

色素増感太陽電池における低温プロセスで酸化亜鉛ナノロッド電極の作成

1200159 森本 雅也 (光・エネルギー研究室)

(指導教員 李 朝陽 教授)

1. 背景と目的

日本では、CO₂ 排出量の削減と化石燃料に依存しないエネルギー構造を目的として太陽光発電、風力発電、地熱発電といった再生可能エネルギーの導入が進められている。再生可能エネルギーの発電量は、水力発電と太陽光発電が高い割合を占めているが、水力発電は広大な土地を利用するため、これ以上の開発は見込めない[1]。そのため、太陽光発電の発展が再生可能エネルギーの普及に大きく影響すると言える。

本研究は太陽光発電の中でも色素増感太陽電池に注目した。色素増感太陽電池は、既存の太陽電池よりも低コストでフレキシブルな応用が可能となるため、新しい太陽電池として活躍が期待されている。現在は主な電極として酸化チタンが用いられているが、最高効率は15%と低い[2]。新規酸化亜鉛の電極ならば、ナノ粒子ではなくナノ構造を形成するため、高い配向性を保ちつつ、高透過率の実現が可能となる。また、酸化亜鉛ナノロッド電極は、CBD法により低温で作成が可能のため、低コストかつフレキシブルな応用が可能である。そのため、本研究では、CBD法の時間依存分析、溶液濃度依存分析を行い、熱処理を施すことで高品質な酸化亜鉛ナノロッド電極を作成し、色素増感太陽電池の開発を目指した。

2. 実験方法

ガラス基板上に AZO 導電薄膜をスパッタリングした後、CBD法により AZO 表面に ZnO ナノロッドを成長させる。硝酸亜鉛六水和物(ZnO(NO₃)₂ · 6H₂O) とヘキサメチレンテトラミン(C₆H₁₂N₄:HMTA) をモル比 2:1 で混合した水溶液と、AZO 基板をフラスコに入れる。ヒーターで 95°C に保ったシリコンオイルの中にフラスコを置き、条件の時間放置することで AZO 表面にナノロッドが成長させた。CBD 時間依存分析として、CBD 法で 5 時間、10 時間、15 時間ナノロッドを成長させた。また、CBD 溶液濃度依存条件として、溶液濃度 100%、60%で CBD 法を上記に示す時間で行った。

熱処理依存分析として、CBD 法で 5 時間成長させた ZnO ナノロッドに酸素雰囲気中、熱処理温度 450°C で 1 時間の熱処理を行った。

作成した酸化亜鉛ナノロッド電極を用いて、色素増感太陽電池の作製を行った。電極は CBD 溶液濃度 100%-5h(熱処理前後)、15h の ZnO ナノロッド電極を使用した。また、擬似太陽光の有効照射面積は 1[cm²]、基準太陽光 AM1.5G(air mass 1.5G)、で測定を行った。

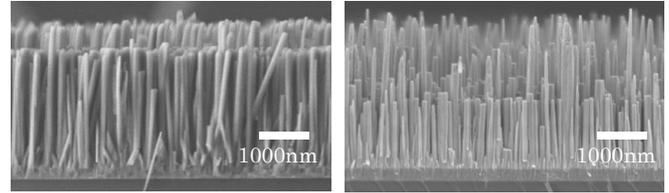
3. 実験結果

CBD 法により酸化亜鉛ナノロッドを AZO 基板に対して垂直に成長させることが出来た。CBD 堆積時間 5~15 時間でナノロッドの長さが 700[nm]~3000[nm]と長く成長させることが出来た。また、CBD 堆積時間によらず、同じ方向にナノロッドを成長させることが出来た。CBD 堆積時間の増加により、高い結晶性が得られることが分かった。

溶液濃度 100%で 5 時間成長させたナノロッドを熱処理することで、ナノロッドの透過率を下げずに結晶性を大幅に改善出来た。また、熱処理により、ナノロッドの長さを長くすることが出来た。

図 1 に溶液濃度 100%と 60%で 15 時間成長させた酸化亜鉛ナノロッドの SEM 像の断面図を示す。溶液濃度 100%のナノロッドは長さ 3000[nm]、直径 304[nm]、密度 24[本/μm²]で高密度に成長し、透過率は約 20%になった。また、溶液濃度 60%のナノロッドは長さ 3000[nm]、直径 153 [nm]、密度 55[本/μm²]で低密度に成長し、透過率が約 25%になった。このことから、

溶液濃度を 60%にすることでナノロッドが低密度化し、高い透過率、高い結晶性が得られることが分かった。



(a)100%-15h (b)60%-15h

図 1. SEM 像 (断面図)

図 2 に I-V 特性グラフを示す。変換効率は 5h が 0.13%、15h が 0.16%、熱処理後の 5h が 0.026%という低い変換効率になった。また、Fill Factor は 15h より 5h の方が高くなった。各ナノロッドの変換効率が低くなったのは、透過率が低いからだと考えられる。各酸化亜鉛ナノロッドの透過率は 40%以下とかなり低いと言え、変換効率を下げる大きな原因になっていると考えられる。

熱処理により変換効率が下がったのは、AZO 基板が 450°C という高温下に置かれていたことにより、AZO 導電膜の抵抗率が上がってしまったからだと考えられる。

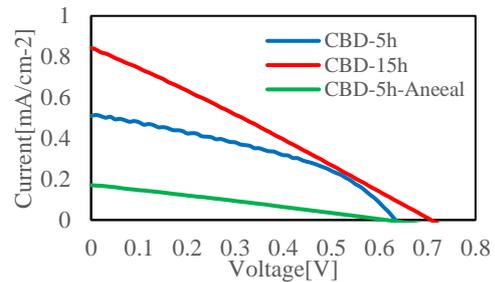


図 2. I-V 特性グラフ

4. まとめ

CBD 法を用いて酸化亜鉛ナノロッド電極を低温で合成することが出来た。また、酸化亜鉛ナノロッドを AZO 基板に垂直な方向に長く成長させることが出来、CBD 堆積時間 15 時間で 3000[nm]に成長した。

溶液濃度 100%のナノロッドは直径が大きく、高密度で成長した。また、溶液濃度 60%のナノロッドは直径が小さく、低密度で成長した。そのため、溶液濃度を 60%にすることでナノロッドが低密度化し、透過率が高くなることが分かった。

酸化亜鉛ナノロッドに酸素雰囲気中で熱処理を施すことにより、透過率を下げずに結晶性を改善させることが出来た。

色素増感太陽電池の試作では、CBD-5h のナノロッドが変換効率 0.13%で、Fill Factor が 0.40 となり、試作した中で最も太陽電池特性が高くなった。高透過率の実現次第では、変換効率の向上が見込めるので、今後 CBD 溶液濃度や熱処理温度を調整することで本研究を発展させられるだろう。

5. 参考文献

[1]日本が抱えているエネルギー問題

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/energyvissue.html>

[2]日本経済新聞 | 色素増感型太陽電池が実用化に前進

https://www.nikkei.com/article/DGXNASFK1601J_W3A710C100000/