

# EL定量マッピングを用いた モジュール内セルの電圧評価

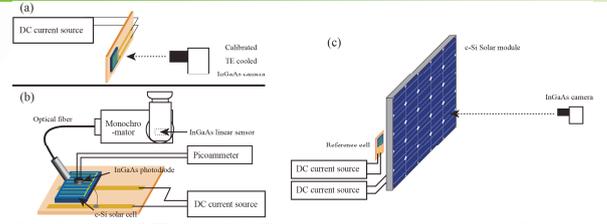
望月敏光 Jonathon Mitchell 高遠 秀尚  
産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 太陽光チーム

## 研究の目的

エレクトロルミネッセンス(EL)測定は太陽電池の割れや電極不良などを可視化して診断する手法として使われて来たが、**絶対発光量を測定することによって電流電圧特性、特に開放電圧を評価出来る**ことが近年化合物太陽電池や多接合系で報告された[1-5]。この手法は擬似太陽光および電圧プローブを必要としない上、基本的には値付けされたカメラまたはセンサーが1台あれば実行出来る。そのため発電所内に設置されモジュールに閉じられた状態でもセル単位の特性を評価出来る。

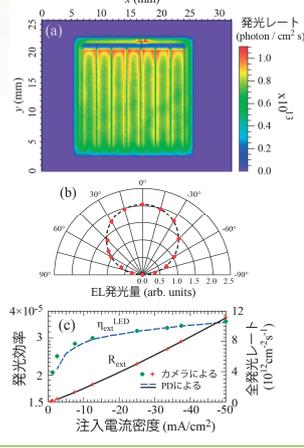
この手法を**結晶シリコン太陽電池**に応用する鍵はカメラやセンサーの値付けである。本研究では**基準セルを発光標準として用い、ELを定量測定して開放電圧等を評価する方法**を示す[6]。

## 実験



まず基準たる太陽電池の外部量子効率を測定し、上図のようにELの定量測定をした。(a) 校正済みInGaAsカメラによる撮影。(b) 感度スペクトルが既知のInGaAsフォトダイオードを接触させる方法による測定およびELスペクトルの測定。(c) 基準電池を使ったモジュールのEL定量画像測定。

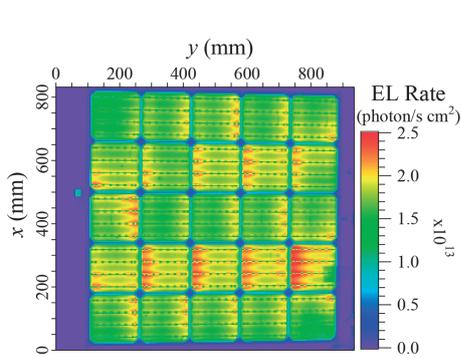
## 結果



図の(a)は短絡電流に相当する134mAを注入した際の、基準用Si太陽電池試料のEL画像測定の結果である。空間積分によって全発光量  $2.80 \times 10^{13} \text{s}^{-1}$  および発光効率  $\eta_{\text{ext}}^{\text{LED}} = 3.34 \times 10^{-5}$  が得られた。

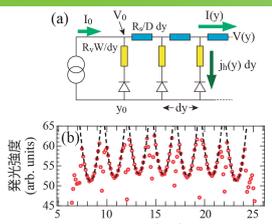
撮影に利用したカメラは平行光による全光測定に対する感度を測定してある。試料が図の(b)で示すようにランバート光源であることを確認し、開口部の大きさ、撮影距離、露光時間をつかって絶対感度を計算することが出来た。

図(c)はInGaAsフォトダイオードによる測定とカメラによる2方法で測定した、絶対発光量の注入電流依存性である。両者は独立な校正がされた方法であるが、測定結果は良く一致している。

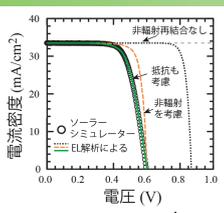


左図は基準太陽電池との比較による、太陽電池モジュールのEL定量画像測定の結果。左側の小さな四角で見えているのが基準太陽電池で、この発光量が先の結果と一致するように画像をリスケールした。各セルのELレートを空間積分することで、各セルの発光効率を得られる。

## 考察



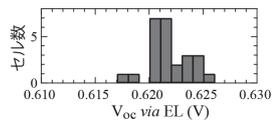
基準セルのELの電極に沿ったパターンは図(a)のようなモデルと、(b)のように良く一致した。パターンは内部抵抗に起因するものである。試料品質は一樣で、電極間距離より大きいスケールで平均すれば発光強度も一樣と見せる。



Si太陽電池ではEL定量測定によるI-V評価の例がないので、基準セルの結果でこれを行った。太陽電池とLED動作の相反性から、キャリアの非輻射再結合を考慮した表式

$$J_{sc} - J_{cell} = J_{rad} \exp(eV_{EL}/k_B T) / \eta_{ext}^{LED}$$

が得られる。ここで  $J_{sc}$  は短絡電流、 $J_{cell}$  が電流、 $\eta$  が発光効率、 $V_{EL}$  が電圧であり、図の黄色の点線で示した。このx切片が開放電圧の評価値  $0.6015 \pm 0.004 \text{V}$  であり、ソーラーシミュレーターによる値  $0.598 \text{V}$  と良く一致した。直列抵抗も考慮するとIV曲線全体を再現する。



太陽電池モジュールの各セルについても、同様に開放電圧を評価した。上図はこの評価値のヒストグラムである。本モジュールの開放電圧はセルあたり  $0.624 \text{V}$  であり、評価値はこれに良く一致している。

この方法を用いると、EL画像撮影の際に**基準セルと見比べる**事で、モジュール内の各セルの開放電圧を非侵襲的に評価することが出来る。

## 結論

- (1) シリコン結晶太陽電池のELを定量測定することで、そのI-V特性、特に開放電圧を評価することが出来る。
- (2) ELを定量評価するのに適した光源は同じシリコン結晶太陽電池である。今回は2手法による定量測定で基準電池を値付けし、I-V特性との合致も確かめた。
- (3) モジュール内のセルのELと基準太陽電池を見比べる事で、非侵襲的に各セルの開放電圧を評価することが出来る。

## 参考文献

- [1] U. Rau, Physical Review B 76, 1 (2007).
- [2] S. Roensch et al., Applied Physics Letters 98, 2 (2011).
- [3] R. Hoheisel et al., Solar Energy Materials and Solar Cells 108, 235 (2013).
- [4] J. F. Geisz et al., Applied Physics Letters 103 (2013) 10.1063/1.4816837.
- [5] S. Chen et al., Scientific Reports 5, 7836 (2015).
- [6] 望月等 特願2015-026339, Journal of Applied Physics誌 投稿準備中。