



Title	大気圧プラズマCVDによる太陽電池用アモルファスSiの高速成膜に関する研究
Author(s)	垣内, 弘章
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3184347">https://doi.org/10.11501/3184347</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名	垣内 弘章
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 15834 号
学位授与年月日	平成13年1月29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	大気圧プラズマCVDによる太陽電池用アモルファスSiの高速成膜に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 芳井 熊安
	(副査) 教授 森 勇藏 教授 梅野 正隆 助教授 安武 潔 助教授 中野 元博

### 論文内容の要旨

本論文は、太陽電池デバイス用の高品質な水素化アモルファスSi(a-Si:H)薄膜の高速成膜技術の確立を目的として、回転電極およびガス循環システムを有する大気圧プラズマCVDシステムを開発し、高速形成したa-Si:H薄膜の電気・光学特性評価、並びにそれらのa-Si:H薄膜を発電層とした太陽電池デバイスの性能評価に関する研究成果をまとめたものである。

第1章では、アモルファスSi太陽電池の概要を述べ、a-Si:H薄膜の形成法として現在用いられている低圧プラズマCVD法についてまとめている。また、低圧プラズマCVD法の問題点を整理し、本研究の目的と意義を明確にしている。

第2章では、a-Si:Hの超高速成膜法として回転電極を用いた大気圧プラズマCVD法を提案し、低圧プラズマCVD法に比べて成膜速度を大幅に高速化できることを示している。また、回転電極利用の概念について、物理的観点から解説している。

第3章では、本研究で開発した大気圧プラズマCVDシステムの構成およびシステム各部の性能・仕様を述べている。また、本研究で使用した超高純度ガス供給系について、その構成と優れた要素技術を示している。

第4章では、大気圧プラズマCVDシステムの基礎性能評価を行うとともに、基板表面に付着するパーティクルの除去に関して流れの数値解析および成膜実験の両面から検討している。さらに、本成膜法により均質なa-Si:H薄膜の超高速成膜を実現している。

第5章では、低圧プラズマCVDの100倍以上の成膜速度(最大 $1.6\mu\text{m/s}$ )で形成されたa-Si:H薄膜の電気・光学特性を評価した結果を述べている。また、高速成膜条件での特性をさらに向上させる必要があり、そのためには膜中の不純物濃度を低減しなければならないこと、および安定な大気圧プラズマを発生させる上で電極表面の絶縁コーティングが非常に重要であることを指摘している。

第6章では、 $\text{SiH}_4$ ガスの循環によるプロセス雰囲気のクリーニング法(水分除去法)を提案し、その効果を検討している。また、雰囲気の水分濃度が膜中の酸素濃度および電気伝導度に大きな影響を及ぼすことを明らかにしている。

第7章では、成膜パラメータを最適化することにより、高速成膜条件におけるa-Si:H薄膜の特性向上を実現している。また、本研究で高速形成したa-Si:H薄膜を発電層とした太陽電池デバイスを作製し、デバイス特性と膜特性

との関連を検討している。その結果、本研究で開発した大気圧プラズマ CVD 法により、高性能太陽電池デバイスの成膜プロセスを大幅に高速化し得ることを確認している。

第 8 章では、本研究で得られた研究成果を総括している。

### 論文審査の結果の要旨

太陽電池は、発電時に二酸化炭素、硫黄酸化物、窒素酸化物などを発生せず、また無尽蔵で地域的な偏在性もないため、地球環境問題及びエネルギー問題を同時に解決できるクリーンなエネルギー・システムとして大きな注目を集めている。特にアモルファス Si 太陽電池は、大面積化、省資源、軽量化そして低コスト化の観点から、将来の実用太陽電池として最も有望である。発電層として用いる水素化アモルファス Si (a-Si:H) 薄膜は、一般に低圧下でのプラズマ CVD 法により形成されているが、アモルファス Si 太陽電池の製造コストを低減するためには、a-Si:H 薄膜の成膜速度を飛躍的に向上させる必要が生じている。本論文は、a-Si:H 薄膜を高速形成するための新しい成膜技術として大気圧プラズマ CVD 法の開発を行い、太陽電池デバイス用の高品質 a-Si:H の高速成膜条件を明らかにするとともに、高速形成 a-Si:H を発電層とした太陽電池デバイスの実現とその高性能化に関する研究成果をまとめている。本論文を要約すると以下の通りである。

- (1) 大気圧プラズマ CVD 法の概念に基づいて、回転電極およびガス循環システムを備えた大気圧プラズマ CVD システムの開発を行い、150MHz の高周波電力を用いることで  $500 \mu\text{m}$  以下の微小ギャップにおいて安定な大気圧プラズマを発生させることに成功している。また一般的な低圧プラズマ CVD 法に比べて 100 倍以上高速な成膜速度 ( $0.01 \mu\text{m/s} \sim 1.6 \mu\text{m/s}$ ) で均質かつ緻密な a-Si:H 成膜を実現するとともに、基板を走査することによって走査距離に応じた面積の均一な a-Si:H 薄膜形成を可能としている。 $0.01 \mu\text{m/s}$  以上の成膜速度は、低圧プラズマ CVD では実現不可能な速度であり、大気圧プラズマ CVD 法が高品質な a-Si:H の高速成膜法として高いポテンシャルを有していることを示している。
- (2) 大気圧プラズマ CVD により高速形成した a-Si:H 薄膜の電気・光学特性を評価・検討し、大気圧プラズマ CVD 法が一般の低圧プラズマ CVD 法とは全く異なる成膜メカニズムをもつことを示している。また、個々の成膜パラメータと膜特性との相関を明らかにし、成膜速度  $0.28 \mu\text{m/s}$  という高速成膜条件においてデバイスグレード a-Si:H 薄膜の形成を可能にしている。この成膜速度条件を用いると、 $1\text{m} \times 1\text{m}$  の大きさの基板に厚さ  $0.3 \mu\text{m}$  の a-Si:H 薄膜を約 200 秒で形成することができ、3000 秒程度を要する低圧プラズマ CVD に比べて 10 倍以上の速度で太陽電池の製造が可能であることを示している。
- (3) 大気圧プラズマ CVD により高速形成した a-Si:H 薄膜を発電層とした太陽電池デバイスの作製に成功するとともに、成膜条件を最適化することによって、低圧プラズマ CVD により発電層を形成した従来のデバイスと遜色のない優れた性能を実現できる見通しを得ている。

以上のように、本論文は、独自の概念に基づいて開発した大気圧プラズマ CVD システムによって、従来困難と考えられていた大気圧プラズマの安定な発生・維持を可能としており、高品質な a-Si:H の高速成膜法を確立する上で従来にはない多くの新しい知見を得ている。また、本論文の研究成果は、太陽電池製造プロセスにおける成膜技術に関して大きなブレークスルーとなり得るものであり、将来的な太陽電池の高性能化および低価格化に寄与するところが大きい。さらに、本論文の研究成果は他の多くの機能材料を高速成膜するための基礎となるものであり、精密科学に貢献するところ大である。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。