

MPPTによるペロブスカイト太陽電池の性能評価

志村 陽哉・上田 孝・杉本 和則・吉田 正裕
産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 評価・標準チーム

研究の目的

- 太陽電池性能評価の主要な目的はSTC*における定常状態でのI-V特性、発電パラメータ(最大電力 P_m 、変換効率 η など)を決定することにある。しかし、ペロブスカイト太陽電池(PSC)の性能評価においては、非常に遅い応答に起因するヒステリシスと光照射で進行する不可逆的な特性変化(劣化)が従来の方法による P_m 測定を困難にしている[1,2]。
- 現在IECではPSCの性能評価手順の標準化に向けた活動も進められている[3]。
- 特性変化を生じさせる可能性がある光照射時間を最小にし、最大電力動作点(MPP)における電力を応答時間に対して十分な時間をかけて測定するために、従来の手順である通常のI-V測定に加え最大電力動作点追従法(MPPT)による P_m 測定を実施している。
- PSCのバイアス状態の変化に対する応答を調べ、適切なMPPT条件を検討した。

*STC (Standard Test Conditions): 分光放射照度AM1.5G基準太陽光スペクトル(放射照度1 kW/m²)、セル温度25°Cの試験条件

PSCのヒステリシス、過渡応答

- ヒステリシスがあるため、応答に対して十分に長い時間掃引する必要があるが、測定が長時間であるほど特性変化の影響が無視できなくなる。
- バイアス電圧を変更した際、定常状態に達するまでの時間は電圧に依存する。

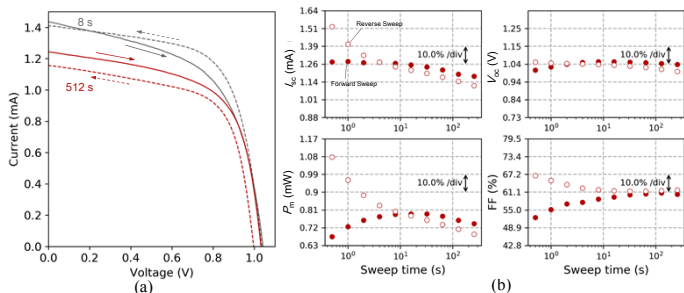


図1 I-V測定値の掃引時間依存性: (a)掃引時間8s及び512sにおけるI-V測定結果、(b)同サンプルにおけるI-Vパラメータの掃引時間依存性(時間小→大の順番に測定。特性の変化を含む。)塗りつぶされた印は順方向掃引、白抜きの印は逆方向掃引を示す。I-V測定開始直前のバイアス電圧は V_{pm} の近傍であり、掃引開始電圧で1sの待ち時間をとった。

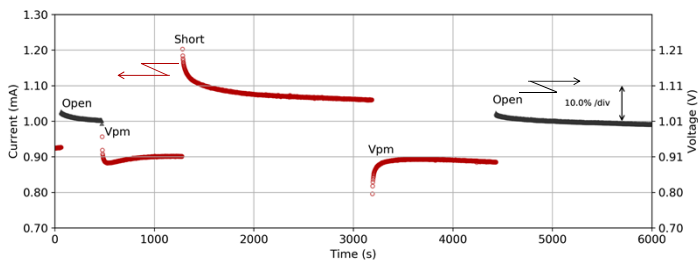


図2 バイアス状態変更直後の電流、電圧の応答: 安定に要する時間は数100~数1000s。

結論

- PSC性能評価において、特性変化の可能性と長い応答時間を考慮すると、MPPTによる P_m 測定は従来の測定方法(定速I-V)に比べ定常状態における P_m を決定するのに適している。
- サンプルの特性と動作パラメータの組み合わせによりMPPTの軌跡に発振が生じることがある。適切な動作パラメータをサンプル毎に確認する必要がある。

参考文献

[1] H. J. Snaith *et al.*, The Journal of Physical Chemistry Letters 5, 9, 1511-1515, 2014.
[2] K. Domanski *et al.*, Nature Energy 3, 61-67, 2018.
[3] IEC TR 63228:2019.
[4] T. Esram, P. Chapman, IEEE Transactions on Energy Conversion 22, 2, 439-449, 2007.

MPPTの動作

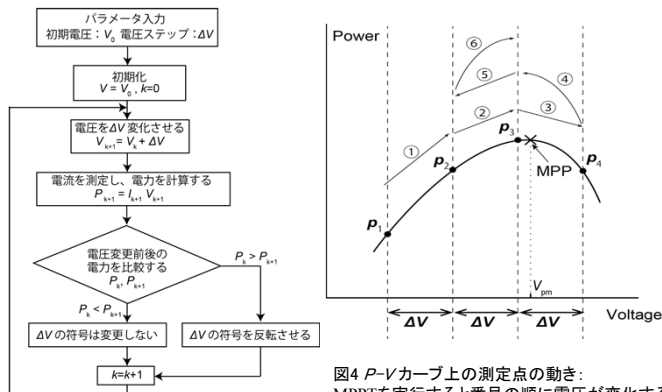


図3 MPPTのフロー: 山登り法(HC)[4]による。初期電圧は事前のI-V測定から決定する。電圧ステップ ΔV は V_{oc} の0.5%~1.5%。

図4 P-Vカーブ上の測定点の動き: MPPTを実行すると番号の順に電圧が変化する。安定なI-Vカーブ上では範囲内に V_{pm} を含む3点(P_2, P_3, P_4)を往復する。電圧が V_{pm} と一致しないことによる P_m の誤差は通常 $\sim 0.1\%$ 以下。

測定結果

- MPPTにより、準定常状態における P_m を直接測定できる。

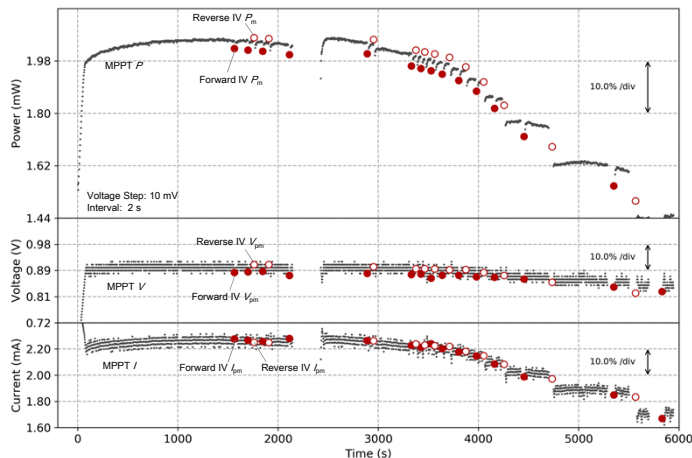


図5 MPPT&I-V測定結果の例: 図中黒点はMPPT測定結果、赤丸印はI-V測定結果(P_m, V_{pm}, I_{sc})を示す。塗りつぶされた印は順方向掃引、白抜きの印は逆方向掃引。0sで光照射、MPPTを同時に開始。2100~2400sの間暗状態。I-V測定条件は1000~3000sまで掃引前待ち時間1s、掃引時間10s。3000s以降は掃引時間を10sに固定し、掃引前待ち時間を0~128sの範囲で増加させた。掃引前待ち時間を長くした際に逆方向掃引を行うとMPPTの電力が不連続に減少しており、 V_{oc} 近傍でバイアス電圧を長時間保持することと劣化との関係[2]を示唆していると考えられる。

- MPPTにおいて発振が生じる場合がある。適切な動作パラメータ(ステップ電圧、ディレイ時間、積分時間)をサンプル毎に確認する必要がある。

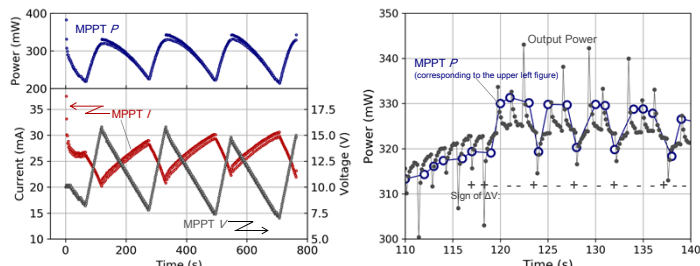


図6 MPPT実行中に発振が生じた例: 左図下段はMPPTにおける電流及び電圧、上段は電力。右図は同データの拡大で、青丸が左図上段のデータに対応する。灰色の点は同時に別の測定器で短い間隔で測定した電力。ステップ間で電圧が増加する際に電流がアンダーシュートし、減少するとオーバーシュートする。結果として前ステップとの電力測定値の比較においてP-Vカーブのスロープが反映されず発振につながる。