

多接合太陽電池における GaAs 多重化構造の検討

中元 嵩^{1,2}, 牧田 紀久夫², 太野垣 健², 大島 隆治², 相原 健人², 岡野 好伸¹, 菅谷 武芳²

¹東京都市大学 大学院 ²産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター

研究の目的

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
 ⇒ 太陽光スペクトルの有効利用 : 変換効率 (η) >40%
 製法: ①緻密な格子定数の制御により一貫結晶成長する方法 (モノリシック型多接合太陽電池)
 ⇒ SHARP 等
 ②接合技術により構成セルを接合する方法 (メカニカルスタック型多接合太陽電池)
 ⇒ NREL, Fraunhofer ISE, Spectrolab 等

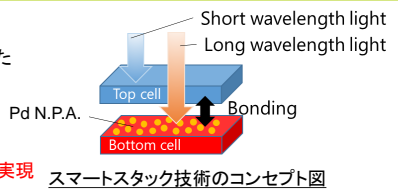
目的: スマートスタック技術による新たな高効率・低コスト多接合太陽電池の開発

GaAs 多重化構造についての検討

スマートスタック技術を用いて GaAs / GaAs // InGaAsP 3接合太陽電池の試作および評価

スマートスタック技術とは

- 接合界面に金属ナノ粒子 (Pd N.P.A.) を介させたセル接合技術
- 金属ナノ粒子はブロック共重合体を用いて配列

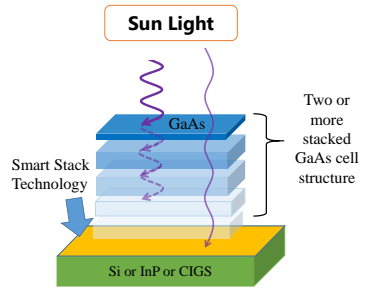


接合面での低抵抗 (<1 Ωcm^2) 低光損失 (<2%) を実現 スマートスタック技術のコンセプト図

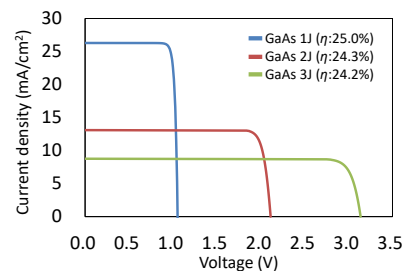
GaAs 多重化構造

基本構造:
GaAs 多重化構造を有した多接合太陽電池
 ⇒ 比較的容易な技術で成長可能
 ⇒ ボトムセル材料に合わせて最適な多重数を設定可能

理論計算:
 計算によると3接合構造まで変換効率約25%を維持



GaAs 多重化構造を用いた多接合太陽電池のコンセプト図



GaAs 多重数に対する理論 J-V 特性と予測変換効率

計算方法:

$$I = I_S \left(\exp\left(\frac{q(V - I R_S)}{k_B T}\right) - 1 \right) + I_R \left(\exp\left(\frac{q(V - I R_S)}{2k_B T}\right) - 1 \right) + \frac{V - I R_S}{R_{SH}} - I_L$$

- I_S : 飽和電流 I_L : 定電流源 I_R : 再結合電流
- R_S : シリーズ抵抗 ($R_S = 1 \Omega$)
- R_{SH} : シヤント抵抗 ($R_{SH} = 10^4 \Omega$)

※多接合太陽電池の J-V 特性はキルヒホッフの電流則に従い合成

結論と今後の方針

- (結論)**
- GaAs 多重化構造をトップセルとする多接合太陽電池を提案、実証
 - スマートスタック技術による GaAs/GaAs//InGaAsP3 接合太陽電池を試作、変換効率 20.2% を実現
 - GaAs 多重化構造の有用性を確認
- (今後の方針)**
- GaAs 多重化構造の最適化及び Si ボトムセル等との多接合化

参考文献

- H. Mizuno et al., Japanese Journal of Applied Physics. 55, 2016, pp.025001.
- T. Sugaya et al., 27th International Photovoltaic Science and Engineering Conference, 2017, 3ThPo.127.

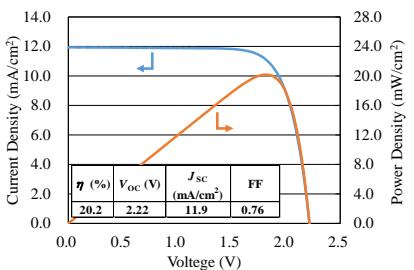
謝辞

本研究は、国立研究開発法人 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た。

実験と考察

作製した多接合太陽電池:
 ・スマートスタック技術を用いて GaAs / GaAs // InGaAsP 3接合太陽電池を作製
 吸収層厚; 200 nm / 1500 nm // 2500 nm
 バンドギャップエネルギー; 1.42 / 1.42 // 1.15 eV

発電特性 (1sun AM1.5G):
 ・変換効率 (η): 20.2%
 V_{OC} : 2.22 V, J_{SC} : 11.9 mA/cm², FF: 0.76



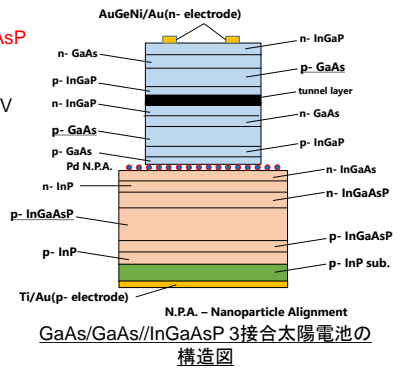
GaAs/GaAs//InGaAsP 3接合太陽電池の J-V, P-V 特性 (1sun AM1.5G)

考察:
 予測変換効率 ~30% 以上
 ⇒ 実験変換効率 ~20.2%

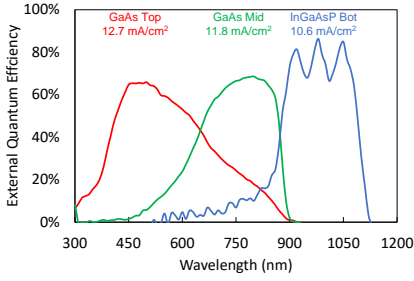
- V_{OC} 縮小が顕著
 ⇒ 予測 V_{OC} ~2.76 V → 実験 V_{OC} ~2.22 V
 ・GaAs 単セルの V_{OC} 不十分 (V_{OC} ~0.9 V)
 ・結晶品質、セル構造等の最適化要

- 電流不整合による J_{SC} 縮小 (EQE 特性)
 ⇒ GaAs 2重トップセル間での電流不整合
 ・GaAs Top / Middle ~12.7 / 11.8 mA/cm²
 ・多重化構造の設計高度化要
 ⇒ InGaAsP ボトムセルが電流律速要因
 ・InGaAsP Bottom ~10.6 mA/cm²
 ・GaAs//InP 接合界面に起因した干渉出現
 ・接合界面での反射による電流損失発生
 ・接合品質改善要

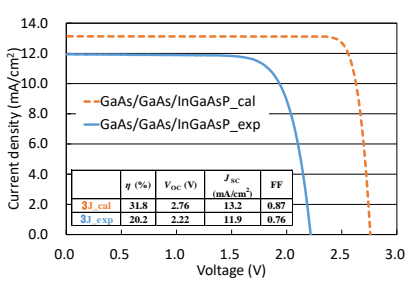
個別セルの性能向上およびセル構造最適化、接合プロセス改善により、高効率化を目指す



GaAs/GaAs//InGaAsP 3接合太陽電池の構造図



GaAs/GaAs//InGaAsP 3接合太陽電池の外部量子効率 (EQE)



理論予測および実験 J-V 特性の比較