

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>

郭艷光 - 藍光雷射實驗室

- 1997年12月底向彰化師大校長提出「藍光雷射計畫」，提議研發半導體雷射，獲得800萬元經費補助，成立「藍光雷射實驗室」。
- 除了半導體雷射之外，還帶領學生從事發光二極體(LED)、有機發光二極體(OLED)、太陽能電池(Solar Cell)的研究工作。

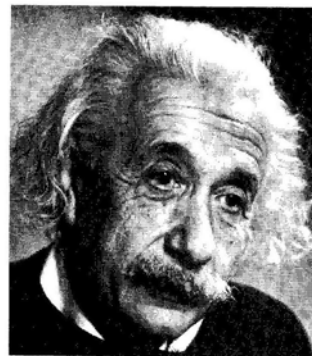
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 2

課程大綱

- 半導體雷射(LD)
- 發光二極體(LED)
- 有機發光二極體(OLED)
- 太陽能電池(Solar Cell)

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 3

Albert Einstein (1879–1955)



愛因斯坦

相對論

$$E = mc^2$$

受激放射

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 4

光子與電子之間的交互作用

機制	作用前	作用後	元件
吸收	光子 高能階 低能階	高能階 低能階	太陽能電池 光偵測器
自然放射	高能階 低能階	高能階 低能階	發光二極體 有機發光二極體
受激放射	光子 高能階 低能階	高能階 低能階	半導體雷射 其他雷射

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 5

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)。

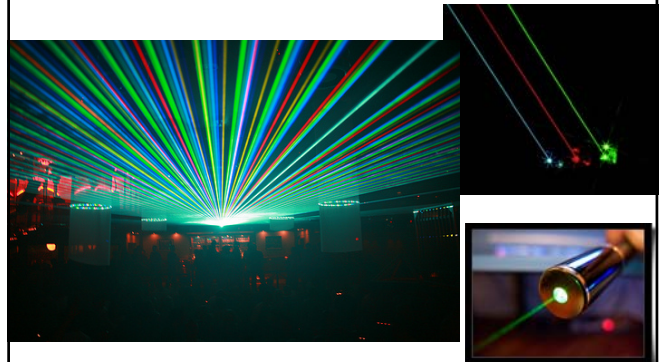
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 6

LASER 的原文

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

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 7

雷射光直行且不易發散



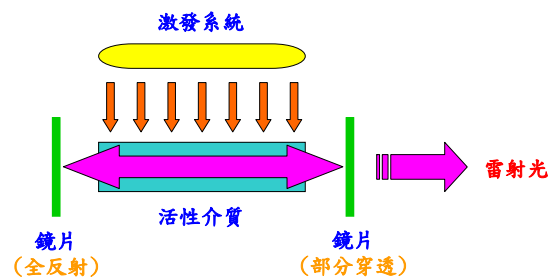
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 8

雷射的應用

- 日常生活中，我們常常接觸到雷射
- 1. 雷射指示器
- 2. 在電腦或音響組合中用來讀取光碟資料的光碟機
- 3. 在工業上，雷射常用於切割或微細加工
- 4. 在軍事上，雷射被用來攔截導彈
- 5. 科學家利用雷射非常準確地測量地球和月球的距離，誤差只有幾厘米。

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 9

雷射系統的基本元素



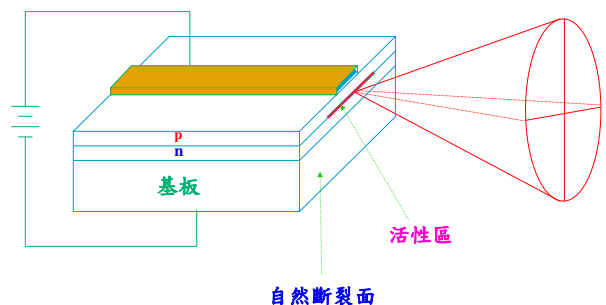
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 10

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, ...

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 11

側射型雷射(Edge-Emitting Laser, EEL)



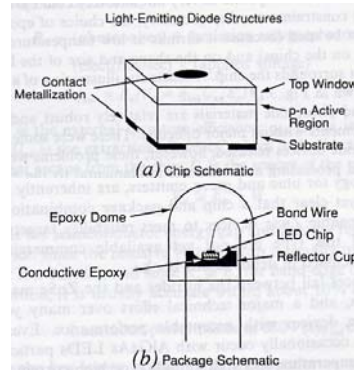
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 12

發光二極體(LED)的應用

- 液晶顯示器背光光源
- 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

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 13

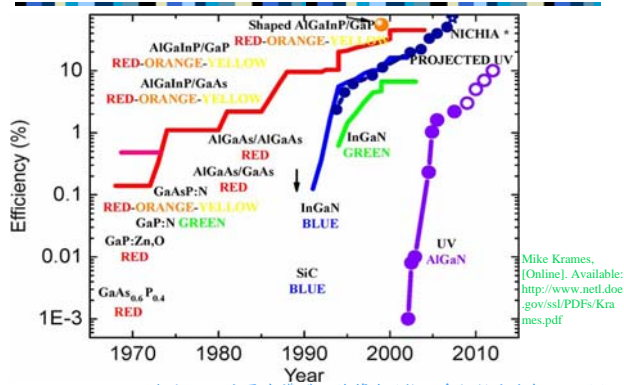
LED基本結構與發光機制



- 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。

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 14

LED發光效率的演進過程



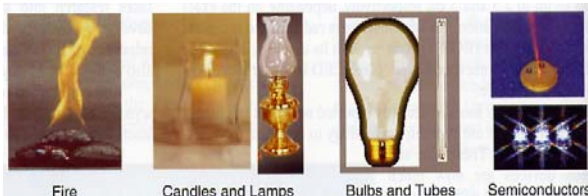
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 15

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。

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 16

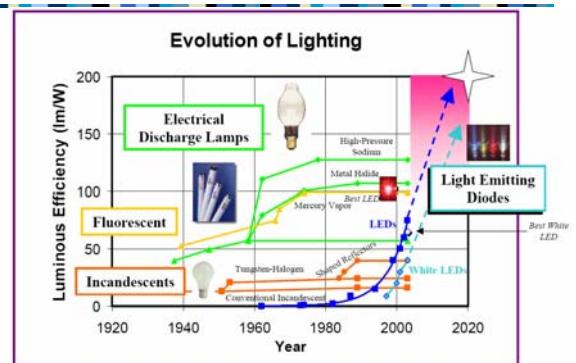
照明設備的演化過程



LED即將扮演重要的角色!!

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 17

LEDs vs. 傳統的燈具



Mike Krames, [Online]. Available: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/krames.pdf>
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 18

LED各類產品之應用



David Garman, [Online]. Available: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/garman.pdf>

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 19

LED於交通標誌之應用



資料來源：工研院綠能所；工研院綠能所(2010/09)

資料來源：中研大學 綠能所

台灣(左為傳統路標, 右為LED路標)

台灣



資料來源：Carmanah (2010)

美國

日本

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 20

太陽能LED路燈模型圖



2010年1月13日, 工研院邀集了環團、僑光、一詮等近20家廠商籌組「LED路燈產業聯盟」, 由工研院副院長曲新生出任聯盟會長。希望藉由聯盟的成立, 在未來各國節能減碳的共同方針下, 帶領本土LED路燈業者進軍兩岸和國際LED路燈市場。

Source: 中國製造網, 科技政策研究與資訊中心—科技產業資訊室整理, 2010年1月

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 21

LED創意檯燈

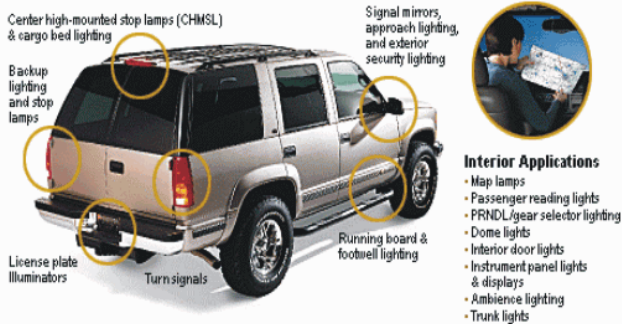


Israeli designer Omri Barzeev got inspired by the night sky and created the "Starlight" – a table lamp composed of 126 LED lights set on a polygonal shape structure that one can mold freely in various shapes.



2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 22

LED於車用產品之應用



資料來源：東貝光電, 2005/6

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 23

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.

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 24

白光LED的應用



Ledronics 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.

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 25

LED螢幕-北京奧運



北京奧運開幕現場最令人吃驚之處，在地上那幅卷軸不斷轉動，這就是LED螢幕所做出的效果，這個螢幕長147公尺、寬36公尺，上面有4萬4千顆LED燈，藉由電腦動畫，幻化出各種不斷流動圖案，這個螢幕經過測試，完全經得起表演人員踩踏及水淹考驗。

資料來源：http://mag.udn.com/mag/beijing2008/storypage.jsp?f_ART_ID=141367
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 26

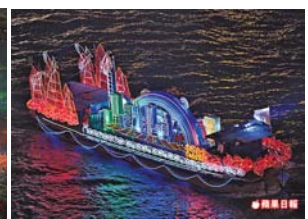
LED天燈-上海世博台灣館



台灣館以「山水心燈」為總體概念，本身就是一座「懸掛式空中劇場」。外層的天燈燈罩由854片玻璃所組成，玻璃上貼滿「通電薄膜」，經過電壓控制，可以產生透明、霧狀等不同效果。玻璃燈罩內包著一顆重達130公噸、直徑16公尺的巨型球體，上面佈滿100萬顆LED燈泡。

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 27

LED螢幕-廣州亞運

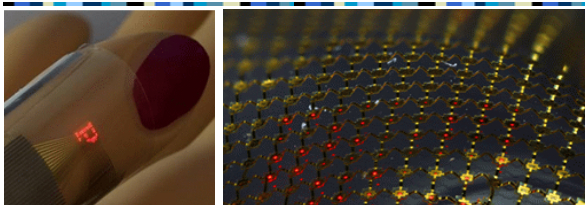


亞運聖火升起後，搭配8個全世界最大的帆船型LED螢幕。

廣州亞運開幕，代表中華台北的花船上設計有101大樓的地標。

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 28

LED應用於可彎曲螢幕



- 左圖：科學雜誌 (Science) 發表了一篇關於LED的突破性研究，不僅達到超薄、超小且具易曲性，並且可以應用在筆記型電腦螢幕、甚至醫學影像裝置。
- 右圖：將晶圓上的LED直接列印在基板上，這些LED之間能夠互連。

資料來源：D. Stevenson and C. Conway, Beckman Institute, University of Illinois, 2009年08月
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 29

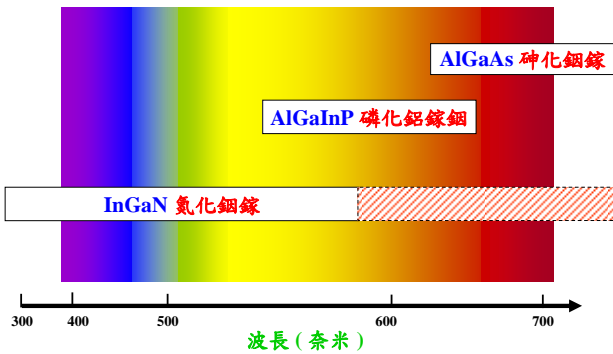
光電半導體材料

I	II	IIIb	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

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 30

可見光區的光電半導體材料



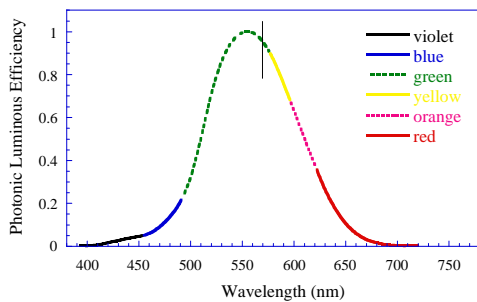
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 31

紅光至黃綠光用 AlGaInP LED

- 為了讓 AlGaInP LED 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 LED 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。

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 32

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.

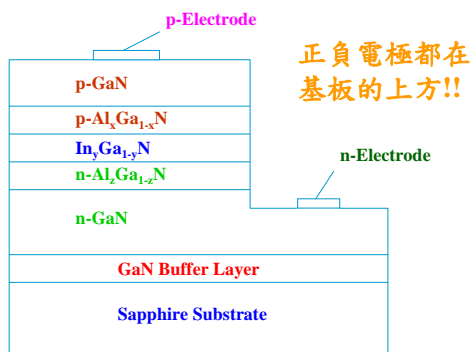
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 33

黃綠光至紫外線用 InGaN LED

- InGaN LED 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 LED 基板，不過因為價格昂貴，較少被業界採用。
- InGaN LED 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 LED 做商業性的競爭。

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 34

InGaN LED 的元件結構



2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 35

AlGaInP 與 InGaN LED 的磊晶方法

- 目前商業生產大多使用 MOCVD (化學氣相沉積法) 成長 LED 與半導體雷射，因為長晶速度快。
- MBE (分子束磊晶法) 長晶品質佳，但長晶速度較慢。
- 在學術界 MOCVD 與 MBE 都有不少人在使用。

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 36

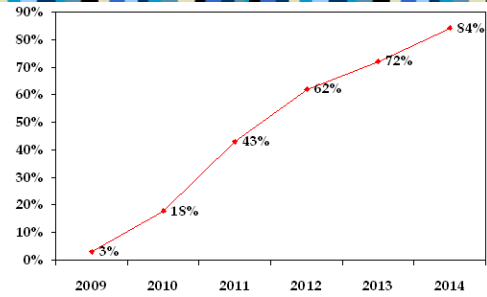
The Clusterlab 600 Research MBE System



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!

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 37

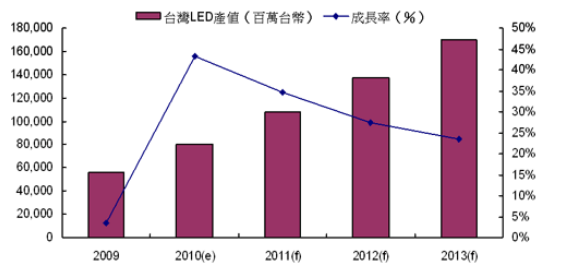
LED液晶電視佔全部液晶電視之比例



從2006年開始液晶電視步入快速成長期，接下來就是LED液晶電視來取代CCFL液晶電視，預估2010年LED電視的滲透率達18%，相當於3400萬台。

Source: WitsView, 科技政策研究與資訊中心—科技產業資訊室整理, 2010年12月
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 38

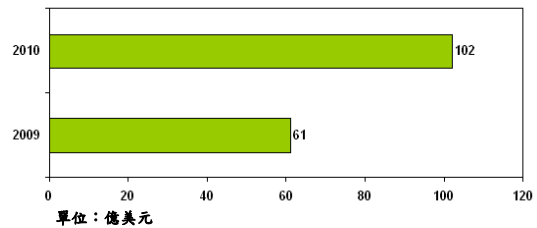
我國LED市場分析



資料來源: 工研院 IEK(2010/02)

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 39

2009年至2010年LED全球市場值



根據英國研究機構IMS Research研究指出，LED的全球市場值將從2009年的61億美元成長至2010年的102億美元，年成長率高達67%。這是有史以來LED市場增加最多的一次，高達41億美元。除了LED照明市場之外，其他LED應用市場將開始於2013年出現市場值衰退的情況。主要原因在於價格的侵蝕、較好效率LED出現、以及市場飽和的緣故。

Source: IMS Research, 科技政策研究與資訊中心—科技產業資訊室整理, 2011年1月
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 40

什麼樣的顯示器是我們期待的呢?



隨身穿戴的彈性用途



2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 41

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液態晶體(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。

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 42

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。

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 43

OLED顯示器的優點

- 自行發光、不需背光源
- 高亮度 (> 100,000 cd/m²)
- 反應時間快(μs)、沒有殘影現象
- 製作容易、輕薄(2 mm)、寬視角(>170°)
- 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→2006年停用)

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 44

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

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 45

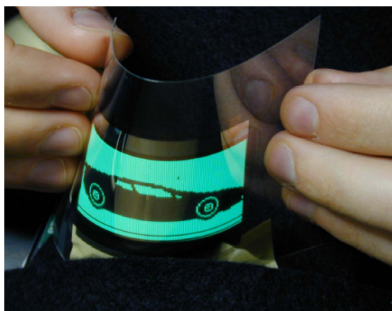
OLED目前主要應用產品



2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 46

可撓曲式單色OLED

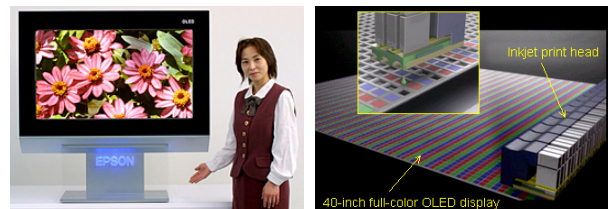
FOLED-based Pixelated, Monochrome Display



Source: UDC, Inc.

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 47

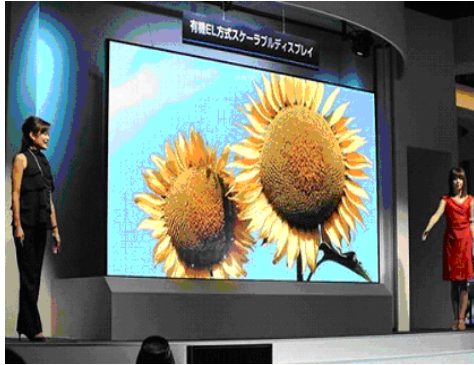
Seiko Epson 40吋OLED全彩顯示器



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。

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 48

三菱電機AMOLED模組所組成100吋大螢幕



資料來源：
三菱電機，2010年9月

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 49

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

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 50

太陽能電池



2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 51

太陽能車應用例



● 資料來源: PV Special Research Centre, UNSW, Australia



● 資料來源: National Chiao-Tung University, Taiwan

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 52

太陽能背包



鍊德IE-B001太陽能包：在太陽能背包的正面，安裝了一塊太陽能吸收板。能有效的吸收太陽能並通過內置轉換器，轉換成電能為隨身的電子設備進行充電。

資料來源：http://www.ritek.com.tw/p03-19_2.htm#

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 53

德國陽光社區



資料來源：工研院材料所德國拍攝，93年05月

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 54

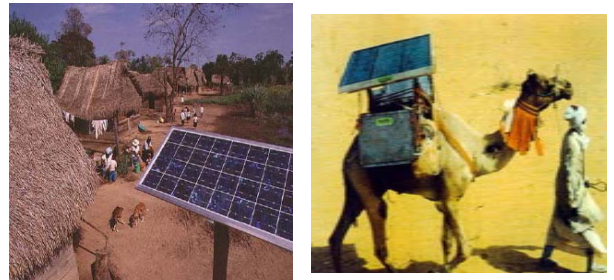
日本住宅區太陽光電系統技術發展



資料來源：[SEMI Photovoltaic Technology Symposium, Dec. 09, 2005](#)

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 55

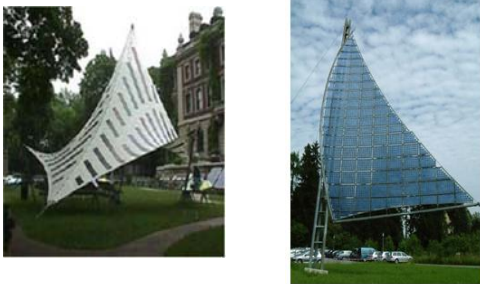
太陽光電在偏遠地區應用



資料來源：Shell Solar，93年5月

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 56

公共藝術造型太陽光電建築



資料來源：工研院材料所瑞士拍攝，93年6月

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 57

經濟部能源局補助設置太陽光電系統



經濟部能源局補助設置，2005年

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 58

金門縣烈嶼鄉太陽光電系統



金門縣立烈嶼國民中學裝置容量： $\geq 10\text{kWp}$ 。總片數60、併串聯數12串6併，經濟部能源局補助設置，2005年12月

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 59

太陽能照明燈

太陽能照明路燈



彩色太陽能地磚燈



太陽能庭園燈



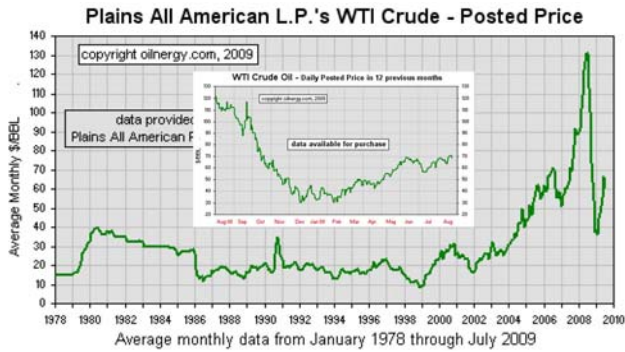
太陽能LED恆亮式埋地燈



資料來源：<http://www.a8a8.com.tw/>

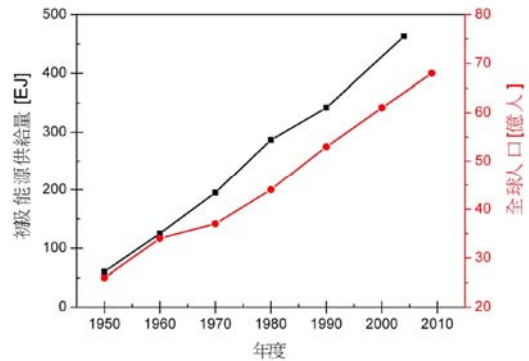
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 60

過去三十年原油價格



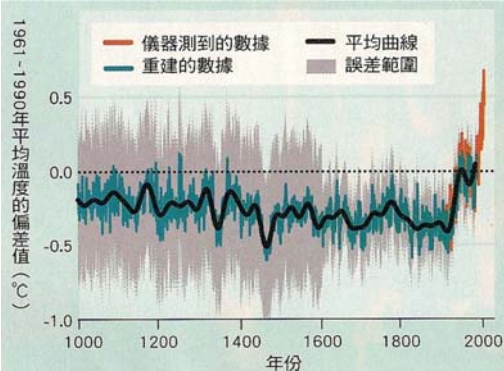
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 61

初級能源消耗量與全球人口成長



2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 62

地球表面溫度變化



2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 63

排碳與溫度上升的問題

■ 溫度持續上升的問題急待克服

至2050年時，全球經濟將是目前的4倍，能源需求是1.7倍，CO₂排放量是2.3倍，全球溫度將升高6°C或更高！

■ 欲改變能源結構與排碳趨勢

一般做法：提高能源效率

積極做法：提供化石能源以外的新能源

資料來源：能源國家型科技計畫報告說明書，2009

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 64

太陽能電池發展簡史

- 第一個太陽能電池於1954年誕生於美國貝爾實驗室。
- 1973年能源危機爆發後，各國政府與企業都開始投入替代性能源的研發，太陽能電池才開始蓬勃發展。

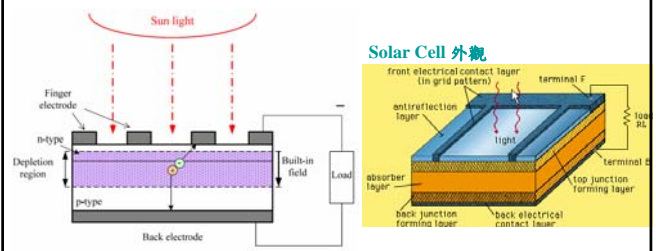


Concentrator Solar Farm in New Mexico, USA

2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 65

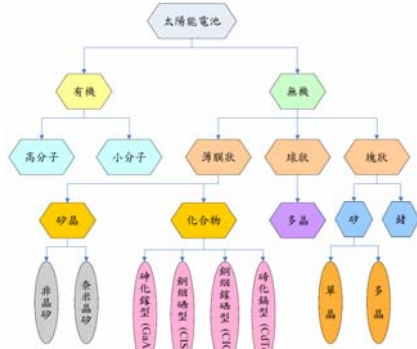
太陽能電池工作原理

- 光伏效應：當一個p-n接面的二極體被光照射以後，吸收能量大於材料能隙的光子，產生出電子電洞對。此電子電洞對受到界面處的內建電場影響，被分離至元件兩端(電子跑到n側，電洞跑到p側)，形成光生電壓。



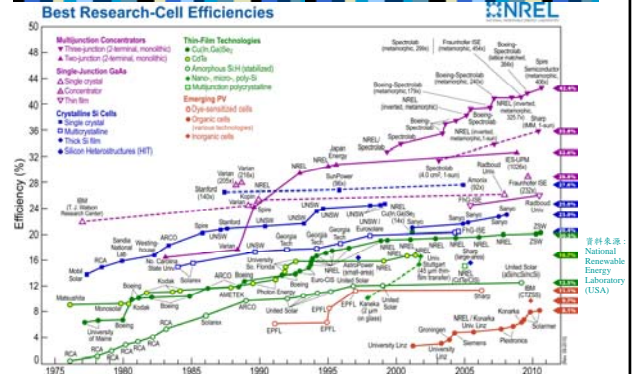
2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 66

太陽能電池種類



2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 67

各種太陽光電池的效率



2011/11/25 工程與生活 -- 光電半導體元件簡介 / 物理系郭艷光老師 68