

Title	高効率・高信頼性マルチバンドギャップアモルファス太陽電池の開発に関する研究
Author(s)	丸山, 英治
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3132599">https://doi.org/10.11501/3132599</a>
DOI	10.11501/3132599
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	丸山英治
博士の専攻分野の名称	博士 (工学)
学位記番号	第 13431 号
学位授与年月日	平成 9 年 10 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文名	高効率・高信頼性マルチバンドギャップアモルファス太陽電池の開発に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 中島 信一 (副査) 教授 一岡 芳樹 教授 岩崎 裕 教授 萩行 正憲

## 論文内容の要旨

本論文は、低コスト高効率太陽電池として期待されているマルチバンドギャップアモルファス太陽電池の高効率化及び高信頼性を目的とした研究についてまとめたものであり、序論、総括を含めて 6 章より構成されている。

第 1 章では、序論として本研究の背景と目的について述べている。

第 2 章では、希ガスプラズマ処理法と呼ばれる水素化アモルファスシリコン (a-Si:H) の新形成法により、ワイドギャップ a-Si:H の膜特性及び太陽電池特性の改善の検討を行っている。希ガスプラズマ処理は、水素フリープロセスであるにもかかわらず、原子比約 20% もの広い範囲での a-Si:H の膜中水素量制御が可能である事を初めて見出し、その成膜モデルも提案している。同手法により、高水素含有領域での Si と水素の結合状態の改善を図り、従来の形成法に比べて光劣化前後で約 1 桁低い欠陥密度を有する高品質ワイドギャップ a-Si:H の形成に成功している。更に、希ガスプラズマ処理により得られた a-Si:H の太陽電池への応用による光劣化前後の太陽電池特性の大幅な改善を実現している。

第 3 章の前半では、ナローギャップ材料である水素化アモルファスシリコンゲルマニウム (a-SiGe:H) を発電層に用いた太陽電池の高性能化の為に、発電層のバンド構造の検討を行なっている。発電層の光学ギャッププロファイルの効果を明らかにし、光劣化後の最適バンド構造として、従来の半分以下の発電層膜厚で従来と同程度の高い電流が得られる強内部電界構造を新たに開発している。それにより、光劣化前後での a-SiGe:H 太陽電池の発電層内部でのキャリア輸送特性の改善を図り、1 cm 角 a-SiGe:H 太陽電池の変換効率としては世界最高の値を達成している。

第 3 章の後半では、a-SiGe:H に代わる次世代ナローギャップ材料として、a-Si:H/多結晶ゲルマニウム (poly-Ge) 積層膜を新たに提案し、その高品質化の指針を詳細に検討している。その結果、微結晶化する基板温度直下で堆積した水素化アモルファスゲルマニウム (a-Ge:H) 膜を用いる事により、350°C という太陽電池作成プロセスに適用可能な低温での熱アニールにより、結晶性に優れた poly-Ge 膜の形成が可能であることを明らかにしている。更に、この知見に基づいて、a-Ge:H 層のみを選択的に結晶化した a-Si:H/poly-Ge 積層膜の低温形成に初めて成功している。

第4章では、マルチバンドギャップ太陽電池のユニット太陽電池間の接合部材料である $\sim 500 \text{ \AA}$ 以下の微結晶シリコン( $\mu\text{c-Si}$ )薄膜に対して、非破壊かつ高感度に膜構造評価が可能なRaman散乱測定をとりあげ、Ramanパラメータと $\mu\text{c-Si}$ 薄膜の微結晶粒径の関係を系統的に考察している。その結果、 $\mu\text{c-Si}$ ドープ膜の結晶成分のTOピークと結晶シリコン(c-Si)のTOピーク(波数 $520 \text{ cm}^{-1}$ )との波数差である $\Delta\omega$ の値により、太陽電池に用いられる薄膜領域( $\sim 500 \text{ \AA}$ 以下)における微結晶粒径を高精度に評価できる事を明らかにしている。更に、従来求めることが困難であったデバイス上での $\mu\text{c-Si}$ 薄膜の膜構造とデバイス特性の関係も考察している。

第5章では、マルチバンドギャップアモルファス太陽電池の光劣化後における最適構造設計手法の検討を行っている。各ユニット太陽電池の積層状態でのI-V特性を光劣化前後において精度良く計算できる実用的なシミュレーション手法を開発し、マルチバンドギャップ太陽電池のI-V曲線の計算を、従来不可能であった動作点付近においても、誤差約3%以内の高精度で計算できる事を明らかにしている。更に、I-V曲線計算手法を各ユニット太陽電池の発電層における発電電流の近似計算手法と組み合わせて、光劣化後の構造最適化手法に拡張し、その結果得られた変換効率マップが、実際の太陽電池特性の変換効率マップと非常に良い一致を示す事を確認している。その結果、 $30 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ のa-Si:H/a-SiGe:H 2層マルチバンドギャップ大面積太陽電池において、同サイズとしては世界最高の光劣化後変換効率を達成している。

第6章では、本研究の内容を総括して、本論文の結論を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

地球環境、エネルギー資源の枯渇問題を解決する為、クリーンで無尽蔵なエネルギー源である太陽光エネルギーを直接電気に変換できる太陽電池の電力用途への本格的実用化が期待されている。本論文は、低コスト太陽電池として期待されているアモルファスシリコン太陽電池のうち、マルチバンドギャップアモルファス太陽電池に対して、高効率化及び光劣化の抑制を目的として行われた研究についてまとめたものであり、本論文で得られた主な成果を列挙すると次の通りである。

(1) 水素化アモルファスシリコン(a-Si:H)膜の新形成法により、太陽電池用のワイドギャップa-Si:Hの光劣化前後の膜特性及び太陽電池特性の大幅な改善を実現している。

(2) 水素化アモルファスシリコンゲルマニウム(a-SiGe:H)太陽電池において、新バンド構造の発電層を開発し、光劣化後の太陽電池特性の大幅な改善を実現している。

(3) 新ナローギャップ材料として、a-Si:H/多結晶ゲルマニウム(poly-Ge)積層膜を新たに提案し、a-Si:H/水素化アモルファスゲルマニウム(a-Ge:H)積層膜の低温固相成長により、a-Ge:H層のみを選択的に結晶化したa-Si:H/poly-Ge積層膜の形成に初めて成功している。

(4) Ramanパラメータと微結晶シリコン( $\mu\text{c-Si}$ )薄膜の微結晶粒径の関係を系統的に考察し、 $\mu\text{c-Si}$ ドープ膜の結晶成分のTOピークと結晶シリコン(c-Si)のTOピークとの波数差により、太陽電池に用いられる薄膜領域においても、高精度に微結晶粒径を評価できる事を明らかにしている。

(5) マルチバンドギャップアモルファス太陽電池の各ユニット太陽電池のI-V特性を光劣化前後において精度良く計算できる実用的なシミュレーション手法を開発し、その実用性を検証している。更に、I-V曲線計算手法と各ユニット太陽電池の発電層における発電電流の近似計算手法とを組み合わせた光劣化後の構造最適化手法を開発し、a-Si:H/a-SiGe:H 2層マルチバンドギャップ大面積太陽電池において、同サイズとしては世界最高の光劣化後変換効率を達成している。

以上のように本論文は、新規性に富んだ独自の手法により、マルチバンドギャップアモルファス太陽電池の高効率化、高信頼性化を図り、その電力用途への本格的実用化を促進するものであり、応用物理学特に半導体工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。