

第二章 實驗原理

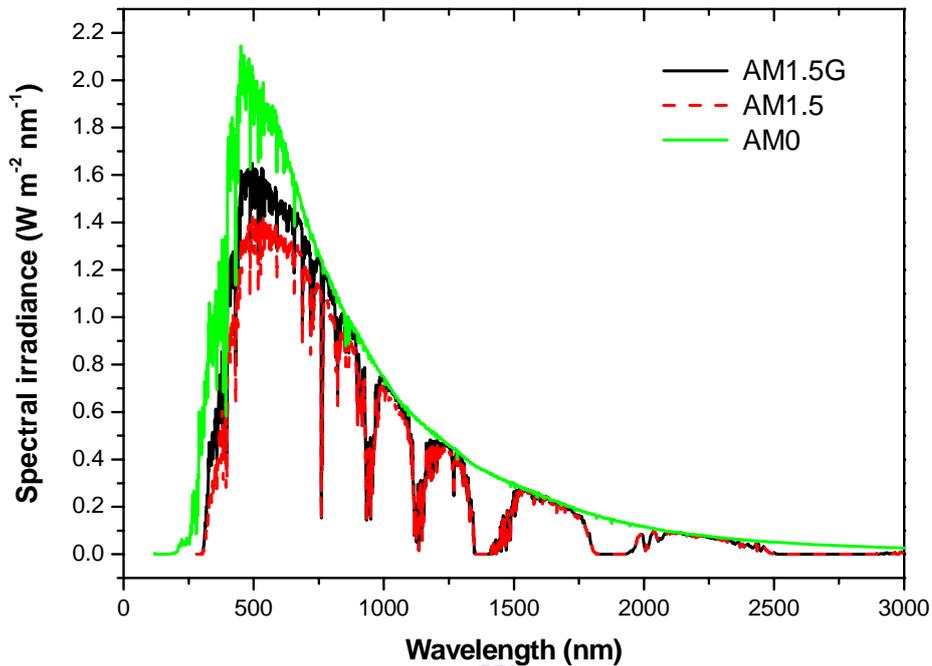
2.0 前言

太陽能電池功用是將太陽能轉換成電能，所以太陽光譜對太陽能電池的效率影響極大，因此本章將先介紹太陽光譜，並以染料敏化太陽能電池(DSSC)為例，說明太陽能電池的工作原理，以及相關之光伏參數。

2.1 太陽光譜



太陽的能量是來自太陽內部中心(溫度約 1500~2000 萬 K)，此處充滿著高速運動的原子核和自由電子，當高速的原子核互相碰撞時，它們產生融合反應而釋放出極大的能量產生高溫。但這並非太陽表面的黑體(black body)輻射溫度，因為大部分的電磁輻射會被太陽表面的氫原子層再吸收，所以太陽的表面溫度會比內部溫度低許多，大約在 6000 K 左右。圖(2-1)為太陽光譜圖，其中包括 6000 K 黑體輻射光譜，以及 AM 0、AM 1.5 太陽光譜。¹



圖

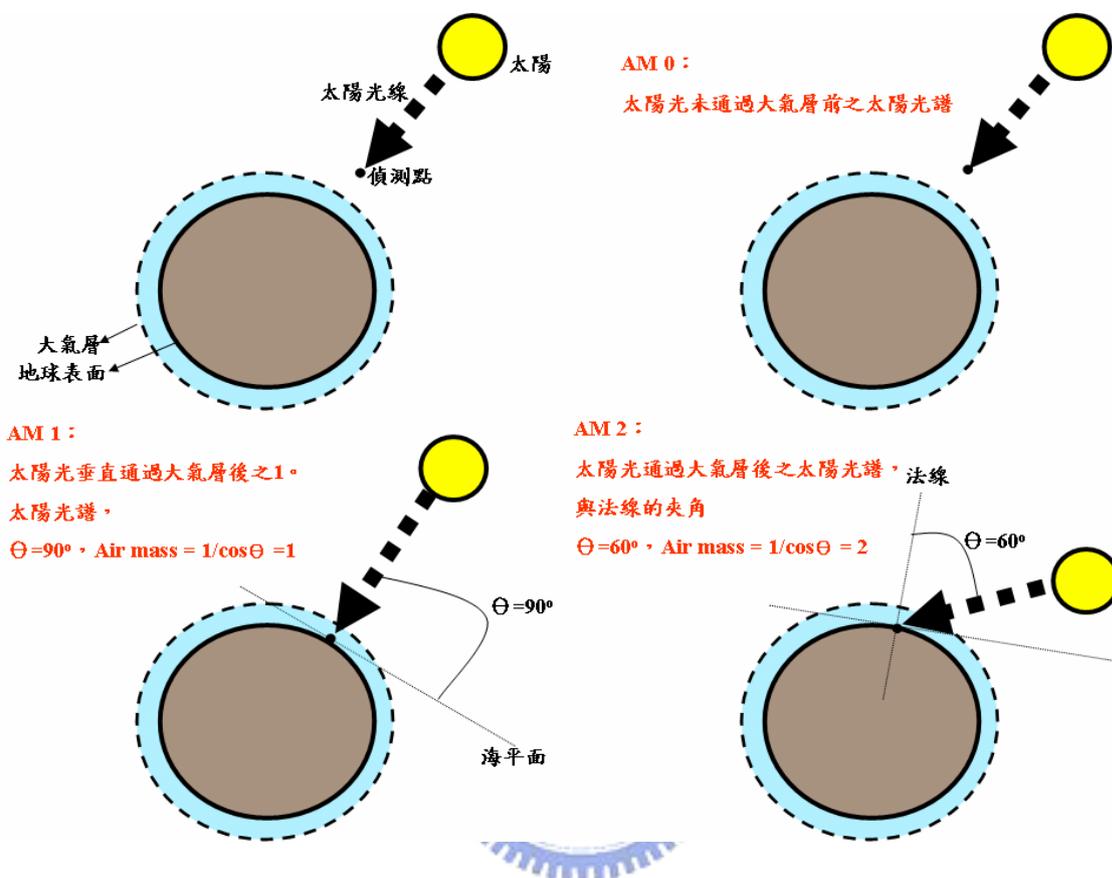
(2-1) 太陽光譜圖(solar spectrum)。AM1.5G：單位入射強度定義為 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ ，AM1.5：考慮環境因素的干擾，強度較 AM1.5G 低。

首先必須介紹空氣質量(air mass, AM)的意義，當太陽光入射到地表時，會受到大氣層中空氣分子和塵埃的散射，以及氣體分子的吸收，所以太陽光會隨著在大氣層中行經路徑之長短而有不同的衰減。空氣質量(air mass, AM)定義為：

$$\text{Air Mass} = \frac{1}{\cos \theta}$$

其中 θ 為入射太陽光和垂直地表的法線之夾角，如圖(2-2)所示。簡單的說，空氣質量可定義為：太陽光入射到海平面在大氣層經過的距

離，與垂直入射至海平面在大氣層所經過的距離之比值。



圖(2-2) 空氣質量(air mass)示意圖，依序是 AM 0、AM 1、AM 2。

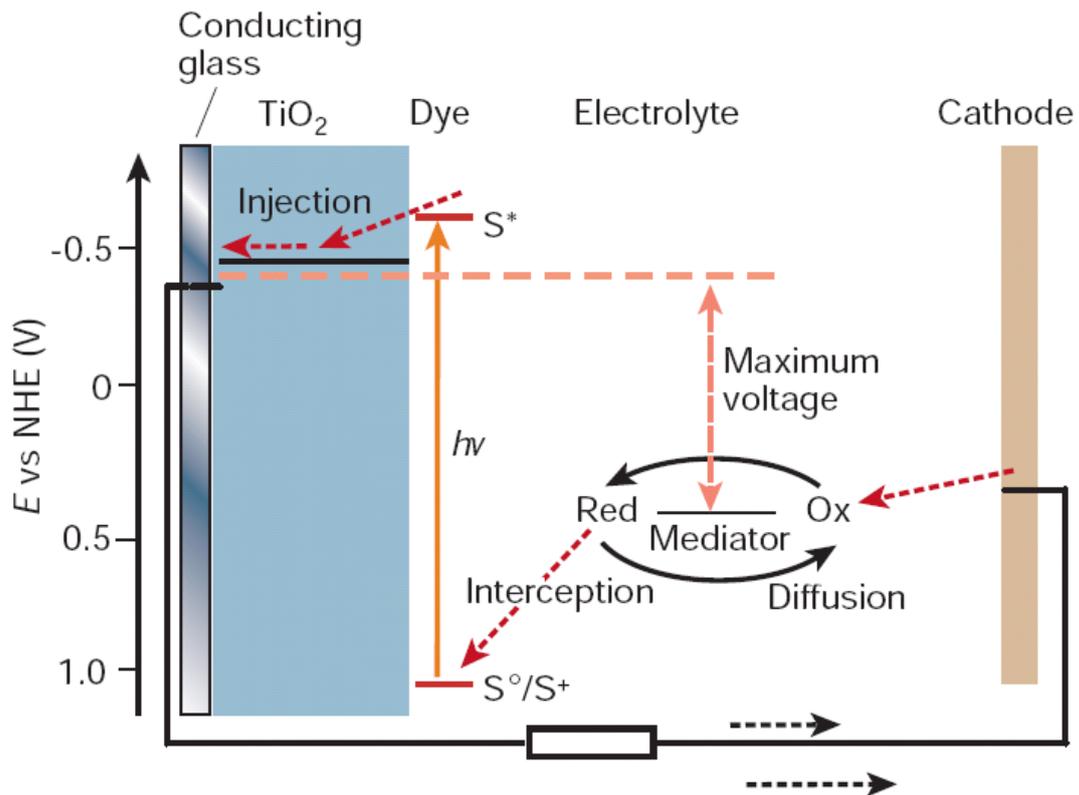
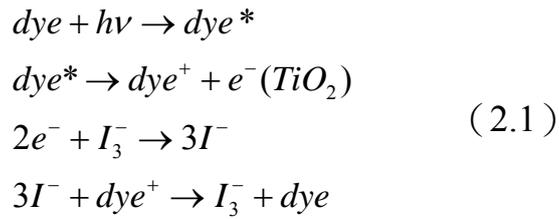
表(2-1)列出美國太空總署(NASA)所定出之空氣質量與單位面積入射功率的標準。對於太空中使用的太陽能電池，我們常使用 AM 0 的照光條件進行測試，以模擬在外太空使用的狀況，而在地表使用的太陽能電池，則多用 AM 1.5(入射角 $\theta=48.19^\circ$)的照光條件。

表(2-1) 不同空氣質量定義之太陽光輻射，其單位面積之入射功率。

空氣質量條件	單位面積入射功率(mW/cm ²)
AM 0	135
AM 1	100
AM 1.5	83.2
AM 1.5G	100
AM 2	69.1

2.2 染料太陽能電池之原理

染料敏化太陽能電池與傳統型太陽能電池最大的差異，在於其運作原理將光子吸收(light absorption)及電荷分離(charge separation)兩個機制分開獨立進行，光子的吸收由染料執行，而電荷分離則發生在染料與其化學吸附的半導體氧化物界面上。染料敏化太陽能電池的運作機制如圖(2-3)所示，染料分子吸收光子後，形成激發態染料分子(S^{*})，將電子注入半導體金屬氧化物的傳導帶後，變成氧化態染料分子(S⁺)，此時電解液會提供電子給氧化態染料分子，自身發生氧化反應，最後再由外電路的陰極得到電子發生還原反應，如此形成一完整迴路。以下為此運作原理中的幾個簡單反應式：^{2, 3, 4}



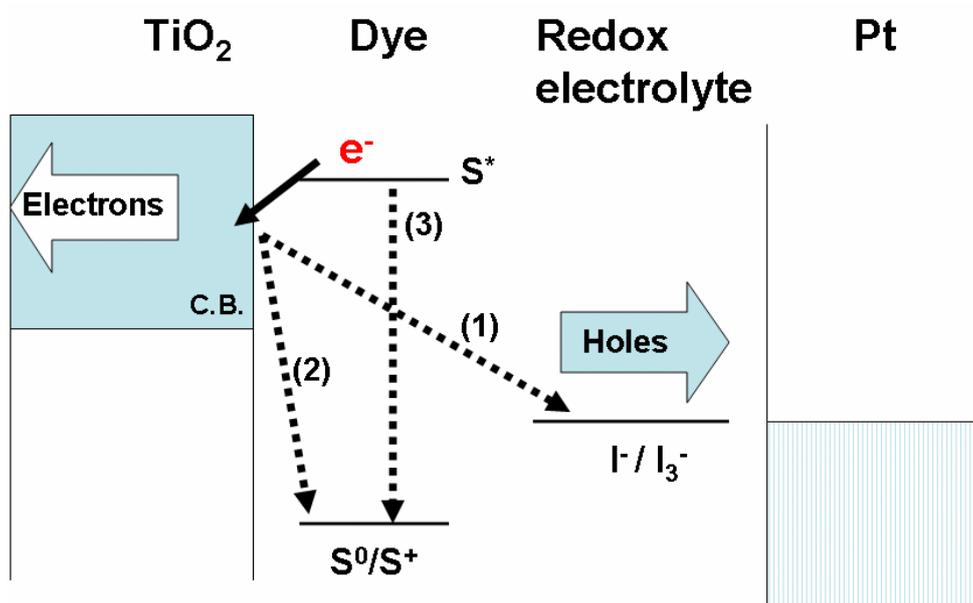
圖(2-3) 染料敏化太陽能電池(DSSC)運作機制圖。²

在整個迴路中，其中有三個路徑會降低染料敏化太陽能電池的整體效率，即為圖(2-4)中的三個路徑：^{5, 6, 7, 8, 9}

- (1) 為暗電流(Dark Current)，TiO₂ 接受染料激發態的電子後，電子往反方向於電解質注入，即在電解質上發生電子-電洞對的

再結合，除了能量的損失外，此所產生的反方向電流會降低光電流值，也會對整體效率造成影響。

- (2) 為注入TiO₂ 的電子與表面染料基態之電洞表面發生再結合效應，同樣會造成能量損失以及對整體電子的迴路不利。
- (3) 為染料自身的電子-電洞對再結合，會釋放出熱能。



圖(2-4) 染料敏化太陽能電池中產生電子再結合的機制。

染料敏化太陽能電池在結構上，包含幾個主要部分：

(1)電極基板：

使用透明導電玻璃(Transparent Conducting Oxide, TCO)，目的是讓太陽光能夠穿透而被染料吸收。

(2)半導體金屬氧化物：

使用寬能隙(Wide Band Gap)的半導體氧化物，如二氧化鈦、氧化鋅。二氧化鈦的多孔性(Mesoporous)結構其孔隙平均大小約為 15nm，奈米顆粒大小約為 10~30nm，此結構可吸附大量的染料分子，而使光子被吸收的機率和光子吸收量大幅提昇。此部分負責接收染料分子所注入的電子，經由傳導帶(Conduction Band)傳至工作電極再流至外線路。

(3)有機金屬化合物染料：

要藉由光激發二氧化鈦而產生反應，須要低於388nm之紫外光，但紫外光所佔太陽光能中只有6%，是故必須利用太陽光能佔最高比例的可見光，而染料能夠幫助二氧化鈦的吸收波長提高到可見光區，因此染料能藉由可見光的驅使電子躍遷至二氧化鈦半導體電極，並接受來自電解質的電子。一般染料必須符合以下幾種條件，第一，最好在可見光區有寬吸收；第二，要有能和半導體氧化物表面產生良好鍵結的連接團(Attachment groups)，如Carboxylate、Phosphonate；第三，染料的電子激發能階必須符合金屬氧化物的傳導帶能階，以降低電子傳導過程中的能量損失。

(4)電解液：電解液作為一中和電性的離子傳輸層(Mediator)，提供電子給受光激發後失去電子的氧化態染料分子，使其能快速還原，而電解液自身行氧化還原反應，由外電路獲得電子後發生還原反應，形成迴路。

2.3 光伏參數

太陽能電池的電性量測，是在模擬太陽光的照射條件下，進行電流電壓(I-V)的關係測量，圖(2-5)為太陽能電池的 I-V 量測圖，圖中標出太陽能電池的重要參數，如開路電壓、短路電流、填充因子、轉換效率等，以下將逐一介紹：¹⁰

(1) 開路電壓(open circuit voltage, V_{oc}) :

當太陽能電池負載無限大的狀態下，也就是外部電路斷路時的輸出電壓，在圖(2-5)中，I-V 曲線和 X 軸($I=0$)的交點，即為 V_{oc} 。

(2) 短路電流(short circuit current, I_{sc})

當太陽能電池負載為零的狀態下，也就是外部電路短路時的輸出電流，在圖(2-5)中，I-V 曲線和 Y 軸($V=0$)的交點，即為 I_{sc} 。

(3) 填充因子(fill factor, FF)

定義為太陽能電池的最大輸出功率(P_{max})與 I_{sc} 、 V_{oc} 乘積的比值。I-V

曲線上任意(I、V)點皆可和原點圍出的一方形面積，在圖(2-4)中，

(I_{max} 、 V_{max})點與原點所圍出之方形面積為最大，即為最大輸出功率

$Area = P_{max} = I_{max} \cdot V_{max}$ ，而填充因子可表示為

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \cdot 100\% = \frac{I_{max} \cdot V_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2.2)$$

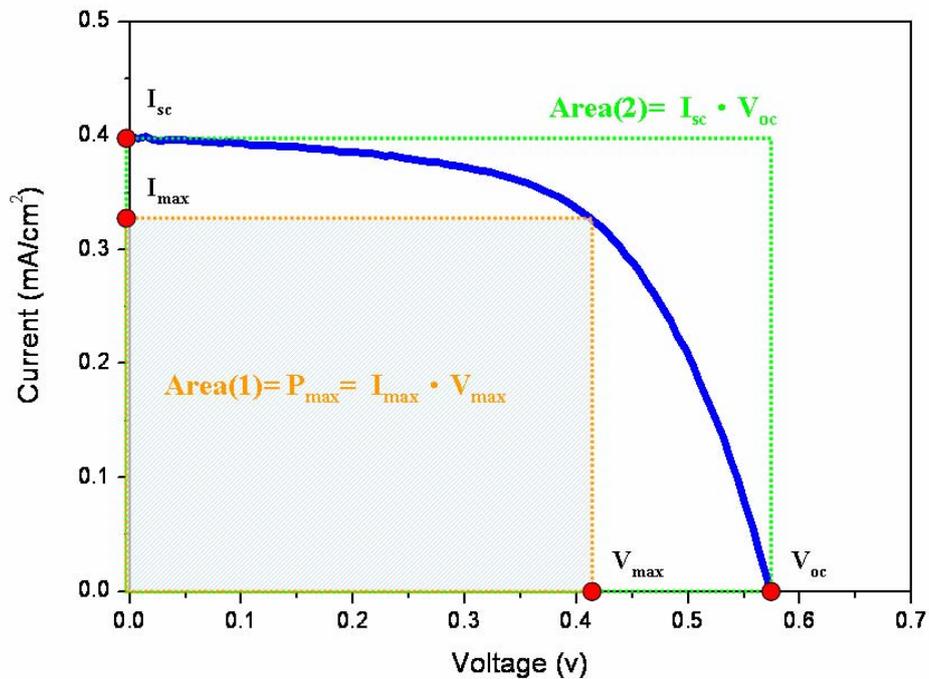
(4) 轉換效率(conversion efficiency, η)

定義為太陽能電池的最大輸出功率(P_{max})與入射光功率(P_{in})的比值，根

據(2.2)式可得到

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} = \frac{V_{\max} \cdot I_{\max}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_{in}} \quad (2.3)$$

因此只要知道 V_{oc} 、 I_{sc} 、 FF 、 η 以及入射光功率 P_{in} ，即可換算出轉換效率 η 。



圖(2-5) 光伏參數圖，I-V 曲線上任意點和原點所圍成之方塊面積即為功率，而 P_{max} 則為曲線下可圍成之最大面積。

2.4 參考文獻

¹ <http://rredc.nrel.gov/solar/>

-
- ² B. O'Regan and M Grätzel, *Nature* **1991**, 353, 737–740.
- ³ M. Grätzel, *Nature* **2001**, 414, 338–344.
- ⁴ M. Grätzel, *J. Photochem. and Photobio. A: Chem.* **2004**, 164, 3–14.
- ⁵ A. Hagfeldt and M. Grätzel, *Chem. Rev.* **1995**, 95, 49–68.
- ⁶ K. Kalyanasundaram and M. Grätzel, *Coord. Chem. Rev.* **1998**, 177, 347–414.
- ⁷ M. Grätzel, *Current Opinion in Colloid and Interface Science* **1999**, 4, 314–321.
- ⁸ Cahen et al., *J. Phys. Chem. B* **2000**, 104, 2053–2059.
- ⁹ A. Fujishima et al., *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **2004**, 81, 197–203.
- ¹⁰ 物理雙月刊（二十七卷五期），2005年10月

