

氏名(本籍)	LI Xin (中国)
学位の種類	博士(学術)
学位記番号	甲第266号
学位授与年月日	平成26年9月30日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
研究科・専攻名	工学研究科・基盤工学専攻
学位論文題目	高配向酸化亜鉛ナノ構造の作製と太陽電池への応用 Fabrication of Well-aligned Zinc Oxide Nanostructures for Photovoltaic Application

論文審査	(主査) 高知工科大学 教授 八田 章光
	高知工科大学 准教授 古田 寛
	高知工科大学 教授 李 朝陽
	高知工科大学 教授 古田 守
	高知工科大学 講師 新田 紀子

## 審査結果の要旨

### 1. 論文の評価

次世代の太陽電池として期待される DSSC (Dye-sensitized solar cell: 色素増感型太陽電池) の効率を向上するには色素と陽極材料が重要な鍵を握っている。本研究は陽極材料に着目し、従来の  $\text{TiO}_2$  (酸化チタン) に替えてナノ構造制御した  $\text{ZnO}$  (酸化亜鉛) を利用しようとするものである。 $\text{ZnO}$  を陽極に用いる場合、ナノ構造などによって膜内部の表面積を大きくすること、光入射面として光透過性が優れていること、および電極として電気伝導性が優れていることを同時に実現することが求められる。

本研究の最終的な成果として、垂直配向性の優れた  $\text{ZnO}$  ナノロッドを作製し、陽極材料に  $\text{ZnO}$  ナノロッドを用いた DSSC を研究室で試作し、ソーラーシミュレーターを用いて発電出力特性を測定した結果、変換効率 3.65% が得られた。従来から精力的に研究開発がすすめられた  $\text{TiO}_2$  陽極ではすでに 15% の効率を得られているのと比べるとまだ改善の余地は大きい。純粋に  $\text{ZnO}$  ナノロッドを陽極に用いた DSSC の実験結果として、世界最高の変換効率を達成した。DSSC の電極として  $\text{ZnO}$  の可能性を示す画期的なデータであり学術的価値が高い。

$\text{ZnO}$  ナノロッドの形成は、従前の知見として、マグネトロンスパッタ法で  $\text{ZnO}$  薄膜を堆積させた後、酸化雰囲気や還元雰囲気の減圧下でアニール処理を行うことで形成されることが見出され、薄膜蛍光材料として研究されてきた。本研究では薄膜からナノロッドが成長するメカニズムについて考察し、還元アニールで生成した  $\text{Zn}$  微粒子が重要な役割を果たすというモデルを示した。モデルに基づいて酸化雰囲気、還元雰囲気のアニールを繰り返す、マルチアニリング手法を開発したことで、高密度で内部表面積の大きな  $\text{ZnO}$  ナノロッドの合成に成功した。

また、 $\text{ZnO}$  ナノロッドの基材として ITO 薄膜の膜厚最適化を行った。ITO が厚いと光透過性が低下するが、薄いと  $\text{ZnO}$  ナノロッドの構造を乱してしまい結果的には光透過性の低下や電気伝導性の低下につながるため、最適な膜厚条件を見出すことが必要である。

さらにアニールプロセスで作製した ZnO ナノロッドを基材とし、大気圧でのミスト CVD 法による ZnO のつい成長を試みた。ミスト CVD のキャリアガスによって ZnO のエピタキシャル成長や多結晶化による表面積の増加に成功した。多結晶化させた場合には光透過特性が低下してしまうため、DSSC の効率向上に直結する結果ではないものの、ZnO の新しい合成法として期待される成果である。

## 2. 審査の経過と結果

- (1) 平成 26 年 7 月 9 日 博士後期課程委員会で学位論文の受理を決定し、5 名がその審査委員として指名された。
- (2) 平成 26 年 8 月 21 日 公開論文審査発表会及び最終試験を実施した。
- (3) 平成 26 年 9 月 3 日 博士後期課程委員会で学位授与を可とし、教育研究審議会で承認された。