

1.0 eV帯逆積みInGaAsPボトムセルを用いた3接合スマートスタックセルの高効率化

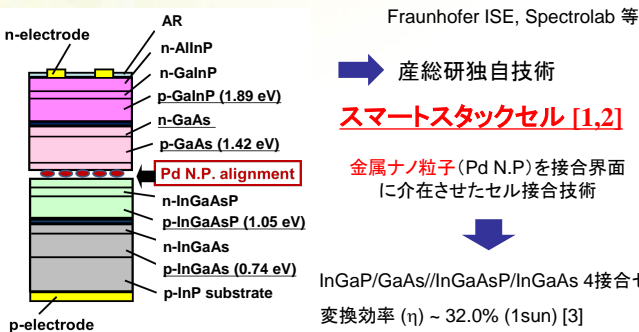
大島 隆治・牧田 紀久夫・太野垣 健・菅谷 武芳
産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 先進多接合デバイスチーム

III-V族化合物系多接合太陽電池

バンドギャップの異なる太陽電池を積層
⇒ 太陽光スペクトルとの整合性の向上 : 変換効率 (η) > 40%

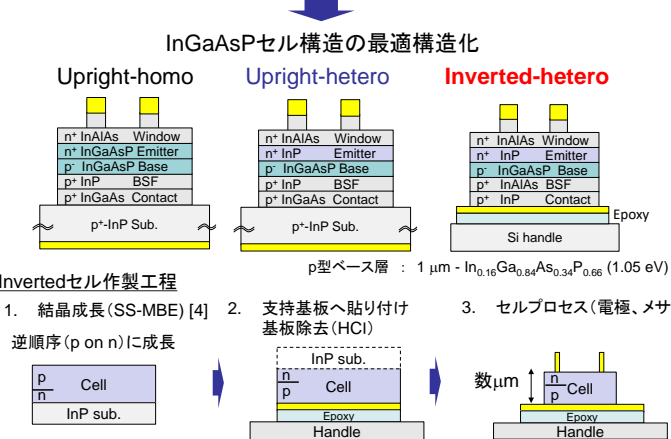
モノリシック型: 精密な格子定数の制御による一貫結晶成長
NREL, SHARP 等

メカニカルスタック型: 異なる基板上セルを接合

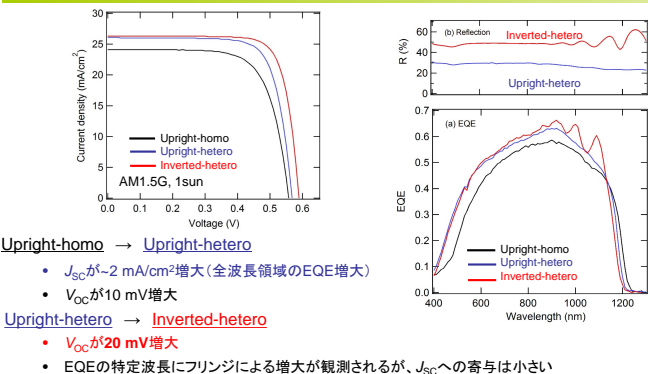


研究の目的

1.0 eV帯InGaAsPボトムセルの高効率化によるスマートスタック太陽電池の高効率化



InGaAsPボトムセル



Upright-homo → Upright-hetero

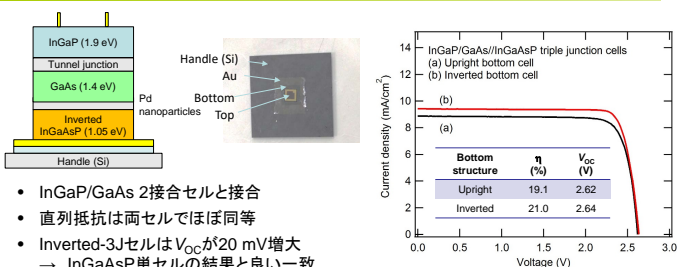
- J_{SC} が $\sim 2 \text{ mA/cm}^2$ 増大 (全波長領域のEQE増大)
- V_{OC} が 10 mV 増大

Upright-hetero → Inverted-hetero

- V_{OC} が 20 mV 増大
- EQEの特定波長にフリンジによる増大が観測されるが、 J_{SC} への寄与は小さい

Structure	Homo	Hetero	Inverted Hetero
J_{SC} (mA/cm ²)	24.0	26.0	26.3
V_{OC} (V)	0.56	0.57	0.59
FF (%)	71.0	75.4	78.1
η (%)	9.5	11.1	12.1
n	1.95	1.30	1.25
J_0 (mA/cm ²)	3.2×10^{-4}	1.5×10^{-6}	2.8×10^{-7}

InGaP/GaAs/InGaAsP 3接合セル



- InGaP/GaAs 2接合セルと接合
- 直列抵抗は両セルでほぼ同等
- Inverted-3Jセルは V_{OC} が 20 mV 増大 → InGaAsP単セルの結果と良い一致

考察

ダイオードの式: $V_{OC} = \frac{nkT}{q} \ln\left(\frac{J_{SC}}{J_0} + 1\right)$

q : Electron charge
 n : Diode factor
 k : Boltzmann constant
 T : Temperature
 J_0 : Reverse saturation current

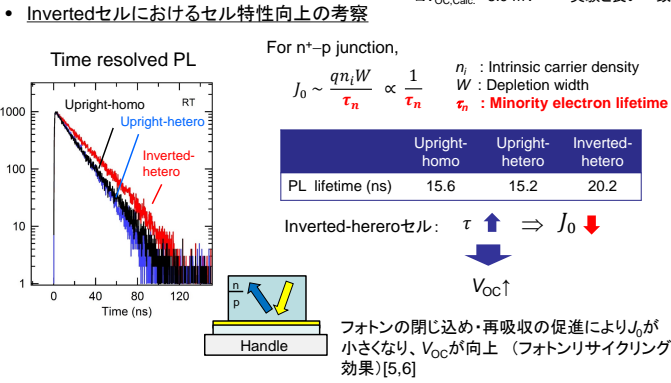
• Heteroセルにおけるセル特性向上の考察

Hall effect measurements 500 nm n-type / Si-InP

再結合電流が低減し、 J_0 , n 値が低減

$J_{SC} \uparrow$ $V_{OC} \uparrow$

ダイオードパラメータから予測される V_{OC} の差 $\Delta V_{OC, Calc.} \sim 8.9 \text{ mV}$ → 実験と良い一致



結論

- MBE法を用いて1.0 eV帯InGaAsPボトムセル構造を検討した。
- InGaAsPセルの変換効率は9.5% (Upright-homo型) から12.1% (Inverted-hetero型) に向上した。
- Invertedセルにおいて暗電流が顕著に低減し、 V_{OC} が 20 mV 増大した。
- InGaAsP invertedボトムセルを用いたInGaP/GaAs/InGaAsP薄膜メカニカル3接合セルを開発し、 V_{OC} が 20 mV 増大することを確認した。

参考文献

- [1] H. Mizuno *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 55, 025001 (2016).
- [2] H. Mizuno *et al.*, Appl. Phys. Lett. 101, 191111 (2012).
- [3] K. Makita *et al.*, 26th PVSEC, 1.2.3b, Singapore (2016).
- [4] R. Oshima *et al.*, J. Crystal Growth, in press (2017). DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2016.12.041
- [5] C. H. Henry *et al.*, IEEE J. Quantum Electron. QE-19, 905 (1983).
- [6] M. A. Steiner *et al.*, J. Appl. Phys. 113, 123109 (2013).

謝辞

本研究は、国立研究開発法人NEDO「超高効率・低コストIII-V化合物太陽電池モジュールの研究開発」の委託の下で行われた。