

各種新型太陽電池性能評価技術

菱川善博・志村陽哉・佐々木あゆ美・大島博典
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

概要

- ・結晶Si・薄膜Si・III-V族・CIGS・色素増感・有機薄膜・ペロブスカイト等の新型太陽電池に特有の分光波長域・時定数・構造等に適した性能評価技術を開発し、測定を実施した。
- ・高精度測定のために必要な技術的要素を検討した。

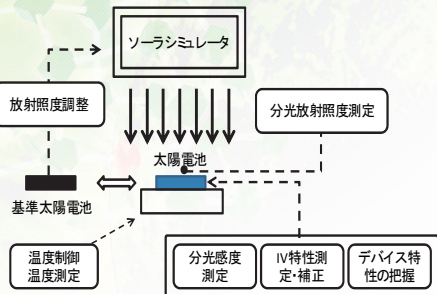


Fig. 1 太陽電池性能評価の技術的要素の概要

各種太陽電池に共通の測定技術

ソーラシミュレータスペクトルの改善

- ・エアマックスフィルタを始めとする光学系の改良で、従来以上に**基準太陽光スペクトルに高近似なスペクトルを実現した。**



Fig. 2 超高近似ソーラシミュレータ(WHSS)

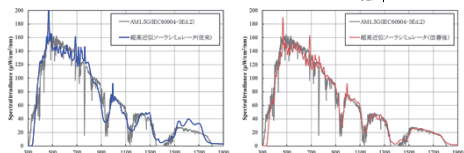


Fig. 3 改善前(左)と改善後(右)のWHSSスペクトル

出力光の再反射

- ・ソーラシミュレータ出力光がサンプルで反射、ソーラシミュレータ内で再反射し、再度サンプルに入射することで測定電流値が増加することが知られている[2][3]。
- ・この効果が反射体とサンプル位置によってどのように変化するかを検証し、**照射面内の反射体から対称の位置に強い反射があることを明らかにした**[4]。
- ・再反射光の振る舞いは光源の構造に依存するため、個別の光源については、別途検証を行うことが望ましい。

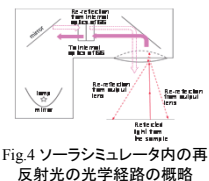


Fig. 4 ソーラシミュレータ内の再反射光の光学経路の概略

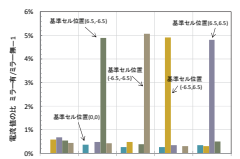


Fig. 5 照射面内に設置した反射体の影響の一例

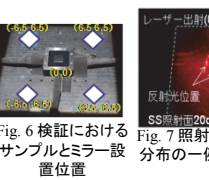


Fig. 6 検証におけるサンプルとミラー設置位置

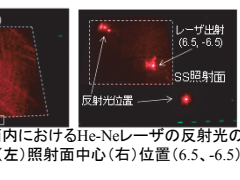


Fig. 7 照射面内におけるHe-Neレーザーの反射光の分布の一例(左)照射面中心(右)位置(6.5, -6.5)

高効率結晶Si太陽電池

I-V測定におけるスイープ速度の影響

- ・a-Si/c-Siヘテロ接合、裏面電極構造等を使用した高効率結晶Si太陽電池のI-V掃引速度及び掃引方向に依存した差(ヒステリシス)は、**被測定サンプルだけではなく、測定器にも依存することを明らかにし、その効果を考慮した測定手順を開発した**[5]。
- ・測定回路上に存在する静電容量、および測定器内部の回路、測定アルゴリズムが影響。

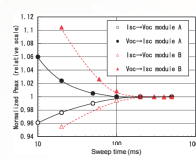


Fig. 8 異なるサンプル(a-Si/c-Siヘテロ接合)によるヒステリシスの違い

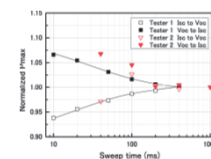


Fig. 9 異なる測定器で同サンプルを測定した際のヒステリシスの違い

セル透過光の裏面再入射による測定誤差

- ・両面受光セルを始めとする入射光の一部が透過する結晶Si太陽電池セルを測定する際に、評価用光源から出た光が一旦被測定セルを透過、その後被測定セルが接触している試料台に反射し、**再び被測定セル裏面で受光されることで、測定電流値の過大評価が起こるメカニズムおよび、その影響の定量的な評価・補正方法を明らかにした**[6]。

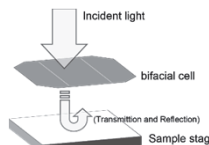


Fig. 10 セルを透過した光の裏面からの再入射

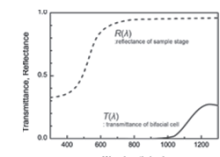


Fig. 11 両面受光セルの透過率および試料台の反射率の一例

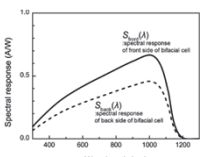


Fig. 12 両面受光セルの表面および裏面の分光感度の一例

$$\frac{I_{sc,back}}{I_{sc,front,meas}} \approx \frac{\int T(\lambda) R(\lambda) E_{front}(\lambda) S_{back}(\lambda) d\lambda}{\int E_{front}(\lambda) S_{front}(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

$I_{sc,back}$: 試料台に反射した光で発生した電流、 $I_{sc,front,meas}$: 表面から光を当てた際に発生した実測電流値、 T : セルの透過率、 R : 試料台の反射率、 S_{back} : 裏面から測定した分光感度実測値、 S_{front} : 表面から測定した分光感度実測値

CIGS太陽電池

- ・**照射後数百ミリ秒から数秒程度の極めて短い時間で主に出力電圧が変化する現象が観測され、I-V測定値に影響を与えることが明らかになった。**
- ・スイープ方向による差と共にこの効果を考慮し、測定条件と手順を決める必要がある。

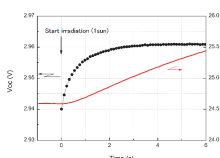


Fig. 13 開放状態における照射直後のCIGSセルの電圧変化の一例: 照射光が暗状態から最大強度になるまでの立ち上がり時間は0.03s

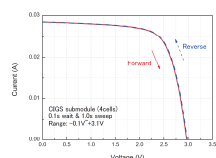


Fig. 14 掃引方向によるI-V測定値の差の一例: P_{max} に0.5%の差がある

ペロブスカイト太陽電池

- ・ペロブスカイト太陽電池は、応答時間が長い(数十秒~数分以上)ことで生じる掃引方向によるI-V測定値の差(ヒステリシス)が顕著であることが知られている[7]が、詳細はまだ明らかではない。
- ・照射状態におけるバイアス電圧印加直後の短絡電流(Isc)および開放電圧(Voc)は、ともに10分以上に亘り変化し、**I-V測定のスweep方向および測定開始電圧の保持時間等の条件が測定値に無視できない影響を及ぼすことがあることが明らかになった。**
- ・材料、構造が今後の開発によって変化する可能性が高く、評価技術も引き続きアップデートする必要がある

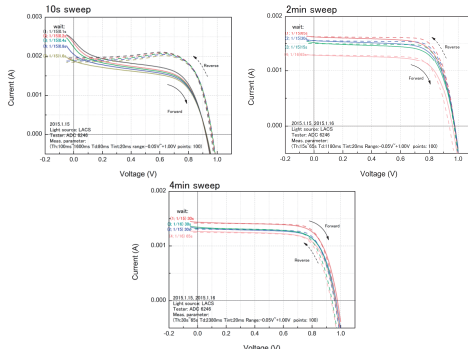


Fig. 15 ペロブスカイト太陽電池のI-V測定値におけるスイープ方向およびスイープ時間依存性の一例

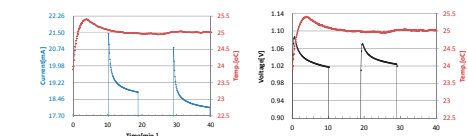


Fig. 16 ペロブスカイト太陽電池のIsc(左)とVoc(右)の時間変化の一例

色素増感太陽電池(DSC)

- ・DSCのSTC*における基本的なI-V特性の測定条件は、概ね明らかにされている[8]が、材料・構造による差が大きい
- ・**短絡電流の照度に対する非線形性が極めて大きくなる例(下図)があり、照度依存性を検討する場合には、線形補間法[9]等の補正式が適用可能な照度範囲を確認する必要がある**

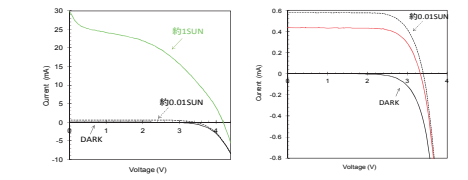


Fig. 17 照度に対する出力電流の非線形性が大きいDSCサンプルのI-V測定結果

*STC: 標準試験条件(デバイス温度25°C、照度1kW/m²、AM1.5Gスペクトル)

参考文献

[1] JIS C 8942(2009), 多接合太陽電池測定用ソーラシミュレータ
 [2] 守田, 永沢, "疑似基準太陽電池セルの入射角特性とソーラシミュレータの平行度に関する出力測定誤差評価", 平成22年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会, 2010, 233-236.
 [3] Y. Hishikawa, A. Sasaki, M. Moriya, H. Shimura, "Precision Measurement of PV Devices and Adjustment of Solar Simulator Spectral Irradiance" Proceeding of 21st PVSEC (2011) Fukuoka, 3D-6P-11.
 [4] 菱川, 佐々木, 志村, 大島, "ソーラシミュレータの性能が太陽電池性能測定に与える影響と高精度化: 出力光の再反射、時間変動均一性及び平行度", 平成26年度日本太陽エネルギー学会・日本風力エネルギー学会合同研究発表会, 2014, 219-222.
 [5] Y. Hishikawa, H. Shimura, A. Sasaki, K. Yamagoe, "I-V curve measurement technologies for highcapacity c-Si solar cells, GRE2014, Tokyo, 2014, O-Pv-10-5.
 [6] H. Shimura, A. Sasaki, H. Ohshima and Y. Hishikawa, "ACCURATE PERFORMANCE EVALUATION OF CONVENTIONAL AND BIFACIAL CRYSTALLINE SILICON SOLAR CELLS, WCPEC6, Kyoto, 2014, 7TuPo.10.16.
 [7] H. J. Sanith et al., "Anomalous Hysteresis in Perovskite Solar Cells, J. Phys. Chem. Lett. 2014, 5, 1511-1515.
 [8] OITDA-PV01-2009, 色素増感太陽電池の性能評価方法.
 [9] Y. Hishikawa, Y. Tsuno, S. Kawai, K. Kurokawa, "33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2008, San Diego, 1-4."

謝辞: 本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの受託研究の一環として実施されたものであり、関係各位に感謝する。