



## 逢甲大學學生報告 ePaper

### 有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

作者：鄭銘祥、楊軒任

系級：電子四甲

學號：D9530332、D9530168

開課老師：李景松

課程名稱：化合物半導體元件

開課系所：電子工程學系

開課學年：98 學年度 第一學期



## 中文摘要

從 1973 年以後，由於能源危機，各個國家開始發展再生能源，例如：太陽能、風力、水力等。在眾多的再生能源之中，太陽能的提供最為充足的。

相較於已知的太陽能電池科技，由有機半導體製成的太陽能電池提供了相當有前途的可能性。有機太陽能電池最大的潛力在於可預知的低成本與物理學的適應性。這兩個特性給了太陽能電池一個充滿可能性的新領域。目前，基本的研究是使太陽能電池商業化的必要工作。最重要的是太陽能電池在製程上的成本、效率與長期的穩定性。

使用 p 型與 n 型有機材料所建成的 p-n 接面有機光伏(OPV cells) 是相當卓越的。為了達到高效率的有機光伏，使用了許多的方法，如：增加有機材料的載子遷移率(mobility)、提高對光的吸收力或減少元件的串聯電阻。串聯電阻的最佳化很困難，因為減少串聯電阻意味著必須減少所有層(layer)的厚度，所以我們傾向於提高其吸收力與達到較高的效率。

首先，我們試著找出基本 p-n 接面有機光伏電池的最佳的結構與設定幾種材質。p-n 接面 OPV cells 元件為 ITO/CuPc/ C<sub>60</sub>/BCP/Al/LiF，其中 ITO(氧化銦錫)噴在玻璃基板上為陽極，被堆成的 Al(鋁)為陰極，CuPc 為 p 型電洞傳導層(HTL)，C<sub>60</sub> 為 n 型電子傳導層(ETL)，

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

BCP 為電洞阻擋層(HBL)。

接下來，我們調整CuPc與C<sub>60</sub>的薄膜層得到最好的短路電流(short-circuit current)與效率。然後同時加入pentacene為摻雜物到p型電洞傳導層，發現高的短路電流與效率。最後，調整pentacene濃度到獲得最好的短路電流與效率。然後加入DCJTb去提高在p型與n型傳導層之間的吸收力，達到高的短路電流與效率。

**關鍵字：**有機光伏、氧化銦錫、開路電壓、短路電流、填充因子



## 目次

目次	3
表目錄	5
圖目錄	6
第一章 有機 p-n 接面光伏電池	11
1-1 光伏的原理	11
1-2 由 p-n 接面產生能量的結構	12
1-3 光伏電池的量測	16
1-4 陽極與陰極的材質	17
1-5 有機光伏元件的設計	18
1-6 p-n 接面有機光伏電池	20
第二章 有機太陽能電池製程	22
2-1 元件製程步驟	22
2-2 預洗氧化銦錫玻璃基板	22
2-3 氧化銦錫的蝕刻	23
2-4 紫外臭氧處理	23
2-5 有機熱蒸鍍	28
第三章 實驗結果	31
3-1 覆蓋層	31

3-2 元件的結構	34
3-3 CuPc 厚度的調整(x nm)	37
3-4 C <sub>60</sub> 厚度的調整(y nm)(x= 25 nm)	42
3-5 調整 DCJTb 在 CuPc 層的濃度	44
3-6 調整 CuPc 層中 pentacene 的濃度 (x= 25 nm, y= 50 nm)	48
3-7 調整 CuPc 層中 DCJTb 的厚度 (x= 25 nm, y= 50 nm, s= 5%)	52
第四章 結論	56
參考文獻	58



## 表目錄

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

表 1-3 輻射與光度測定的名稱與比較	17
表 2-3.1 第一次紫外臭氧處理下不同時間的 ITO 表面粗糙度	24
表 2-3.2 第二次紫外臭氧處理下不同時間的 ITO 表面粗糙度	24
表 3-1.1 OPV cell 在 100 mW/cm <sup>2</sup> 下沒有覆蓋層的量測	32
表 3-1.2 OPV cell 在 100 mW/cm <sup>2</sup> 下有 LiF 80 nm 的量測	33
表 3-2 有機材料的 HOMO, LUMO, 載子遷移率與激子擴散長度	34
表 3-3 不同 CuPc 薄膜厚度時的 OPV cell 性能	42
表 3-4 不同 C <sub>60</sub> 薄膜厚度時的 OPV cell 性能	44
表 3-5 CuPc 層中不同的 DCJTb 濃度時 OPV cell 的性能	48
表 3-6 CuPc 層中不同的 pentacene 濃度時 OPV cell 的性能	52
表 3-7 在 CuPc 與 C60 層之間不同的 DCJTb 厚度時 OPV cell 的性能	54

## 圖目錄

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

圖.1-1 電子在有機材質中的傳輸	12
圖.1-2.1 基本 p-n 接面太陽能電池的結構	13
圖.1-2.2 光伏原理的機制	14
圖.1-2.3 太陽能電池的等效電路	14
圖.1-2.4 I-V 特性曲線與最大的功率點	15
圖.1-5 所有 OPV cells 的元件結構	19
圖.1-6.1 MPcs 系統的分佈結構	21
圖.1-6.2 MPcs 系統的電洞遷移率, 激子擴散長度, 元件效率與吸收能力	21
圖.2-3.1 第一次 AFM 下 ITO 的表面蝕刻	25
圖.2-3.2 第二次 AFM 下 ITO 的表面蝕刻	26
圖.2-4 高真空度的有機熱蒸鍍系統圖	29
圖.3-1.1 p-n 接面 OPV cell 的結構 ITO/CuPc(20 nm)/C <sub>60</sub> (40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)	31
圖.3-1.2 照度 100 mW/cm <sup>2</sup> 下沒有覆蓋層的基本元件特性 ITO/CuPc(20 nm)/C <sub>60</sub> (40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)	32
圖.3-1.3 照度 100 mW/cm <sup>2</sup> 下有覆蓋層 LiF(80 nm)的元件特性	

ITO/CuPc(20 nm)/C <sub>60</sub> (40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)	33
圖. 3-2.1 有機材質的吸收能力與分子結構	34
圖. 3-2.2 ITO/CuPc(x nm)/C <sub>60</sub> (y nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80nm)	35
圖. 3-2.3 ITO/(z%)DCJTb: CuPc(x nm)/C <sub>60</sub> (y nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)	36
圖. 3-2.4 ITO/(w%)pentacene:CuPc(x nm)/C <sub>60</sub> (y nm)/ BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)	37
圖. 3-2.5 ITO/(w%)pentacene:CuPc(x nm)/DCJTb(s nm)/C <sub>60</sub> (y nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)	37
圖. 3-3.1 元件 1 在暗與照光 100 mW/cm <sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO/CuPc(20 nm)/C <sub>60</sub> (40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)	38
圖. 3-3.2 元件 2 在暗與照光 100 mW/cm <sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO/CuPc(25 nm)/C <sub>60</sub> (40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)	39
圖. 3-3.3 元件 3 在暗與照光 100 mW/cm <sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO	

/CuPc(15 nm)/C<sub>60</sub>(40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)  
/LiF(80 nm) 40

圖. 3-3.4 元件 4 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO

/CuPc(30 nm)/C<sub>60</sub>(40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)  
/LiF(80 nm) 41

圖. 3-4.1 元件 1 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO

/CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)  
/LiF(80 nm) 42

圖. 3-4.2 元件 2 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO

/CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(60 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)  
/LiF(80 nm) 43

圖. 3-5.1 元件 1 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO

/(50%)DCJTB:CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)  
/Al(100 nm)/LiF(80 nm) 45

圖. 3-5.2 元件 2 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO

/(1%)DCJTB:CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)/  
Al(100 nm)/LiF(80 nm) 46

圖. 3-5.3 元件 3 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO

/DCJTB(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm  
)/LiF(80 nm) 47

圖. 3-6.1 元件 1 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO  
/(3%)pentacene:CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10  
nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm) 49

圖. 3-6.2 元件 2 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO  
/(5%)pentacene:CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10  
nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm) 50

圖. 3-6.3 元件 3 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO  
/(7%)pentacene:CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10  
nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm) 51

圖. 3-7.1 元件 1 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO  
/(5%)pentacene:CuPc(25 nm)/DCJTB(0.5 nm)/C<sub>60</sub>(  
50 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm) 53

圖. 3-7.2 元件 2 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線 ITO  
/(5%)pentacene:CuPc(25 nm)/DCJTB(1 nm)/C<sub>60</sub>(50  
nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm) 54

圖. 4 p-n 接面 OPV cell 的最佳結構 ITO/(4%)pentacene:CuPc

(25 nm)/DCJTB(0.5 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)/Al(100  
nm)/LiF(80 nm)



## 第一章 有機 p-n 接面光伏電池

## 1-1 光伏的原理

從一般到異質結構(hetero-structure)二極體，有機光伏電池(OPV cells)的吸收與自然放射特性不同。OPV cells 產生的能量導致有機分子的電洞與電子分離。電洞與電子分離而傳輸到電極造成了電流，最後產生能量。[2]

一般來說，有機材料的吸收力是由紫外 UV/Vis-spectrophotometer 量測。根據包利原理，只有兩個電子在相對的單一分子軌道中旋轉。我們定義電子的最低能量態為最高的分子軌道(HOMO)，當作我們所知道的有機材質的基態。促進電子以反結合態(anti-bonding status)到軌道，我們稱之為有機材質的最低分子軌道(LUMO)。所以有機材質的能帶( $E_g$ )以式(1)表示：

$$E_g = |E_{HOMO}| - |E_{LUMO}| \quad (1)$$

當有機材質吸收光，將會產生帶能量的電子電洞對，其能量以式(2)表示。

$$E (eV) = hv = \frac{hc}{\lambda_{abs}} = \frac{1241 (nm)}{\lambda_{abs}}$$
$$h = 6.62 * 10^{-34} (Js).....Plank's const. \quad (2)$$

當  $E$  比  $E_g$  大且有額外電場時，電子電洞對分離，電子傳輸到較低的電場，電洞傳輸到較高的電場，而產生電流。

事實上，在有機材質中的載子傳輸是希望在使電子移位的  $\pi$  鍵的現象。加上順偏壓，在使電子移位的  $\pi$  鍵中的電子被估計在分子的最低分子軌道的能量等級且希望在另一個分子的最低分子軌道的能量等級達到傳輸的目的，如圖.1-1 [6]。

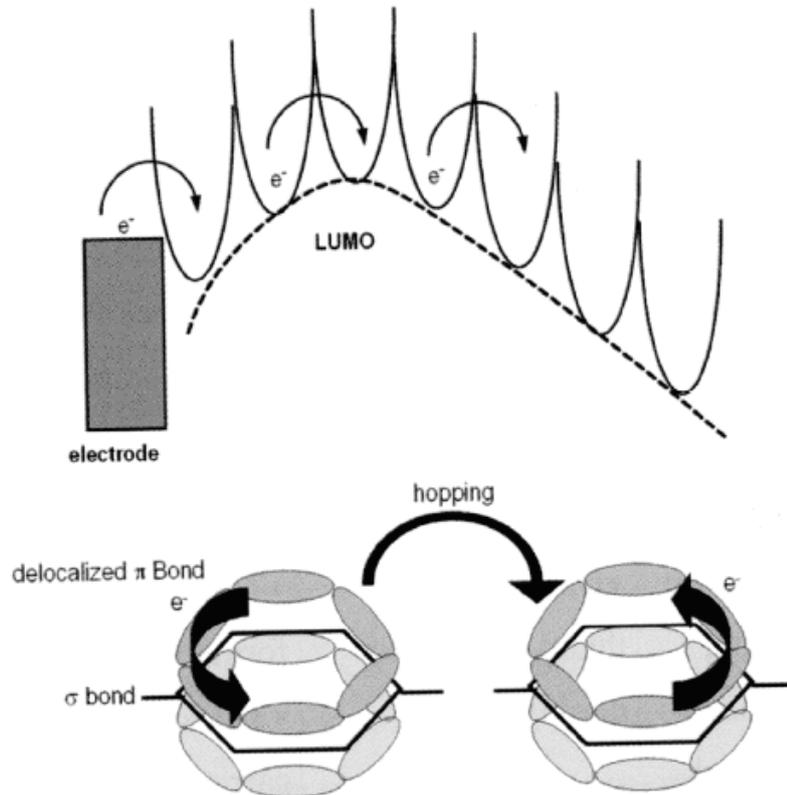


圖.1-1 電子在有機材質中的傳輸

## 1-2 由 p-n 接面產生能量的結構

自從 Dr. Tang 在 1986 年首先研究出高成果的光伏電池以後，有機 p-n 異質接面的光伏電池在環保能源的製程上是一個被期待的科技，它的結構如圖.1-2.1[7]。這個結構被歸類在高功函數的氧化銦錫陽極、有機 p-n 接面層與低功函數的金屬陰極(例如：銀(silver))

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

與鋁(aluminum)為 4.3eV)。

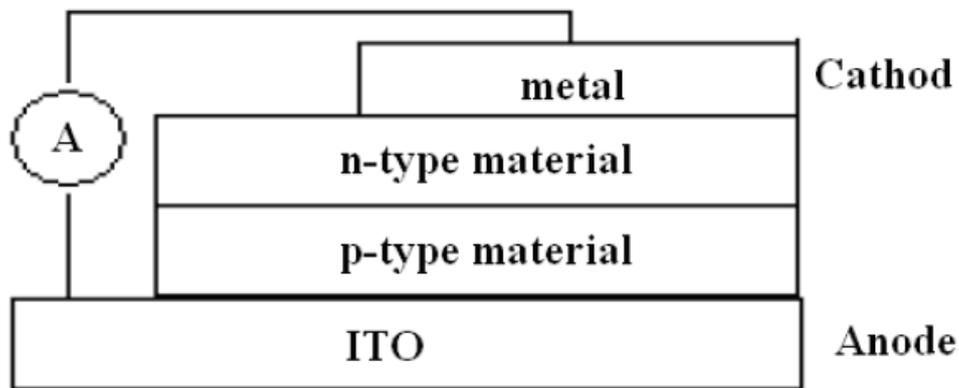


圖.1-2.1 基本 p-n 接面太陽能電池的結構

此光伏原理的結構如圖.1-2.2[8]。當光透過氧化銦錫進入元件，有機材質會吸收光子且轉換光子為電子電洞對。由於庫侖定律電子電洞對與能量互相吸引，此電子電洞對稱為激子。由於激子濃度在有機層的濃度不同而使得激子擴散，若激子與異質接面界面的距離比激子的擴散長度小，那麼激子就無法在 p-n 接面的介面下擴散，而會導致復合(recombine)[9-11]。當激子擴散到 p-n 接面的介面時，內建電場使得激子分離出電子與電洞。載子由於內建電場而擴散到電極且有許多不同的濃度，電子聚集在陰極，電洞聚集在陽極，形成電位差，這是光伏的基本理論。如果我們在陰極與陽極之間加入一個負載，就會有電流產生[12-14]，那麼太陽能電池就能產生能量，如式(3)。

$$P = I * V \quad (3)$$

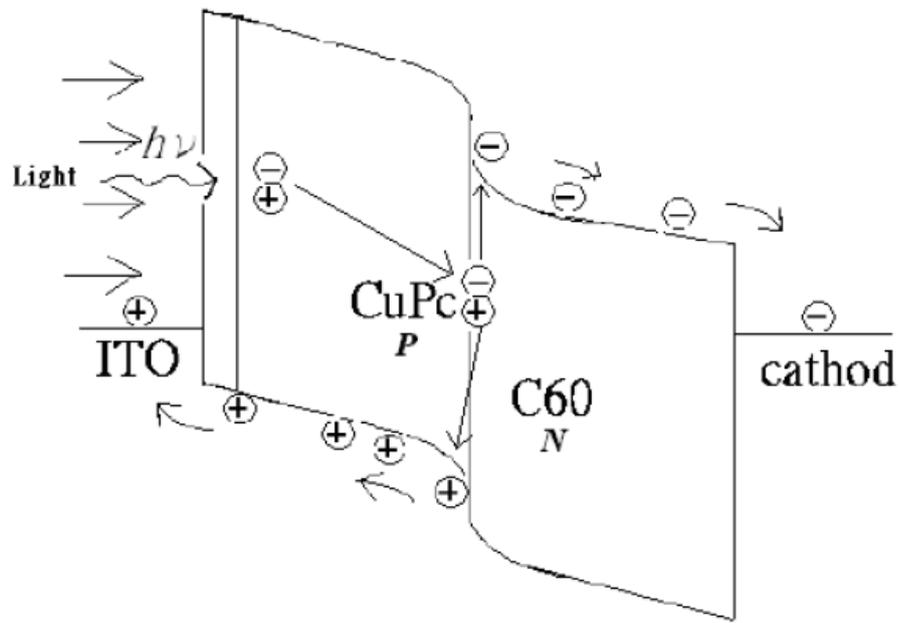


圖. 1-2.2 光伏打原理的機制

更詳細的考慮是依據電流產生器與二極體畫出太陽能電池的等效電路。此等效電路的電流-電壓關係如圖. 1-2.3 與式(4)。

$$I = I_s \left( e^{qV/kT} - 1 \right) - I_L \quad (4)$$

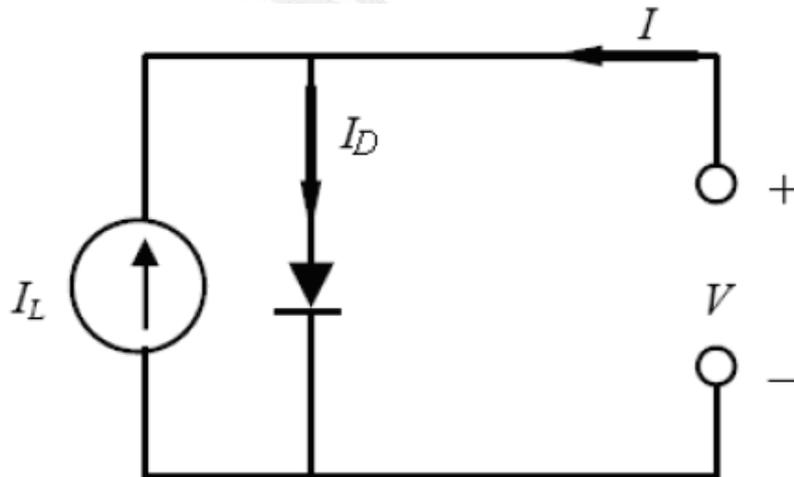


圖. 1-2.3 太陽能電池的等效電路

其中  $I_s$  為飽和電流。在太陽能電池的應用中，此章節通常反轉電壓軸。當電路短路 ( $V=0$ ) 時，短路電流  $I_{sc}$  會等於  $I_L$ 。當電路開路 ( $I=0$ )

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

時且  $I_L$  遠大於飽和電流  $I_s$  時，開路電壓如式(5)。

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_s} + 1\right) \cong \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_s}\right) \quad (5)$$

太陽能電池在短路(電流  $I_{sc}$ )或開路(電壓  $V_{oc}$ )時不會產生功率。

電池的工作點在 IV 特性曲線中，乘積的最大值的時候，有最大的功率( $P_{max}$ )，如圖.1-2.4 與式(6)，最大功率點的位置代表著在 IV 特性曲線所圍的面積。

$$P_m = I_m V_m \cong I_L \left[ V_{oc} - \frac{kT}{q} \ln\left(1 + \frac{qV_m}{kT}\right) - \frac{kT}{q} \right] \quad (6)$$

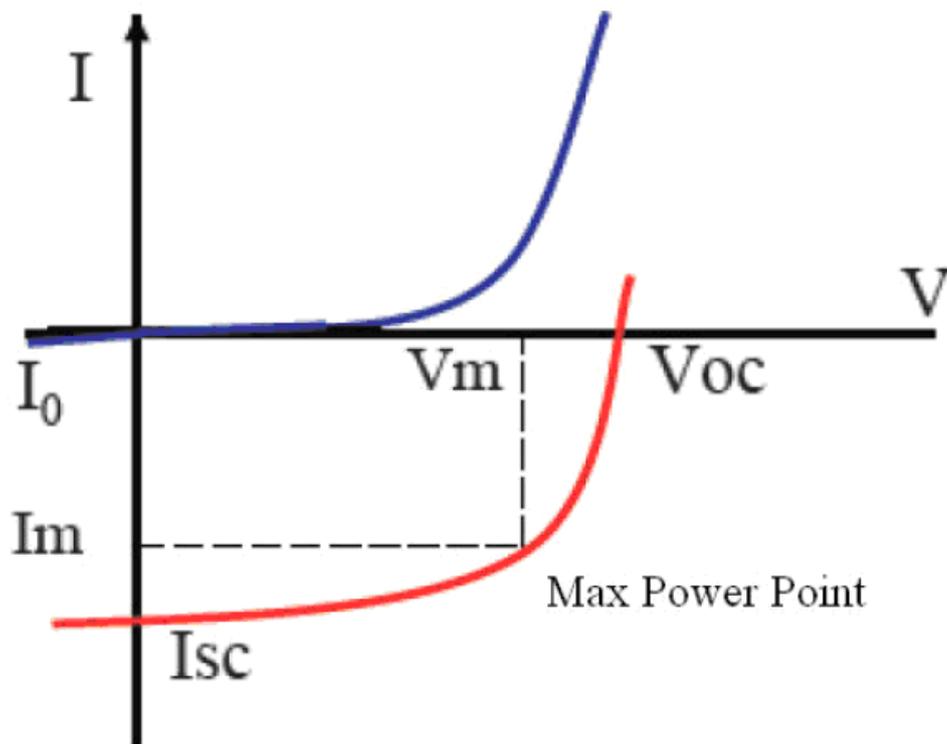


圖.1-2.4 I-V 特性曲線與最大的功率點

太陽能電池的效率  $\eta$  被定義為電池在標準測試條件下，最大功率點提供最大功率  $P_{max}$  除以入射的輻射，如式(7)。

$$\eta = \frac{I_m V_m}{P_{in}} = \left[ V_{oc} - \frac{kT}{q} \ln \left( 1 + \frac{qV_m}{kT} - \frac{kT}{q} \right) \right] / P_{in} \quad (7)$$

太陽能電池的轉換效率也可以式(8)表示。

$$\eta = \frac{V_{oc} * I_{sc} * FF}{P_{IN}} \quad (8)$$

其中 FF 為填充因子，定義如式(9)。

$$FF = \frac{V_m * I_m}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (9)$$

如果我們要改善效率，必須提高短路電流  $I_{sc}$ 、開路電壓  $V_{oc}$  與填充因子 FF。大部份的情形是照光  $100 \text{ mW/cm}^2$ ，標準的參考光譜與溫度  $25^\circ\text{C}$ 。使用此標準的光照值特別方便，因為電池在效率百分比上的數字如同電池在  $100 \text{ mW/cm}^2$  的輸出功率。

### 1-3 光伏電池的量測

我們常使用的光伏量測有兩種單位。一般來說，以人類的視覺圖像來考慮量測設備，使用定義上的光度測定，但是以物理學的觀點，考慮到所量測實際光源的能量，使用定義上的輻射測定。下面為比較表 1-3[15]。

<i>Radiometry</i>		<i>Photometry</i>	
Name	Unit	Name	Unit
<i>Flux of radiation</i>	[W]	<i>Flux of light</i>	[lm]
<i>Intensity of radiation</i>	[W/m <sup>2</sup> ]	<i>Luminance</i>	[lm/m <sup>2</sup> ] or [lux]
<i>Intensity of radiative</i>	[W/sr]	<i>Intensity of light</i>	[cd]or[lm/sr]
<i>Radiance</i>	[W/sr×m <sup>2</sup> ]	<i>Intensity of light-emit</i>	[cd/m <sup>2</sup> ]or[lm/sr×m <sup>2</sup> ]
<i>Efficiency of power</i>	[W/W]	<i>Power of luminance efficiency</i>	[lm/W]

表 1-3 輻射與光度測定的名稱與比較

對有機太陽能電池的量測，我們應該測量在黑暗與明亮時的電流與電壓曲線。如果在黑暗中的量測，得到的暗電流曲線如同二極體一般。如果在明亮中的量測，找到在 IV 曲線下最大功率點與利用式(6)(8)(9)估計元件的效率。此 IV 曲線的量測是使用 Keithley 2400 能源量測單位。太陽能模擬者使用的是 AM1.5G 從 Newport Power Supply 69907 的 150 瓦氙燈 6255，這樣的照明強度為 1 sun (100 mW/cm<sup>2</sup>)。這是模擬所貫用的 Newport Power Meter Model 1918-C 之測定。

#### 1-4 陽極與陰極的材質

有機光伏電池的陽極材料是導電層，幾乎被限定要好的導電率、好的化學穩定性以及在電洞注入的材質中的 HOMO 能量等級有匹配的功函數。另一個重要的條件是在可見光的部份要有高透明度的品質。陽極的材質被分類在透明導電的氧化物(TCO)與現有的金屬。前面的

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

部份如氧化銦錫(ITO)、氧化鋅(ZnO)、氧化鋁鋅(AZO)，而後面的部份為厚度小於 15 nm[16-17]的高功函數薄膜，如鎳(Ni)、金(Au)、鉑(Pt)。

我們寬泛的使用氧化銦錫(ITO)當作有機光伏電池之陽極，它有穩定約 4.5~4.8eV 的功函數與非常高的導電率，並且是現有的材料。為了達到較好的電洞注入的能力，我們可以試著在陽極的表面上做一些處理，如紫外臭氧處理或用去離子水沖洗，如此可以減少碳和剩餘的氫的影響且改善功函數從 4.5eV 為 5.0eV。由於功函數的上升，我們有較高的電洞注入從陽極表面到有機層接面的機率[19-23]。

有機光伏電池的陰極材料，實際的應用性是低功函數而高抗腐蝕性的，如銀(Ag)與鋁(Al)的合金。因為以銀為陰極很容易穿過有機材質，所以我們選擇鋁為元件的陰極。

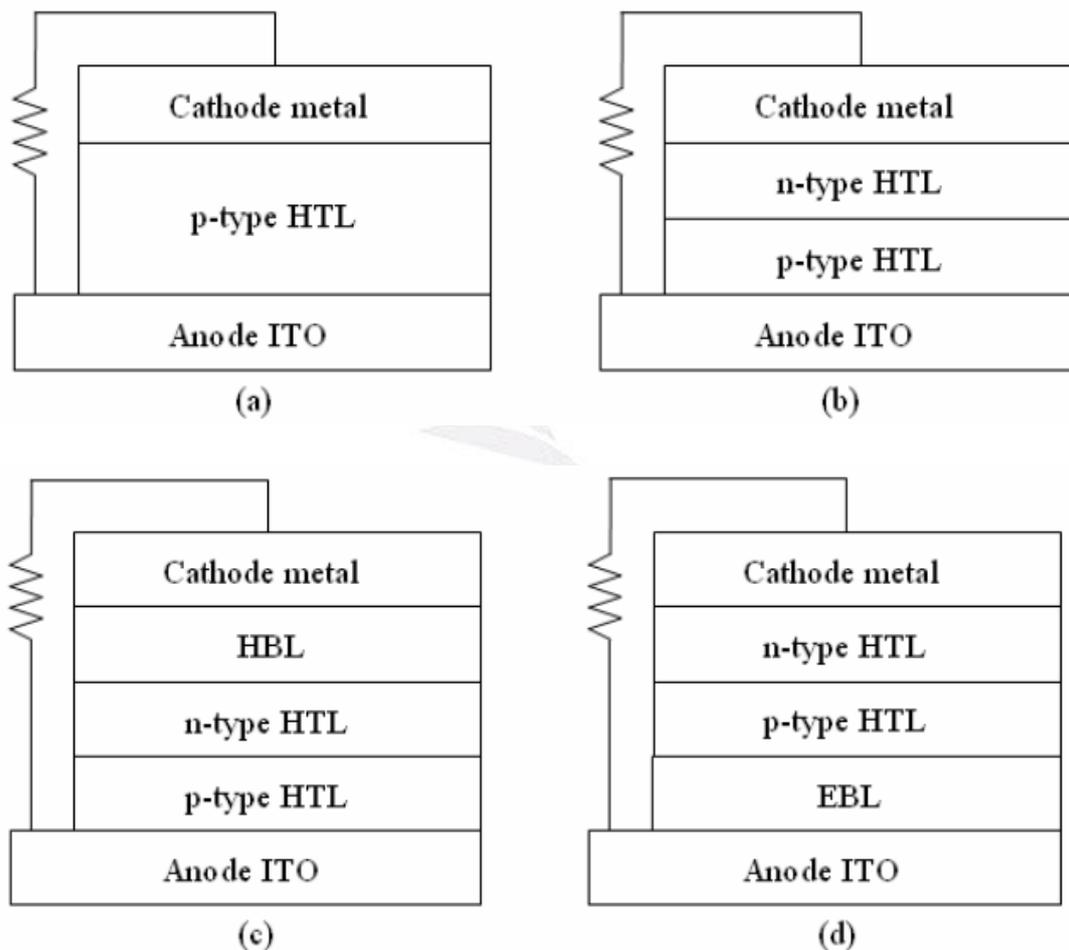
## 1-5 有機光伏元件的設計

有機光伏電池的結構分為單一層與多層結構，如圖.1-5。圖.1-5(a)是基板以上的依序為陽極、p 型電洞傳輸層(HTL)、陰極以及它傳統的單一層蕭特基有機光伏電池。為了增加激子轉換為電子與電洞的速度，加入了 n 型電子傳輸層(ETL)，如圖.1-5(b)。若我們要有最佳的發光效率，我們可以在陰極與電子傳輸層(ETL)之間加入電洞阻隔層(HBL)，如圖.1-5(c)。相對的，我們也可以在陽極與電洞傳輸層(HTL)

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

之間加入電子阻隔層(EBL)，如圖.1-5(d)[24-25]。

在極薄的有機層，激子的擴散長度通常會延伸到約 10~40 nm [9, 26-28]，且復合區會接近在以電子和電洞的遷移率為主的兩層之間的介面。為了減少復合區的抵補效應，如圖.1-5(e)，我們可以將電洞傳輸層與電子傳輸層混合在一起當成一個大的異質接面層。最後，為了得到更穩定且更高品質的發光效率，我們加入了電洞傳輸層與電子傳輸層在陽極與陰極的旁邊，如圖.1-5(f)[29-31]。



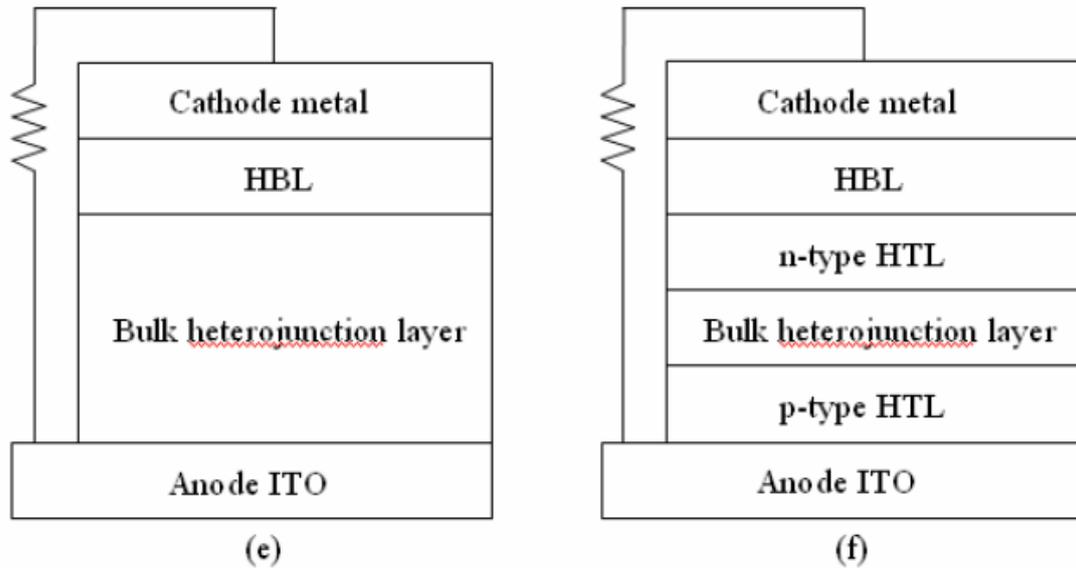
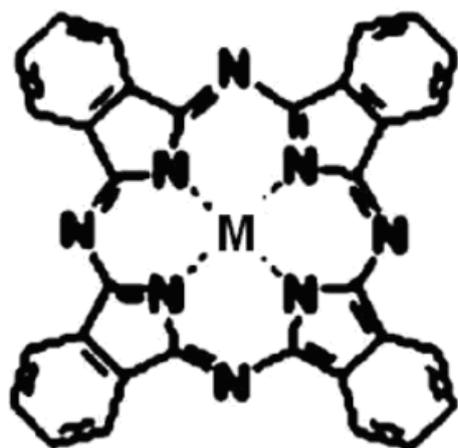


圖.1-5 所有 OPV cells 的元件結構

## 1-6 p-n 接面有機光伏電池

近年來，高效率 p-n 接面有機光伏電池(OPV cells)已經有主要的重要性，例如：p-n 接面有機光伏電池的結構類似於 氧化銦錫(ITO)/p 型電洞傳輸層(HTL)/n 型電子傳輸層(ETL)/BCP(10nm)/鋁(100 nm)。電洞傳輸層與電子傳輸層之差異在於有機分子的合成，如 MPcs 對於電洞傳輸層，m-MTDATA、MePTCD1、C60 對於電子傳輸層[32-34]。

從圖.1-6.1 與圖.1-6.2，我們仔細考慮了電洞的遷移率、激子擴散長度、元件的轉換效率以及 MPcs 系統有機材料的吸收力。CuPc 有最好的電洞遷移率、激子擴散長度與 p-n 接面有機光伏電池的結構。研究效率大的 p-n 接面有機光伏電池時，我們可以試著提高吸收力、載子遷移率與激子在有機材質的擴散長度而得到高效率的有機光伏電池[35]。



M = Cu, Zn,  
H<sub>2</sub>, Fe,  
Co, Ni

圖.1-6.1 MPcs 系統的分子結構

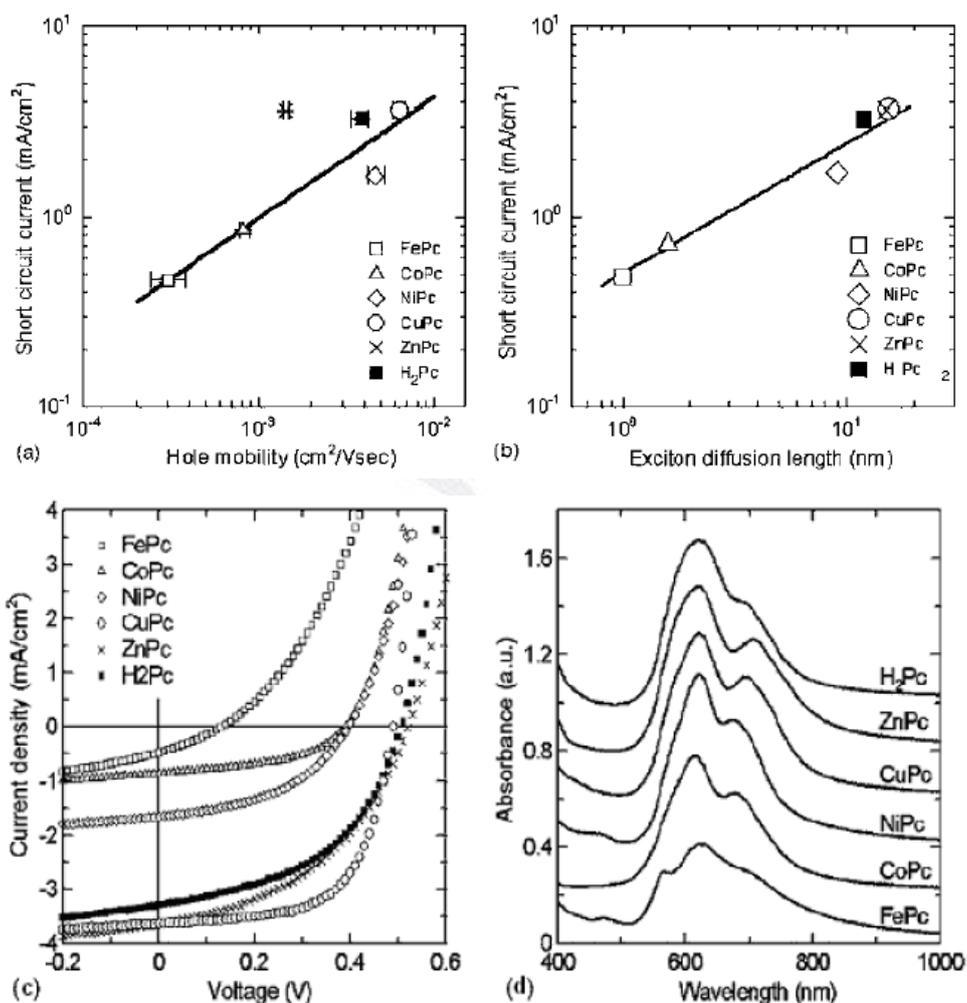


圖.1-6.2 MPcs 系統的電洞遷移率、激子擴散長度、元件效

率與吸收能力

## 第二章 有機太陽能電池製程

### 2-1 元件製程步驟

為了元件的形式，我們使用標準的黃光法與濕蝕刻方法。在有機薄膜成長在氧化銦錫(ITO)玻璃基板之前，為了水的精純，必須在丙酮裡以超音波振動器小心的清潔氧化銦錫玻璃基板，以去離子水沖洗再用高潔淨的氮氣吹乾。以下是製程的四個步驟：

- (1) 預洗(pre-clean)氧化銦錫玻璃基板。
- (2) 氧化銦錫的蝕刻。
- (3) 紫外臭氧處理。
- (4) 有機的熱蒸鍍。

### 2-2 預洗氧化銦錫玻璃基板

由於玻璃基板與透明導電的氧化物 ITO，應該在樣品上標註以便分辨 ITO 在哪個表面，其表面的阻值約  $15\Omega$ 。首先將 ITO 玻璃基板浸在異丙醇(IPA)且以超音波振動器振動，然後放入丙酮且以超音波振動器振動，再來放入甲醇中振動，最後是放入去離子水中振動，然後以高潔淨的氮氣吹走表面的有機溶液，再置入  $120^{\circ}\text{C}$  的烤箱使水蒸發。

## 2-3 氧化銦錫的蝕刻

在上述的步驟後，我們使用標準的黃光法使陽極與陰極在氧化銦錫表面為有機體，然後在 60°C 的熱溶液中蝕刻 30 秒，去除用不到的氧化銦錫。其中使用的溶液是以兩次蒸餾的去離子水與 37~38% 的鹽酸以體積 7:3 而成。最後我們重做一樣的預洗步驟去除 ITO 表面的光阻。

在蝕刻粗糙的 ITO 表面時必須小心，注意濃度、溫度、蝕刻的時間，且要避免電子因時間過長而注入所造成在發光區出現黑色斑點。不使此情形發生的方法是用更平滑的 ITO 表面與減少表面上的有機粒子。

## 2-4 紫外臭氧處理(UV Ozone Treatment)

我們不使用氧氣等離子體，使用 UV Ozone 潔淨機除去 ITO 表面的有機粒子與改善 ITO 的粗糙表面，在不同的 UV Ozone treatment 時間中找尋 ITO 表面的最佳粗糙度。表 2-3.1 與表 2-3.2 顯示在調變的時間內的粗糙度，圖. 2-3.1(a)~圖. 2-3.1(d)對於表 2-3.1 與圖. 2-3.2(a)~圖. 2-3.2(g)對於表 2-3.2 顯示樣品在很高分辨率的掃描探測顯微鏡(SPM)種類的原子力顯微鏡(AFM)下不同時間的情形。

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

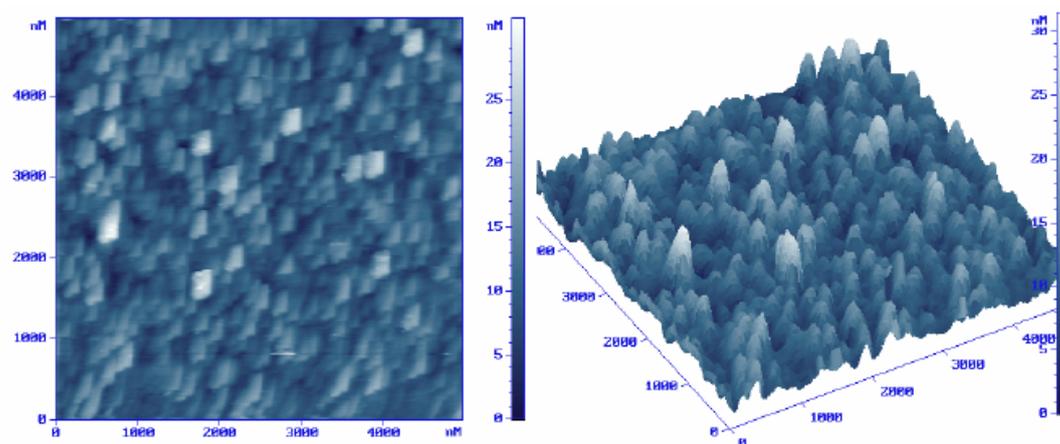
<i>Time of UV ozone treatment</i> (min)	<i>Surface roughness</i> (nm)	<i>Surface RMS</i> (nm)
0	2.762	3.584
10	2.110	2.695
20	2.261	2.871
30	2.605	3.365

表 2-3.1 第一次 UV ozone 下不同時間的 ITO 表面粗糙度

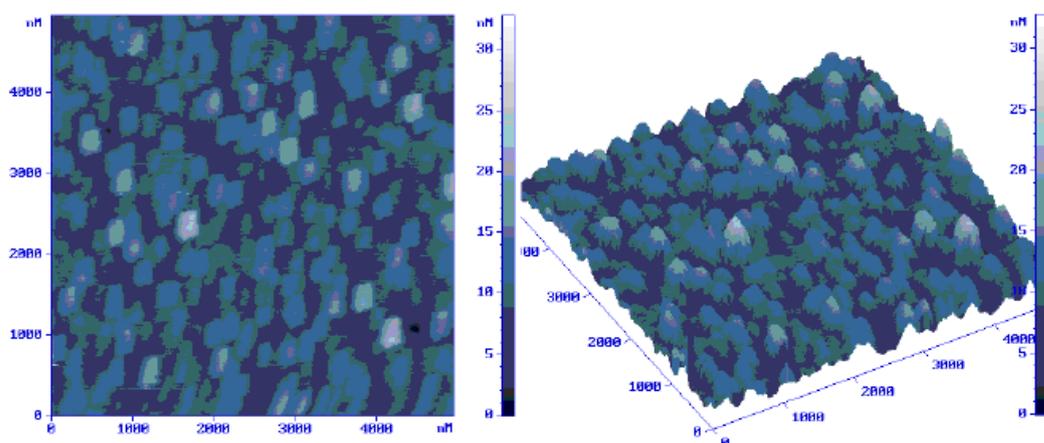
<i>Time of UV ozone treatment</i> (min)	<i>Surface roughness</i> (nm)	<i>Surface RMS</i> (nm)
8	2.444	3.123
10	2.211	2.828
12	2.098	2.532
15	1.803	2.171
18	1.970	2.541
20	2.254	2.816
22	2.404	3.046

表 2-3.2 第二次 UV ozone 下不同時間的 ITO 表面粗糙度

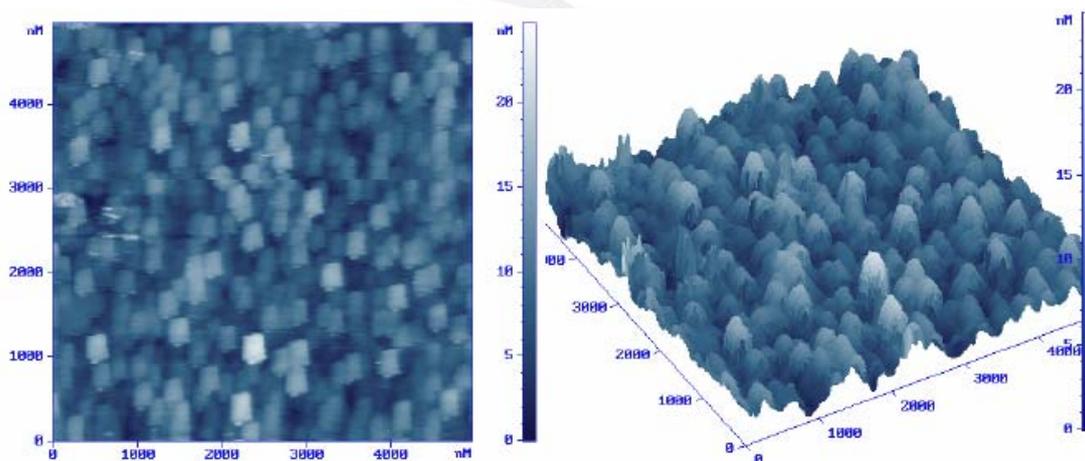
有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善



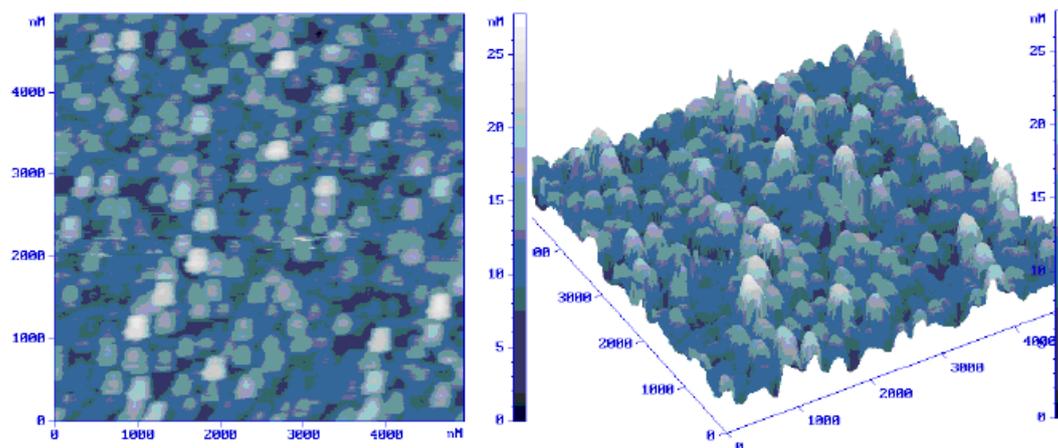
(a) 沒有紫外臭氧處理



(b) 紫外臭氧處理(10 mins)

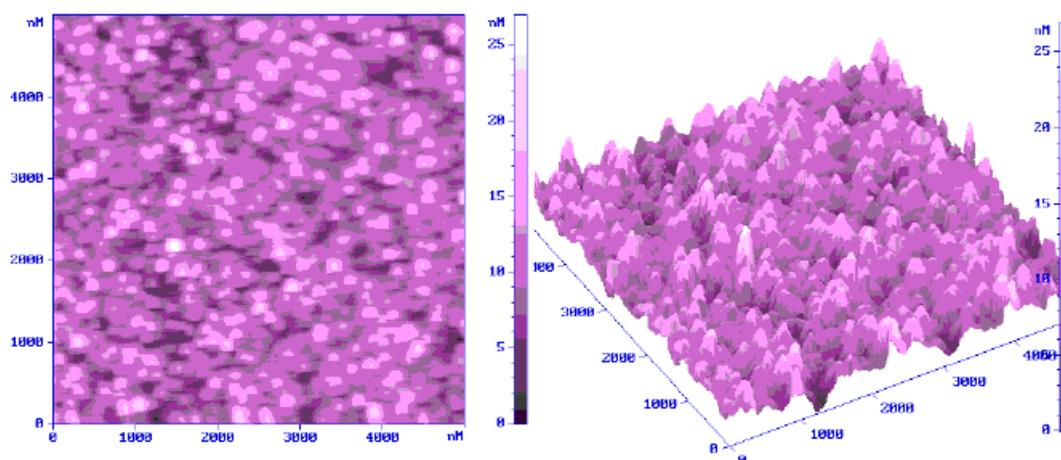


(c) 紫外臭氧處理(20 mins)

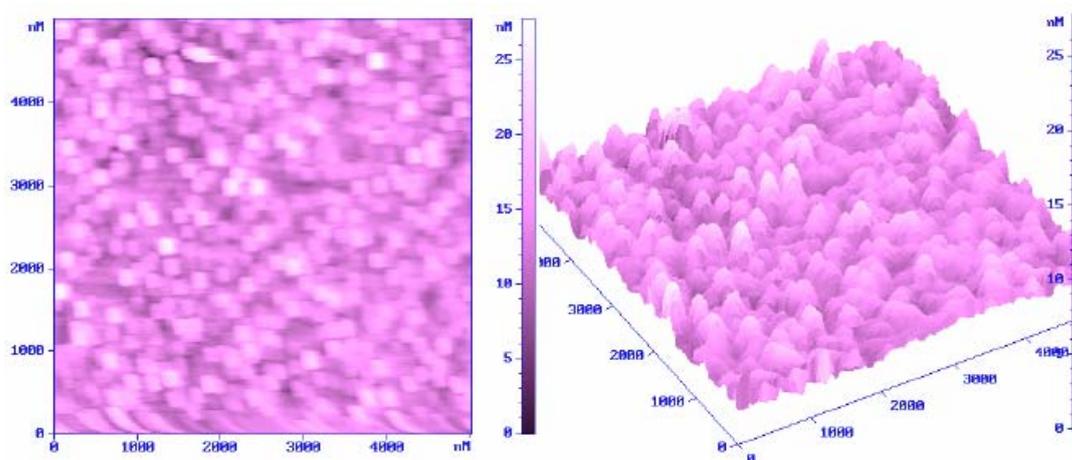


(d) 紫外臭氧處理(30 mins)

圖.2-3.1 第一次原子顯微鏡下的 ITO 表面蝕刻

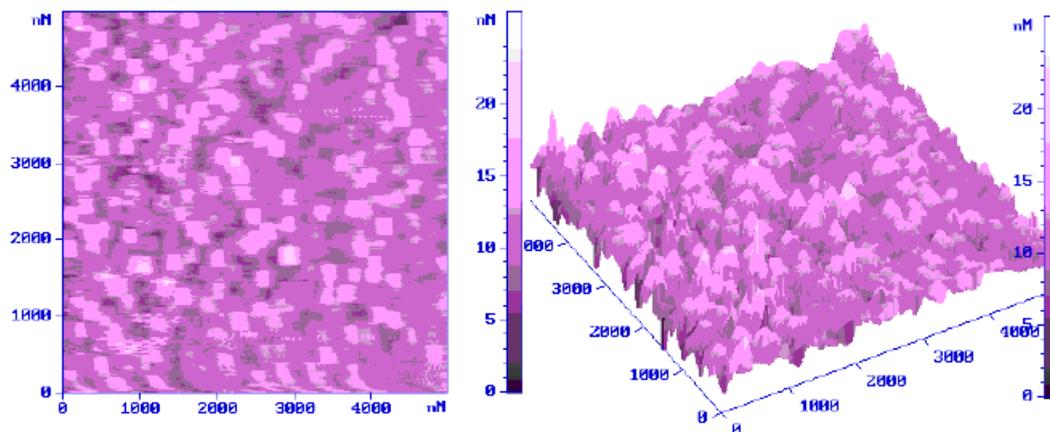


(a) 紫外臭氧處理(8 mins)

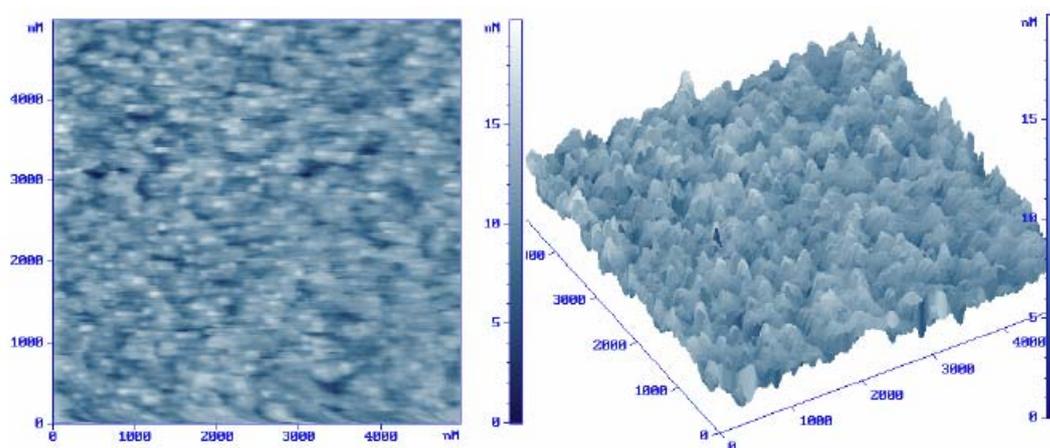


(b) 紫外臭氧處理(10 mins)

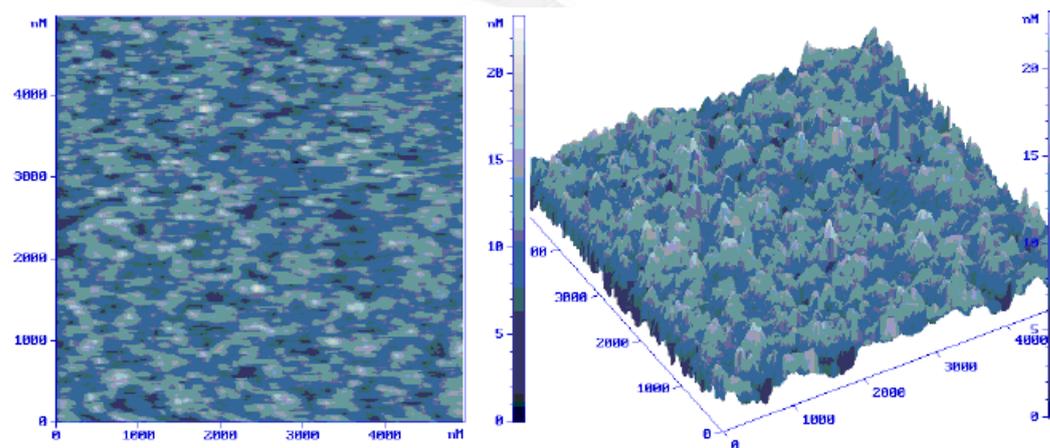
有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善



(c) 紫外臭氧處理(12 mins)

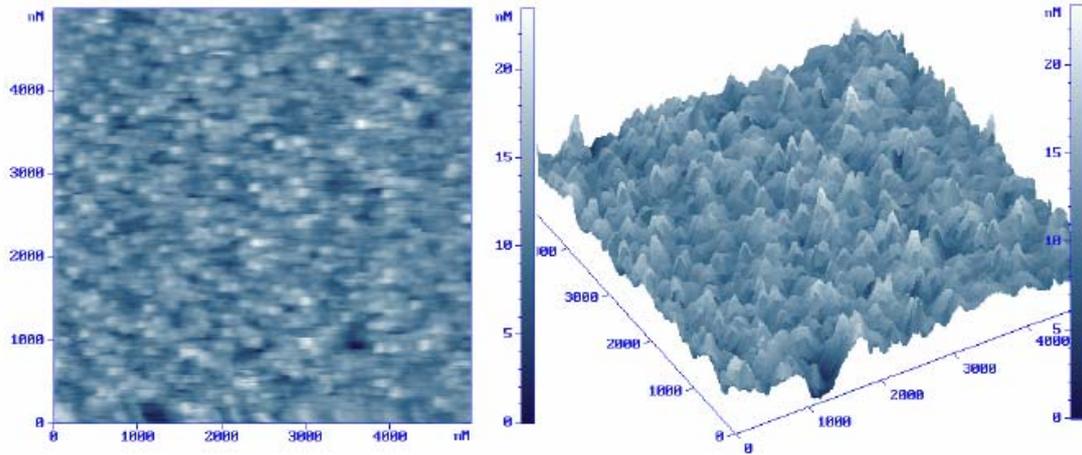


(d) 紫外臭氧處理(15 mins)

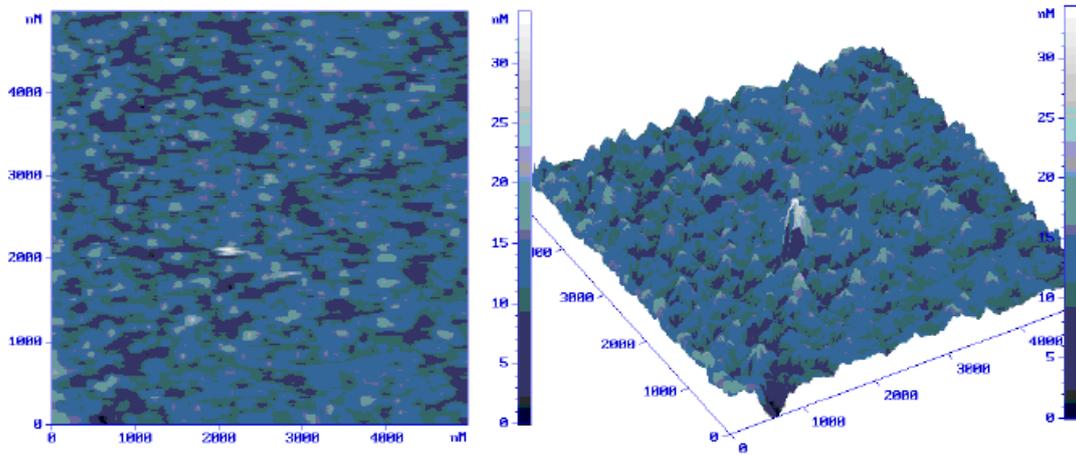


(e) 紫外臭氧處理(18 mins)

## 有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善



(f) 紫外臭氧處理(20 mins)



(g) 紫外臭氧處理(22 mins)

圖.2-3.2 第二次原子顯微鏡下 ITO 表面蝕刻

## 2-5 有機熱蒸鍍

我們選定所需要的有機材料且將它們置入抽成低於 $2 \times 10^{-6}$  torr 的有機熱真空室。從鎢線圈到石英熔鍋加熱並且維持每秒 $0.5 \sim 3 \text{ \AA}$  的蒸鍍速度，如圖.2-4。

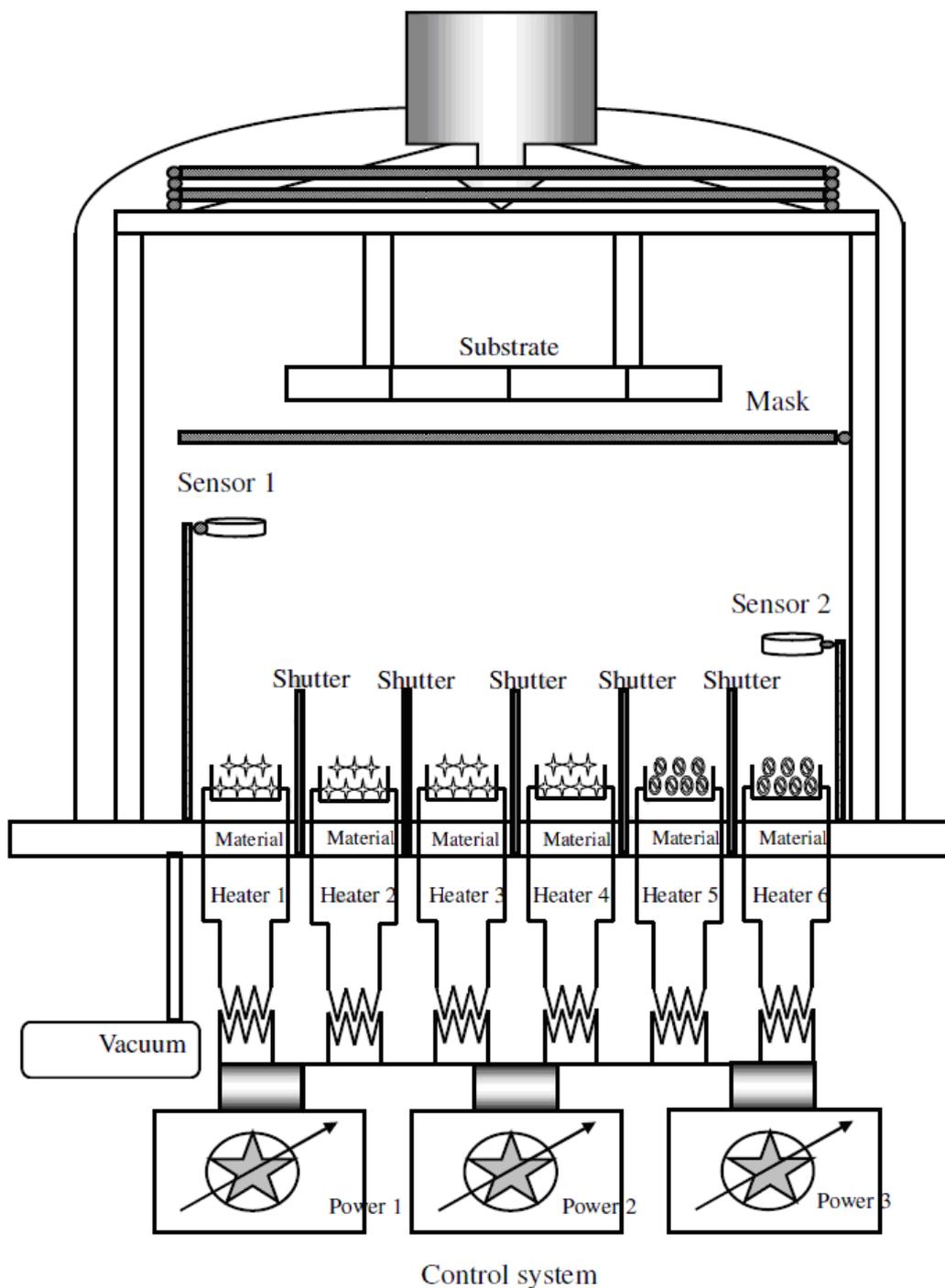


圖. 2-4 高真空度的有機熱蒸鍍系統圖

例如，我們使用杓子選了CuPc, C<sub>60</sub>, BCP, Al, LiF，然後在抽成高度真空前將它們放入石英熔鍋中。通常我們利用關閉物使蒸鍍材料停止直到有穩定的蒸鍍速度。在加速轉片極板後，注意感應器上的

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

薄膜厚度到我們所要的。

有些主題應該仔細考慮，如均勻的薄膜厚度、有機與無機接面的品質以及在更高溫的蒸鍍陰極金屬的有機材質表面。我們應該儘可能的避免那些問題，利用改善真空度、無機表面的粗糙度、高品質陰極金屬的磊晶。



### 第三章 實驗結果

#### 3-1 覆蓋層

我們選定基本的p-n接面有機光伏電池為結構，然後試著使以所有有機材質層的厚度的最佳化效率。主要p-n接面有機光伏電池的結構為ITO/CuPc(20 nm)/ C<sub>60</sub>(40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)，如圖.

3-1.1。

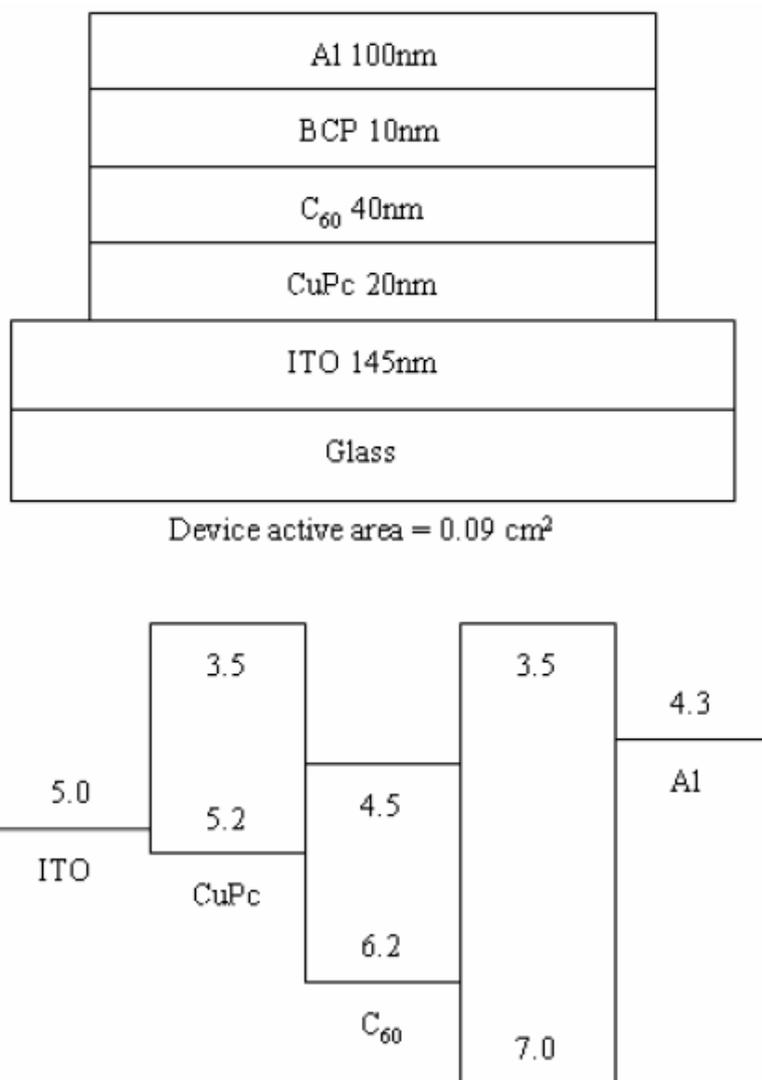


圖. 3-1.1 p-n 接面 OPV cell 的結構

ITO/CuPc(20 nm)/ C<sub>60</sub>(40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)

在量測下，我們發現一個效率下降很快的問題，因為我們的實驗在空氣中，所以猜想有機材料對於環境很敏感。當元件被測量時，模擬的光與I-V量測的單位提供有機材質熱與能量，有機材料在空氣中很容易與濕度和氧氣相互作用。量測的資料如圖.3-1.2與表3-1.1。

<i>Measure</i>	<i>J<sub>sc</sub></i> (mA/cm <sup>2</sup> )	<i>V<sub>oc</sub></i> (V)	<i>FF</i> (%)	<i>η</i> (%)	<i>Increase</i> (%)
<i>1st</i>	<i>3.41</i>	<i>0.22</i>	<i>45.1</i>	<i>0.337</i>	
<i>2nd</i>	<i>2.99</i>	<i>0.14</i>	<i>39.0</i>	<i>0.163</i>	<i>-51.6</i>
<i>3rd</i>	<i>2.60</i>	<i>0.11</i>	<i>38.6</i>	<i>0.109</i>	<i>-67.7</i>

表3-1.1 OPV cell在100 mW/cm<sup>2</sup>下沒有覆蓋層的量測

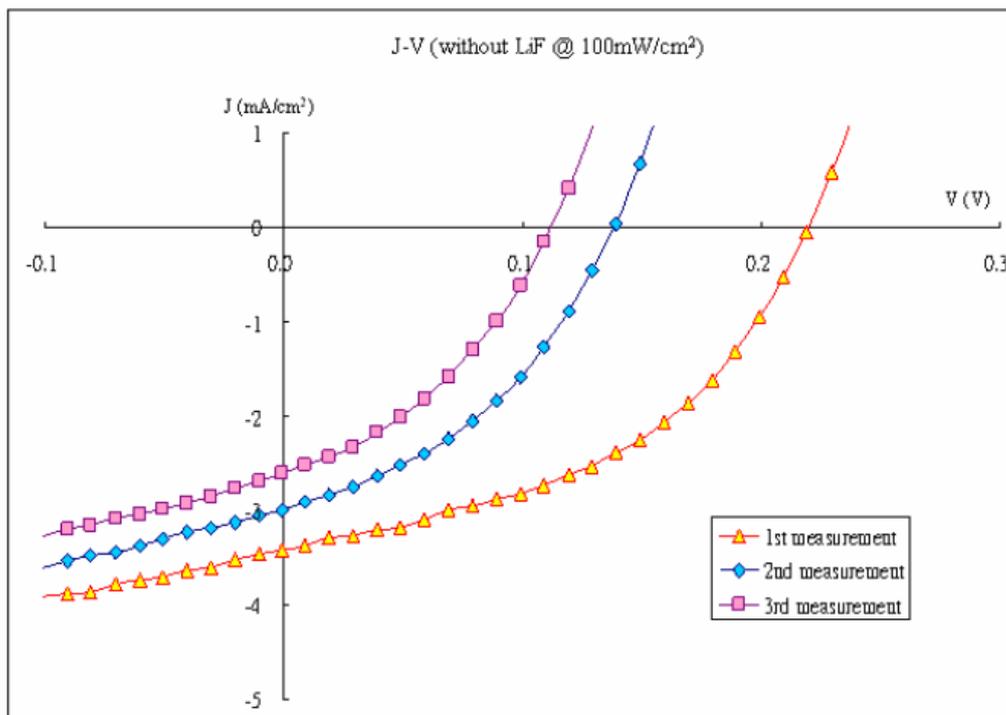


圖. 3-1.2 照度 100 mW/cm<sup>2</sup>下沒有覆蓋層的基本元件特性

ITO/CuPc(20 nm)/ C<sub>60</sub>(40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

我們在陰極上方加入了一個覆蓋層LiF 80 nm去保護有機層來解決這個問題，免於空氣中濕度與氧氣的影響。其量測的結果如圖.3-1.3與表3-1.2。

<i>Measure</i>	<i>J<sub>sc</sub></i> (mA/cm <sup>2</sup> )	<i>V<sub>oc</sub></i> (V)	<i>FF</i> (%)	<i>η</i> (%)	<i>Increase</i> (%)
<i>1st</i>	3.76	0.43	52.0	0.856	
<i>2nd</i>	3.86	0.43	52.9	0.887	+2.5
<i>3rd</i>	3.73	0.44	52.3	0.876	+2.3

表3-1.2 OPV cell在100 mW/cm<sup>2</sup>下有LiF 80 nm的量測

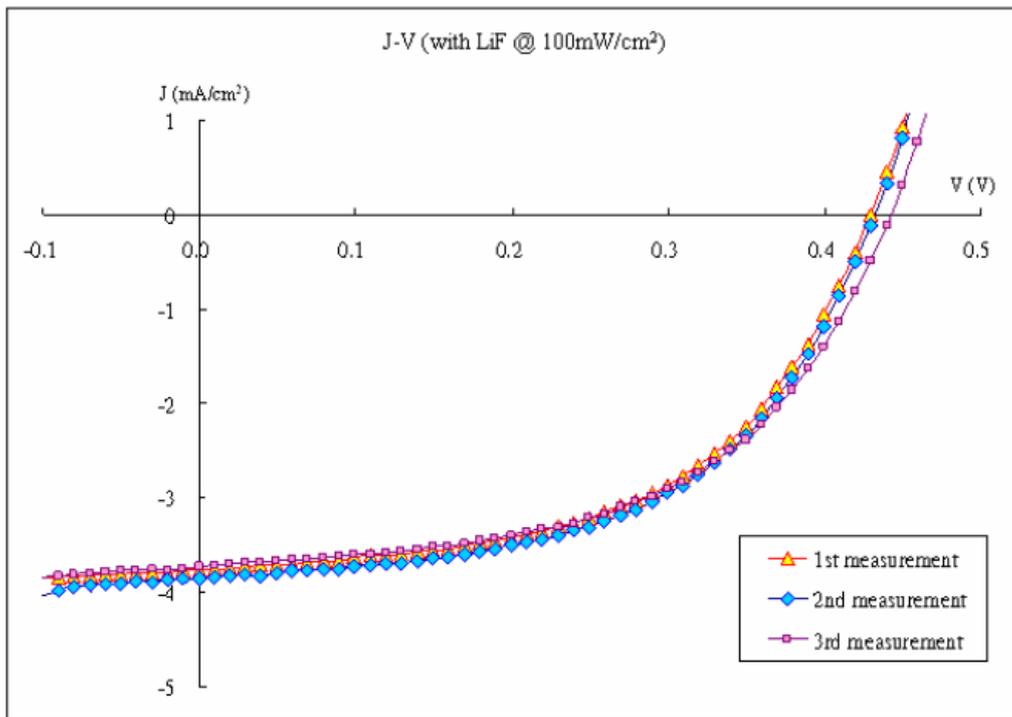


圖.3-1.3 照度 100 mW/cm<sup>2</sup>下有覆蓋層 LiF(80 nm)的元件特性

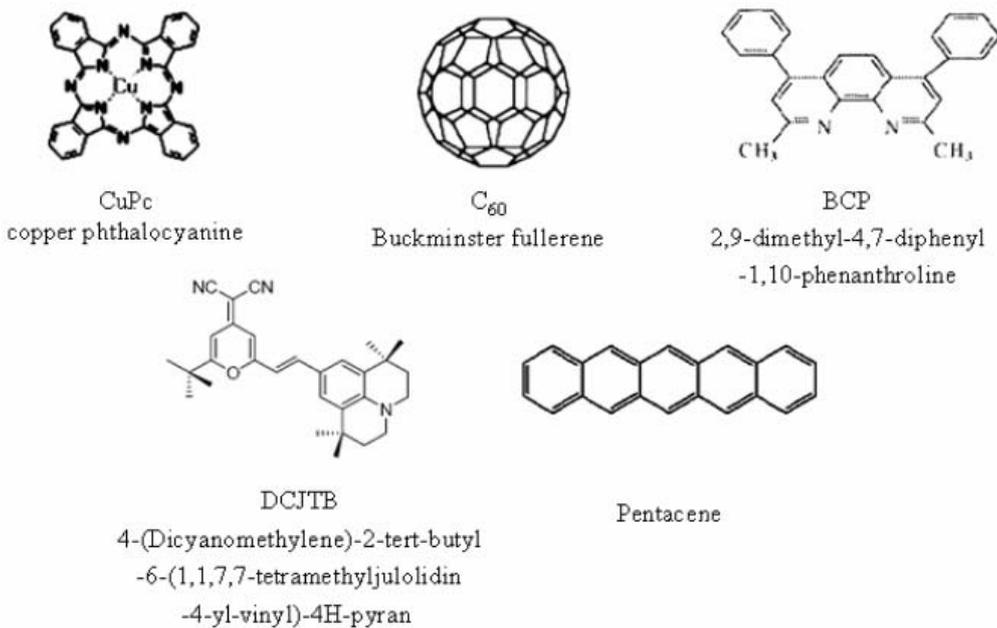
ITO/CuPc(20 nm)/ C<sub>60</sub>(40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

### 3-2 元件的結構

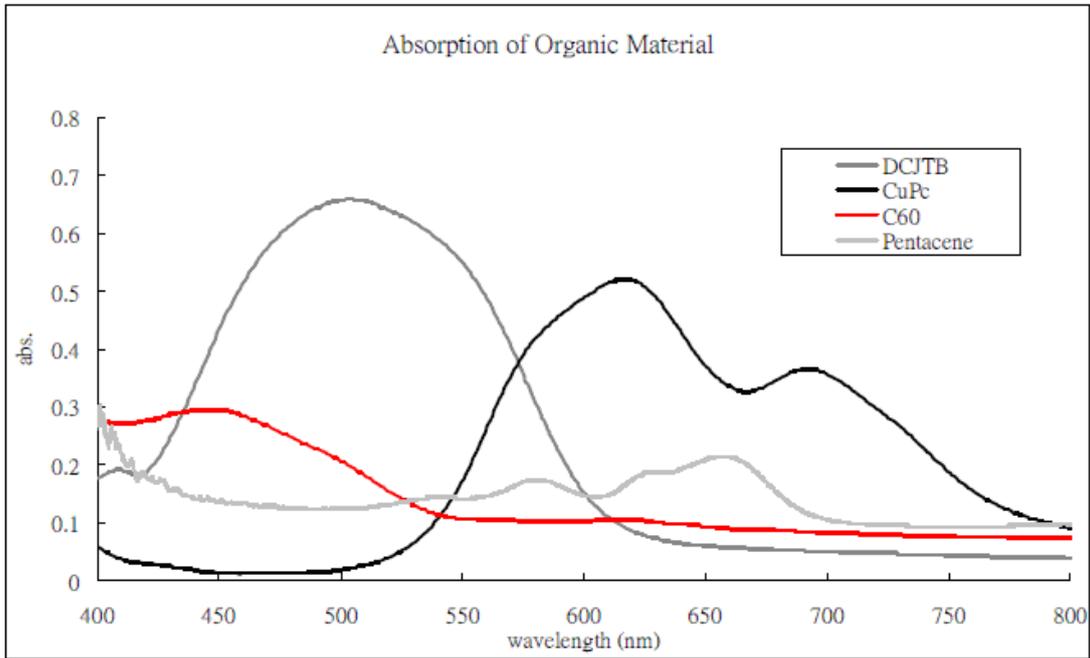
我們在此工作中使用一些有機材料，例如，我們使用了CuPc與pentacene為電洞傳輸層、C<sub>60</sub>為電子傳輸層、BCP為電洞阻隔層以及以DCJTb為摻雜物去增加元件的吸收力。所有有機材料的特性與分子結構如圖. 3-2.1與表3-2。

<i>Material</i>	<i>LUMO</i> (eV)	<i>HOMO</i> (eV)	<i>Mobility</i> (cm <sup>2</sup> /V s)	<i>Exciton diffusion length</i> (nm)
<i>CuPc</i>	3.5	5.2	7.0*10 <sup>-3</sup>	15
<i>Pentacene</i>	3.0	4.9	1.5*10 <sup>0</sup>	65
<i>C60</i>	4.5	6.2	5.0*10 <sup>-1</sup>	40
<i>BCP</i>	3.5	7.0	2.0*10 <sup>-3</sup>	<10
<i>DCJTb</i>	3.0	5.1	~1.0*10 <sup>-6</sup>	<10

表3-2 有機材料的HOMO、LUMO、載子遷移率與激子擴散長度



(a) 有機材料的分子結構



(b) 有機材質的吸收度

圖. 3-2.1 有機材質的吸收能力與分子結構

首先使用厚度10 nm的BCP、100 nm的Al以及80 nm的覆蓋層彼此匹配，然後調整CuPc和C<sub>60</sub>的厚度。這樣元件的結構為ITO/CuPc(x nm)/C<sub>60</sub>(y nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)，如圖. 3-2.2。

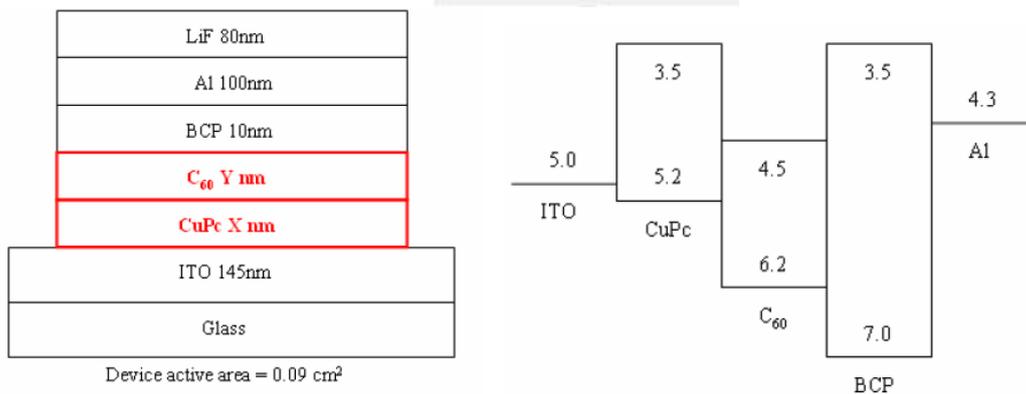


圖. 3-2.2 ITO/CuPc(x nm)/ C<sub>60</sub>(y nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)  
/LiF(80 nm)

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

然後，我們摻雜有機材料來增加元件的吸收力與提高有機材質的載子遷移率。為了增加元件吸收力，我們摻雜4-(Dicyanomethylene)-2-tert-butyl-6-(1,1,7,7-tetramethyljulolidin-4-yl-vinyl)-4H-pyran(DCJTБ)來得到最高的效率。我們調整DCJTБ在CuPc層的濃度，但結果並不理想。估計DCJTБ使得載子傳輸到陽極與陰極的遷移率太低。此增加有機光伏電池吸收力的結構為ITO/CuPc:(z%)DCJTБ(x nm)/C<sub>60</sub>(y nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)，如圖. 3-2. 3。

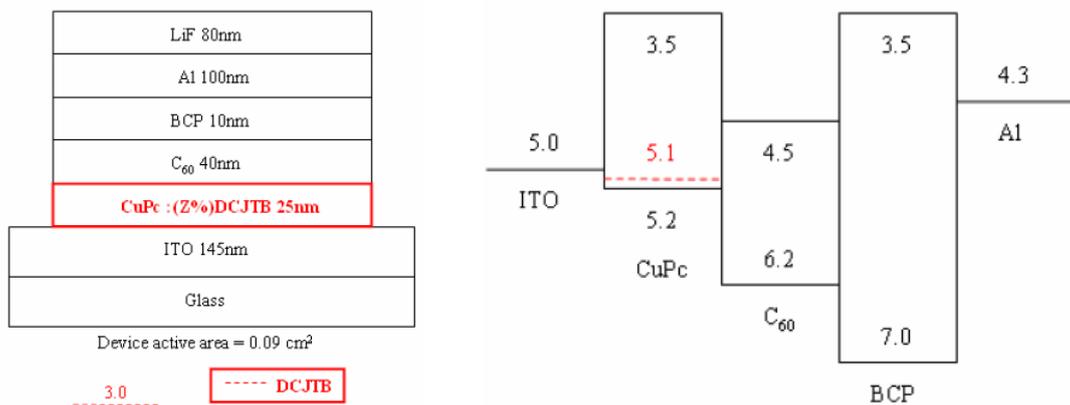


圖. 3-2. 3 ITO/(z%)DCJTБ: CuPc(x nm)/C<sub>60</sub>(y nm)

/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

之後，使用具有高載子遷移率的材料pentacene來增加CuPc的載子遷移率，調整CuPc裡pentacene的濃度並且得到一個好的結果。此增加電洞傳輸層(HTL)載子遷移率的結構為ITO/(s%)pentacene:CuPc(x nm)/C<sub>60</sub>(y nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)，如圖. 3-2. 4。

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

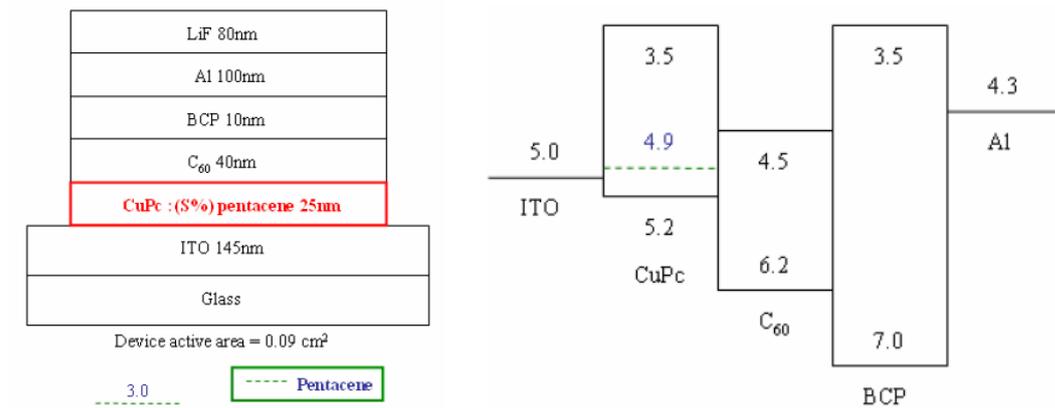


圖. 3-2. 4 ITO/(w%)pentacene:CuPc(x nm)/ C<sub>60</sub>(y nm)  
/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

最後在CuPc與C<sub>60</sub>之間加入一個非常薄的覆蓋層(DCJTb)來提高吸收力。這樣元件的結構為ITO/(s%)pentacene:CuPc(x nm)/DCJTb(l nm)/ C<sub>60</sub>(y nm)/BCP(10nm)/Al(100nm)/LiF(80nm)，如圖. 3-2. 5。

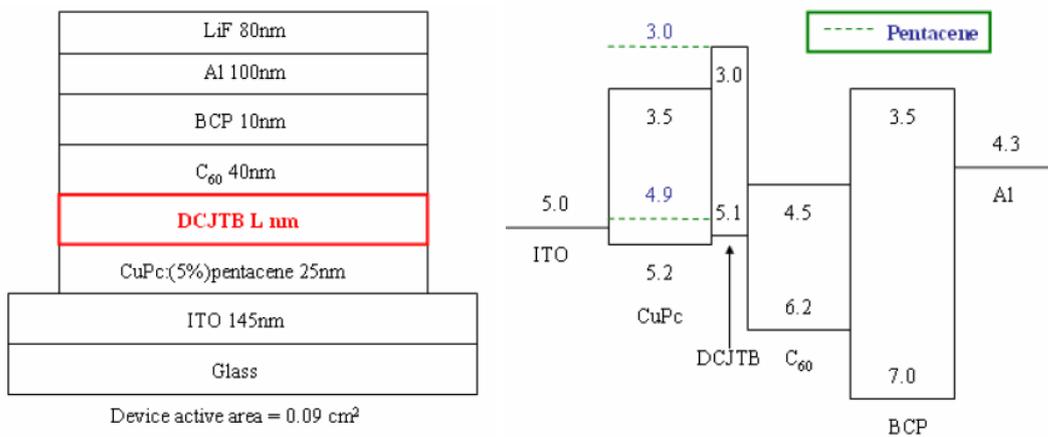


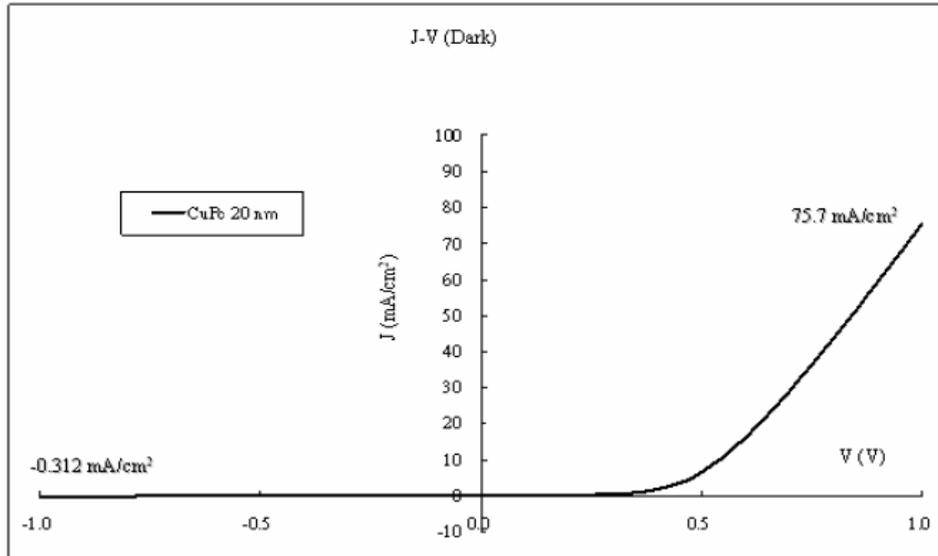
圖. 3-2. 5 ITO/(w%)pentacene:CuPc(x nm)/DCJTb(s nm)  
C<sub>60</sub>(y nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

3-3 CuPc厚度的調整(x nm)

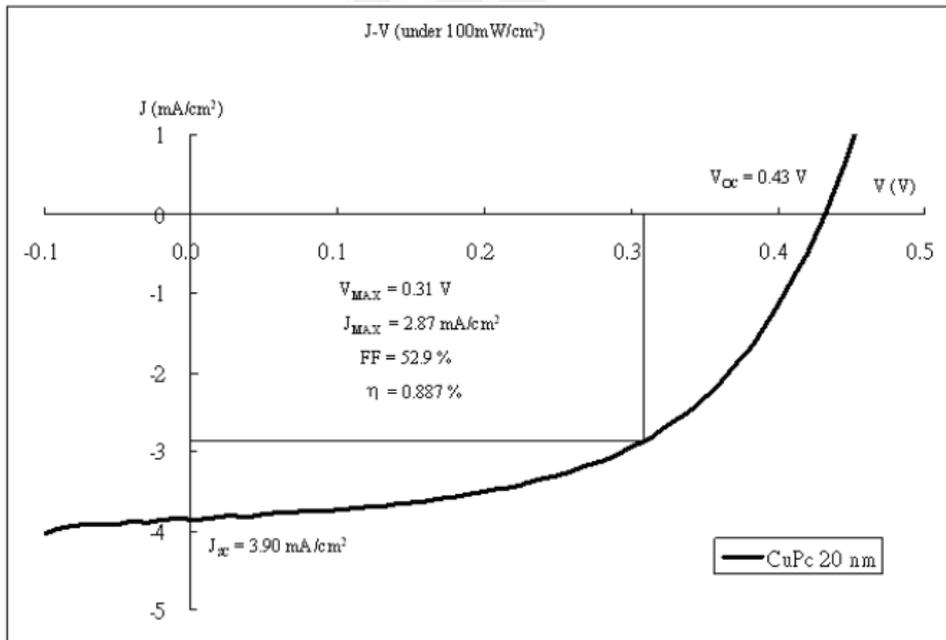
先試著使用厚度為20 nm的CuPc薄膜與固定厚度為40 nm的C<sub>60</sub>，然後量測黑暗時與100 mW/cm<sup>2</sup> by Keithley 2400明亮時外加電壓從-1

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

伏特到1伏特的結果。確定短路電流為 $3.90(\text{mA}/\text{cm}^2)$ 、開路電壓為 $0.43(\text{V})$ 、填充因子為 $52.9\%$ 以及最大效率為 $0.887\%$ ，如圖. 3-3. 1。



(a) 黑暗中J-V特性曲線



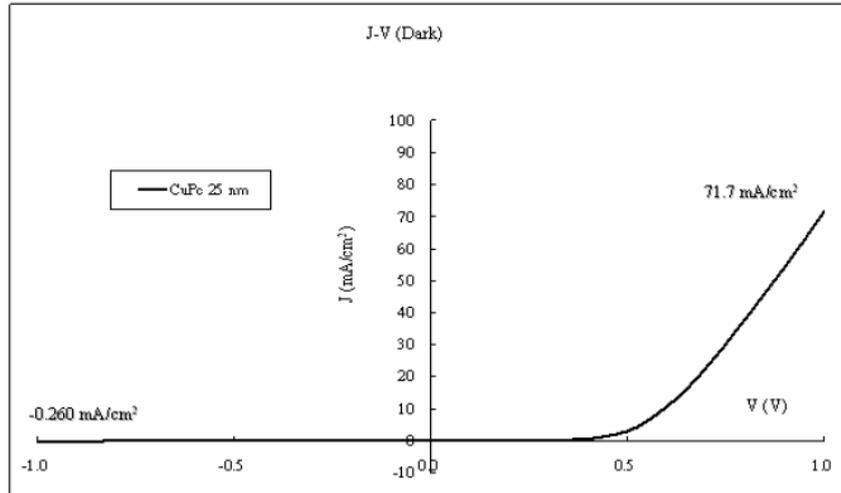
(b) 照度 $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  中J-V特性曲線

圖. 3-3. 1 元件 1 在暗與照光  $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  的 J-V 特性曲線

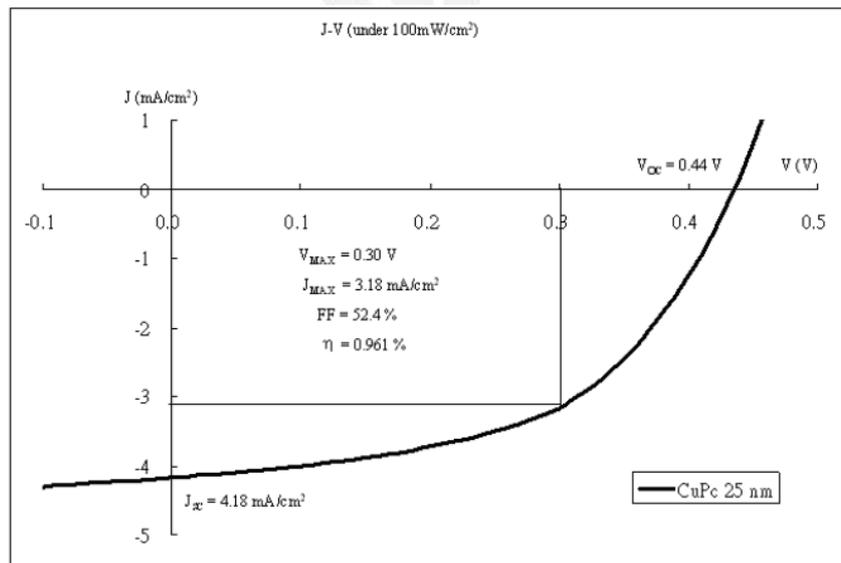
ITO/CuPc(20 nm)/C<sub>60</sub>(40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

然後，使用厚度為25 nm的CuPc而且得到此元件的最高效率，短路電流為 $4.18(\text{mA}/\text{cm}^2)$ ，開路電壓為 $0.44(\text{V})$ ，填充因子為 $52.3\%$ ，最大效率為 $0.961\%$ ，如圖.3-3.2。



(a) 黑暗中J-V特性曲線



(b) 照度 $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  中J-V特性曲線

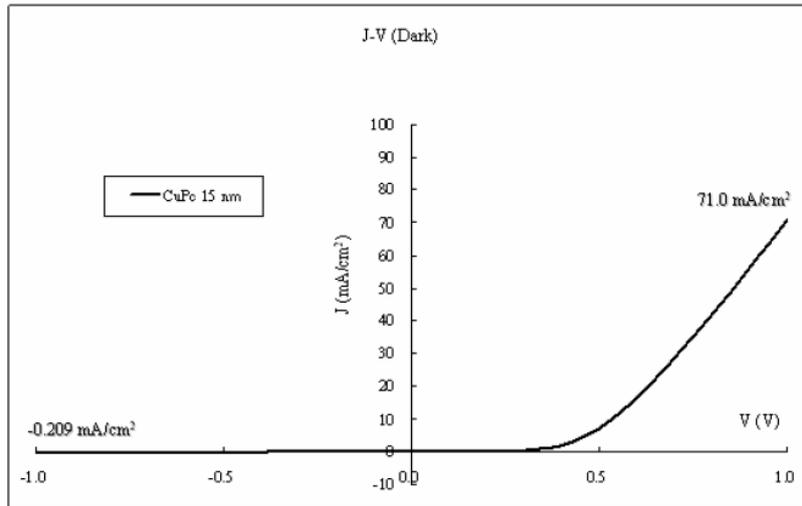
圖.3-3.2 元件2 在暗與照光  $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  的 J-V 特性曲線

ITO/CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF

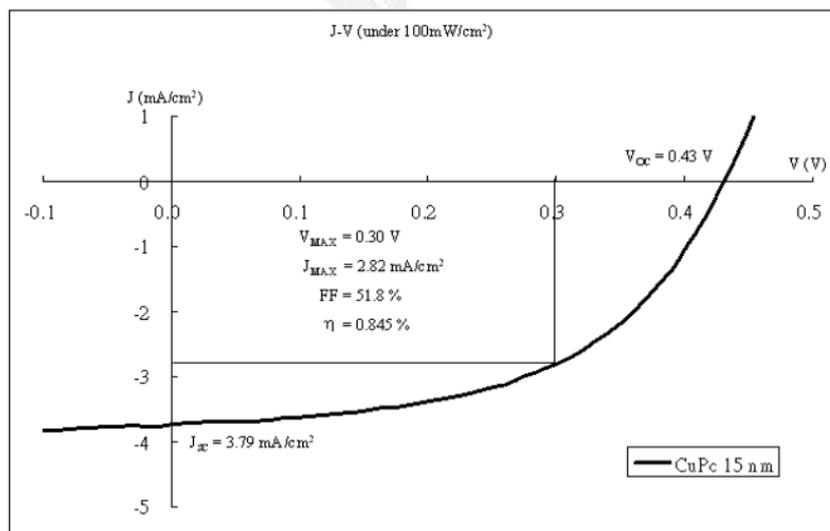
(80 nm)

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

再量測其他厚度如 15 nm 與 30 nm，但無法得到更好的結果，所以就使用 25 nm 厚度的 CuPc 薄膜。在使用 15 nm 厚度的薄膜時，得到的短路電流為  $3.79 \text{ mA/cm}^2$ ，開路電壓為  $0.43 \text{ V}$ ，填充因子為 51.8% 以及最大效率為 0.845%，如圖. 3-3.3。



(a) 黑暗中 J-V 特性曲線



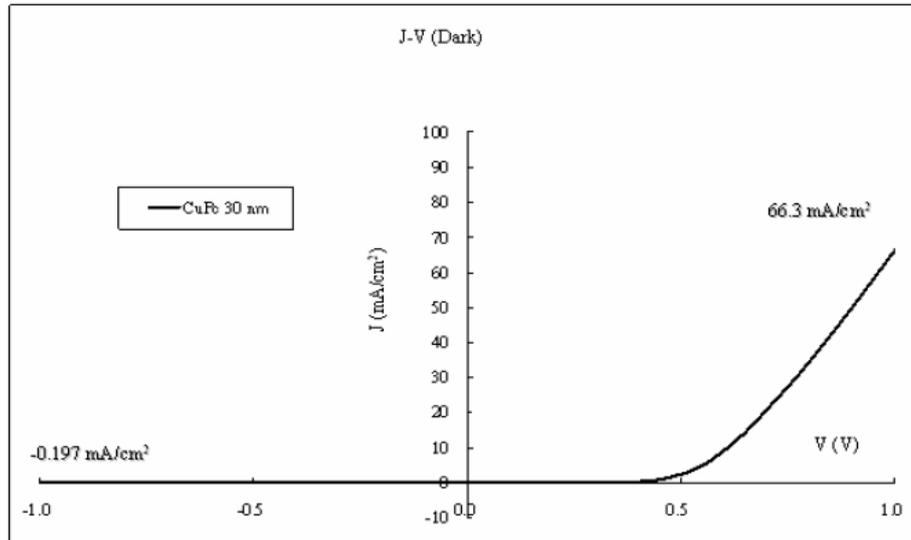
(b) 照度  $100 \text{ mW/cm}^2$  中 J-V 特性曲線

圖. 3-3.3 元件 3 在暗與照光  $100 \text{ mW/cm}^2$  的 J-V 特性曲線

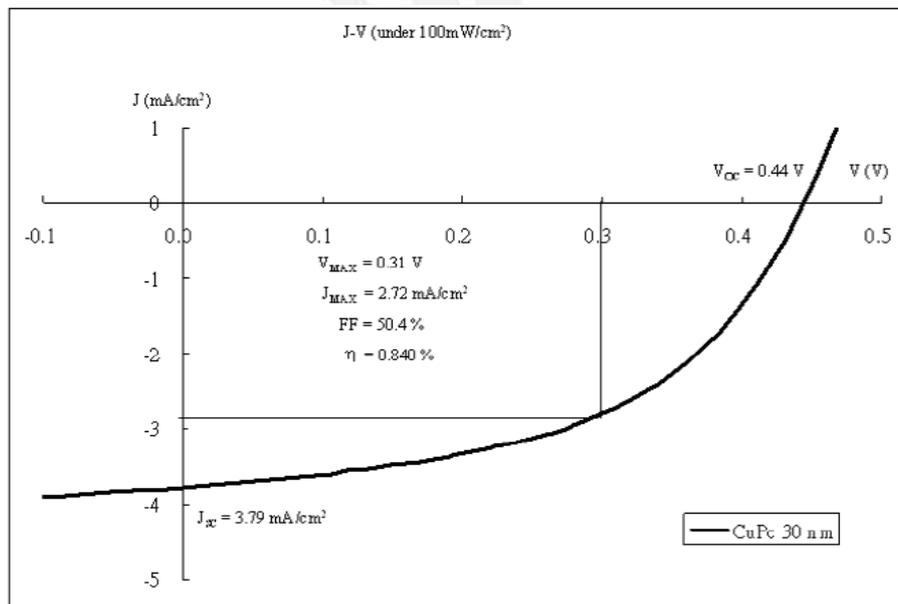
ITO/CuPc(15 nm)/C<sub>60</sub>(40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

在厚度為 30 nm 的薄膜所得到的結果為短路電流  $3.79 \text{ mA/cm}^2$ ，  
開路電壓  $0.44 \text{ V}$ ，填充因子  $50.4\%$  以及最大效率  $0.840\%$ ，如圖. 3-3.4。



(a) 黑暗中 J-V 特性曲線



(b) 照度  $100 \text{ mW/cm}^2$  中 J-V 特性曲線

圖. 3-3.4 元件 4 在暗與照光  $100 \text{ mW/cm}^2$  的 J-V 特性曲線

ITO/CuPc(30 nm)/C<sub>60</sub>(40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

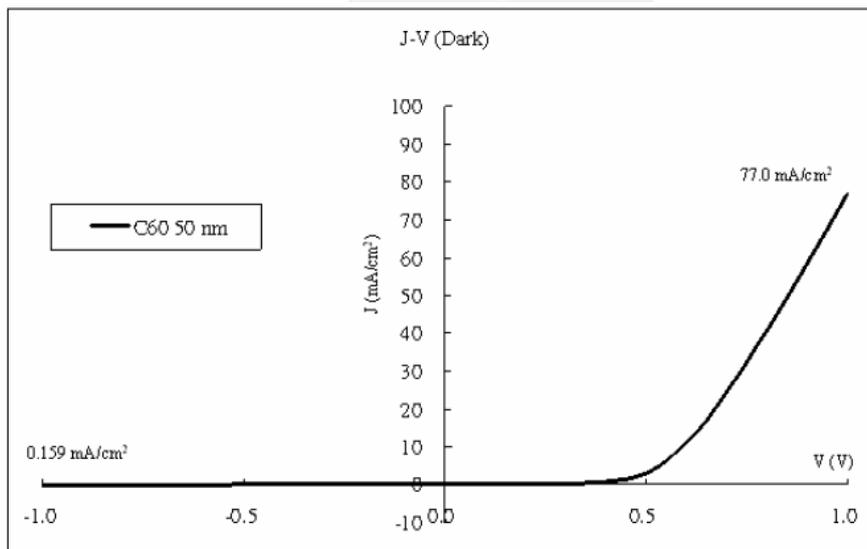
我們發現CuPc在25 nm時表現出較好的特性，整理如表3-3。

CuPc depth (nm)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF (%)	$\eta$ (%)
15	3.79	0.43	51.8	0.845
20	3.90	0.43	52.9	0.887
25	4.18	0.44	52.3	0.961
30	3.79	0.44	50.4	0.840

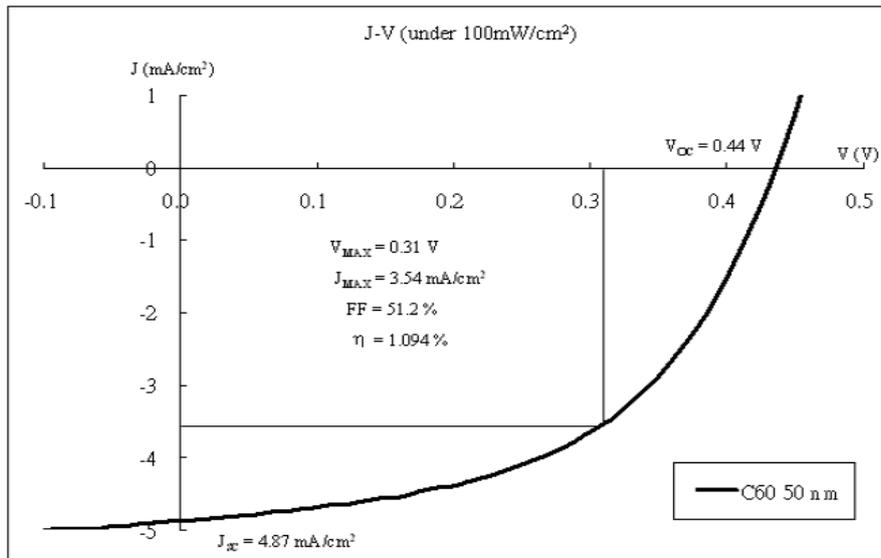
表3-3 不同CuPc薄膜厚度時的OPV cell性能

### 3-4 C<sub>60</sub>厚度的調整(y nm)(x=25 nm)

在3-3中，我們量測的元件結構為ITO/CuPc(25 nm)/ C<sub>60</sub>(40 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)。我們改變C<sub>60</sub>的厚度為50 nm且固定CuPc薄膜的厚度為25 nm，得到此元件的最高效率，短路電流為4.78(mA/cm<sup>2</sup>)，開路電壓為0.44(V)，填充因子為51.2%以及最大效率為1.094%，如圖.3-4.1。



(a) 黑暗中J-V特性曲線

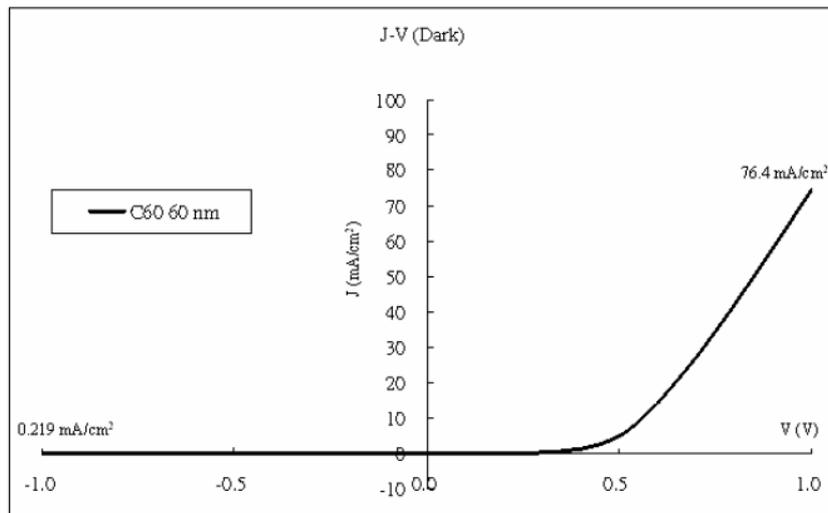


(b) 照度100 mW/cm<sup>2</sup> 中J-V特性曲線

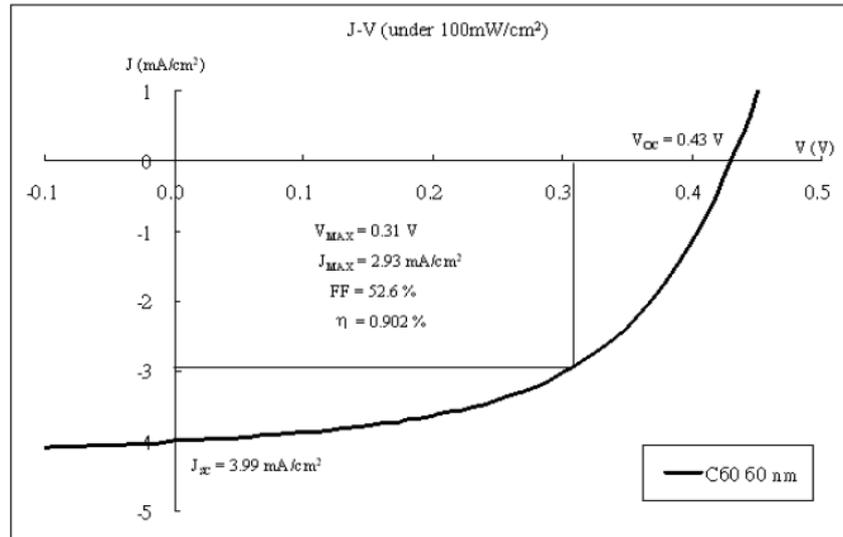
圖. 3-4.1 元件 1 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線

ITO/CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

然後再試C<sub>60</sub> 其他厚度如60 nm，但無法得到比厚度50 nm更好的結果。在C<sub>60</sub> 薄度厚度為60 nm時，得到的短路電流為3.99(mA/cm<sup>2</sup>)，開路電壓為0.43(V)，填充因子為52.6%以及最大效率為0.902%，如圖. 3-4.2。



(a) 黑暗中J-V特性曲線



(b) 照度100 mW/cm<sup>2</sup> 中J-V特性曲線

圖. 3-4. 2 元件 2 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線

ITO/CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(60 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

我們發現在CuPc厚度為25 nm與C<sub>60</sub>厚度為50 nm時，表現出最好的特性，整理如表3-4。

<i>C<sub>60</sub> depth</i> (nm)	<i>J<sub>sc</sub></i> (mA/cm <sup>2</sup> )	<i>V<sub>oc</sub></i> (V)	<i>FF</i> (%)	<i>η</i> (%)
40	4.18	0.44	52.3	0.961
50	4.78	0.44	51.2	1.094
60	3.99	0.43	52.6	0.902

表3-4 不同C<sub>60</sub>薄膜厚度時的OPV cell性能

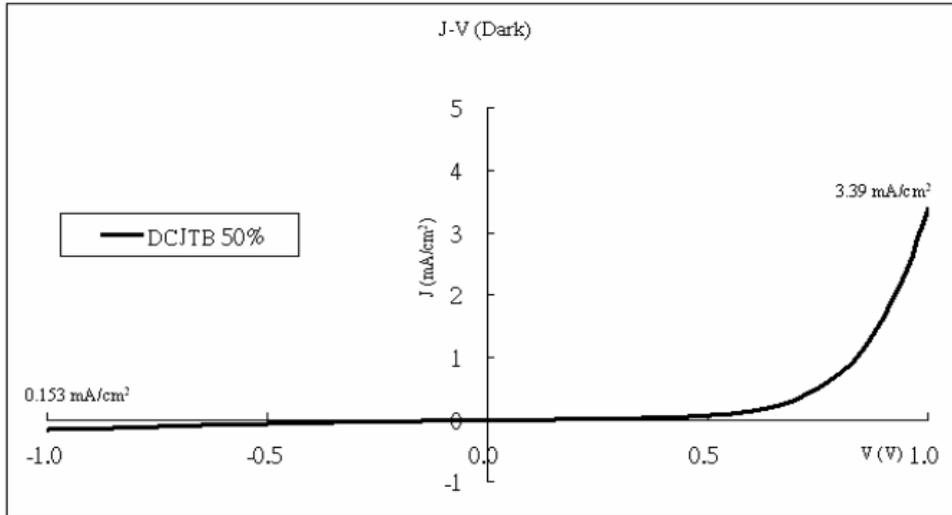
### 3-5 調整DCJTb在CuPc層的濃度

為了使有機光伏電池有高吸收力，我們在3-4討論的最佳結構(CuPc厚度25 nm，C<sub>60</sub>厚度50 nm)中加入DCJTb。我們摻雜wt. 50% DCJTb

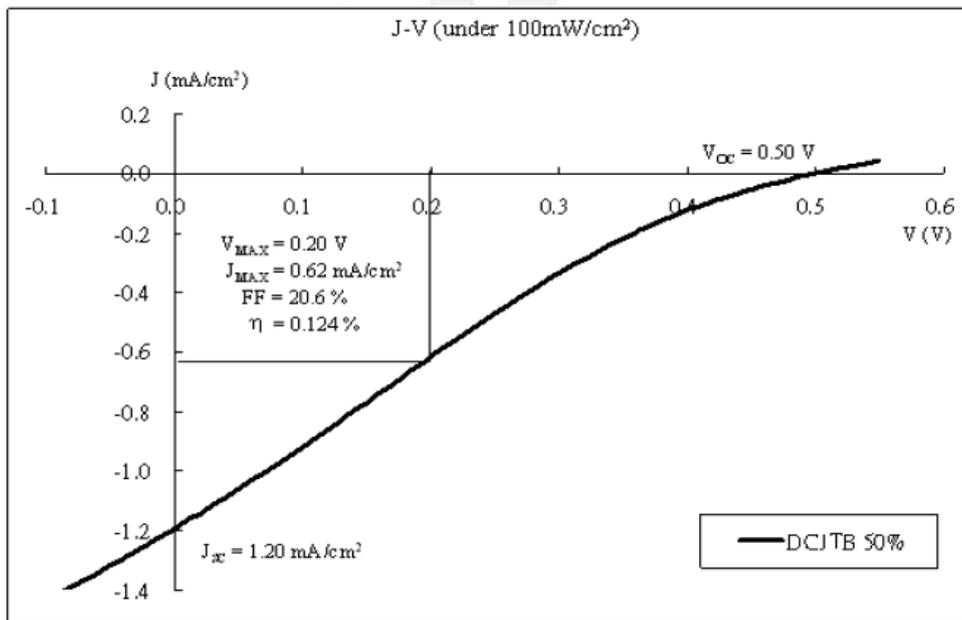
有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

到CuPc層，得到很低的短路電流 $1.2(\text{mA}/\text{cm}^2)$ ，開路電壓為 $0.50(\text{V})$ ，

填充因子為 $20.6\%$ 以及最大效率為 $0.124\%$ ，如圖.3-5.1



(a) 黑暗中J-V特性曲線



(b) 照度 $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  中J-V特性曲線

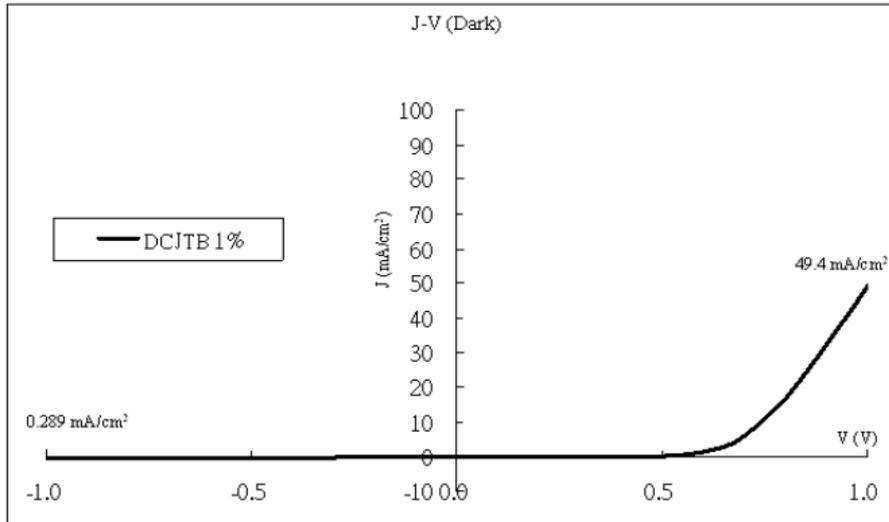
圖.3-5.1 元件1 在暗與照光  $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  的 J-V 特性曲線

ITO/(50%)DCJTb:CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)

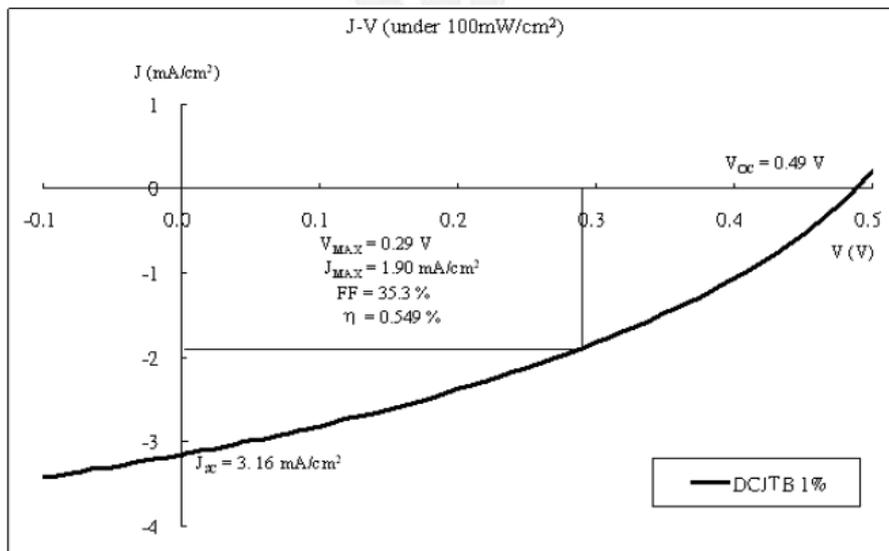
/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

然後改變DCJTB的濃度為wt. 1%以及wt. 100%(即沒有CuPc), DCJTB濃度為wt. 1%時, 得到的短路電流為 $3.16(\text{mA}/\text{cm}^2)$ , 開路電壓為 $0.49(\text{V})$ , 填充因子為 $35.3\%$ 以及最大效率為 $0.549\%$ , 如圖. 3-5. 2。



(a) 黑暗中J-V特性曲線



(b) 照度 $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  中J-V特性曲線

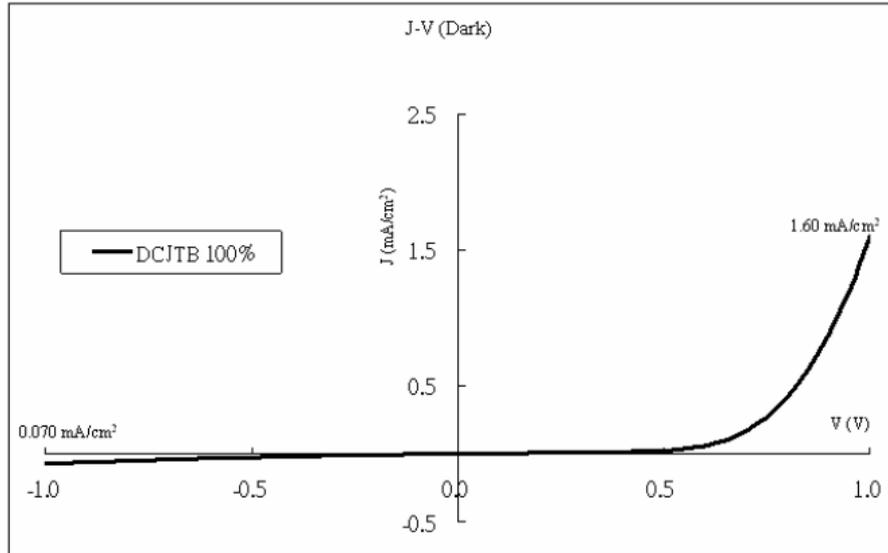
圖. 3-5. 2 元件 2 在暗與照光  $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  的 J-V 特性曲線

ITO/(1%)DCJTB:CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)

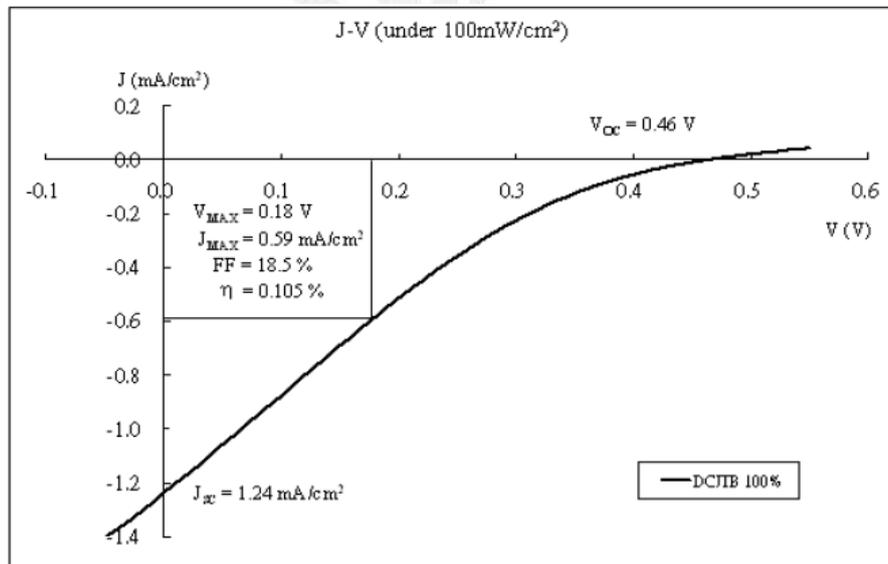
/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

當濃度為wt. 100%時(使用DCJTB完全取代CuPc)，得到的短路電流為 $1.24(\text{mA}/\text{cm}^2)$ ，開路電壓為 $0.46(\text{V})$ ，填充因子為 $18.5\%$ 以及最大效率為 $0.105\%$ ，如圖. 3-5.3。



(a) 黑暗中J-V特性曲線



(b) 照度 $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  中J-V特性曲線

圖. 3-5.3 元件 3 在暗與照光  $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  的 J-V 特性曲線

ITO/DCJTB(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

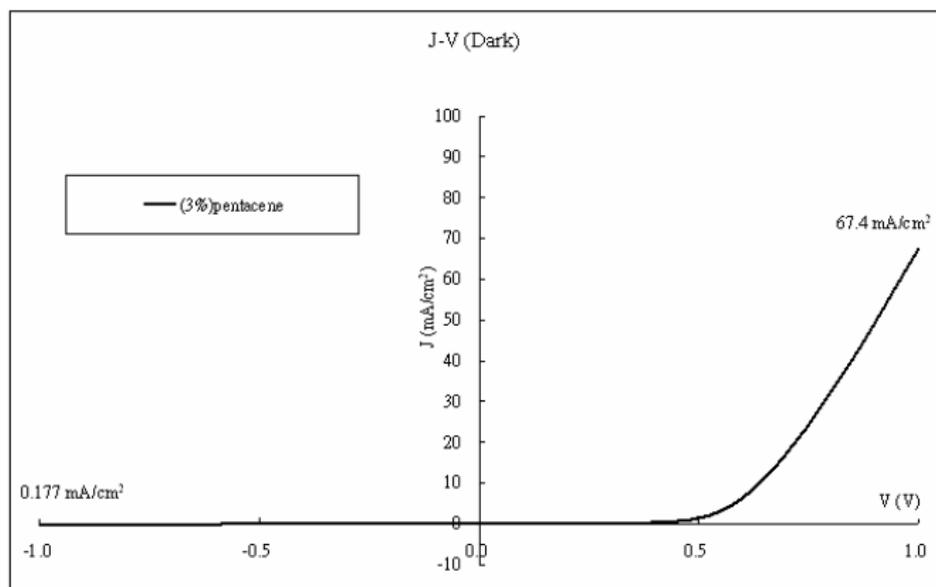
對於這樣的結果，估計原因在於摻雜層的載子遷移率太低。當 DCJTb(載子遷移率 $<1.0 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ )摻雜到CuPc(載子遷移率 $=7.0 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ )時，摻雜層的載子遷移率下降並且得到較低的短路電流和填充因子，導致元件的效率減少，整理如表3-5。

<i>DCJTb concentration</i> (wt. %)	<i>J<sub>sc</sub></i> (mA/cm <sup>2</sup> )	<i>V<sub>oc</sub></i> (V)	<i>FF</i> (%)	<i>η</i> (%)
0	4.78	0.44	51.2	1.094
1	3.16	0.49	35.3	0.549
50	1.20	0.50	20.6	0.124
100	1.24	0.46	18.5	0.105

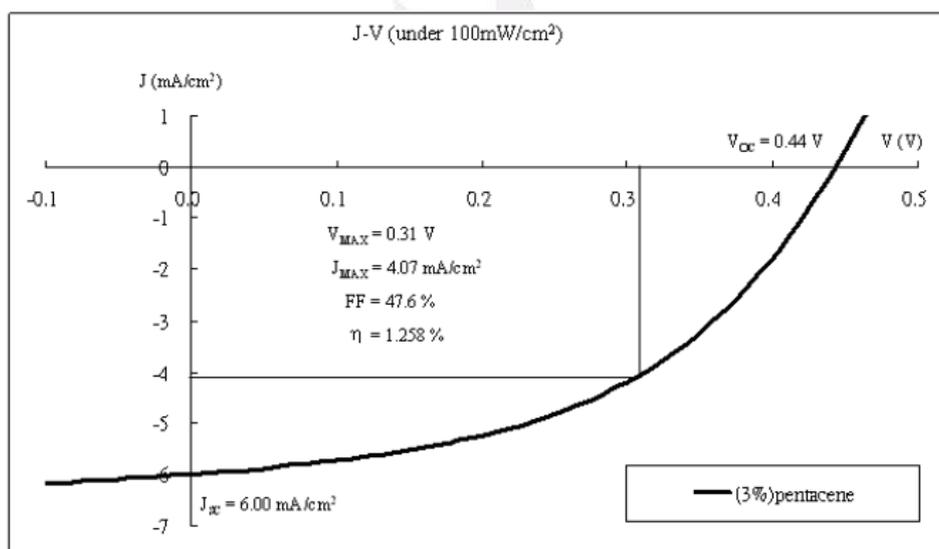
表3-5 CuPc層中不同的DCJTb濃度時OPV cell的性能

### 3-6 調整CuPc層中pentacene的濃度(x=25 nm, y=50 nm)

對於3-5的結果，我們猜測載子遷移率的增加也導致了效率的提升，所以我們用高載子遷移率的有機材料pentacene(載子遷移率 $=1.5 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ )摻雜到CuPc層。在測試濃度時，我們摻雜wt. 3%, 5%和7%的pentacene到CuPc層。結構為ITO/(s%)pentacene:CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)。在濃度為wt. 3%時，得到短路電流為6.00(mA/cm<sup>2</sup>)，開路電壓為0.44(V)，填充因子為47.6%以及最大效率為1.258%，如圖. 3-6.1。



(a) 黑暗中J-V特性曲線



(b) 照度100 mW/cm<sup>2</sup> 中J-V特性曲線

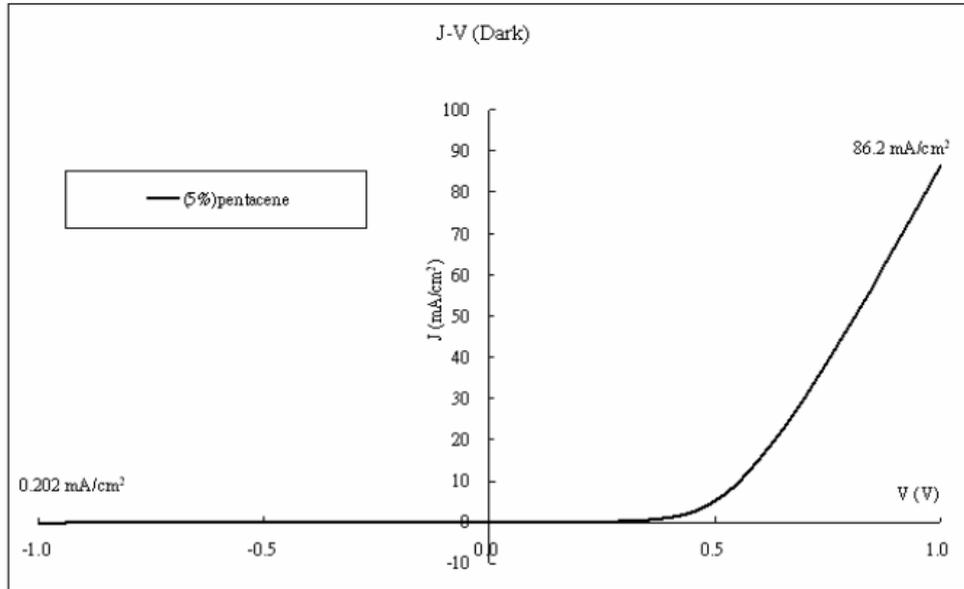
圖.3-6.1 元件 1 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線

ITO/(3%)pentacene:CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)

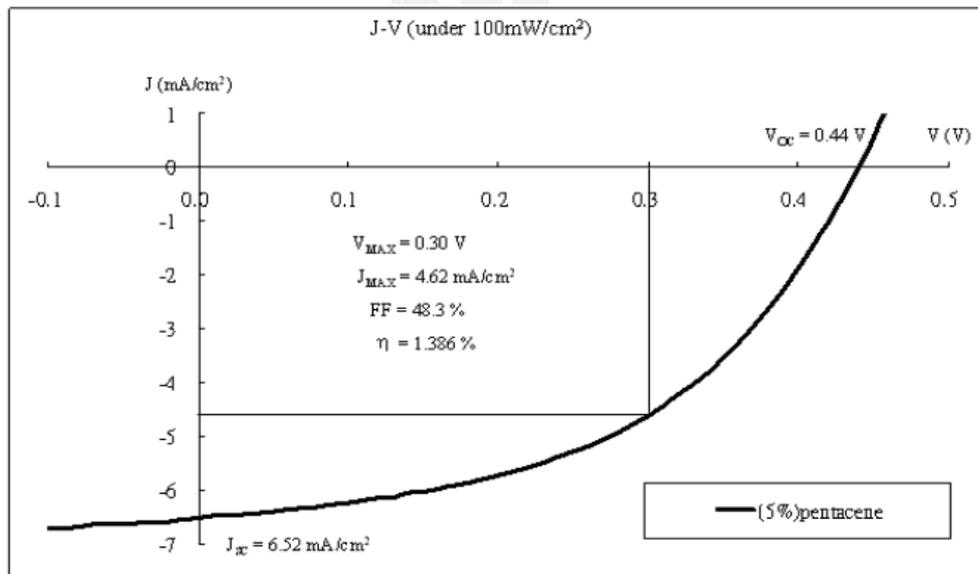
/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

在濃度wt. 5%有最佳特性，短路電流為 $6.52(\text{mA}/\text{cm}^2)$ ，開路電壓為 $0.44(\text{V})$ ，填充因子為 $48.3\%$ 以及最大效率為 $1.386\%$ ，如圖. 3-6. 2。



(a) 黑暗中J-V特性曲線



(b) 照度 $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  中J-V特性曲線

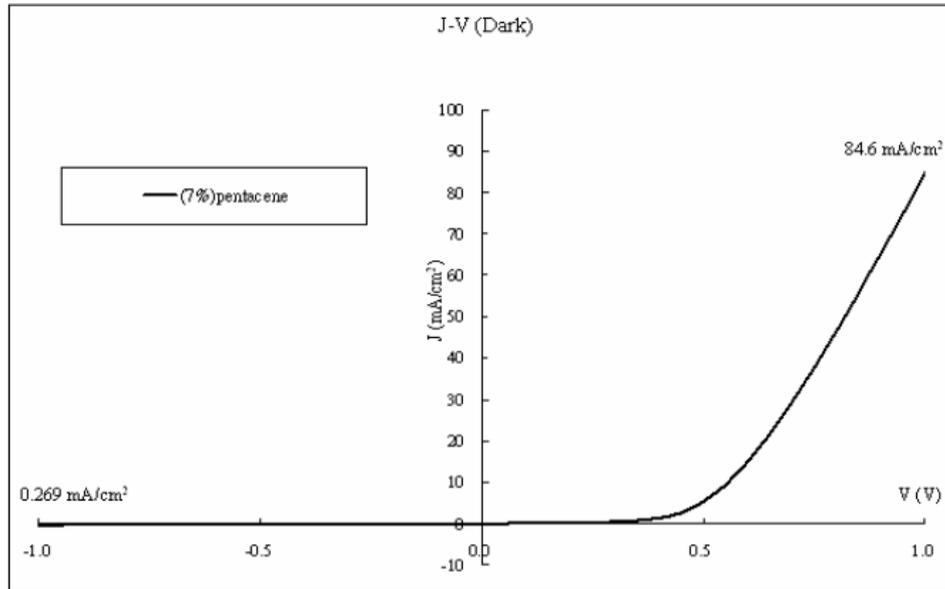
圖. 3-6. 2 元件 2 在暗與照光  $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  的 J-V 特性曲線

ITO/(5%)pentacene:CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)

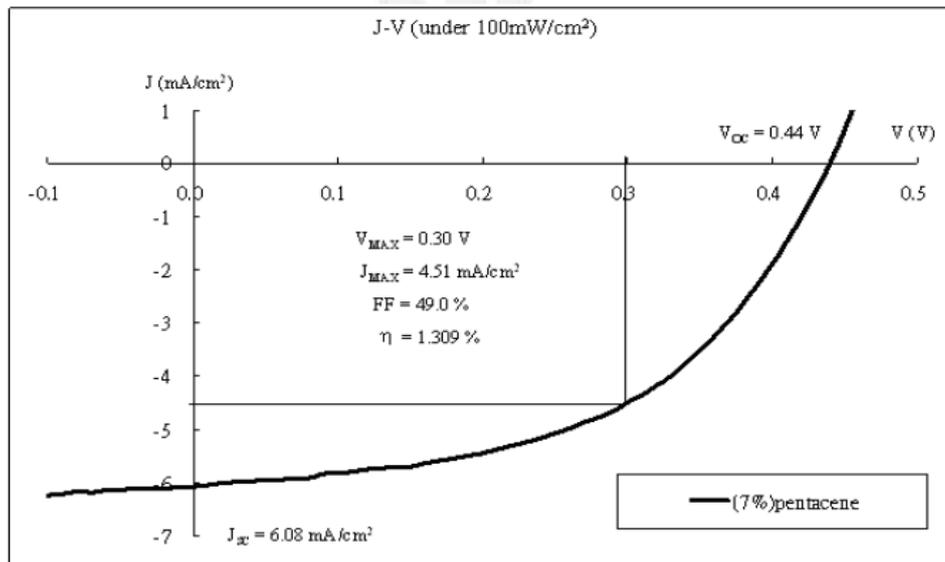
/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

在濃度為wt. 7%時，得到的短路電流為 $6.08(\text{mA}/\text{cm}^2)$ ，開路電壓為 $0.44(\text{V})$ ，填充因子為 $49.0\%$ 以及最大效率為 $1.309\%$ ，如圖. 3-6. 3。



(a) 黑暗中J-V特性曲線



(b) 照度 $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  中J-V特性曲線

圖. 3-6. 3 元件 3 在暗與照光  $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$  的 J-V 特性曲線

ITO/(7%)pentacene:CuPc(25 nm)/C<sub>60</sub>(50 nm)

/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

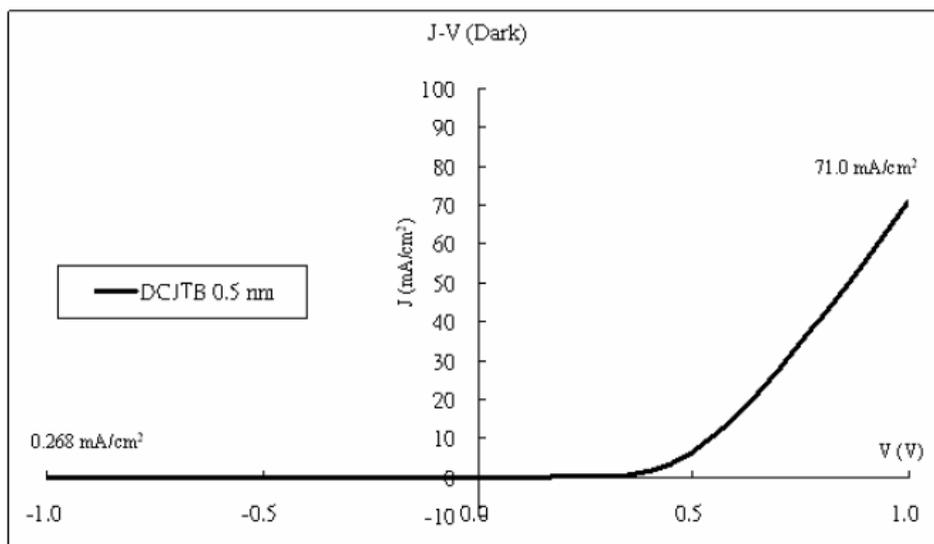
由結果來推理有機光伏電池的效率由載子移動率來決定，整理如表3-6。

<i>pentacene concentration</i> (wt. %)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	$FF$ (%)	$\eta$ (%)
0	4.87	0.44	51.2	1.094
3	6.00	0.44	47.6	1.258
5	6.52	0.44	48.3	1.386
7	6.08	0.44	49.0	1.309

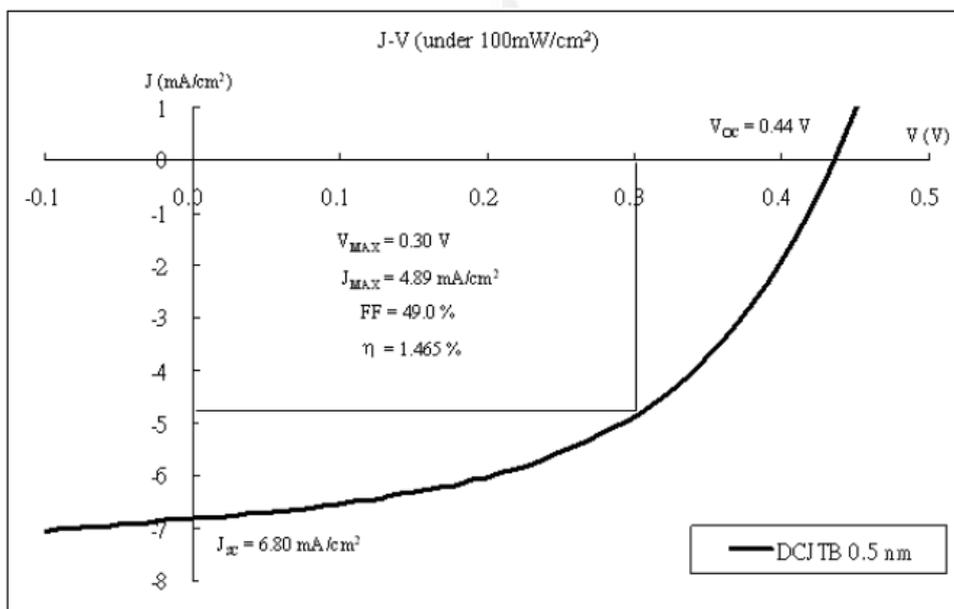
表3-6 CuPc層中不同的pentacene濃度時OPV cell的性能

### 3-7 調整CuPc層中DCJTB的厚度(x=25nm，y=50nm，s=5%)

我們試著加入一層DCJTB來增加元件的吸收力，所以我們在CuPc層與C<sub>60</sub>之間加入了0.5 nm和1 nm厚度的DCJTB層。因為DCJTB的載子遷移率低，所以DCJTB層應該要很薄，結構為ITO/(5%)pentacene:CuPc(25 nm)/DCJTB(1 nm)/ C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm) /LiF(80 nm)。在DCJTB厚度為0.5 nm時，得到的最好特性為短路電流6.80 (mA/cm<sup>2</sup>)，開路電壓為0.44(V)，填充因子為49.0%以及最大效率為1.465%，如圖.3-7.1。



(a) 黑暗中J-V特性曲線



(b) 照度100 mW/cm<sup>2</sup> 中J-V特性曲線

圖.3-7.1 元件 1 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線

ITO/(5%)pentacene:CuPc(25 nm)/DCJT B(0.5 nm)

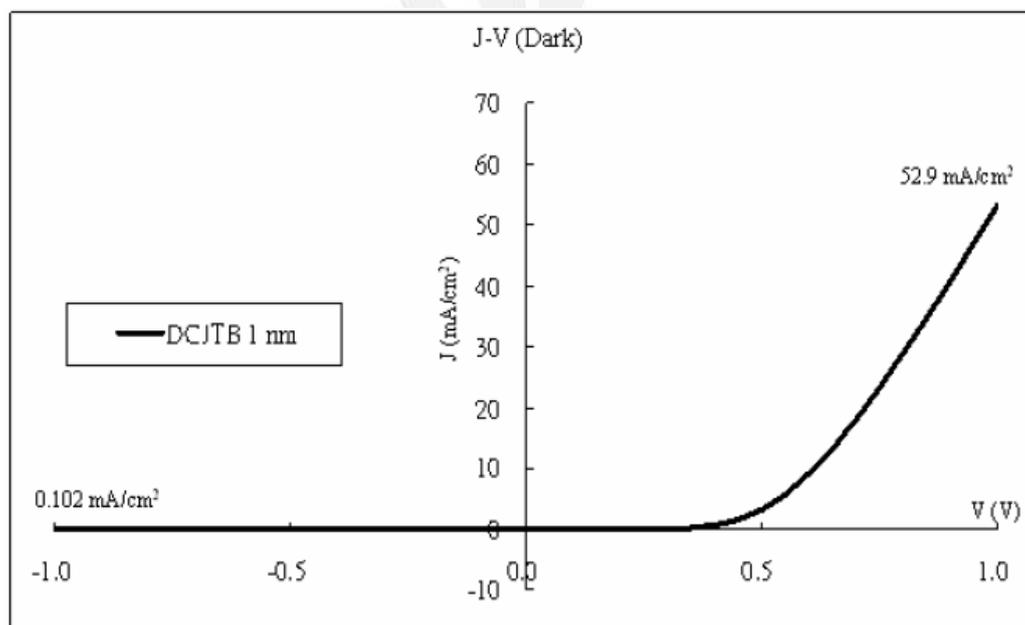
/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

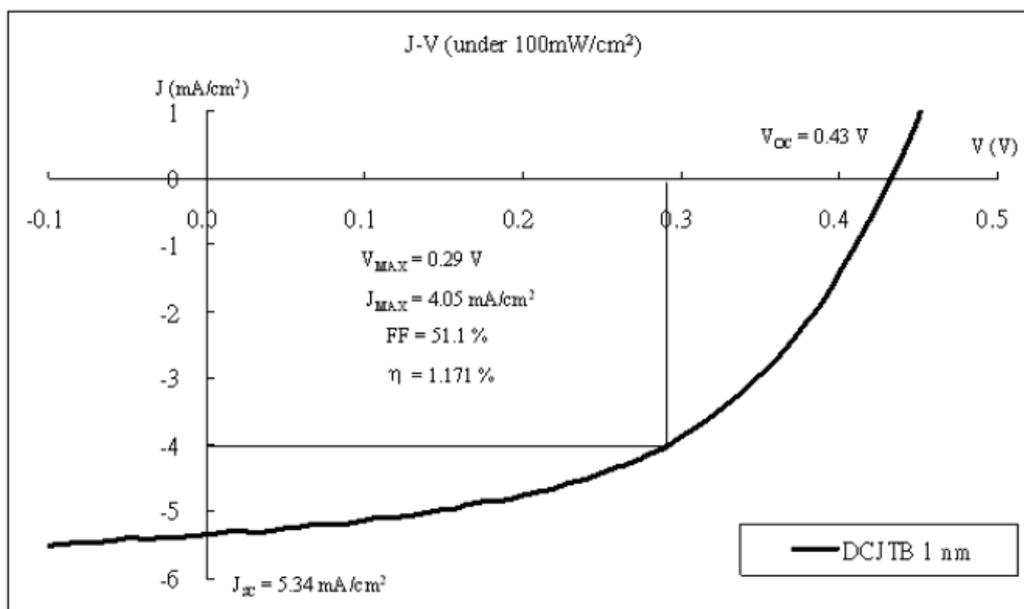
在厚度為1 nm時，得到的最好特性為短路電流5.34(mA/cm<sup>2</sup>)，開路電壓為0.43(V)，填充因子為51.1%以及最大效率為1.171%，如圖.3-7.2，整理如表3-7。

<i>DCJTB thickness</i> (nm)	<i>J<sub>sc</sub></i> (mA/cm <sup>2</sup> )	<i>V<sub>oc</sub></i> (V)	<i>FF</i> (%)	<i>η</i> (%)
0	6.52	0.44	48.3	1.386
0.5	6.80	0.44	49.0	1.465
1	5.34	0.43	51.1	1.171

表3-7 在CuPc與C<sub>60</sub>層之間不同的DCJTB厚度時OPV cell的性能



(a) 黑暗中J-V特性曲線



(b) 照度100 mW/cm<sup>2</sup> 中J-V特性曲線

圖.3-7.2 元件 2 在暗與照光 100 mW/cm<sup>2</sup> 的 J-V 特性曲線

ITO/(5%)pentacene:CuPc(25 nm)/DCJTB(1 nm)  
/C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

## 第四章 結論

我們總結以上的實驗並且推論了部份的ITO紫外臭氧處理的論述和LiF覆蓋層和摻雜pentacene的濃度以及DCJTB的厚度。ITO 紫外處理的論述是克服能階不匹配的有效程序，在濕蝕刻後有更好的表面粗糙度，明確的清潔ITO介面。

使用LiF的主要原因在於可以預防有機材料免於氧氣與濕度之中，並且在量測時有更穩定的數據。

然後摻雜pentacene到CuPc層的主要原因是增加在電洞傳輸層中載子的遷移率與激子的擴散長度。由摻雜wt. 4% pentacene到CuPc層，有機光伏電池的效率就由1.094%增加到1.386%，提升約26.7%。

之後我們在CuPc與C<sub>60</sub>之間加入一個吸收力提升層DCJTB，有機光伏電池的效率也從1.386%增加到1.465%。

最後，此有機光伏電池的最佳結構為ITO/(5%)pentacene:CuPc (25 nm)/DCJTB(0.5 nm)/ C<sub>60</sub> (50 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)，如圖.4。一般來說，pentacene摻雜濃度與DCJTB的厚度會直接的影響短路電流與效率。

有機 p-n 接面太陽能電池效率的改善

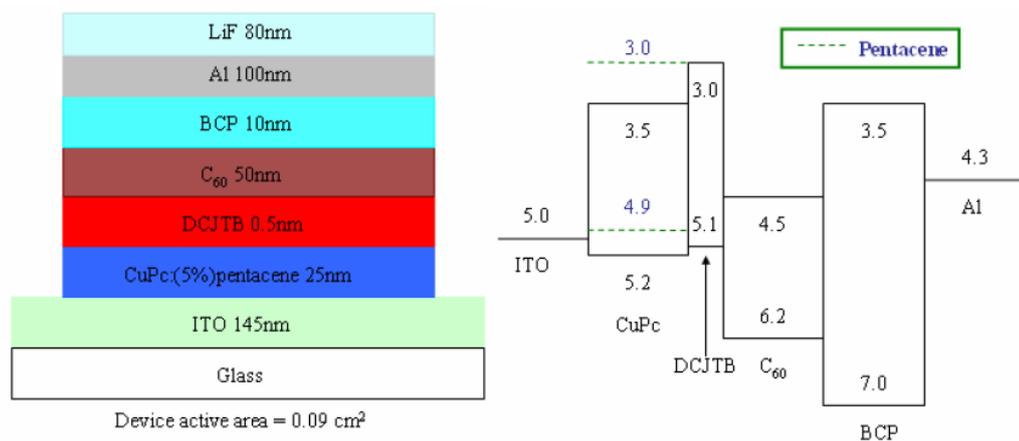


圖. 4 p-n 接面 OPV cell 的最佳結構

ITO/(4%)pentacene:CuPc(25 nm)/DCJT B(0.5 nm)

/ C<sub>60</sub>(50 nm)/BCP(10 nm)/Al(100 nm)/LiF(80 nm)

## 參考文獻

- [1] G. Dennler, C. Lungenschmied, H. Neugebauer, N. S. Sariciftci, M. Latre'che, G. Czeremuszkin and M. R. Wertheimer, *Thin Solid Films*, 511-512 (2006) 349.
- [2] F. A. Castro, A. Faes, T. Geiger, Carlos F. O. Graeff, M. Nagel, F. Nuesch and R. Hany, *Synth. Met.* 156 (2006) 973.
- [3] M. Pope, H. Kallmann, P. Magnante, *J. Chem. Phys.*, 38, 2024 (1963).
- [4] W. Helfrich, W. G. Schneider, *Phys. Rev. Lett.*, 14, 299 (1965).
- [5] W. D. Gill, *J. Appl. Phys.*, 43, 5033, (1972).
- [6] Y. Liu, M. S. Liu, A. K.-Y. Jen, *Acta Polym.* 50, 105 (1999).
- [7] C. W. Tang, *Appl. Phys. Lett.* 48 (1986) 183.
- [8] J. Xue, S. Uchida, B. P. Rand, and S. R. Forrest, *Appl. Phys.* 84, 16, (2004).
- [9] Y. TERAO, H. SASABE, C. ADACHIA, *Appl. Phys.* 90, (2007).
- [10] O. V. Molodtsova, I. Schwieger, M. Knupter, *Appl. Surf. Sci.* 252 (2005) 143.
- [11] M. L. Wang, Q. L. Song, H. R. Wu, B. F. Ding, X. D. Gao, X. Y. Sun, X. M. Ding, and X. Y. Hou, *Org. Electron.* 8 (2007) 445.
- [12] B. P. Rand, J. Xue, S. Uchida, and S. R. Forrest, *J. Appl. Phys.* 98 (2005) 124902.
- [13] J. Xue, B. P. Rand, S. Uchida, and S. R. Forrest, *J. Appl. Phys.* 98 (2005) 124903.
- [14] J. Xue, B. P. Rand, S. Uchida, and S. R. Forrest, *Adv. Mater.* 17 (2005) 66.
- [15] J. Kido, M. Kohda, K. Okuyama, K. Nagai, *Applied Physics Lett.*, 61, 761 (1992).
- [16] J. Cui, A. Wang, N. L. Edleman, J. Ni, P. Lee, N. R. Armstrong, T. J. Marks, *Adv. Mater.*, 13, 1476 (2001).
- [17] F. O. Adurodija, H. Izumi, T. Ishihar, *Thin Solid Films*, 350, 79, (1999).
- [18] H. J. Kim, J. W. Bae, J. S. Kim, *Surf. Cont. Technol.*, 131, 201 (2000).
- [19] J. Matsuo, H. Katsumata, E. Minami, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, 161, 952 (2000).
- [20] M. Ishii, T. Mori, H. Fujikawa, S. Tokito, Y. Taga, *Journal of Luminescence*, 871165 (2000).

- [21] J. S. Kim, M. Granström, R. H. Friend, N. Johansson, W. R. Salaneck, R. Daik, W. J. Feast, F. Cacialli, *J. Appl. Phys.*, 84, 6859 (1998).
- [22] S. K. So1, W. K. Choi, C. H. Cheng, L. M. Leung, C. F. Kwong, *Appl. Phys A.*, 68, 447 (1999).
- [23] M. G. Mason, L. S. Hung, C. W. Tang, S. T. Lee, K. W. Wong, M Wang, *J. Appl. Phys.*, 86, 1688 (1999).
- [24] M. Y. Chen, S. L. Lai, K. M. Lau, C. S. Lee, and S. T. Lee, *Appl. Phys. Lett.* 89(2006) 163515.
- [25] Q. L. Song, C. M. Li, M. L. Wang, X. Y. Sun, and X. Y. Hou, *Appl. Phys. Lett.* 90 (2007) 071109.
- [26] A. L. Burin, M. A. Ratner, *J. Phys. Chem. A*, 104, 4704 (2000).
- [27] P. Peumans, A. Yakimov, and S. .R. Forrest, *J. Appl. Phys.* 93 (2003) 3693.
- [28] T. Stubingera and W. Brutting, *J. Appl. Phys.* 90 (2001) 3632.
- [29] S. Uchida, J. Xue, B. P. Rand, and S. R. Forrest, *Appl. Phys.* 84, 21, (2004).
- [30] V. Shrotriya, G. Li, Y. Yao, C. W. Chu, and Y. Yang, *Appl. Phys. Lett.* 88(2006) 073508.
- [31] M. Rusu, S. Wiesner, T. Mete, H. Blei, N. Meyer, M. Heuken, M. Ch.Lux-Steiner, K. Fostiropoulos, “**Renewable Energy**”.
- [32] J. Drechsel, B. Männig, F. Kozlowski, M. Pfeiffer, and K. Leo, and H. Hoppe, *Appl. Phys. Lett.* 86, 244102 (2005)
- [33] M. Reyes-Reyes, K. Kim, and D. L. Carroll, *Appl. Phys. Lett.* 877, 083506(2005).
- [34] B. Maennig, J. Drechsel, D. Gebeyehu, P. Simon, F. Kozlowski, A. Werner, F. Li, S. Grundmann, S. Sonntag, M. Koch, K. Leo, M. Pfeiffer, H. Hoppe, D. Meissner, N. S. Sariciftci, I. Riedel, V. Dyakonov, J. Parisi, *Appl. Phys.* 79, 1–14 (2004)
- [35] W. B. Chen, H. F. Xiang, Z. X. Xu, B. P. Yan, V. A. L. Roy, C. M. Che, and P. T. Lai, *Appl. Phys.* 91, (2007)