



Title	Development of Highly Stable Multi-bandgap Amorphous Silicon Alloy Stacked Solar Cells
Author(s)	中田, 行彦
Citation	大阪大学, 1992, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3088013">https://doi.org/10.11501/3088013</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏 名	中 田 行 彦
博士の専攻分野 の 名 称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 10036 号
学位授与年月日	平成 4 年 2 月 20 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	Development of Highly Stable Multi-bandgap Amorphous Silicon Alloy Stacked Solar Cells (高信頼性 マルチバンドギャップ アモルファスシリコン 合金積層型太陽電池の開発)
論文審査委員	(主査) 教授 浜川 圭弘 (副査) 教授 山本 錠彦 教授 小林 猛 助教授 岡本 博明

### 論 文 内 容 の 要 旨

アモルファスシリコン (a-Si) 太陽電池は低コスト化が図れるため、屋外電力用としての実用化が期待されている。しかし、強い光を照射すると特性が低下するという光劣化の問題があり、これを克服し高信頼性化を図ることが、a-Si 太陽電池を屋外電力用として実用化するための重要な研究課題となっている。このため、本論文は高信頼性を得るために行った a-Si 合金マルチバンドギャップ積層型太陽電池の研究についてまとめたもので 8 章より構成される。

第 1 章では、まず a-Si 太陽電池研究開発の歴史的背景と高信頼性化の重要性と、このためのアモルファス材料技術、解析・評価技術および素子技術の三つの方向からアプローチを示し、本論文の意義と目的を述べる。

第 2 章では、a-SiC:H 膜の高品質化を図るとともに、p/i 界面層および光発電活性層へ適用し、特性向上を図った。また、a-SiGe : H の高品質化を図るとともに、製膜条件と光学バンドギャップとの関係を明らかにした。

第 3 章では、a-Si シングル接合太陽電池および a-Si 積層型太陽電池の各構成素子の分光感度特性測定法を検討し、これを踏まえて a-Si 積層型太陽電池の各構成素子の電流-電圧特性を測定する新しい方法を開発するとともに、この方法を用いて a-Si 積層型太陽電池の各構成素子の光劣化特性を明らかにした。

第 4 章では、a-SiC、a-Si および a-SGe 太陽電池の光劣化特性と光照射条件との関係を定量的に明らかにするとともに、この関係を理論的に考察した。また、この定量的な関係に基づき、ソーラーシミュレータ下での光劣化特性より 1 年間の屋外暴露における光劣化特性を評価する新しい光照射加速試験

法を提案し、その実験的確証を行うとともに、実用化技術を確立した。

第5章では、a-Si合金材料の特性を生かしてa-Si合金太陽電池の光発電活性層にバンドギャップの分布を設けるバンドプロファイルの研究を行った。バンドプロファイルを行ったa-SiGe太陽電池の特性を示すとともに、バンドプロファイルにより特性向上する物理的機構を明らかにした。この特性向上の物理的機構に基づき、a-SiGe太陽電池およびa-SiC太陽電池のバンドプロファイルを設計し、高効率・高信頼性化を達成した。

第6章では、高効率化をめざした光閉じ込め技術として、裏面銀反射膜の凸凹化、ZnO膜の挿入、ガラス基板上の凸凹SnO<sub>2</sub>、および光入射側においてMgF<sub>2</sub>／In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>二層反射防止膜を開発し、短絡電流の向上に成功し、高効率化を達成した。

第7章では、一層、二層、三層積層型太陽電池の素子構造に対する光劣化特性を比較し、三層積層型太陽電池が高信頼性化に対して有利であることを示した。また、a-SiC／a-Si／a-SiGe三層積層型太陽電池は、光入射側により光学バンドギャップの大きいものから順に積層することにより幅広い波長領域の光を有効利用できるため、各a-Si合金材料の高品質化によって、初期変換効率15.0%が期待できるとともに、この技術をふまえて高信頼性化設計を行うことにより、初期変換効率12.0%，劣化率が5%が期待できることを理論計算により明らかにした。そして、a-Si／a-Si／a-SiGe三層積層型太陽電池において、今まで述べてきた各要素技術に基づき初期高効率化設計を行うことにより、変換効率10.7%を得た。次いで、積層型太陽電池の各構成素子の光劣化特性の解析結果に基づき高信頼性化設計を行うことにより、初期変換効率10.0%，劣化率を得た。また、a-SiC／a-Si／a-SiGe三層積層型太陽電池においてバンドプロファイル技術および光閉じ込め技術を適用して初期高効率化設計を行うことにより初期変換効率11.0%を得ている。また、バンドプロファイルの高信頼性化設計により初期変換効率10.7%，劣化率14%を得ている。

第8章では、本論文の結論で、各章で得られた研究成果をまとめて本論文を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

アモルファスシリコン（以下a-Siと書く）太陽電池は、プラズマCVDで代表される低温・気相成長法による大面積・連続・量産製造工程が可能なため、低コスト化が必須条件となる太陽光発電技術の実用化に向けて、その将来が期待されている。ところがa-Siは禁止帯幅が1.7～1.8eVであるために、太陽輻射エネルギーの長波長光成分を電気エネルギーに変換できない。また、連続的な光照射により特性が劣化するなどの問題があり、これらの解決が急がれている。本研究では、a-Siとこれより禁止帯幅が狭いアモルファスシリコンゲルマニウム（a-SiGe）や広いアモルファスシリコンカーバイド（a-SiC）から構成される太陽電池を組み合わせてマルチバンドギャップ積層型太陽電池（stacked cell）とすることによって、太陽光輻射スペクトルの広い範囲を有効に利用し、高効率化を画るとともに、素子の最適設計を通じてその信頼性をも改善するいくつかの新しい試みをめぐる一連の研究成果

果をまとめたものである。

本論文では、まず積層型太陽電池の単位セルに用いられるa-Si Ge（禁止帯幅、1.3eV）からa-Si C（2.1eV）にいたるa-Si系材料において光电特性を最大にする成膜条件を検討した。次いで、この条件のもとで作成された積層型太陽電池において、各構成素子の光超電力特性を分離して評価する手法を開発し、それをもとに各構成素子の光誘起特性劣化の様子を詳しく解析した。さらに、この実験結果に基づいて、太陽電力の屋外使用で一年間に生じる光誘起特性劣化を室内で短い時間のシミュレータ光照射による劣化度から推定する加速劣化試験法を確立した。

a-Si 合金太陽電池の高性能化と高信頼性化を目指して、光电流活性層の禁止帯幅に分布を持たせるバンドギャッププロファイル法と称する独創的な最適化設計手法を提案し、その有効性を一連の実験データにより実証した。これらの要素技術に関する研究成果を踏まえて、a-Si C/a-Si/a-Si Ge 三層積層型太陽電池の理論的最適化設計を行い、達成変換効率および劣化特性の見積りを行った結果、そのいずれの特性においてもa-Si/a-Si Ge 二層積層型太陽電池に比較して優れていることを明らかにした。

最後に、上記した一連の要素技術の基礎研究により決定した最適化パラメータに従って三層積層型太陽電池を試作し、初期変換効率11%，また屋外暴露一年間相当の劣化率14%を達成した。屋外電力用の太陽電池として最も重要である劣化安定化後の変換効率9.6%は現在までに報告されている値のなかで最も性能の高いものである。

以上の研究成果はアモルファス太陽電池の高信頼性化をめぐる基礎物性と実用化技術に先駆的な貢献をするところ多大で、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。