

# 研究分野紹介

## 超高効率化技術

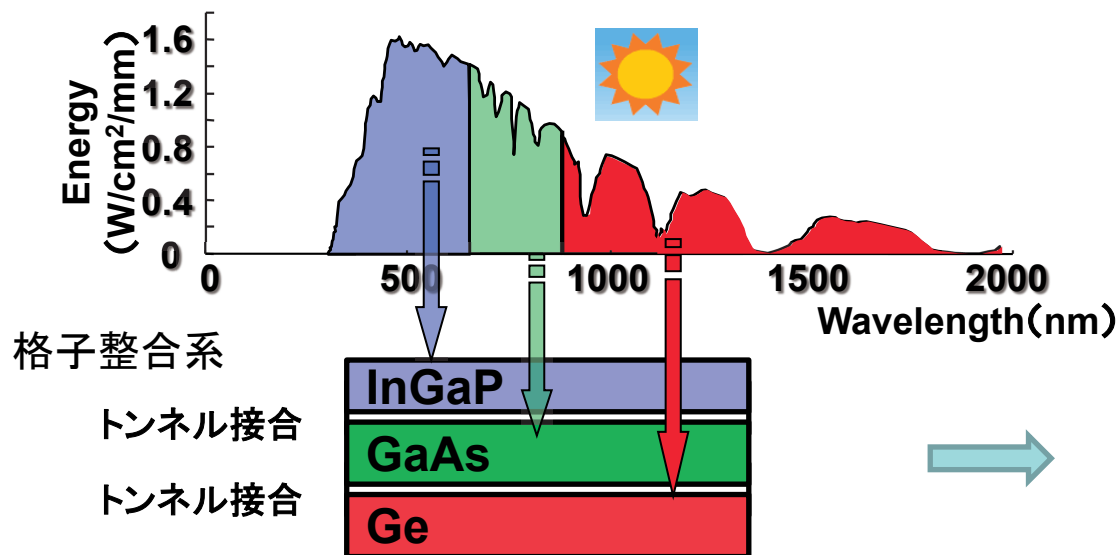
太陽光発電研究センター  
先進多接合デバイスチーム  
菅谷 武芳

# 多接合太陽電池

種類の異なる(吸収波長の異なる)太陽電池セルを直列につなぎ合わせ、太陽光の波長全体を吸収することにより変換効率を高める太陽電池

- ・集光、宇宙用 InGaP/GaAs/Ge 3接合  
変換効率: ~30% (1 sun)、~40% (集光)

## モノシック成長技術



## Sharp

電流整合系

44.4% : 集光

37.9% : 1 sun

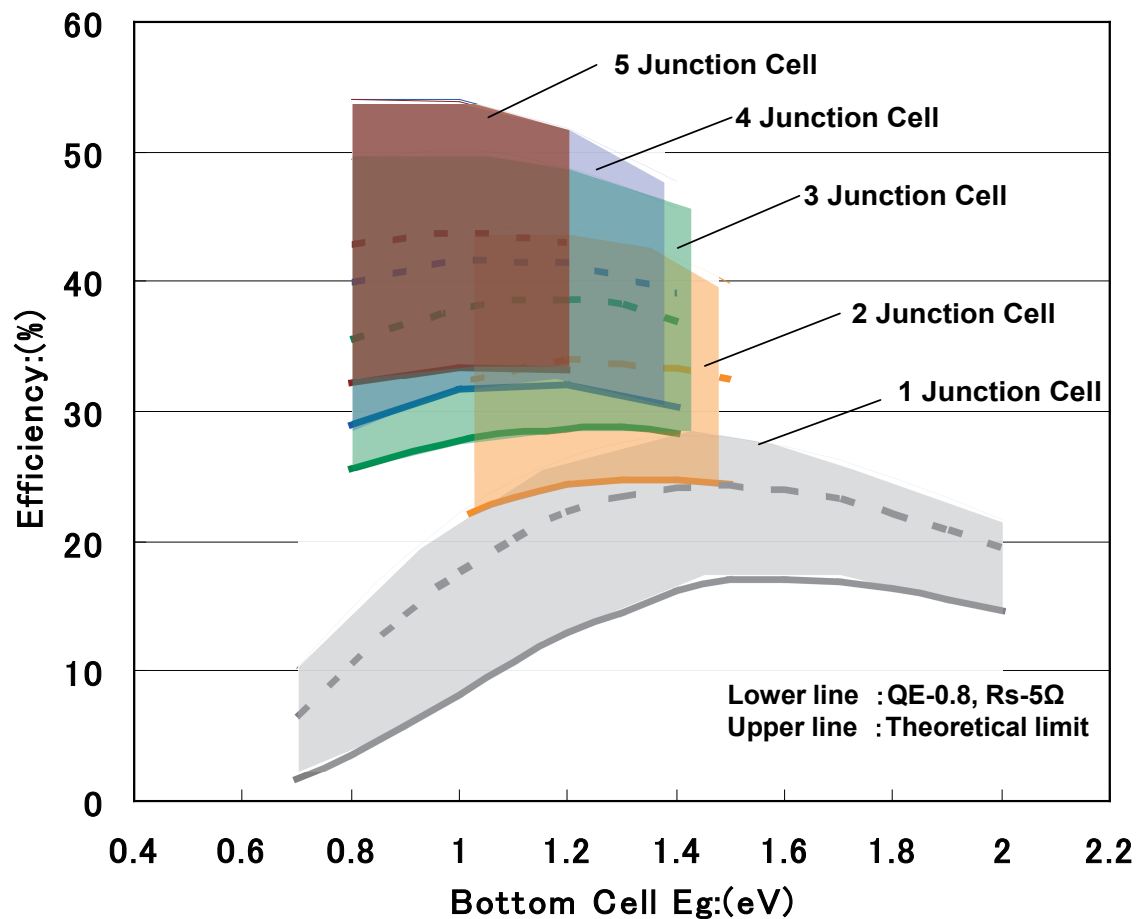


※成長技術は非常に高度

直列接続: Vocは各セルのVocの和  
電流が一番小さいセルが律速

※電流ミスマッチがあり、超高効率化には限界。

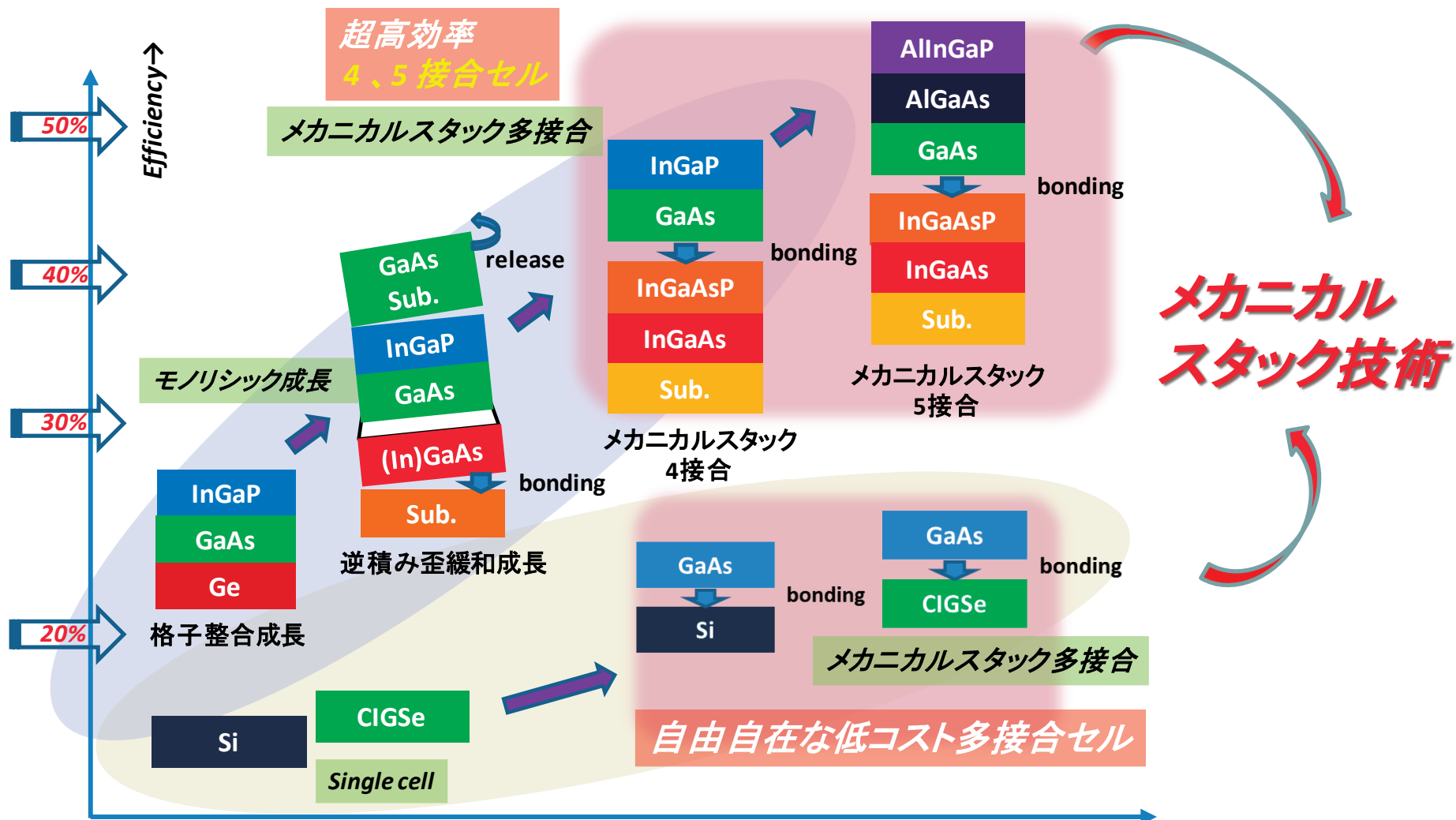
# 接合数による変換効率の理論値



- ・3接合までは従来技術(モノリシック成長法)で37.9%(1 sun)が達成されている。
- ※それ以上の接合数ではメカニカルスタック技術が必須。

# 超高効率多接合太陽電池

## 多接合太陽電池の技術トレンド



# 超高効率多接合太陽電池

## ★半導体接合技術

GaAs、InP上成長層の直接接合

真空中で半導体表面をプラズマなどで活性化

超高効率4、5接合 太陽電池

46.0 % : 集光,

4 接合, A. Bett, et al., Fraunhofer, Soitec

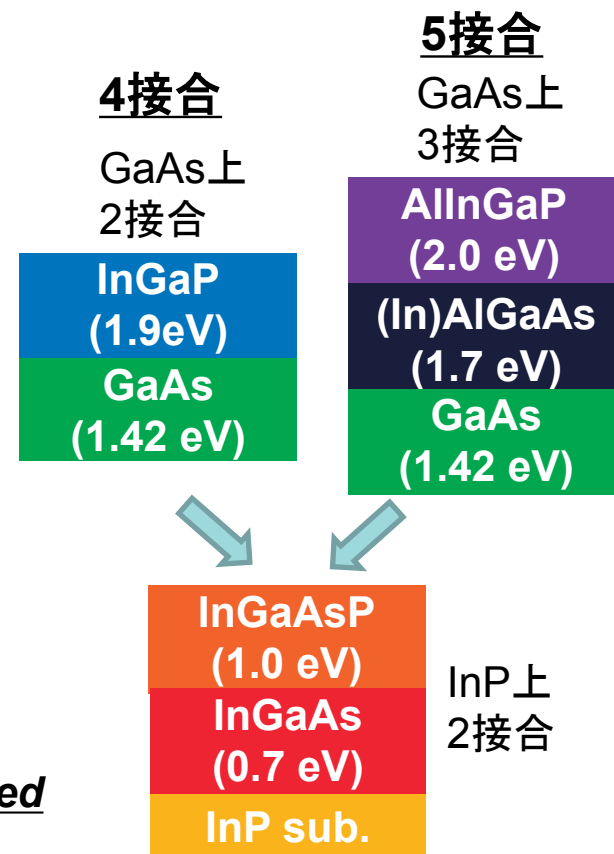
38.8 % : 1 sun

5 接合, R. King, et al., Spectrolab.

・トップセル: GaAsベース 2、3接合  
AllInGaP/(In)AlGaAs/GaAs

・ボトムセル: InPベース2接合  
InGaAsP /InGaAs

Connected



# 現状接合技術の課題

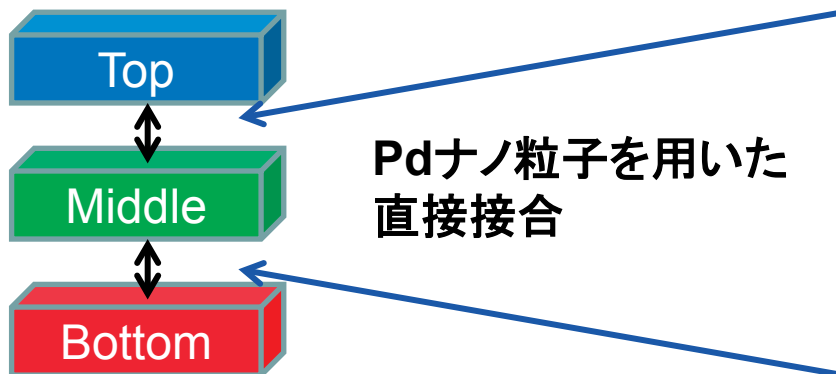
1. 表面平坦性 ( $\sim 1$  nm以下)  
III-V族同士なら問題ないが、**CIGS系との接合は困難。**
2. 高温プロセス:  $\sim 400^{\circ}\text{C}$   
SiとIII-Vは熱膨張係数が異なるので、**Siとの接合は困難。**  
(最近は室温の報告例も。)
3. 接合面にトンネル接合層を作る必要あり。

★現状III-V族に特化しており、基板、成長層も高価

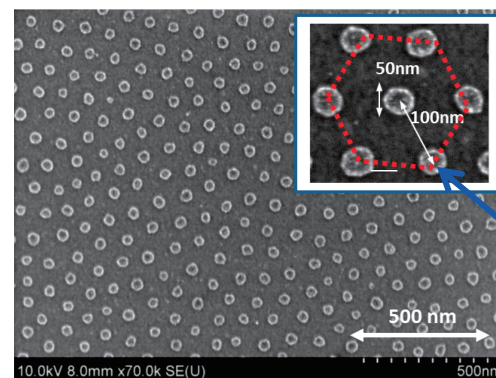
# 産総研のアプローチ

- 安価なサブセルをそれぞれ直接接合して、超高効率太陽電池を作りたい。

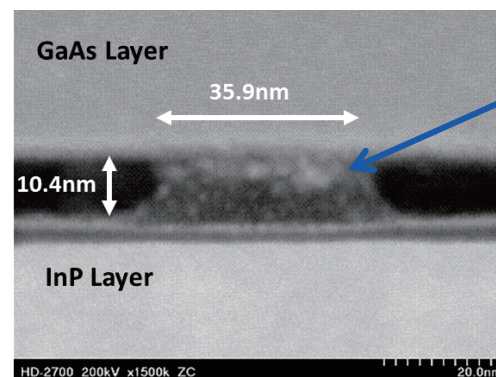
## スマートスタック技術



- 接合抵抗:  $< 1 \Omega\text{cm}^2$
- 光吸収損失:  $< \sim 2\%$

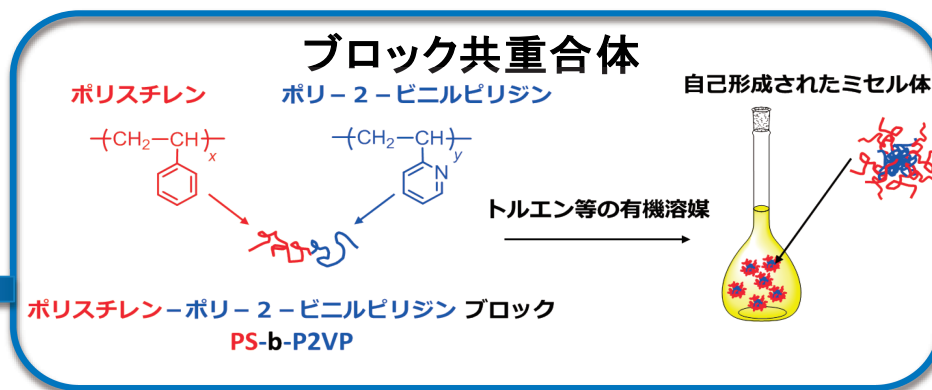


Pdナノ  
粒子

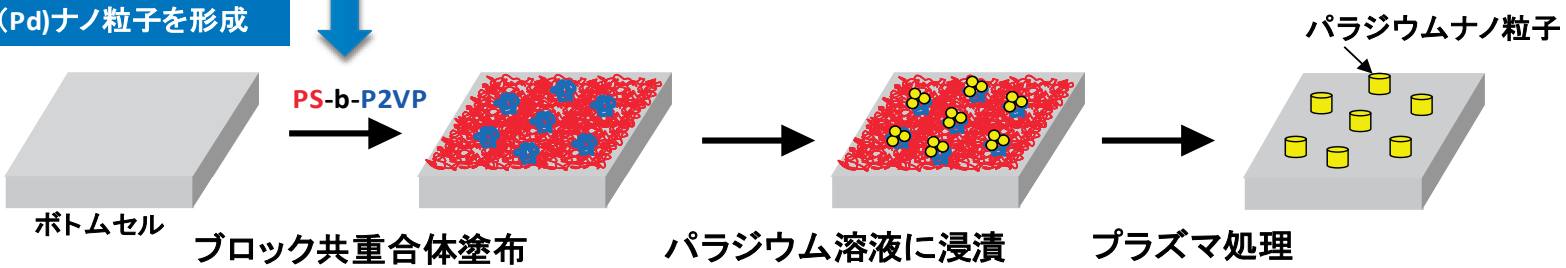


# Pdナノ粒子作製工程

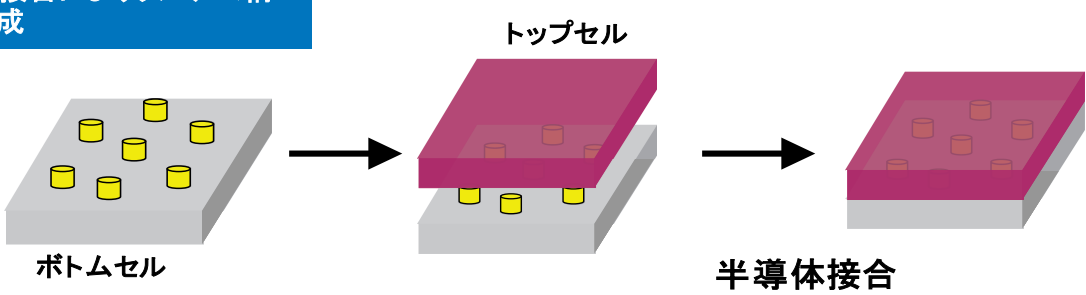
H. Mizuno et al., Appl. Phys. Lett. **101**, 191111 (2012).



第1工程：  
ブロック共重合体を用いてパラジウム (Pd) ナノ粒子を形成



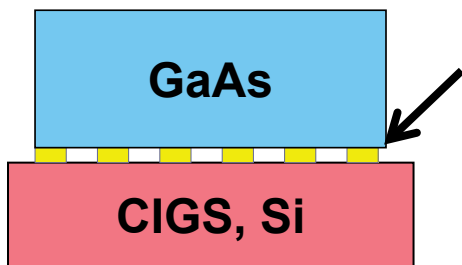
第2工程：  
半導体接合によりタンデム構造を形成



本製法は、III-V族、Si、CIGS、Ge等、主要な太陽電池材料に適用可能



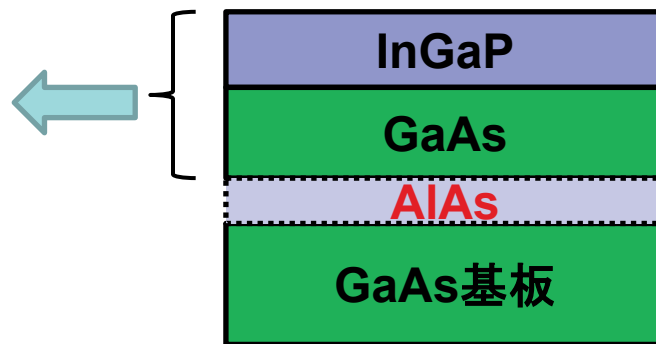
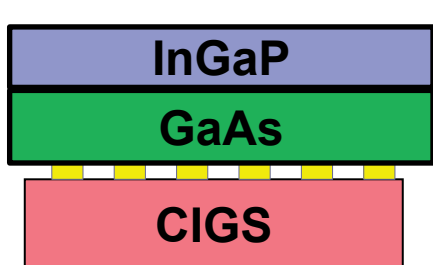
# 産総研スマートスタック技術の特徴



## Pd ナノ粒子を用いた直接接合

- ・異種基板の接合が室温で可能。Siも可。
- ・CIGSのようなラフネスを持つ基板でも可能。
- ・界面トンネル接合層もいない。

## III-V on CIGSの作製法



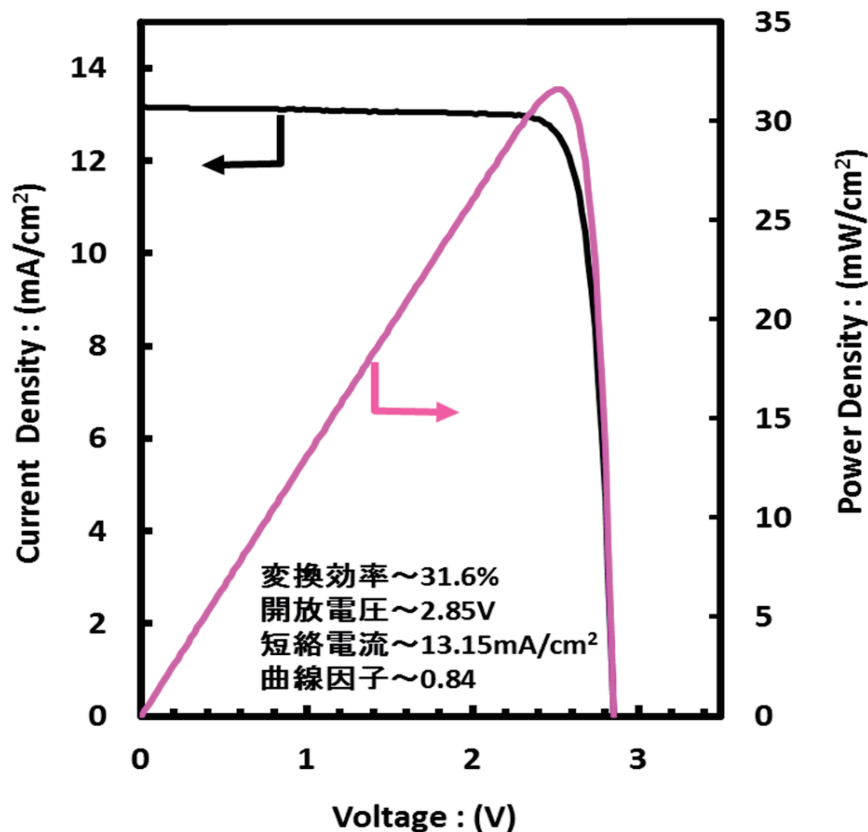
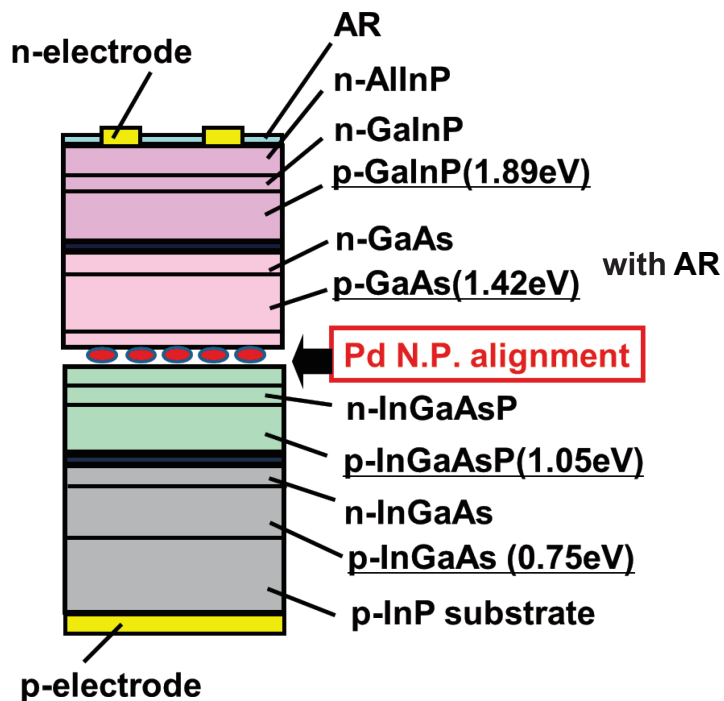
結晶成長

Epitaxially lift off (ELO)

※基板の再利用可

# III-V族 4接合太陽電池

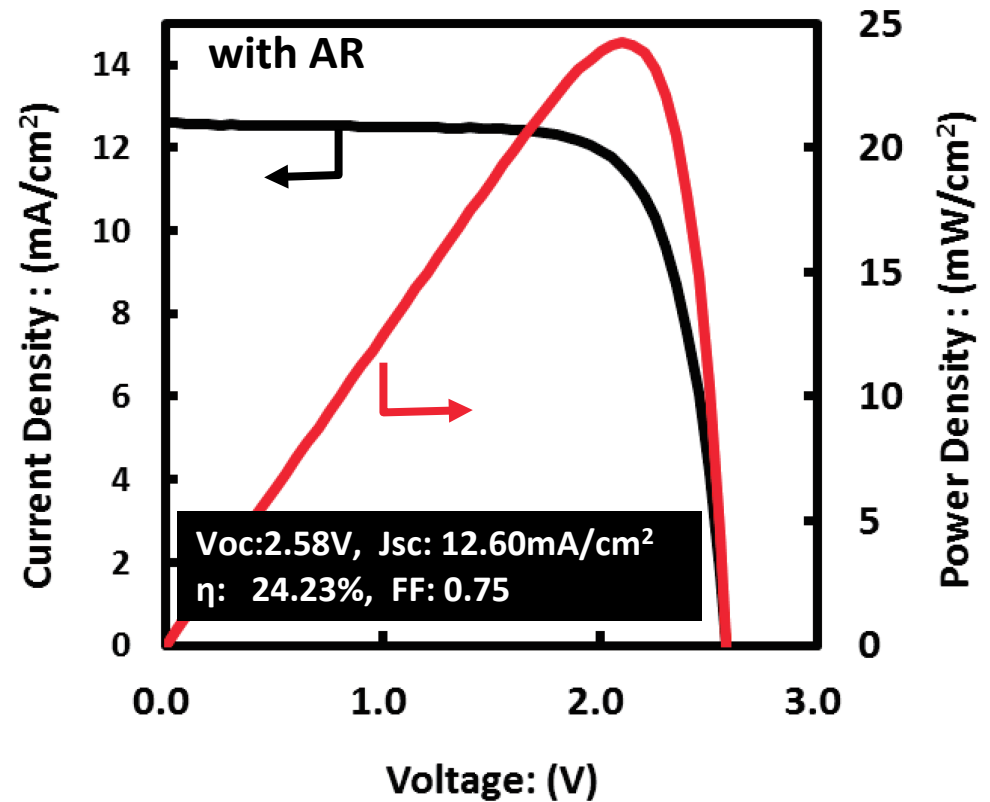
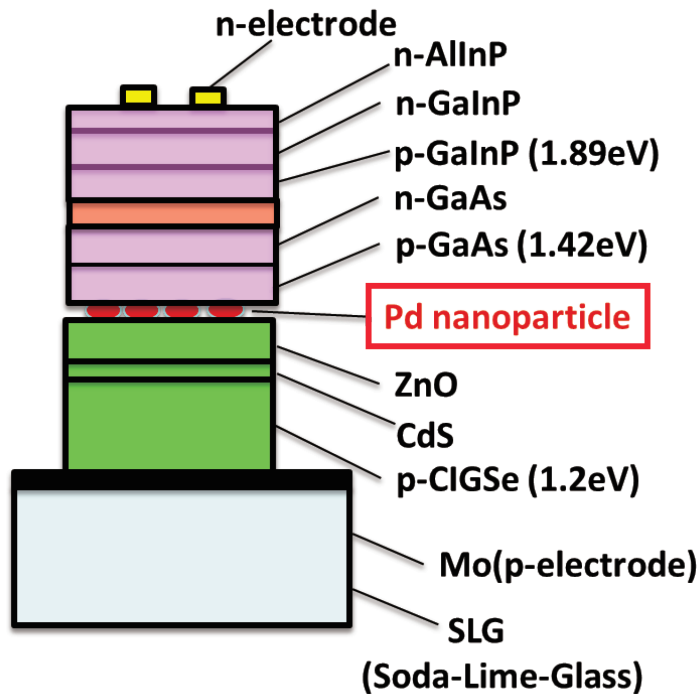
## GaInP/GaAs/InGaAsP/InGaAs 4接合太陽電池



**変換効率: 31.6%**

# GalnP/GaAs/CIGSe 異種3接合

## GalnP/GaAs/CIGSe 異種3接合太陽電池特性



**変換効率: 24.2%**

# 信頼性テスト

## ① 加速劣化試験

・ストレス条件

温度条件:  $138^{\circ}\text{C}$ 、 $125^{\circ}\text{C}$ 、 $150^{\circ}\text{C}$

電流負荷条件:  $20\text{mA}/\text{cm}^2$

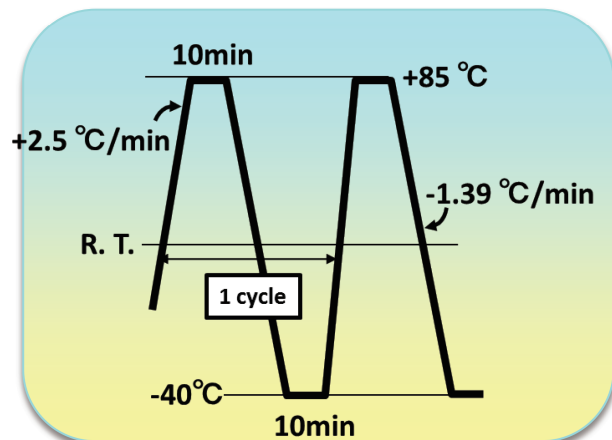
時間: 0 -  $100\text{ hours} \sim 1000\text{hrs}$

## ② 温度サイクル試験

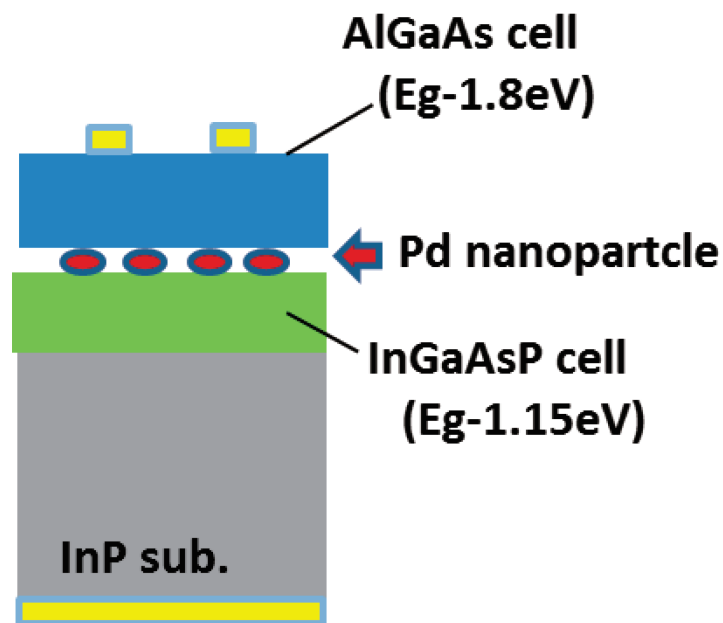
・ストレス条件

温度条件:  $-40^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 85^{\circ}\text{C}$

サイクル回数:  $200\text{ cycles}$



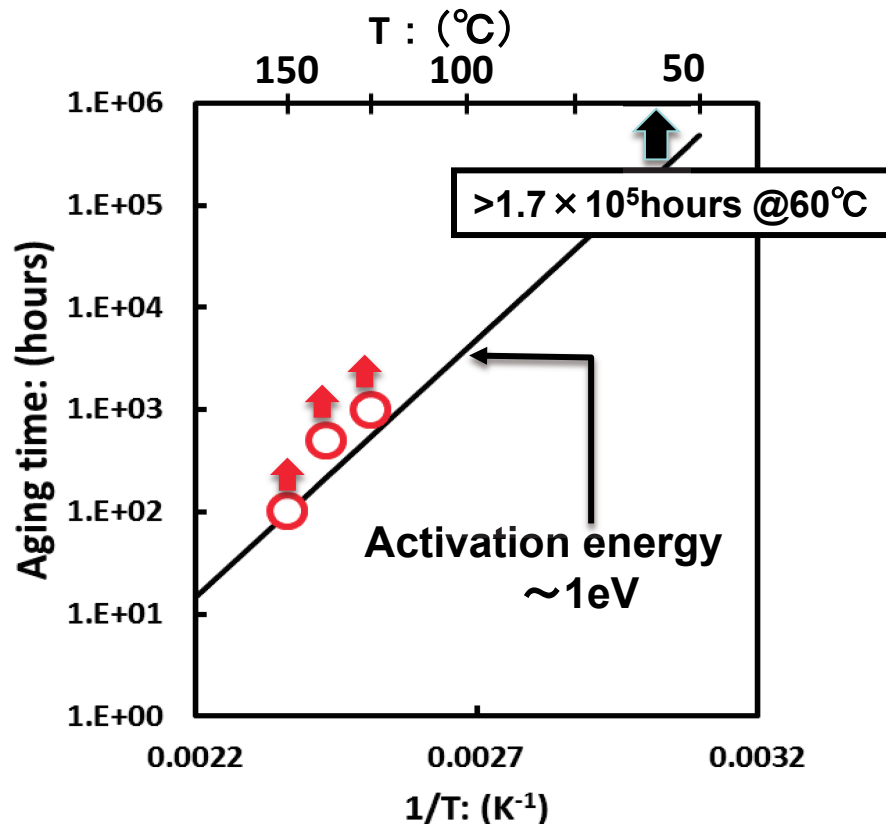
## Test samples



AlGaAs/InGaAsP 2-junction solar cells

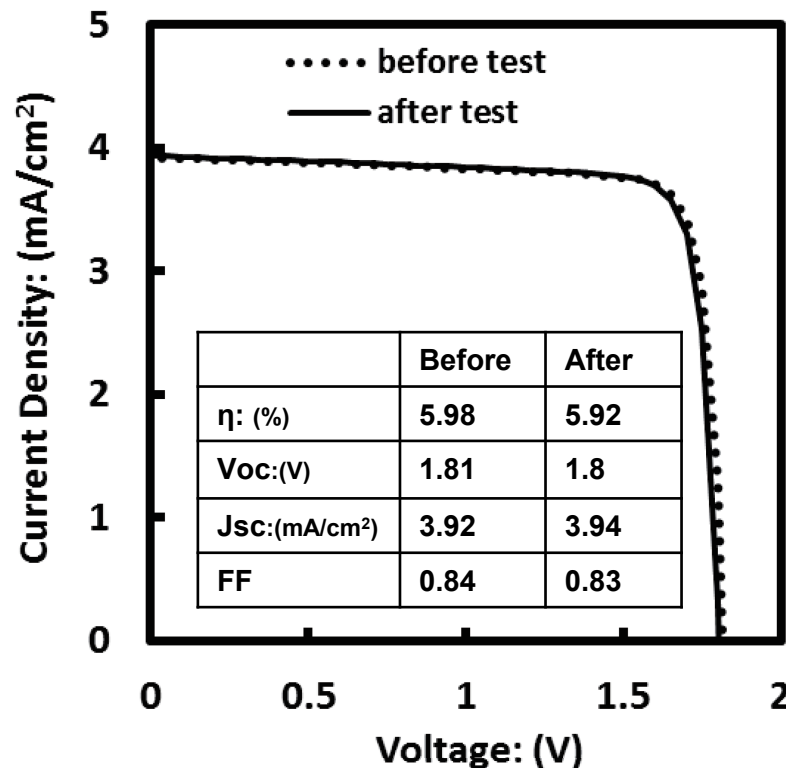
# 信頼性テスト

## ① 加速劣化試験



## ② 温度サイクル試験

$-40 \sim +85^{\circ}\text{C}$ 、200 cycles



・推定素子寿命 $\sim 17$ 万時間以上 $@60^{\circ}\text{C}$ (20年以上)  
 活性化エネルギー 1eV仮定

# まとめ

## 1. スマートスタック技術

さまざまな種類の太陽電池を簡単に直接接合

- ・III-V族 4接合太陽電池で変換効率**31.6%**を実現。
- ・優れた**温度耐久性**

## 超高効率化技術に関する発表

1. スマートスタック技術 —総括と今後の技術展開— : 牧田、P26
2. スマートスタック太陽電池の界面特性と接合機構 : 水野、P27
3. スマートスタック多接合太陽電池に向けた3接合トップセルの試作 : 望月、P28
4. 多重積層Ge/Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>量子ドットの作製と太陽電池応用 : 後藤、P14