

# スマートスタック技術による多接合 太陽電池の開発

牧田紀久夫\*<sup>1</sup>、水野英範\*<sup>2</sup>、大島隆治\*<sup>1</sup>  
小牧弘典\*<sup>1</sup>、菅谷武芳\*<sup>1</sup>、松原浩司\*<sup>1</sup>

\*<sup>1</sup> = 太陽光発電工学研究センター

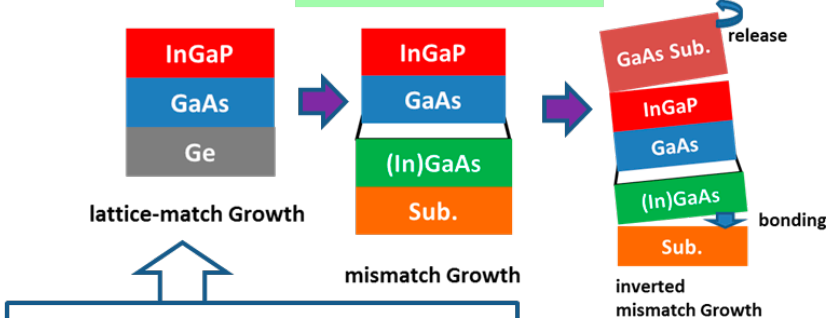
\*<sup>2</sup> = 再生可能エネルギー研究センター

# 高効率太陽電池のロードマップ

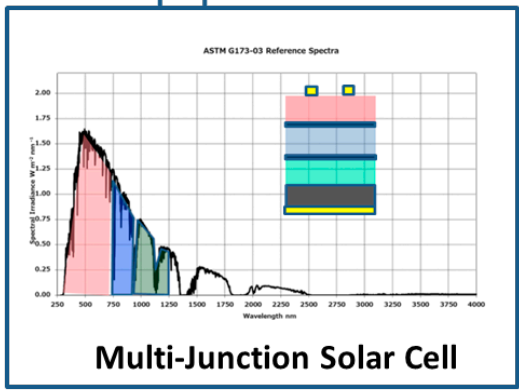
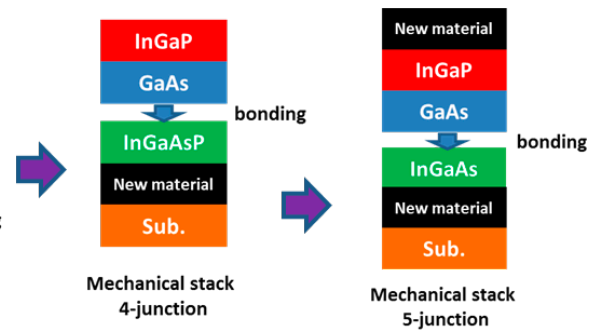


## 多接合型太陽電池

### Integrated Cell

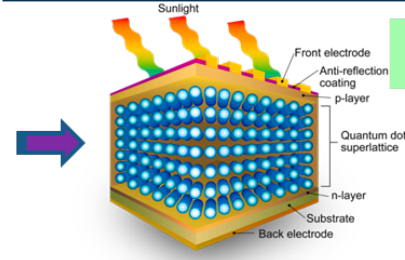


### Mechanical Stack Cell



## 中間バンド利用太陽電池

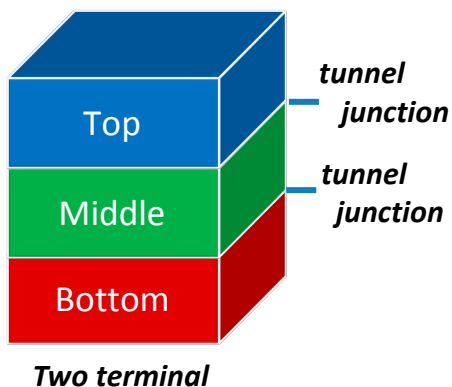
### Quantum Dot Cell



# 多接合型太陽電池の製法

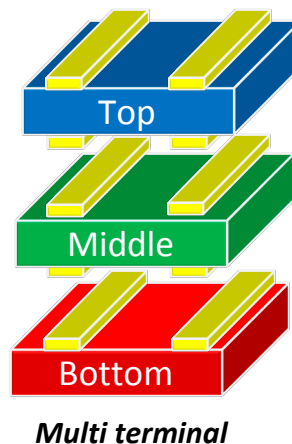
## Monolithic stacking

### Epitaxial growth

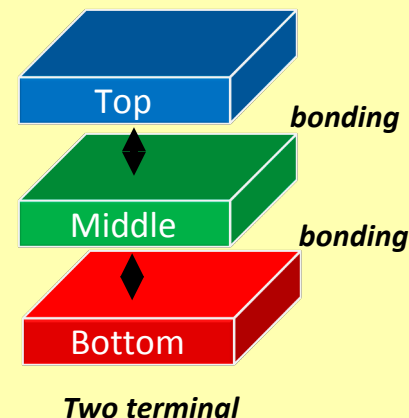


## Mechanical stacking

### Classical



### Advanced (Semiconductor bonding)



## Smart Stacking Technology

現状の製法 (>30%実証製法)  
結晶成長による一括形成  
材料自在性に課題

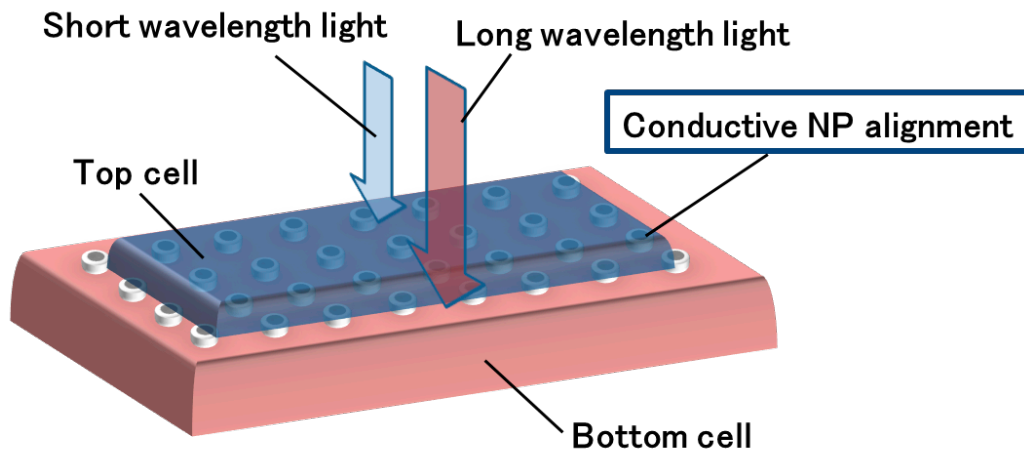
接合によるスタック化  
材料自在性に優れる  
低コスト化、多機能性に優位

# スマートスタック接合の概念

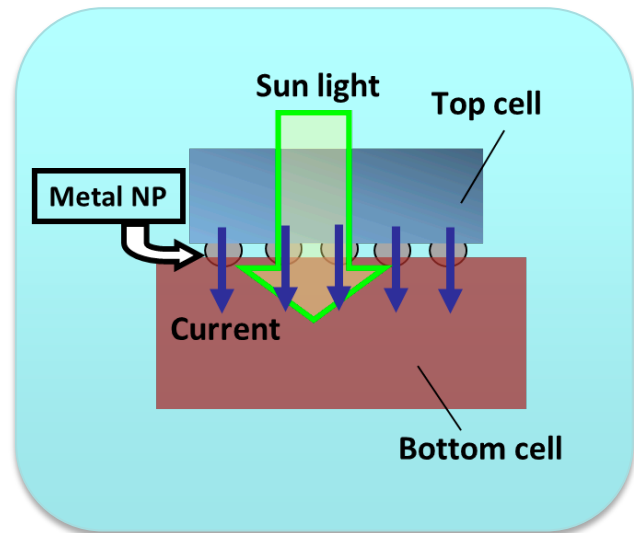
## ・導電性ナノ粒子配列を接合界面に導入

電気特性：オーミック接触による電流経路および均一電流分散  
 ⇒ **低接合抵抗および高電流耐性に優位**

光学特性：極小サイズによる回折効果  
 ⇒ **低光損失**



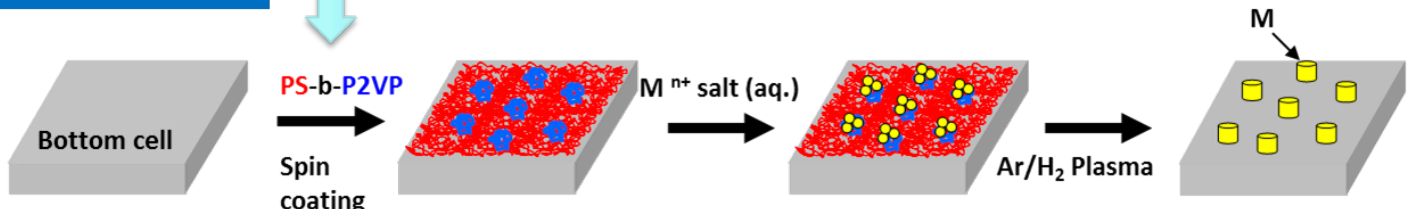
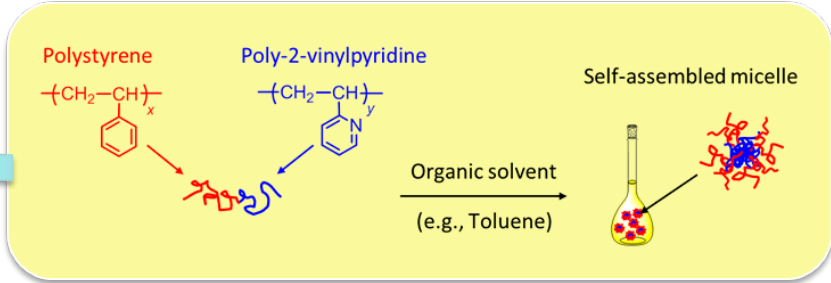
Ref: H. Mizuno, K. Makita, and K. Matsubara, *Appl. Phys. Lett.*, 101, 191111(2012)



# スマートスタック接合の製法

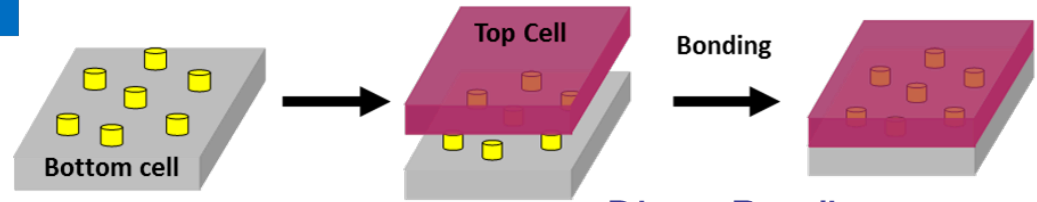
- ・ブロック共重合体の相分離現象を利用したナノ粒子配列
- ・Van der Waals接合による接合

1step :  
Block copolymer-templated  
fabrication of metal NP arrays



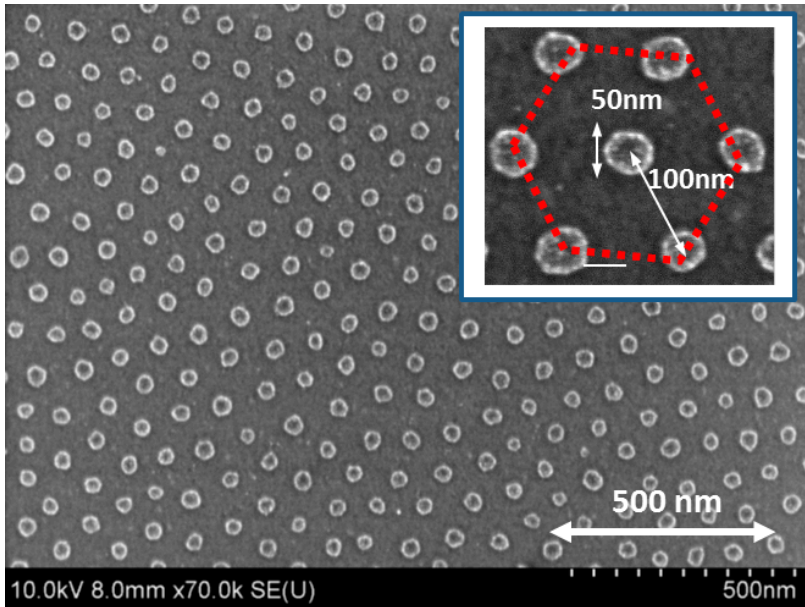
Metal: Pd, Ag, Au, Pt...

2step :  
Direct bonding

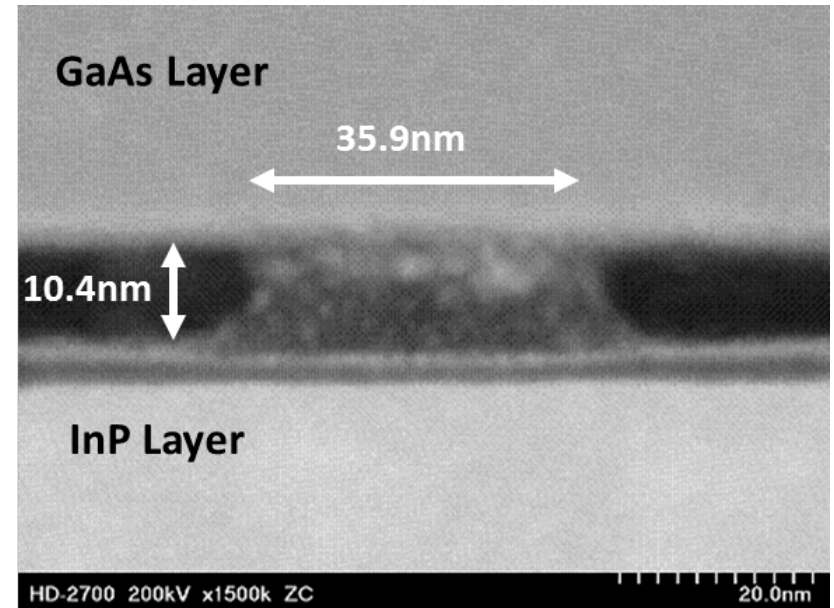


Direct Bonding  
(Van der Waals Bonding)

# スマートスタック接合による接合界面の観察



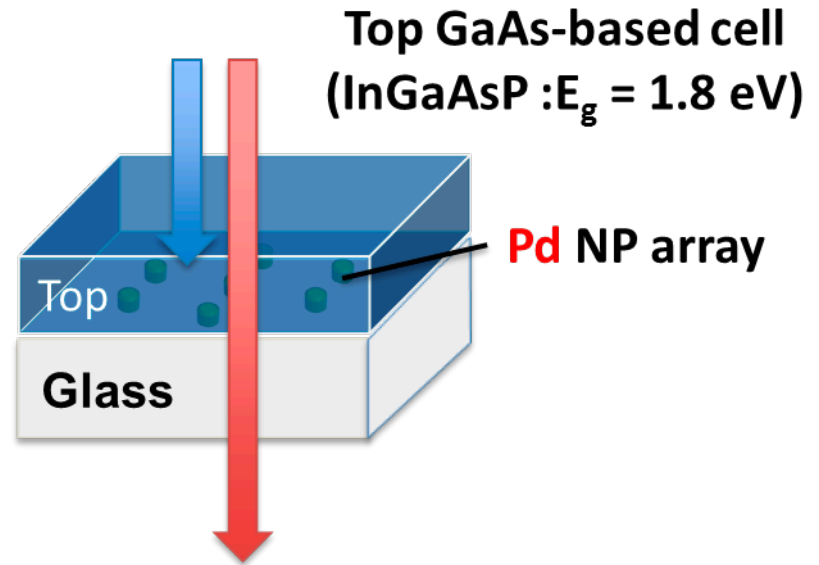
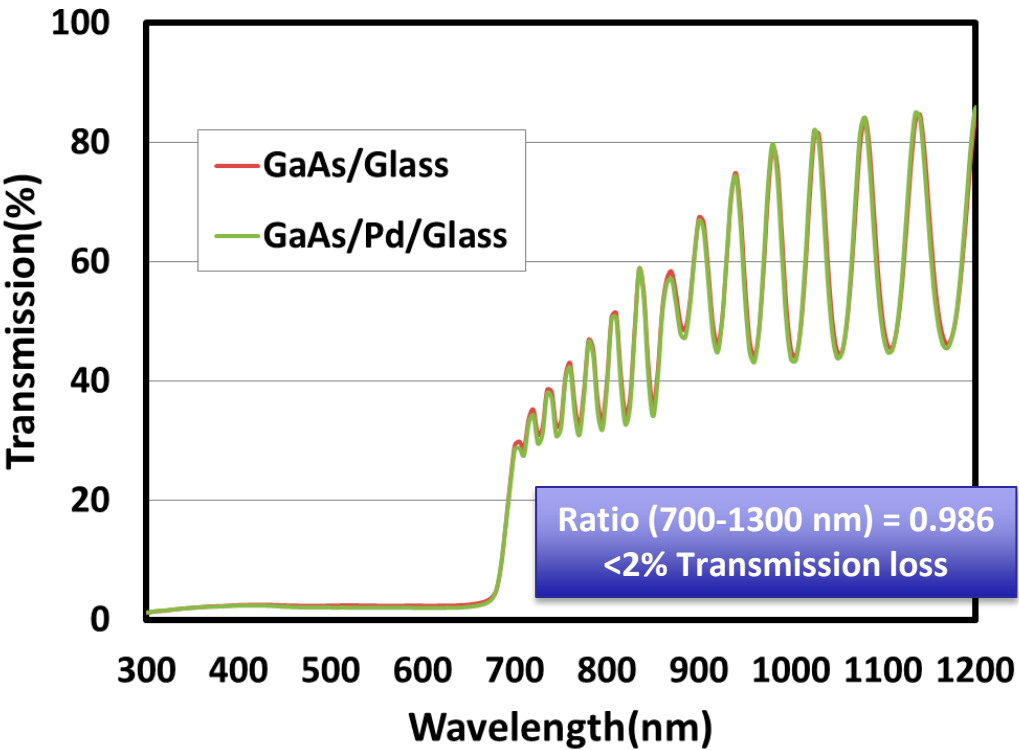
SEM Image of Pd NP alignment on InP substrate



STEM Image of bonding interface with Pd NP alignment

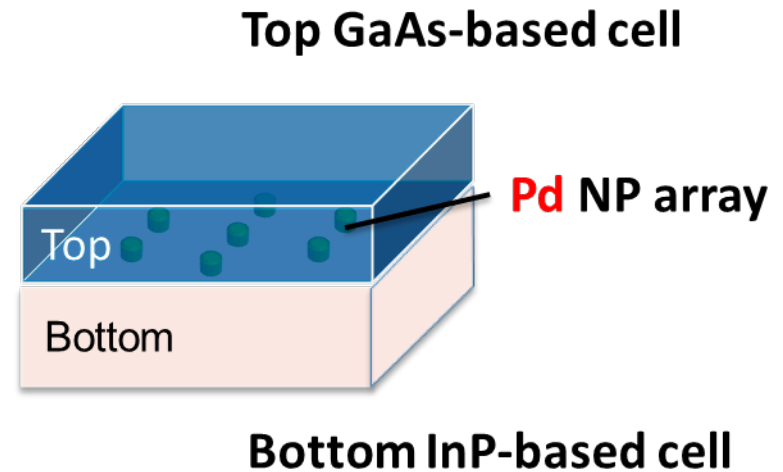
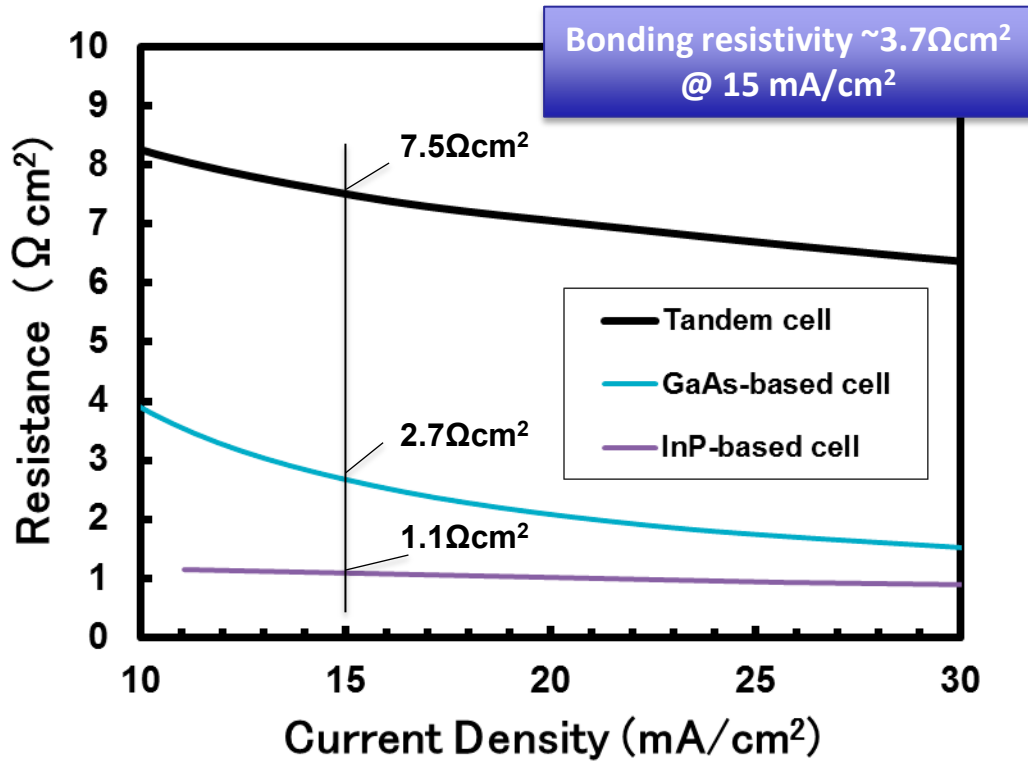
Size~50nm, Spacing~100nm, Height~10nm  
 Concentration~ $10^{10}\text{cm}^{-2}$ , Coverage~12%)

# 接合界面の光学的特性



- ・接合界面での光損失 < 2%
- ・FDTDシミュレーションによる予測値と合致 (Pd吸収損失)

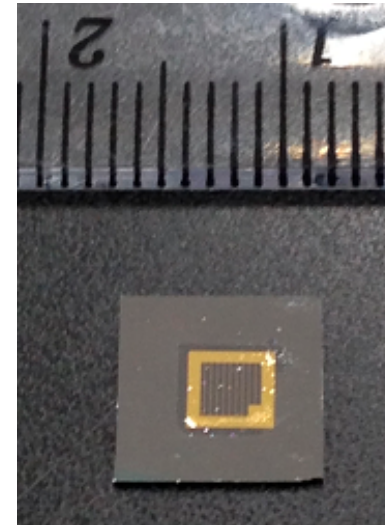
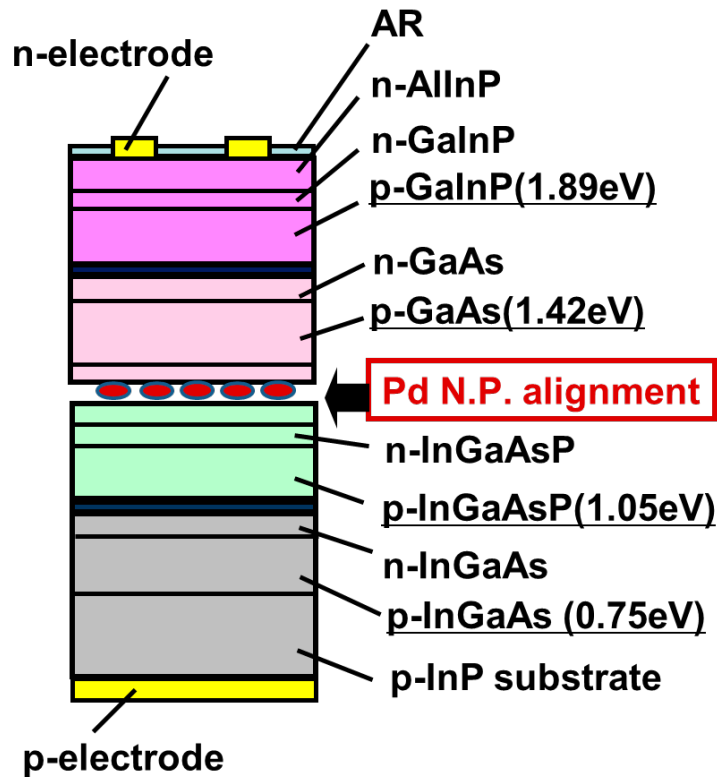
# 接合界面の電気特性



- ・本実験による接合抵抗  $3.7 \Omega \text{cm}^2$
- ・現在では接合条件等の改善により  $< 1 \Omega \text{cm}^2$  を達成

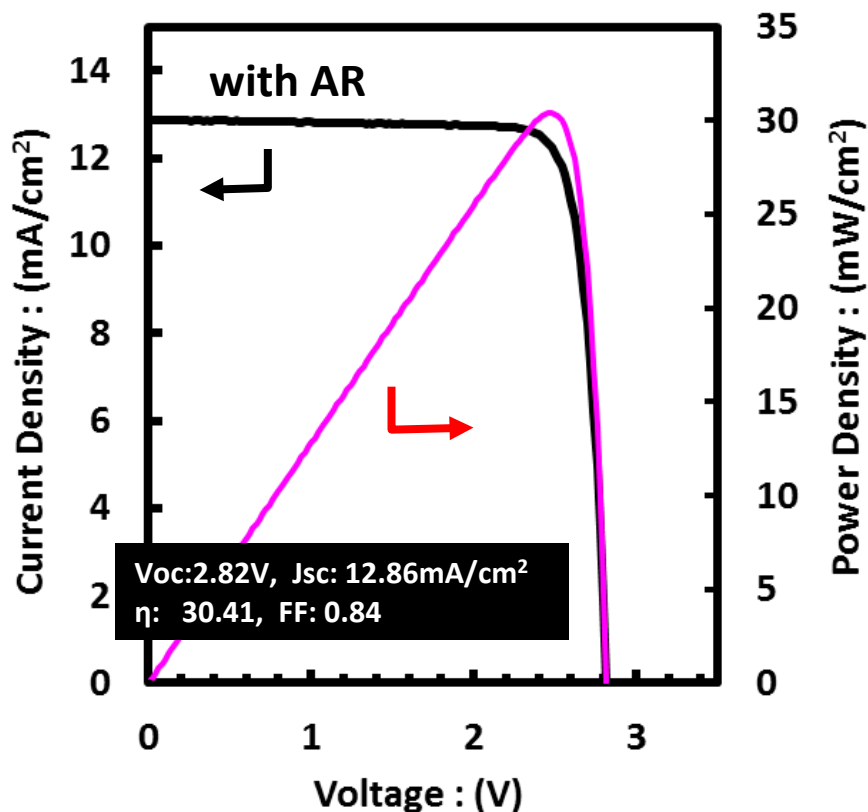


# デバイス検証1 : III-V型多接合太陽電池



・ GaInP/GaAs/InGaAsP/InGaAs 4J 接合構造

# デバイス検証1 : III-V型多接合太陽電池

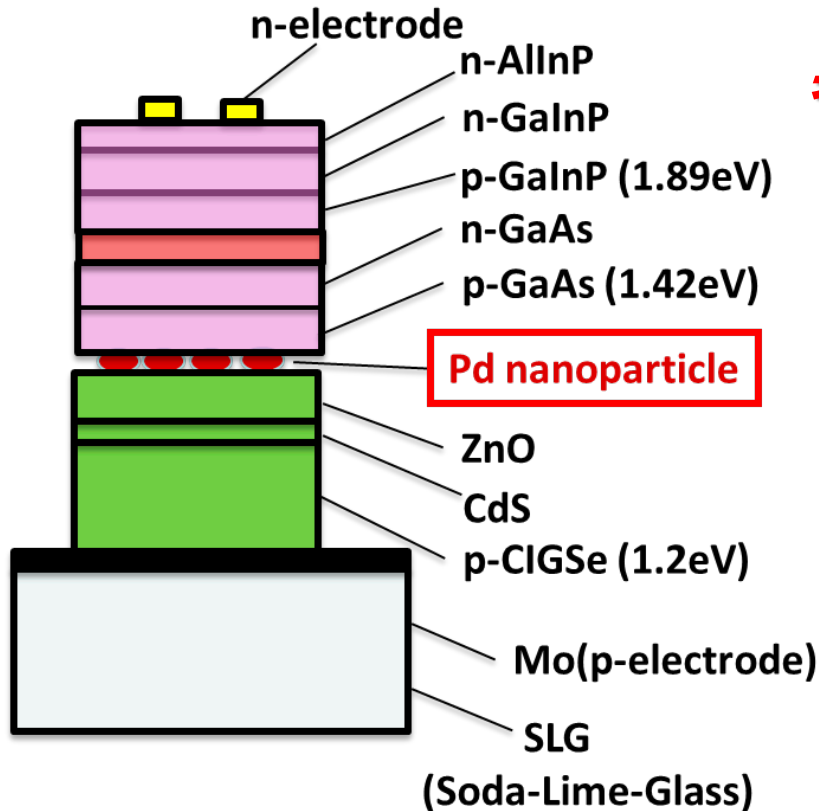


予測/実験特性の比較

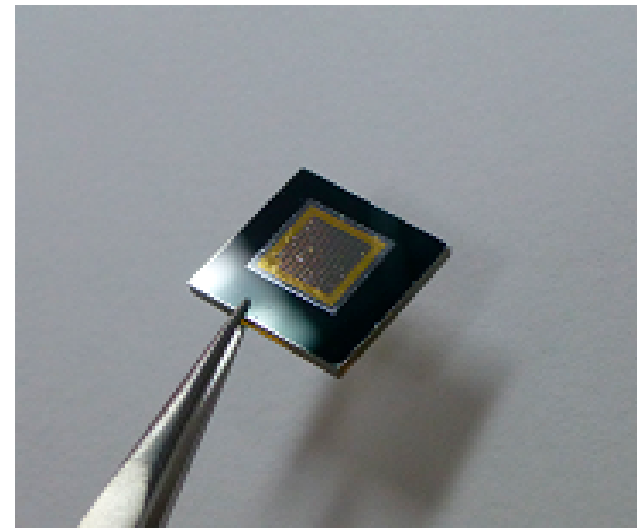
	Analytical predicted Value	Experimental obtained Value
η (%)	29.41	30.41
Voc (V)	3.02	2.82
Jsc(mA/cm <sup>2</sup> )	12.86	12.86
FF	0.76	0.84

・発電効率 30.4%を実現、予測特性に合致

# デバイス検証2 : III-V/CIGSe型多接合太陽電池

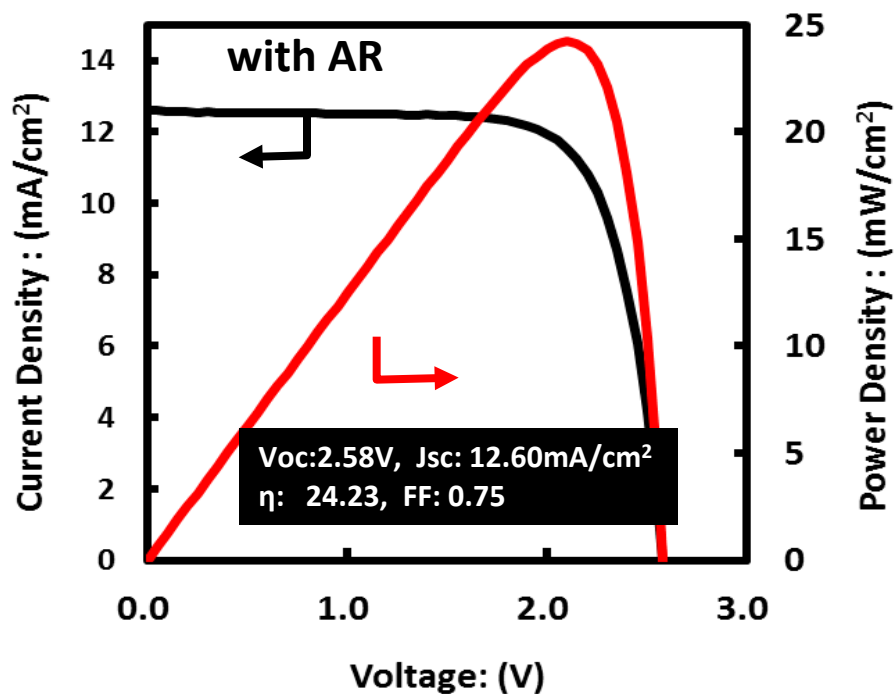


## 異種材料セルの接合構造



▪ GaInP/GaAs/CuInGaSe 3J 接合構造

# デバイス検証2 : III-V/CIGSe型多接合太陽電池



予測/実験特性の比較

	Analytical predicted Value	Experimental obtained Value
$\eta$ (%)	28.39	24.23
Voc (V)	2.83	2.58
Jsc(mA/cm <sup>2</sup> )	12.60	12.60
FF	0.80	0.75

- ・発電効率 24.2%を実現
- ・GaAs/CIGSe系接合セルでは最高特性

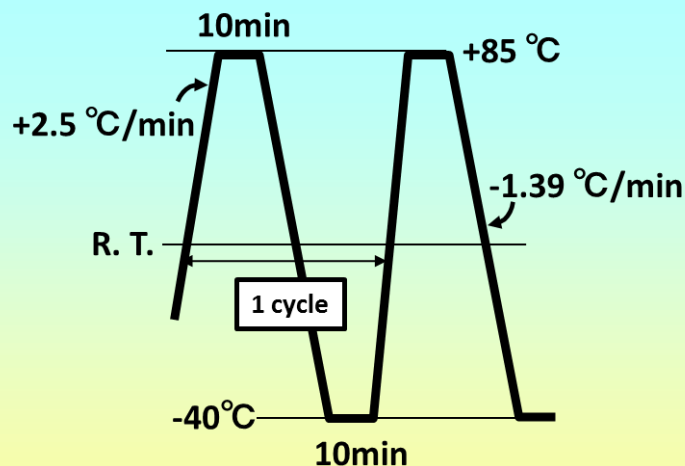
# 信頼性試験

## ① 加速劣化試験

- ・ストレス条件
  - 温度条件: **150 °C (125 °C)**,
  - 電流負荷条件: **20mA/cm<sup>2</sup>**
  - 時間: **0 - 100 hours (~1000hrs)**

## ② 温度サイクル試験

- ・ストレス条件
  - 温度条件: **-40 °C ⇔ 85 °C**
  - サイクル回数: **200 cycles**

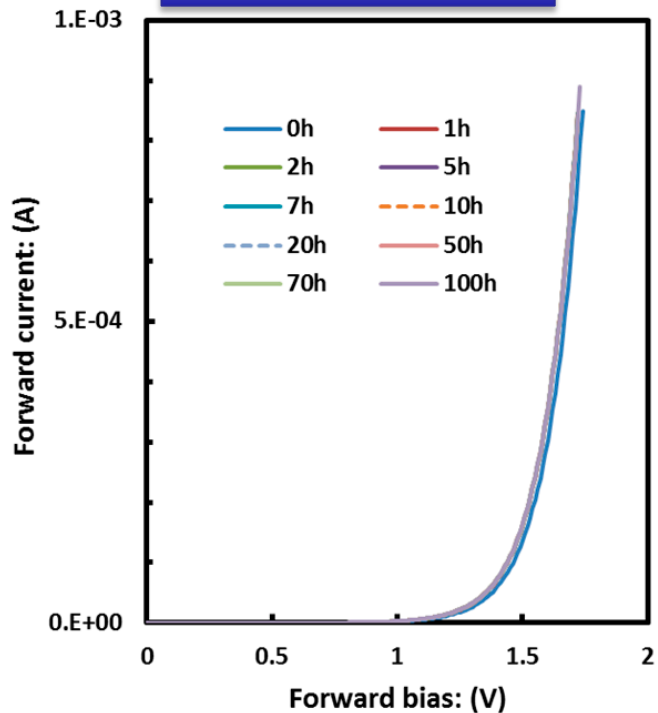


温度サイクル試験条件

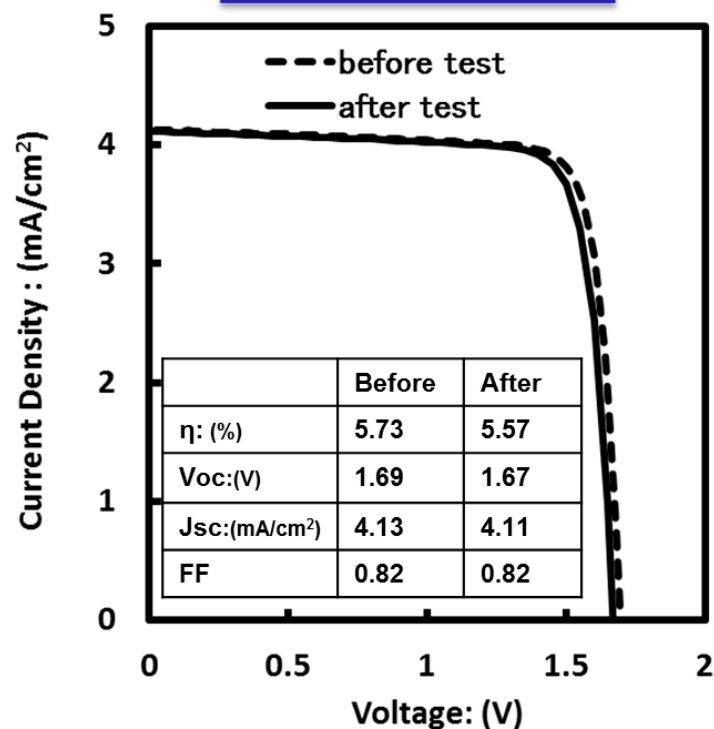
# 信頼性試験1 : 加速劣化試験

試験結果の代表例 (Sample A)  
 $J=20\text{mA/cm}^2$ 、 $150^\circ\text{C}$ 、100hours

順方向特性の推移



発電特性の推移

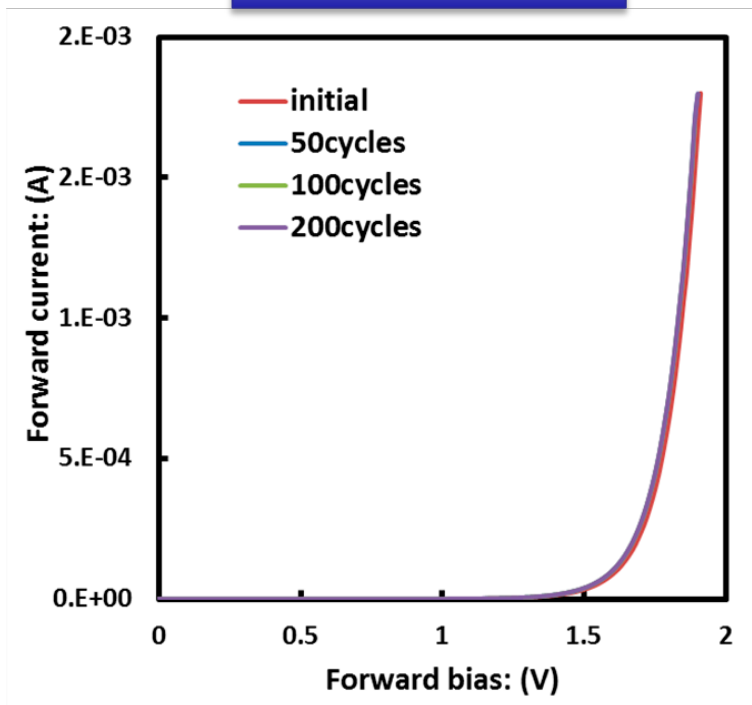


・ $150^\circ\text{C}/100$ 時間、 $125^\circ\text{C}/1000$ 時間経過後も劣化無し

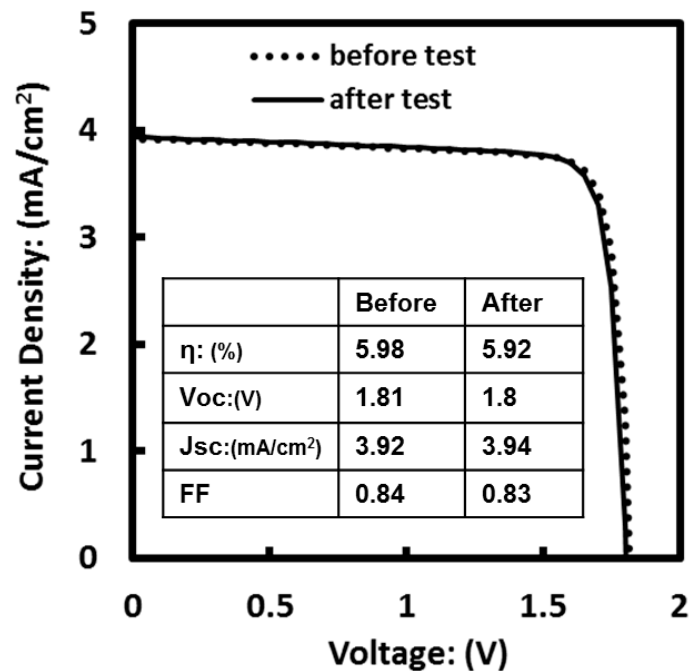
# 信頼性試験2 : 温度サイクル試験

試験結果の代表例 (Sample B)  
-40°C~85°C、200サイクル

順方向特性の推移



発電特性の推移



・200サイクル経過後も劣化無し

# まとめ

1. 導電性ナノ粒子配列を用いたスマートスタック技術を開発。接合抵抗  $<1\Omega\text{cm}^2$ 、光損失  $<2\%$  の良好な接合品質を実現。
2. GaInP/GaAs/InGaAsP/InGaAs 4 接合太陽電池にて発電効率  $\sim 30.4\%$  を実現。
3. 異種材料セルの組み合わせとして GaInP/GaAs/CuInGaSe 3 接合構造にて発電効率  $\sim 24.2\%$  (最高記録) 実現。
4. 信頼性試験(加速劣化試験、温度サイクル試験)を行い、実用上有用な信頼性を確認。
5. スマートスタック技術は、次世代太陽電池のキーテクノロジーとして重要であることを確認。

28<sup>th</sup> EU PVSEC 2013  
Best Poster Award



Acknowledgements



New Energy and Industrial Technology  
Development Organization