

氏 名	岡 本 真 吾
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3377 号
学位授与の日付	平 成 10 年 9 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 題 目	High Conversion Efficiency and Highly Stable a-Si:H Solar Cells (高効率・高信頼性a-Si:H太陽電池に関する研究)

(主査)
論文調査委員 教授 松波 弘之 教授 藤田 茂夫 教授 橘 邦英

論 文 内 容 の 要 旨

地球環境問題やエネルギー枯渇問題を解決する新しいエネルギー源として太陽電池が脚光を浴びており、特に水素化アモルファスシリコン (a-Si:H) 太陽電池は低コスト電力用太陽電池の最有力候補として実用化が待たれている。電力用a-Si:H太陽電池の実用化のためには変換効率と信頼性のさらなる向上が必要である。本論文は、pin型a-Si:H太陽電池の高効率化、高信頼化を図って電力への応用を目指そうとする研究をまとめたもので、6章からなる。

第1章は序論で、本研究の背景と問題点を明確にし、研究の目的と方法論を記述してある。

第2章では、a-Si:H太陽電池の光吸収による発電層であり、変換効率に最も影響を及ぼすi層（不純物を添加していない層）の膜特性と成膜条件との関係を詳細に検討し、膜構造を決定する要因の抽出と膜の高品質化への指針を考察している。100%シランを原料ガスとするグロー放電プラズマCVD法において、基板温度を一定にしておいてもその他の成膜条件を変化させてa-Si:Hの膜構造が十分制御できることを実験的に見出している。これを、膜堆積表面付近での表面反応に許される時間（成膜速度に依存）と表面反応の速度（基板温度に依存）との競合で膜構造が決定するというモデルで説明できることを明らかにしている。良好なデバイス特性が得られる条件で形成したa-Si:Hの諸特性（光学ギャップ、水素量、導電率等）の間には、成膜条件によらず一対一の相関関係が存在し、ある特性（たとえば光学ギャップ）が決まれば他の特性もほぼ一義的に決定されることを見出している。加えて、特性に強く影響を与える欠陥密度の新しい評価法として光干渉除去CPM（一定光電流）法を開発している。最適化したa-Si:Hをi層に用い、小面積セル（1 cm²）で真性変換効率12.7%（pin単層接合a-Si:H太陽電池として世界最高）、集積型サブモジュール（100 cm²）で実効変換効率12.0%（このサイズのa-Si:H太陽電池として世界最高）を達成している。

第3章では、ワイドギャップa-Si:H薄膜堆積時の水素プラズマの効果について研究している。積層型a-Si:H太陽電池のトップセル（表層太陽電池）用のi層として、ワイドギャップa-Si:Hの高品質化が重要であり、そのために、薄膜堆積時の原料ガスの水素希釈および膜堆積後の水素プラズマ処理がa-Si:Hやa-SiC:Hの膜構造に及ぼす影響を考察している。水素希釈率の低い領域では堆積速度が減少し、水素希釈率の高い領域では膜が水素過剰のプラズマにさらされる効果、すなわち、水素プラズマ処理の効果で説明できることを明らかにしている。水素プラズマ処理によって、膜の導電率やSiH₂/SiH比をほとんど変化させることなく、水素量および光学ギャップを増加させて、ワイドギャップa-Si:Hの高品質化を可能にしている。これを基に、ワイドギャップa-Si:Hをi層に用いたpin単層接合太陽電池で1 Vを越える世界最高の開放電圧を達成している。

第4章では、これらを基に、a-Si:H膜の光劣化低減への指針を示し、a-Si:H太陽電池の光劣化の安定化後変換効率の向上をはかっている。100%シランおよび水素希釈シランを用いて堆積したa-Si:H膜の特性と光劣化との相関を系統的に検討し、劣化後の特性と良い相関を持つのは光学ギャップや水素量ではなくSiH₂結合量であることを明らかにしている。屋外暴露1年相当（光劣化がほぼ止まり、特性が安定になる）の劣化条件（1.25 sun, 48℃, 開放状態, 310時間）に相当する加速劣化条件を検討し、5 sun, 25℃, 開放状態, 160分の条件でi層膜厚500~4,000 Åのpin接合a-Si:H太陽電池の安定化後変換

効率を約2%以内の誤差で評価している。先に示した最適化に加え、i層内の SiH_2 結合量を低減することで、pin単層接合a-Si:H太陽電池の安定化後変換効率としては世界最高レベルの真性変換効率8.8%（セル面積 1 cm^2 ）を達成している。

第5章では、a-Si:H太陽電池の電流－電圧特性を光電流成分と暗電流成分とに分離して解析する手法を開発し、i層の評価や太陽電池特性のシミュレーションに応用している。a-Si:H太陽電池の出力電流が暗電流成分と電圧依存性を持つ光電流成分との和で表され、かつ光電流が任意の電圧において照射強度に比例することを見出している。この原理を利用して、使用時に重要になる太陽電池特性の照度依存性を精度良く近似する手法を開発している。さらに、本手法を利用して太陽電池の直列抵抗やi層の $\mu\tau$ （移動度・寿命）積を評価する方法を導き出し、本解析法の有用性を示している。加えて、本手法を積層型太陽電池に応用し、安定化後変換効率の向上を目的とする最適設計を、従来法より、正確・迅速にかつ効率良く行うことを可能にしている。材料特性の改善によって、3層積層型a-Si:H太陽電池で安定化後変換効率12%が達成できることを、本手法のシミュレーションにより示している。

第6章は結論で、本研究で得られた成果のまとめと今後の課題を提示している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、新しいエネルギー源として期待されている水素化アモルファスシリコン（a-Si:H）太陽電池の高効率化、高信頼化を図り、電力分野への応用を目指す研究をまとめたもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. a-Si:H太陽電池の発電層であり、エネルギー変換効率に最も影響を及ぼすi層（不純物を添加しない層）について、膜の諸特性と堆積条件の関係を詳細に調べ、膜構造決定要因を抽出し、高品質化への指針を提案した。100%シランを原料ガスとするグロー放電プラズマCVD法において、一定の基板温度で堆積条件を変化させ、a-Si:Hの膜構造を精密に制御することに成功した。膜の諸特性（光学ギャップ、水素量、導電率など）の間には、堆積条件によらず相関関係が存在し、一つの特性が決まれば他の特性がほぼ一義的に決定されることを見出した。
2. a-Si:Hの水素プラズマ処理によって、膜の導電率や膜内の SiH_2 結合と SiH 結合の比をほとんど変化させることなく、水素量および光学ギャップを増加させ、高品質化することを可能にした。このワイドギャップa-Si:Hを積層型太陽電池の表層用として実用する見通しをつけた。
3. 膜特性と光照射による特性低下の相関を系統的に検討し、堆積条件によらず、低下後の膜特性と膜内の SiH_2 量が相関を持つことを明らかにした。特性低下を防ぐために、原料ガスの水素希釈を提案した。
4. a-Si:H太陽電池の電流－電圧特性を光電流成分と暗電流成分とに分離して解析する手法を開発し、使用時に重要となる特性の照度依存性を精度良く近似する簡便な手法を開発した。これを用いて太陽電池性能を支配する諸量を評価する方法を導くとともに、太陽電池特性のシミュレーションに応用し、新しい構造を提案した。

以上要するに、本論文は、プラズマCVD法によりa-Si:Hの構造と物性を制御し、太陽電池の変換効率と信頼性の向上を目指す方法論を提示したもので、学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の論文として価値あるものと認める。また、平成10年8月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。