

# フレキシブル性を有するGaAs//CuInGaSSe タンデム型太陽電池の開発

牧田紀久夫<sup>1</sup>、富田仁<sup>2</sup>、水野英範<sup>3</sup>、大島隆治<sup>1</sup>、庄司靖<sup>1</sup>、菅谷 武芳<sup>1</sup>、  
Ralph Müller<sup>4</sup>、David Lackner<sup>4</sup>、Frank Dimroth<sup>4</sup>

1 産総研 ゼロエミッション国際共同研究センター、2 出光興産 (株)、  
3 産総研 再生可能エネルギー研究センター、4 Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems

## 研究の目的

CO<sub>2</sub>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)SSe<sub>2</sub> (以下CIGSSe)系のタンデム型太陽電池の開発を行っており、今回出光興産(株)、Fraunhofer研究所(以下FhISE、独)と連携のもと、2端子構造として世界初のフレキシブル型GaAs//CIGSSe系3接合太陽電池を試作し、基本性能を実証した。

## メガソーラ



セルコスト <1 \$/W

## 高効率GaAs系多接合太陽電池の移動体搭載

\*HAPS 市場規模 100MW  
セルコスト 10\$/W



\*High altitude platform station  
高高度疑似衛星

## 移動体搭載

衛星搭載 市場規模 1 MW  
セルコスト 100\$/W



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によりフレキシブル型InGaP/AlGaAs//CIGSSe 3接合太陽電池(結果構造図参照)を試作。

### Key technology. 1

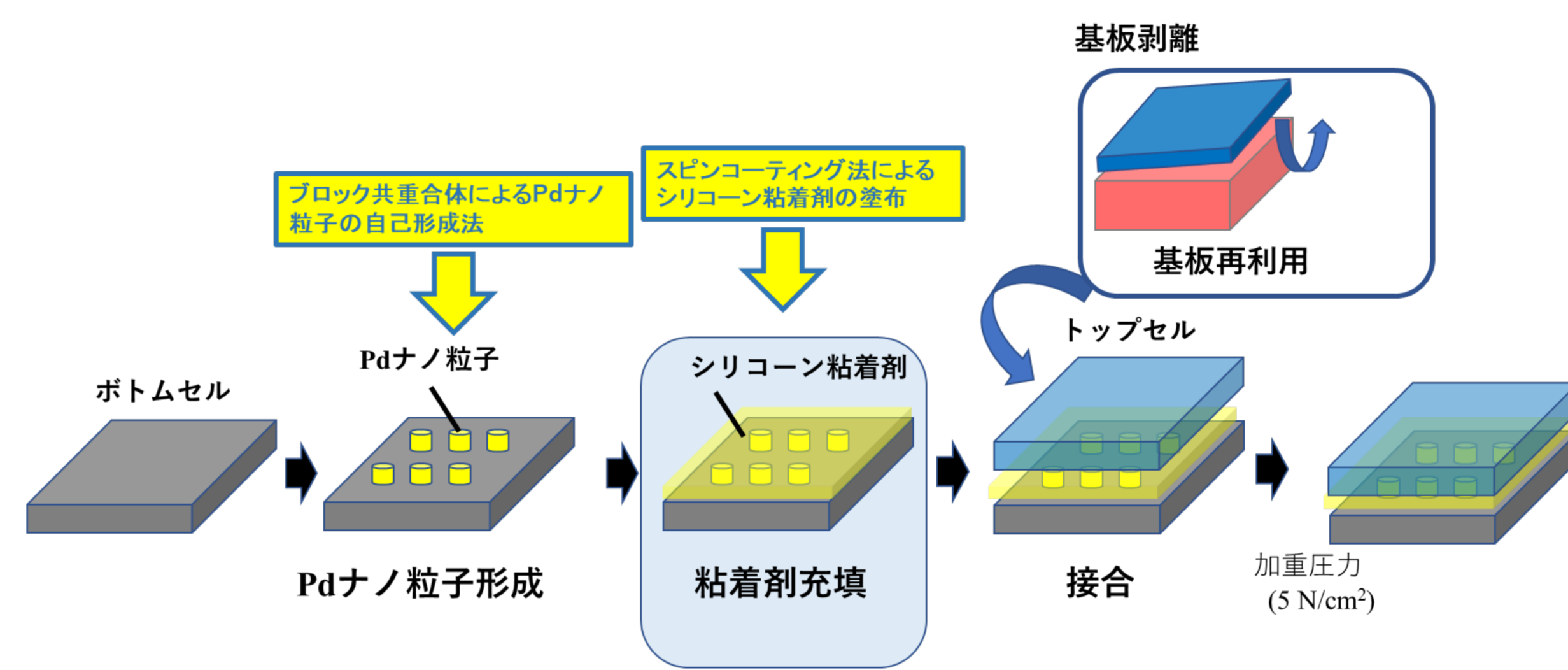
本研究では、スマートスタック技術<sup>1)</sup>を改良しPdナノ粒子と粘着剤<sup>2)</sup>を接合界面に適用、接合強度の改善に成功。

- 1)産総研独自のPdナノ粒子を介在した半導体接合技術。
- 2)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。

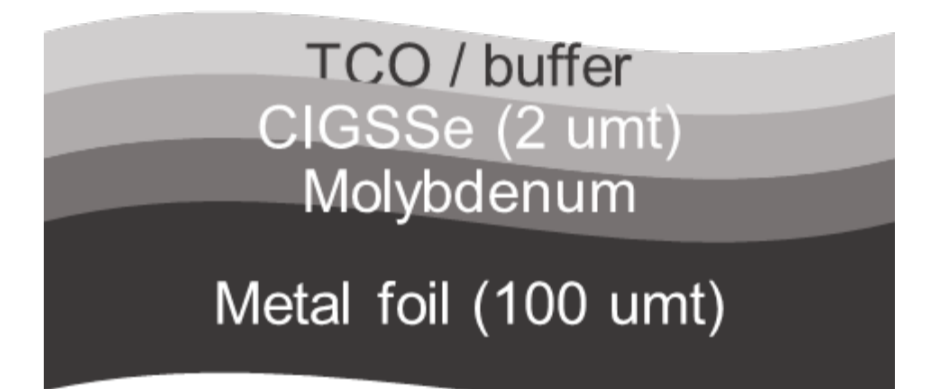
### Key technology. 2

フレキシブル性<sup>3)</sup>を有しかつボトムセルとして適化<sup>4)</sup>したCIGSSeセル(出光興産(株)開発)を適用。

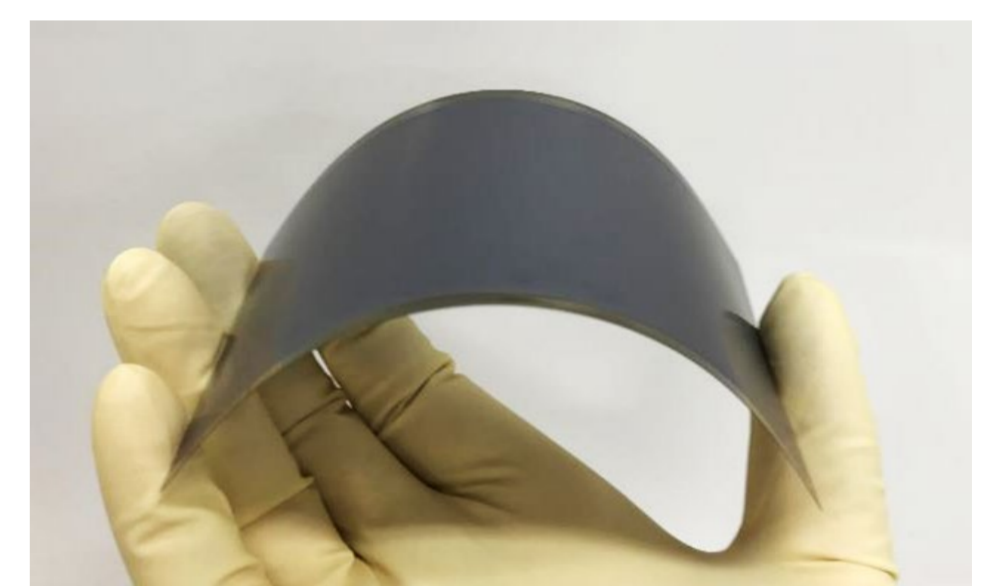
- 3) CIGSSeセルは、SAS法により金属フォイル上に形成。SAS法: Sulfurization after selenization process
- 4) Gaの分布を適化し(Ga-grading)、Eg~1.0eVを実現。



新スマートスタック技術



素子構造

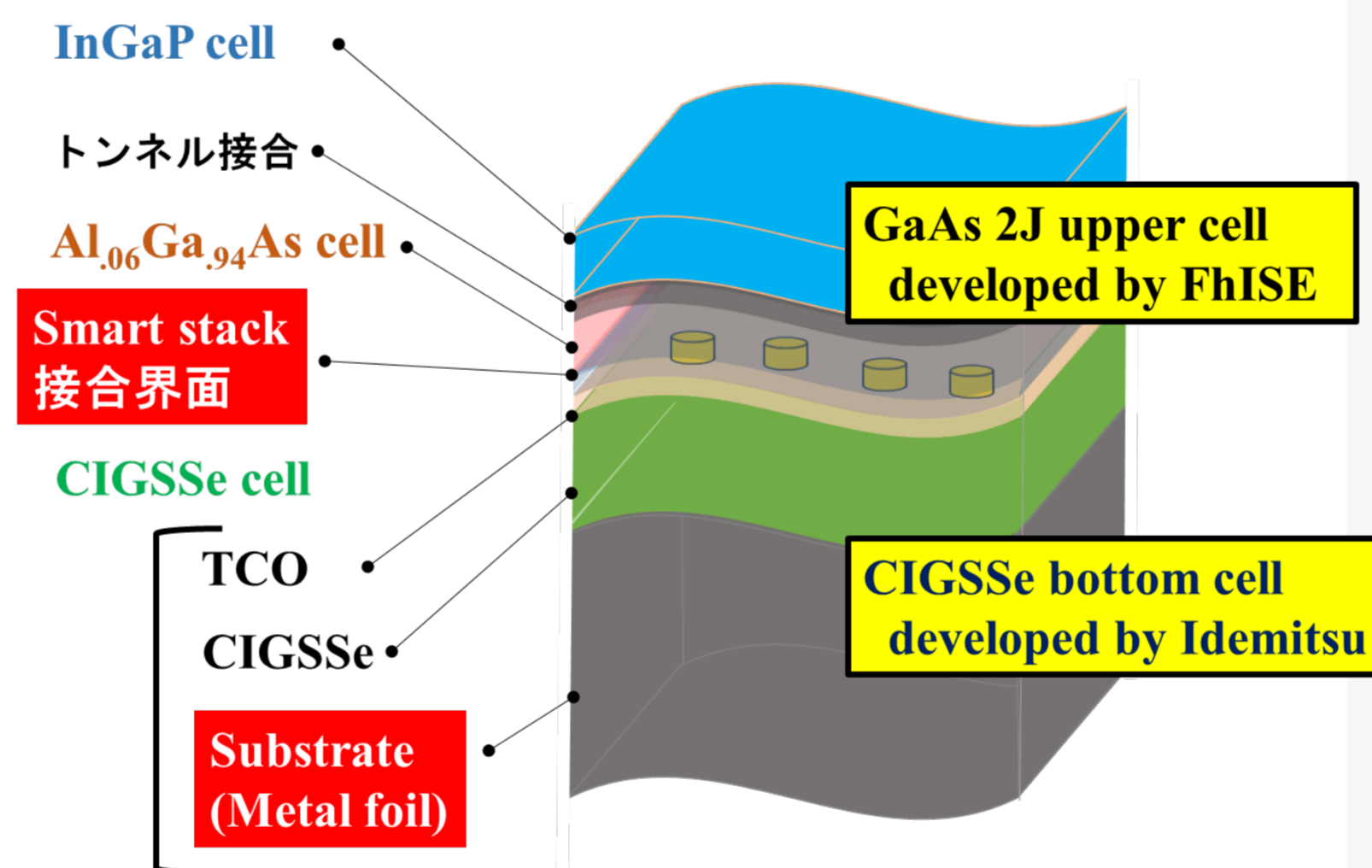


フレキシブル型CIGSSeセル  
(出光興産(株)開発)

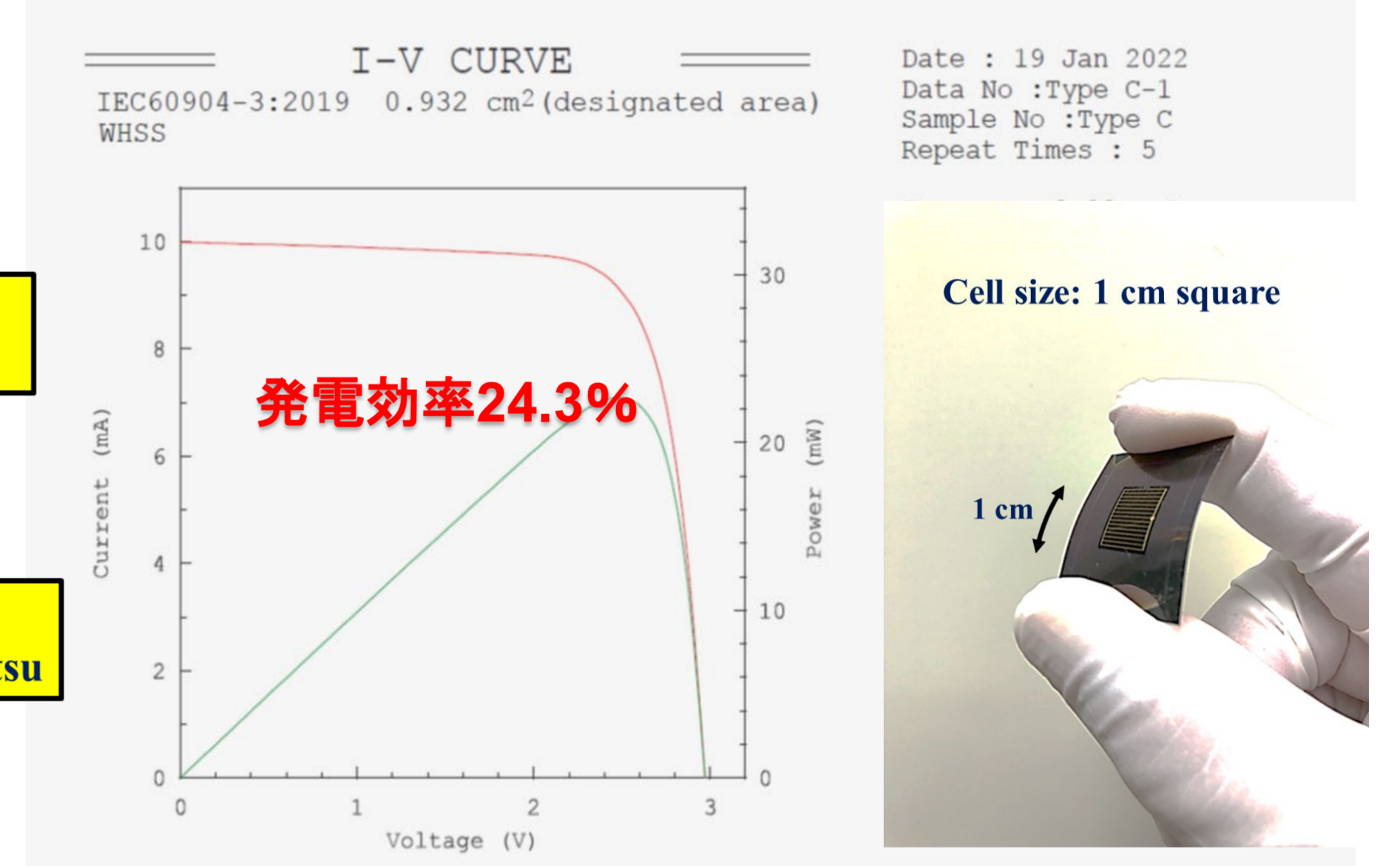
## 結果

2端子として世界初のフレキシブル型GaAs//CIGSSe系タンデム太陽電池を実証。AM 1.5Gで発電効率~24.3%(V<sub>oc</sub>-2.97V、J<sub>sc</sub>-10.7mA/cm<sup>2</sup>、FF-0.76)。

- ・新スマートスタック技術により、GaAs系セルとフレキシブル型CIGSSeセルとの安定接合を実現。
- ・Ga-grading技術によるCIGSSe吸収層のバンドギャップ狭小化が、多接合構造での発電性能に貢献。



素子構造



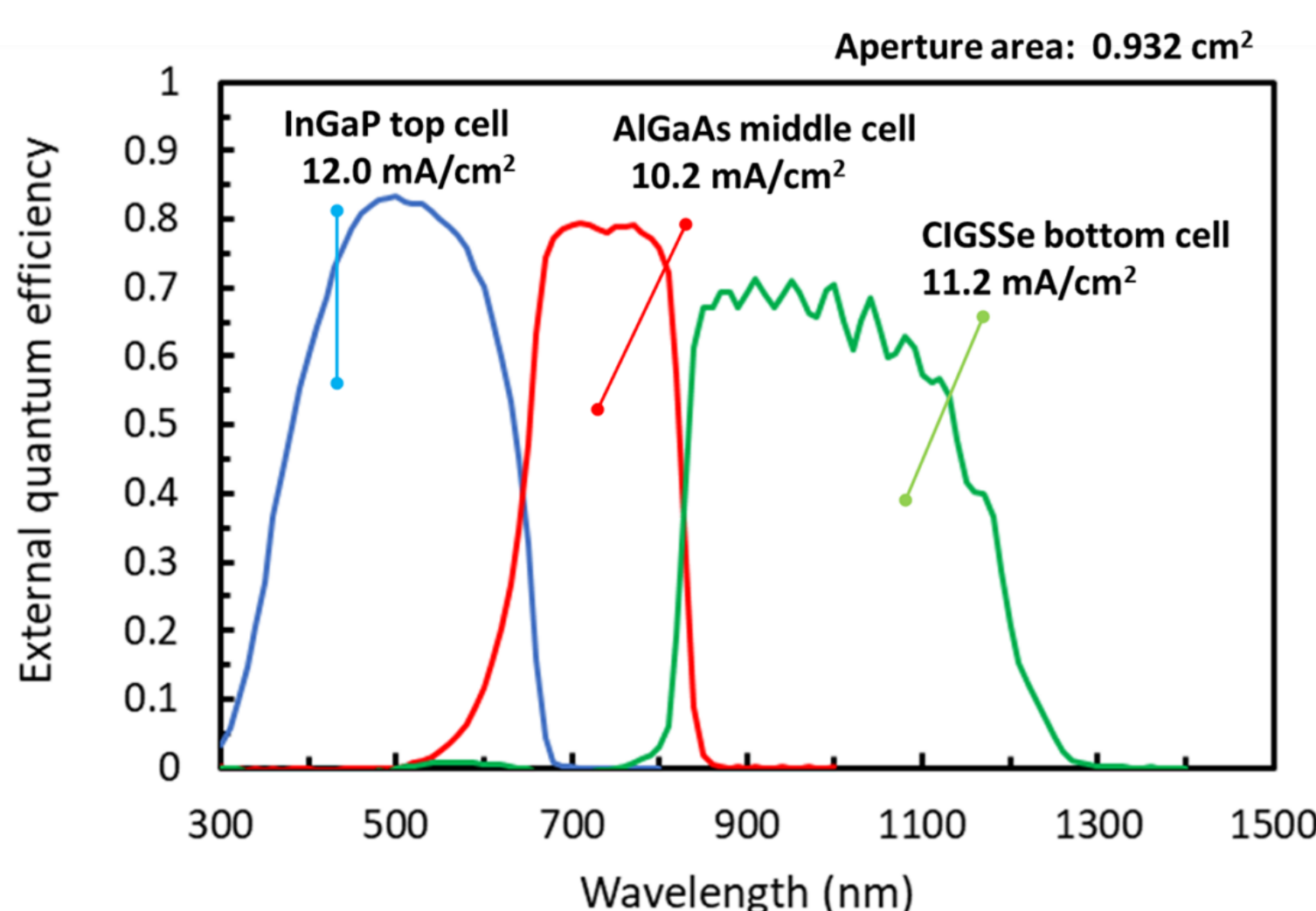
発電特性

素子外観

フレキシブルInGaP/AlGaAs//CIGSSe 3接合太陽電池

## 考察

- ・分光感度評価により、AlGaAsミドルセルが性能律速と分析。
- ・高効率化のためには、①GaAsミドルセルの適用(ミドルセルの光電流増加)、②CIGSSeボトムセルの量子効率改善、が必要。
- ・特に上記②では、CIGSSeセルの表面ラフネス低減および透明導電層(TCO層)薄膜化が、高効率(>30%)への鍵。



InGaP/AlGaAs//CIGSSe 3接合太陽電池の分光感度評価

本研究でのCIGSSe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、産総研では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。これらの技術適用等により、発電効率>30%が可能。

## まとめ

- ・Pdナノ粒子と粘着剤を介在した新スマートスタック技術の開発。
- ・上記技術によりフレキシブル型InGaP/AlGaAs//CIGSSe 3接合太陽電池を試作、発電効率~24.3%を達成した。
- ・今後は、高効率化(>30%)および大面積化(4インチ化)が目標。

### (関連論文)

- H. Mizuno *et al.*, Appl. Phys. Lett., 55, 025001 (2016).
- M. Nakamura *et al.*, IEEE J. Photovoltaics, 9, 1863 (2019).
- Y. Kamikawa *et al.*, ACS Appl. Mater. Interfaces, 12, 45485 (2020).
- K. Makita *et al.*, Progress in Photovoltaics, 29, 887 (2021).
- K. Makita *et al.*, IEEE Journal of Photovoltaics, 12, 639 (2022).
- K. Makita *et al.*, Progress in Photovoltaics, 31, 71 (2023).

### (関連特許)

- 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」