

Organic light-emitting diodes with multiple quantum wells

Reporter: Hsiu-Fen Chen
Adviser: Dr. Y.-K. Kuo
Date: 2004/06/08

Outline

- MQWs運用在有機元件的起源
- 第一個加入MQW結構的OLED元件
- MQW的新用途
- 另一種量子效應的應用---Nanolayers
- 未來展望

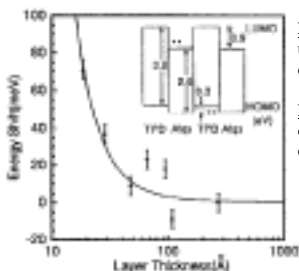
起源

- 1990年，美國的So學者等人提出，將一般(無機)半導體的MQW(multiple quantum wells)結構應用於有機半導體(crystalline organic semiconductors)的構想。
[F. F. So, S. R. Forrest, Y. Q. Shi, and W. H. Steier, Appl. Phys. Lett. **56**, 674 (1990).]
- 因為有機半導體之間鍵結的凡得瓦力較弱，不易因晶格不匹配而產生應力，因此可長出較完美的多層異質結構。
- 文中發現了，當有機材料層的厚度逐漸由1000 Å降低至10 Å，激子(exciton)的吸收譜線會往高能量移動。證實了在有機材料中也有量子效應的產生。

第一個加入MQW結構的OLED元件

- 1993年，日本學者Ohmori等人利用organic molecular beam deposition，成功製造出加入MQW結構的有機電激發光二極體(organic electroluminescent diodes, 即 organic light-emitting diodes)。
[Y. Ohmori, A. Fujii, M. Uchida, C. Morishima, and K. Yoshino, Appl. Phys. Lett. **62**, 3250 (1993).]
- 一開始作者利用x-ray diffraction、optical absorption與 photoluminescence等方法，測量Alq3/TPD多層結構，確定其量子特性。再測量含有Alq3/TPD MQW結構的 OLED devices，將其發光強度曲線做比較。

有機層厚度與能量位移的關係[after Ohmori]

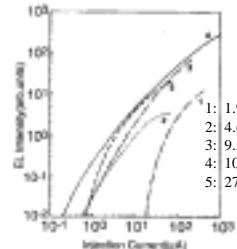
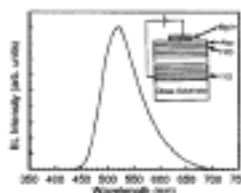


LUMO: the lowest unoccupied molecular orbital
HOMO: the highest occupied molecular orbital

- 當Alq3與TPD的厚度逐漸下降，PL光譜峰值的發光能量會逐漸增加。顯示出在LUMO與HOMO有量子化能階的存在。

MQW結構的OLED發光頻譜與發光強度對輸入電流關係圖[after Ohmori]

The emission peak ~ 520 nm



- 作者指出，在此元件結構下，將MQWs的厚度設計為每層約10~20 nm有最佳輸出效率。

MQWs的新用途

根據多位學者的研究，在OLED中加入MQW結構，可將電子與電洞侷限在發光層中，增加發光效率。而因為應用了量子效應，使得元件發光特性有narrow spectral emission、higher emission efficiency及tunable emission spectrum等優點。

2002年4月，中國學者Yong Qiu等人對MQWs提出了新用途。他們將MQW製作在電洞傳輸層，借此減緩電洞的傳輸速度，達到charge balance，提高發光效率。

[Y. Qiu, Y. Gao, P. Wei, and L. Wang, Appl. Phys. Lett. **80**, 2628 (2002).]

同年11月，Qiu等人又提出了，藉由調整MQW數量及發光層材料，可控制載子的傳輸，而得到不同波長的光。

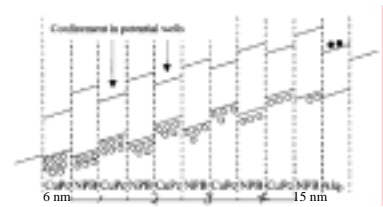
[Y. Qiu, Y. Gao, L. Wang, P. Wei, L. Duan, D. Zhang, and G. Dong, Appl. Phys. Lett. **81**, 3540 (2002).]

2004/06/08

國立彰化師大藍光實驗室 陳秀芬

7

元件結構與MQWs能帶圖 [after Qui]



ITO/CuPc/(NPB/CuPc)_n/NPB/Alq3/Mg:Ag/Ag

作者將MQWs設計在電洞傳輸層，其中(單看MQW)NPB總厚度加起來為15 nm，CuPc的總厚度為6 nm，分別變化量子井個數為0、2、4與6(對)。

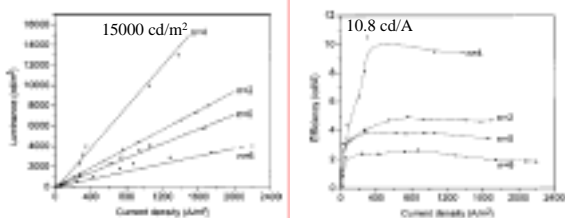
2004/06/08

國立彰化師大藍光實驗室 陳秀芬

8

螢光強度與發光效率對輸入電流密度關係圖

[after Qui]



測量螢光強度與發光效率對輸入電流密度的關係後，發現以n=4的結構效率最佳。

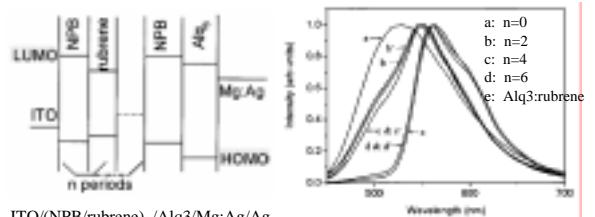
2004/06/08

國立彰化師大藍光實驗室 陳秀芬

9

MQWs能帶圖與不同量子井個數的發光頻譜

[after Qui, November 2002]



ITO/(NPB/rubrene)_n/Alq3/Mg:Ag/Ag

作者使用的Alq3:rubrene材料中，rubrene分子具有抓住電洞的能力。由圖中可發現，n=6的發光頻譜幾乎與直接使用Alq3:rubrene為發光層的頻譜相同，顯示了變化量子井個數可以控制元件的發光。

2004/06/08

國立彰化師大藍光實驗室 陳秀芬

10

量子效應的另一種應用---Nanolayers

2004年，Park等人提出在發光層與金屬陰極間，加入極薄的有機絕緣層(polymer-insulating nanolayer)。利用電子在薄膜中的穿隧效應，增加其傳輸速度，並降低由陰極到發光層時的位能障，改善元件效率。

[J. H. Park, O. O. Park, J.-W. Yu, J. K. Kim, and Y. C. Kim, Appl. Phys. Lett. **84**, 1783 (2004).]

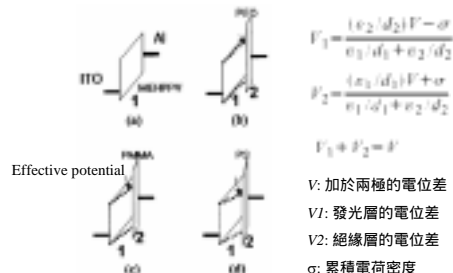
作者使用 polystyrene [PS]、poly(methylmethacrylate) [PMMA] 與 polyethylene oxide [PEO] 三種不同介電常數的材料來作研究 $\epsilon_{PS}(2.5) < \epsilon_{PMMA}(3.0) < \epsilon_{PEO}(4.0)$ ，發現介電常數越小的材料，元件的效率越好。

2004/06/08

國立彰化師大藍光實驗室 陳秀芬

11

能帶結構圖 [after Park]



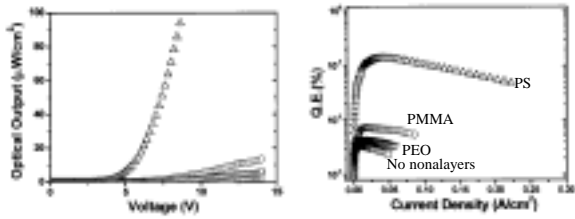
當絕緣層的介電常數越小，發光層的有效位能(effective potential)就會降低，再加上電子在絕緣層的穿隧效應，可使電子的傳輸速度降低。

2004/06/08

國立彰化師大藍光實驗室 陳秀芬

12

輸出功率與量子效率圖 [after Park]



- 由上二圖可明顯看出，當絕緣層的介電常數越小，元件的輸出功率就越高，量子效率 (quantum efficiency, photons/electrons) 也較好。

If we want to do research on the topic...

- 在學術方面：
可互相激盪腦力，思考新的ideas作為賣點。
- 在產學合作方面：
未來若有機會協助廠商研發，以上文獻將可提供參考。

Thanks for your attention!!