

太陽光発電工学研究センター成果報告会

平成25年6月4日

# 革新太陽電池の研究開発

Research Activities on  
Innovative Solar Cell Technology

発表者：松原 浩司

Koji Matsubara

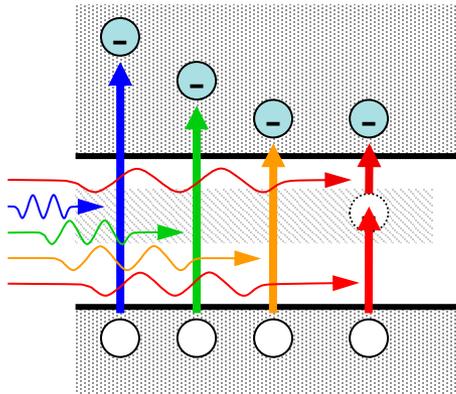
# 革新太陽電池技術

単接合太陽電池の理論効率を超える高効率が期待される新概念・新技術

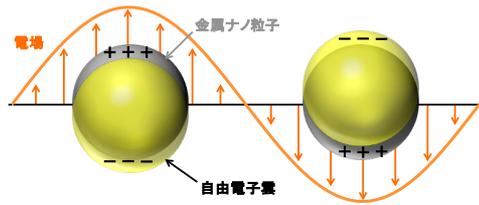


全太陽光の有効利用

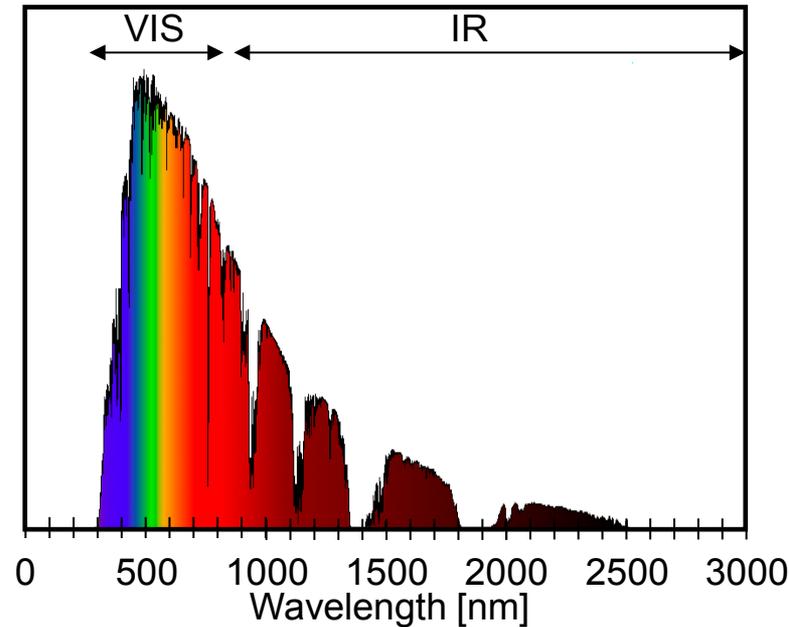
・新概念



中間バンド  
(量子ドット)



プラズモン共鳴

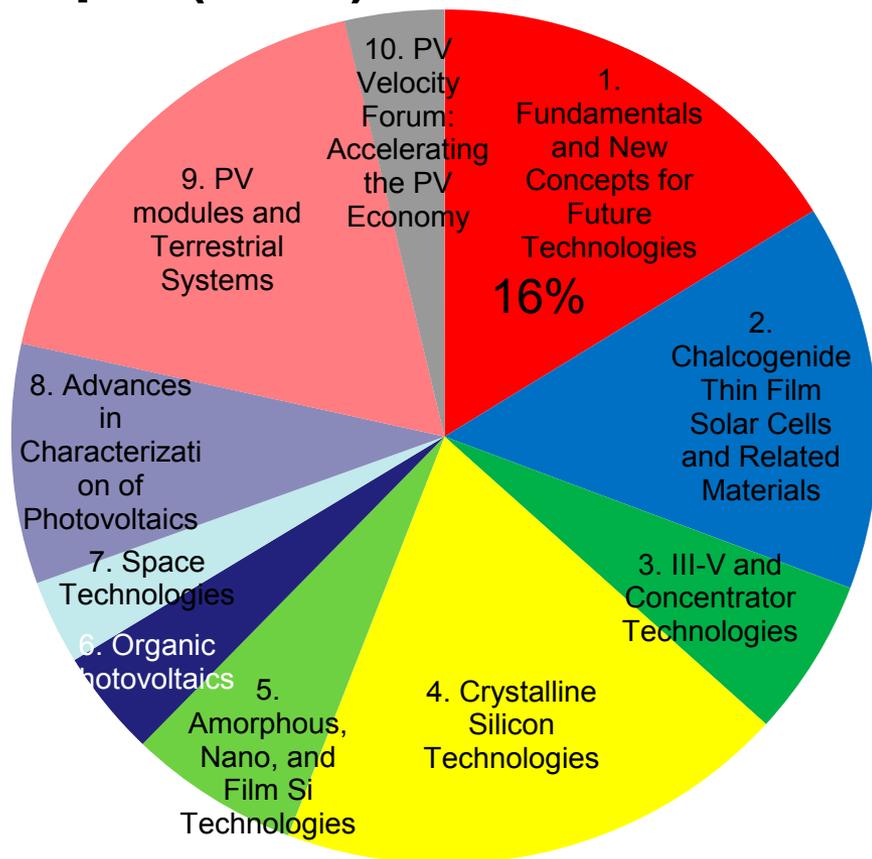


・新材料

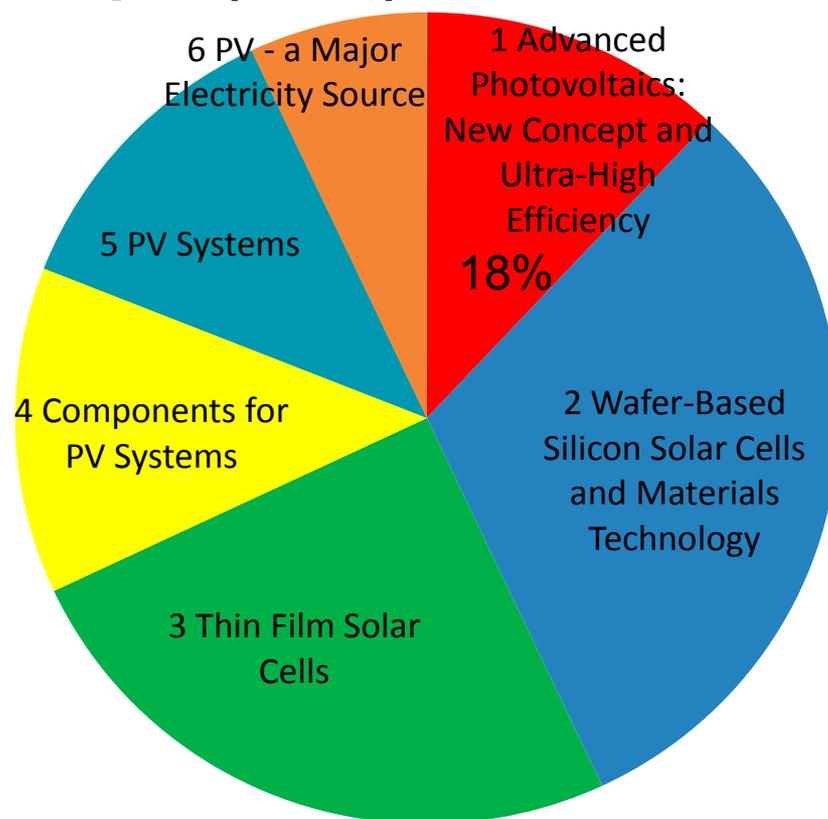
短波長利用ワイドギャップ  
長波長利用ナローギャップ

# 国際会議における発表傾向

## 38<sup>th</sup> IEEE PVSC Conference Topic (2012)



## 27<sup>th</sup> EU-PVSEC Conference Topic (2012)



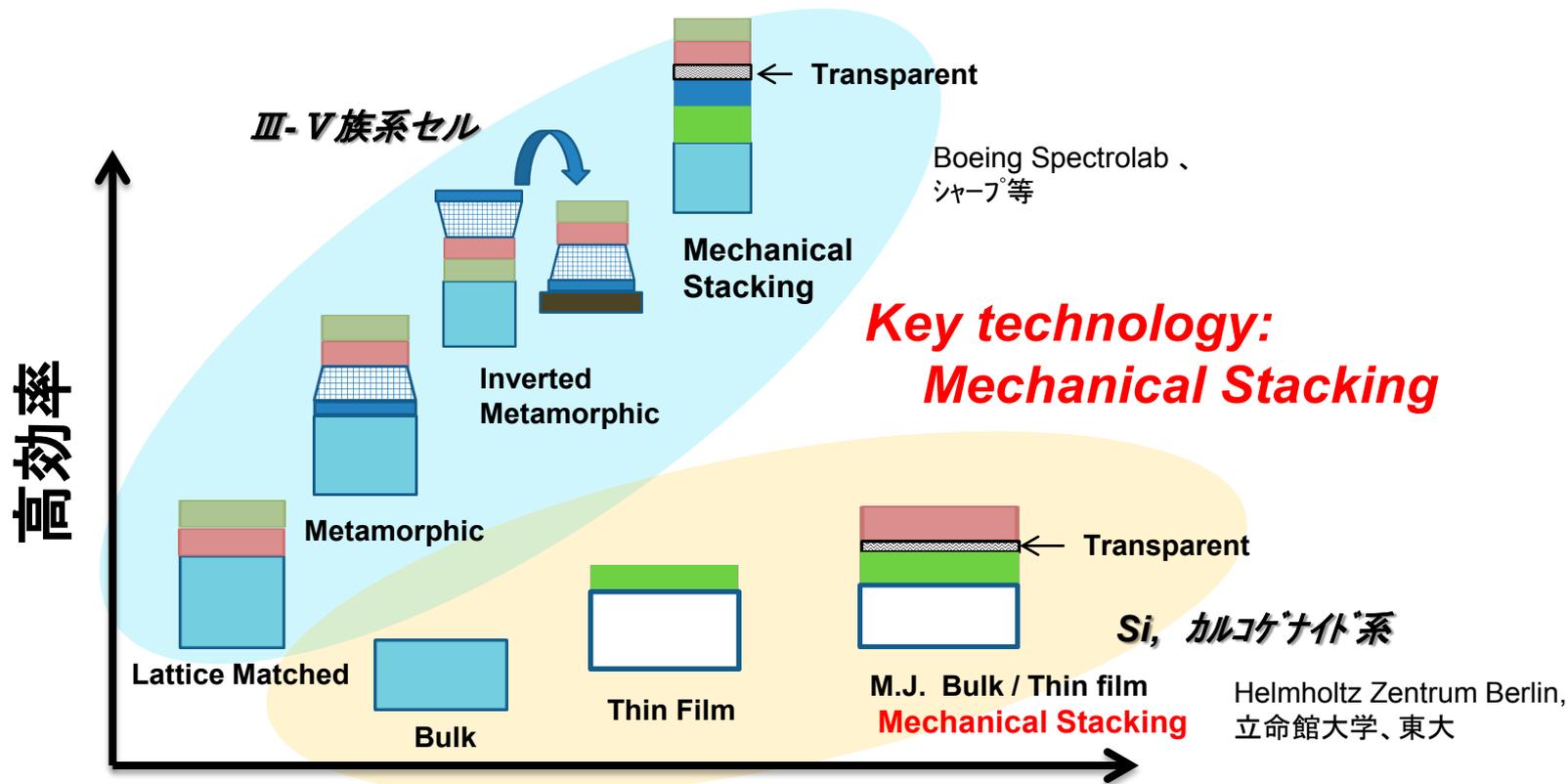
# 光の有効利用法

- 多接合(直列接続)
  - 2端子(電流整合)
  - 4端子以上
- 波長分割(並列接続)
- 高度光利用技術
  - 光散乱技術
  - 波長選択(分割)技術
- 新概念
  - 中間バンド(量子ドット、新材料)
  - ホットキャリア
  - 多重キャリア生成

# RCPVTのアプローチ

- スマートスタック(メカニカルスタック)により、材料制約のない多接合太陽電池を作製して、非集光で超高効率を実現する。
- 量子ドット、ナノ構造など、新しい概念や原理を用いることで、太陽電池の飛躍的な効率向上を目指し、原理検証のような基礎的な研究から、材料開発、新しい作製方法の開発など広い範囲にわたって取り組む。

# 多接合による高効率化の流れ



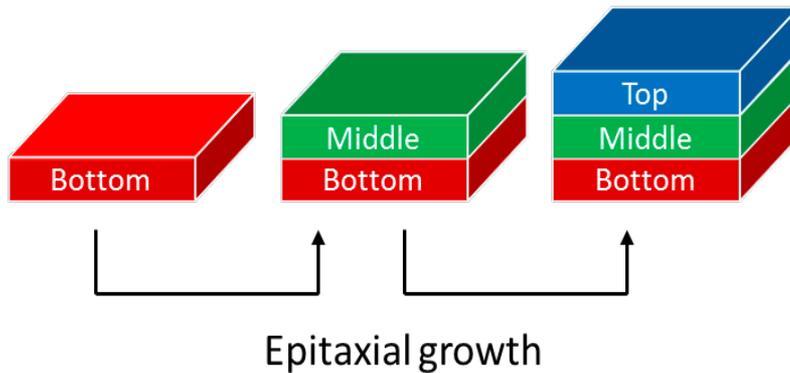
## Mechanical Stackingの利点

- ①超高効率の実現 接合数増大(3接合→4,5接合)
- ②低コスト、機能性拡大 材料多様化(低コストセル組み合わせ、フレキシブル、)

# Smart Stacking

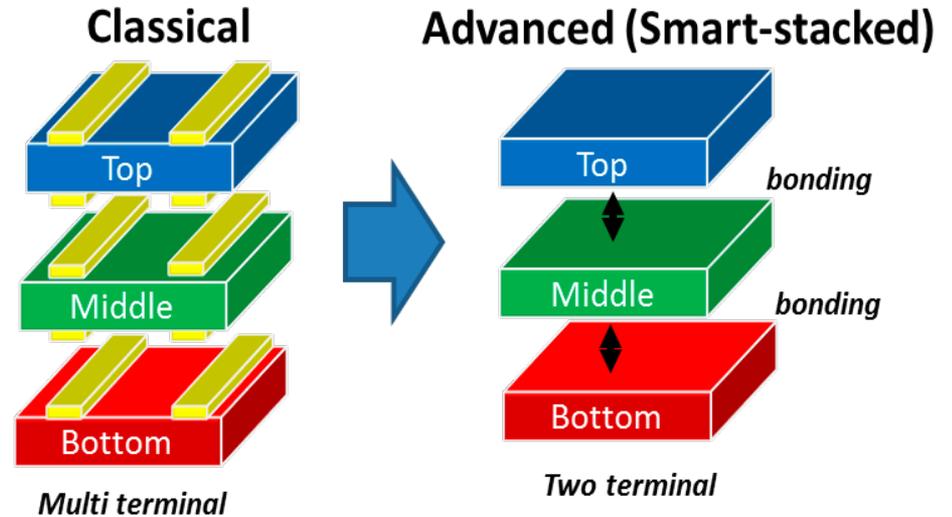
## Fabrication method

### Monolithic stacking



>40% efficiency realized  
III-V/Ge based systems  
→ expensive

### Mechanical stacking

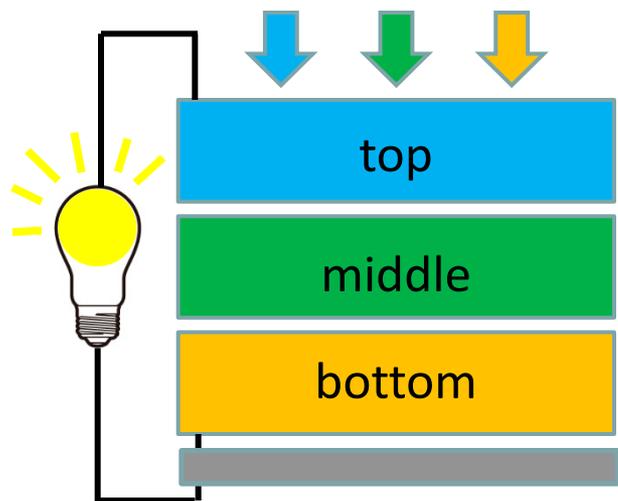


### Semiconductor bonding

Flexible materials choice  
→ inexpensive  
>40% efficiency possible

# Light management in stacked cells

## “Smart stack” solar cell



Mechanical stacking with  
optical & electrical connection

Light management issues:

- Anti-reflection
- Light trapping
- Spectrally selective scattering
- Highly reflective back contact
- Flat interface (favorable to stacking)

Our strategies:

- A. Flattened Light Scattering Substrate (FLiSS)
- B. Plasmonic light trapping

# FLiSS

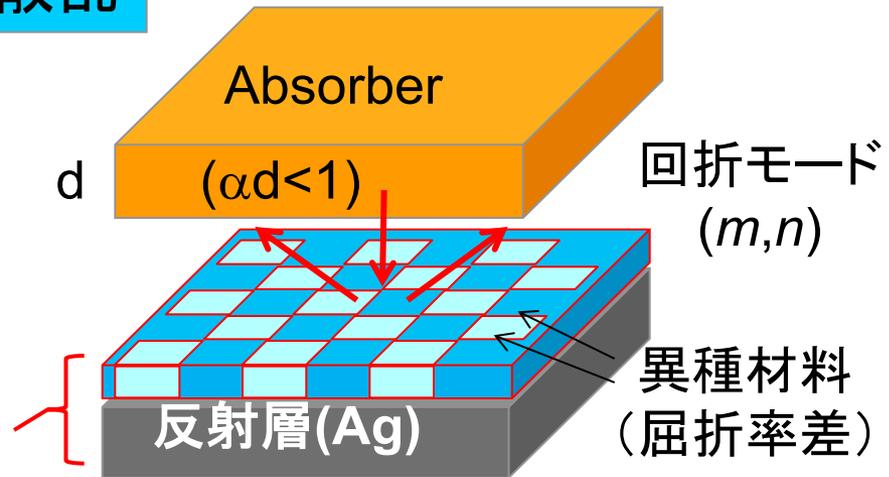
(Flattened Light Scattering Substrate)

コンセプト: 平坦で光散乱

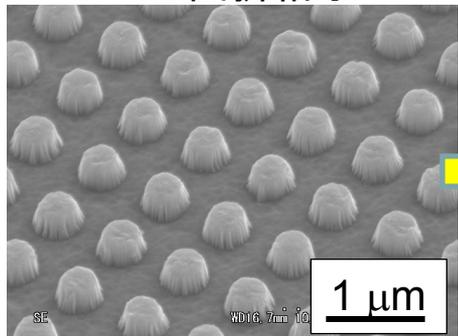
必要技術

- (1) パターニング
- (2) 埋め込み製膜
- (3) 平坦化

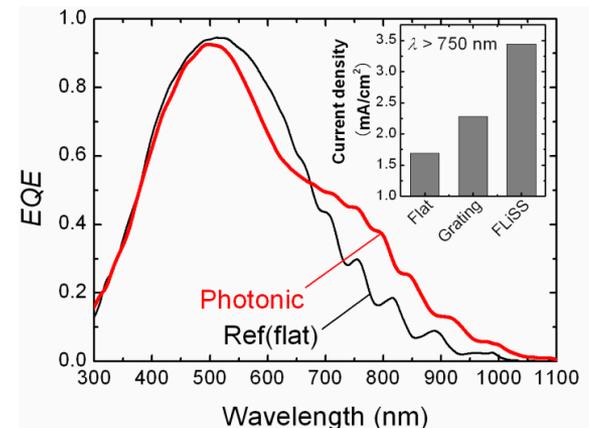
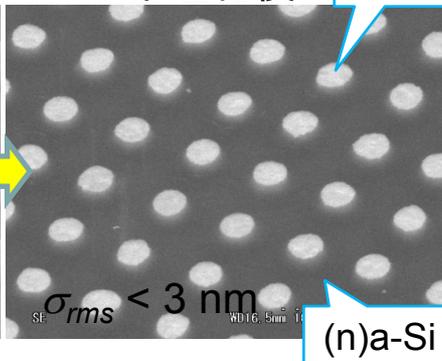
Photonic substrate



ZnO回折格子

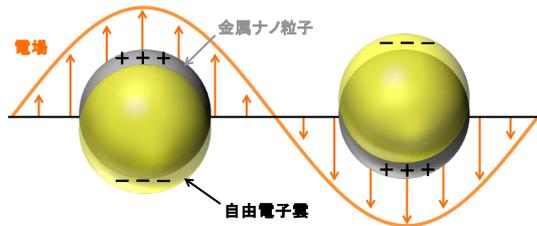


平坦化後



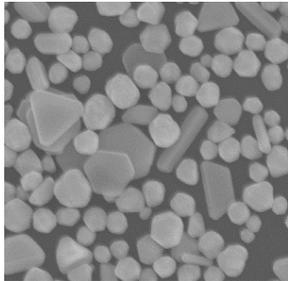
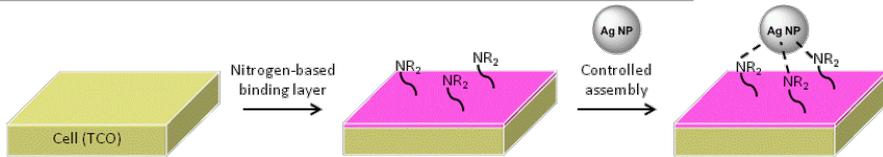
# プラズモン利用

## コンセプト: 局在表面プラズモン(LSP)の利用



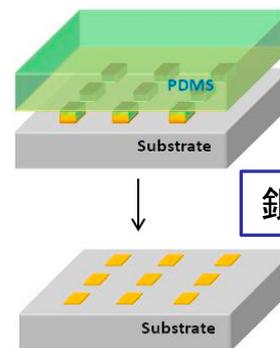
LSP =  
光吸収 + 光散乱

## 化学的手法による金属ナノ粒子作製

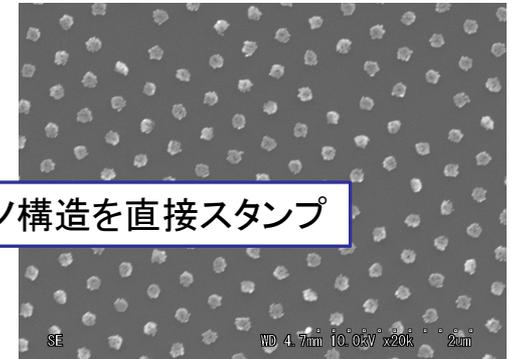


様々なサイズ・形状を有する銀ナノ粒子の合成とデバイス中への銀ナノ粒子導入量・配列の制御

## 構造設計への新手法導入



銀ナノ構造を直接スタンプ



# 中間バンド型量子ドット太陽電池

## 現状

- In(Ga)As/GaAs系等の化合物半導体量子ドット太陽電池による原理検証が活発
- 量子ドット構造を導入した太陽電池で20%程度の変換効率は報告されているが、量子ドットの寄与は非常に少ない。
- 量子ドット構造導入により $J_{sc}$ の上昇は見られるものの、 $V_{oc}$ が低下。

## 課題

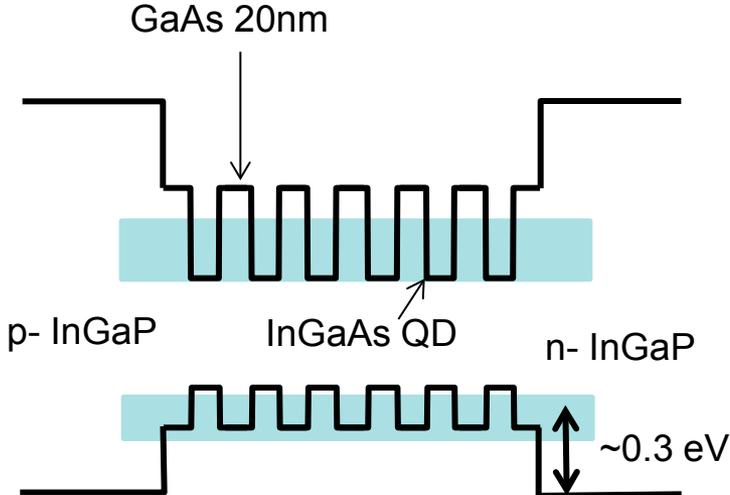
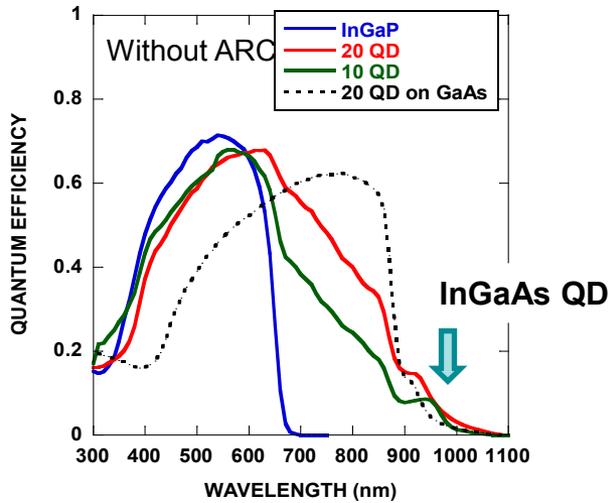
- 量子ドット構造導入による中間バンドの形成
- 中間バンドで生成されたキャリアの外部への効率的な取り出し
- 適切なバンド構造の実現
  - 理想的なバンドギャップの組み合わせ例: 1.9eV / 1.2eV / 0.7eV

# 量子ドット太陽電池の課題に対する取り組み

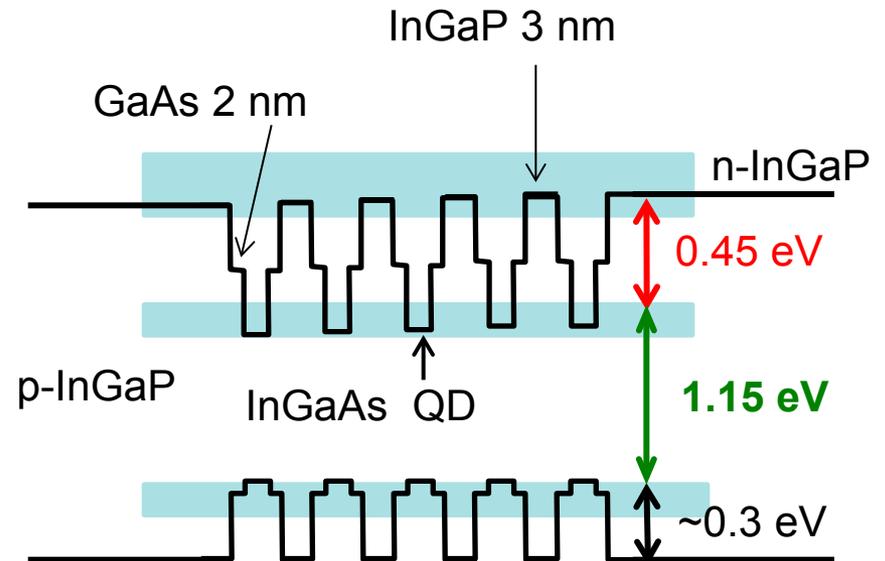
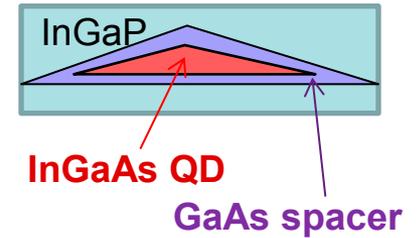
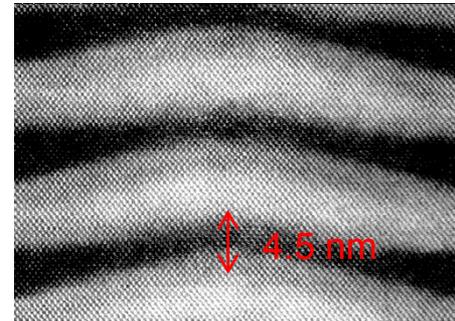
- 材料の選択
  - GaP系母材 ( $E_g=1.9\text{eV}$ ) の利用
- バンド制御
  - 中間バンド位置の制御
- Type II バンド構造
  - Ge/Si量子ドット

# InGaP-based InGaAs QDSC (without InGaP barrier)

T. Sugaya et al., *Appl. Phys. Lett.* 101, 133110 (2012).



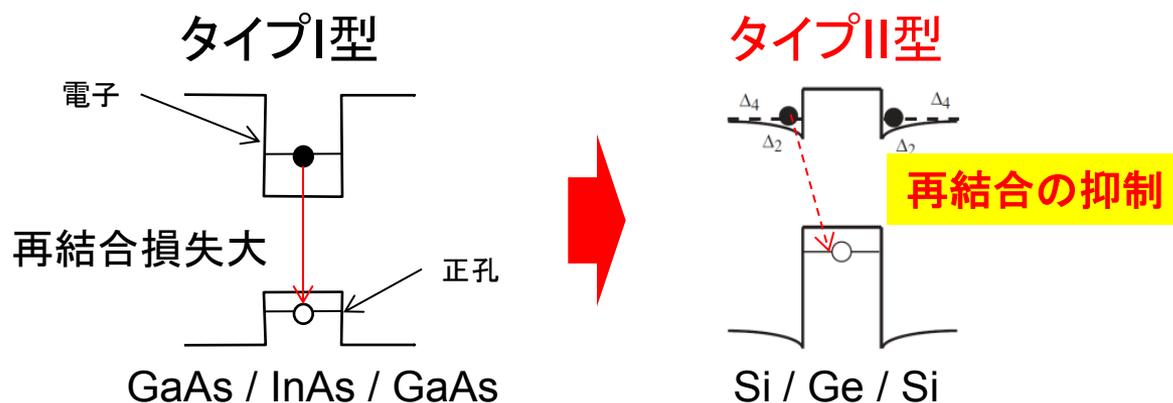
# InGaAs QD miniband



# タイプII型 Ge/Si量子ドット太陽電池

## Ge/Si量子ドット太陽電池

- 安価なSi基板を利用
- タイプII型ヘテロ接合系(再結合電流の抑制)
- Ge量子ドットの**高密度化**が課題



# RCPTVでの革新太陽電池技術

- ・ スマートスタック技術
  - 高性能(低抵抗、高透過率)接合技術を開発
  - 格子定数の異なるGaAs系とInP系の貼り合わせで22.5%を実証
- ・ 高度光利用技術
  - 3DシミュレーションによりFLiSSの高い光閉じ込めの可能性を提示
  - ナノインプリント技術を応用したプラズモニック光閉じ込めに挑戦
- ・ 量子ドット太陽電池
  - InGaAs in InGaP 量子ドット形成に成功
  - Ge in Si 量子ドット形成に成功
- ・ ナノ材料
  - Siナノ結晶、カーボンナノチューブなどを有機太陽電池に添加