

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	光学的に粗く物理的に平坦な薄膜太陽電池用透明導電膜基板の開発
Title(English)	Development of optically-rough and physically-flat transparent conductive oxide substrates for thin-film solar cells
著者(和文)	孟 磊
Author(English)	Lei Meng
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10151号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種類:課程博士, 審査員:宮島 晋介,岩本 光正,中川 茂樹,山田 明,PHAM NAM HAI,市川 幸美
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10151号, Conferred date:2016/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		孟 磊	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	宮島 晋介	准教授	審査員	Pham Nam Hai	准教授
	審査員	岩本 光正	教授		市川 幸美	学外審査員 (JST)
		中川 茂樹	教授			
		山田 明	教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Development of optically-rough and physically-flat transparent conductive oxide substrates for thin-film solar cells (光学的に粗く物理的に平坦な薄膜太陽電池用透明導電膜基板の開発)」と題し、英文 6 章より構成されている。

第 1 章「Background and motivation」では、まず電子材料としての透明導電膜の重要性について述べ、ついで透明導電膜の主要な応用分野である太陽光発電の重要性ならびに薄膜系太陽電池における透明導電膜基板の現状をまとめている。また、本研究の目的が平坦かつ光散乱効果を有する新しい太陽電池用透明導電膜基板の実現にあり、ゾルゲル法によりワイドギャップかつ電気的特性に優れた透明導電膜を凹凸ガラス基板上に製膜する必要があると述べている。

第 2 章「Review of  $Zn_{1-x}Mg_xO$  thin film and sol-gel process」では、 $Zn_{1-x}Mg_xO$  薄膜の作製プロセス及び  $Zn_{1-x}Mg_xO$  薄膜の物性を概説している。透明導電膜として重要な光学特性および電気的特性について、様々な製膜法により作製された  $Zn_{1-x}Mg_xO$  薄膜の特性を詳細に述べ、ゾルゲル法による  $Zn_{1-x}Mg_xO$  膜の問題点を述べている。また、ゾルゲル法による製膜プロセスを詳細に説明している。

第 3 章「Development of transparent conductive  $Zn_{1-x}Mg_xO$  thin film by sol-gel process on flat glass substrate」では、ワイドギャップかつ低抵抗な  $Zn_{1-x}Mg_xO$  薄膜をゾルゲル法により形成する手法について述べている。プリカーサの Mg/Zn 比の制御による  $Zn_{1-x}Mg_xO$  薄膜の禁制帯幅制御について述べたのち、Al ドーピングが  $Zn_{1-x}Mg_xO$  薄膜の特性に与える影響を詳細に述べている。また、膜形成後の熱処理を詳細に検討し、ゾルゲル  $Zn_{1-x}Mg_xO$  薄膜の低抵抗化には、1 段目と 2 段目で異なる熱処理条件を用いる 2 ステップアニール処理が非常に重要であることを見出している。アニールの雰囲気により、 $Zn_{1-x}Mg_xO$  薄膜の結晶性ならびに膜中欠陥が影響を受けることを明らかにし、1 段目のアニールには窒素雰囲気が、2 段目のアニールには 1-2% 程度の水素を含むフォーミングガス雰囲気が、 $Zn_{1-x}Mg_xO$  薄膜の低抵抗化に最適であると結論している。結果として、光学バンドギャップ 3.61 eV のゾルゲル  $Zn_{1-x}Mg_xO$  薄膜において、抵抗率  $3.9 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$  が達成されている。

第 4 章「Fabrication and characterization of optically-rough and physically-flat TCO substrate」では、光学的に粗く物理的に平坦な透明導電膜基板の作製について述べている。反応性イオンエッチング法およびナノインプリント法を用いて凹凸形状を形成したガラス基板上に、ゾルゲル法を用いて  $Zn_{1-x}Mg_xO$  薄膜を形成することにより、表面が平坦かつ光散乱性能を有する透明導電膜基板を作製することに成功している。さまざまな凹凸形状を検討した結果、深さ 1  $\mu\text{m}$  程度、直径 2  $\mu\text{m}$  程度のマイクロホール状の凹凸形状を用いることにより、十分に光散乱性能が高く (波長 500 nm におけるヘイズ率 25% 程度)、表面が平坦 (RMS ラフネス 2.6 nm) な透明導電膜基板を実現している。

第 5 章「Application of AZMO/glass substrate to amorphous silicon single junction solar cells」では、開発した透明導電膜基板上に水素化アモルファスシリコン太陽電池を形成し、その特性を評価している。光学的に粗く物理的に平坦な透明導電膜基板上に形成したスーパーストレート型水素化アモルファスシリコン太陽電池の動作に初めて成功し、開発した基板が太陽電池用透明導電膜基板として機能すること、短波長側の量子効率が高まっていることを明らかにした。

第 6 章「General conclusions and future prospects」では、本研究で達成された成果をまとめ、さらなる改善に向けた技術課題とその解決策を述べている。

以上を要するに、本論文は、光学的に粗く物理的に平坦な透明導電膜基板の作製手法を開発し、開発した透明導電膜基板の詳細な評価を行うとともに薄膜太陽電池への応用を実現したもので、工学上及び工業上貢献するところが大きい。よって、我々は本論文が博士 (工学) の学位論文として十分に価値のあるものと認める。