

# HVPE法で作製した2接合太陽電池における各開放電圧の算出

○ 相原 健人<sup>1</sup>、太野垣 健<sup>1</sup>、大島 隆治<sup>1</sup>、庄司 靖<sup>1</sup>、牧田 紀久夫<sup>1</sup>  
 生方 映徳<sup>2</sup>、菅谷 武芳<sup>1</sup>

<sup>1</sup>産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 先進多接合デバイスチーム  
<sup>2</sup>太陽日酸株式会社

### 研究の背景

#### HVPE法を用いたDual Junction (DJ)太陽電池の開発

本チームでは、従来型のMOVPE法と比較して高い成長速度と安価な原料の使用が可能なHVPE法<sup>1,2)</sup>を使用して、高効率なIII-V族化合物太陽電池の開発を実施してきた。これまでにHVPE法を用いて、高効率なInGaP/GaAs DJ太陽電池を実証した<sup>3)</sup>。(左図) 現状ではAl系パッシベーション層を形成することはできていないが21%と高い変換効率を得ている。

✓ DJ太陽電池の基礎特性

$J_c$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	$\eta\%$
11.37	2.318	0.83	21.89

DJ太陽電池の構造概略

### 目的

PV特性の向上には、太陽電池の基礎特性を正確に知ることが重要である。一方で、DJ太陽電池のような多接合型太陽電池では、各サブセルの基礎特性を直接計測できない。

各サブセルの短絡電流 ( $J_c$ )  
 ⇒ 分光感度測定<sup>4)</sup>  
 各サブセルの開放電圧 ( $V_{oc}$ )  
 ⇒ 分光感度測定とEL測定<sup>5)</sup>の組み合わせ。

### 本研究

太陽電池と発光ダイオードの相関関係<sup>5,6)</sup>

$$\phi_{em}(E) = Q_e(E)\phi_{bb}(E) \left[ \exp\left(\frac{qV}{kT} - 1\right) \right], \quad (1)$$

上記の相関関係と非発光効率(NRE)の違いを考慮して、各サブセルの $V_{oc}$ を算出。

☞ NRE: Non-Radiative Efficiency

### 実験手順

#### NREの違いを考慮した実験方法

- リファレンスセルとして用意した、InGaP, GaAs シングルジャンクション (SJ) 太陽電池、及び、DJ太陽電池のEL測定と分光感度測定を実施
- SJ太陽電池における、EL測定の実験方法を、 $\delta V_{InGaP}$ ,  $\delta V_{GaAs}$ を算出
- DJ太陽電池における、 $I$ - $V$ カーブの算出時に、上記で見積った、 $\delta V_{InGaP}$ ,  $\delta V_{GaAs}$ も使用
- 算出したDJ太陽電池の $I$ - $V$ カーブと従来の $I$ - $V$ 測定で見積った $J_c$ を組み合わせ、個々の $V_{oc}$ を算出

InGaP太陽電池では、表面再結合がより強く生じており、二つの太陽電池間で、NREが大きく異なっている事が予想されている。

✓  $I$ - $V$ 測定から算出した、DJ太陽電池、及び、SJ太陽電池の基礎パラメータ

	SJ InGaP solar cell	SJ GaAs solar cell	DJ solar cell
$J_c$ (mA/cm <sup>2</sup> )	10.82	26.78	11.37
$V_{oc}$ (V)	1.358	1.018	2.318
FF	0.841	0.796	0.830
$\eta\%$	12.36	21.70	21.89

EL測定配置図

### 実験結果 (※手順 1)

#### EL測定

#### EQE測定

SJ太陽電池のEQEスペクトル

SJ太陽電池とDJ太陽電池のEL測定とEQE測定を実施。解析には、各太陽電池のELスペクトルのピーク強度とピーク位置を使用。また、ELピーク位置に対応するEQE信号も使用。

### 解析 (※手順 2~3)

$$V_i(V_{oc}) = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{qI_{sc}}{I_0} + 1\right) + \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{E}{E_g} - 2\right) - \frac{kT}{q} \ln(EQE_{EL}) - \frac{kT}{q} \ln(C_i) \quad (2)$$

$$V_{oc}(V_{oc}) = V_{top\ cell} [1-4] - \delta V_{top\ cell} + V_{bottom\ cell} [1-4] - \delta V_{bottom\ cell} \quad (3)$$

- 式(2)の $I$ - $V$ カーブが各セルの $J_c$ ,  $V_{oc}$ に対応するマーカー(●, ○)に合うようにNREの指標となる $\delta V$ を調整
- 算出した $\delta V_{InGaP}$ と $\delta V_{GaAs}$ はそれぞれ383.2 mV, 287.5 mV。  
 $\delta V$ は不一致なので、NREの違いが存在していたことを確認。
- 算出した $\delta V_{InGaP}$ と $\delta V_{GaAs}$ を用いて、DJ太陽電池の $I$ - $V$ カーブの算出を実施
- DJ太陽電池の $I$ - $V$ カーブは式(3)を用いて算出
- 同様にDJ太陽電池の $J_c$ ,  $V_{oc}$ に対応するマーカー(●)に合うように $\delta V_{DJ}$ を調整

### 結果と考察 (※手順 4)

SJ、及び、DJ太陽電池のEL測定データから算出した $I$ - $V$ カーブと $I$ - $V$ 測定で算出した $J_c$ を組み合わせ、個々の $V_{oc}$ を算出。

✓ EL測定から見積った個々の $V_{oc}$

	Top sub-cell (InGaP)	Bottom sub-cell (GaAs)	SUM
$V_{oc}$ (V)	1.339	0.978	2.317

matched very well

✓ リファレンスとして使用したSJ太陽電池とDJ太陽電池の $V_{oc}$

	SJ InGaP Solar cell	SJ GaAs Solar cell	DJ Solar cell
$V_{oc}$ (V)	1.358	1.018	2.318

算出した個々の $V_{oc}$ は、リファレンスセルとよく一致する値を示した。また、電圧降下はトップセルとボトムセルでそれぞれ19 mV, 40 mVであり、ボトムセル側の減少が多く、その理由としてSJとDJとで $J_c$ の値が2倍以上異なっているためと判断。以上、今回実施した手法で正確な各サブセルの $V_{oc}$ の算出を遂行

### 結論

#### EL法を使用した各サブセルの開放電圧の算出

- ◆ 非発光効率の違いを考慮するためSJ太陽電池を用意。
- ◆ EL, EQE測定から各太陽電池の非発光再結合効率を算出。
- ◆ 非発光効率を用いて、DJ太陽電池の各サブセルの $V_{oc}$ を算出。
- ◆ 得られた開放電圧はSJ太陽電池とよい一致。
- ◆ 簡易的な測定条件で正確な個々の $V_{oc}$ の算出を遂行。

### 参考文献

- 1) R. Oshima *et al.*, IEEE J. Photovoltaics **9**, 154 (2019).
- 2) Y. Shoji *et al.*, Appl. Phys. Express **12**, 052004 (2019).
- 3) R. Oshima *et al.*, IEEE PVSC-46, Chicago, USA (2019).
- 4) T. Tayagaki *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 08MC01 (2017).
- 5) T. Kirchartz *et al.*, Appl. Phys. Lett. **92**, 123502 (2008).
- 6) S. Roensch *et al.*, Appl. Phys. Lett. **98**, 251113 (2011).

### 謝辞

本研究は(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の支援を受けて行われました。