

第一章 緒論

1.1 前言

近年來由於資訊設備的迅速進步以及多樣化，使得平面顯示器 (Flat Panel Display, FPD) 的需求日益增加，而現今世界市場走向輕薄短小及省電的潮流下，CRT (Cathode Ray Tube) 逐漸被平面顯示器所取代。目前應用在平面顯示器的技術主要有：電漿顯示器 (Plasma Display)、液晶顯示器 (Liquid Crystal Display)、場發射顯示器 (Field Emission Display) 以及電激發光顯示器 (Electroluminescent Display) 等。

然而，大多數的平面顯示器卻有製程複雜、製造成本高等缺點。而自從 1987 年 Kodak 公司 Tang 等人以有機小分子為發光層^[1]，利用真空蒸鍍的方式製作出具有高效率的 ITO/Diamine/Alq₃/Mg : Ag 雙層結構元件後 (如 Figure 1-1 所示)，有機電激發光元件 (Organic Electroluminescent Devices) 開始受到廣泛的重視。

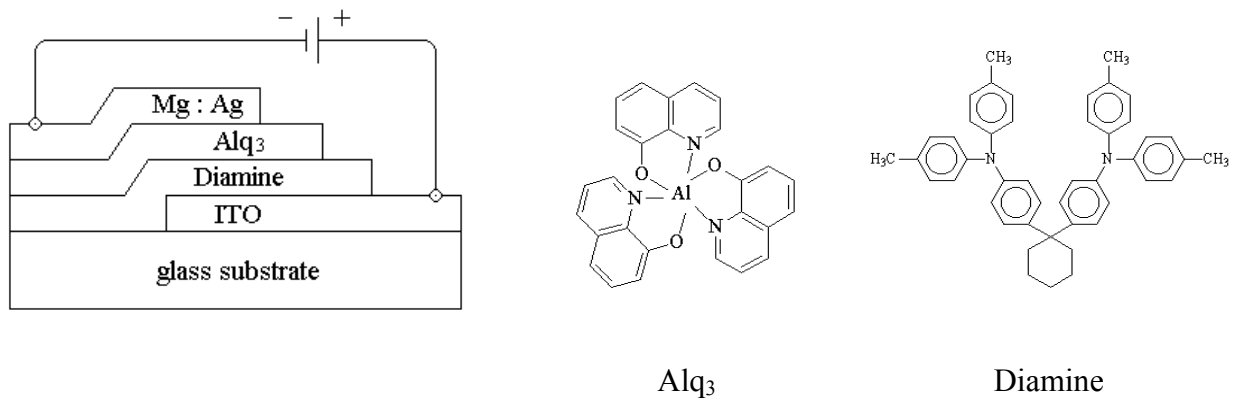


Figure 1-1. Illustration of an ITO/Diamine/Alq₃/Mg : Ag device

1.1.1 歷史及元件優點

有機電激發光材料的研究最早可追溯到 1963 年，Pope 等人利用約 10~20 nm 厚度的 Anthracene 晶體，於 400 V 以上的電壓下驅動發光^[2]。到 1980 年初期雖然有人利用真空蒸鍍的方式成功製成元件^[3]，但因元件實用性不高，所以一直無法引起廣大迴響。美國 Kodak 公司實驗室，利用真空沉積 (Vacuum Deposition) 以及多層 (Multi-Layer) 有機薄膜之元件結構，成功地製備了有機薄膜電激發光元件 (Organic Thin Film Electroluminescent Devices)，並大幅降低驅動電壓，亮度高達 1000 cd/cm²，提高外部量子效率至 1%，以及改善元件穩定性等，從此開始了 OEL 的研究熱潮。

相對於 Pope 及 Kodak 公司所使用的小分子材料，1990 年英國劍橋大學 Calvendish 實驗室 Burroughes 等人利用 poly (*p*-phenylene vinylene) (PPV) 為發光層製作出 ITO/PPV/Al 之黃綠色單層發光二極體元件^[4]，其量子效率為 0.05%。他們利用所謂的前驅物方法 (precursor route) 先將前驅物高分子塗佈於導電玻璃表面，再經過熱脫去反應製成了第一個共軛聚合物 OEL 元件，引發了第二波的 OEL 元件的研究熱潮。

有機發光二極體依材料的不同可區分為兩大系統，以共軛螢光高分子材料為主的稱為高分子發光二極體 (Polymer Light-Emitting Diode, PLED)；以染料小分子材料為主的則為有機發光二極體 (Organic Light-Emitting Diode, OLED)。PLED 具有成膜性佳、可撓曲特性及可大面積化等優點，且元件所發出的光色可經由化學方法改質高分子材料之結構以及選擇不同取代基來調節，因此可涵蓋整個可見光區。OLED 之發光及傳遞材料為低分子量之化合物，具有螢光效率高、易純化及易製備等優點，但小分子有易碎及再結晶的問題，容

易造成元件的損壞。

因有機電激發光顯示器具有自發光、高亮度、廣視角、高應答速度、溫度穩定性佳、全彩色、低驅動電壓、低耗電量及製程簡單等優點。尤其在延長元件操作壽命的研究獲得改善後，已具有商業化的價值，未來將會成為下一代平面顯示器的最佳選擇。

1.2 共軛高分子電激發光元件

1.2.1 發光原理

一般單層的 PLED 發光元件如 Figure 1-2 所示，其陽極是為具有較高工作函數 (Work Function) 的氧化銦錫 (Indium-Tin Oxide, ITO)，並將發光層以旋轉塗佈的方式成膜於陽極基材上，再以真空蒸鍍上低工作函數的金屬如鋁、鈣等當作陰極，完成所謂的三明治結構。當一順向偏壓施加於元件時，電洞與電子分別從陽、陰極注入，電子由陰極注入發光層的最低未填滿分子軌域 (Lowest Unoccupied Molecular Orbital, LUMO)；電洞則由陽極注入發光層的最高填滿分子軌域 (Highest Occupied Molecular Orbital, HOMO)。因為外加電場所造成的電位差，使得載子在發光層中遷移，電子與電洞在發光層相遇而形成激子 (Exciton)。而激子呈現非穩定狀態，以輻射的方式從激態釋放出能量衰退回基態則放出光來。

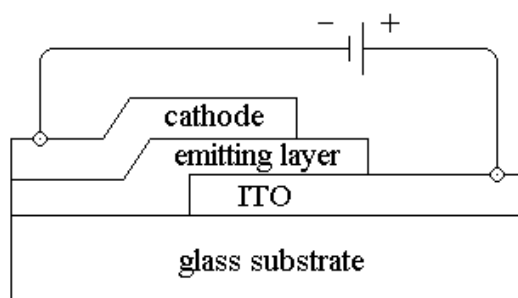


Figure 1-2. Schematic structure of a single layer PLED

大多數高分子發光二極體的電激發光光譜(EL)會與該發光高分子的螢光光譜(PL)相似，這是因為兩者分別藉由光及電來激發基態的電子，使其形成激子後衰退回基態而放光，因此兩者會有相似的放光機制，如 Figure 1-3 及 Figure 1-4 所示。

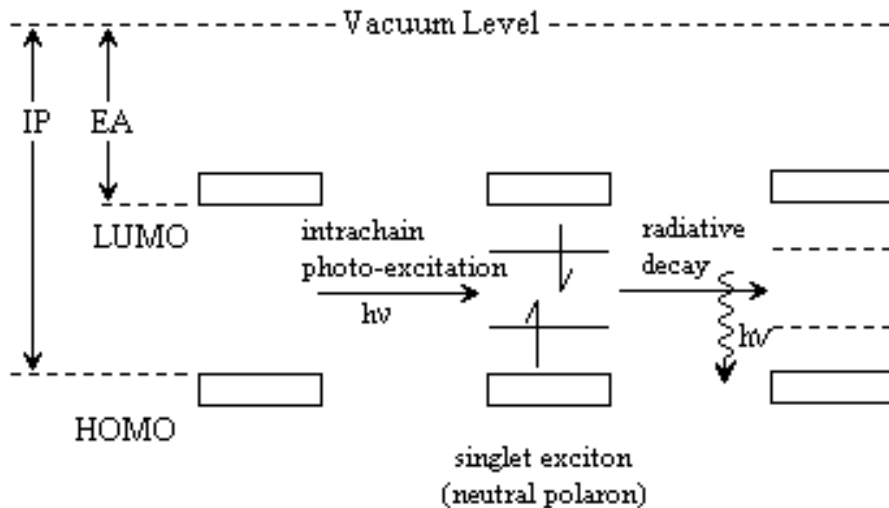


Figure 1-3. Band diagram of PL process

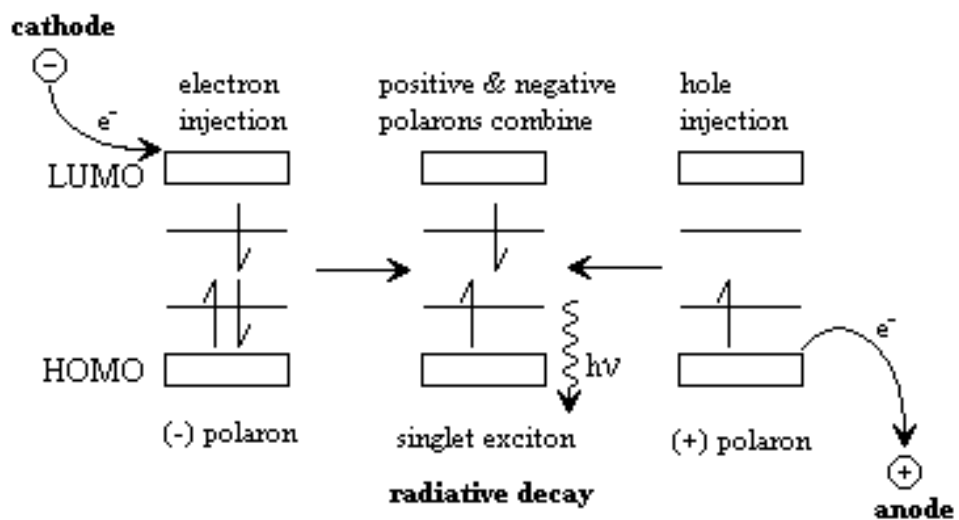


Figure 1-4. Band diagram of EL process

Figure 1-5 是ITO/PPV/Al元件的能階圖。其中IP（Ionization Potential）是PPV的游離能，代表由HOMO能階移除一個電子到無窮遠處所需的能量。EA（Electron Affinity）為PPV的電子親和力，即由無窮遠處加入一個電子到LUMO能階所需的能量。 Φ_{ITO} 與 Φ_{Al} 分別為ITO和鋁的工作函數。 ΔE_e 和 ΔE_h 分別為由電極注入電子或電洞的能障。由圖可知，由ITO注入電洞到PPV價帶的能障很小，而由鋁注入電子到傳導帶則有相當大的能障。故選擇功函數較低的金屬有利於電子注入，可提升量子產率（Quantum Yield），常使用金屬的工作函數見Table 1^[5]。

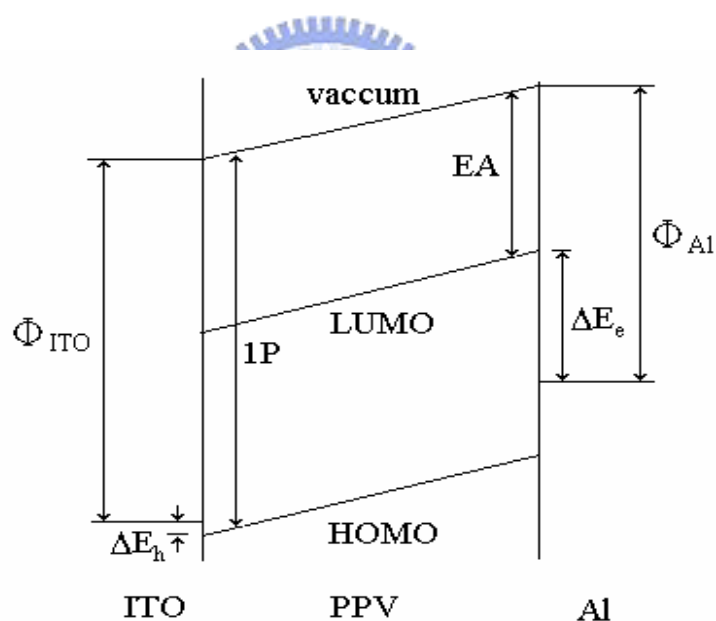


Figure 1-5. Schematic energy-level diagram for an ITO/PPV/Al device

Table 1-1. The work function of electron injection electrodes

electron injection electrodes (Low Work Function)	Work Function (eV)
Ba	2.7
Ca	2.9
Mg	3.7
Al	4.3

1.2.2 雙層及多層結構之 OEL 元件

基本有機發光二極體架構有四種，如Figure 1-6：A. 僅包含單一發光層之單層元件 (Single-layer, SL)；B. 於發光層前多加一層電洞傳輸層之雙層元件 (Double-layer with Hole Transport Layer, DL-H)；C. 於發光層後多加一層電子傳輸層 (Double-layer with Electron Transport Layer, DL-E)；D. 發光層位於電子傳輸層及電洞傳輸層之間的三層元件 (Triple-layer, TL)^[6]。

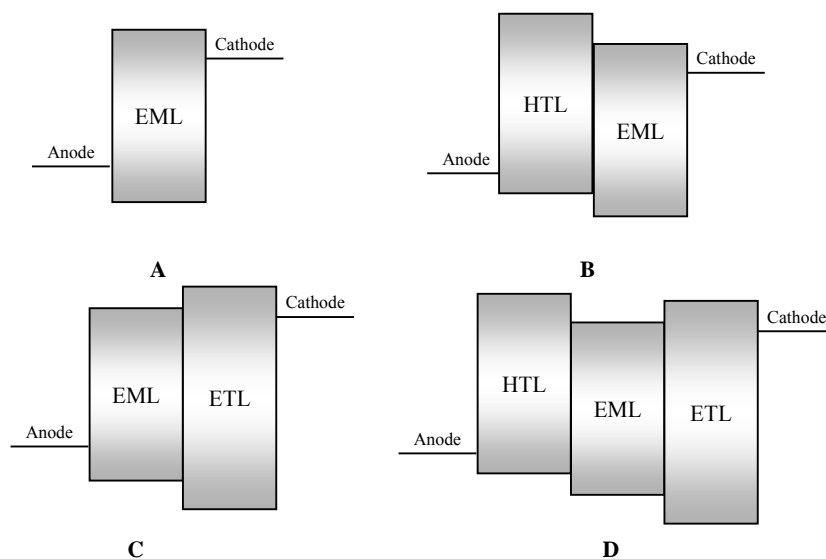


Figure 1-6. Diagrams of multi-layer device

最早的雙層結構是由柯達公司Tang和Van Slyke所提出的^[1]，如Figure 1-7a所示。以Diamine為電洞傳輸層（Hole Transport Layer，HTL），主要的發光層為電子傳輸層Alq3（Electron Transport Layer，ETL）。因為HTL不具有或只有很小的電子傳輸能力，由陰極注入的電子被阻擋在發光層與HTL的介面。另一方面，由陽極注入的電洞也被阻擋在此介面，因此再結合發生在介面或靠近介面的地方，而遠離了造成會淬息（Quenching）的電極附近。此創舉大幅降低OEL的驅動電壓到小於10伏特，更使外部量子效率達到1%，也為OLED的商業化帶來曙光。之後日本九州大學Saito教授實驗室發明另一種雙層組合，其主要是由電洞傳輸層作為發光層，如Figure 1-7b所示^[7]。

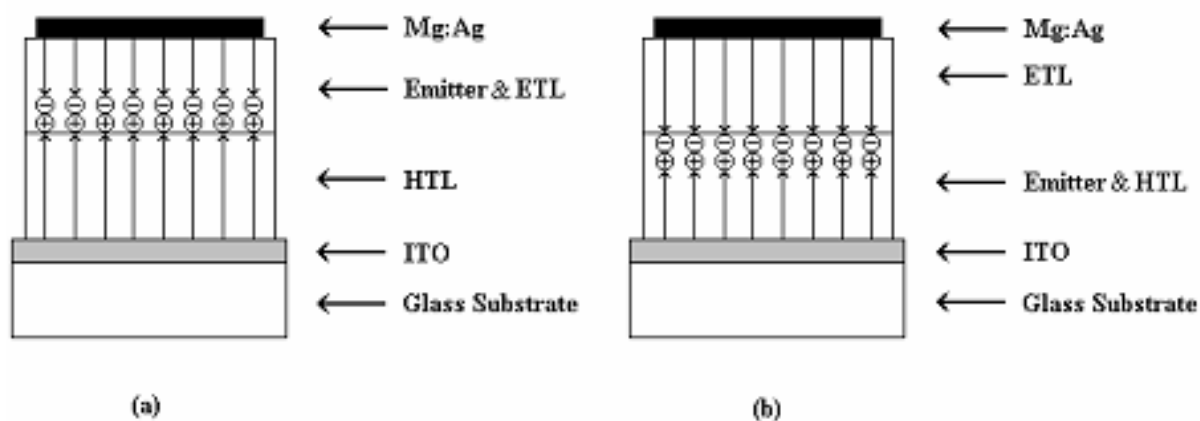


Figure 1-7. Structures of double-layer-type OEL device

Saito等人之後又提出新的三層結構^[8-9]，在發光層的上下使用非晶相（Amorphous）的電洞傳輸層與電子傳輸層，結構為Au/TPD/Emitter/PV/Mg，使用的發光材料為多晶形的（Polycrystalline）Anthracene、Coronene和Perylene，元件構造如Figure 1-8a所示。他們發現發光層的厚度只需要像兩層Langmuir-Blodgett薄膜的厚度就可以控制激子在發光層內使之發出強烈的光^[10]。Kido進而修改這個結

構，提出了幽禁式（Confinement）的結構，如Figure 1-8b所示使用一層激發態能階高的激子幽禁層（Excitation Confinement Layer, ECL），其產生激子的能量高於HTL與ETL，於是將能量轉移到HTL或ETL，本身不發光。調整ECL厚度可控制發光層為HTL或ETL，當厚度控制得當則兩層同時發光，可得到混合的光色^[11]。

在減少電流量及提升量子效率之餘，仍有部分的發射光損失在內部的反射，其中一個改善的方法是在基材之上加一層反射層，如Figure 1-9所示，此方法通常使用在無機的LED上，如此有效的增加垂直於元件平面方向上的光，避免掉內部的反射^[12]。

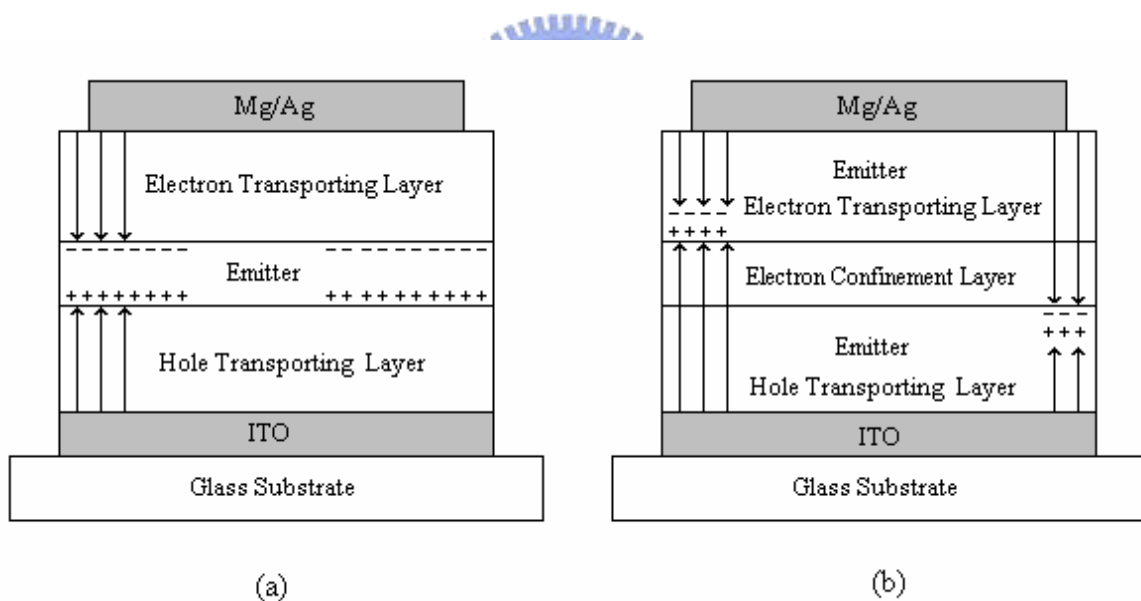


Figure 1-8. Structures of triple-layer-type OEL device

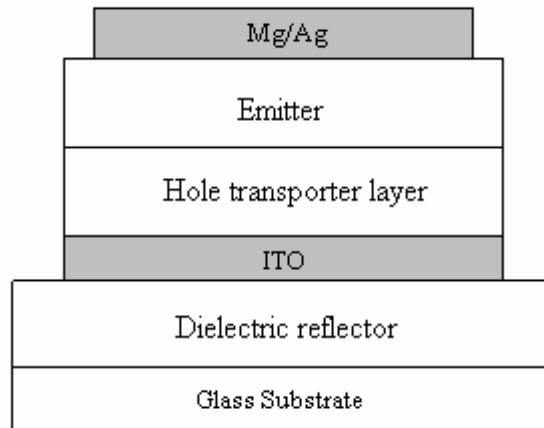


Figure 1-9. Structures of double-layer-type OEL device with a dielectric reflector

1.2.3 多層結構的必要性及其優點

以單層發光層為主的元件，大多會發生下列三種情形：

1. 載子注入效率和電極及有機半導體之能階相對位置有關，適合電洞注入的材料，不見得適合電子注入。
2. 有機半導體通常是單極性材料，即一種材料只適合一種載子傳導。
3. 良好的載子傳導材料未必是良好的發光材料。

然而，多層結構更具有以下所列之優點：

1. 可以用低電壓獲得所需的電流密度，由於電壓的降低，便可以有效的提高發光能量效率。
2. 利用多層結構可以將產生單態激態 (Singlet Excited State) 分子的發光區域，限制在距離兩個電極中間的位置，將發光區

域和電極隔離，可以避免電極與發光層界面因雜質所造成的淬息現象。

3. 利用多層結構，可以控制電子電洞注入平衡，使得元件可達最高的電激發光效率^[13-14]。若載子傳輸不平衡，將降低電激發光效率，且因元件焦耳熱效應而加速元件的衰壞。

另外，在陰極及有機層中間置入絕緣緩衝層，可避免金屬和有機層直接的接觸^[15-16]，因此減低激子與能隙態 (Gap State) 接觸的可能性。

1.3 電子傳輸/電洞阻擋之高分子材料

1.3.1 元件能階

通常高分子電激發光二極體之單層元件能階圖可簡單以Figure 1-10 表示^[17]：

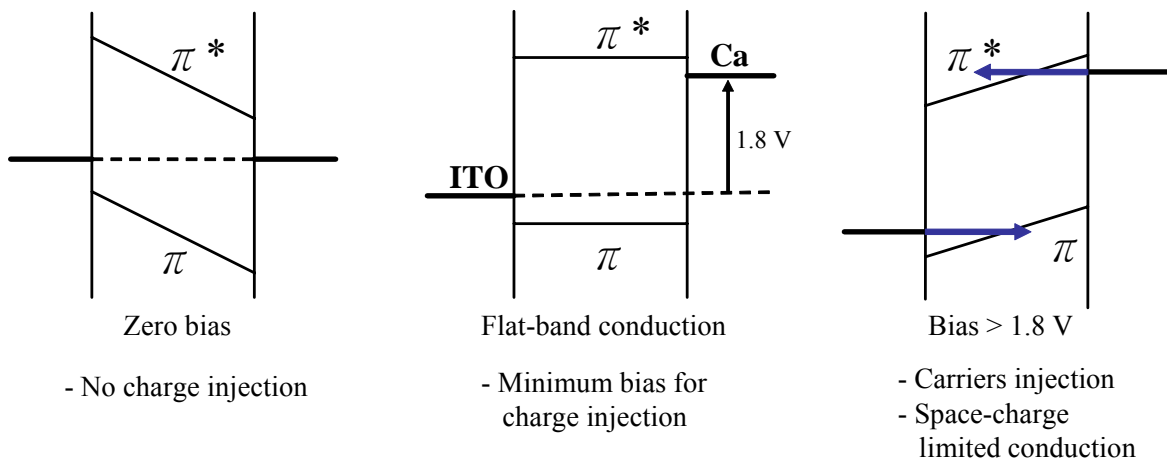


Figure 1-10. The electronic structure of the LED

元件中電洞 (或電子) 注入所需之能障，是為有機層 π (或 π^*) 軌域能階與其所接觸之金屬功函數之差值。當未施以外加電壓時，即 Zero Bias，無論是陽極或是陰極均因費米能階而無法注入電洞或電子。假設陽極為 ITO，而陰極為鈣金屬時，施以外加電壓後，其兩電極之間的能階差約為 1.8 伏特，此為能注入電流時之最低電壓，理想狀態為電流注入之同時，元件亦同時發光。隨著外加電壓的增加，電極能階亦會有所變化，使得電子電洞更容易注入或穿過有機發光層。因此，隨著外加電壓的增加，電子或電洞注入之能障也會隨之降低。

然而由於發光材料多為單極性材料，即只傳電洞或只傳電子，因此在發光層與電極之間多一層電子注入或電洞注入層^{[18][19]}，便可以改善電子電洞注入平衡之問題。Figure 1-11 及 Figure 1-12 為外加一層電子傳輸 / 電洞阻擋層之能階示意圖，以及施加電壓後能階變化圖。

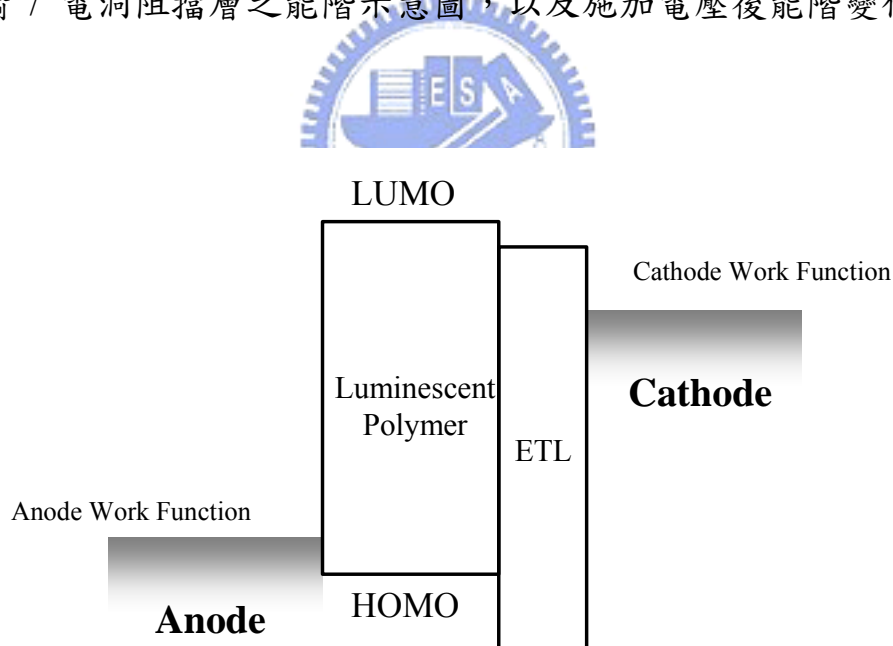


Figure 1-11. Flat-band diagram of the electronic structure of a LED with a hole-blocking layer

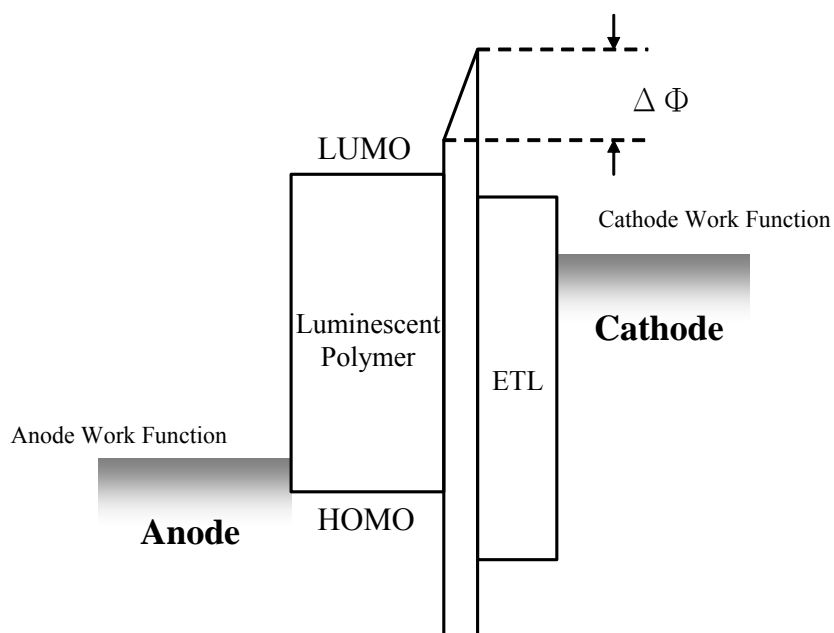


Figure 1-12. Electronic structure of a LED with a hole-blocking layer in forward bias

另外，亦可藉由混入雜質或是改變End-cap之官能基等，可提供一個讓電子較容易注入之能階，再進入發光材料之能階^[20]，如Figure 1-13 所示。

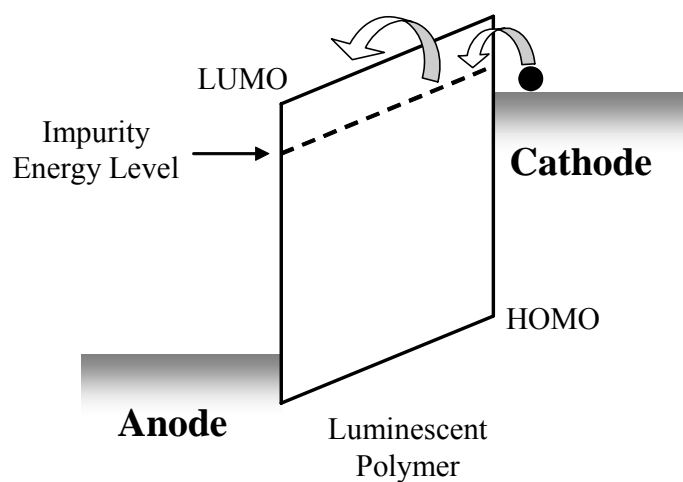


Figure 1-13. Electronic structure of a LED with impurities

1.3.2 穿遂效應 (Tunneling Effect)

1993 年UNIAX公司的Heeger等人以MEH-PPV之有機發光元件研究^[17]，發現其特性受到電子、電洞在界面處能障的穿遂效應所影響，並利用Fowler-Nordheim (F-N)的穿遂理論^[21]加以說明。

$$I \propto E^2 \exp\left(\frac{-K}{E}\right) \quad 1-1$$

$$K = 8\pi \frac{\sqrt{2m^* \phi^3}}{3qh}$$

ϕ ：界面能障 (eV)、E：電場強度 (V/d)、K：與能障相關之參數、 m^* ：電子或電洞之有效質量 (Effective Mass)、 h ：浦朗克常數 (Plank constant)



依穿遂效應可得到以下結論：

1. PLED 中的正負載子均是以穿遂的方式進入發光層，其所造成的電流密度與其界面能障有絕對相關。
2. PLED 的 I-V 曲線是由多數載子所控制，而元件的量子效率是由少數載子所決定，而當正負電極的功函數分別與發光層的 HOMO、LUMO 能階相符合時，其元件效率為最高。
3. 穿遂理論中所謂的起始電壓 (Turn-on Voltage) 是元件到達“Flat-band”時所需的電壓，其與高分子能隙及電極能階有關，與發光層電場無關；對於一理想的穿遂元件，其起始電壓等於高分子能隙及其電極之差值。

4. 元件所謂的操作電壓是在某一電流密度下所外加的電壓，其值與厚度有關。

在穿遂理論下，可利用 1-1 式計算高分子的能障。而穿遂效應使用之限制為，當高分子能階與電極之間的能障很小時，會因熱離子發射理論 (Thermionic Emission Theory) 逐漸重要而偏離穿遂理論，且當能障小於 0.3 eV 時，即不適用穿遂理論。

1.3.3 電子傳輸/ 電洞阻擋層之材料

為了增加電子、電洞注入發光層的機會，多加一層電子傳輸或電洞傳輸層是常見方法。約 1990 年時開始有一系列的化合物已被發表於文獻上。而電子或電洞傳輸 / 阻擋材料必須有以下三點基本條件 [22]：



1. 其 HOMO、LUMO 能階必須能夠符合發光層以及電極的能階。
2. 要能生成平滑並且無缺陷之薄層。
3. 形成膜之後，其必須為具有穩定的熱性質之薄膜。

而依各種需求不同，傳輸材料亦有不同之需求。使用於有機電激發光二極體之電子傳輸材料則是必須能夠傳電子，且其電子移動率必須要高。由於在小分子有機電激發光二極體每一層材料均以熱蒸鍍的方式蒸鍍於基版上，但小分子結晶性高，反而導致元件毀壞，因此，在材料要求上，材料必須具有非結晶性的性質，以免降低元件表現。然而，相對於電洞傳輸材料，電子傳輸材料則較少被報導，以下列出使用在小分子有機電激發光二極體之電子傳輸材料：

Table 1-2. Electron-transporting amorphous molecular materials

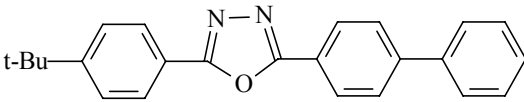
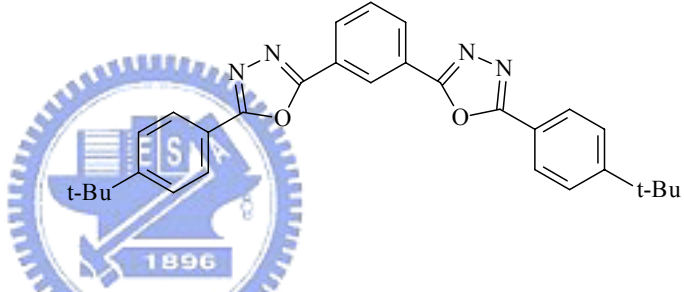
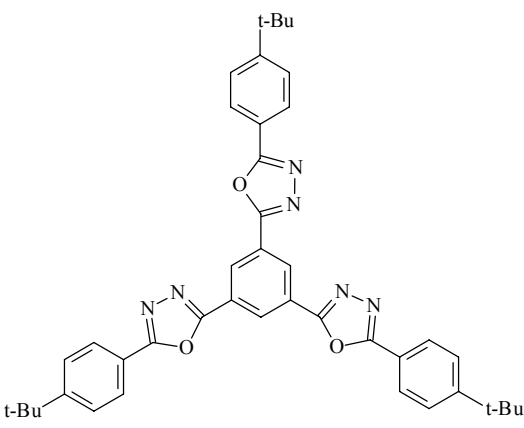
Family	Abbreviation	Compound Structure and Name	Ref.
Oxadiazole Derivatives	<i>t</i> -Bu-PBD	 <p>2-(biphenyl-4-yl)-5-(<i>tert</i>-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazole</p>	23
	OXD-7	 <p>1,3-bis[5-(<i>p-tert</i>-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazol-2-yl]benzene</p>	24
	TPOB	 <p>1,3,5-tris(4-<i>tert</i>-butylphenyl-1,3,4-oxadiazolyl)benzene</p>	25, 26

Table 1-2. Continued

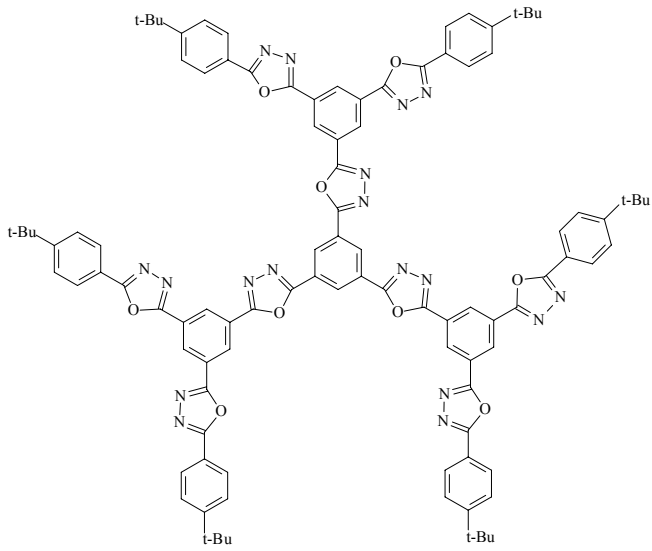
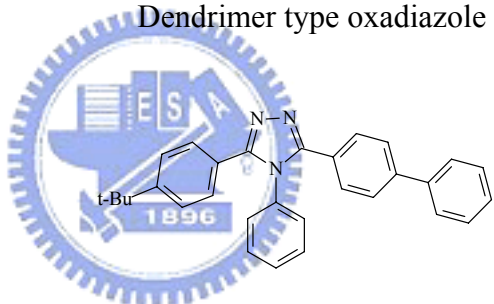
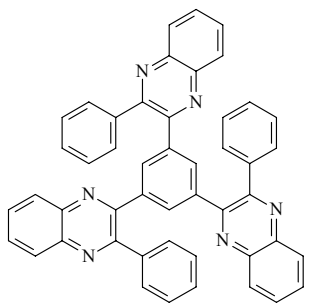
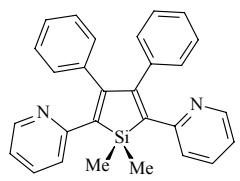
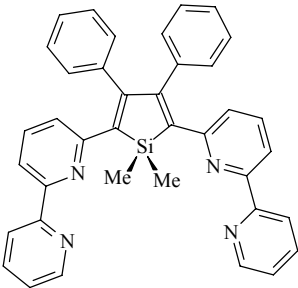
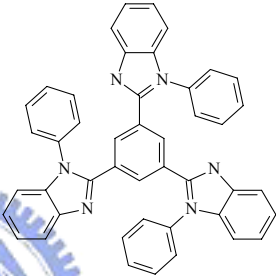
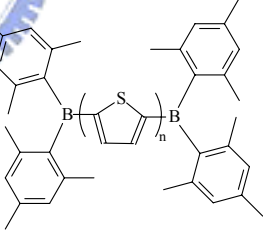
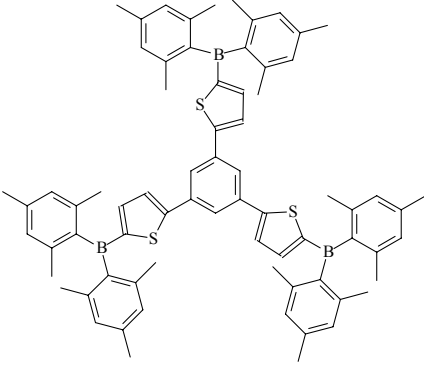
Family	Abbreviation	Compound Structure and Name	Ref.
			27
Triazole Derivative	TAZ	<p style="text-align: center;">Dendrimer type oxadiazole</p>  <p style="text-align: center;">3-(biphenyl-4-yl)-4-phenyl-5-(4-<i>tert</i>-butylphenyl)-1,2,4-triazole</p>	28
Tris(phenyl quinoxaline)	TPQ	 <p style="text-align: center;">1,3,5-tris(3-phenylquinoxaline-2-yl)benzene</p>	29
Silole Derivatives	PYSPY		30

Table 1-2. Continued

Family	Abbreviation	Compound Structure and Name	Ref.
PyPySPyPy			31
2,5-bis(2,2'-bipyridin-6-yl)-1,1-dimethyl-3,4-diphenylsilole			
Benzimidazole Derivative	TPBI		32
2,2',2''-(1,3,5-benzenetriyl)tris-[1-phenyl-1H-benzimidazole]			
Boron-containing Compounds	BMB-nT		33-35
α,ω -bis(dimesitylboryl)oligothio-phenes			
	TMB-TB		36
1,3,5-tris[5-(dimesitylboryl)thiophen-2-yl]benzene			

然而，大部分電子傳輸材料並無法同時擁有阻擋電洞之特性，因此，另外亦有電洞阻擋材料被文獻提出。既然在材料的要求上，電子傳輸以及電洞阻擋之特性無法同時存在，則以能階的觀點，理想狀態下可將此兩種材料做成多層元件，以期發光層與陰極之間可順利傳輸電子，並將電洞有效地阻擋於發光層，以增加電子電洞於發光層中結合的機率。Table 1-3 列出在小分子有機電激發光二極體中常用之電洞阻擋材料。

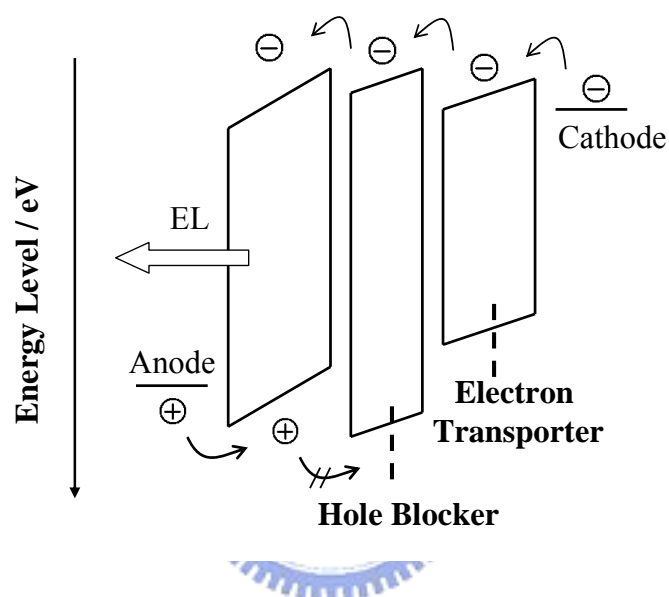


Figure 1-14. Role of hole-blocking materials

Table 1-3. Hole-blocking amorphous molecular materials

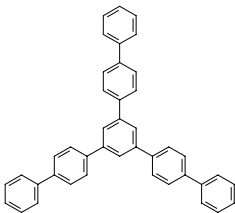
Family	Abbreviation	Compound Structure and Name	Ref.
Triaryl-Benzene	TBB	 1,3,5-tri(biphenyl-4-yl)benzene	37, 38

Table 1-3. Continued

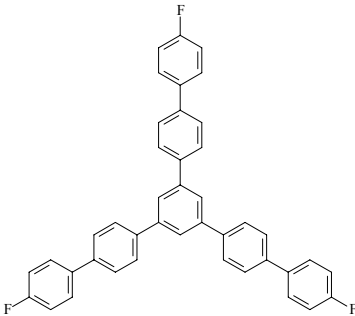
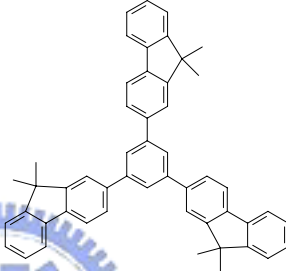
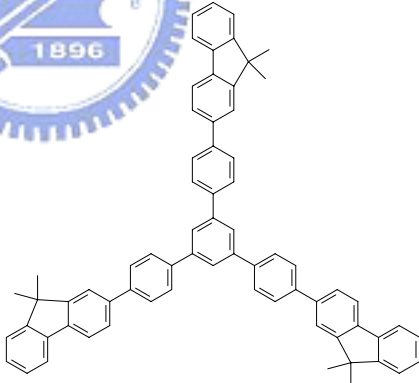
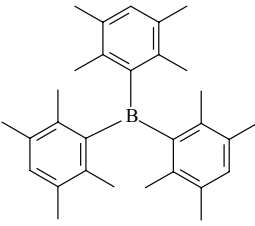
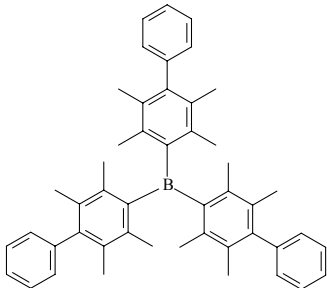

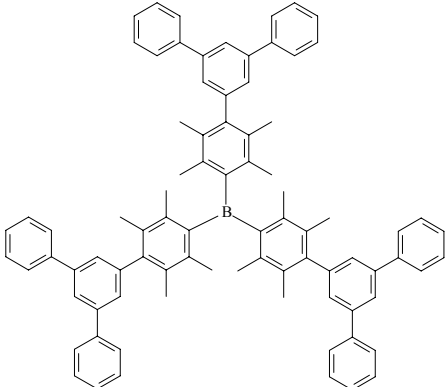
Family	Abbreviation	Compound Structure and Name	Ref.
F-TBB		 <p data-bbox="663 712 1214 748">1,3,5-tris(4-fluorobiphenyl-4'-yl)benzene</p>	37-39
TFB		 <p data-bbox="655 1093 1222 1128">1,3,5-tris(9,9-dimethylfluoren-2-yl)benzene</p>	37, 38
TFPB		 <p data-bbox="592 1563 1286 1599">1,3,5-tris[4-(9,9-dimethylfluoren-2-yl)phenyl]benzene</p>	37, 38
Triarylborane	TPhB	 <p data-bbox="695 1930 1174 1966">tris(2,3,5,6-tetramethylphenyl)borane</p>	40

Table 1-3. Continued

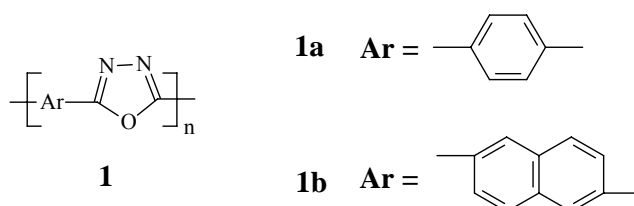
Family	Abbreviation	Compound Structure and Name	Ref.
	TBPhB	 <p>tris(2,3,5,6-tetramethylbiphenyl-4-yl) borane</p>	40
	TTPhB	 <p>tris(2,3,5,6-tetramethyl-1,1':4',1''-terphenyl-4-yl)borane</p>	40
	TTPhPhB	 <p>tris[2,3,5,6-tetramethyl-4-(1,1':3',1''-terphenyl-5'-yl)phenyl]borane</p>	40

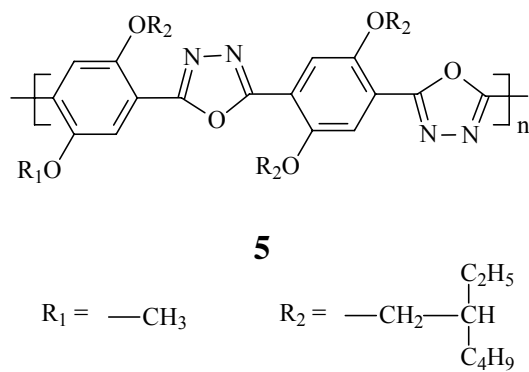
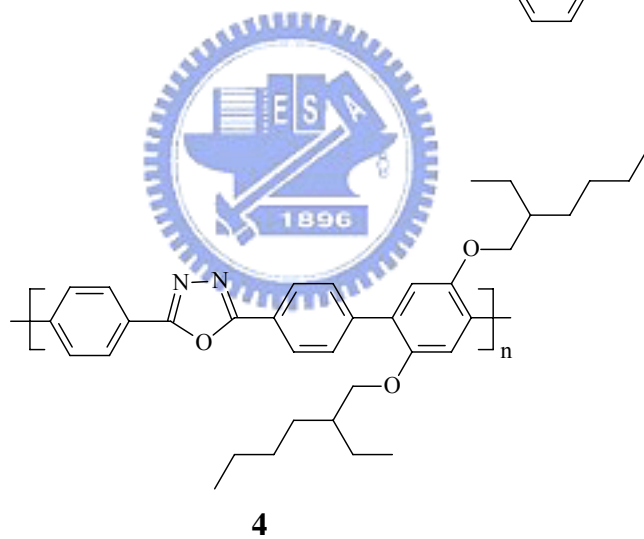
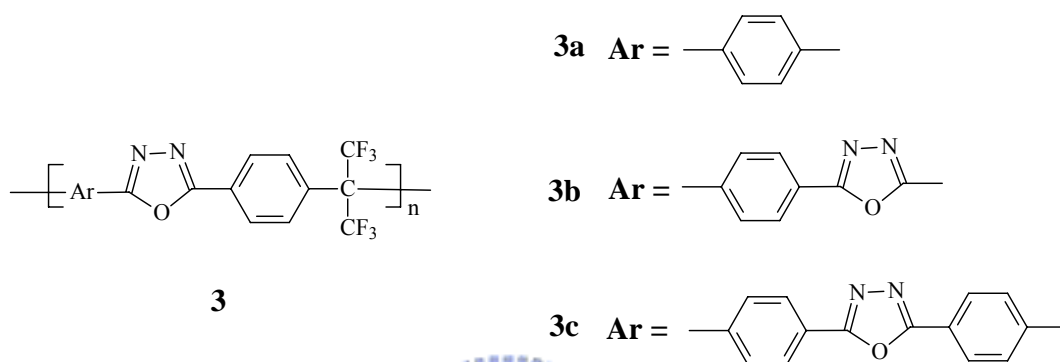
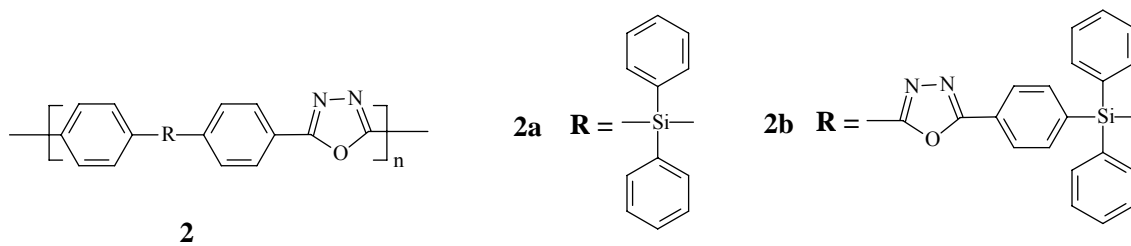
隨著高分子有機電激發二極體的發展，其製程簡單、價廉吸引了許多人參與研究。因為高分子材料具有高的玻璃轉移溫度 (Glass Transition Temperature, T_g)，因此在元件操作的狀況下也不容易結晶而降低元件表現。與小分子材料比較，高分子材料的熱穩定性都比小分子好，因此在製成元件後，較不容易因為施加電壓後所產生的高熱，而造成元件衰壞^[41]。

但在製作多層元件上，卻是有其困難存在。其中最大的困難是層與層之間溶劑選擇的問題。大部分高分子均可以有機溶劑溶解，再以旋轉塗佈的方式做成元件。而為了使電洞傳輸或是電子傳輸材料亦能用旋轉塗佈的方式做成元件，因此將具有電洞傳輸或電子傳輸之基團，以主鏈或是側鏈的方式使其高分子化，以期能用旋轉塗佈的方式做成元件。但高分子化後，常因結構或是分子量等問題，使其只能溶於有機溶劑，此有機溶劑通常亦能溶解發光層材料，因此在旋轉塗佈的過程中，會毀壞前一層薄膜而無法做成元件。

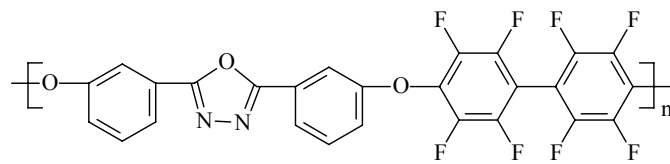
而在文獻上，高分子電子傳輸材料可能以有機溶劑溶解，但前一層發光層是以將前驅物蒸鍍於基版上，再加熱以後成為高分子化而做成元件，如此以來，便可避免層與層之間互溶之問題。而在高分子材料的部分，大多以 1,3,4-oxadiazole 為主要官能基，分別以其作為主鏈或是側鏈的方式，進行高分子化得之^[42]。以下分為兩部分，分別為以 1,3,4-oxadiazole 作為主鏈之高分子材料以及主鏈變化部分，以及 1,3,4-oxadiazole 作為側鏈基團之高分子材料。

主鏈部分^[43-46]：

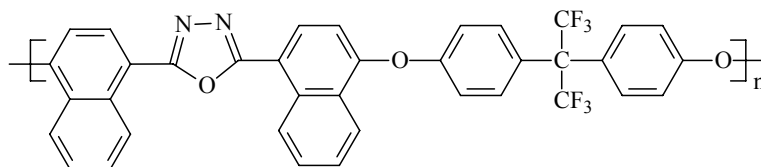




主鏈變化部分^[47]：

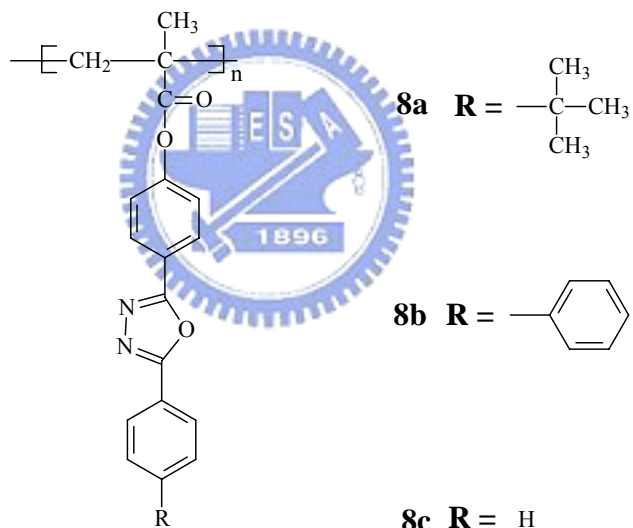


6

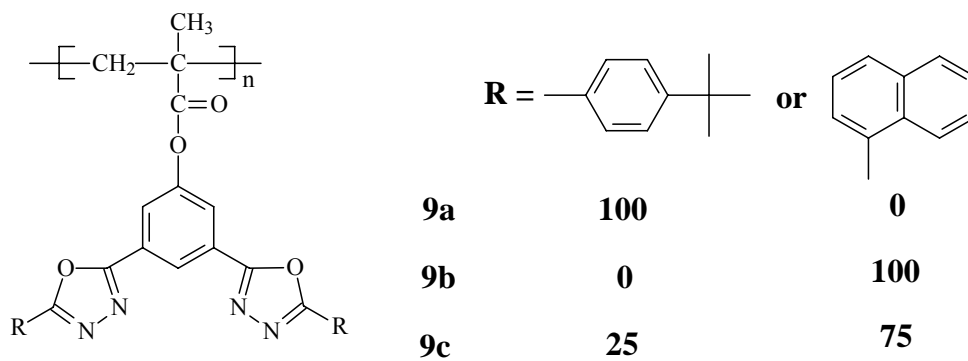


7

側鏈部分^[48]：



8



9

9a **100**

9b **0**

9c **25**

100

0

75

0

100

75

在聚合物材料部分，以 1,3,4-oxadiazole 作為主鏈之電子傳輸材料表現而言，其電子傳輸能力比 1,3,4-oxadiazole 位於側鏈基團表現要好，然而位於主鏈卻有相對的問題產生。由於 1,3,4-oxadiazole 是堅硬的基團，當其在聚合物裡的含量增加時，其聚合物對溶劑的溶解度會逐漸下降，甚至無法全溶於高極性的有機溶劑中，例如四氫呋喃。且在合成方面，較不容易合成。而其在熱性質表現上，由於較為堅硬之聚合物，其玻璃轉移溫度比起 1,3,4-oxadiazole 作為側鏈基團的時候還高^[42]。

然而，1,3,4-oxadiazole 作為側鏈基團亦有它的好處。在溶劑選擇方面，比起 1,3,4-oxadiazole 作為主鏈部分要來的多，因此可以避免元件製作上最容易產生層與層互溶的狀況發生。而合成方面也較主鏈合成容易許多。Table 1-4 為 1,3,4-oxadiazole 位於聚合物電子傳輸材料主鏈以及側鏈部分之比較。Table 1-5 為聚合物電子傳輸材料在各文獻上之各項性質，及其元件表現。



Table 1-4. Comparison between main chain and side chain

Property	Main chain	Side chain
Thermal stability	很好	較差
Solvent solubility	高極性溶劑，或不溶	可選擇溶劑較多
Synthetic process	較難	較容易

以 1,3,4-oxadiazole 為主要基團作為聚合物電子傳輸材料，其 HOMO 能階大多位於 6.0 eV，LUMO 能階位置大多在 2.5 ~ 3.0 eV。然而早期的高分子材料對溶劑的溶解度極差，如聚合物 1 無法完全溶

於常見的有機溶劑中。因此，之後便藉由導入雜原子或是增加長碳鏈的方式，使材料可溶於有機溶劑中，但隨著 1,3,4-oxadiazole 的比例增加，便開始無法溶於溶劑中。由於其為十分堅硬的基團，因此玻璃轉移溫度會因為其導入越多而增加。

在近年來亦有文獻提出利用可直接向廠商購買的藥物，例如高分子量的Poly(ethylene oxide)，PEO^[49]或是CsCO₃^[50]等，作為電子傳輸 / 電洞阻擋材料，也有不錯的效果。



1-4 研究動機

目前由於高分子電激發光二極體的製程容易，無論是電洞傳輸層 PEDOT，或是發光層材料皆是以旋轉塗佈的方式做成元件，因此，若是可以將位於發光層之上的電子傳輸層材料做成可水溶性，溶於醇類溶劑中，再經由旋轉塗佈的方式製作多層元件，便可以簡化元件製作的過程。

再者，必須選擇適當的能階以配合發光層以及陰極能階，使電子容易注入，而電洞則被阻擋在發光層中，以增加電子與電洞相遇的機率，進一步提升元件亮度及效率表現。

本研究所合成出的四個聚合物，均是以 1,3,4-oxadiazole 作為側鏈基團，PEO 作為主鏈之聚合物。其中利用 1,3,4-oxadiazole 具有良好的電子傳輸能力，且其 HOMO 能階位於約 6.1 eV，較大部分發光層 HOMO 能階低，可為良好的電洞阻擋材料。而 PEO 主鏈部分，由於其可溶於適當溶劑中，甚至在低分子量（約 5000）時可溶於醇類，便可以避開製作元件上互溶的問題。

而本研究大致分為二個部分，第一部份是討論 1,3,4-oxadiazole 在聚合物中的含量比例，對聚合物之性質的影響；第二部分是討論其在元件上的應用，同時將鹽類混入電子傳輸 / 電洞阻擋層時，探討其在元件上的表現。

在第一部份中，我們合成出單體 M1，分別聚合出 Homopolymer，P1，以及與 1,2-hexyl epoxide 作共聚之 Copolymers，分別為 P2、P3 以及 P4。藉由導入 1,2-hexyl epoxide 使聚合物更具有水溶性，並討論聚合物對常見溶劑之溶解度以及熱穩定性的差別，期望其能階可以符合電子傳輸 / 電洞阻擋層可搭配之能階。

第二部分是將所合成出的聚合物實際應用在元件上，並討論其光電性質。由於 1,3,4-oxadiazole 已具有相當良好的電子傳輸能力，且聚

合物具有可水溶性，因此可製作多層元件。但在阻擋電洞方面仍稍嫌不足，因此在此部分中，同時討論藉由混入離子，使其能夠在阻擋電洞效果方面更加完善，並期望其可以在元件表現上，比雙層元件表現更加優秀。

