

# 研究分野紹介 超効率化技術

太陽光発電工学研究センター  
先進多接合デバイスチーム  
菅谷 武芳

# 超高効率太陽電池

単接合太陽電池の理論効率を超える超高効率が期待される太陽電池

- ⇒
- ・中間バンド太陽電池(量子ドット、新材料)
  - ・ホットキャリア
  - ・多重キャリア生成

以上はまだ原理検証段階

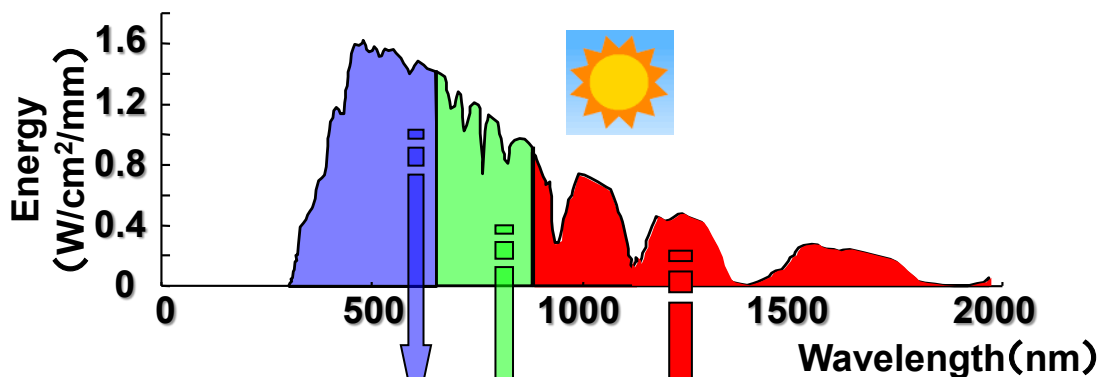
- ・多接合太陽電池

宇宙用、集光用で実用段階

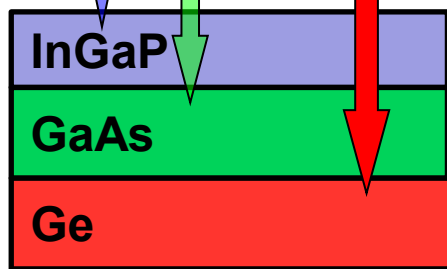
# 超高効率太陽電池

- ・集光、宇宙用 InGaP/GaAs/Ge 3接合  
変換効率: ~30%

市場規模: 集光 53 MW (2013年)  
宇宙 0.8 MW



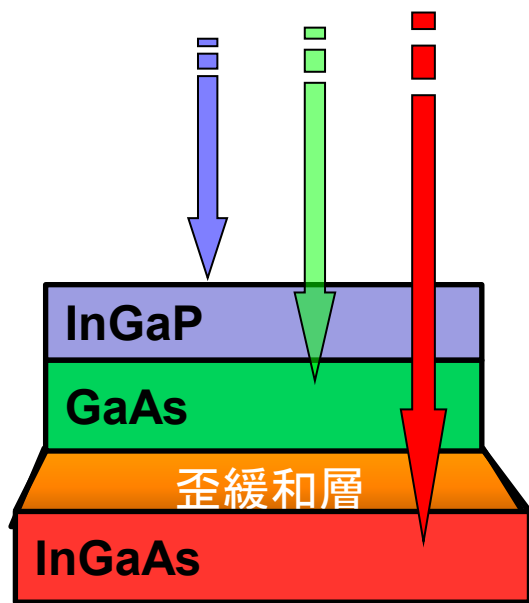
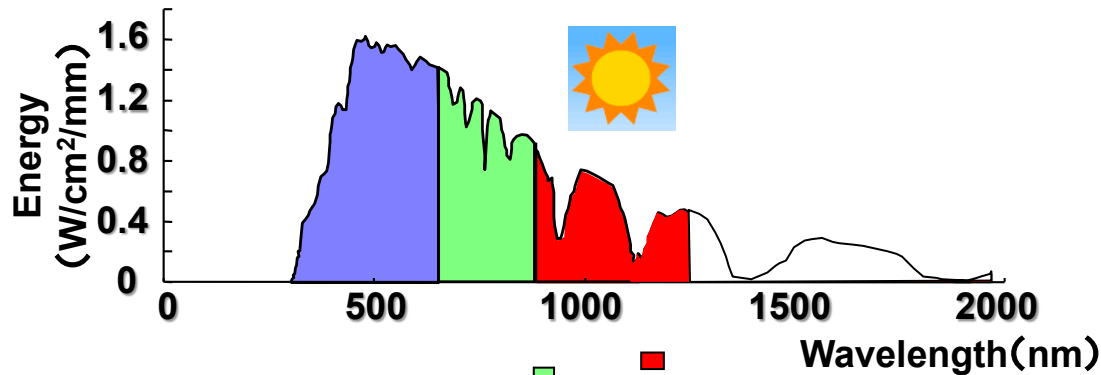
格子整合系



※直列接続: Vocは各セルのVocの和

電流ミスマッチがあり、  
超高効率化には限界。

# 超高効率多接合太陽電池



**Sharp**

2013年9月までW. R.

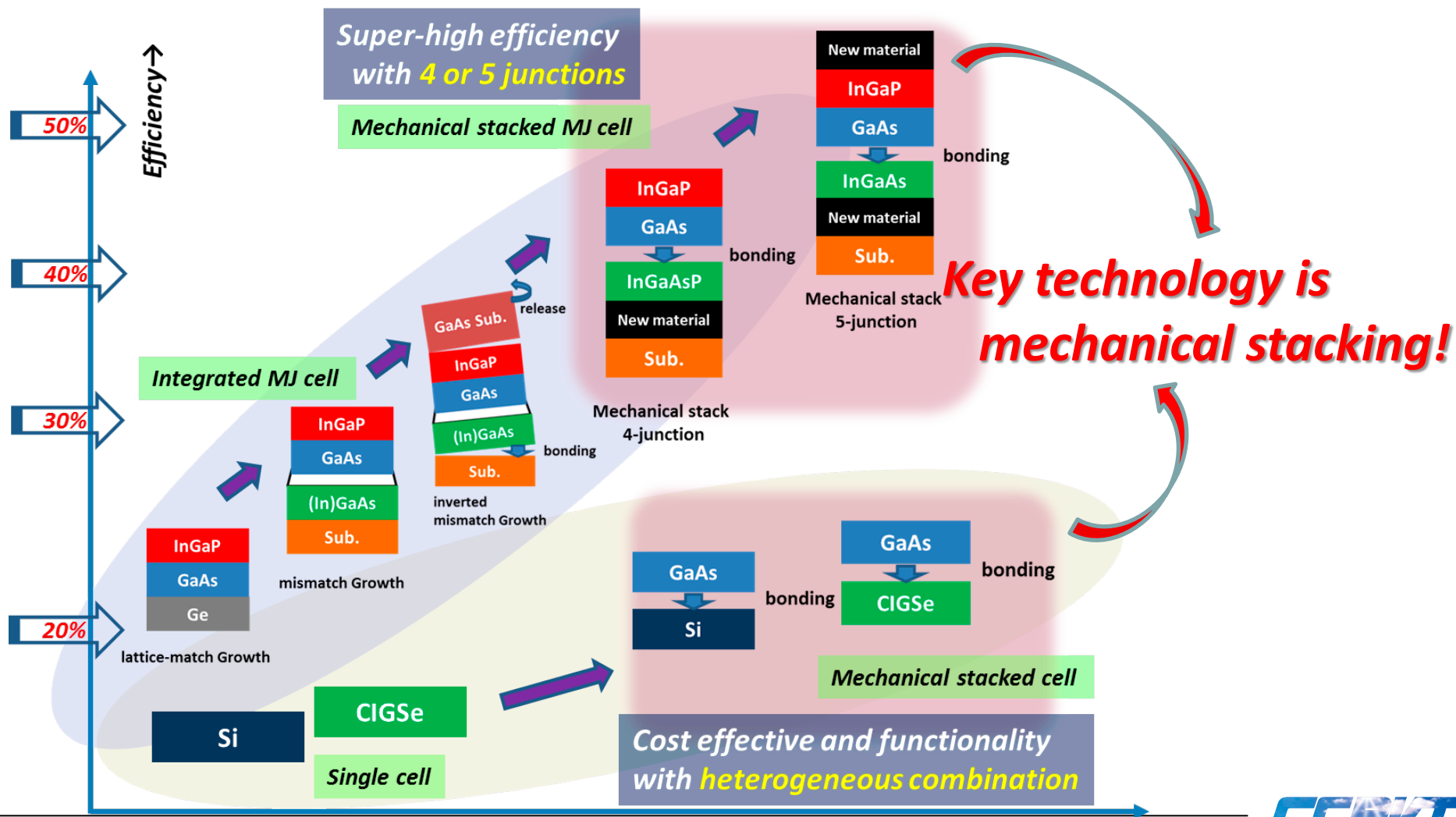
**逆積み歪緩和成長技術**

**44.4 % : 集光**

**37.9 % : 1 sun**

# 超高効率多接合太陽電池

## Trend of Multi-junction solar cells



# 超高効率多接合太陽電池

## ★半導体接合技術

GaAs、InP上成長層の接合

### 超高効率4、5接合 太陽電池

44.7 % : 集光,

4 接合, A. W. Bett, et al., Fraunhofer

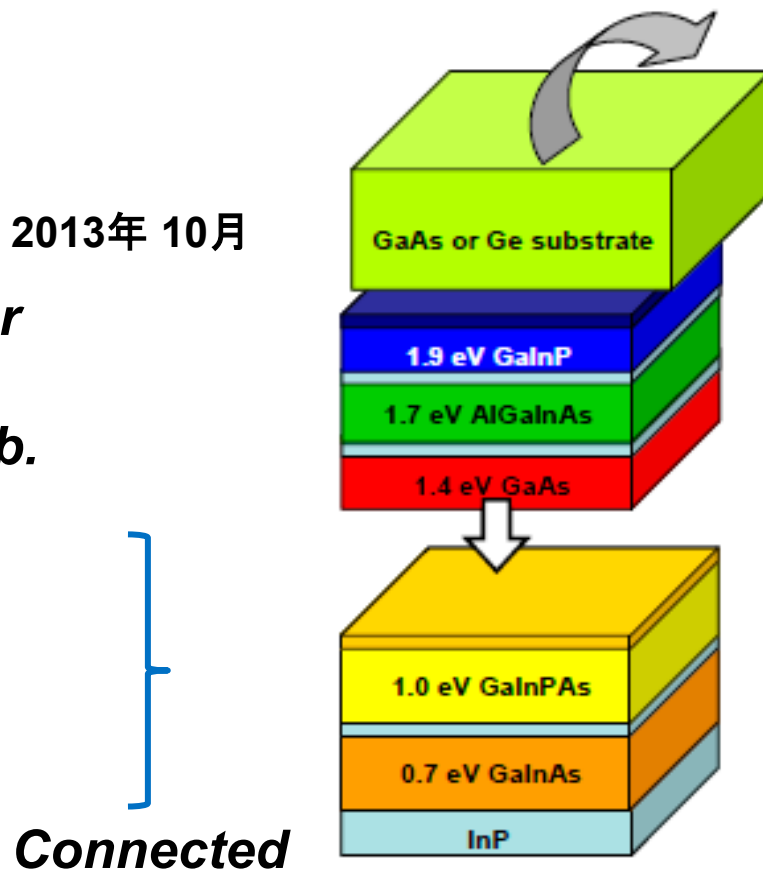
38.8 % : 1 sun

5 接合, R. R. King, et al., Spectrolab.

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

・ボトムセル: InPベース2接合  
InGaAsP / InGaAs

EU PVSEC 2013年 10月



# 現状接合技術の課題

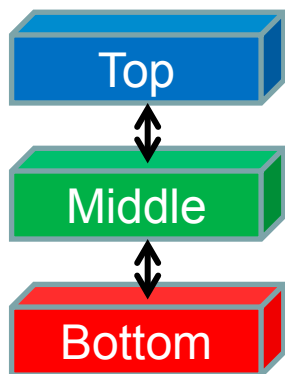
1. 表面平坦性 ( $\sim 1$  nm以下)  
III-V族同士なら問題ないが、**CIGS系との接合は困難。**
2. 高温プロセス:  $\sim 400^{\circ}\text{C}$  (Spectrolab)  
SiとIII-Vは熱膨張係数が異なるので、**Siとの接合は困難。**
3. 接合面にトンネル接合層を作る必要あり。

★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

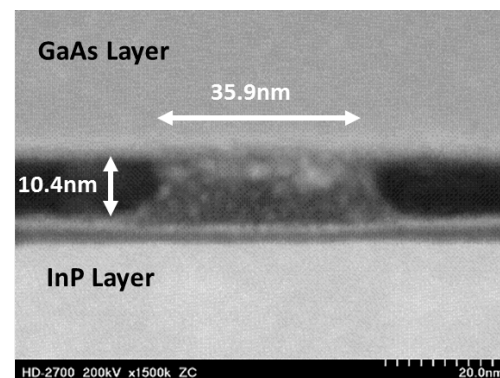
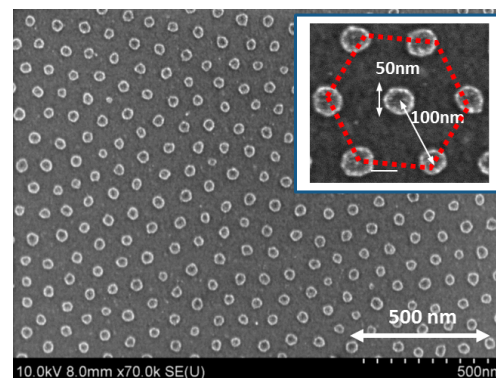
- 安価なサブセルをそれぞれ直接接合して、超高効率太陽電池を作りたい。

## スマートスタック技術



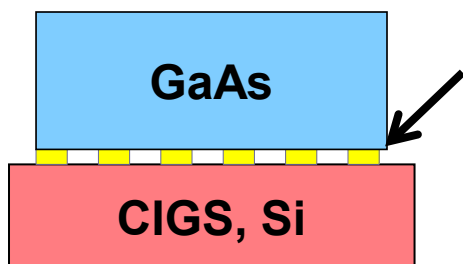
Pdナノ粒子を用いた  
直接接合

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





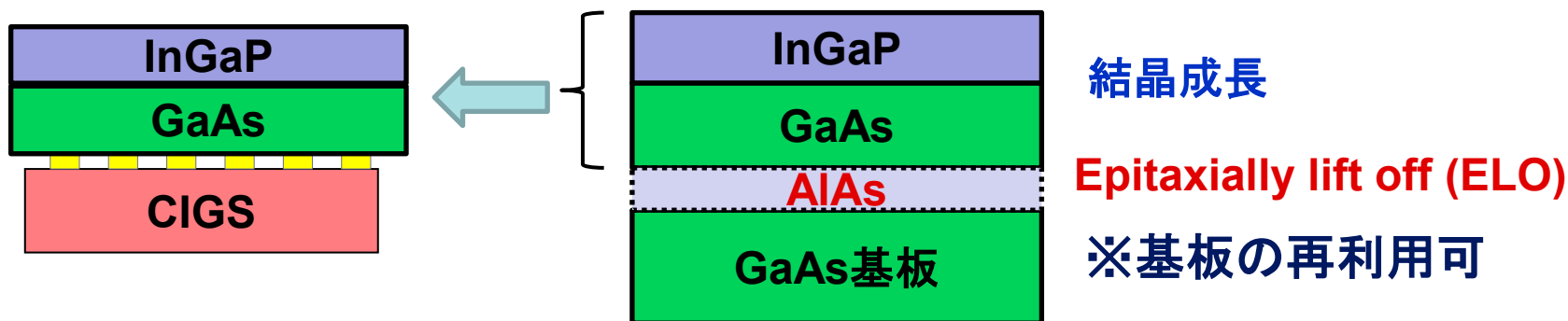
# 産総研スマートスタック技術の特徴



## 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**いらない**。

## III-V on CIGSの作製法



# 研究テーマ

トップセル

ボトムセル

トピックス講演

スマートスタック

InGaP/GaAs  
1.89 eV / 1.42 eV



▪ InGaAsP/InGaAs P2  
1.05 eV / 0.75 eV

▪ InGaAsP (1.0 eV) P1

▪ ClGSe (1.2 eV) P2  
トピックス講演

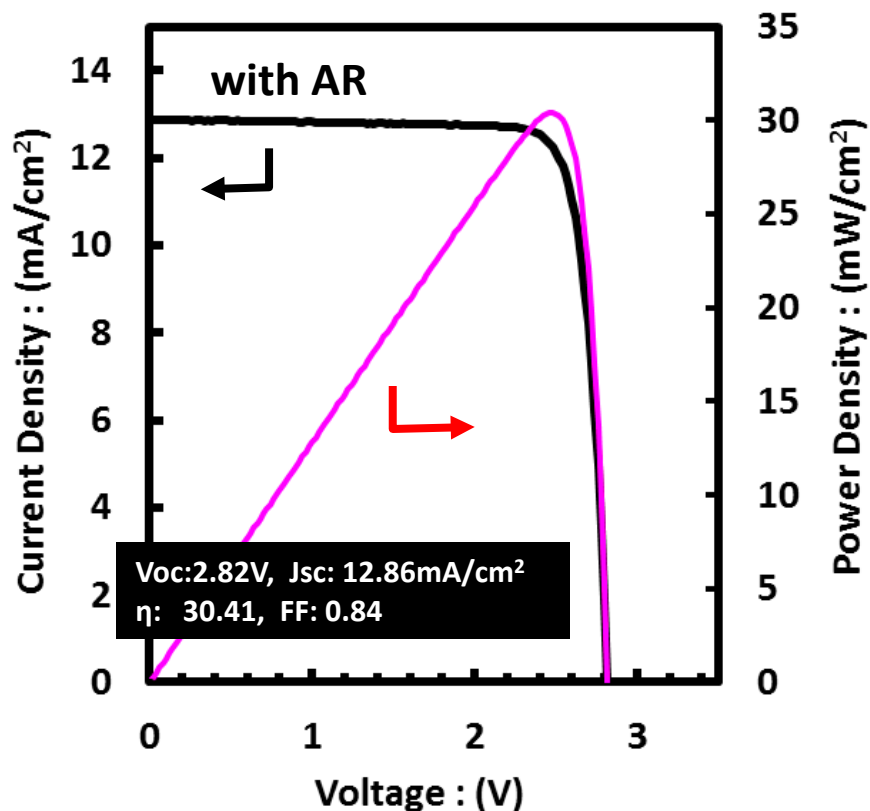
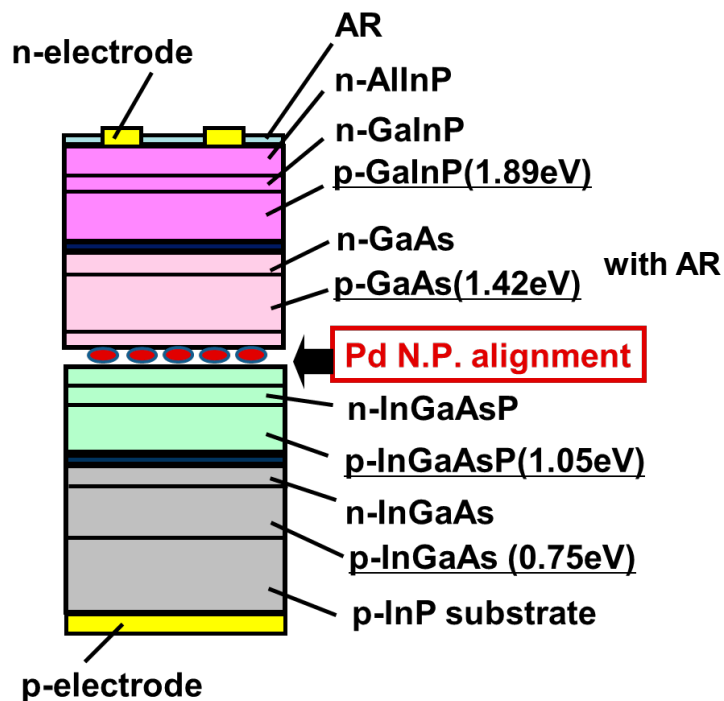
▪ SiGe (0.9~1.0 eV) P9

探索研究・Si/Ge量子ドット太陽電池 P10

# III-V族 4接合太陽電池

P2

## GalnP/GaAs/InGaAsP/InGaAs 4接合太陽電池

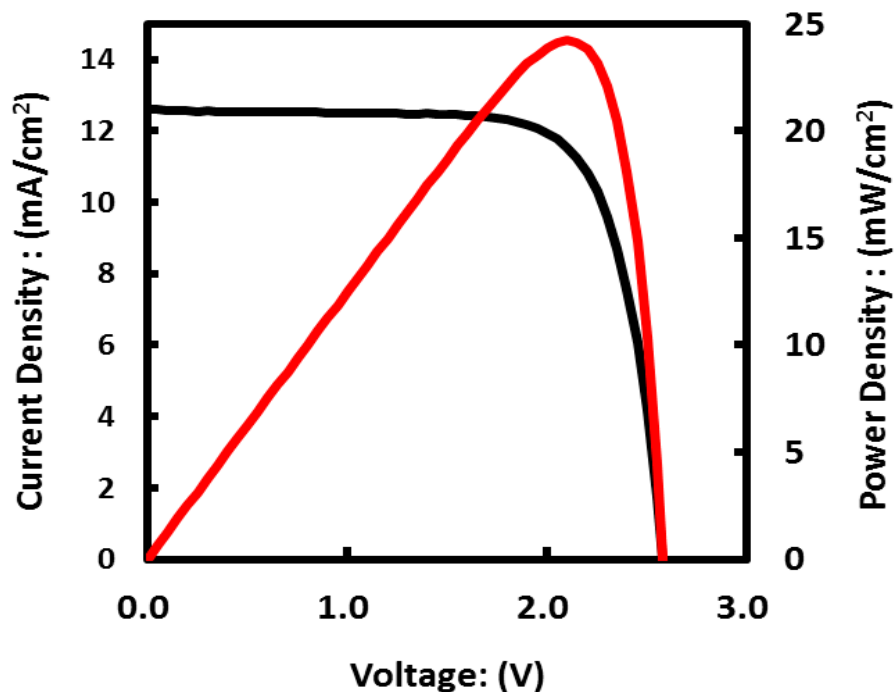
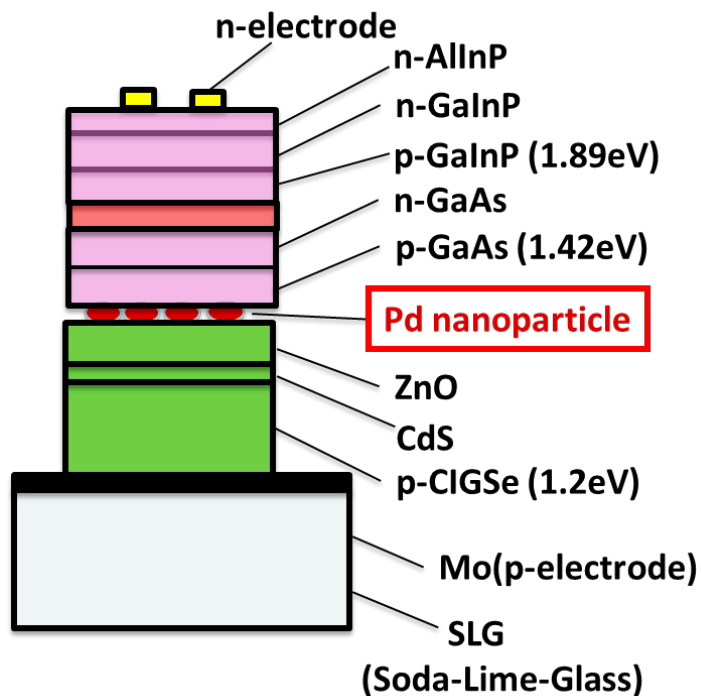


**変換効率: 30.4%**

# InGaP/GaAs/CIGSe 3接合

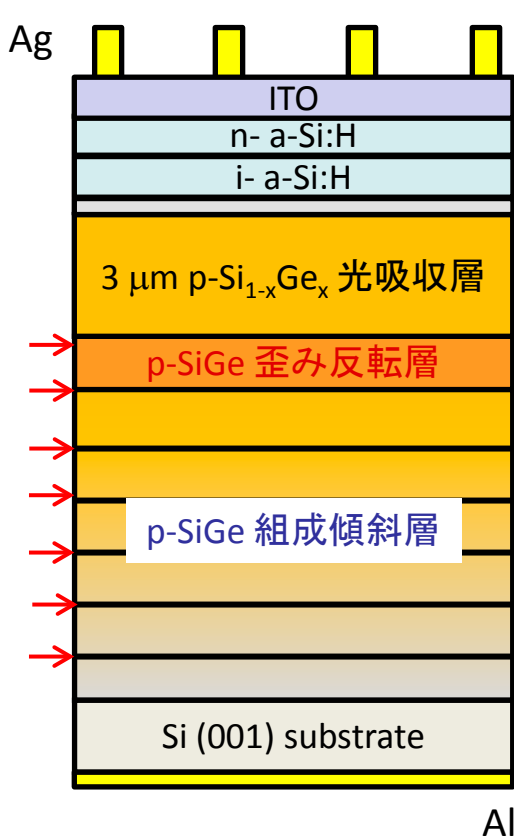
P2

## GaInP/GaAs/CuInGaSe 3接合太陽電池特性



**変換効率: 24.2%**

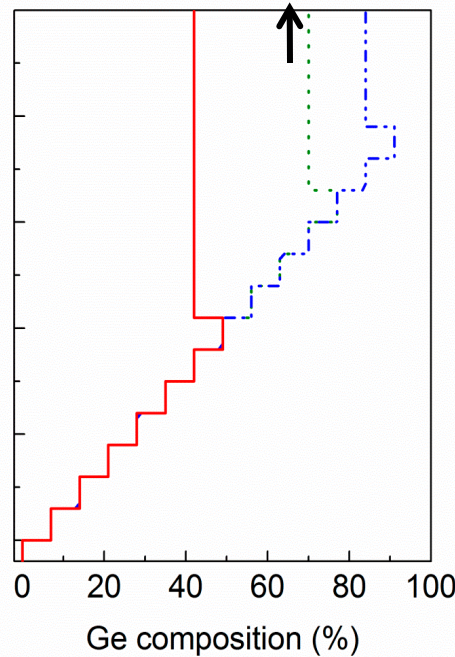
# Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>へテロ接合ボトムセル P9



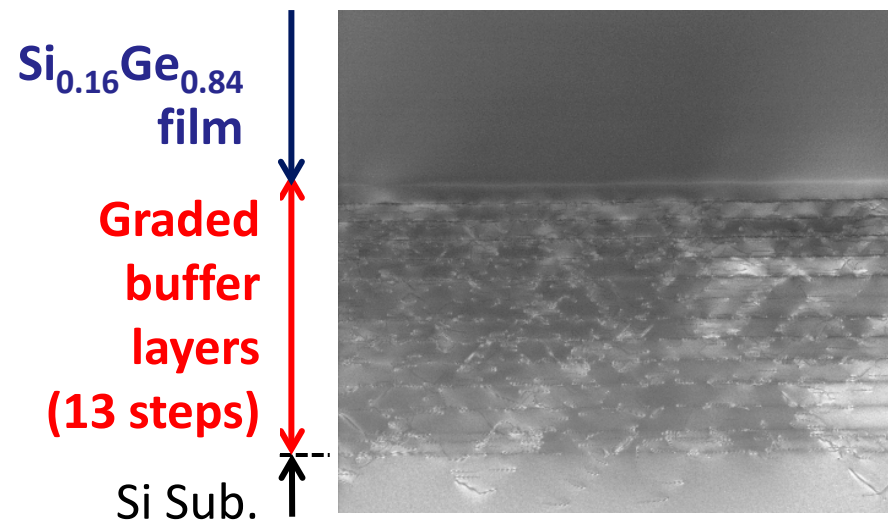
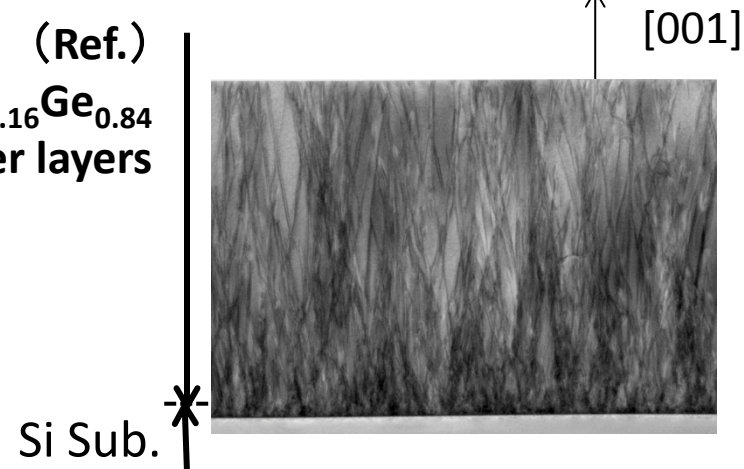
→ : アニール処理  
800°C, 1min40s

SiGe層 : 固体ソース  
a-Si層 : PECVD法

(Ref.)  
Si<sub>0.16</sub>Ge<sub>0.84</sub>  
w/o buffer layers

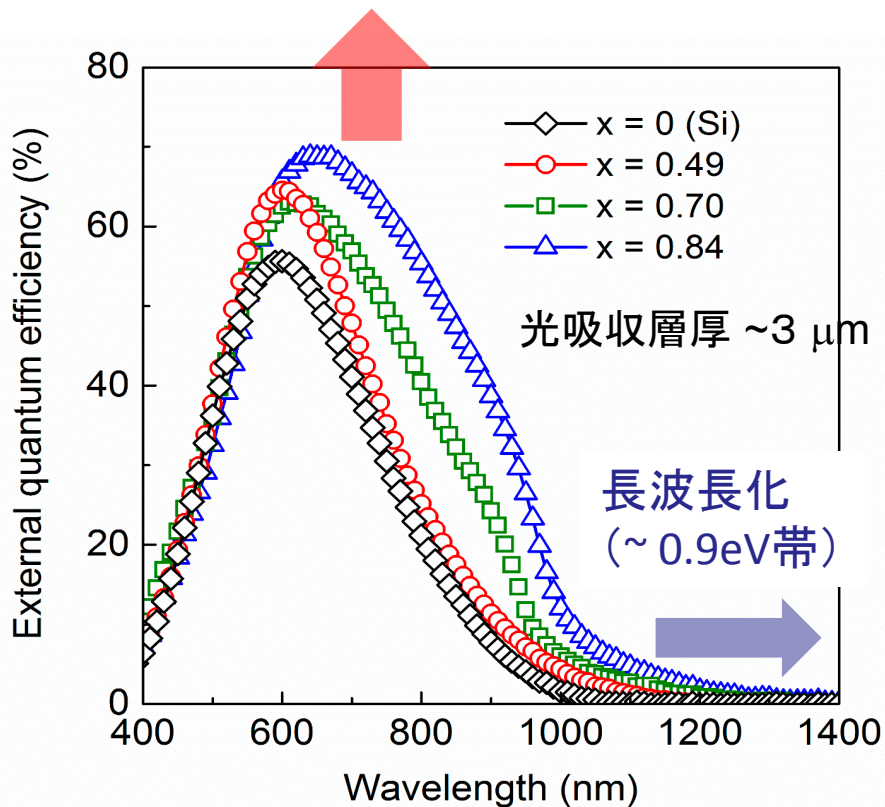


Cross-sectional TEM

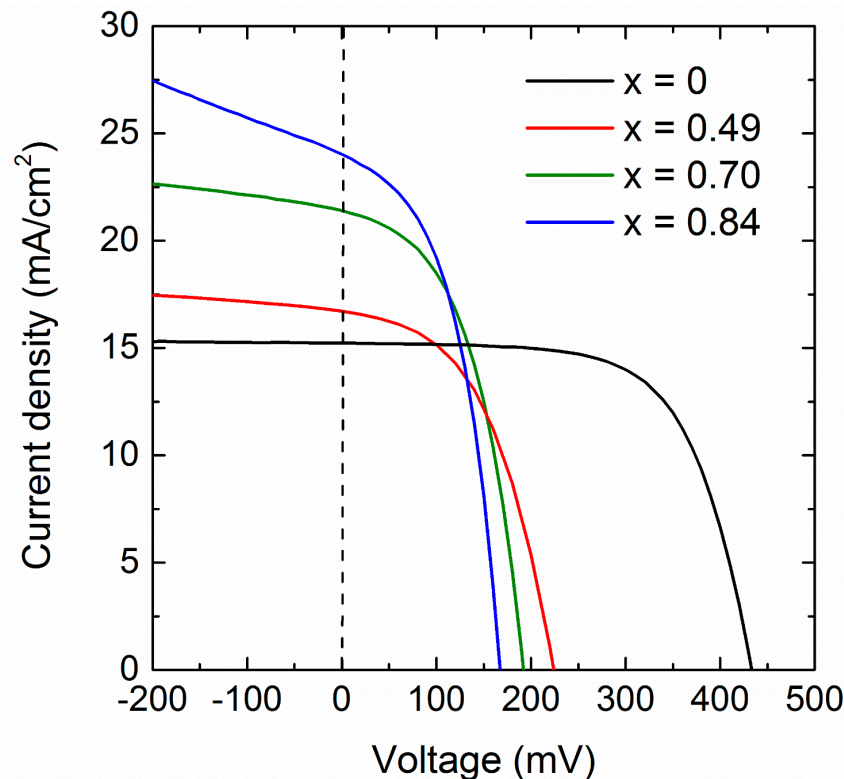


# Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>へテロ接合ボトムセル P9

吸収感度の増大



分光感度特性



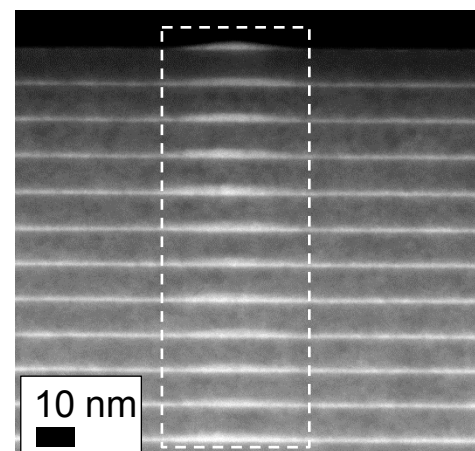
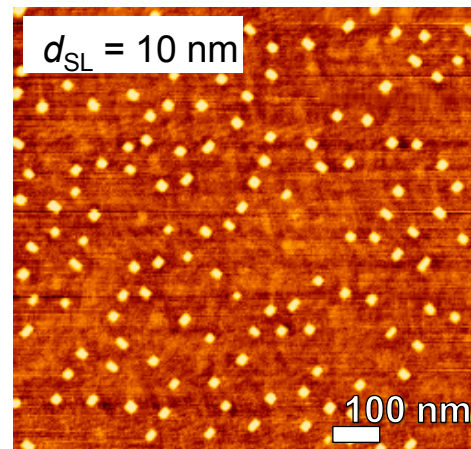
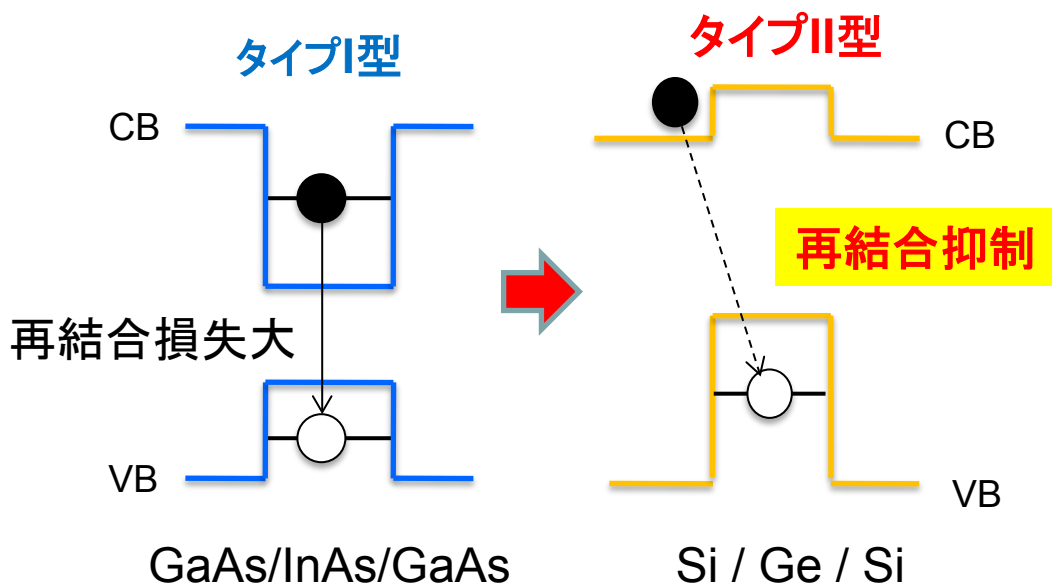
出力特性

★Ge組成70%以上( $\sim 1.0 \text{ eV}$ 以下)のSiGe太陽電池はこれまでほとんど報告が無い。

# タイプII型Si/Ge量子ドット太陽電池 P10

## Si/Ge量子ドット太陽電池

- ・Si基板を用いた中間バンド太陽電池
- ・タイプII型ヘテロ接合系  
(キャリア再結合の抑制効果)



Si/Ge量子ドット超格子

➡ 太陽電池、タイプII効果確認へ。

# RCPVTの超高効率化技術

## 1. スマートスタック技術

- ・III-V族 4接合太陽電池で変換効率**30.4%**を実現。
- ・InGaP/GaAs/CIGS 3接合で**24.2%**を実現。

## 2. ボトムセル用Si/Ge太陽電池

- ・組成傾斜バッファ層の導入で貫通転位密度低減。
- ・Ge組成増加による電流密度向上。

## 3. タイプII型Si/Ge量子ドット太陽電池

- ・高均一Ge量子ドット超格子の作製に成功。
- ・タイプII型効果の確認へ。