

氏 名 (本籍)	ムハマド モニルル イスラム (バングラデシュ)		
学 位 の 種 類	博 士 (工 学)		
学 位 記 番 号	博 甲 第 5283 号		
学位授与年月日	平成 22 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審 査 研 究 科	数理工質科学研究科		
学 位 論 文 題 目	Growth and Defect Characterization of $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$ Thin Film and Fabrication of Solar Cell. ($\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)\text{Se}_2$ の結晶成長、欠陥評価と太陽電池への応用)		
主 査	筑波大学教授	理学博士	秋 本 克 洋
副 査	筑波大学教授	工学博士	山 部 紀久夫
副 査	筑波大学准教授	工学博士	上 殿 明 良
副 査	筑波大学准教授	博士 (工学)	末 益 崇
副 査	産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター Ph. D. 副センター長		仁 木 栄

論 文 の 内 容 の 要 旨

近年、化石燃料の枯渇、環境問題の顕在化でクリーンなエネルギーの要求が増大している。クリーンエネルギーの一つとして太陽電池に大きな期待が寄せられている。太陽電池を作製するための材料は Si が主となっているが、膜厚が薄く、変換効率が多結晶 Si を凌ぐ多結晶 $\text{Cu}(\text{InGa})\text{Se}_2$ 、(以下 CIGS と略記)、が注目されている。CIGS 太陽電池の変換効率は 20% であるが、理論効率は 28% と予想されており、結晶中の欠陥の低減でさらなる高効率化が実現できる。

本博士論文では、CIGS 太陽電池の変換効率向上を目的に、結晶中に存在する欠陥の検出と同定を行なったものである。実験手法は、アドミッタンス法、光容量法、X 線回折のリートベルト解析、陽電子消滅法等を用いた。デバイス特性に影響を与えている欠陥 2 種を検出しこれらの欠陥の性質、原因を考察した。

アドミッタンススペクトル測定より、活性化エネルギー 250eV の欠陥を検出した。この欠陥は高い蒸気圧の原子が関与していること、Cu の不足状態で形成されやすいことから Cu と Se の空孔複合体と同定した。リートベルト解析より、この Cu-Se 空孔複合体が形成されているときには、 $\text{Cu}(\text{InGa})_3\text{Se}_5$ の相が形成されていることが分かり、Se 不足が Cu (InGa) 3Se_5 の異相形成を促進していることを明らかにした。 $\text{Cu}(\text{InGa})_3\text{Se}_5$ の相の形成は結晶成長中の Se 圧や Cu 組成と関連しており成長上条件の精密制御で改善できることを示した。

光容量法により、価電子帯から 800meV に欠陥レベルを検出した。この欠陥レベルの密度は CIGS の Ga 組成増大に伴い増加した。太陽電池のデバイス特性は Ga 組成が 0.3 以上で低下するが、その低下原因は光容量法により見出した 800meV の欠陥が原因である可能性があることを明らかにした。欠陥濃度の温度依存性より、室温ではトラップとして働かないことが分かった。この温度依存性より、クエンチングの活性化エネルギーは約 200meV であることが分かった。エネルギー準位を配位座標系で表し、現象を矛盾なく説明で

きることを示した。また、室温では非発光再結合センターとして働いていることを示した。

非発光再結合センターの原因を確かめるべく、陽電子消滅法による欠陥検出を試みた。陽電子消滅法ではカチオン空孔の検出に有効な測定法である。800meV の欠陥濃度はGa組成と共に増加したが、陽電子消滅法で検出した欠陥濃度はGa組成の変化にほとんど変化せず一定であった。これらの結果より、再結合センターとして働いている欠陥はカチオン空孔ではなく、アンチサイト欠陥や格子間原子のような構造である可能性が示唆された。

審 査 の 結 果 の 要 旨

CIGS 太陽電池の特性改善に貴重かつ重要な知見を提供している。明確な実験事実に基づいており検証もなされていることから具体的な技術改善につながっている。再結合センターについてはモデル提案に留まっているものの、再結合センターを見出しそのエネルギー準位を始めて明らかにした知見は極めて重要である。

得られた知見が CIGS 太陽電池の特性向上に有効に役立てられることが期待できると共に、CIGS 結晶特有の欠陥に関する知見も得られており、欠陥の性質という観点からも面白い結果であると言える。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。