

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

高效率奈米結構量子點高分子太陽電池之研究

Study of High Efficient Polymer:Quantum Dot Nanostructured Hybrid
Solar Cells

計畫編號：1022001INER025

受委託機關(構)：國立台灣大學嚴慶齡工業發展基金會合設工業研究中心

計畫主持人：林唯芳

聯絡電話：02-33664078

E-mail address：suwf@ntu.edu.tw

核研所聯絡人員：莊智閔

報告日期：102年11月28日

目 錄

中文摘要	1
英文摘要	2
壹、計畫緣起與目的.....	4
貳、研究方法與過程.....	5
一、電子傳導層低功函數氧化鋅之製備	5
二、太陽能電池元件的製作與量測.....	5
參、主要發現與結論.....	7
一、串疊型高分子太陽能電池之結構設計	7
二、個別子元件之最佳化.....	10
三、串疊型高分子太陽能電池之建立	18
肆、未來工作.....	20
伍、參考文獻.....	23

中文摘要

高分子太陽能電池近年來極度受到重視，其所具有之優勢包括低成本，可溶液製程，質輕，半透明，可撓曲等等特點。為了更加提升高分子太陽能電池之光電轉換效率及其元件壽命，製備倒置型串疊型太陽能電池為一可行之方向。串疊型太陽能電池為一可以顯著提升能量轉換效率的元件結構，並被廣泛應用於無機光伏元件當中，然而目前發表的研究所使用的製程都相當複雜且耗時，限制了其實際的應用，因此在此計畫當中，我們計劃利用溶液製程方法，製作有質輕，溶液製程，成本低，可撓曲，半透明等優點的串疊型高分子太陽能電池，此元件結構被認為可以讓此系統效率達可商業化的水準。

我們利用氧化鋅奈米粒子旋鍍於銦錫氧化物透明電極上，製備出倒置型高分子太陽能電池。當以 P3HT:ICBA 及 PTB7:PC₇₁BM 作為元件之主動層，其光電轉換效率可分別達到 6.0%與 7.5%，證明我們倒置型元件結構具有優秀之光電轉換效率表現，且可適用於多數高分子太陽能元件系統。此外在串疊高分子太陽能電池方面，我們利用 PEDOT:PSS 與 ZnO 作為中間傳導層，並以 P3HT:ICBA 與 PTB7:PC₇₁BM 作為前後主動層。目前此倒置型串疊高分子太陽能電池之光電轉換效率已可達到>8%。

關鍵詞：高分子太陽電池、串疊型電池

英文摘要

Polymer bulk heterojunction (BHJ) solar cells have attracted great attention in recent decades due to its special properties such as low cost, solution processibility, light weight, flexibility and semi-transparency. In the present work, in order to further improve the power conversion efficiency and life time of polymer solar cell, we focused our efforts on inverted tandem polymer solar cells. Tandem structure solar cell is one of the promising approaches to efficiently utilize solar spectrum and reach power conversion efficiency beyond Shockley–Queisser limit. However, most of the current published methods for tandem solar cells are quite complicated and expensive, thus limiting their practical application. In our research here, we take the advantage of solution processibility of polymer solar cells to fabricate the low cost tandem polymer solar cells.

For inverted device, we spin coat ZnO nanoparticle onto transparent conducting oxide ITO as the cathode for polymer solar cell. We now are able to make inverted devices with efficiency 6% or 7.5% when using P3HT:ICBA or PTB7:PCBM as active layer materials, respectively, which stands for the successful construction and versatility of the inverted device structure. We further fabricate the inverted tandem

polymer solar cells by using PEDOT:PSS-ZnO as interconnection layer and using P3HT:ICBA and PTB7:PCBM as the active layer materials of front and rear cell, respectively. Now by this tandem polymer solar cell, we are able to reach power conversion efficiency more than 8%.

Keywords: Polymer solar cell

Tandem cell

壹、計畫緣起與目的

高分子太陽能電池近年來發展迅速，其優勢包括低成本、具可撓性、製成相對簡單等等，因此在綠色能源科技方面，具有相當大的市場潛力。為了提升高分子太陽能電池商業化的可能性，許多研究團隊致力改善其使用壽命及增加元件效率。在延長元件使用壽命方面，被認為最有效且可行的解決方法即是採用倒置型元件結構 (inverted structure)。藉由在下電極銻錫氧化物上鋪一層低功函數氧化物或高分子電解質而成為接收電子的陰極，並且將上電極改為利於接收電洞的高功函數金屬(如金、銀)，來大幅提升元件壽命。本工作目標在於開發新型導電高分子，以提升元件的能量轉換效率，並利用倒置型元件結構提升元件之穩定度。此外，本計畫之另一目標在於開發倒置型串疊高分子太陽能電池，期望利用此種元件結構，增強高分子太陽能電池對太陽光譜之利用效率，更加提升元件的光電轉換效率以及其開路電壓。

貳、研究方法與過程

一、電子傳導層低功函數氧化鋅之製備

首先把醋酸鋅(zinc acetate dihydrate) (735 mg, ACROS, 99%) 與甲醇(methanol) (31.25 mL, ACROS, 99%)置入三頸瓶中，升溫至 60 °C 使醋酸鋅完全溶解。另外，準備溶有氫氧化鉀(potassium hydroxide) (369 mg, ACROS, 85%)的甲醇溶液 16.25 mL。將氫氧化鉀甲醇溶液緩慢滴入醋酸鋅甲醇溶液中，保持三頸瓶內反應物為 60 °C。持續反應約 1.5 小時候，可以觀察到三頸瓶內反應物由澄清透明轉為白色混濁，代表氧化鋅奈米粒子之生成。總反應時間達 2 小時後，將反應系統降至室溫，最後所得到之白色沉澱物即為所需之氧化鋅奈米粒子。

將藉由上述製程製備出之氧化鋅奈米粒子分散於乙二醇單甲醚(2-methoxyethanol) (ACROS, 99%)，得到 2 wt%之氧化鋅溶液。將聚乙烯吡咯烷酮(polyvinylpyrrolidone, PVP) (0.2 wt, Aldrich, 99%)或碳酸銫(cesium carbonate) (0.2 wt%, Aldrich, 99%)添加進入氧化鋅溶液，對氧化鋅進行表面修飾並調整其作為電子傳導層時功函數的位置，製作出氧化鋅奈米粒子複材。

二、太陽能電池元件的製作與量測

倒置型單一接面高分子太陽能電池元件的製作如下：將氧化

鋅奈米粒子或氧化鋅奈米粒子複材旋鍍在清洗乾淨的 ITO 玻璃上，放到 150 °C 加熱台上 10 分鐘作為高分子太陽能電池之電子傳導層。接著，我們在氧化鋅電子傳導層上鍍上太陽能電池作用之主動層，如 P3HT:ICBA 之臨二氯苯溶液或 PTB7:PCBM 之氯苯溶液。接著以旋鍍或熱蒸鍍鍍上電洞傳導層 PEDOT:PSS 或 MoO₃。為使旋鍍 PEDOT:PSS 之製程順利，我們先將已旋鍍完成之主動層進行氧電漿處理，改善其表面親疏水性質，再將 PEDOT:PSS 旋鍍於其上。最後，利用熱蒸鍍方法鍍上 Ag 作為上電極，完成導致型元件的製作。

倒置型串疊高分子太陽能電池元件的製作如下：將氧化鋅奈米粒子或氧化鋅奈米粒子複材旋鍍在清洗乾淨的 ITO 玻璃上，放到 150 °C 加熱台上 10 分鐘作為高分子太陽能電池之電子傳導層。接著，我們在氧化鋅電子傳導層上鍍上太陽能電池作用之前主動層(front cell)，在本計畫中採用能隙較高吸光範圍約至 650 奈米之 P3HT:ICBA 之臨二氯苯溶液。接著將已旋鍍完成之主動層進行氧電漿處理，改善其表面親疏水性質，再將作為電洞傳導層之 PEDOT:PSS 旋鍍於其上，完成前主動層之製作。然後我們以相同製程重複旋鍍上氧化鋅奈米粒子、後主動層、MoO₃/Ag 電極，完成倒置型串疊高分子太陽能電池元件的製作。

參、主要發現與結論

一、串疊型高分子太陽能電池之結構設計

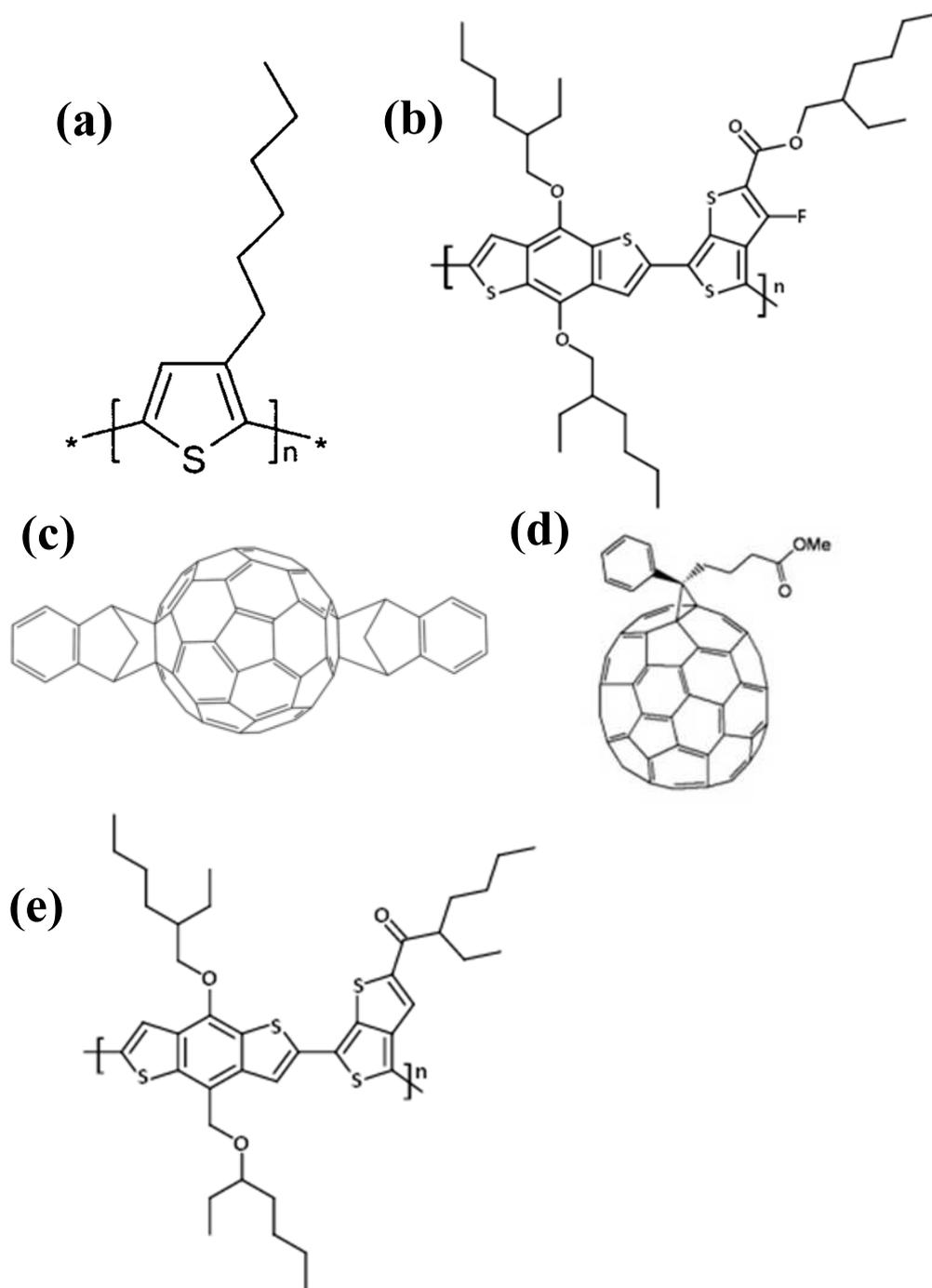
在 102 年度的研究計畫中，我們的目標再於建立起關於串疊型高分子太陽能電池溶液製程的知識。理想的串疊型光伏元件所應表現出的開路電壓(open circuit voltage, V_{oc})為所有組成子元件開路電壓之和，而短路電流(short circuit current, J_{sc})則被子元件中產生最小短路電流者所限制。故為了取得最佳效率表現，在串疊型高分子太陽能電池中，通常將能隙較大之高分子作為前子元件的主動層材料，而能隙較小之高分子作為後子元件的主動層材料。將前後子元件藉由中間連接層(interconnection layer)作電路上的連結，即為基本的串疊型元件架構。

在本研究中，我們選用 P3HT:ICBA 作為前子元件的主動層，而 PTB7:PC₇₁BM 為後子元件的主動層。所使用的材料其化學結構式顯示於圖一。選擇 P3HT:ICBA 作為前子元件主動層的主要理由有三。第一，因 P3HT 主要利用 600 奈米以下之短波長太陽光，吸收光譜可與後子元件錯開而達到有效利用太陽光譜的目的。第二，以 P3HT 製作的高分子太陽能電池有較佳的熱穩定表現，可容忍中間連接層在製作過程中的熱處理過程而不影響其最中之效率表現。第三，與常用的電子受體 PCBM 相比，ICBA 具有較高之最低未鍵結軌域(LUMO)，當與 P3HT 混摻製

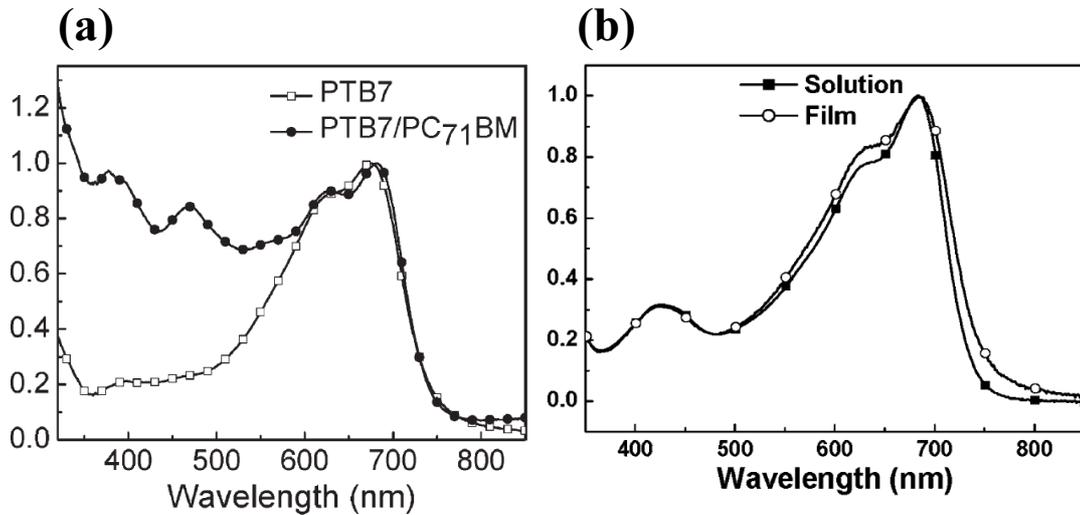
作成元件後，可在短路電壓與填滿因子(Fill Factor, FF)都維持相同的情況下，產生較高的開路電壓(比起 P3HT:PCBM 的 0.6 伏特，P3HT:ICBA 可達 0.85 伏特)，因此有較佳的效率表現。另外，與 PC₇₁BM 相比，ICBA 在 600 奈米以下並不具有很強的吸收，故在後子元件中(PTB7:PC₇₁BM)，仍可以接收到一定程度之太陽光。而後子元件的選擇，則是參考 Kippelen 團隊於 2012 年於國際期刊 Energy & Environmental Science 所發表研究論文。該篇論文中，使用 P3HT 與 PBDTTT-C (分子式如 一(e)所示)成功的建立串疊型高分子太陽能電池。故我們在執行此研究計畫時，選擇採用由相同主鏈結構組成且吸光範圍相似(如 二)的高分子 PTB7 作為後子元件的主動層。

串疊型高分子太陽能電池中，最具挑展性，同時也是最關鍵的結構，就是中間連接層。一個好的中間連接層，必須要同時具有高的可見光穿透度及載子傳導能力。更甚者，由於我們計畫發展可溶液製程的串疊型元件，因此中間傳導層必須要能夠有效的保護前子元件能夠不被後子元件製程中所使用的溶劑影響。本研究中，我們以 3, 4-二氧乙基噻吩/氧化鋅奈米粒子 (PEDOT/ZnO)作為中間連接層。此二種材料都是可溶液製程且製程溫度不超過 150 °C，因此具有兩個優點：第一，保留了高分子太陽能電池可溶液製程的特性。第二，由於製程溫度不高，

可避免破壞或減損已經完成的前子元件之效率表現。



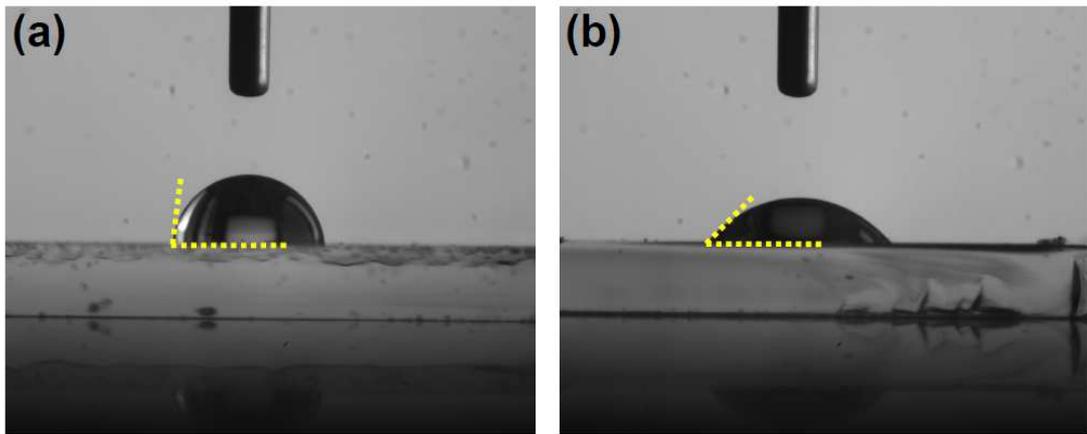
圖一、(a) P3HT。 (b) PTB7。 (c) ICBA。 (d) PC₇₁BM。 (e) PBDTTT-C。



圖二、(a) PTB7 之吸收光譜圖。[1] (b) PBDTTT-C 之吸收光譜圖。[2]

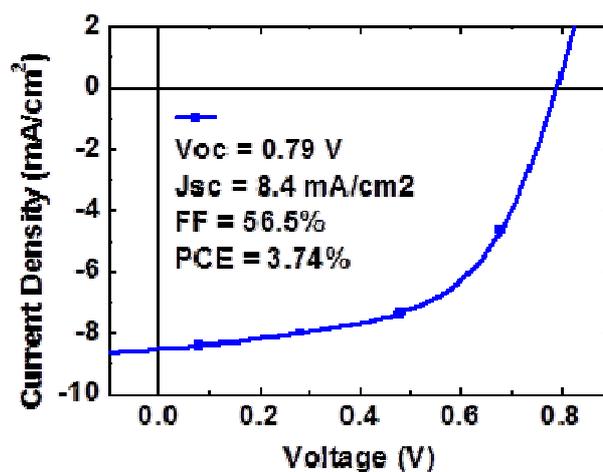
二、個別子元件之最佳化

我們首先嘗試製作結構為 ITO/ZnO/P3HT:ICBA/PEDOT/Ag 之元件。此元件之元件結構除了最後蒸度的 Ag 上電極外，接與前子元件別無二致。我們希望利用此元件來確認串疊型元件前子元件的效率表現。然而，在油性的 P3HT:ICBA 上旋鍍 PEDOT 水溶液相當不容易。由圖三(a)可發現 P3HT:ICBA 之水接觸角相當大(約達 83°)。此表面能的差異造成要在 P3HT:ICBA 上鍍一層平整且連續的 PEDOT 薄膜變得極具挑戰。為了解決這個問題，我們對 P3HT:ICBA 進行氧電漿處理。圖三(b)顯示經過 1 秒氧電漿處理後，水接觸角由原本的 83° 明顯的下降至 45° ，也因此我們成功地於 P3HT:ICBA 上旋鍍出平整連續之 PEDOT 薄膜。



圖三、(a)未處理與(b)氧電漿處理之 P3HT:ICBA 之水接觸角。

這些經由氧電漿處理的元件，儘管能鍍出平整連續的 PEDOT 薄膜作為電洞傳導層，其效率表現卻不如預期。不僅填充因子只有，開路電壓更只有 0.76 伏特，與文獻報導 P3HT:ICBA 元件的開路電壓(0.85 伏特)有相當大的差距。元件表現整理如圖四。我們認為造成元件效率表現不如預期的主要原因是主動層與幫助元件傳導載子之電子、電洞傳導層之間的能階分布差異。

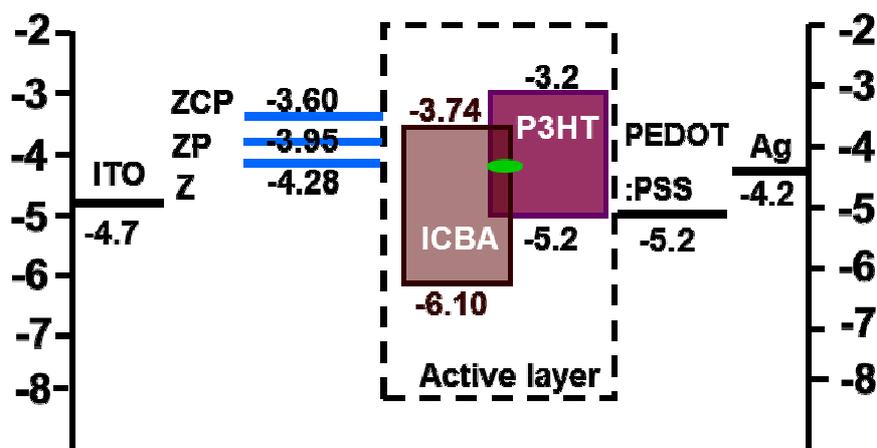


圖四、氧電漿處理之元件 ITO/ZnO/P3HT:ICBA/PEDOT/Ag。

元件之能階分布示意圖如圖五所示。ZnO 在許多系統中都被證明是有效的電子傳導層，同樣的，PEDOT 也是相當被廣泛使用的電洞傳導層。故 ZnO 的能階分佈應可與電子受體(ICBA)的最低未鍵結分子軌域(LUMO)形成良好的歐姆接觸，並且有效的阻止高分子(P3HT)最高鍵結分子軌域(HOMO)上的電洞通過。相同的，PEDOT 的能階分佈，也可與高分子的最高鍵結分子軌域形成歐姆接觸，並阻止為於電子受體最低未鍵結分子軌域上的電子通過。然而，經過氧電漿處理過後，我們推測，在 P3HT 之能階中出現了由 energy trap 產生的新的能階。此新的能階之功函數約為於 4 電子伏特左右。由於產生了此新的能階，ZnO 電子傳導層不僅能夠與 ICBA 之最低未鍵結分子軌域形成歐姆接觸，也可與 P3HT 上之新能階產生歐姆接觸，喪失了原本可以傳導電子，阻擋電洞的能力，造成電子電洞之再結合，元件的開路電壓與填滿因子因而下降。

為了解決此 energy trap 產生之新能階造成的問題，我們嘗試透過添加聚乙炔吡咯烷酮(polyvinylpyrrolidone, PVP)或碳酸鈉(cesium carbonate, CsCO₃)提高電子傳導層之能階位置。由此概念而配製出新穎的 ZnO:PVP (ZP)、ZnO:CsCO₃:PVP (ZCP)奈米複材電子傳導層。

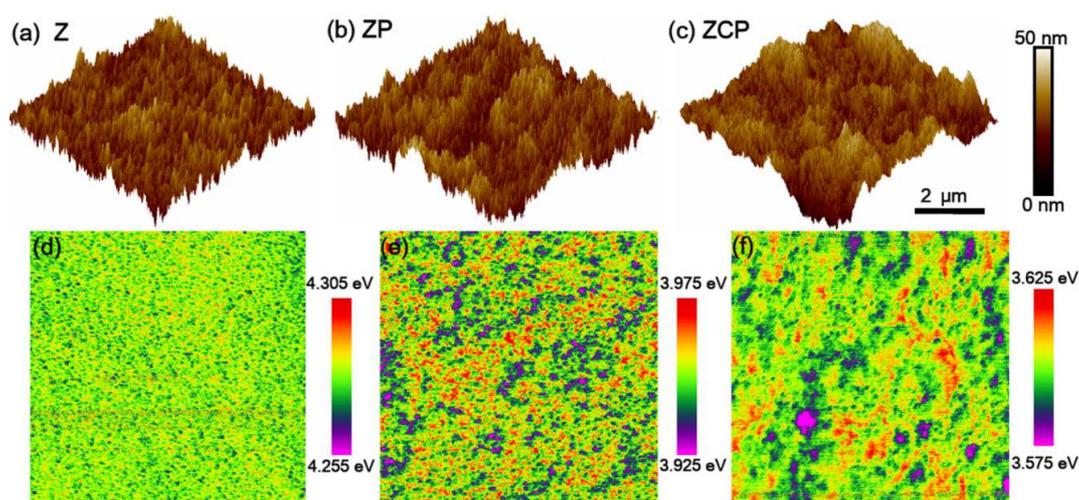
P3HT/ICBA with plasma treatment



圖五、P3HT:ICBA 經過氧電漿處理後之能階分佈示意圖。

我們使用克爾文探針(Kelvin probe microscopic technique)來量測這些經由 PVP 或 CsCO_3 改質過後電子傳導層的能階分佈。其表面形貌圖與功函數分佈如圖六所示。量測結果顯示，未添加 PVP 或 CsCO_3 的 ZnO 電子傳導層其功函數約位於 4.28 電子伏特。而我們所製備之奈米複材電子傳導層 ZP 與 ZCP 的功函數則分別下降至 3.95 與 3.60 電子伏特。因此藉由添加 PVP 與 CsCO_3 ，我們成功的改變 ZnO 的功函數並得到新的電子傳導層。利用這些新的電子傳導層，我們再次使用氧電漿技術製作結構為 ITO/ZP or ZCP/P3HT:ICBA/PEDOT/Ag 的元件。

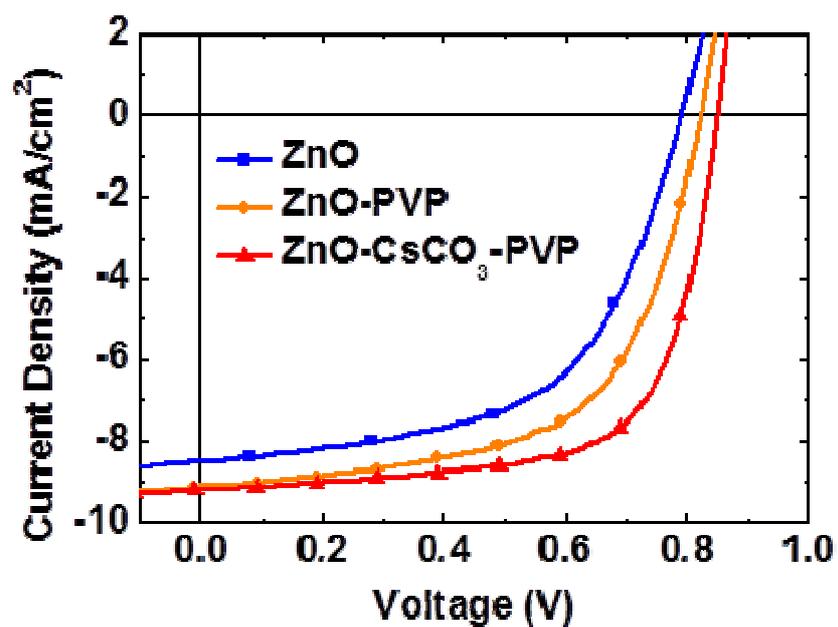
元件之效率表現如圖七及表一所示。其中，與 ZnO (Z)相比，利用 ZCP 作為電子傳導層的 P3HT:ICBA 具有最高之元件效率表現，主要來自於開路電壓及填滿因子的增加。此結果同樣



圖六、ZnO (Z)、ZnO:PVP (ZP)、及 ZnO:PVP:CsCO₃(ZCP)之(a), (b), (c) 表面形貌與(d), (e), (f)克爾文探針掃描之結果。

可藉能階分佈來解釋。由於 ZCP 具有較低的功函數，當 P3HT:ICBA 經由氧電漿處理後，新產生的 energy trap 不再能與作為電子傳導層的 ZCP 形成歐姆接觸，因此，元件的電子傳導層重新恢復原本傳導電子、阻擋電洞的能力，元件的開路電壓，填滿因子也於是增加。

我們也利用 ZnO 及 ZnO 奈米複材作為電子傳導層製作 PTB7:PC₇₁BM 元件。元件結構為 ITO/Z or ZP or ZCP/PTB7:PC₇₁BM/MoO₃/Ag。不同的是，我們選用 MoO₃ 作為此元件之電洞傳導層，其理由有二。

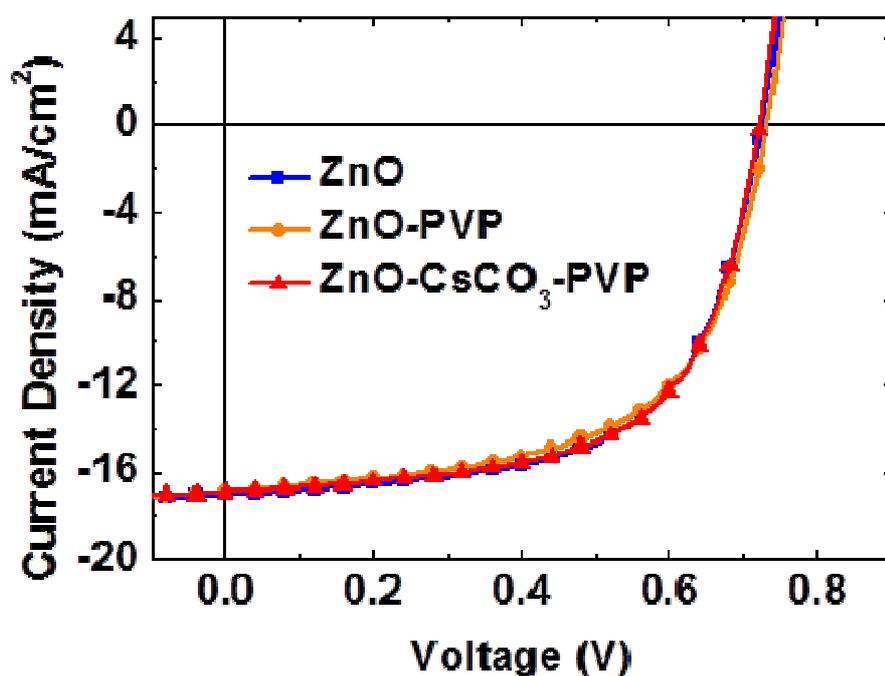


圖七、以不同之電子傳導層製作之氧電漿處理 P3HT:ICBA 元件電流電壓特性曲線。

表一、以不同之電子傳導層製作之氧電漿處理 P3HT:ICBA 元件效率表現。

Device	Voc (V)	Jsc (mA/cm ²)	FF (%)	PCE (%)
Z	0.79	8.4	56.5	3.74
ZP	0.82	9.1	59.7	4.45
ZCP	0.85	9.2	67.5	5.27

第一，PTB7:PC71BM 在串疊型元件中是作為後子元件，MoO₃ 可與 Ag 一併蒸鍍而不會增加元件製程的複雜度。第二，後子元件不需要考慮在溶液製程中被侵蝕的問題，故不需要像前子元件一樣藉由 PEDOT 的物理抗溶劑滲透性來保護主動層。由此製作出之元件其元件效率表現如圖八及表二所示。我們發現，所選用的三種具不同功函數的電子傳導層並不會對元件效率有太大的影響。這個結果其實相當合理。因為 ZnO 本身就已經被證明是種有效的電子傳導層並廣泛的被應用於各種有機光電元件中，故在沒有氧電漿製程中造成的 energy trap 的情況下，ZnO、ZP、ZCP 都可以扮演好電子傳導層的角色，很有效的阻擋電洞的流入。總結來說，我們利用氧電漿改善了 P3HT:ICBA 之親水性而在其上鍍上平整連續的 PEDOT 薄膜，並使用添加 PVP、CsCO₃ 配製低功函數之新穎奈米複材電子傳導層 ZCP，解決了氧電漿處理後 energy trap 造成的問題，成功的製作出元件結構類似串疊型元件中的前子元件，ITO/ZCP/P3HT:ICBA/PEDOT/Ag。



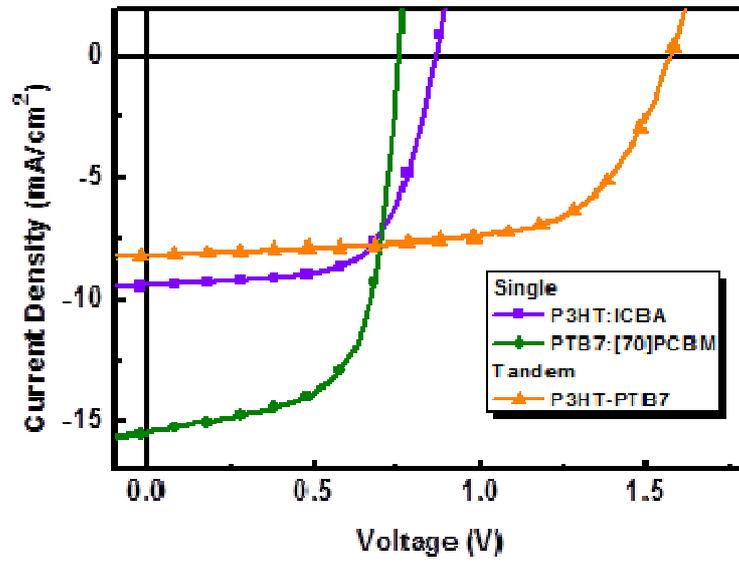
圖八、以不同之電子傳導層製作之 PTB7:PC71BM 元件其電流電壓特性曲線。

表二、以不同之電子傳導層製作之 PTB7:PC71BM 元件其效率表現。

Device	Voc (V)	Jsc (mA/cm ²)	FF (%)	PCE (%)
Z	0.73	16.8	61.22	7.53
ZP	0.72	16.9	62.01	7.55
ZCP	0.73	16.4	61.20	7.35

三、串疊型高分子太陽能電池之建立

我們利用先前的研究成果發展出的技術來製作串疊型元件。前子元件為 P3HT:ICBA，後子元件為 PTB7:PC₇₁BM，而採用 PEDOT/ZnO 作為此串疊型元件之中間連接層，接收前子元件產生的電洞與後子元件產生之電子並進行再結合。完整的元件結構為 ITO/ZCP/P3HT:ICBA /PEDOT/ZnO/PTB7:PC₇₁BM /MoO₃ /Ag。所製作出之串疊型元件效率表現如圖九及表三所示。此串疊型元件的開路電壓 1.57 伏特，相當於前後子元件開路電壓的和。此外，短路電流也有 8.1 毫安每平方公分，略小於作為電流限制的前子元件。如此小的開路電壓損失(約 0.06 伏特)與相當不錯的填滿因子，顯示出我們所採用的中間連接層確實能有效的接收電子電洞並在其介面上進行再結合。總結而言，我們於本年度計畫中發展出可溶液製程的串疊型高分子太陽能電池，有效的利用中間連接層 PEDOT/ZnO 連結前後兩子元件，因此我們所製作出的串疊型高分子太陽能電池其效率表現已可達 8.2%。



圖九、串疊型高分子太陽能電池之電流電壓特性曲線。

表三、串疊型高分子太陽能電池之元件效率表現。

Device	Voc(volt)	Jsc(mA/cm ²)	FF(%)	PCE(%)
P3HT	0.87	9.4	64.2	5.2
PTB7	0.76	15.5	64.4	7.5
Tandem	1.57	8.1	64.4	8.2

肆、未來工作

近年來，高分子太陽能電池的研究蓬勃發展，光電轉換效率以經提升至將近 10%[\[3-4\]](#)。然而，為了要使高分子太陽能電池更有市場競爭力，光電轉換效率必須有更進一步的提升。今年度本計畫所提出的串疊型太陽能電池即是一個很好的方向。包括在 2012 年於德國所舉辦的歐洲太陽能光伏會議中，報告者說明歐洲目前已有多個大型的整合型計畫，結合 20 家以上的廠商共同合作於發展串疊型高分子太陽能電池，如 X10D 計畫以及 Sunflower 計畫[\[5-6\]](#)，從材料合成，材料研發，電池製程，模組製作，電池模組測試，至市場評估等研究方向由各廠商分工整合，由此可見國際間對於串疊型高分子太陽能電池的重視及其未來性，然而，在台灣目前無任何一家廠商投資於此領域，即便在學術團隊對於串疊高分子太陽能電池的研究也極少[\[7\]](#)，這可歸因於其在元件製程上的複雜性以及高門檻。

本團隊於今年的研究計畫中已成功發展出可溶液製程的串疊型高分子太陽能電池，且具有 >8% 之光電轉換效率。然而目前我們所使用的兩個子元件，其主動層高分子(P3HT、PTB7)在吸收光譜的表現上並不能達到充分利用太陽光譜的優點。因此，未來我們將設計以及合成適當的導電高分子作為其中的一個子元件吸光層，我們將持續使用予體受體分子結構的共聚高分子，有效的調控聚合出高分子的能階位置以及能階差，如圖十所示，我們將依據另一顆子元件的

光譜去對我們的光譜進行設計以及合成，期望能達到涵蓋最廣範圍的吸光，以及兩個子元件有最少部分的吸光光譜重疊，以達到高的光電轉換效率。舉例而言，isoindigo 是一個可以回收再利用的基礎材料且可以由植物中提煉，因此是一個非常有潛力的電子受體單元，至於予體單元，我們將選用如 cyclopentadithiophene，dibenxosilole，naphthodithiophene 等單元，我們希望設計出的共聚高分子可以在 850 奈米有最強的光吸收，在 750 奈米有光吸收的邊界，如此一來即可與 P3HT 的吸收光譜相互錯開，達到對太陽光最有效率的利用。

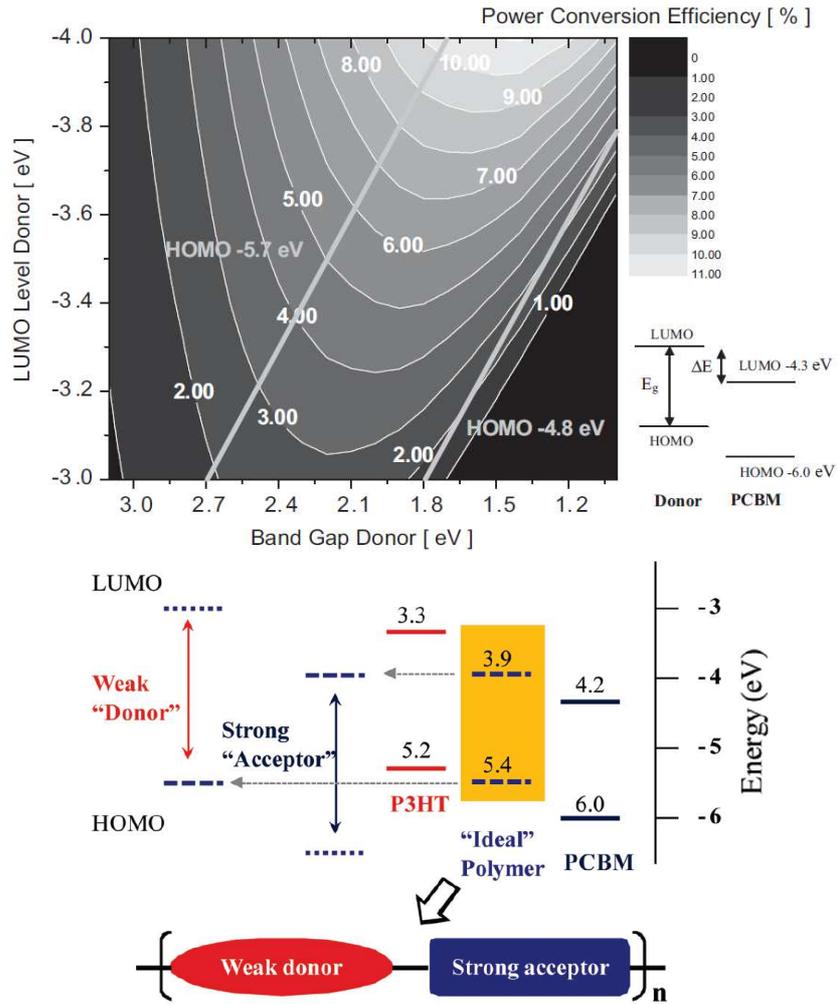


圖 十 (a) 高分子的能階位置以及能階差對能量轉換效率的預測[8]
 (b) 利用予體受體共聚可重組能階達到所需的高分子能階位置以及能階差[9]。

伍、參考文獻

- [1] Y. Liang, Z. Xu, J. Xia, S.-T. Tsai, Y. Wu, G. Li, C. Ray, and L. Yu, *Adv. Mater.*, 2010, **22**, E135-E138.
- [2] J. Hou, H.-Y. Chen, S. Zhang, R. I. Chen, Y. Yang, Y. Wu, and G. Li, *J. Am. Chem. Soc.*, 2009, **131**, 15586-15587.
- [3] J. You, L. Dou, K. Yoshimura, T. Kato, K. Ohya, T. Moriarty, K. Emery, C.-C. Chen, J. Gao, G. Li, and Y. Yang, *Nat. Commun.* 2013, **4**, 1446.
- [4] J. You, C.-C. Chen, Z. Hong, K. Yoshimura, K. Ohya, R. Xu, S. Ye, J. Gao, G. Li and Y. Yang, *Adv. Mater.*, 2013, **25**, 3973
- [5] H. M. P. Wong, P. Wang, A. Abrusci, M. Svensson, M. R. Andersson and N. C. Greenham, *J. Phys. Chem. C*, 2007, **111**, 5244.
- [6] W. J. E. Beek, L. H. Slooff, M. M. Wienk, J. M. Kroon and R. A. J. Janssen, *Adv. Funct. Mater.*, 2005, **15**, 1703.
- [7] C.-Y. Chang, L. Zuo, H.-L. Yip, Y. Li, C.-Z. Li, C.-S. Hsu, Y.-J. Chang, H. Chen, A. K.-Y. Jen, *Adv. Funct. Mater.*, 2013, **23**, 5084.
- [8] M. C. Scharber, D. Muhlbacher, M. Koppe, P. Denk, C. Waldauf, A. J. Heeger, C. L. Brabec, *Advanced Materials* 2006, **18**, 789.
- [9] H. X. Zhou, L. Q. Yang, S. Stoneking, W. You, *ACS Applied Materials & Interfaces* 2010, **2**, 1377.