

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高いInGa組成を有するCu(InGa)Se ₂ 太陽電池の高効率化に関する研究
Title(English)	Study of High Efficiency Cu(InGa)Se ₂ Solar Cells with High Ga Content
著者(和文)	平井義晃
Author(English)	Yoshiaki Hirai
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9783号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:山田 明,小長井 誠,岩本 光正,中川 茂樹,宮島 晋介,櫛屋 勝巳
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9783号, Conferred date:2015/3/26, 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	平井 義晃		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	山田 明	教授	審査員	宮島 晋介	准教授
	審査員	小長井 誠	教授		榎屋 勝巳	株式会社 ソーラーフロンティア 執行役員 (外部審査員)
		岩本 光正	教授			
中川 茂樹		教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Study of High-Efficiency Cu(InGa)Se₂ Solar Cells with High Ga Content」(高い Ga 組成を有する Cu(InGa)Se₂ 太陽電池の高効率化に関する研究)と題し、英文 8 章から構成されている。

第 1 章「Introduction」では、年々増加するエネルギー需要問題及び化石燃料の消費に伴う環境問題の解決には、無尽蔵な再生可能エネルギーである太陽光を利用した光発電が有効であり、特に単接合・多接合太陽電池への応用が可能な禁制帯幅 1.4eV を有する光吸収材料の開発が重要であると述べている。

第 2 章「Fundamental Properties of Cu(InGa)Se₂ Solar Cells」では、Cu(InGa)Se₂(CIGS)の基本物性と太陽電池応用についてまとめている。CIGS は光吸収係数が高く禁制帯幅の制御が可能のため太陽電池材料として適していること、また CIGS の製膜手法の一つとして再現性良く高効率 CIGS 太陽電池が作製できる 3 段階法の特徴について詳説している。

第 3 章「Effects of Ga Content on Cu(InGa)Se₂ Solar Cell Performance」では、Ga 組成 70% (禁制帯幅約 1.4eV) の CIGS 太陽電池において高効率を得られていない現状、ならびに原因をまとめている。CIGS の Ga 組成が 70% の場合には、CIGS 内部に深いポテンシャルが形成されること、CdS/CIGS ヘテロ界面のバンド不連続がクリフ型に変化することが、それぞれバルク内及び界面再結合電流成分の増加に繋がり、変換効率が低下すると指摘している。本研究の目的は、これらの問題点を解決し、高い Ga 組成を有する CIGS 太陽電池の変換効率を向上させることであるとしている。

第 4 章「Modification of Preparation Method for Cu(InGa)Se₂ Thin-Films with High Ga Content: Five-stage Method」では、バルク内再結合抑制の観点から CIGS 薄膜の作製方法を改善した結果についてまとめている。伝導帯における深いポテンシャルの形成要因である In 及び Ga の拡散の違いによる膜内分離を抑制するため、製膜プロセスを細分化した 5 段階法を新たに提案し、ポテンシャル障壁の低減により変換効率を 8.7% から 11.2% まで向上することに成功したと述べている。

第 5 章「Modification of Preparation Method for Cu(InGa)Se₂ Thin-Films with High Ga Content: High Temperature Preparation」では、高温製膜の効果についてまとめている。In 及び Ga の膜内分離を簡便に抑制させるには、高温製膜により元素の拡散を高めることが有効であることを指摘し、製膜温度 640℃ においてポテンシャル障壁の高さを 1/3 まで減少させることに成功し、変換効率が 12.9% まで向上したと述べている。

第 6 章「Theoretical Analysis of High-Efficiency Cu(InGa)Se₂ Solar Cells with High Ga Content」では、最適なデバイス構造の解明を目的に理論解析を行った結果をまとめている。CdS/CIGS 界面における再結合を考慮した場合、伝導帯プロファイルだけでなく表面再結合の抑制が効率向上に重要であり、0.3eV 以上の価電子帯オフセット (ΔE_v) を有する表面層を CdS/CIGS に挿入することにより、22% を超える変換効率が得られることを理論的に明らかにしている。さらに、CIGS の伝導帯を単傾斜構造に制御するとともに欠陥密度を約 1/3 に減少させることが可能ならば、変換効率は 25% に達すると結論している。

第 7 章「Improvement of CdS/Cu(InGa)Se₂ Heterointerface Incorporating Surface Layer with ΔE_v 」では、理論的に得られた CdS/CIGS における ΔE_v 効果を明らかにするため、CIGS 太陽電池を作製した結果についてまとめている。最初に、 ΔE_v を形成させる材料として結晶学的に Cu(InGa)₃Se₅ 及び ZnSe が優れていると述べている。実験では、ZnSe の導入効果について報告しており、Ga 添加 ZnSe 薄膜を原子層成長法によって CIGS 上に堆積し、膜厚を 10nm に制御することにより、世界最高レベルの 14.8% までの効率向上に成功したと述べている。この時の開放電圧は 0.725V であり、これは ΔE_v によって界面再結合が抑制された結果であると結論づけている。

第 8 章「General Summary and Future Prospects」では、本論文の成果を要約し、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、高い Ga 組成を有する CIGS 太陽電池の高効率化を目指し、CIGS の伝導帯プロファイルの改善、理論及び実験による CdS/CIGS 界面における ΔE_v 形成の効果を明らかにしたものであり、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あるものと認める。