

多接合太陽電池における 各要素セルの I-V 特性の分離法の検討

学生員 津野裕紀 (東京農工大学,産業技術総合研究所) 会員 菱川善博 (産業技術総合研究所)
会員 黒川浩助 (東京農工大学)

Separation of the I-V curves of the component cells of the
multi-junction solar cells

Yuki TSUNO*, **, Yoshihiro HISHIKAWA**,
and Kosuke KUROKAWA*

*Tokyo University of Agriculture and Technology
Kosuke Kurokawa Lab., 2-24-16 Naka-cho, Koganei, Tokyo,
184-0012 Japan

Fax: +81-42-388-7445, e-mail: kanbai@cc.tuat.ac.jp

**National Institute of Advanced Industrial Science and
Technology (AIST), Research Center for Photovoltaics

ABSTRACT

Characterization of the performance of multi-junction devices (solar cells and modules), such as the a-Si/thin-film c-Si structure, includes more technological complexity than that of single-junction devices. It is useful to understand the effect of the spectrum and irradiance of the incident light on the performance of the multi-junction devices, in order to estimate their performance under various climate conditions. Characteristics of multi-junction devices depend on the photocurrent generated by the component cells and their I-V curves. Therefore, information on the I-V curve of each component cell is important to characterize the devices precisely. In this study, a method to evaluate the I-V curve of each component cell of the monolithic multi-junction devices is successfully developed.

キーワード: 多接合太陽電池, I-V特性

Keywords : multi-junction solar cells, I-V curve

1 はじめに

様々な気象条件下で太陽電池の出力を評価するためには,太陽電池に入射する光のスペクトルや照度が太陽電池の特性に及ぼす影響を調べることが必

要である。しかしながら,多接合太陽電池は分光感度の異なる太陽電池が内部で直列接続された構造であるため,入射光のスペクトルや照度が太陽電池の特性に与える影響は,単接合太陽電池に比べ複雑である[1]。このため,要素セルの I-V 特性を分割して評価することが多接合太陽電池の性能を精密に評価するために有効であるが,通常 2 端子構造の多接合太陽電池の各要素セルの I-V 特性を直接測定することはできない[2]。従来の方法として,I-V 特性の理論式を用い,パラメータフィッティングにより要素セルの I-V 特性を求める方法[3], [4]や,限られた条件において単接合太陽電池の補正式を適用する方法[5]などが報告されているが,適用可能な条件が限られていることが問題となっている。本研究では,異なるスペクトル照射下で測定した I-V 特性の実験結果から,各要素セルの I-V 特性を算出する“ I-V 特性分離法 ”を提案し,その算出精度を実測値と比較することで検討した。また,入射光のスペクトルや照度によって I_{sc} , V_{oc} , FF, P_{max} の太陽電池特性の変化を検討した。

2 I-V 特性分離法

2.1 概要

本研究の I-V 特性分離法の一例として,タンデム(2接合)太陽電池での I-V 特性分離の基本的な手順を Fig.1 に示す。I-V 特性分離法は,

- (A)異なるスペクトル光下での I-V 特性測定値
- (B)異なるスペクトル光下での分光放射照度の測定値
- (C)多接合太陽電池の分光感度の測定値

の実験結果を用いて,多接合太陽電池の基本的な特性と矛盾しないように逐次近似を行うことにより,要素セルの暗電流と光電流を算出する。そのため,I-V 特性の理論式やパラメータフィッティングを必要としないこと,基本的に接合数や材料に関わらず,どの種類の多接合太陽電池にでも適用可能であることが大きな特徴

である。

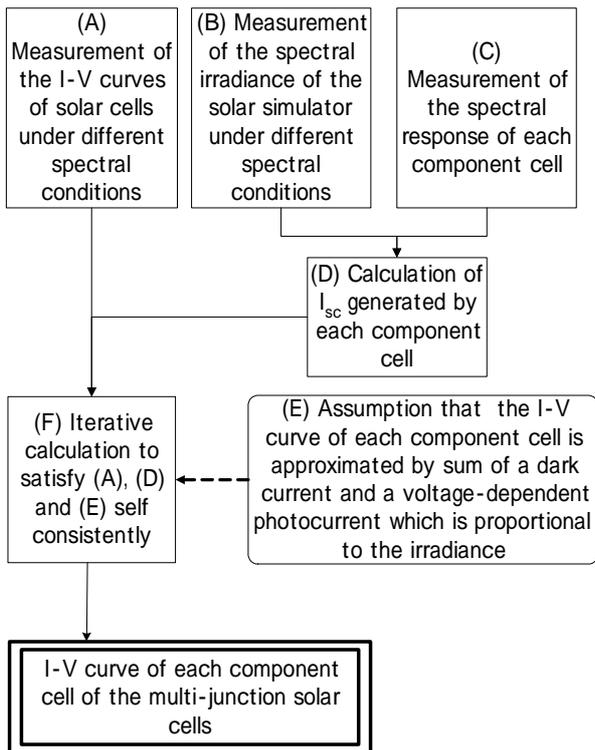


Fig.1 The basic procedure for the separation of the I-V curve of each component cell of the multi-junction solar cells. The present method does not require theoretical I-V formula or parameter fitting.

2.2 I-V 特性の測定 (Fig.1. (A))

4つの異なるスペクトル光下で多接合太陽電池のI-V特性($I_1(V)$, $I_2(V)$, $I_3(V)$, $I_4(V)$)を測定する。このときtop層で律測するように2種類,bottom層で律測するように2種類のI-V特性を測定する。

2.3 要素セルの光電流の算出 (Fig.1 (B) ~ (D))

I-V特性測定時における分光放射照度(E_n), $n=1, 2, 3, 4$)をソーラシミュレータの分光放射照度の測定値と光学フィルタの分光透過率から算出し,多接合太陽電池のtop層,bottom層の分光感度の測定値(S_{top}), S_{bot})と,照射光の分光放射照度から各要素セルの光電流($C_{n,top}$, $C_{n,bot}$)を求める。

$$C_{n,top} = \int S_{top}(\lambda) E_n(\lambda) d\lambda \dots (1)$$

$$C_{n,bot} = \int S_{bottom}(\lambda) E_n(\lambda) d\lambda \dots (2)$$

2.4 要素セルのI-V特性の算出 (Fig.1 (E),(F))

I-V特性分離法では,各要素セルの光電流($I_{ph,top}(V)$, $I_{ph,bot}(V)$)と,暗電流($I_{d,top}(V)$, $I_{d,bot}(V)$)を求めることを目的とする。そのため,各要素セルの光電流,

暗電流を, 試行 I-V 特性 $I_{ph,top,trial}(V)$, $I_{ph,bot,trial}(V)$, $I_{d,top,trial}(V)$, $I_{d,bot,trial}(V)$ と定義する。これらが, “多接合太陽電池の出力電圧が要素セルの出力電圧の和で表される” こと, “太陽電池のI-V特性が,暗電流と,照度に比例した光電流の和で表される” [6]ことから導出される(3)~(5)式を満たすように逐次近似を行う。(3)式の $V_n(I)$ は,2.2で測定したI-V特性である。(3)~(5)式を満たすとき,各試行I-V特性は,求める各要素セルの暗電流,光電流となる。

$$V_n(I) = V_{n,top}(I) + V_{n,bot}(I) \dots (3)$$

$$I_{n,top}(V)^{-1} = I_{d,top,trial}(V) + C_{n,top} \cdot I_{ph,top,trial}(V) \dots (4)$$

$$I_{n,bot}(V)^{-1} = I_{d,bot,trial}(V) + C_{n,bot} \cdot I_{ph,bot,trial}(V) \dots (5)$$

ただし, $I_{n,top}(V)^{-1} \sim V_{n,top}(I)$

3 実験結果,考察

3.1 実験

実験に用いたセルは a-Si/薄膜結晶-Si タンデム構造である。セルの温度は水冷で 25 に保った。Fig.2に実験に用いたセルのtop層とbottom層の相対分光感度,照射光の分光放射照度を示す。また,ソーラシミュレータからの照射光のスペクトル分布を変化させるために光学フィルタを使用した。測定した4つのI-V特性をFig.3に示す。

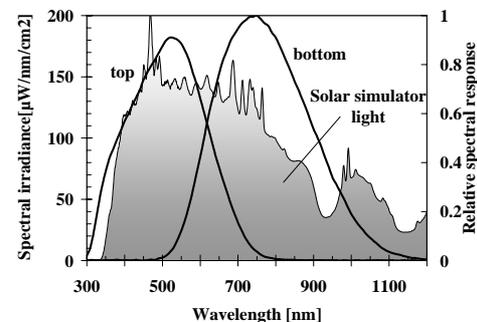


Fig.2 Relative spectral response of the top and bottom cells, and the spectral irradiance of the solar simulator

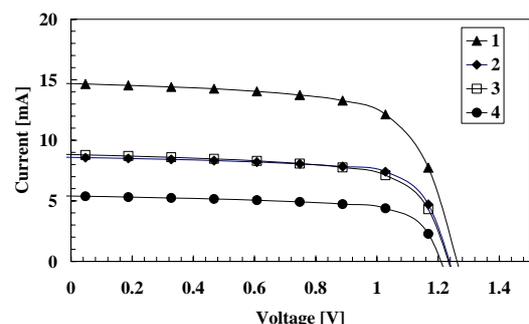


Fig.3 Measured I-V curves of the device at four different spectral conditions using filtered solar simulator light.

式(1),(2)を用いて各要素セルの光電流を算出した。STC(AM1.5G, 25°C, 100mW/cm²)での要素セルの光電流を1として横軸を top 層の光電流値の相対値、縦軸を bottom 層の光電流値の相対値として図示した (Fig.4)。

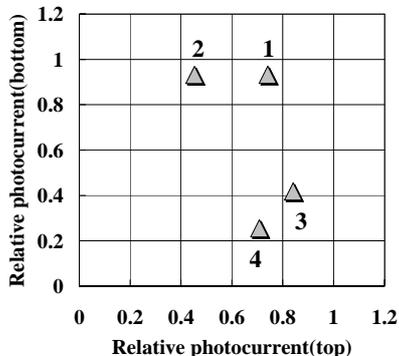


Fig.4 Calculated photocurrent generated by each component cell from the spectral irradiance of the filtered solar simulator light and the spectral responses of the component cells. The photocurrent is normalized to the values under STC.

3.2 I-V 特性分離結果

タンデム太陽電池の各要素セルの暗電流と光電流を算出した結果を Fig.5 に示す。

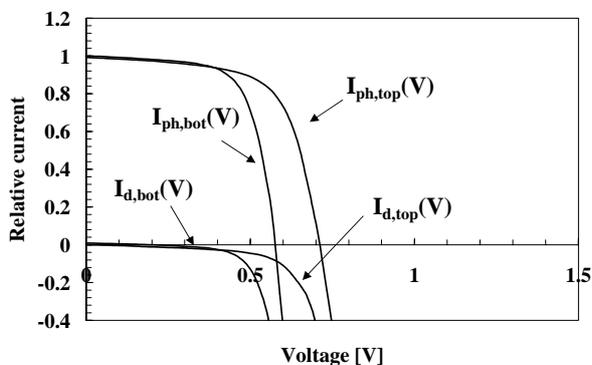


Fig.5 Calculated I-V curves (photocurrent and dark current) of the component cells (top, bottom).

3.3 実測との比較

I-V 特性分離法により算出した要素セルの暗電流と光電流を用いることで、様々な照射光下での I-V 特性を算出することが可能である。そこで、様々なスペクトル分布での I-V 特性を測定したものと、分離した要素セルから算出したものとで比較した。スペクトルを変化させるためには光学フィルタを用いた。各スペクトル光下による各要素セルの光電流の相対値を Fig.6 に、I-V 特性を Fig.7 に示す。

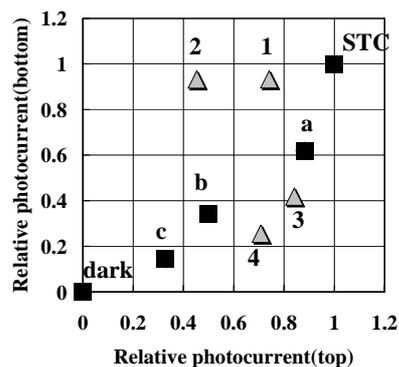


Fig.6 Fig.4 Calculated photocurrent generated by each component cells from the spectral irradiance of the filtered solar simulator light and the spectral responses of the component cells.

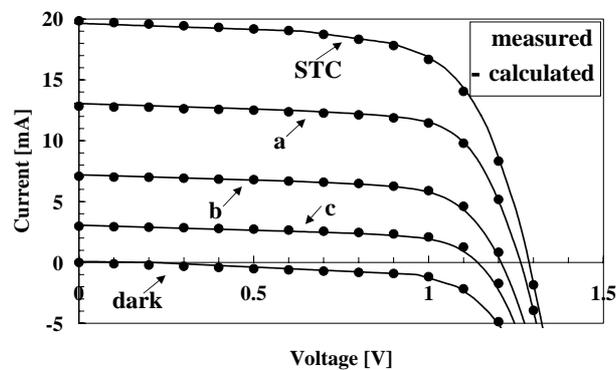
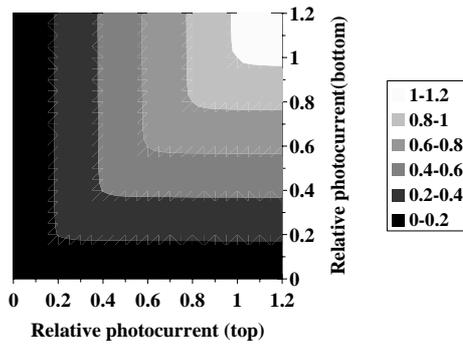


Fig.7 Experimental (circles) and calculated (lines) I-V curves of the devices at different spectral conditions.

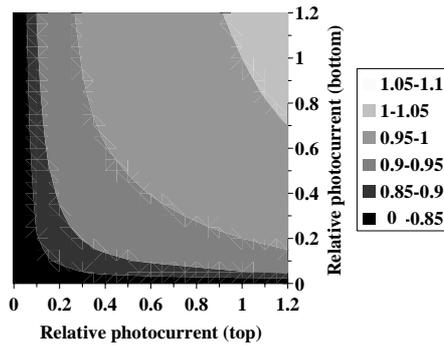
実測結果と算出結果の I_{sc} , V_{oc} , P_{max} , FF について誤差を算出したところ、約±3%以内で算出できていることを確認した。このことは、I-V 特性分離法の妥当性を示すと共に、様々なスペクトル照射下での多接合太陽電池の I-V 特性を算出することが可能であることを示している。この方法で求めた要素セルの I-V 特性には、 V_{oc} の不定性があり、各要素セルの V_{oc} を独立に求めることはできない。しかし、合成した I-V 特性については、不定性はキャンセルされ、精度良く算出できているので問題にはならない。また、直列抵抗についても同様である。

4 スペクトル分布による太陽電池特性の変化

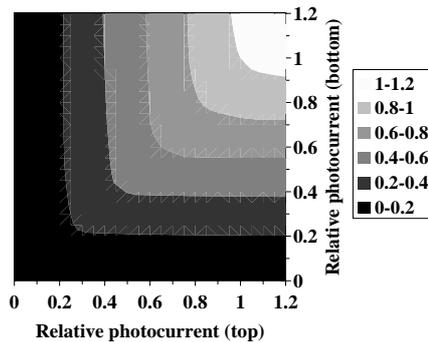
照射光のスペクトルによる太陽電池特性の変化を解析するため、要素セルの相対出力を 0~1.2 の範囲で変化させたときの I_{sc} , V_{oc} , P_{max} , FF の値を計算し、等高線図にして示した (Fig.8)



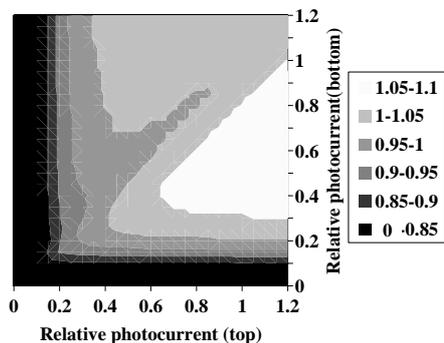
(a) I_{sc}



(b) V_{oc}



(c) P_{max}



(d) FF

Fig. 8 Contour plot of the calculated (a) I_{sc} (b) V_{oc} (c) P_{max} (d) FF of the device, plotted versus the photocurrent of the top and bottom cells. The photocurrent is normalized to the values under STC.

I_{sc} については、各要素セルの STC での短絡電

流値がほぼ等しいことから、層に入射する光のスペクトルによる変化は、top 層、bottom 層に対しほぼ対称となった。比べて、FF は複雑な変化をしている。これらの分布は、多接合太陽電池の種類及び構造によって多様な分布をとるため、多接合太陽電池の種類ごとに解析することが有効となる。

5 結論

多接合太陽電池の性能評価のため、I-V 特性分離法を提案した。様々なスペクトル光下における I-V 特性を、I-V 特性分離法により求めたものと実測したものとで比較したところ良く一致していることが分かった。このことは、本研究の I-V 特性分離法の妥当性を示すと共に、様々なスペクトル光照射下での多接合太陽電池の I-V 特性が算出可能であることを示している。

6 謝辞

本研究の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) から委託され実施したものであり、関係各位に感謝する。

7 参考文献

- [1] R. Adelhelm, K. Bucher, "Performance and parameter analysis of tandem solar cells using measurements at multiple spectral conditions," Solar Energy Materials and Solar cells 50 (1998) pp185-195
- [2] Joseph Burdick, Troy Glatfelter, "Spectral response and I-V Measurements of Tandem Amorphous-Silicon Alloy Solar Cells," Solar Cells, 18 (1986) pp301-314
- [3] D. L. King, B. R. Hansen, J. M. Moore, D. J. Aiken, "New Methods for Measuring Performance of Monolithic Multi-Junction Solar Cells," Proc. 28th IEEE Photovoltaic Spec. Conf., (2000), pp1197-1201
- [4] David L. King, James K. Dudley, and William E. Boyson, "PVSIM: A Simulation Program for Photovoltaic Cells, Modules, and Arrays," Proc. 25th IEEE Photovoltaic Spec. Conf., (1996), pp1295-1297
- [5] Y. Hishikawa, S. Igari, "Characterization of the I-V Curves of Multi-Junction Solar Cells/Modules by High Fidelity Solar Simulators and their Irradiance Dependence" Proc. 19th EUPVSEC, (2004)
- [6] Y. Hishikawa, Y. Imura, T. Oshiro, "Irradiance Dependence and Translation of the I-V Characteristics of Crystalline Silicon Solar cells," Proc. 28th IEEE Photovoltaic Spec. Conf., (2000), pp1464-1467