

スマートスタック技術を用いたIII-V//CIGSe タンデム型太陽電池の開発 (II)

牧田紀久夫¹、上川由紀子²、水野英範³、大島隆治¹、庄司靖¹、
石塚 尚吾²、菅谷 武芳¹、Ralph Müller⁴、Frank Dimroth⁴

産業技術総合研究所 1 ゼロエミッション国際共同研究センター、2 省エネルギー研究部門、
3 再生可能エネルギー研究センター、4 Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (独)

研究の目的

CO₂削減に向けて再生エネルギーの開発が進められており、特に次世代移動体等への太陽電池搭載を目指しNEDOプロジェクトが遂行されている。自動車の自立走行のためには発電効率31%、1kWh以上が必要となり、該プロジェクトでの開発目標は2024年度までに発電効率33%かつ量産時のモジュールコスト200円/W以下の曲面モジュールを開発することが示されている。

本研究では、高効率かつ曲面形状が可能なIII-V//Cu(InGa)Se₂ (以下CIGSe) 多接合太陽電池の開発を行っており、今回Fraunhofer研究所(以下FhISE、独)と連携のもと、GaAs//CIGSe 3接合太陽電池を試作し、「AIST太陽光評価・標準チームでの高精度測定」で2端子として世界最高性能である発電効率~28.1%(昨年度27.2%)を達成した。

メガソーラ



高効率GaAs系多接合太陽電池の移動体搭載



移動体搭載

衛星搭載 市場規模 1 MW
セルコスト 100 \$/W

*High altitude platform station
高高度疑似衛星

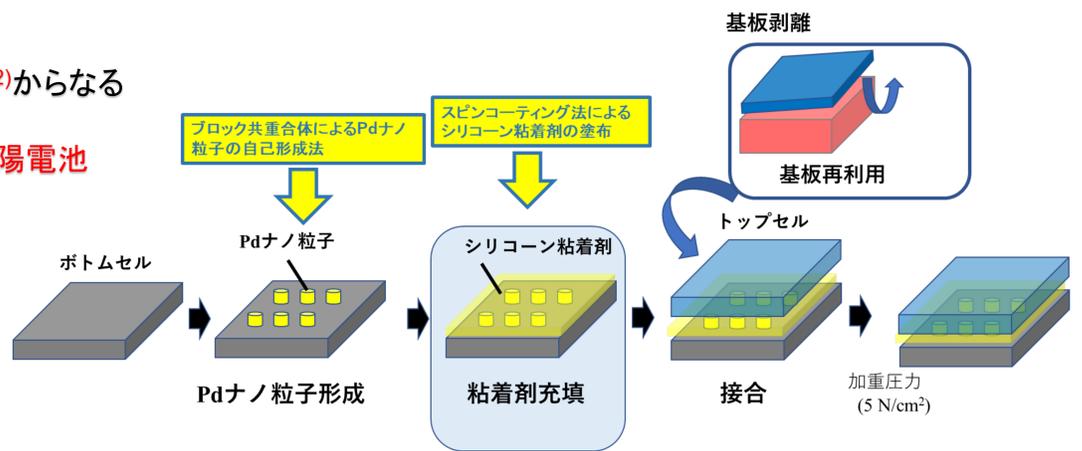
車載搭載 市場規模 10GW
セルコスト 2\$/W



実験

- スマートスタック技術¹⁾を改良して、Pdナノ粒子と粘着剤²⁾からなる接合技術を開発し(右図参照)、接合強度の強化に成功。
- 上記技術を適用して、InGaP/AlGaAs//CIGSe 3接合太陽電池(結果図参照)を試作。
 - GaAs系トップセル: FhISE研究所が開発
 - CIGSeボトムセル³⁾: 産総研が開発。

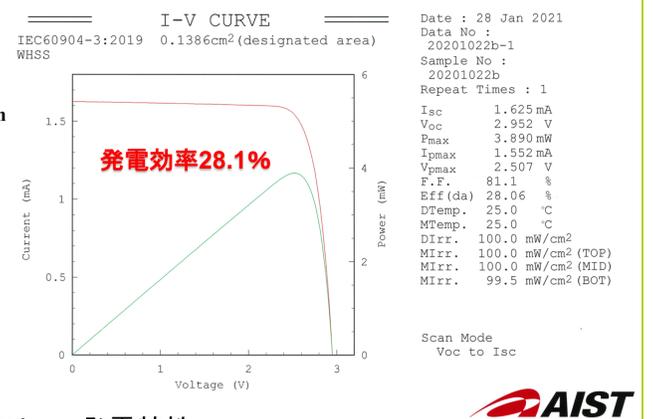
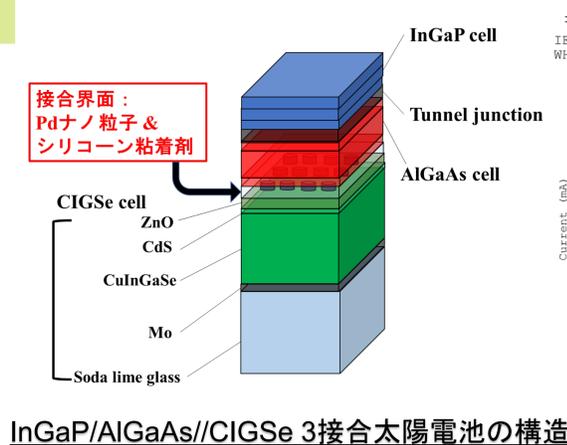
- 産総研独自のPdナノ粒子を介した半導体接合技術。
- 粘着剤は、シリコン系粘着剤。信越シリコン(株)製X-40-3306。高温高湿耐性に優れる。
- CIGSeセルは、吸収層のGaの分布を適化し、E_g-1.0eV(昨年度1.05eV)および開放電圧、曲性因子等の改善を実現。ボトムセルとして性能向上が図られた。
- CIGSeセルは、低コスト化の観点よりCMP処理(Chemical Mechanical Polishing)を適用していない(CMPフリー化)。



Pdナノ粒子および粘着剤を介した新スマートスタック技術

結果

- 発電効率~28.1%達成(昨年度:27.2%)
 - * AIST太陽光評価・標準チームでの高精度測定
- 2端子GaAs//CIGSe系素子として世界最高性能。
 - *Solar cell efficiency tables (version 58)掲載
- 接合プロセス条件の適化により、CIGSeのCMPフリーでの安定接合を実現。
- CIGSeセル高性能化が、多接合構造での発電特性改善に寄与。



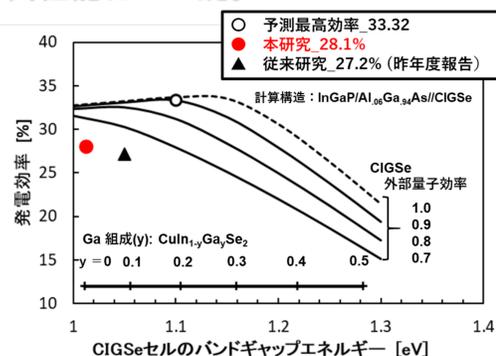
InGaP/AlGaAs//CIGSe 3接合太陽電池の構造

発電特性

* AIST太陽光評価・標準チームでの高精度測定

考察

- シミュレーションによる予測最高効率~33.32%。
- 実験値(28.1%)との乖離は、接合界面での反射損失に起因したCIGSeセルの外部量子効率低減が原因。
- 要因である、CIGSeセルの表面ラフネス低減およびZnO薄膜化が高性能化への鍵。



本研究でのCIGSeセルでは、表面ラフネス~100nm、TCO膜であるZnOの膜厚~300nmである。これにより、接合界面において20%程度の反射損失が観測されている。現在、産総研独自のエッチングによるCIGSe表面平滑化処理、またTCO膜薄膜化(目標膜厚~10nm)の検討が進められている。これにより、発電効率>30%が可能。

InGaP/AlGaAs//CIGSe 3接合太陽電池の予測性能

まとめ

- Pdナノ粒子と粘着剤を介した新スマートスタック技術を開発。
- GaAs//CIGSe系3接合セルで発電効率~28.1%達成(世界最高)。
- 今後は、高効率化(>30%)および大面積化(4インチ化)が目標。

(主要論文)

H. Mizuno *et al.*, Appl. Phys. Lett., 55, 025001 (2016).
Y. Kamikawa *et al.*, ACS Appl. Mater. Interfaces, 12, 45485 (2020).
K. Makita *et al.*, Progress in Photovoltaics, 28, 16 (2020).
K. Makita *et al.*, Progress in Photovoltaics, 29, 887 (2021).
M. A. Green *et al.*, Progress in Photovoltaics, 29, 657 (2021).
K. Makita *et al.*, IEEE Journal of Photovoltaics, to be published, <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2021.3132897>.

(主要特許)

水野等、特許5875124、「半導体素子の接合方法および接合構造」
上川等、特願2019-056782「太陽電池およびその製造方法」
牧田等、特願2019-216602「半導体素子の接合方法および接合構造」