

電荷輸送材料添加による半導体粒子層の電荷輸送効率改善に関する研究

A study on improvement of efficiency of carrier transfer between semiconductor particles by using carrier transport materials

東北大学 環境 〇馬淵 隆, 横山 俊, 下位 法弘, 高橋 英志, 田路 和幸

Tohoku Univ. 〇Takashi Mabuchi, Shun Yokoyama,

Norihiko Shimoi, Hideyuki Takahashi, Kazuyuki Tohji

E-mail: hideyuki@mail.kankyo.tohoku.ac.jp

1. 緒論

化石燃料の枯渇や地球温暖化等の問題を解決する手段として、太陽光発電が注目を集めている。しかしながら、現在主流であるSi太陽電池においては、Siの還元・精製に多大なエネルギーを要すること等から製造コストが増大し、既存の発電方式と比較し3~4倍程度の発電コストが必要となる。そこで、我々の研究室で開発されてきた、量子効率が通常のナノ粒子と比較し数倍、かつ低エネルギーで合成が可能なストラティファイド硫化物ナノ粒子光触媒を太陽電池へと応用することにより、太陽電池の低コスト・高効率化を試みた。しかしながら、上記材料で構成された太陽電池では、理論最大効¹⁾と比較し約1/50の低い変換効率を示した。この要因は、半導体粒子層に多数存在する粒界において、光生成電荷が再結合により消費されることにあると考えられる。

そこで本研究においては、有機・無機電荷輸送材料を半導体粒子層中に添加することで、半導体粒子からの電荷分離により粒界での再結合を抑制し、粒子状半導体を用いた太陽電池の変換効率を向上することを目的として研究を行った。

2. 実験

有機電荷輸送材料として、電子輸送材料であるPBD、正孔輸送材料であるPEDOT/PSSを、無機電荷輸送材料として、電子輸送材料であるTiO₂、ZnS、及びZnO、正孔輸送材料としてCuAlS₂を選択した。半導体材料としてナノ粒子及びストラティファイド構造を有するCdS若しくはAg₂Sを使用した。作製した試料はX線回折(XRD, 理学株式会社; CuK α ; 40 kV; 30mA)及び走査型電子顕微鏡(SEM, 日立製作所; S-4100)により評価した。太陽電池は、電荷輸送補助材料、CdS半導体材料、及びNa₂S₄電解質溶液により作製した。太陽電池のI-V特性は、光源としてソーラーシミュレータ(朝日分光; HAL-320)を用い、Gamry 社製のR600 を用いて評価した。

3. 結果及び考察

3.1. 有機電荷輸送材料の添加

有機電荷輸送材料とCdSナノ粒子から作製した湿式太陽電池、及びCdSナノ粒子のみの従来法で作製した湿式太陽電池のI-V特性評価結果から、すべての太陽電池で、電荷の移動方向が一方向に制限されるショットキー接合が形成されており、太陽電池として動作する条件を満たしていることが確認された。しかしながら、有機電荷輸送材料を添加した太陽電池では光起電力が観測されなかった。この要因として、Fig.1に示すように、電荷が自由に移動可能なオーミック接合が形成される必要がある有機電荷輸送材料と対極材料の接合において、ショットキー接合が形成されていることにより電荷の移動が阻害されていることが確認された。従って、電荷輸送材料は、CdS半導体材料と対極材料の接合を阻害しないことが必要であると示唆された。

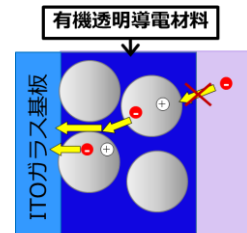


Fig. 1 有機電荷輸送材料と対極材料間の電荷移動の模式図

3.2. 無機電荷輸送材料の添加

無機電子輸送材料を添加した場合、CdSナノ粒子を用いた太陽電池ではすべてのセルで光起電力が生じたが、ストラティファイドCdSを用いた太陽電池のうちTiO₂、ZnOを添加したものは光起電力が大幅に減少した。この要因として、Fig. 2(a)に示すように、ストラティファイド半導体内の金属濃度勾配から表面には正孔が集積されており、電子輸送材料と接触している表面付近で輸送すべき電子が不足したためであると予測された。

上記の課題は正孔輸送材料の使用により解決されると思われる。しかしながら、無機正孔輸送材料を添加した場合、ナノAg₂S及びストラティファイドAg₂Sのどちらを用いた場合でも、光起電力が低下することが確認された。これは、Fig. 2(b)に示すように、無機正孔輸送材料と対極材料がオーミック接合を形成することにより、正孔輸送材料に注入された正孔が太陽電池回路の順方向及び逆方向のどちらにも移動可能なためである。このことから、添加する正孔輸送材料は対極材料とショットキー接合を形成し、太陽電池内部での短絡電流を抑制する必要があることを明らかにした。

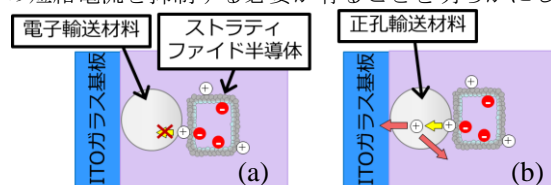


Fig. 2 無機電荷輸送材料とストラティファイド半導体間の電荷移動の模式図

4. 結論

有機電荷輸送材料を電荷輸送補助材料として用いるためには、CdS半導体と対極材料のショットキー接合を阻害しない材料選択が必要であることが示唆された。また、無機電子輸送材料は電荷輸送補助材料として有効であり、半導体材料はナノ粒子が適していることが明らかとなった。無機正孔輸送材料を電荷輸送材料として用いるためには、対極材料とショットキー接合を形成し、太陽電池内部での短絡電流を抑制する必要があることが確認された。

[1] C. H. Henry, : *J. Appl. Phys.*, **51**, 4494 (1980)