

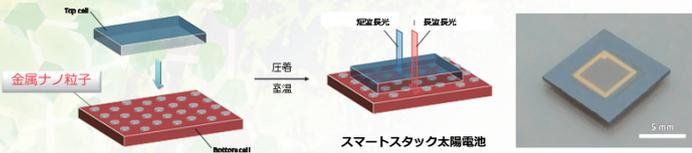
# スマートスタック太陽電池の界面特性と接合機構

水野 英範

産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 太陽光チーム

## スマートスタックとは？

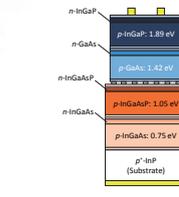
われわれが提案する多接合太陽電池の作製方法であり、その特徴は金属ナノ粒子配列を異種太陽電池の接合媒体として用いていることである。[1]



本発表はスマートスタック接合における界面特性・接合機構について報告する。

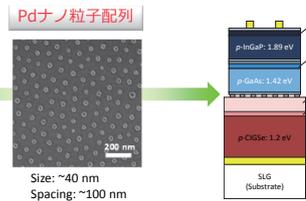
## これまでの実証例

① 4接合[2]  
(GaAs系 2接合 + InP系 2接合)



$\eta$ : 30.4%  
( $J_{sc}$ : 12.86 mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{oc}$ : 2.82 V, FF: 0.838)

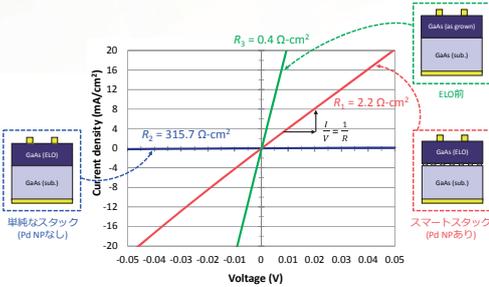
② 3接合[3]  
(GaAs系 2接合 + CIGSe 単接合)



$\eta$ : 24.1%  
( $J_{sc}$ : 12.60 mA/cm<sup>2</sup>,  $V_{oc}$ : 2.58 V, FF: 0.750)

## 界面特性

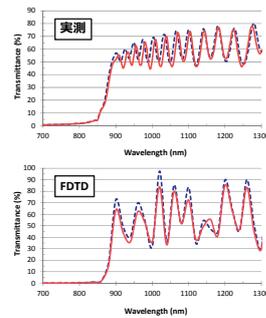
### 電気特性



傾きから各素子全体の抵抗を算出し差をとる→

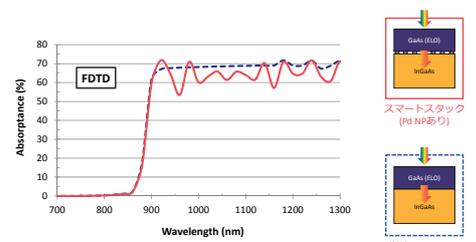
$R_1 - R_3 = 1.8 \Omega\text{-cm}^2$  :スマートスタックの接合抵抗  
 $R_2 - R_3 = 315.3 \Omega\text{-cm}^2$  :単純なスタックの接合抵抗

### 光学特性 (透過スペクトル)



$\sum_{\lambda=870}^{1300} \text{Transmittance}(\lambda)$  を算出し比をとる→  
0.971 (2.9%ロス):実測  
0.951 (4.9%ロス): FDTD  
(スマートスタック/単純なスタック)

### 光学特性 (実デバイス)

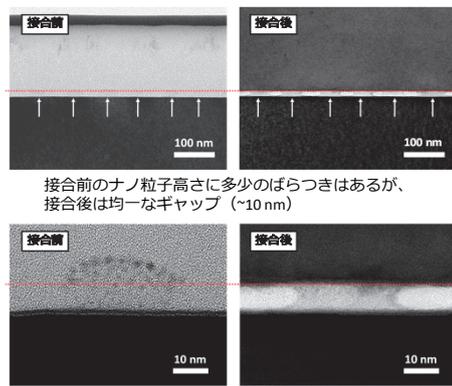


$\sum_{\lambda=870}^{1300} \text{Absorbance}(\lambda)$  を算出し比をとる→ 0.946 (5.4%ロス)  
(スマートスタック/単純なスタック)

※FDTDシミュレーションソフト: FullWAVE (Rsoft)

## 接合機構

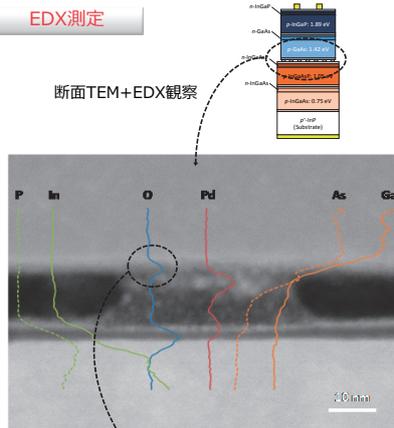
### 断面TEM測定



接合前のナノ粒子高さに多少のばらつきはあるが、接合後は均一なギャップ (~10 nm)

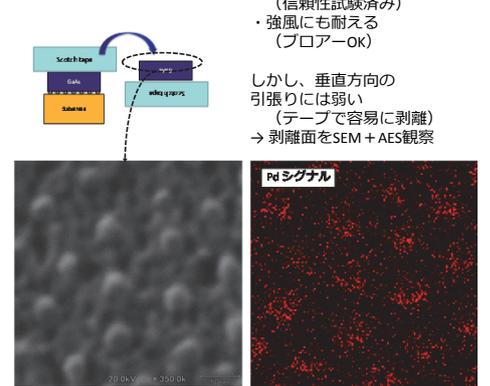
ナノ粒子の変形を伴った接合を示唆

### EDX測定



断面TEM+EDX観察  
薄い酸化膜が介在している

### AESマッピング



Pdの拡散を示唆 (接触部のPd濃度は4~5 atom%程度)

接合構造は  
・シビアな環境変化に耐える (信頼性試験済み)  
・強風にも耐える (ブローアーク)

しかし、垂直方向の引張りには弱い (テープで容易に剥離) → 剥離面をSEM + AES観察

## まとめ

1. Pdナノ粒子配列の存在が界面導電性発現に必須であることを確認した。
2. Pdナノ粒子配列の存在によるボトムセルへの光学的影響は約5%程度あるとシミュレーションにより示唆された。
3. 接合メカニズムとして、Pdナノ粒子の変形と極薄い酸化膜の介在が示唆され、GaAs層へのPdの微量拡散も確認された。

## 参考文献

- [1] H. Mizuno, et al., "Electrical and optical interconnection for mechanically stacked multi-junction solar cells mediated by metal nanoparticle arrays" *Appl. Phys. Lett.* **101**, 191111 (2012).
- [2] K. Makita, et al., "Highly efficient and reliable mechanically stacked multi-junction solar cells using advanced bonding method with conductive nanoparticle alignments" *IEEE 40th PVSC*, 495 (2014).
- [3] K. Makita, et al., "A 24.2%-efficiency III-V/CuInGaSe mechanical stacking multi-junction solar cells using semiconductor bonding method" *Proc. EUPVSEC 2014*, 1427 (2014).

## 謝辞

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託を受けて実施されたものであり、関係各位に感謝します。