

氏 名 ( 本 籍 )	三和 寛之 (岐阜県)
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 授 与 番 号	甲第 5 3 6 号
学 位 授 与 日 付	平成 3 0 年 3 月 2 5 日
専 攻	環境エネルギーシステム専攻
学 位 論 文 題 目	シリコン太陽電池における光学構造の形成とパッシベーション膜の電気的特性の均質化による発電特性の向上 (Improvement of photovoltaic properties of Si solar cell by forming optical structure and homogenization of electrical characteristics)
学位論文審査委員	(主 査) 教授 杉浦 隆 (副 査) 教授 伊藤 貴司 教授 野々村 修一 准教授 吉田 憲充

### 論 文 内 容 の 要 旨

再生可能エネルギーのさらなる普及を目指しているシリコン太陽電池の低コスト化という課題に対して発電効率の向上はたいへん有効な手段の一つである。本申請論文では、シリコン太陽電池の変換効率向上をテーマに 2 つのアプローチで取り組んでいる。一つはヘテロ接合型太陽電池の結晶シリコンとアモルファスシリコンの接合界面における漏洩電流現象の抑制技術の開発を行った。解析により電流漏洩現象とキャリアライフタイムの関係を見出した。エチレングリコール液中の陽極酸化によって漏洩箇所の局所的な補修を行った。また TMAH を用いて電流漏洩問題の原因と考えられる稜線に (311)面を表出させる新しいテクスチャ構造を提案した。これらの方法によって、漏洩電流をそれぞれ  $-3.3 \text{ pA}$  から  $-0.55 \text{ pA}$  に、 $-0.59 \text{ pA}$  を  $-0.21 \text{ pA}$  にそれぞれ 73%, 64%抑制した。

もう一つの研究課題として、液体ガラスを用いた太陽電池用反射防止膜の開発を行った。液体ガラスの主要物質であるオルガノポリシロキサンを、熱、水、少量の添加剤を加えることで制御し、膜中に含まれる空孔の量を増大させる技術を開発した。その結果、一般的なガラス用反射防止膜のフッ化マグネシウムを超える反射防止効果を有する反射防止膜の開発に成功した。その効果は多結晶シリコン太陽電池モジュールにおいて、反射を 2.1%低減し、短絡電流密度を  $2.1 \text{ mA/cm}^2$ 、変換効率で 1.1%の向上を達成した。この方法で作製した低屈折率な薄膜ガラスの空孔の解析を行い、膜内の空孔の構造を明らかにした。

さらに薄膜シリコン太陽電池の近赤外領域における光吸収損失の低減を目的とした高電気伝導、高光散乱透明導電基板の開発を行った。シリカ粒子や液体ガラスによって構成する光散乱のための凹凸構造と、透明導電膜を別の構造にきりわけすることで、高い光散乱性と高い電気伝導性を有する透明導電基板の開発に成功した。光学特性としては波長 400nm から 800nm において一般的な透明導電基板に比べ透過率を 8%向上し、ヘイズ率は波長 400nm から 1400nm において 80%以上を達成した。また電気特性としては一般的な透明導電基板と同等の性能を維持した。

以上の結果より、本研究で行ったシリコン太陽電池に対する発電特性の向上手法は有効に機能することを示し、太陽光発電の低コスト化に貢献することが期待される。

### 論文審査結果の要旨

本申請論文は、シリコン太陽電池の発電効率向上を目指して次の 2 点を中心に研究を行ったものである。 i) テクスチャ構造を持つヘテロ接合型太陽電池の発電特性を悪化させるパッシベーション膜上の漏えい電流現象を漏えい部の局所的な酸化により抑制する検討とテクスチャ構造の変更により現

象の発生自体を抑制する検討を行っている。ii) 安価で安定な液体ガラスを用いて低屈折率ガラス薄膜を形成し、太陽電池のカバーガラスと空気の界面の反射防止膜開発を行っている。これらの成果はそれぞれ国際ジャーナルにアクセプトを受けており、環境エネルギーシステム専攻の「学位論文の基礎となる学術論文に関する判定基準」を満たしていることを確認した。また学位審査における発表においても、シリコン太陽電池に関して博士の学位を与えるに足る知識と経験を有していることを確認した。以上のことから、審査は合格とする。

### 最終試験結果の要旨

最終試験において、シリコン太陽電池の発電効率向上に取り組む意義、その手法としてのテクスチャ光学構造の形成とその太陽電池特性に対する評価、低コストなガラス反射防止膜の開発など、博士研究論文に対する学術的諮問を行った。論文提出者は、博士課程における研究成果を踏まえながら、本論文の発電特性の向上手法が有効に機能し、太陽光発電の低コスト化に貢献が期待できるなど、質疑に対して的確に回答を行った。したがって、最終試験は合格と判定した。

---

発表論文（論文名、著者、掲載誌名、巻号、ページ）

1. Conductive Atomic Force Microscopy Measurements of Localized over Dark Current along Pyramidal Ridge Lines of Intrinsic Hydrogenated Amorphous Silicon Layer on Textured Crystalline, H. Miwa, S. Nishida, M. Kanematsu, S. Kuribayashi, H. Win, N. Yoshida, S. Nonomura, *Materials Transactions*, **58**(3), pp.453-456 (2017).
2. Formation of Antireflection Thin Film Glasses Using Organopolysiloxane with Low Temperature Process and Surface Modifications, H. Miwa, A. Kodama, H. Win, K. Murakami, T. Takahashi, F. Ohashi, S. Nonomura, *Materials Transactions*, accepted November 21, (2017).