

スマートスタック太陽電池に向けた InP系ボトムセルの高効率化

大島 隆治・牧田 紀久夫・太野垣 健・菅谷 武芳

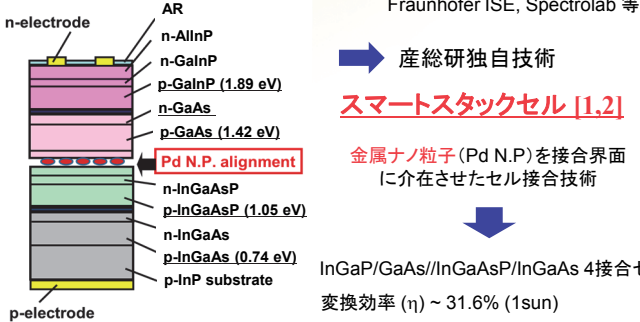
産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 先進多接合デバイスチーム

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

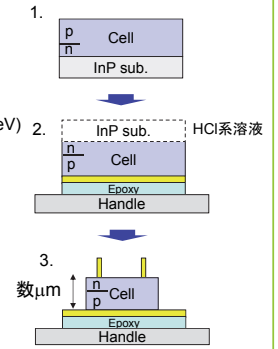
InP系ボトムセルの高効率化、低コスト化技術の開発

- InP系invertedボトムセルを用いたメカニカル多接合セルの開発

Invertedセル作製工程

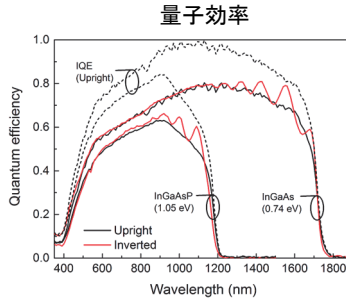
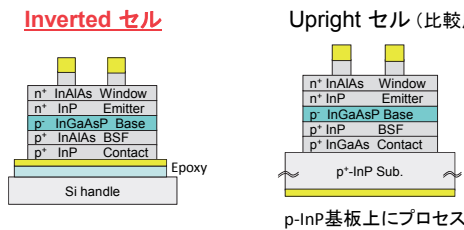
- 結晶成長 (固体ソース分子線エピタキシー) 逆順序 (p on n) に製膜
p型ベース層 : $1 \mu\text{m} - \text{In}_{0.16}\text{Ga}_{0.84}\text{As}_{0.34}\text{P}_{0.66}$ (1.05 eV) (光吸収層) $2 \mu\text{m} - \text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ (0.74 eV)
- 支持基板へ貼り付け、基板除去
- セルプロセス (表面電極、メサエッチング)

- 利点
- Epitaxial Lift Off (ELO)技術
⇒ 基板の再利用、軽量、フレキシブル
 - Photon recycling [3,4]
⇒ フォトンの閉じ込め・再吸収の促進 ⇒ J_0 の低減、 V_{OC} , η 増大



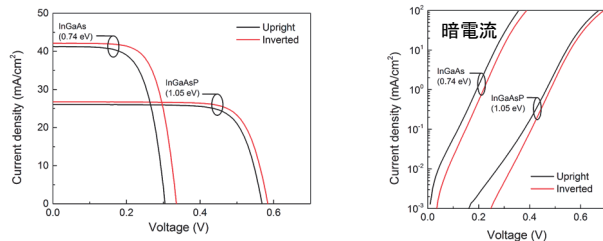
InP系Invertedセル特性評価

InvertedセルとUprightセルのセル特性の比較実験



- InvertedセルのQEにおいて、裏面電極の反射による長波長領域にフリンジ
- InGaAsP, InGaAsセルのInvertedセルにおいて J_0 が減少
- Invertedセルの V_{OC} は uprightセルに比べて 20~30 mV程度増大
→ GaAs系 (InGaP, GaAs) セル[3-5]の同様な比較実験の増大割合と良い一致
→ Photon recycling効果の検証は今後の課題

電流-電圧特性 (AM1.5G, 1sun)



ID No.	Material	Structure	V_{OC} (V)	J_{SC} (mA/cm ²)	FF (%)	η (%)	J_0 (mA/cm ²)
151201A	InGaAsP	Upright	0.538	25.24	75.60	10.28	3.0×10^{-6}
151218A	InGaAsP	Upright	0.568	26.04	75.41	11.16	8.0×10^{-7}
160226A	InGaAsP	Inverted	0.587	26.83	74.49	11.76	6.5×10^{-7}
160226B	InGaAsP	Inverted	0.584	26.78	75.81	11.86	5.8×10^{-7}
151120B	InGaAs	Upright	0.304	41.26	65.41	8.21	2.5×10^{-3}
151201B	InGaAs	Upright	0.301	43.06	62.19	8.07	9.0×10^{-3}
151112B	InGaAs	Inverted	0.335	42.13	67.85	9.58	8.0×10^{-4}

InGaP/GaAs/InGaAsP 3接合セル

ID No. Bottom cell structure	V_{OC} (V)
M160311c Upright	2.622
M160315a Inverted	2.644

- 同じプロセス条件を用いて Inverted, Upright InGaAsPセルをGaAs系2接合セルと接合
- 直列抵抗は両セルでほぼ同等であり、Invertedセル表面は接合する上で十分な平坦性を有している
- Invertedボトムセルを用いた3Jセルは V_{OC} が 22 mV増大

結論

- MBE法を用いてInP系ボトムセル (InGaAsP, InGaAs) の結晶成長を行い、invertedセルプロセスを開発した。
- InGaAsP, InGaAsのInvertedセルにおいて暗電流が低減し、開放電圧が20~30 mV増大した。
- InGaAsP invertedボトムセルを用いたGaAs, InP基板を含まない InGaP/GaAs/InGaAsP薄膜メカニカル3接合セルを開発し、upright InGaAsPセルを用いた3接合セルと比較して開放電圧が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] I. Garcia *et al.*, Appl. Phys. Lett. 105, 133507 (2014).
- [4] M. A. Steiner *et al.*, J. Appl. Phys. 113, 123109 (2013).
- [5] J. Geisz, *et al.*, Appl. Phys. Lett. 103, 041118 (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。