T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Study of Se-free Cu(In,Ga)S2 Solar Cells with KCN-free Process
著者(和文)	廣井誉
Author(English)	Homare Hiroi
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10641号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:山田 明,中川 茂樹,間中 孝彰,宮島 晋介,PHAM NAM HAI
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10641号, Conferred date:2017/9/20, 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

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

（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	廣井　誉

		氏　名	職　名		氏　名	職　名
論文審査 審 査 員	主査	山田　　明	教授	審査員	宮島　晋介	准教授
	審査員	中川　茂樹	教授			
		間中　孝彰	准教授			
		Pham Nam Hai	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「Study of Se-free Cu(In,Ga)S_2 Solar Cells with KCN-free Process」（KCN プロセスを用いないセレンフリーCIGS 太陽電池の研究）と題し英文 7 章より構成されている。

第 1 章「Introduction」では、地球上の人口増加によるエネルギー消費量の爆発的な増加を受け、化石燃料から再生可能エネルギーへの転換が持続的社会の実現には重要であり、本研究の目的がセレンフリーCu(In,Ga)S_2 薄膜の作製技術の開発と評価、太陽電池への応用であると述べている。

第 2 章「Fundamental properties of Se-free Cu(In,Ga)S_2 solar cell」では、セレンフリーCu(In,Ga)S_2 太陽電池の特徴についてまとめている。カルコゲナイド系薄膜太陽電池の一つである Cu(In,Ga)(Se,S)$_2$ 太陽電池では 22%を超える高い変換効率が達成されているものの、資源的制約がなく、またセレンを用いない環境に優しい Cu(In,Ga)S_2 太陽電池は変換効率が 13%程度と低く、セレンフリーCu(In,Ga)S_2 太陽電池が実用化されるためには、変換効率の向上が必要不可欠であると述べている。

第 3 章「Se-free Cu(In,Ga)S_2 absorber layer via KCN-free process」では、p 型半導体であるセレンフリーCu(In,Ga)S_2 光吸収層の製膜方法及びその課題についてまとめている。セレンフリーCu(In,Ga)S_2 光吸収層は、製膜時の組成を Cu 過剰とすることにより結晶成長が促進されるものの、製膜後に光吸収層表面に CuS が異相として生成されるため変換効率の低減を引き起こす。この CuS を取り除くために従来 KCN エッチングが用いられてきたが、製品化を見据えた場合にはコスト及び環境の観点から KCN を用いることは出来ないとしている。そこで本研究では低い Cu 組成からの製膜手法を提案、製膜温度の高温化により CuS の生成を防ぐことが可能となり、高品質なセレンフリーCu(In,Ga)S_2 光吸収層の製膜が実現されたと述べている。さらに、デバイス解析により最適バンドプロファイルを明らかにし、これを実現する Ga 濃度の深さ方向プロファイルの形成手法を開発、KCN プロセスを用いないセレンフリーCu(In,Ga)S_2 太陽電池の変換効率改善に初めて成功したと述べている。

第 4 章「Cd-free buffer layer via $Zn_{1-x}Mg_xO$ compound」では、n 型半導体であるバッファー層の製膜方法及びその課題を明らかにしている。セレンフリーCu(In,Ga)S_2 太陽電池のバッファー層には一般的に CdS が用いられているが、環境的観点からは Cd 含有物を用いることは適していない。そこで本研究では CdS に替わる新しいバッファー層として $Zn_{1-x}Mg_xO$ を用いることを提案、$Zn_{1-x}Mg_xO$ が CdS よりもバンドギャップが広いこと、並びにⅡ族元素（Zn 及び Mg）比によりバンドギャップ制御が可能なためデバイス設計の自由度が高まること、これら $Zn_{1-x}Mg_xO$ の特徴によりセレンフリーCu(In,Ga)S_2 太陽電池のさらなる変換効率向上が可能になったと述べている。

第 5 章「Investigation of the impact of interface」では、電極界面が電池特性に及ぼす影響についてまとめている。セレンフリーCu(In,Ga)S_2 太陽電池の高効率化にとって p 型光吸収層と裏面電極界面における MoS_2 層の存在、並びに n 型バッファー層と透明導電膜電極間の i-ZnO 層の存在が極めて重要であることを実験的に示し、表面及び裏面電極界面が電池特性に与える影響は大きく、太陽電池の変換効率向上にとって界面制御が重要であることを明らかにしている。

第 6 章「New world record conversion efficiency」では、本研究で開発した KCN フリープロセス並びに Cd フリーバッファー層をセレンフリーCu(In,Ga)S_2 太陽電池に適用することにより、16.9%の世界最高効率の太陽電池を実現したと述べている。

第 7 章「General summary and future prospects」では、本研究で得られた結果を要約し、今後の展望についてまとめている。

以上を要するに本論文は、将来の製品化を目指したセレンフリーCu(In,Ga)S_2 太陽電池の作製手法を確立するとともに、世界最高の変換効率を実現したものであり、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。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ（T2R2）にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。