

## 論文内容の要旨

博士論文題目 結晶 Si 太陽電池モジュールにおける電圧誘起劣化に関する研究

氏 名 城内 紗千子

(論文内容の要旨)

近年、大規模太陽光発電システムにおいて短時間で太陽電池モジュール・システムの出力が大幅に低下する現象が報告されている。この現象は、Potential-induced degradation(PID)現象と呼ばれている。今後、世界中でますます大規模太陽光発電システムが増える予測にあり、PID 現象のメカニズム解明とメカニズムに基づいた低コストかつ初期効率を落とさない抑止対策を講じることは急務である。本研究では、太陽電池モジュールを構成する各部材が及ぼす影響について調べ PID 現象のメカニズム解明に向けて新たなモデルを構築し、新抑止対策を提案することを目的とした。

第2章では、PID 現象において封止材の架橋率依存性や封止材に含まれている添加剤の影響について検討した結果を述べている。架橋率測定には、有機溶媒を使用せず短時間で測定可能な簡便な測定法を見出した。PID 試験時における印加電圧が-500 V と比較的小さい電圧で封止材の架橋率が高いほど PID 現象が起こりやすいことを確認した。また、シランカップリング剤が入っていない EVA では大きな PID 抑制効果が確認できた。

第3章では、これまでに報告されていた PID 現象の主原因がガラス中の Na イオンであるかどうかを検証するとともに、ガラス以外の原因は PID 現象を促進させるのか調べた結果を述べる。ガラスの Na イオンが存在しなくても PID 現象が発生することや、セル表面汚染やモジュール作製工程中に混在した汚染も PID 現象を促進させることが明らかとなった。表面汚染の一つと考えられる電極ペーストも PID 現象を促進させるため、電極ペーストの種類の検討と電極形成をクリーンな環境で行うことは PID 現象の抑制に繋がることを示した。

第4章では、PID 現象における反射防止膜の役割について検討した結果を述べている。反射防止膜を持たない太陽電池セルにおいては PID 現象が起こらず、反

射防止膜の種類や印加電圧を変えると p 型結晶 Si 太陽電池セルにおいても電荷蓄積による表面再結合型 PID 現象が生じることを明らかにした。基板の種類により発生する劣化現象が異なると考えられていた PID 現象のモデルを p 型も n 型も同じモデルで示した。さらに、反射防止膜にかかる電界が PID 現象発生と関係があることから、セル表面の反射防止膜に透明導電膜を被膜し反射防止膜に電界がかからない PID 抑止対策を提案した。この方法は、安価で簡便、さらに初期効率低下を招かない抑止対策として期待できる。

第 5 章では、Si 中へのわずかな Na の侵入が太陽電池セルの性能低下を招くと仮定し、空乏層中の Na の挙動について検討した。PID 試験中に pn 接合部に順バイアス電圧を印加すると PID を抑制でき、pn 接合部に逆バイアス電圧を印加すると PID 現象を促進する結果が得られた。PID 回復試験においても同様の試験を行い、pn 接合部へのバイアス印加と Na の挙動についてモデルを確立させた。

以上より、各部材が PID 現象に及ぼす影響の検討に基づき提案した PID 抑止対策は、安価で簡易な PID 抑止対策として工業的に貢献すると期待できる。

## (論文審査結果の要旨)

本論文は、太陽電池モジュールの長期信頼性の確保を目的に、劣化要因の一つである Potential-Induced Degradation(PID)現象について調べた。今後、世界中で大規模太陽発電システムが増える予測にあり、PID 現象のメカニズム解明と抑止対策は急務である。PID 現象のメカニズム解明に向け、PID 現象において新たなモデルを構築し、安価で簡易、かつ初期効率を低下させない抑止対策を提案することを目的として研究されたものである。以下に示す成果を得ている。

(1)有機溶媒を使用せず短時間で測定可能な簡便な架橋率測定法を見出し、封止材の架橋率と PID 現象の依存性を示した。PID 試験時の印加電圧が小さい場合には架橋率依存性が確認でき、封止材の架橋率が高いほど PID 現象は起こりにくいことが明らかとなった。さらに封止材に含まれる添加剤の影響が大きいことを示した。

(2)これまでの PID 現象の主原因について検証するとともに、セル表面汚染やモジュール作製中に付着した汚染も PID 現象を促進させることを示した。特に電極形成では表面汚染が付着しやすいと考えられ、電極ペーストの種類の検討と電極形成をクリーンな環境で行うことは PID 現象の抑制に繋がることを示した。

(3)セル表面の反射防止膜の役割について検討しており、反射防止膜を持たない太陽電池セルでは PID 現象が起こらないことがわかった。さらに現行の PID 現象モデルは p 型と n 型で異なるが、反射防止膜の種類や印加電圧を変えることにより、p 型も n 型も同じモデルで表せることが明らかとなった。さらに、反射防止膜にかかる電界が PID 現象発生有無と関係があり、反射防止膜上に透明導電膜をコートし反射防止膜に電界がかからない PID 抑止対策を提案している。この抑止対策は、今までの抑止対策と異なり安価で簡便、さらに初期効率低下を招かない抑止対策として期待できる。

(4)Si 中へのわずかな Na の侵入について検討し、空乏層中の Na の挙動について検討を行った。PID 試験中に pn 接合部に順バイアス電圧を印加すると PID を抑制、逆バイアス電圧を印加すると PID 現象を促進する結果を示した。また、PID 回復試験においても同様の試験を行い、pn 接合部へのバイアス印加と空乏層中の Na の挙動についてモデルを確立させた。

このように、本論文は PID 現象について、p 型も n 型も同モデルで表せることを示した点や、今までにない安価で簡易、初期効率が低下しない実際に工業的に貢献しうる PID 抑止対策を提案した点で工学的に高い価値を有すると考えられる。従って審査員一同は本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。