

結晶シリコン太陽電池モジュールへの雷インパルス電圧印加による電圧誘起劣化の加速

金子 哲也¹, 田邊 亮太¹, 高野 健太郎¹, Suy Kimsong¹, 原 由希子², 増田 淳², 磯村 雅夫¹
¹東海大学, ²産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター

研究の目的

- 太陽光発電システムが直撃雷や近傍への落雷による誘導雷を受けると、太陽電池モジュールの各部には高電圧が印加される事が考えられる。
- 本研究では、結晶シリコン太陽電池モジュールに対し、落雷を想定した雷インパルス電圧を印加した際に生じる影響を調査する事を目的とし、今回は電圧誘起劣化(PID)とその回復への影響を評価した。



実験

<被試験モジュール>

- 多結晶シリコン太陽電池単セルモジュール
- 構造: カバーガラス/EVA/p型多結晶Siセル/EVA/PVF/PET/PVFバックシート
- セルサイズ: 15.6 cm角
- モジュールサイズ: 18 cm角
- モジュールの対向する2辺(セル電極を取り出していない側)にアルミテープを貼付してフレームを模擬



図1. 被試験太陽電池モジュール

<インパルス電圧印加>

フレームを模した両アルミテープをアースに接続し、セルの両電極に多段式インパルス電圧発生器から負極性の雷インパルス電圧を印加(セル両電極は短絡し、同電位のインパルスを印加)

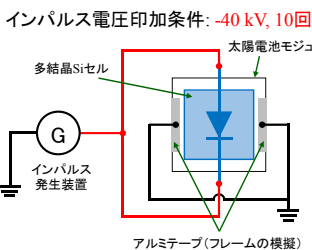


図2. インパルス電圧印加時の結線模式図

<PID試験>

モジュールのカバーガラス表面に導電性ゴムシートとアルミ板を用いてアースに接続し[1]、75°Cの恒温槽内(湿度無制御)において、セル両電極に-500 Vまたは-750 Vを2 h印加

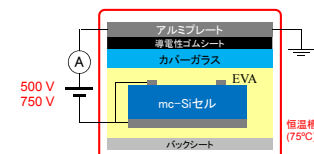


図3. PID試験時の結線模式図

<評価>

- 印加電圧波形: オシロスコープ(帯域幅 1 GHz)
- セル特性評価
 - ・ダーク電流-電圧特性
 - ・EL画像: デジタルカメラ(赤外透過に改造) IR850フィルタ, 注入電流 4 A

<逆バイアス印加(PID回復)>

ダーク電流-電圧(I-V)測定と同一の接続において、逆方向電圧(-2, -3, -4 V)を2 h印加(室温)

結果と考察

<インパルス電圧印加>

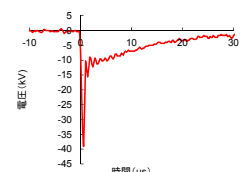


図4. 印加インパルス電圧波形

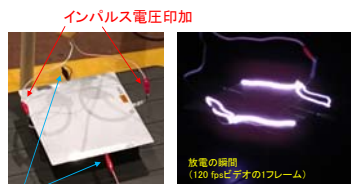


図5. インパルス電圧印加時のモジュール表面での放電

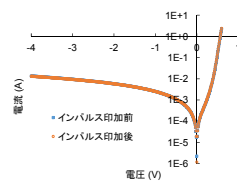


図6. インパルス電圧印加前後のダークI-V特性

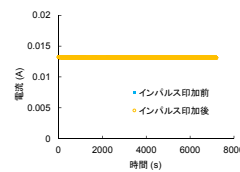


図7. 逆バイアス-4 V印加時の電流変化(図6中で-4Vの状態を保持した事に相当)

- ◆ モジュール外でのスパーク発生により、インパルス電圧は1 μs程度で低下する(図4, 5)。
- ◆ インパルス電圧印加の前後でダークI-V(図6)および逆バイアス印加時の電流(図7)に変化は見られない。→電圧-40 kVで10回のインパルス電圧印加自体では、セル特性の劣化は無い。

<PID試験>

<逆バイアス印加によるPIDの回復>

■ ダーク電流-電圧(I-V)特性

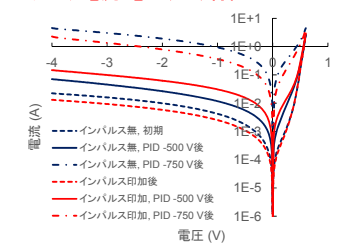


図8. PID試験後のダークI-V特性(図中のPID -500 V後は逆バイアス-4 V印加1回を、PID -750 V後は逆バイアス-2 V印加1回の実行を含む)

■ PID試験 -500 V後

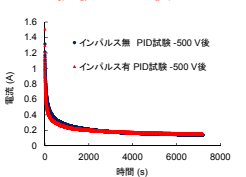


図9. PID試験 -500 V後に逆バイアス-4 V印加時の電流変化

■ PID試験 -750 V後

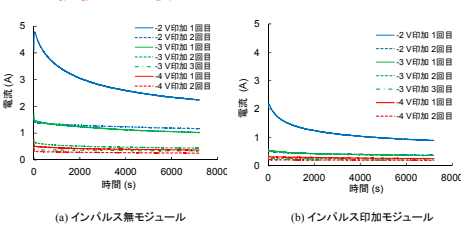


図10. PID試験 -750 V後に逆バイアス電圧を繰り返し印加した時の電流変化

■ ダーク電流-電圧(I-V)特性

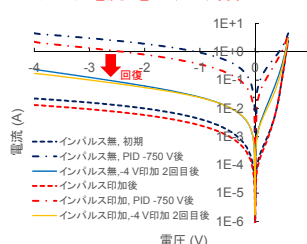


図11. PID試験 -750 V後に逆バイアス電圧を繰り返し印加した後のダークI-V特性(図10の測定後のI-V特性)

- ◆ PID試験前はインパルス無モジュールの方が逆方向電流が大きいが、PID試験 -500 V後は、インパルス電圧印加モジュールの方が逆方向電流が増加している(図8)。
- インパルス印加によりPID試験の影響が早く現れており、インパルス電圧印加は、結晶シリコン太陽電池モジュールのPIDの進行を速める。
- ◆ PID試験 -750 V後は再びインパルス無モジュールの方が逆方向電流が大きいのは、初期I-VからセルのPID耐性の個体差と推測される(図8)。
- ◆ PID試験後は逆バイアス電圧印加中に電流の時間変化がある(図7と図9の比較)。この電流は時間と共に減少し、逆バイアス電圧ごとに飽和傾向を示す(図10)。
- ◆ 逆バイアス印加前後のダークI-V(図11)とEL(図12)から、逆バイアス印加によりPIDの回復が見られる。
- PID試験で到達したNa⁺イオンが、電界によりpn接合近傍から移動していると考えられる。
- ◆ 逆バイアス印加時の電流の時間変化ならびにPIDの回復挙動は、インパルス電圧印加の有無にはよらずにどちらでも生じている(図10~12)。
- インパルス電圧印加がセル特性には影響を与えていない事を示している。

➡ インパルス電圧印加でのPIDの促進は、EVAなどセル以外へのダメージに起因していることが示唆される。

■ EL画像

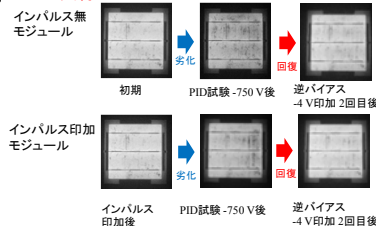


図12. ELの推移(図11の各I-V特性測定時に対応)

結論

- 太陽電池モジュールのフレームと結晶シリコン太陽電池セル間へのインパルス電圧の印加は、PIDの進行を速める。
- インパルス電圧印加によるPID促進の要因は、セル以外の部位にあることが示唆される。

<今後の予定> インパルス電圧印加によるPID促進の要因を明らかにするために、Naの移動状態をTOF-SIMS、EPMA等で分析する。

参考文献

- [1] K. Hara, H. Ichinose, T. N. Murakami, and A. Masuda, RSC Adv., 4, 44291 (2014).