

平成 28年 2月 29日

豊橋技術科学大学長 殿

機械工学専攻
学位審査委員会
委員長 章 忠



論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、学位審査会を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	Mohd Zamzuri Bin Mohammad Zain		学籍番号	第 139106 号
申請学位	博士 (工学)	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 機械工学 専攻	
博士学位 論文名	Studies on the device structure of electrochemically prepared copper oxide photovoltaic devices (電気化学的に形成した酸化銅太陽電池のデバイス構造に関する研究)			
論文審査の 期間	平成 28年 1月 28日 ~ 平成 28年 2月29日			
公開審査会 の日	平成28年2月 16日	最終試験の 実施日	平成28年2月 16日	
論文審査の 結果*	合格		最終試験の 結果*	合格
<p>審査委員会(学位規程第6条)</p> <p>学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。</p> <p>委員長 福本 昌宏 </p> <p>委員 伊崎 昌伸  小林 正和 </p> <p style="text-align: center;">印 印</p>				

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

豊橋技術科学大学学位規程
(審査委員会)

第6条 教授会は、前条の規定(学位論文審査等の付託)による審査付託があったときは、工学研究科担当の複数の教員で組織する審査委員会を設ける。

論文内容の要旨

本論文は、代表的再生可能エネルギー源である太陽電池の光電変換層として近年期待されている銅酸化物(Cu_2O)半導体から構成される次世代酸化物太陽電池の構築と高効率化を目的として、n型酸化亜鉛(ZnO)層ならびにバッファ層を含めた太陽電池構造ならびにその形成技術に関する研究を行ったものであり、全6章から構成されている。第1章では、地球温暖化などの観点に立って太陽電池の重要性、酸化物太陽電池ならびに本研究で用いる電気化学製膜技術の位置付け・動向・課題について記述し、本研究の背景と目的を述べている。第2章では、電気化学成膜技術によるスーパーストレート型 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}$ 太陽電池への ZnO ナノワイヤ構造ならびにヘテロ界面への高抵抗 i- ZnO 層導入による高性能化を確認している。第3章では、高移動度(111)- Cu_2O 層を活用したサブストレート型 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}$ 太陽電池を形成するために光電気化学的 ZnO 層形成技術を適用し、形成した太陽電池が光電変換機能を示すことが報告されている。第4章では、第3章において作製した $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}$ 太陽電池のヘテロ界面にゾルゲル法により作製した TiO_2 バッファ層ならびにスパッタリング法による $\text{Al}:\text{ZnO}$ (AZO)透明電極層を導入し、これらの構成層が太陽電池特性に及ぼす効果を明らかにしている。第5章では、第4章において AZO 層導入が高効率化に有効であることが明らかとなったことから、AZO/ Cu_2O 太陽電池について Cu_2O 層厚さと外部量子効率ならびに太陽電池特性を指標として太陽電池構造の最適化を行い、本研究における最大短絡電流密度を得るとともに、エネルギー状態に関する考察からその理由が明らかにされている。第6章では、本研究で得られた成果をまとめると共に、今後の課題と展望について述べている。

審査結果の要旨

銅酸化物(Cu_2O)を光電変換層とする全酸化物太陽電池の高効率化を図るために、スーパーストレート型とサブストレート型 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}$ 太陽電池について、 ZnO ナノワイヤ構造や高抵抗 i- ZnO 層ならびに TiO_2 バッファ層の導入効果、および光電気化学成膜技術とスパッタリング法を用いた n 型半導体 ZnO 層形成技術を適用し高効率化を図るとともに、その機構を検討した結果、以下の成果を得た。1) スーパーストレート型 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}$ 太陽電池への ZnO ナノワイヤ n 型層と厚さ約 10 nm の高抵抗 i- ZnO 層の導入によって、均一 n- ZnO 層を用いた場合の約 2 倍の短絡電流密度が実現できることを示すと共に、ヘテロ界面のバンド接続についての考察によって、この増加が Cu_2O 層中の活性領域の拡大とヘテロ界面での再結合損失の低減によることを示した。2) 大きな短絡電流密度が期待できる高移動度(111)配向 Cu_2O 層を活用するために、光照射により Cu_2O 中で生成する電子を活用する光電気化学成膜技術によって、サブストレート型 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{n-ZnO}$ 太陽電池を形成し、光電機能を示すことを実証し、生成した ZnO 層の欠陥を通して上部電極層と Cu_2O 層の間に電氣的短絡が生じることを明らかにした。3) サブストレート型 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{n-ZnO}$ 太陽電池のヘテロ界面に TiO_2 バッファ層と最外層に $\text{Al}:\text{ZnO}$ 透明電極を導入した結果、 $\text{Al}:\text{ZnO}$ 層の導入により短絡電流密度が増加することが示された。これは、 $\text{Al}:\text{ZnO}$ 層の抵抗率が低いために生成したキャリア収集効率が向上したためと考えられた。しかし、 TiO_2 バッファ層は、高抵抗であるため、導入によって短絡電流密度が低下することも明らかとなった。4) $\text{Al}:\text{ZnO}$ 透明電極の導入が有効であることが明らかとなったことから、サブストレート型 $\text{Al}:\text{ZnO}/\text{Cu}_2\text{O}$ 太陽電池を形成し Cu_2O 層の膜厚などを最適化したところ、最大短絡電流密度 8.9 mA cm^{-2} と 90% 以上の高い外部量子効率を得た。この短絡電流密度は、本研究で得られた最高値であり、スーパーストレート型 $\text{Cu}_2\text{O}/\text{ZnO}$ 太陽電池で得られた値より約 20% 大きく、世界的に見ても高いレベルである。このように、高い移動度を有する(111)- Cu_2O 層を用いたサブストレート型太陽電池、ならびにその電気化学的形成技術の有効性を確認することができた。

以上により、本論文は博士(工学)の学位論文に相当するものと判定した。

(各要旨は 1 ページ以上可)