption.

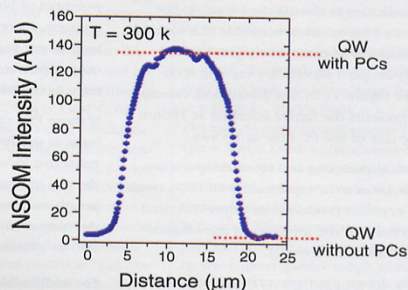
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 55

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.



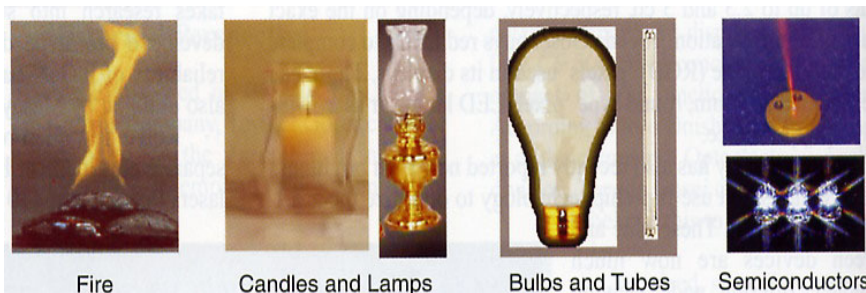
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 56

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。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 57

照明設備的演化過程



LED即將扮演重要的角色!!

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 58

白光LED的應用(頭燈與相機照明)

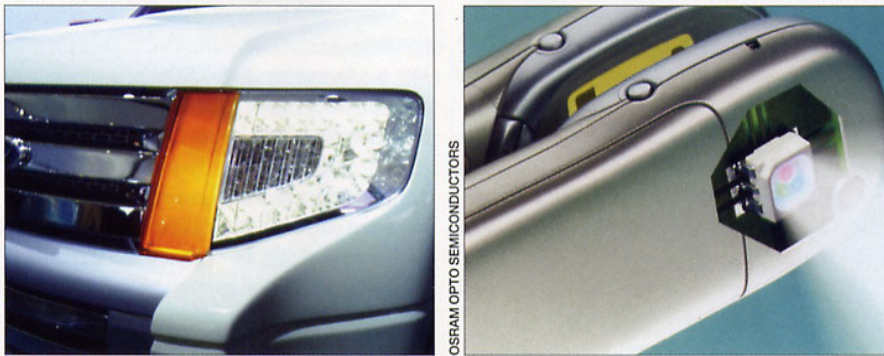


Fig. 1. Applications of white LEDs. Left: a Ford concept car uses Luxeon LEDs from Lumileds as part of an adaptive lighting system that can produce different beam patterns to suit different situations such as highway, in-town or curve driving. Right: white LEDs can replace conventional discharge lamps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

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 59

白光LED的應用(燈泡)



Ledtronics include DécorLED lamps with Edison screw bases.

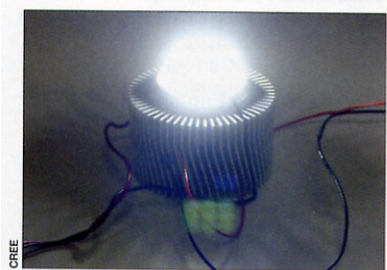
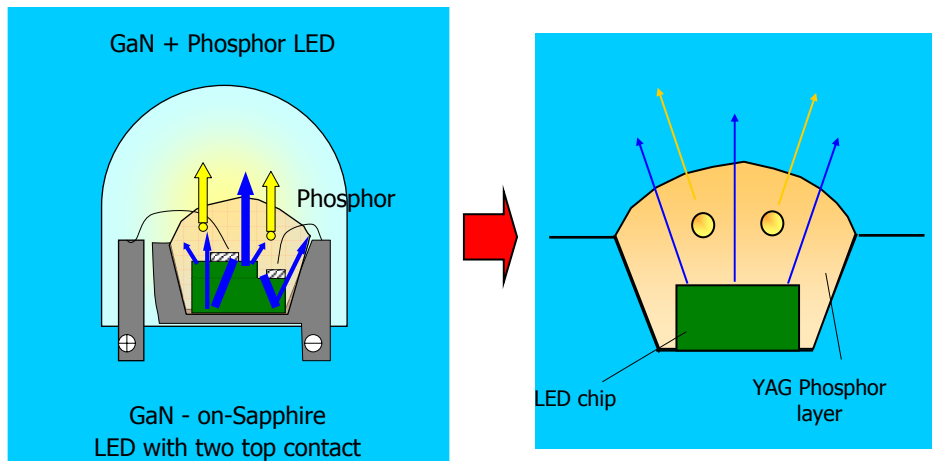


Fig. 3. This white lamp produced 1200 lm, about the same as an incandescent bulb, but with twice the efficiency.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 60

藍光LED + 黃色螢光粉



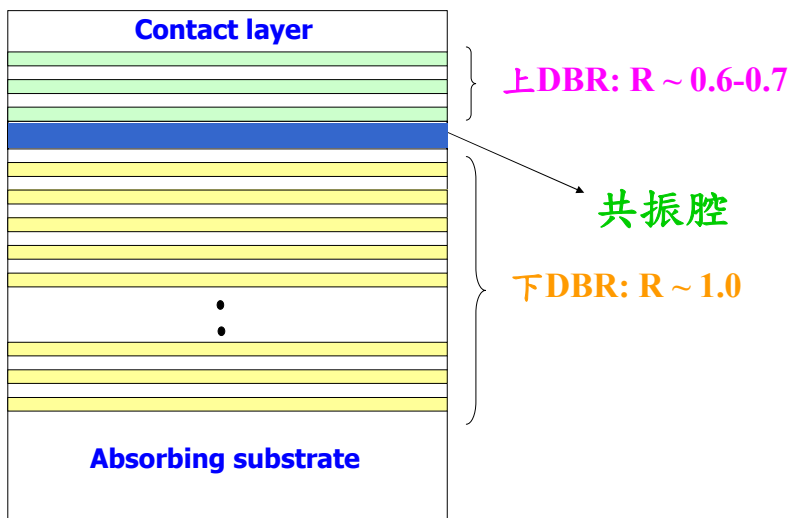
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 61

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。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 62

RC-LED結構示意圖



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 63

RC-LED與LED方向性比較

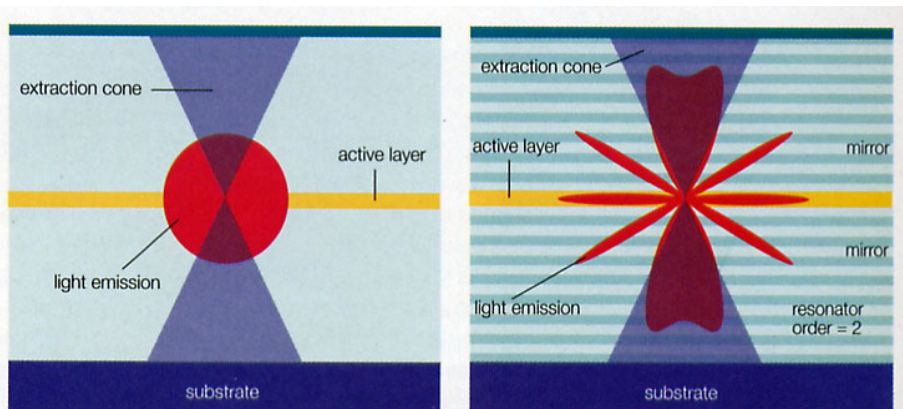
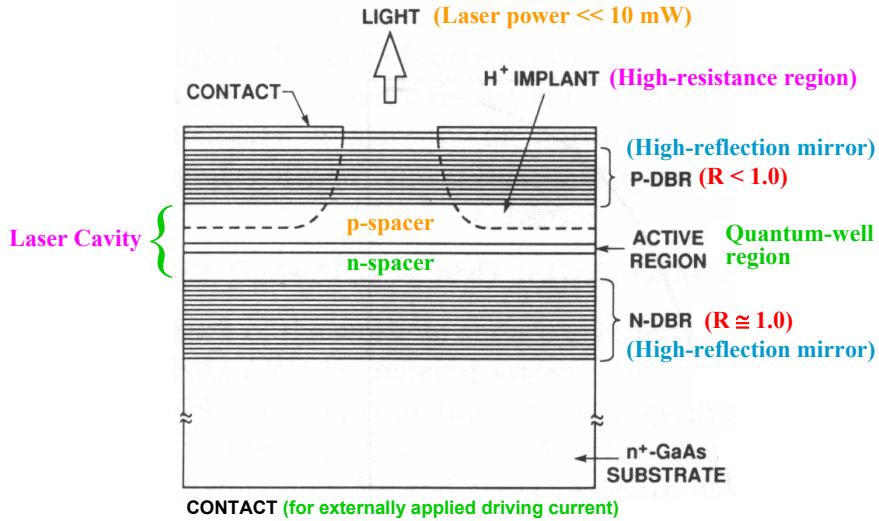


Fig. 1. In a conventional LED (left) the light emission is isotropic. Only a small percentage of the emitted light can be extracted. In an RCLED (right) the active layer and mirrors can be designed such that the light is emitted mostly inside the extraction cone.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 64

面射型半導體雷射(VCSEL)



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 65

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

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 66

LD與LED的磊晶方法

- 主要有液相磊晶法(LPE)，氣相磊晶法(VPE)，有機金屬氣相磊晶法(MOVPE，又稱有機金屬化學沉積法MOCVD)，與分子束磊晶法(MBE)。
- 目前商業生產大多使用MOCVD(因為長晶速度較快)，在學術界MOCVD與MBE都有不少人在用。
- InGaN LED因為長晶溫度高，使用的MOCVD與一般MOCVD不同，需要採用特殊的氣流設計。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 67

有機金屬化學沉積法(MOCVD)

又稱
MOVPE

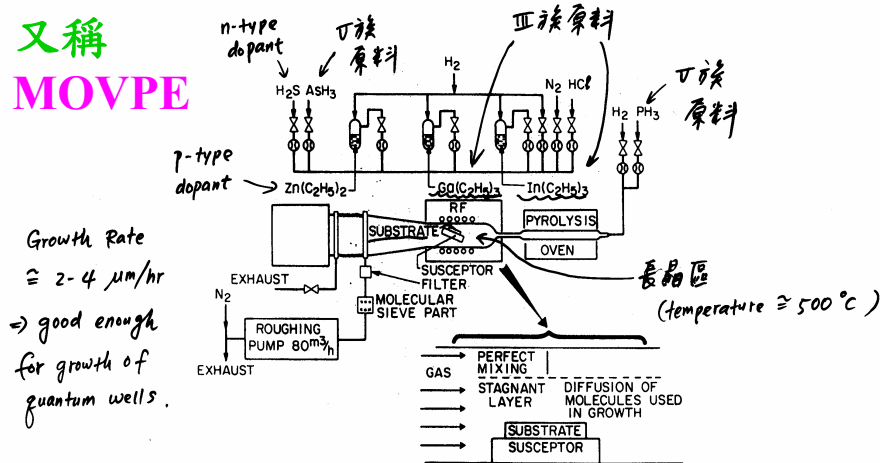


Fig. 4.11 Schematic illustration of a low-pressure MOVPE system. (After Ref. 47)

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 68

分子束磊晶法(MBE)

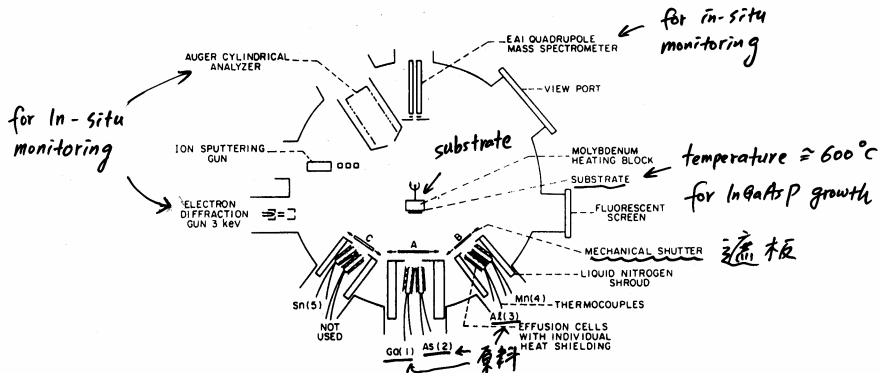


Fig. 4.12 Schematic illustration of a molecular-beam-epitaxy (MBE) system for epitaxial growth of AlGaAs. (After Ref. 59)

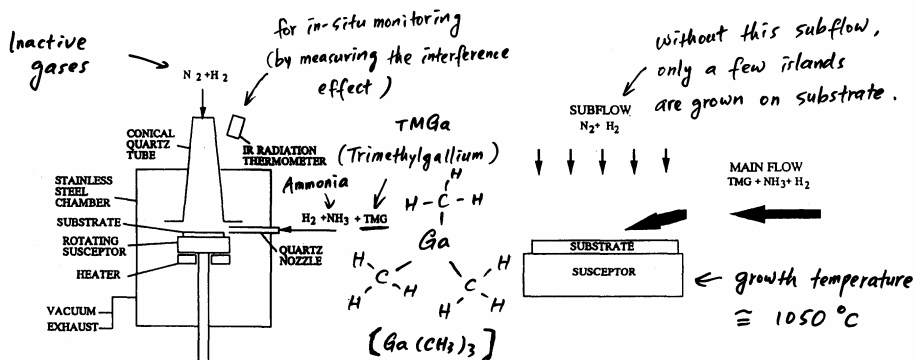
Note : ¹⁾ for Group III materials (e.g., Al, Ga)
 ⇒ sticking coefficient ≈ 1.0 (100%)
²⁾ for Group V : varies

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！

Nichia(日亞)公司的Two-Flow MOCVD

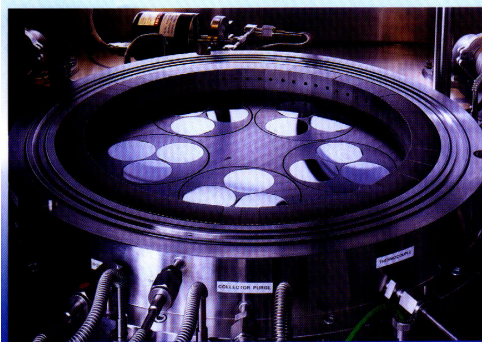


- Notes:
- 1) V/III flow rate ratio $\gg 1000$
 - 2) Melting point of $GaN \approx 1700^\circ C$
 \Rightarrow LPE is difficult.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 71

AIXTRON AIX 2000/2400

生產用途
之大型
MOCVD
磊晶系統



Wafer Capacity

AIX 2000

7 x 2"
5 x 3"

AIX 2400

15 x 2"
11 x 2"
8 x 3"
5 x 4"

Applications

III-V Compounds
II-VI Compounds
HTSC (AIX 2400)

Average Throughput

AIX 2000

12,600 wafers
per year

AIX 2400

27,000 wafers
per year

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 72

偏振片 (Polarizers)

An optical device whose input is natural light and whose output is some form of polarized light is **polarizer**.

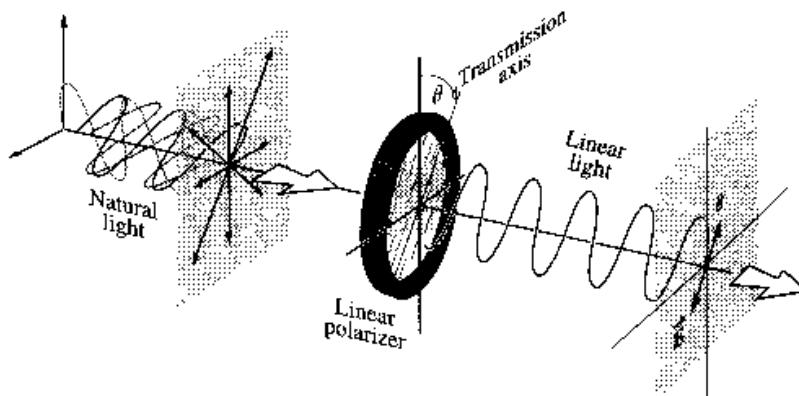


Figure 8.10 Natural light incident on a linear polarizer tilted at an angle θ with respect to the vertical.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 73

偏振片與分析片 (Polarizer and Analyzer)

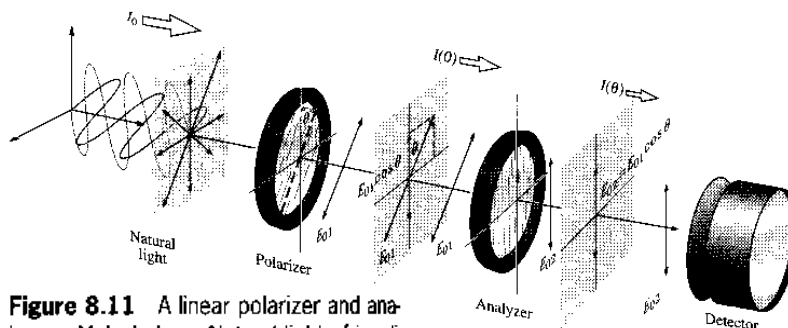


Figure 8.11 A linear polarizer and analyzer—Malus's Law. Natural light of irradiance I_0 is incident on a linear polarizer tilted at an angle θ with respect to the vertical. The irradiance leaving the first linear polarizer is $I_1 = I_0 \cos^2 \theta$. The irradiance leaving the second linear polarizer (which makes an angle θ with the first) is $I(\theta)$.

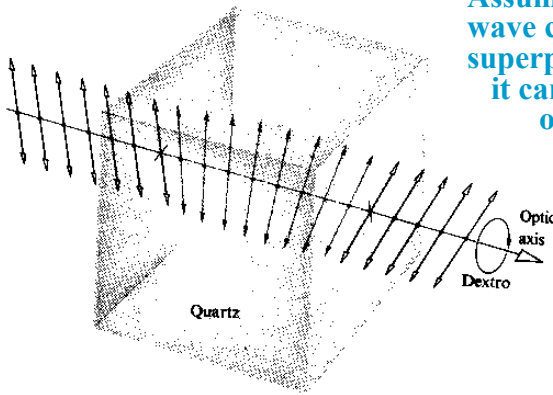
The irradiance reaching the detector is given by:

$$I(\theta) = \frac{c\epsilon_0}{2} E_{01}^2 \cos^2 \theta$$

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED / 彰化師大物理系郭艷光教授 74

光學活性(Optical Activity)

Optical activity: the plane of vibration of a beam of linear light undergoes a continuous rotation as it propagates along the optic axis of a crystal, e.g., quartz (SiO₂), plate.



Assume that the incident linear wave can be represented as a superposition of *R*- and *L*-states, it can be shown that the angle of rotation is:

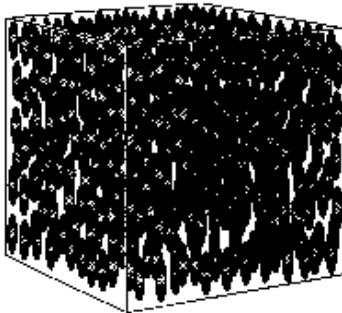
$$\beta = \frac{\pi d}{\lambda_0} (n_L - n_R)$$

Specific rotatory power:

$$\beta / d = \frac{\pi}{\lambda_0} (n_L - n_R)$$

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 75

液態晶體(Liquid Crystals)



Phase retardance due to birefringence:

$$\Delta\varphi(V, T, \lambda_0) = \frac{2\pi}{\lambda_0} d\Delta n(V, T, \lambda_0)$$

Figure 8.58 The long cigar-shaped molecules of a nematic liquid crystal align themselves in a random but parallel formation.

Liquid crystal possesses physical properties between those of ordinary liquids and solids. Liquid crystals have long cigar-shaped molecules that can move about, and consequently, like ordinary liquids, they lack positional order. Nevertheless, like crystals, their molecules strongly interact to sustain a large-scale orientational order.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 76

電場對液晶分子排列方向的影響

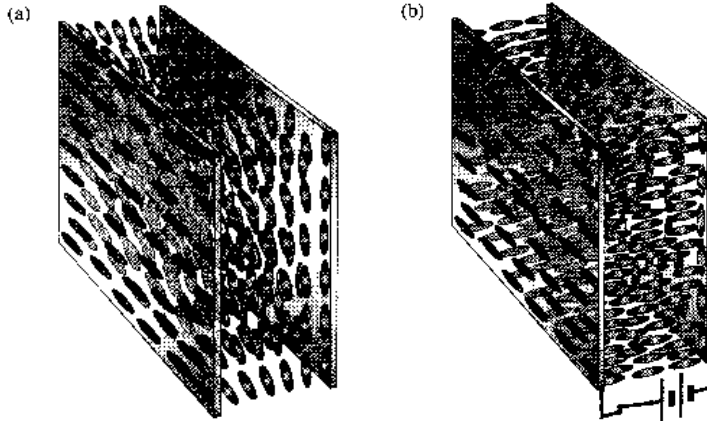


Figure 8.60 (a) A twisted nematic cell. The LC molecules are aligned horizontally on the left window and vertically on the right window, and they gradually twist (plane upon plane) from one to the other. (b) When a voltage is applied across the cell, the molecules align with the electric field.

液態晶體顯示器
(Liquid Crystal
Display, LCD)

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 77

液態晶體顯示器工作原理

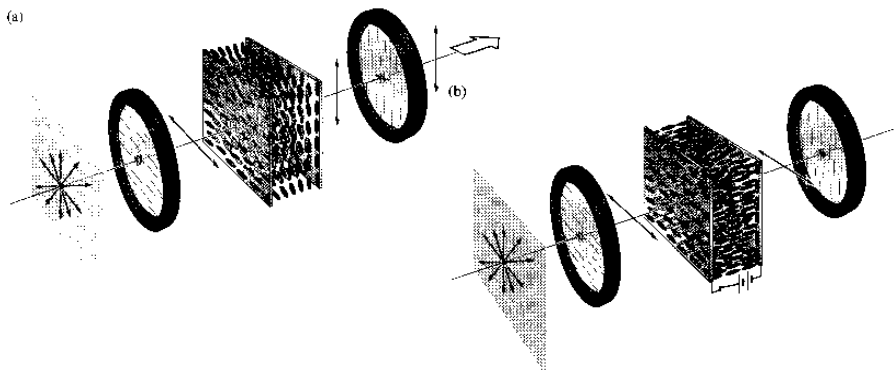
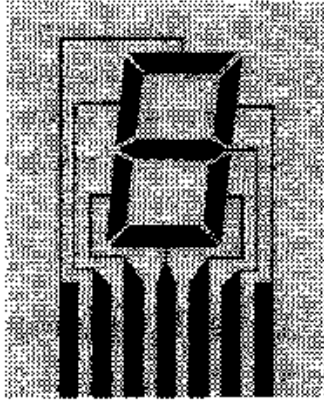


Figure 8.61 (a) A twisted nematic cell between crossed linear polarizers. Light polarized vertically emerges from the device. (b) When a voltage is applied across the cell it no longer rotates the plane of polarization; light polarized horizontally enters and leaves the LC cell. That light is subsequently absorbed by the second polarizer and no light emerges from the device.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 78

七桿式液晶數字顯示器



A B C D E F G

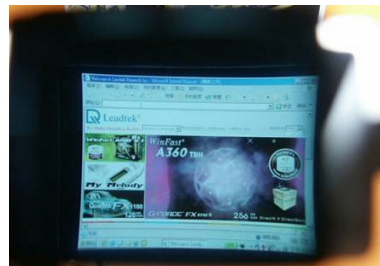
Figure 8.62 A seven-bar electrode array used to display numerals. For example, to form the number 9, a voltage is applied between all of the following segments and the large back electrode, D, E, F, G, A, and B.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 79

什麼樣的顯示器是我們期待的呢？



隨身穿戴的彈性用途



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 80

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。

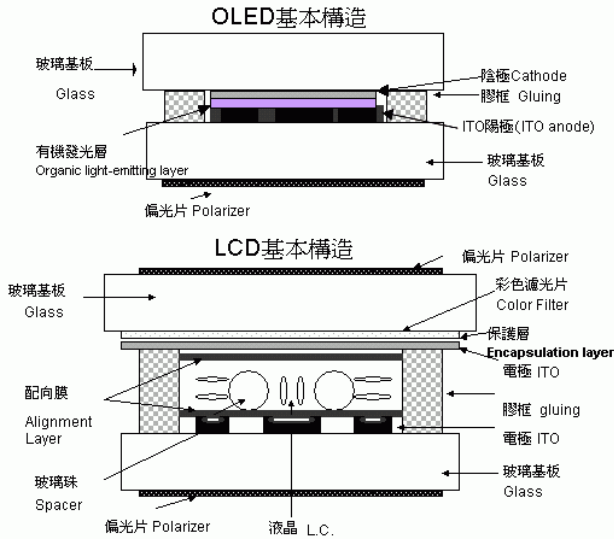
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 81

OLED顯示器的市場概況

- OLED產業於1999年以後迅速成長，目前正進入產業化階段。
- 根據DisplaySearch最新報告指出，2003年全球OLED產值達到2.6億美元，預測2008年OLED市場產值將達35億美元。
- 目前OLED量產的產品有90%以上為被動式單色或多彩小尺寸顯示器，應用市場主要為手機、PDA、手持遊戲機和數位相機等。
- 若從技術及市場發展趨勢來看，OLED將會往主動式、全彩和大尺寸發展，進而直接威脅TFT-LCD和PDP等平面顯示器的市場。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 82

OLED的面板結構較為簡單



OLED螢幕前聚光(即自發光)。

LCD螢幕以屏幕後面之背光模組射出光，液晶本身不發光。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 83

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。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 84

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、低價
- 可撓曲、可做多樣化形狀及尺寸
- 符合環保潮流(不含Hg \rightarrow 2006年停用)

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 85

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

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 86

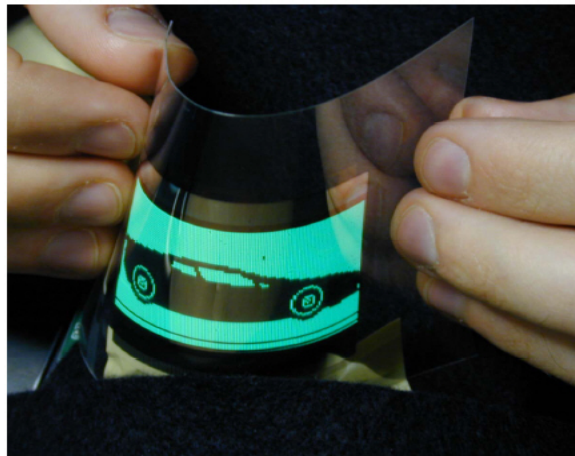
OLED目前主要應用產品



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 87

可撓曲式單色OLED

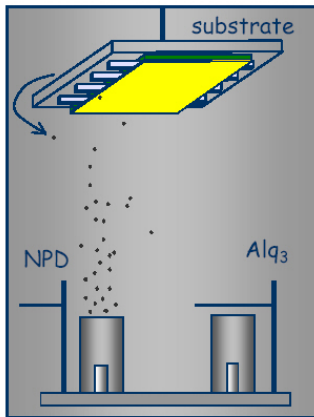
FOLED-based Pixelated, Monochrome Display



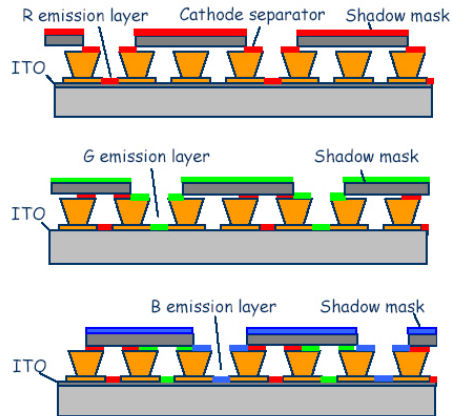
Source: UDC, Inc.

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 88

低分子OLED全彩製程



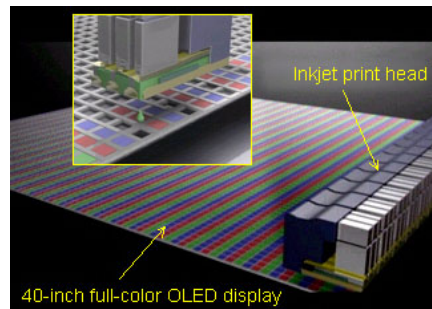
Small molecules are thermally evaporated in vacuum



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

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 89

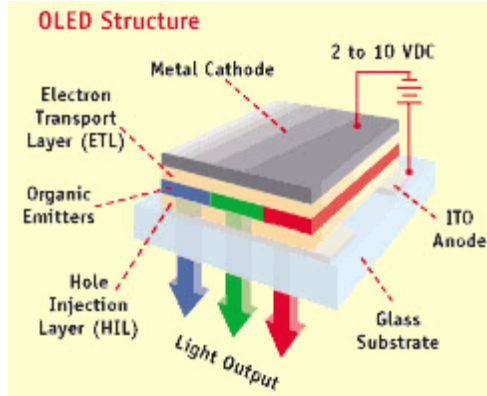
Seiko Epson 40吋OLED全彩顯示器



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。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 90

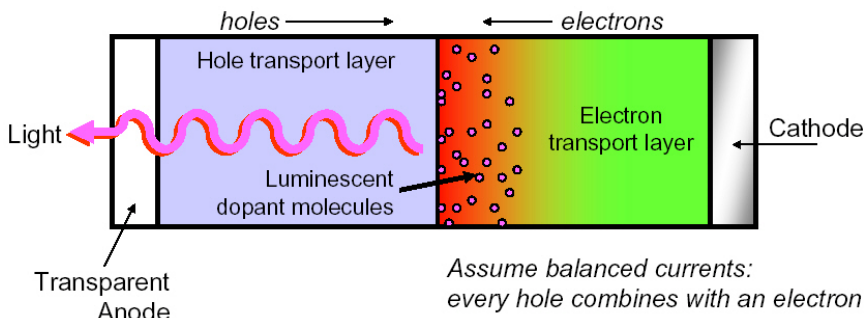
OLED元件基本結構圖



電子傳輸層(Electron Transport Layer, ETL)：Alq₃有機材料
發光層(Light-Emitting Layer, EML)：Alq₂(Blue)和Alq₃(Green)
電洞傳輸層(Hole Transport Layer, HTL)：TPD有機材料
陰極：低功函數的金屬和合金(Mg:Ag、Li:Al)
陽極：薄而透明半導體性質的錫銦氧化物(Indium Tin Oxide, ITO)

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 91

OLED元件的發光機制



OLED的基本工作原理為：加入一外加偏壓，使電子電洞分別經過電子傳輸層與電洞傳輸層後，進入一具有發光特性的有機物質，在其內發生再結合後，再將能量釋放出來而回到基態。

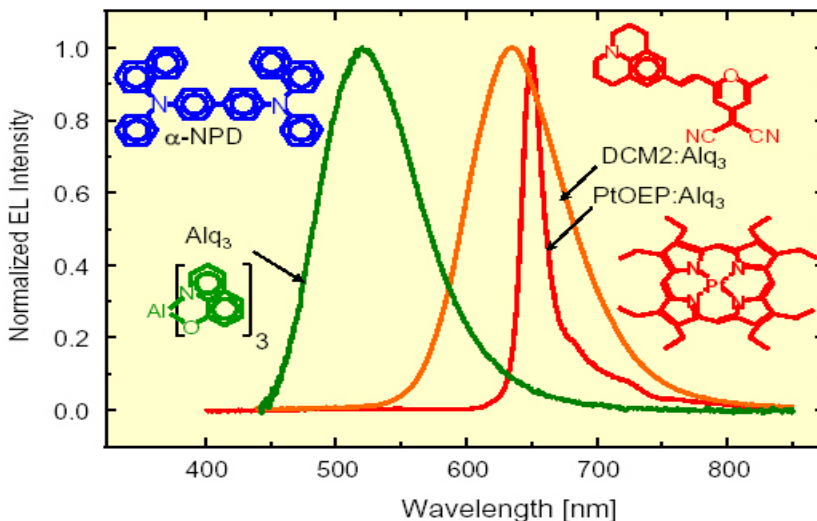
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 92

主發光體與客發光體

- 元件發光的顏色主要決定於元件內具有螢光特性的有機材料，因此OLED可由在主發光體(Host)中摻入少數的高發光效率客發光體(Guest)來提高載子的再結合效率。
- 客發光體通常具有比主發光體小的能隙、高的發光效率、以及比主發光體短的再結合生命期等特性。
- 將主發光體的激子(Exciton)藉由能量轉移的過程轉移至客發光體上進行快速且有效率的再結合，這除了提高發光的效率外，也可使發光的顏色橫跨整個可見光區。

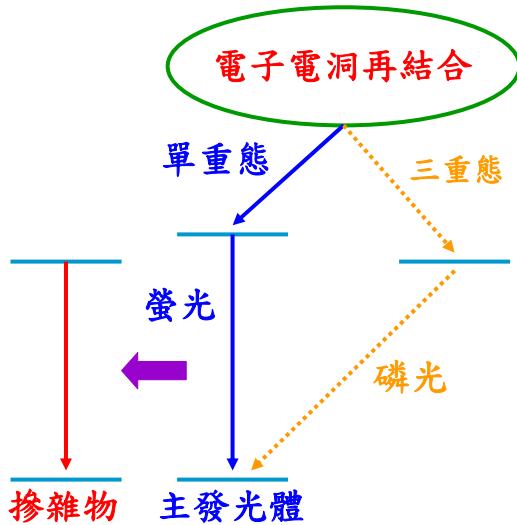
2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 93

摻雜物對OLED發光頻譜的影響



2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 94

單重態與三重態(Singlet and Triplet States)



由於發光材料的選擇及電子自旋的特性，通常只有25%（單重態到基態）的螢光能量可以貢獻至OLED的發光，其餘的75%（三重態到基態）是以磷光或熱的形式回歸到基態。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 95

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

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 96

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。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 97

彰化師大APSYS模擬軟體

- 國立彰化師範大學物理系近年來自加拿大的Crosslight公司陸續採購LASTIP(雷射二極體)、PICS3D(面射型半導體雷射，VCSEL)、與APSYS等三套模擬軟體。
- APSYS主要應用於半導體雷射以外的所有半導體元件，譬如：發光二極體、光偵測器、太陽能電池、高電子移動率電晶體...等。
- 最近Crosslight公司研發APSYS之有機發光二極體(OLED)功能副程式，交由彰化師大物理系郭艷光教授進行功能測試，目前尚在改進程式性能當中。

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 98

OLED顯示器未來的展望

- OLED顯示器深具商業應用潛力，因此吸引全球眾多廠商、大學、與研究機構投入研究與發展(R&D)的工作。
- 將來如果材料與製程的問題可以突破，或許OLED顯示器有逐漸取代其他顯示器的可能性。
- 歡迎有興趣的朋友加入OLED顯示器研究的行列！

2006/07/18 淺談LD、LED、LCD、OLED /彰化師大物理系郭艷光教授 99

Thank you for your attention!



彰化師大郭艷光 <http://ykuo.ncue.edu.tw>