

氏名 (本籍)	GO SIAN HUAI (ミャンマー連邦共和国)
学位の種類	博士(工学)
学位授与番号	甲第638号
学位授与日付	令和5年3月25日
専攻	環境エネルギーシステム専攻
学位論文題目	Development of recovery and suppression techniques for potential induced degradation of photovoltaic modules based on p-type crystalline Si (p型結晶シリコンを用いた太陽電池モジュールにおける電圧誘起劣化の回復および抑制方法の開発)
学位論文審査委員	(主査) 准教授 大橋 史隆 (副査) 教授 伊藤 貴司 教授 久米 徹二 准教授 吉田 憲充

論文内容の要旨

本申請論文は、太陽光発電において長期間高い発電効率を維持することによる発電コストの低減を目標に、太陽電池モジュールにおいて発生する劣化現象の一つである電圧誘起劣化(Potential induced degradation, PID)の新規回復技術および抑止技術の開発を目指したものである。

現在太陽光発電の主流となっている p 型結晶 Si 太陽電池モジュールでは、他の劣化と比較して、PID により短時間で大幅に発電効率が低下する。これは、主にカバーガラスに含まれる Na イオンが、太陽電池モジュールを構成するセルの電極と、アルミフレーム間に印加された高電圧(~-1 kV)によって移動し、その後セル内の pn 接合においてシャントパスを形成するためである。また PID は、高温下(~85°C)において、PID の発生時とは逆の極性の高電圧(~+1 kV)を、太陽電池モジュールのセルの電極とカバーガラスの間に数時間印加することにより、発電効率が回復することが知られている。新規 PID 回復技術の開発においては、より簡便な PID の回復手法に注目した。本申請論文では、単セルモジュールに室温下において、セルの pn 接合に逆バイアス電圧(-17 V)を 10 分程度印加することにより、初期値から 17%程度まで劣化した発電効率が、87%程度まで回復することを示した。また、長時間の逆バイアス電圧印加では、セルの発熱がモジュールの構成材料を変質させる可能性を示した。新規 PID 抑止技術の開発においては、コーティング材として知られる液体ガラスを用いて、カバーガラス表面に高抵抗なガラス層を形成し、その効果を検証した。その結果、ガラス層を形成した単セルモジュールでは、ガラス層無しのモジュールと比較して 4 倍程度 PID の発生が遅延することを確認した。

第 1 章では、太陽電池の動作原理および太陽光発電システムの概要を解説し、現在確認されている様々な太陽電池モジュールの劣化現象について述べられている。また、PID の発生原理および特徴について説明があり、本論文における目的が、太陽光発電の低コスト化に必要な、PID の新規回復技術および抑止技術の開発を目指したものであると論じている。

第 2 章では、本研究で用いた単セルモジュールの作製方法、PID 加速試験、PID 回復試験について解説した。また、抑止技術に用いたガラス層の形成手法とともに、物性評価に必要な、高抵抗、原子組成、表面形状、光透過率の測定方法および、太陽電池の発電特性の測定方法について詳述している。

第 3 章では、新規 PID 回復技術の開発として、室温下における印加逆バイアス電圧および印加時間に依存した、発電特性の回復現象を示し、既存の回復手法と比較して、簡便かつ短時間に回復することを示した。また、その時にモジュールにおいて発生する発熱現象に着目し、それらが回復に与える影響、モジュールの構成部材に与える影響について議論した。

第 4 章では、新規 PID 抑止技術の開発として、液体ガラスにより形成したガラス層の物性評価を行い、高抵抗材料であること、金属を含まないこと、モジュールの発電特性に悪影響を及ぼさないことを示した。また、ガラス層をモジュール内のカバーガラスと封止材の間に形成した場合に、より効果的であり、PID 発生を 4 倍程度遅延させる効果があることを示した。

第 5 章では、実験の動機、評価結果、本研究の優位性、実用化への課題などに焦点を当てて、本研

究をまとめている。

論文審査結果の要旨

本論文は、太陽光発電を構成する太陽電池モジュールの長期間高効率を維持することによる、発電コストの低減において重要な技術である、新規 PID 回復技術および PID 抑止技術の開発について述べられている。その主要な点は以下のとおりである。

- (1) 新規 PID 回復技術として、逆バイアス電圧を室温下にて PID が発生した太陽電池モジュールに印加することで、従来の回復手法と比較して、温調が不要な環境においても短期間に発電特性を回復できることを示したこと。
- (2) PID が発生した太陽電池モジュールへの逆バイアス電圧の印加により、太陽電池モジュールが発熱し、印加条件によっては、太陽電池モジュールの構成部材に悪影響を与える温度に達することを示したこと。
- (3) 新規 PID 抑止技術として、液体ガラスにより作製したガラス層が、高抵抗材料であると同時に、太陽電池モジュールの発電特性に悪影響を及ぼさないことを示したこと。
- (4) ガラス層を太陽電池モジュールのカバーガラスと封止材の間に形成することにより、ガラス層が無い場合と比較して、PID 発生を 4 倍程度遅延させる効果を示したこと。

これらの成果は、PID の回復ならびに抑止に貢献することが期待できるものである。

本論文の主たる部分および成果に関する部分は、査読付き論文として 2 編発表されており、学位論文の判定基準を満たしていることを確認した。以上から本論文は、博士(工学)の学術論文として、価値があるものと認められる。

最終試験結果の要旨

令和 5 年 1 月 27 日に学術論文公聴会を開催し、主査・副査 4 名の出席のもとで質疑と口頭試問を行い、これを最終試験とした。その結果、論文提出者が博士(工学)の取得に必要な学力を有していることを確認できたので、最終試験に合格とした。

発表論文 (論文名, 著者, 掲載誌名, 巻号, ページ)

1. “Recovery of potential-induced degraded p-type multicrystalline Si PV modules by application of a reverse DC bias”, G. S. Huai, K. Takada, K. Ono, S. Hashimoto, N. L. Htun, F. Ohashi, N. Yoshida, Y. Sobajima and S. Nonomura, Jpn. J. Appl. Phys. 61, (2022) 041002. (Discussed in chapter 3 of thesis)
2. “Development of a suppression technique of potential-induced degradation by a formation of glass layer in Si PV modules”, G. S. Huai, T. Haga, F. Ohashi, H. Yoshida, T. Kume and S. Nonomura, Mater. Trans. 64, (2023) pp. 165 - 170. (Discussed in chapter 4 of thesis)