

InGaP/GaAs/GaAs//Si

スマートスタック4接合太陽電池

菅谷武芳¹・太野垣健¹・相原健人¹・牧田紀久夫¹・大島隆治¹・水野英範²・中元嵩³・石塚優希³・岡野好伸³
 産業技術総合研究所¹ 太陽光発電研究センター² 再生可能エネルギー研究センター³
³東京都市大学

研究の目的 Multi-junction solar cells

★半導体接合技術
表面活性化接合

4- and 5- junction solar cells
38.8% : 1 sun [2]
46.0% : 508 sun [3]

3接合太陽電池
InGaP/GaAs/InGaAs 3-junction
World records (2013): Sharp [1]
37.9% : 1 sun
44.4% : concentrator condition

InGaP/GaAs//Si 3接合太陽電池

※低コスト・高効率太陽電池
半導体接合技術[4]や4端子構造[5]による作製: 変換効率 > 30%

問題点

- Siサブセルが生成する電流量が少なく電流整合していないため、InGaPやGaAsセルの厚さを薄くして光を透過させる。
⇒ **トップセルを3接合にしてV_{oc}を上げ、電流整合させることで高効率化を図る。**
- ・ InGaP(1.9 eV)/AlGaAs(1.65 eV)/GaAs(1.4 eV) [6]
- × 分子線エピタキシー (MBE) の場合、AlGaAsの特性が悪い。
- ・ InGaP(1.9 eV)/InGaAsP(1.65 eV)/GaAs(1.4 eV) [7]
- × 組成制御が難しく、ELO中に崩壊。

本報告 [8]

- ・ 固体ソースMBE(SS-MBE)で成長したGaAs/GaAs 2接合セル
- ・ スマートスタック用InGaP/GaAs/GaAs 3接合トップセル
- ・ InGaP/GaAs/GaAs//Siスマートスタック4接合セル

スマートスタック

InGaP/GaAs//Si 3接合セル [9, 10]

短絡電流密度: 11.81 (mA/cm²)
開放電圧: 2.95 (V)
曲線因子: 0.794
変換効率: 27.7 (%)

電流整合のためトップセルは薄い。

実験

GaAs/GaAs 2接合セル

InGaP/GaAs/GaAs 3接合セル

スマートスタック4接合セル

結果及び考察

GaAs/GaAs 2接合セル

AM1.5G, 100 mW/cm², 25°C

V_{oc}: 1.69 V
J_{sc}: 11.2 mA/cm²
FF: 0.749
η: 14.2%

Top cell: V_{bc} 0.9 V, J_{sc} 12.62 mA/cm²
Bottom cell: V_{bc} 0.9 V, J_{sc} 11.60 mA/cm²

InGaP/GaAs/GaAs 3接合トップセル

AM 1.5G, 100 mW/cm², 25°C

| | η (%) | V _{oc} (V) | J _{sc} (mA/cm ²) | FF | ARC |
|--------------------|-------|---------------------|---------------------------------------|-------|-----|
| InGaP/GaAs/GaAs | 17.5 | 2.94 | 7.5 | 0.793 | w |
| InGaP/AlGaAs/GaAs | 12.6 | 3.05 | 5.28 | 0.780 | w/o |
| InGaP/InGaAsP/GaAs | 15.3 | 3.16 | 5.66 | 0.853 | w/o |

様々な3接合トップセルのJ-V曲線
3接合トップセルのセルパラメータ

InGaP/GaAs/GaAs//Si 4接合スマートスタックセル

AM 1.5G, 100 mW/cm², 25°C

| | η (%) | V _{oc} (V) | J _{sc} (mA/cm ²) | FF |
|------------------------|-------|---------------------|---------------------------------------|------|
| Smart Stack 4-junction | 18.5 | 3.29 | 7.4 | 0.76 |

スマートスタック4接合セルのJ-V曲線
スマートスタック4接合セルのEQE特性

★1.7 eVの高いV_{oc} ⇒ 高品質トンネル接合による接合
 ★J_{sc}の値とEQEから見積もった電流密度は良く一致
 ★InGaP/GaAs/GaAsセルの特性が良く、スマートスタック用トップセルとして最適。
 ★スマートスタック4接合セルを初めて作製

結論

- 2接合GaAs及びInGaP/GaAs/GaAs 3接合トップセルをSS-MBEを用いて初めて作製した。
- InGaP/GaAs/GaAs 3接合セルはスマートスタックIII-V//Si用のトップセルとして最も適している。
- トップセルのJ_{sc}はEQE測定から見積もった値と良く一致した。
- スマートスタックInGaP/GaAs/GaAs//Si 4接合太陽電池を初めて作製した。
変換効率: 18.5%, 高いV_{oc}: 3.3 V.

参考文献

- [1] T. Takamoto et al., Proc. 40th IEEE Photovoltaic Specialists Conf., 2014, 13.
- [2] F. Dimroth et al., Prog. Photovoltaics 22, 277 (2014).
- [3] P. T. Chiu et al., IEEE J. Photovoltaics 4, 493 (2014).
- [4] R. Cariou et al., IEEE J. Photovoltaics 7, 367 (2017).
- [5] S. Essig et al., IEEE J. Photovoltaics 6, 1012 (2016).
- [6] T. Sugaya et al., Jpn. J. Appl. Phys. 54, 08KE02 (2015).
- [7] T. Sugaya et al., J. Vac. Sci. & Technol. B 35, 02B103 (2017).
- [8] T. Sugaya et al., Appl. Phys. Express 11, 052301 (2018).
- [9] H. Mizuno et al., Appl. Phys. Express 10, 072301 (2017).
- [10] H. Mizuno et al., Appl. Phys. Lett. 101, 191111 (2012).

謝辞

本研究の一部は、経済産業省のもと、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) から委託され、実施したものである。