

2016 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 030007
參展科別 化學
作品名稱 吸收紫外光之透明有機薄膜太陽能電池
得獎獎項 大會獎：一等獎

就讀學校 臺北市立第一女子高級中學
指導教師 汪根權、吳淑芳
作者姓名 林承霈

關鍵字 再生能源、太陽能電池、紫外光

作者簡介

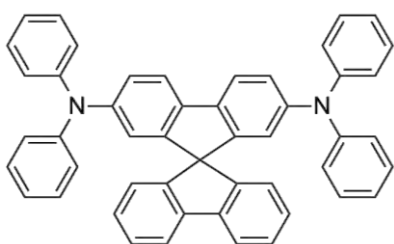


我是北一女中高二的林承霈，很幸運學校讓我們能夠有這個機會接觸科學研究的領域，這必須非常感謝教授、老師、學長姐及一路上鼓勵我的人；使我除了和研究方面開闊自己的視野，更從中體會許多樂趣；過程中接受了來自眾人大大小小的各種協助，而這些心中的感謝都將成為未來支持自己的力量，謝謝你們！

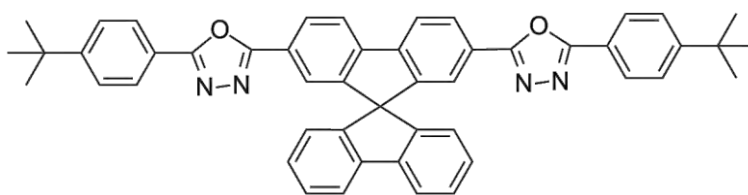
摘要

透明有機薄膜太陽能電池，有別於目前市售深藍黑色太陽能板，因其吸光範圍在不可見光區，使其外觀呈透明無色。若發展得當，便可應用在日常生活中，將玻璃更換為透明有機薄膜太陽能電池，廣泛利用再生能源。

本研究中，我們以旋環雙芴為主體，分別引入二苯環胺基、1,3,4-噁二唑雜環，合成 **D2**、**A2** 分子作為透明有機薄膜太陽能電池的主動層。測量其溶液態的基本性質後，發現 **D2**、**A2** 的吸收波長皆落在紫外光區。作為有機太陽能電池元件的主動層，不論是 **D2** 和 **C₆₀** 搭配，或是 **D2** 和 **A2** 搭配，皆具有極佳的穿透度，並且太陽光下光電轉換效率最高可達 0.52%，弱光下的光電轉換效率可高達 15.6%。



電子予體 **D2**

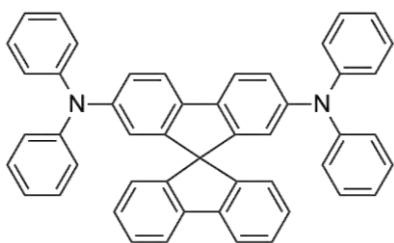


電子受體 **A2**

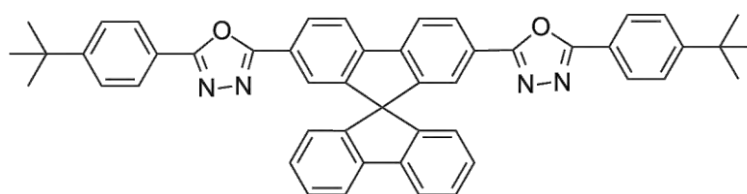
Abstract

Transparent organic solar cells, unlike the commercially available ones which are often dark blue, are colorless for its absorbance region locates in invisible region. In addition, such devices can be widely applied in daily lives and stably generate renewable energy by replacing glass with it after successfully development.

In this report, we have synthesized **D2** and **A2**, which serve as the active layer of transparent organic solar cells, by adding diphenyl amino group and 1,3,4-oxadiazole heterocyclic group to the core of spirobifluorene respectively. Through physicochemical investigations, the molecules absorb ultraviolet light. As the active layer of organic photovoltaic devices, the materials mentioned above demonstrate highly transmittance no matter **D2** blends with **C₆₀** or **A2** with their PCEs reach up to 0.52 % , and 15.6 % in indoor multi-light source system.



Donor **D2**



Acceptor **A2**

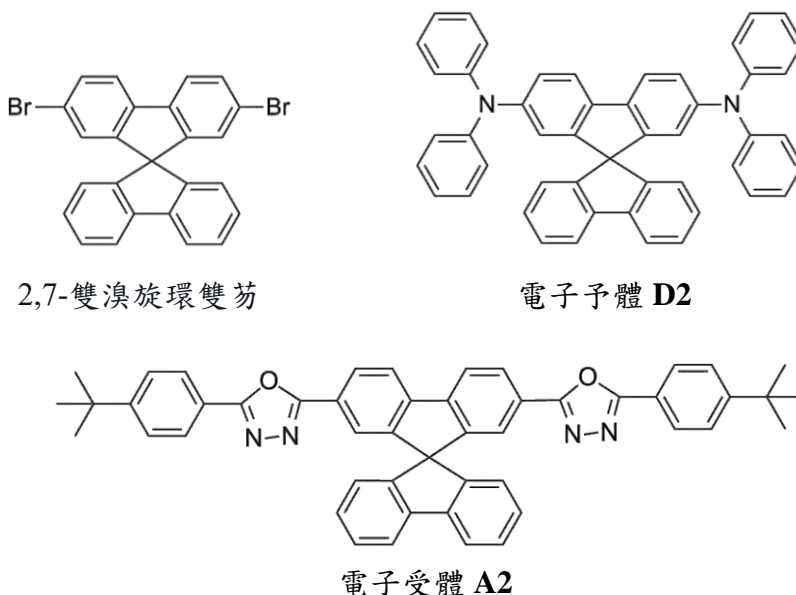
壹、前言

一、研究動機

石化燃料蘊藏量日益減少，能源的枯竭導致眾多科學家投入再生能源的研究，而其中又以太陽能電池為一大重點。目前市面上已發展出許多太陽能電池，但由於吸光波段大多位於可見光區，導致其外觀呈現深藍黑色，為使太陽能電池除了在發電功能外，亦在其他方面有更多的用途及應用，故希望將太陽能電池設計製作成透明色，令其能有更多的使用層面，得以廣泛使用太陽能。

二、研究目的及研究問題

- (一) 學習合成以 2,7-雙溴旋環雙芴 (2,7-dibromospirobifluorene) 為核心分子的目標分子：電子予體 **D2** 分子 (含雙苯基環胺基推電子基團)、電子受體 **A2** 分子 (含 1,3,4-噁二唑拉電子基團)。



- (二) 瞭解 **D2** 及 **A2** 基本特性。包含：NMR 光譜、吸收光譜與穿透度等。
- (三) 將 **D2** 及 **A2** 經由製程作成太陽能電池：主動層中分別以 **D2** 及 **A2** 分層堆疊或將 **D2** 及 **A2** 以不同比例摻混製成。
- (四) 測量電池數據。包含：開路電壓 (V_{oc})、短路電流密度 (J_{sc})、填充因子 (FF) 及轉換效率 (PCE) 等。

貳、 研究設備及器材

一、 器材

核磁共振光譜儀 (NMR)、紫外-可見光吸收光譜儀 (UV/Vis)、螢光放射光譜儀 (Fluorescence Spectrophotometer)、熔點測定儀 (MPA)、紅外線光譜儀 (FTIR)、質譜儀 (Mass spectrometry, MS)、微波消化器 (Microwave digester)、超音波震盪機 (Ultrasonic Cleaner)、旋轉塗佈機 (Spin Coater)、曝光機 (Mask Aligner)、手套箱 (Glovebox)、氧電漿清潔機 (Oxygen Plasma Cleaner)、熱蒸鍍機 (Thermal evaporation)、太陽光模擬器 (Solar Simulator)、光學式薄膜量測儀。

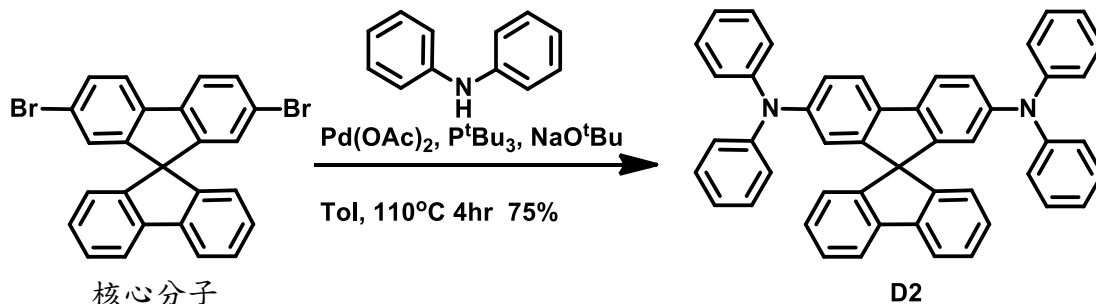
二、 藥品

2,7-雙溴旋環雙芴、甲苯、乙酸乙酯、無水硫酸鎂、氯仿、二氯甲烷、正己烷、丙酮、異丙醇、氰化亞銅、鹽酸、N-甲基吡咯烷酮、二甲基甲醯胺。

參、研究方法及過程

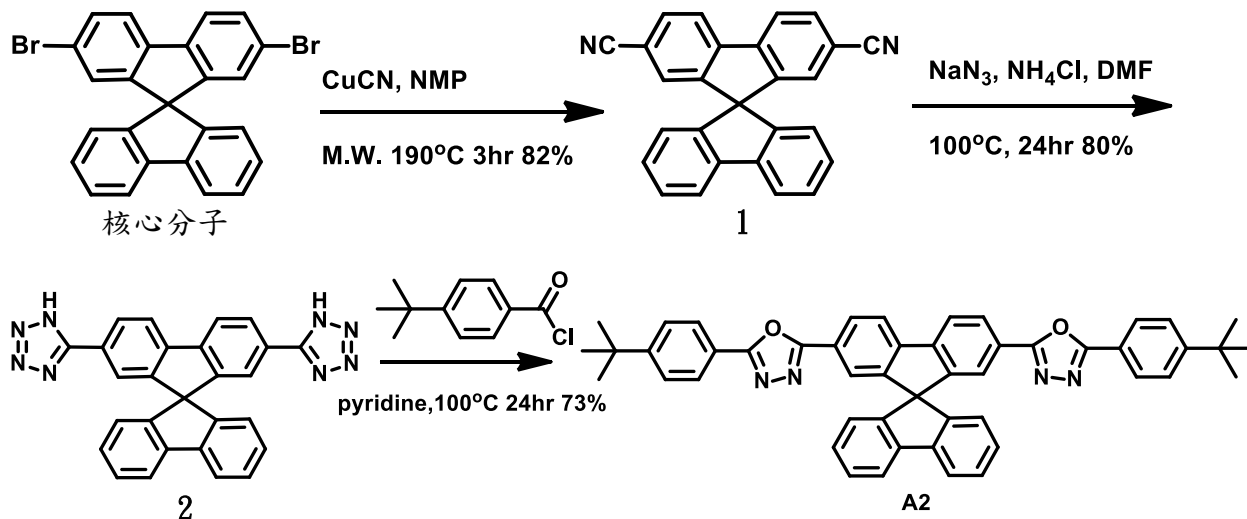
一、製備化合物

(一)電子予體 D2



先將核心分子 (5.00 g, 10.59 mmol)、二苯胺 (4.23 g, 25.00 mmol)、乙酸鈮 (0.12 g, 0.52 mmol)、叔丁醇鈉 (2.40 g, 25.00 mmol)及攪拌子置於 100mL 雙頸瓶中，抽真空並以氣球通入氫氣，再以針筒打入無水甲苯 (52.10 mL)和 P^tBu_3 (0.05 M, 41.70 mL, 2.09mmol)後於 130 °C 加熱迴流 24 小時。待反應降回室溫後，以水和乙酸乙酯萃取。所得有機層中，加入無水硫酸鎂除水，重力過濾後以迴旋濃縮儀移除溶劑。接著，利用管柱層析純化 (SiO_2 , $CHCl_3/Hexane = 1/1$)，並將所得固體用氯仿和正戊烷進行再沉澱，抽氣過濾後，可得白色固體 D2。

(二)電子受體 A2



將核心分子 (15.00 g, 31.78 mmol)、氰化亞銅 (7.28 g, 81.28 mmol)、N-甲基吡咯烷酮 (350.00 mL) 及攪拌子至微波消化器專用雙頸瓶。以微波消化器反應四小時，於冰浴下，將溶液慢慢滴入氯化鐵酸性溶液 (氯化鐵 39.56 g、水 813.00 mL、鹽酸 81.00 mL) 中，並於 60 °C 下加熱半小時，以淬息多餘的氰化物。待降回室溫，以二氯甲烷萃取。於所得有機層加入無水硫酸鎂除水，重力過濾後用迴旋濃縮儀移除溶劑。接著，以減壓蒸餾除去 N-甲基吡咯烷酮。最後，利用管柱層析純化 (SiO_2 ,

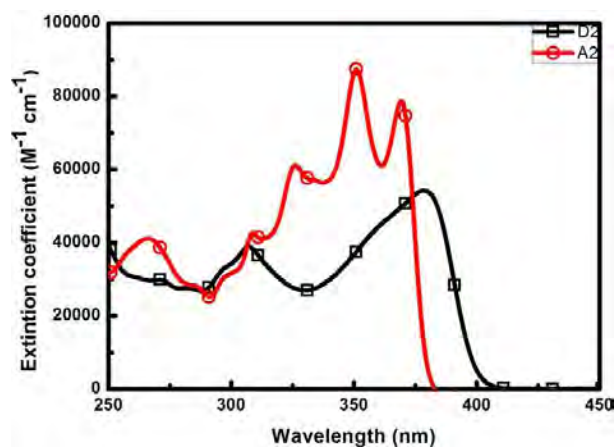
DCM/Hexane = 1/1), 可得白色固體 1。

取化合物 1 (2.00 g, 5.46 mmol)、疊氮化鈉 (1.56 g, 12.90 mmol)、氯化銨 (1.32 g, 11.84 mmol) 及攪拌子於 100 mL 雙頸瓶中, 架冷凝管, 抽真空, 以氣球通入氫氣, 再以針筒打入無水二甲基甲醯胺 (27.00 mL)。於 100 °C 反應 24 小時。待反應降溫後, 用塑膠滴管慢慢加入鹽酸, 直到不再產生白色沉澱且溶液 pH 值等於 2, 進行抽氣過濾, 並以水洗掉雜質, 可得白色固體 2。

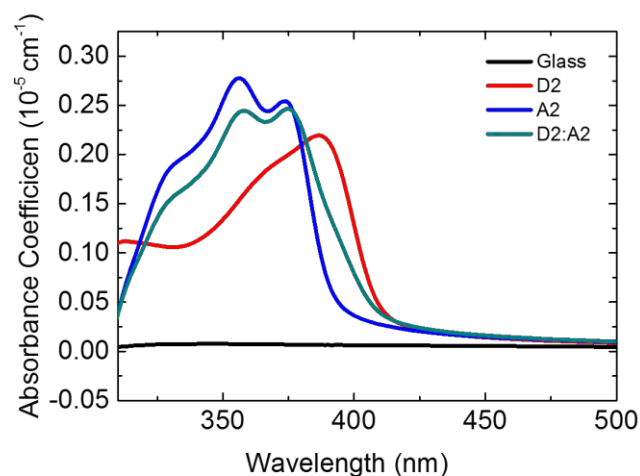
取化合物 2 (2.00 g, 4.42 mmol) 及攪拌子於 50 mL 雙頸瓶中, 架冷凝管並抽真空, 以氣球通入氫氣, 再以針筒打入無水吡啶 (21.90 mL) 和 4-第三丁基苯醯氯 (3.44 mL, 17.47 mmol), 於 100 °C 加熱迴流 24 小時。待反應降溫後, 利用管柱層析純化 (SiO₂, DCM/Ethyl Acetate/ Hexane = 1/1/1)。最後, 將所得固體用氯仿和正己烷進行再沉澱, 抽氣過濾後, 可得白色固體 A2。

二、進行光物理性質鑑定

將製備之 D2、A2 分別溶於二氯甲烷 (Dichloromethane, DCM) 中及製成薄膜, 以吸收光譜儀及光學式薄膜量測儀, 分別觀察其在二氯甲烷中與薄膜對光的吸收。



圖一 D2、A2 在二氯甲烷 (DCM) 中的吸收光譜



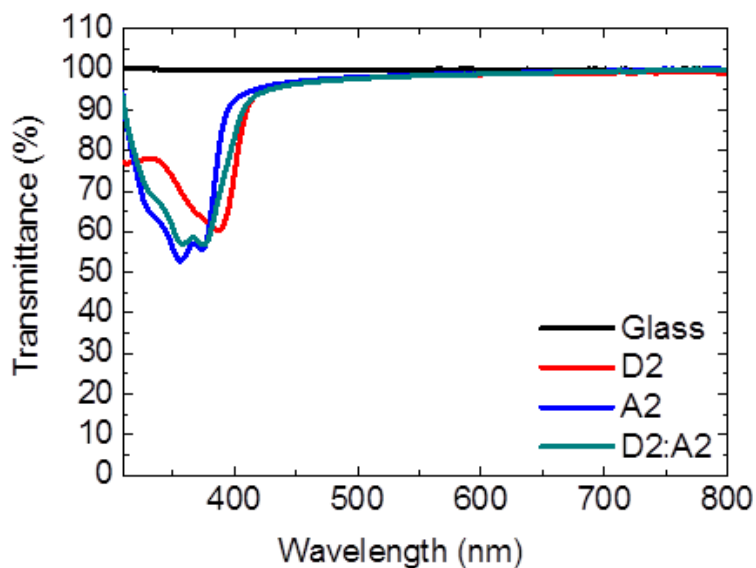
圖二 D2、A2 薄膜的吸收光譜

表一 吸收波長及消光係數數據

| | Abs (nm) | 吸收係數 (M ⁻¹ cm ⁻¹) |
|----|----------|--|
| D2 | 381 | 68000 |
| A2 | 352 | 95000 |

三、測量穿透度

為對 **D2** 及 **A2** 分子進行穿透度的測量，將分子分別及摻混鍍 30 nm 的薄膜於素玻璃 (穿透度 100%) 上，製為薄膜基板後，使用光學式薄膜量測儀測量。



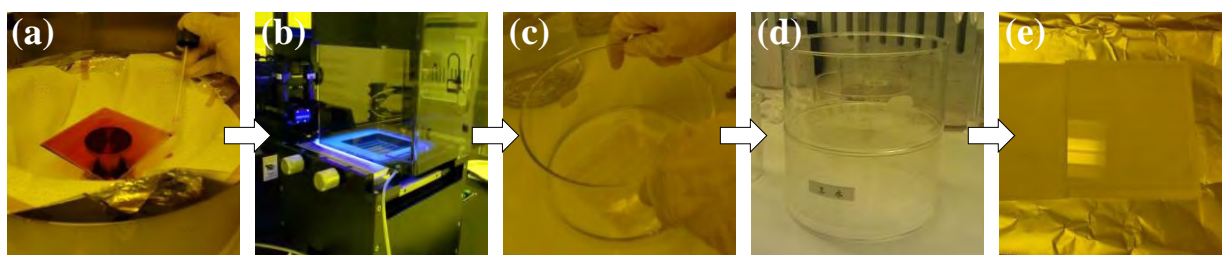
圖三 **D2** 及 **A2** 穿透度

如圖二所示，**D2** 及 **A2** 個別在 400 nm 以上穿透度皆幾乎為 100 %；而 400 nm 以下穿透度大幅下降，符合其吸光範圍皆落在紫外光的事實，證實 **D2** 及 **A2** 確實有作為有機透明太陽能電池材料的潛能。

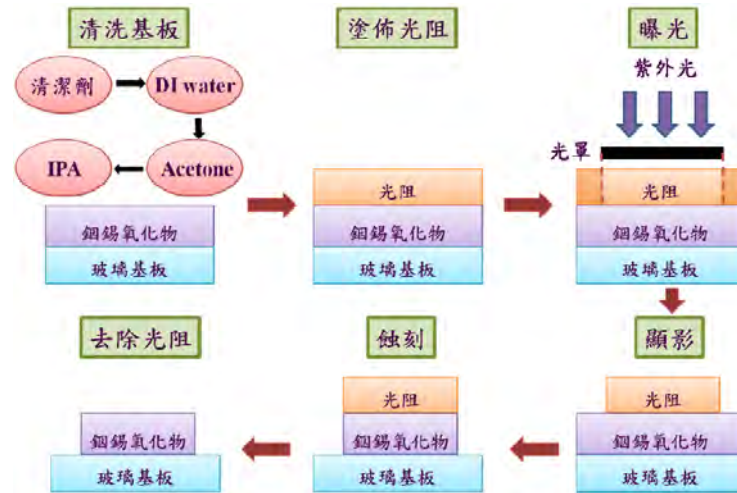
四、製作電池元件

(一) ITO 陽極基板

以銦錫氧化物 (Indium Tin Oxide, ITO) 基板為陽極，並以黃光微影製程定義圖案。



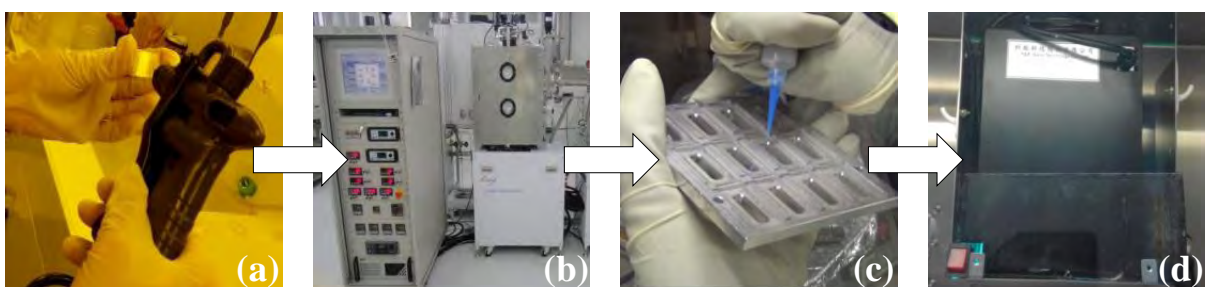
圖四 基板製作流程 (a)塗佈光阻, (b)曝光, (c)顯影, (d)蝕刻, (e)完成的基板



圖五 基板製作示意圖

- 1.清洗基板：分別將基板浸泡於清潔劑、去離子水、丙酮、異丙醇中清洗，並以超音波震盪器震洗，而後以氮氣槍吹乾。
- 2.塗佈光阻：利用旋轉塗佈機，將光阻均勻塗佈於 ITO 基板上，並在加熱板上軟烤。
- 3.曝光：將已定義圖案之光罩覆於基板上，進行曝光，使光罩外的光阻受紫外光照射產生結構改變。
- 4.顯影：以顯影劑將光罩外光阻洗去，並於加熱板上硬烤。
- 5.蝕刻：以蝕刻液把未受光阻保護之 ITO 去除。
- 6.去光阻：將基板浸泡於丙酮中，並使用超音波震盪器將剩餘的光阻洗淨，完成基板製作。

(二) 製作有機太陽能電池



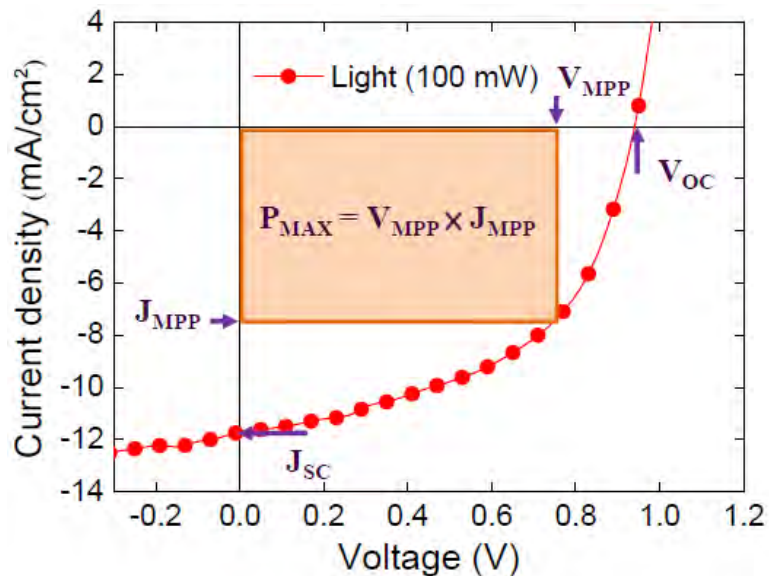
圖六 製作電池流程 (a)吹片, (b)蒸鍍, (c)封裝, (d)曝光

- 1.吹片：將 ITO 陽極基板洗淨吹乾。
- 2.蒸鍍：腔體低壓可以用較低的溫度使材料汽化，避免材料遇高溫裂解，當溫度高過昇華點時，材料汽化並向基板擴散，同時利用不同的遮罩和旋轉基板，令薄膜沉積更加均勻。
- 3.封裝：為避免材料受到水氣、氧氣的影響，在手套箱中以封裝膠塗於元件周圍並將封裝片蓋上。
- 4.曝光：利用紫外光使封裝膠快速硬化並使封裝片貼合基板。

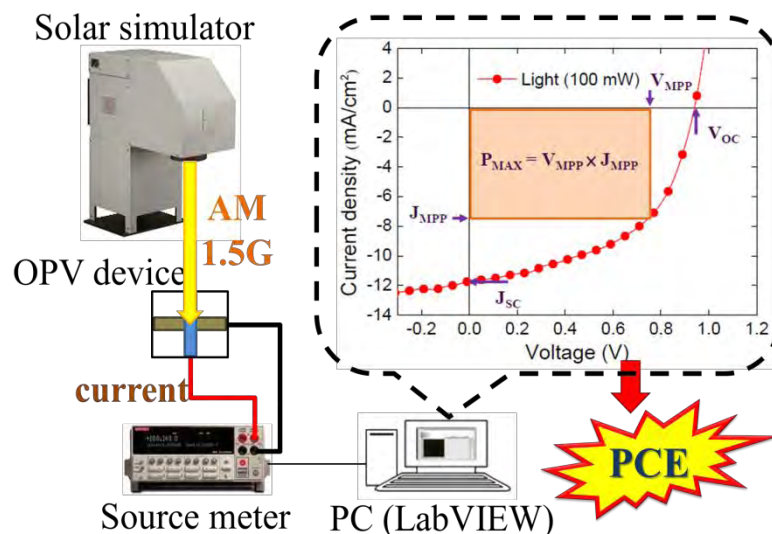
五、利用太陽光模擬器進行測試

將元件及器具置太陽光模擬器下，開啟光源，以測試標準：AM 1.5 G，光強度100 mW/cm²進行量測，並透過電腦連接電源電錶，紀錄照光下的電流電壓特性曲線，並換算出元件的開路電壓 (Voc)、短路電流密度 (Jsc)、轉換效率 (PCE)等數據。其中，開路電壓 (Voc)、短路電流密度 (Jsc)、填充因子 (FF)、轉換效率 (PCE)等評估元件的數據，可由特性曲線中得知。

開路電壓 (Voc)為照光下，元件內部所產生之光電流與外加偏壓電流抵銷為零時的電壓值，會與電子予體的HOMO及電子受體的LUMO間的能階差有關。短路電流密度 (Jsc)為外加電壓為零時，元件本身的短路電流將之除以元件有效區域面積，而短路電流大小受到載子移動率、載子擴散長度和載子生存期的影響。填充因子 (FF)即實際表現的最大工率與理論最大功率 (Voc × Jsc)的百分比。轉換效率係指整體入射光的工率轉換為最大輸出功率的百分比，其將正比於開路電壓 (Voc)、短路電流密度 (Jsc)、填充因子 (FF)。



圖七 有機太陽能電池照光之電壓對電流特性曲線



圖八 量測儀器：太陽光模擬器 (Newport 91160A)、單光儀 (Newport 74100)

肆、研究結果與討論

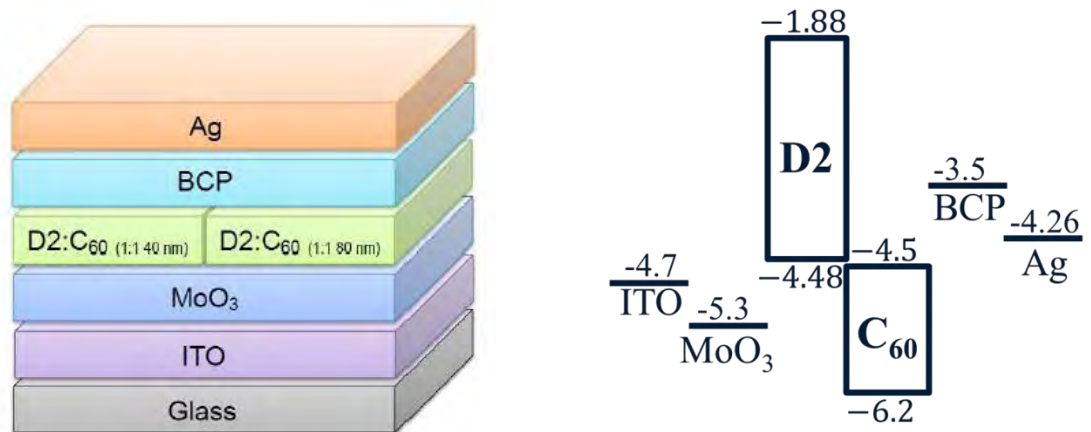
一、研究結果

(一) D2 和 C₆₀ 的元件

為測試主動層的穿透度，我們先將 D2 和 C₆₀ 以 1:1 比例摻混，製成薄膜厚度分別為 40 nm 和 80 nm 的太陽能電池元件。

1. 元件結構及能階

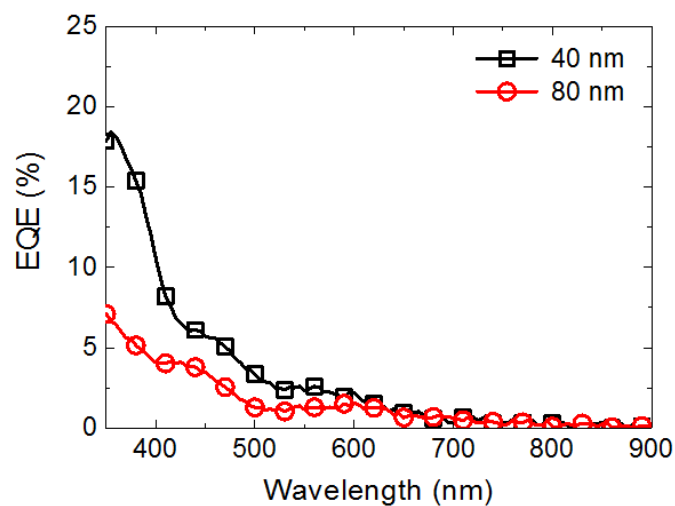
主動層為 D2 和 C₆₀ 以 1:1 比例，再利用 ITO 作為陽極，Ag 為陰極製作元件。



圖九 太陽能電池元件結構及能階圖 (D2: C₆₀ = 1:1)

2. 元件外部量子效率 (External Quantum Efficiency, EQE)

透過測量外部量子效率，除了得知對主動層中的分子對於光子的使用效率外，並可以看到不同波長下的光元件的轉換效率。

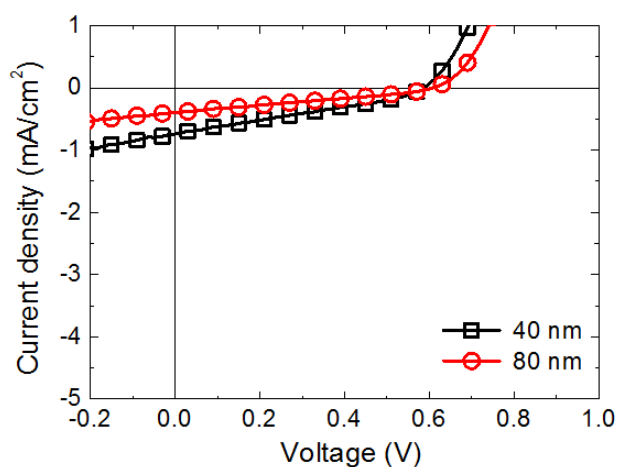


圖十 元件外部量子效率 (D2: C₆₀ = 1:1)

圖十中可看出，在 400 nm 到 700 nm 仍有少許的 EQE 吸收表現符合 C₆₀ 的吸收，因此推測可見光區的 EQE 是來自 C₆₀ 吸光的貢獻。

3. 元件電流電壓特性曲線及數據

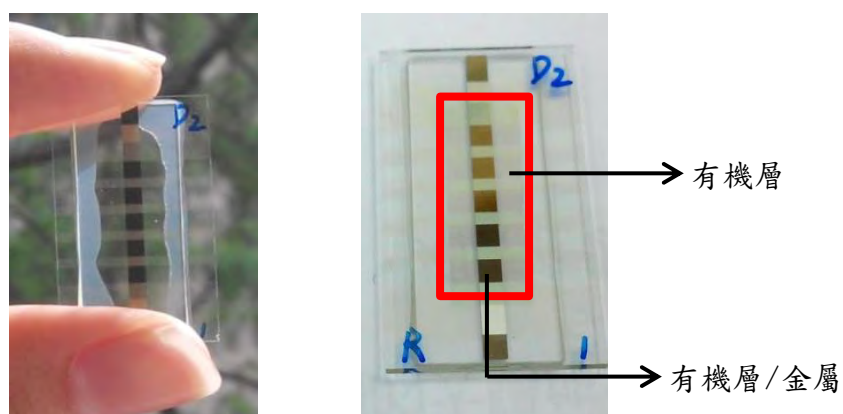
從元件數據中，我們可以認定確實有微量的光電流產生，可以期待 **D2** 和 **A2** 搭配時會有更好的元件數據。此外，儘管 **C₆₀** 仍會吸收部分可見光，但元件表現卻是相當透明的。



圖十一 **D2** 和 **C₆₀** 元件電流電壓特性曲線

表二 **D2** 和 **C₆₀** 元件表現效率

| Device | V _{oc} (V) | J _{sc} (mA cm ⁻²) | FF (%) | PCE (%) |
|----------|---------------------|--|--------|---------|
| 1:1 40nm | 0.59 | 0.74 | 29.06 | 0.13 |
| 1:1 80nm | 0.61 | 0.4 | 28.36 | 0.07 |

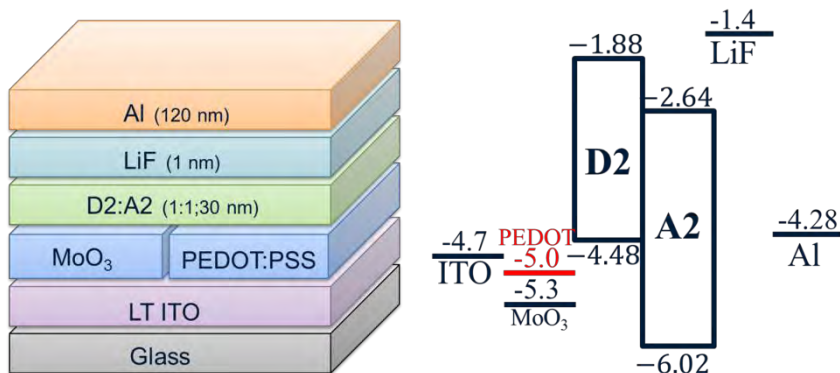


圖十二 太陽能電池元件 (**D2:C₆₀** = 1:1 40 nm)

(二) D2 和 A2 的元件 (I)

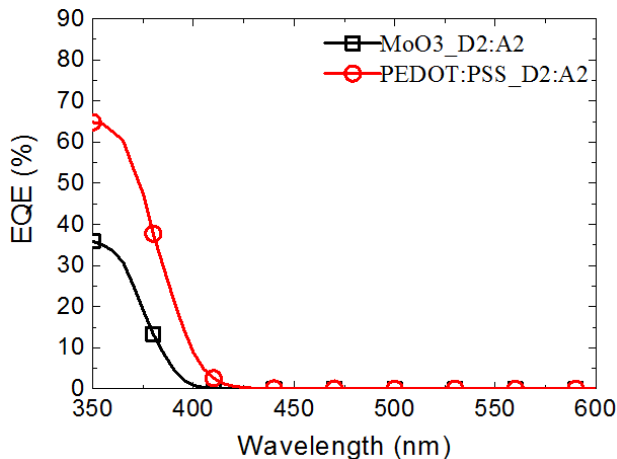
我們將電子受體換為 A2，並嘗試另外一種電洞傳遞層 MoO₃，將之製為元件。

1. 元件結構



圖十三 太陽能電池元件結構及能階圖 (D2:A2 = 1:1)

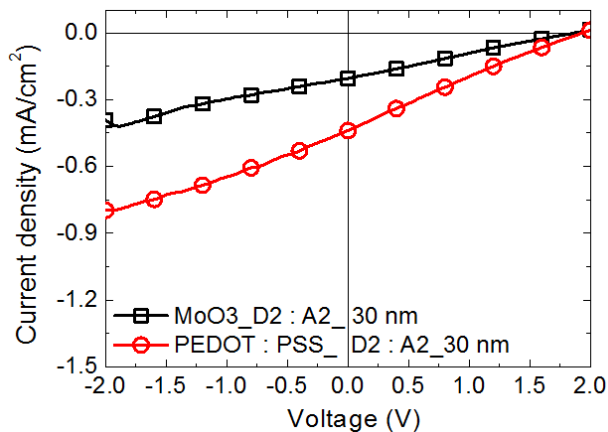
2. 元件外部量子效率 (EQE)



圖十四 元件外部量子效率 (D2:A2 = 1:1)

相較於 C₆₀ 的元件，A2 的元件在可見光區中完全沒有 EQE 吸收。

3. 元件電壓對電流特性曲線及數據



圖十五 元件電壓對電流特性曲線 (D2:A2 = 1:1)

表三 D2 和 A2 元件表現效率

| Device | V _{oc} (V) | J _{sc} (mA cm ⁻²) | FF (%) | PCE (%) |
|-------------------------|---------------------|--|--------|---------|
| MoO ₃ _D2:A2 | 1.88 | 0.2 | 24.48 | 0.09 |
| PEDOT:PSS_D2:A2 | 1.94 | 0.44 | 23.6 | 0.2 |

數據中可得 MoO₃ 的效率各項數據明顯低於 PEDOT:PSS，可能是因為 MoO₃ 和 D2 的能階較為不匹配所導致。



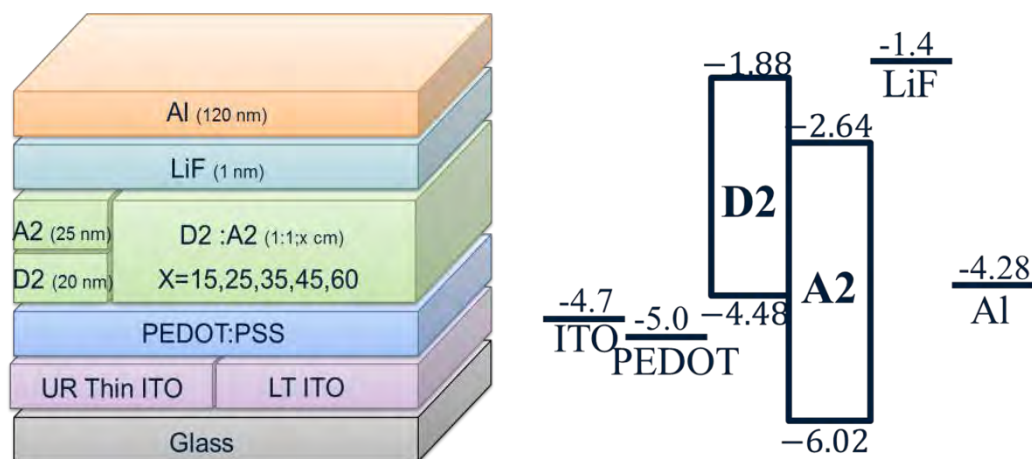
圖十六 太陽能電池元件 (D2:A2 = 1:1; 30 nm，電洞傳遞層 MoO₃) 相較 D2 和 C₆₀ 的元件有些灰灰的，使用 A2 之後，元件有更佳的穿透度及透明。

(三) D2 和 A2 的元件 (II)

我們比較 D2 及 A2 層層堆疊及 1:1 摻混的元件，探討其特性。

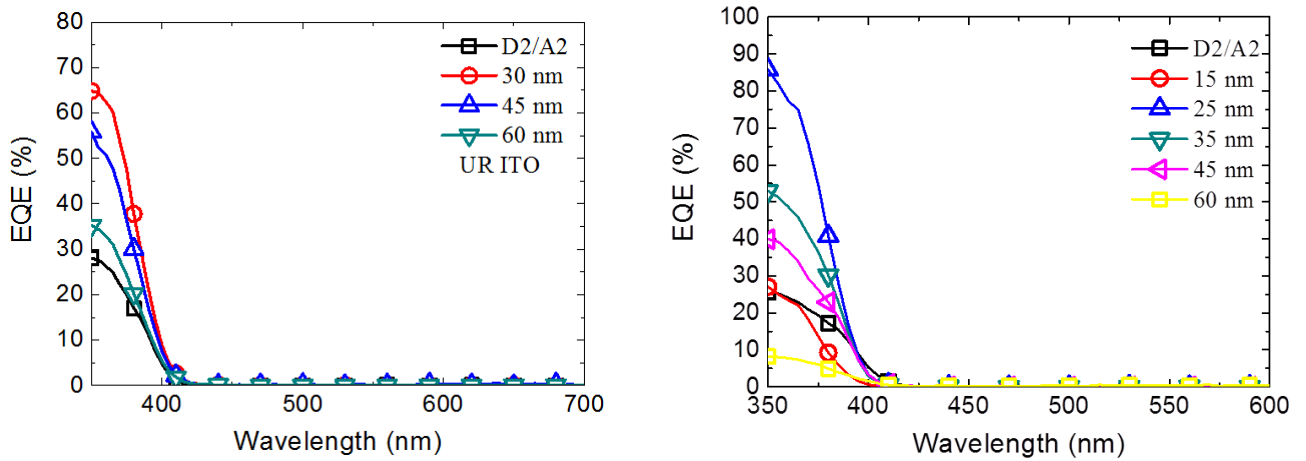
1. 元件結構

此次分別採用 UR Thin ITO 和 LT ITO 兩種不同的基板，而主動層則採用 D2 (20 nm)、A2 (25 nm) 層層堆疊或將 D2、A2 以 1:1 的比例摻混成不同厚度 (30 nm, 45 nm, 60 nm) 共四種元件。



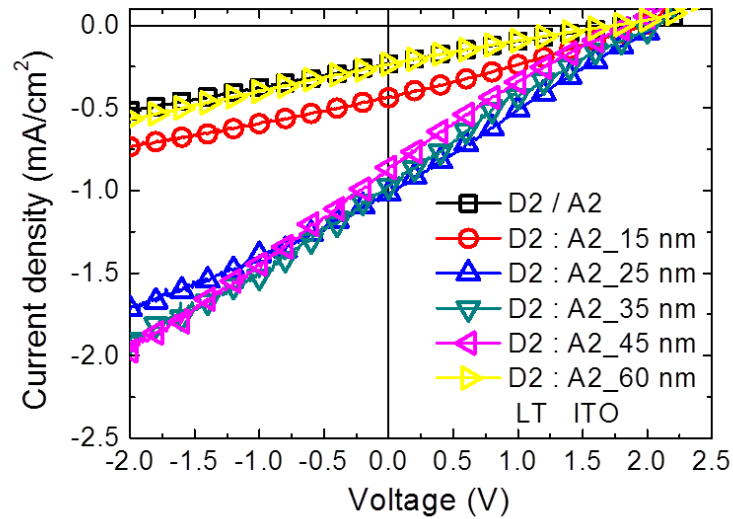
圖十七 太陽能電池元件結構及能階圖 (D2/A2 和 D2:A2 = 1:1)

2. 元件外部量子效率 (EQE)



圖十八 元件外部量子效率 ($D2/A2$ 和 $D2:A2 = 1:1$)

3. 元件電壓對電流特性曲線及數據



圖十九 元件電壓對電流特性曲線 ($D2:A2 = 1:1$)

表四 D2 和 A2 元件表現效率

| Device | V _{oc} (V) | J _{sc} (mA cm ⁻²) | FF (%) | PCE (%) |
|----------|---------------------|--|--------|---------|
| D2/A2-UR | 1.9 | 0.23 | 22.73 | 0.1 |
| 30 nm-UR | 2.07 | 0.49 | 23.25 | 0.24 |
| 45 nm-UR | 1.74 | 0.36 | 23.14 | 0.14 |
| 60 nm-UR | 2.02 | 0.27 | 22.31 | 0.12 |
| D2/A2-LT | 1.86 | 0.23 | 22.77 | 0.1 |
| 15 nm-LT | 1.98 | 0.44 | 27.57 | 0.24 |
| 25 nm-LT | 2.08 | 1.02 | 24.38 | 0.52 |
| 35 nm-LT | 2.08 | 0.97 | 21.55 | 0.43 |
| 45 nm-LT | 1.86 | 0.86 | 22.21 | 0.36 |
| 60 nm-LT | 1.74 | 0.23 | 23.43 | 0.1 |

經上述數據可看出，D2:A2各項都優於D2/A2。推測由於在 D2/A2 中，激子分離僅在 D2 和A2 的交界面發生。反觀 D2:A2，其主動層是由 D2 分子和A2分子共同形成的，有效地增加接觸面積，增加激子分離成電子及電洞的機率，更進而提升外部量子效率 (EQE)。另外，在 D2:A2 中，效率在25nm的厚度下達到最佳化的元件效率，推測是由於當薄膜厚度太薄時，元件吸光未達飽和，而當薄膜厚度越厚時，激子則尚未來的及移動至電極，便在中途複合，以致激子淬熄，降低外部量子效率。



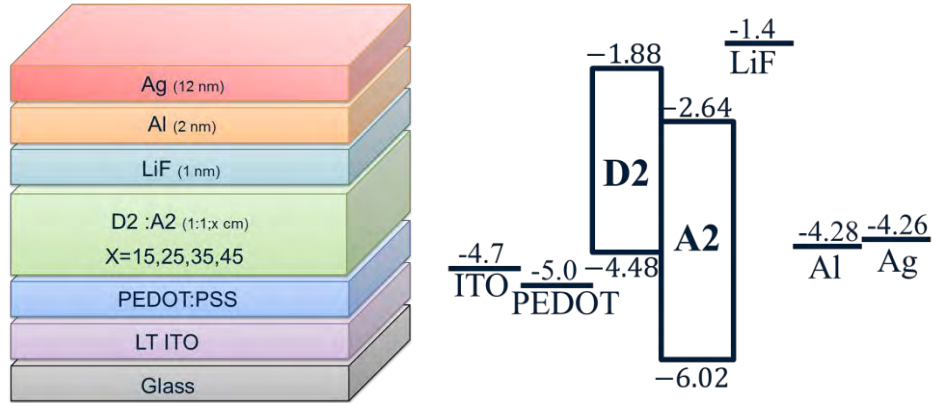
圖十九 太陽能電池元件 (D2:A2 = 1:1; 30 nm)

(四) 薄電極元件

由於金屬銀的透明度高，希望透過陰極使用鋁及銀的嘗試，作出穿透式電極。

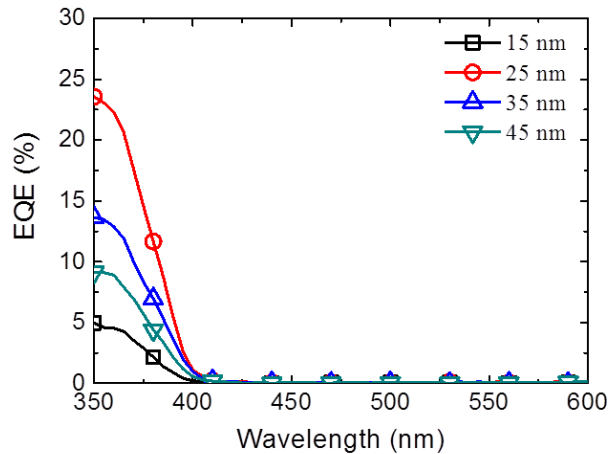
1. 元件結構

主要使用透明度高的銀，搭配鋁金屬修飾電極。



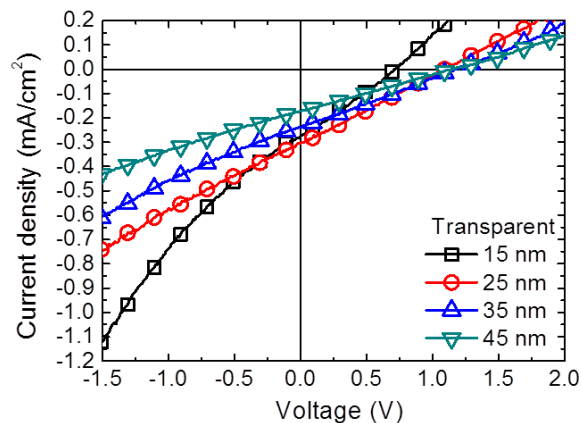
圖二十 太陽能電池元件結構及能階圖 (D2:A2 = 1:1, 薄電極)

2. 元件外部量子效率 (EQE)



圖二十一 太陽能電池元件結構及能階圖 (D2:A2 = 1:1, 薄電極)

3. 元件電壓對電流特性曲線及數據



圖二十二 元件電壓對電流特性曲線 (D2:A2 = 1:1, 薄電極)

表五 薄電極元件表現效率

| Device | V _{oc} (V) | J _{sc} (mA cm ⁻²) | FF (%) | PCE (%) |
|--------|---------------------|--|--------|---------|
| 15 nm | 0.71 | 0.27 | 27.93 | 0.05 |
| 25 nm | 1.09 | 0.3 | 26.41 | 0.09 |
| 35 nm | 1.17 | 0.24 | 26.64 | 0.07 |
| 45 nm | 1.16 | 0.17 | 25.34 | 0.05 |

由於電極變薄，元件量測時減少了光照在陰極上反射回元件的光，相較於一般厚度的電極，光照射於基板，有足夠的厚度得以反射回元件拆解層，薄電極的光會直接穿透，導致元件的 J_{sc} 下降，連帶 PCE 也下降。

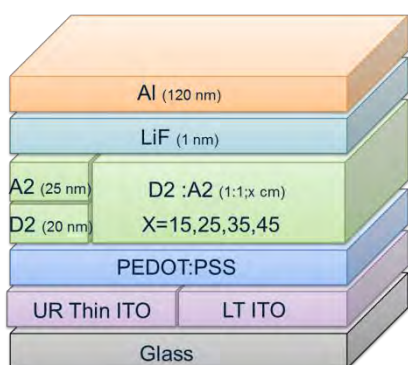


圖二十三 元件照片 (薄電極)

(五)弱光量測

相較以太陽光模擬器 AM 1.5G 的條件量測元件，使用弱光量測的方式，透過強度較微弱的紫外燈管量測數據，將產生較少的激子進行拆解，進而有較少的電子電洞對於途中複合，便能產生較高的效率。

1.D2 及 A2 元件弱光量測 (170 μW/cm²)

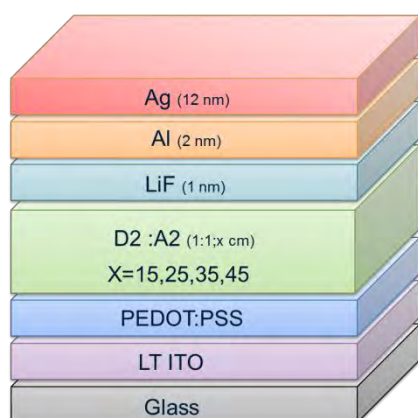


圖二十四 D2 及 A2 元件結構及弱光下之特性曲線

表六 D2 及 A2 元件弱光下數據

| Device | Voc (V) | J _{sc} (mA cm ⁻²) | FF (%) | Efficiency (%) |
|--------|---------|--|--------|----------------|
| 15 nm | 1.10 | 75.5 | 26.34 | 12.87 |
| 25 nm | 1.03 | 105 | 24.49 | 15.60 |
| 35 nm | 1.03 | 95 | 25.11 | 14.49 |
| 45 nm | 1.10 | 96.4 | 24.50 | 15.29 |

2. 薄電極元件弱光量測 (170 μW/cm²)



圖二十五 薄電極元件結構及弱光下之特性曲線

表七 薄電極元件弱光下數據

| Device | Voc (V) | J _{sc} (mA cm ⁻²) | FF (%) | Efficiency (%) |
|--------|---------|--|--------|----------------|
| 15 nm | 0.3 | 36.1 | 27.3 | 1.75 |
| 25 nm | 0.4 | 43.3 | 26.13 | 2.68 |
| 35 nm | 0.49 | 28.8 | 25.02 | 2.0 |
| 45 nm | 0.17 | 18.7 | 24.55 | 0.46 |

二、討論

目前已成功作出透明太陽能電池，但陰極使用金屬電極，所以元件無法完全呈現透明。而透過製成薄電極的元件，卻由於電極薄無法將入射光反射回元件，而導致元件效率下降，因此要將元件電極作得透明，卻不使 PCE 下降，將是元件發展需要面對的問題。

伍、結論與應用

一、結論

目前我們已成功合成出 **D2**及 **A2**，並製作出穿透度極佳甚至是透明的太陽能電池元件，且 PCE 最高為 0.52%，在弱光下則是15.6%。雖然由於大氣層會吸收大量的紫外光，使得強度大幅下降，造成太陽能電池元件效率不佳，但仍是透明有機薄膜太陽能電池領域的一大突破。我們也可以透過元件在不同強度的紫外光下，將反應出不同的電流值，用以偵測紫外光的強弱。

二、未來展望與應用

製造出透明的太陽能板，可以有別於目前市售深藍黑色的太陽能板，應用在許多層面，例如：眼鏡的鏡片、手機面板等；此外，更可作為方便隨身攜帶或以微小電流運作的電子物件，例如：以電流驅動 GPS 晶片定位；甚者，將透明太陽能板應用在一般住家及辦公大廈所使用的玻璃、落地窗等，除了可以藉此阻攔紫外光保護人類的眼睛及皮膚外，也能產生電流減少能源損耗；透過元件在太陽光下的及弱光量測的效率表現不同，亦可應用於紫外光強弱的偵測。

更有甚者，未來亦可將透明的太陽能板投入太空中的應用，除了減少元件在地球使用時，會受到大氣層會吸收大量的紫外光的限制，使得強度下降。如若可以在外太空使用，太空中的紫外光是地球上的 1000 倍，有更足夠的光源，也不會受到水氧影響而減短使用壽命。而藉由將元件應用在太空人的頭盔等物件，將得知當下環境的紫外光含量多寡，是否達到危險值而發出緊訊。

陸、參考資料

1. H.-W. Lin, S.-Y. Ku, H.-C. Su, C.-W. Huang, Y.-T. Lin, K.-T. Wong, C.-C. Wu, *Adv. Mater.* 2005, 17, 2489–2493.
2. R. R. Lunt, V. Bulovic, *Appl. Phys. Lett.* 2011, 98, 113305.
3. C.-F. Lin, et al., *Int. J. Mol. Sci.* 2011, 12, 476.
4. 黃柏堯，2014 年，以供蒸鍍製備氣鋁酞菁與碳七十小分子有機太陽能元件之最佳化研究與探討。
5. 張正華、李陵嵐、葉楚平、楊平華，2007 年，有機與塑膠太陽能電池，初版，五南圖書出版公司。

【評語】 030007

不同於一般太陽能電池，本作品主要兩項特點為(1)製出薄金屬透明電擊(2)合成吸收紫外光之有機薄膜，此兩特點正是現今太陽能電池研究努力發展要突破的兩個目標。本作品能成功結合此兩點，使應用在窗戶玻璃或外太空有強紫外光環境下使用之電池有里程碑之意義，若能提高效率將是更大的突破。