

LED ソーラシミュレータを用いた IV 特性測定の改良基礎実験

学生員 小柳 淳 正員 黒川 浩助 (東京農工大学)

An Improved Fundamental Experiment of Solar Cell's I-V Characteristics Measurement Using LED Solar Simulator

Jun Koyanagi, student-member, Kosuke Kurokawa, member, (Tokyo University of Agriculture and Technology)

1. はじめに

太陽電池の定格出力評価はシステム設計や価格決定において非常に重要である。一般的に、出力評価にはキセノンランプを光源としたソーラシミュレータを用いるが、キセノンランプは赤外域で特有の輝線スペクトルを持ち、連続した基準太陽光スペクトルの模擬が難しいという問題がある。現在、赤外域の補正を行ったソーラシミュレータが開発されているが、装置が高価で、ランプの寿命が短く消費電力が大きい、測定コストがかさむなどの問題点を抱えている。本研究では、小型、長寿命で省電力な LED を光源としたソーラシミュレータを試作し、青、赤、赤外 LED の持つスペクトルにより測定した、3 つの波長における分光感度から (以下、離散分光感度と称す)、全体の分光感度を推定する評価手法、および低照度で測定した IV カーブから 1-Sun における IV 特性の推定を行い、離散光源による太陽電池の評価手法の検討を行ってきた⁽¹⁾。

本論文では、これまでの評価手法を改良し、これらを用い算出した太陽電池セルの出力精度を検証する。

2. 分光感度の推定手法の改良

2.1 分光感度推定手法 LED ソーラシミュレータを用い、結晶 Si 太陽電池の n 層、空乏層、p 層それぞれに感度がある離散光 (青、赤、赤外) をそれぞれ照射し、3 つの離散分光感度を得る。この離散分光感度を少数キャリア連続の方程式にフィッティングすることにより、全体の分光感度を推定する (式 1、式 2、式 3)。フィッティングは表面再結合速度、少数キャリア濃度、表面反射率を変数として、最小二乗法を用いる。

2.2 推定手法の改良 これまでは半導体そのものの出力を推定していたが、実際にはパッケージ化された太陽電池セルの出力評価を行う。このため、セルの封止材 (EVA)、テクスチャ構造や BSF (Back Surface Reflector) 構造などを反映させ分光感度推定を行った。具体的には EVA による紫外線吸収を考慮し掛け合わせた⁽²⁾。また、これまで p 層と裏面金属電極間の再結合速度を [cm/s] として計算していたものを、BSF 構造により p⁺層があることから 10~100[cm/s] とし、光閉じ込め効果により屈折・反射し長波長の光路長が増大するため、p 層の膜厚を 3 倍とし算出した。また、フィッティング後離散点とずれが生じている場合、濃度や p⁺層の影響により空乏層の幅にばらつきが生じると仮定し、空乏層の膜厚を変数とし再度フィッティングを行

った。

$$\frac{J_p}{I_0(\lambda)} = \left(\frac{e(1-R)\frac{\lambda}{hc}\alpha(\lambda)L_p}{\alpha(\lambda)^2 L_p^2 - 1} \right) \times \left[\frac{\frac{S_p L_p}{D_p} + \alpha(\lambda)L_p - \exp(-\alpha(\lambda)x_j) \left(\frac{S_p L_p}{D_p} \cosh\left(\frac{x_j}{L_p}\right) + \sinh\left(\frac{x_j}{L_p}\right) \right)}{\frac{S_p L_p}{D_p} \sinh\left(\frac{x_j}{L_p}\right) + \cosh\left(\frac{x_j}{L_p}\right)} \right] \dots\dots(1)$$

$$\frac{J_{dr}}{I_0(\lambda)} = e(1-R)\frac{\lambda}{hc}\exp(-\alpha(\lambda)x_j)\{1 - \exp(-\alpha(\lambda)W)\} \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{J_e}{I_0(\lambda)} = \left(\frac{e(1-R)\frac{\lambda}{hc}\alpha(\lambda)L_e}{\alpha(\lambda)^2 L_e^2 - 1} \right) \exp(-\alpha(\lambda)(x_j + W)) \times \left[\frac{\frac{S_e L_e}{D_e} \left(\cosh\left(\frac{H'}{L_e}\right) - \exp(-\alpha(\lambda)H') \right) + \sinh\left(\frac{H'}{L_e}\right) + \alpha(\lambda)L_e \exp(-\alpha(\lambda)H')}{\frac{S_e L_e}{D_e} \sinh\left(\frac{H'}{L_e}\right) + \cosh\left(\frac{H'}{L_e}\right)} \right] \dots\dots(3)$$

J : 電流密度	[A/m ²]
I ₀ : 入射光強度	[W/m ²]
R : 表面反射率 (任意パラメータ)	[-]
h : プランク定数 (= 6.626 × 10 ⁻³⁴)	[J · s]
c : 光速 (= 2.998 × 10 ⁸)	[m/s]
λ : 波長	[μm]
e : 電荷 (= 1.602 × 10 ⁻¹⁹)	[C]
α : 吸収係数	[1/cm]
L _p : 少数キャリア拡散長 (= 232)	[μm]
L _e : 少数キャリア拡散長 (任意パラメータ)	[μm]
S _p : 表面再結合速度 (任意パラメータ)	[μm]
S _e : 表面再結合速度 (=)	[μm]
D _p : 拡散係数 (= 36)	[cm/s]
D _e : 拡散係数 (= 1.295)	[cm/s]
x _j : 空乏層までの深さ (= 0.5)	[μm]
W : 空乏層の厚さ (= 0.93)	[μm]
H : セルの厚さ (= 450)	[μm]
H' : H' = H - (x _j + W)	[μm]



図 1 分光感度の推定に用いたセルのモデル
Fig. 1. Model of packaging solar cell.

2-3 理想離散値による推定結果 フィットティング
結果を図 2 に示す。300[nm]付近の大きく推定していた値を
実測した分光感度値に近づくことがわかった。

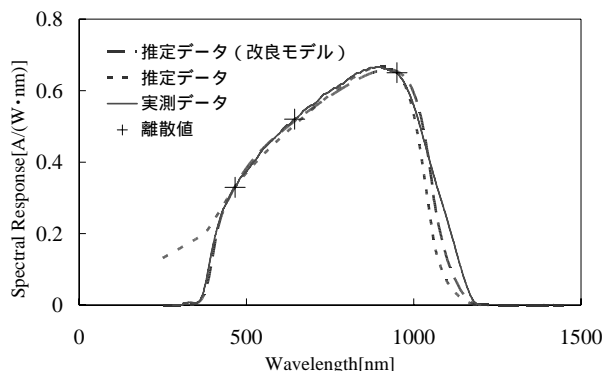


図 2 理想離散値を用いた分光感度の推定結果の比較
Fig. 2. Comparison of measured and estimated spectral response using ideal discrete spectral response.

2-4 実測離散値による推定結果 LED に定格電流
および定格電流の半分を流し、同色 LED の放射照度を変えた
ときの放射照度および電流値を実測し、差分より離散分
光感度を求め全体を推定した。結果および実測に用いた
LED のスペクトル分布を図 3 に示す。

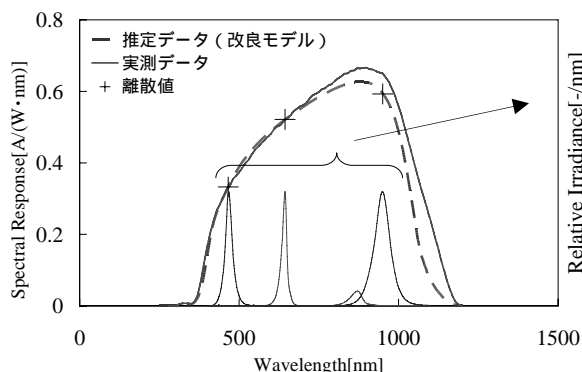


図 3 実測離散分光感度より求めた分光感度推定値および測定
に用いた LED のスペクトル分布
Fig. 3. Calculated spectral response and wavelength characteristics of LED.

3. 実測離散分光感度値による IV 特性推定

これまで、直線補間法⁽³⁾を外挿に用い、異なる照度で測定
した IV 特性を標準試験状態における IV 特性を推定してい
たが、今回青色 LED を照射し測定した IV 特性と暗電流を
用い、2つの IV 特性の照度差を広げ推定精度の改善を図
った。実測離散分光感度より算出した短絡電流値を用い、外
挿した結果を表 1 および図 4 に示す。

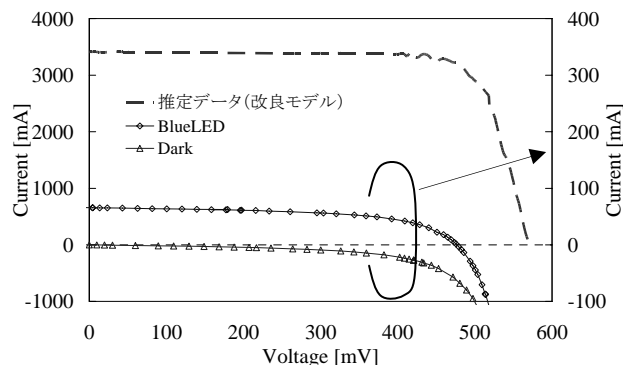
4. まとめ

これまでの手法に紫外吸収、光閉じ込め効果などを考慮
することでパッケージ化されたセルの分光感度を推定でき
ることがわかった。また、推定した分光感度より求めた短
絡電流値を用い、青色 LED と暗電流から直線補間法により
算出した IV 特性はこれまでの手法に比べ実測値に近づくこ
とがわかった。特に最大電力点は改善が見られた。

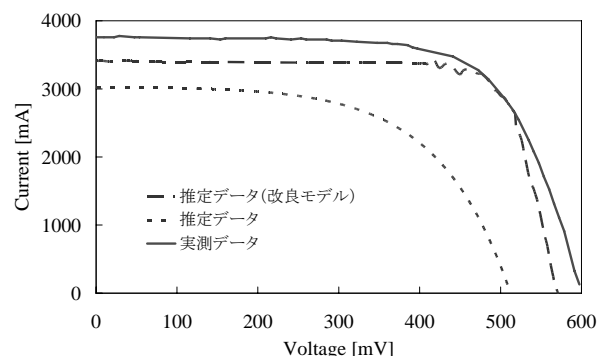
表 1 実測結果と算出した結果の比較

Table 1. Comparison of measured and calculated solar cell's property.

	算出	実測
短絡電流[A]	3.410	3.760
開放電圧[V]	0.571	0.603
最大電力点[W]	1.535	1.554
最大電力点電流[A]	0.477	0.461
最大電力点電圧[V]	3.219	3.370



(a) 推定に用いた 2つの IV 特性と推定 IV 特性



(b) 実測 IV 特性と推定 IV 特性の比較

図 4 暗電流を用いた IV 特性の推定結果

Fig. 4. Calculated I-V curve using dark current and blue LED.

5. 謝辞

データ計測など多大な協力を頂いた英弘精機株式会社に
感謝の意を表す。本研究は文部科学省科学研究費萌芽研
究の補助を受けた。

文 献

- (1) Shogo Kohraku, Kosuke Kurokawa : "A fundamental experiment for discrete-wavelength LED solar simulator", 14th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (2004)
- (2) F.J.Pern : "Factors That Affect The EVA Encapsulant Discoloration Rate Upon Accelerated Exposure", 1st WCPEC pp.897-900 (1994)
- (3) 菱川善博, 井村好宏, 関本 巧, 大城壽光 : 「各種太陽電池の IV 特性における放射照度依存性及び補正の検討」, 電気学会論文誌, Vol.122-B, No.1, pp.26-32. (2002)