

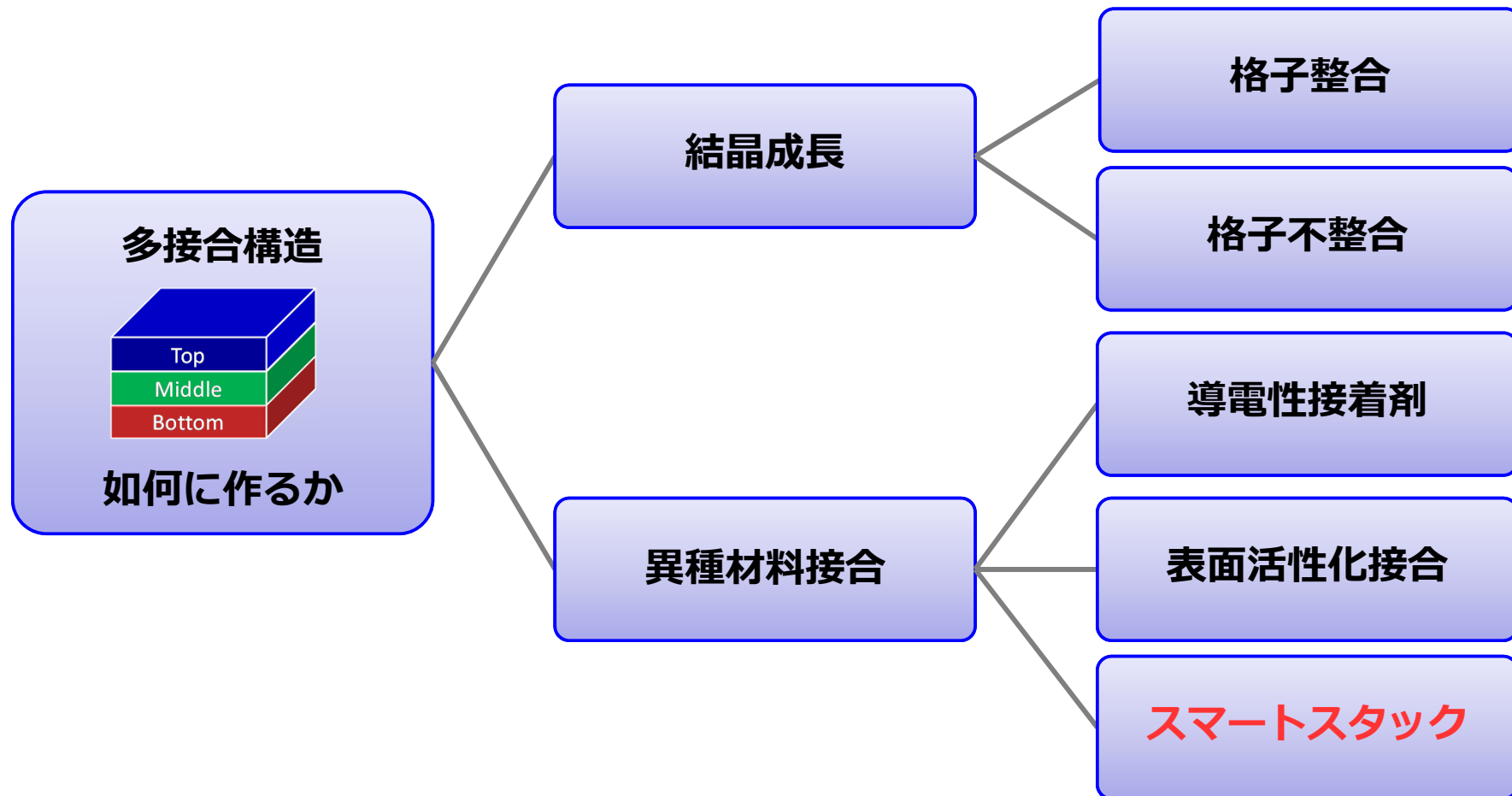
スマートスタック技術

再生可能エネルギー研究センター
太陽光チーム

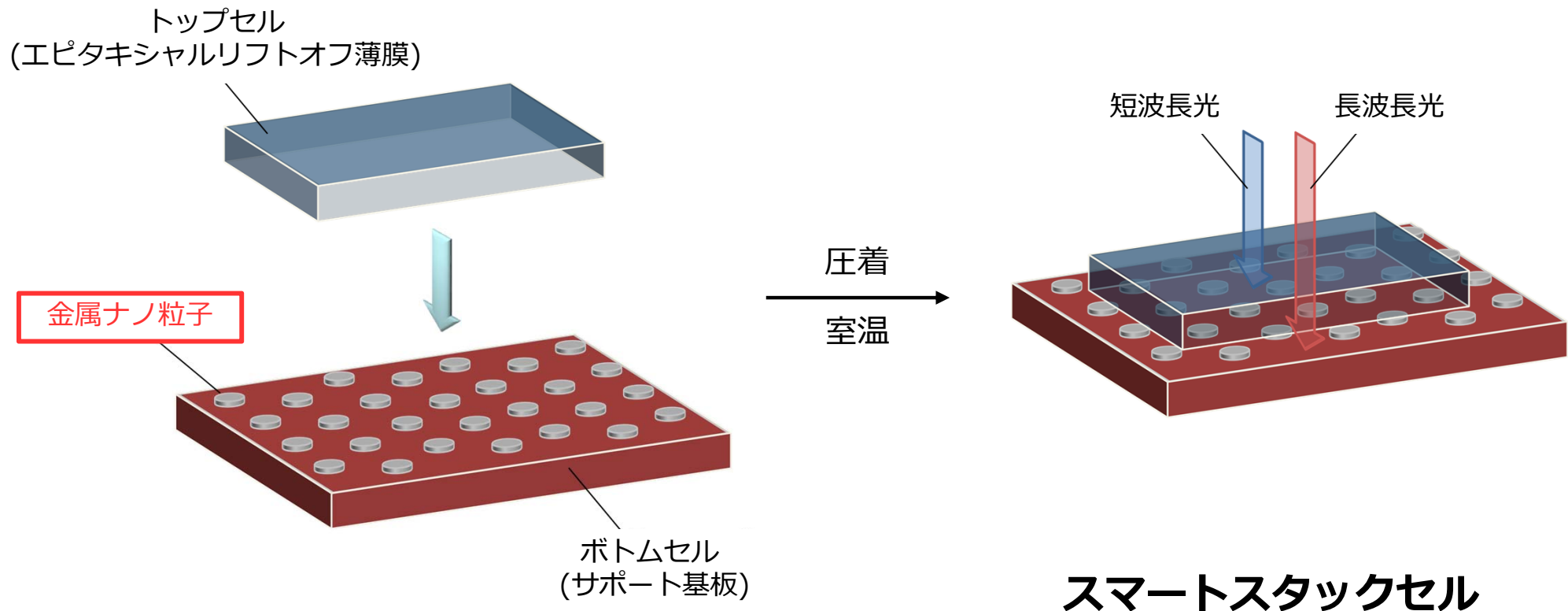
水野 英範

スマートスタック技術とは

産総研が開発したタンデム型多接合太陽電池の作製方法



特徴は金属ナノ粒子配列を接合媒体としていること

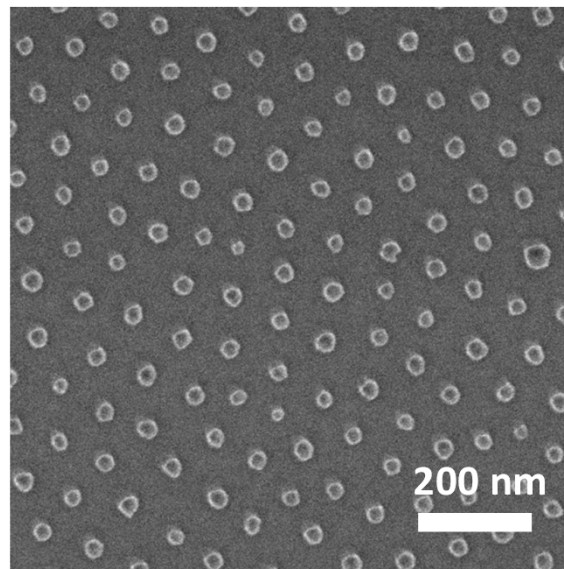
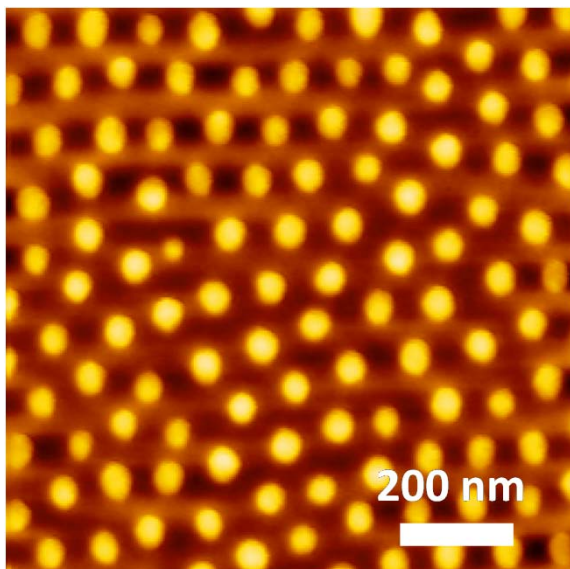
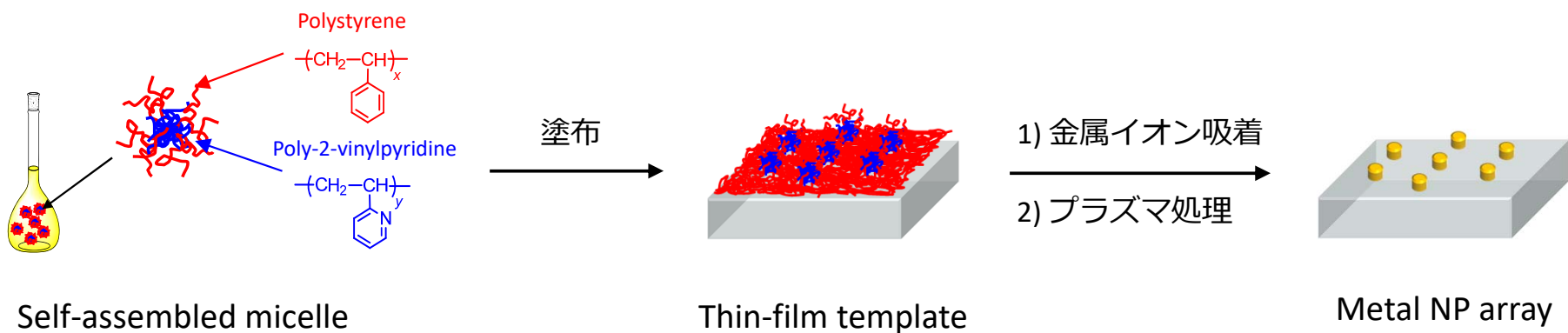


様々な種類の太陽電池を電氣的・光学的に接合することが可能

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

金属ナノ粒子配列の作製

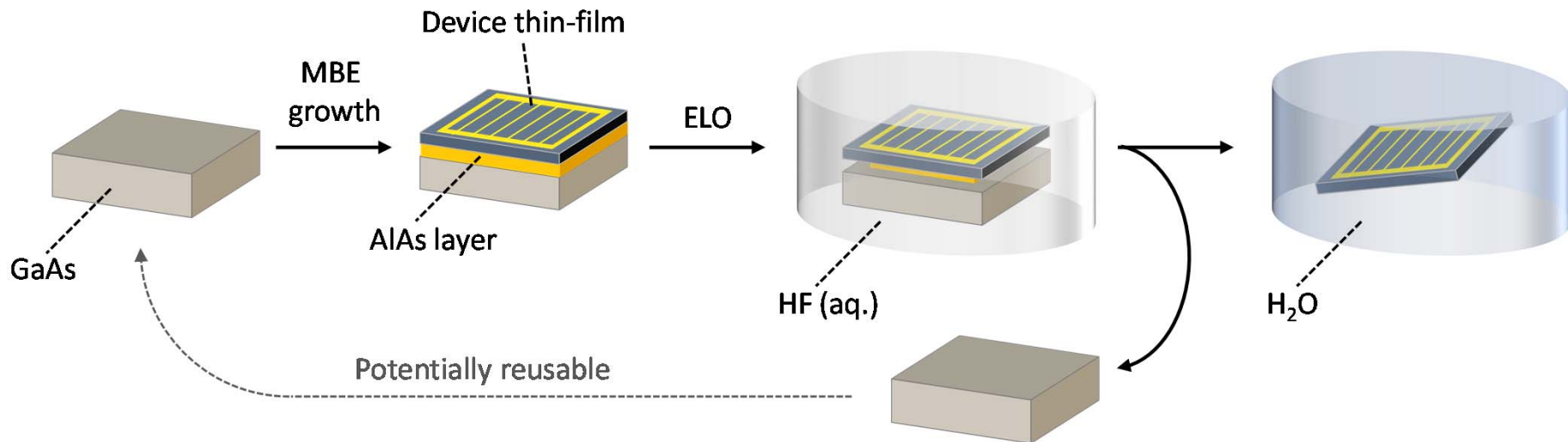
ブロック共重合体の自己組織化現象を利用し、安価・大面積に作製可能



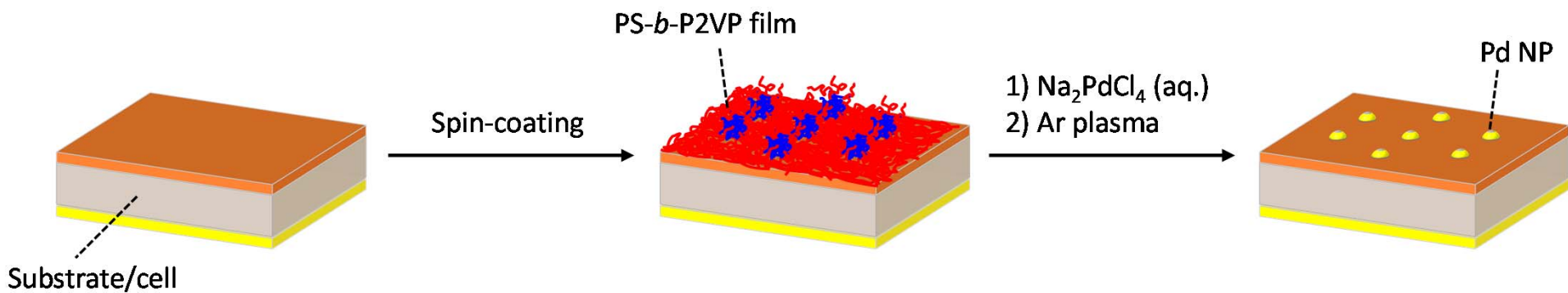
金属はPdが良い
Size: ~40 nm
Spacing: ~100 nm
Coverage: ~12%
Density: 60 ng/cm²

スマートスタックセルの作製

1) トップセルプロセス



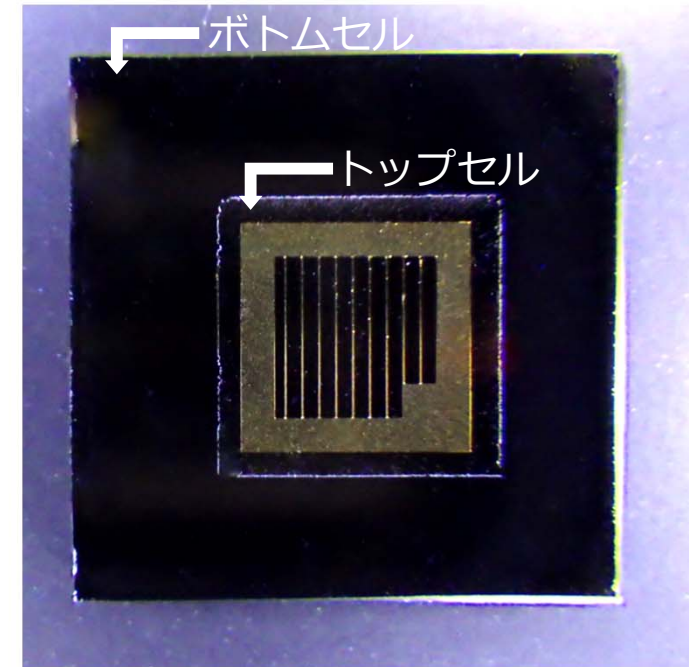
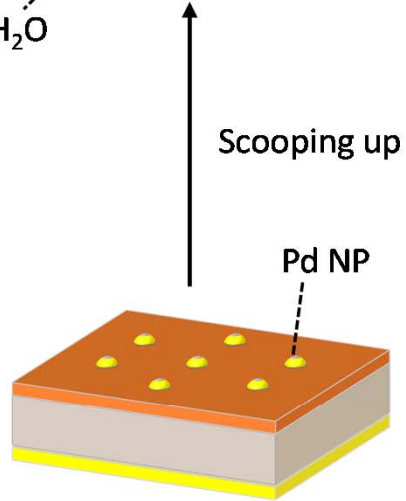
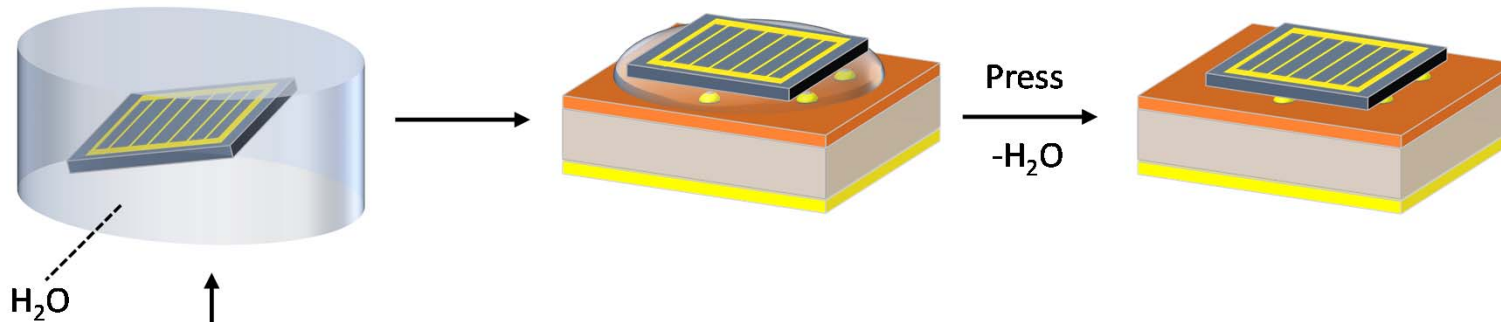
2) ボトムセルプロセス



H. Mizuno *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **55**, 025001 (2016).

スマートスタックセルの作製 (続き)

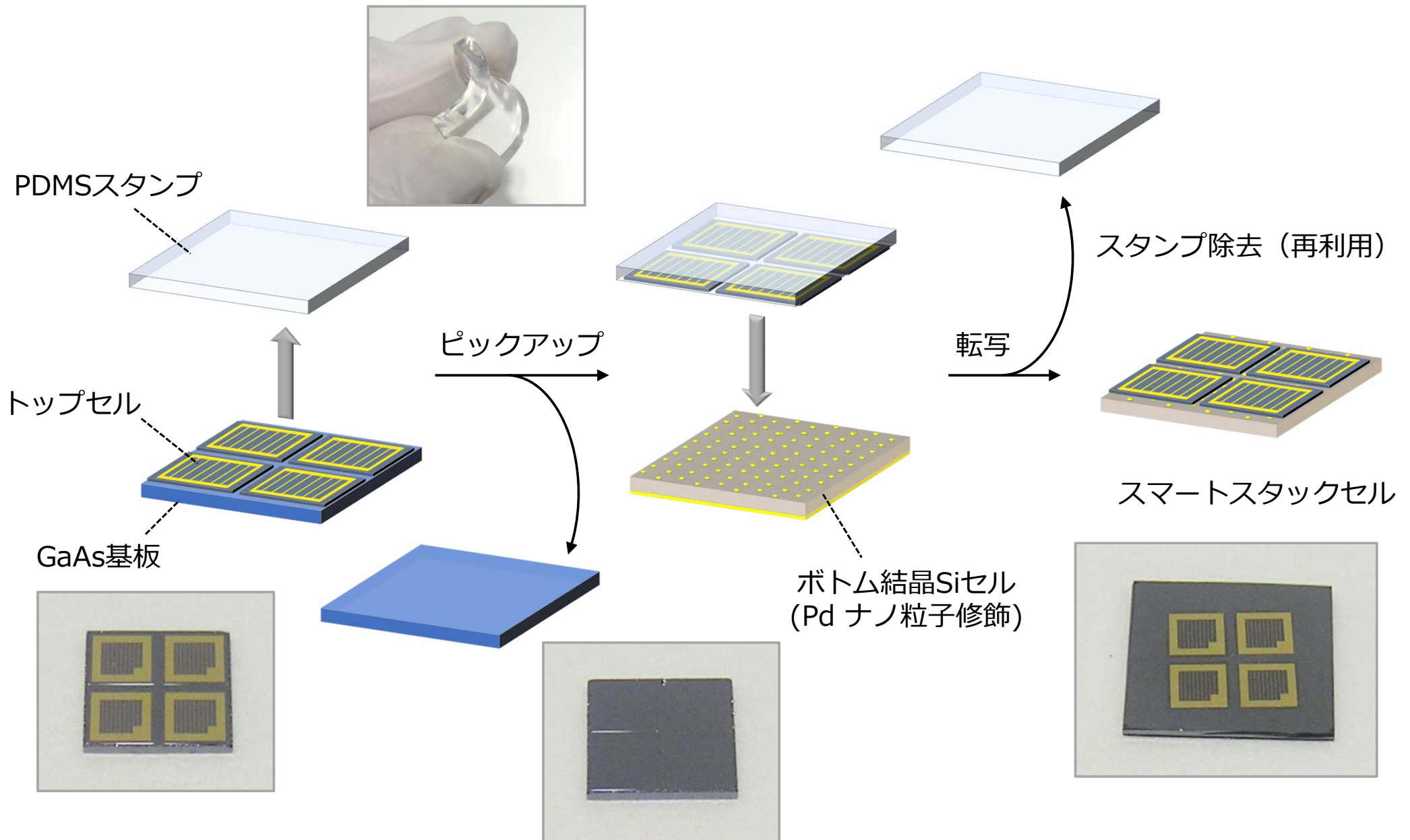
3) スタックプロセス



<http://www.justis.as-1.co.jp/jus-tis/web/DirectSearch.aspx?shcode=2-7950-02>

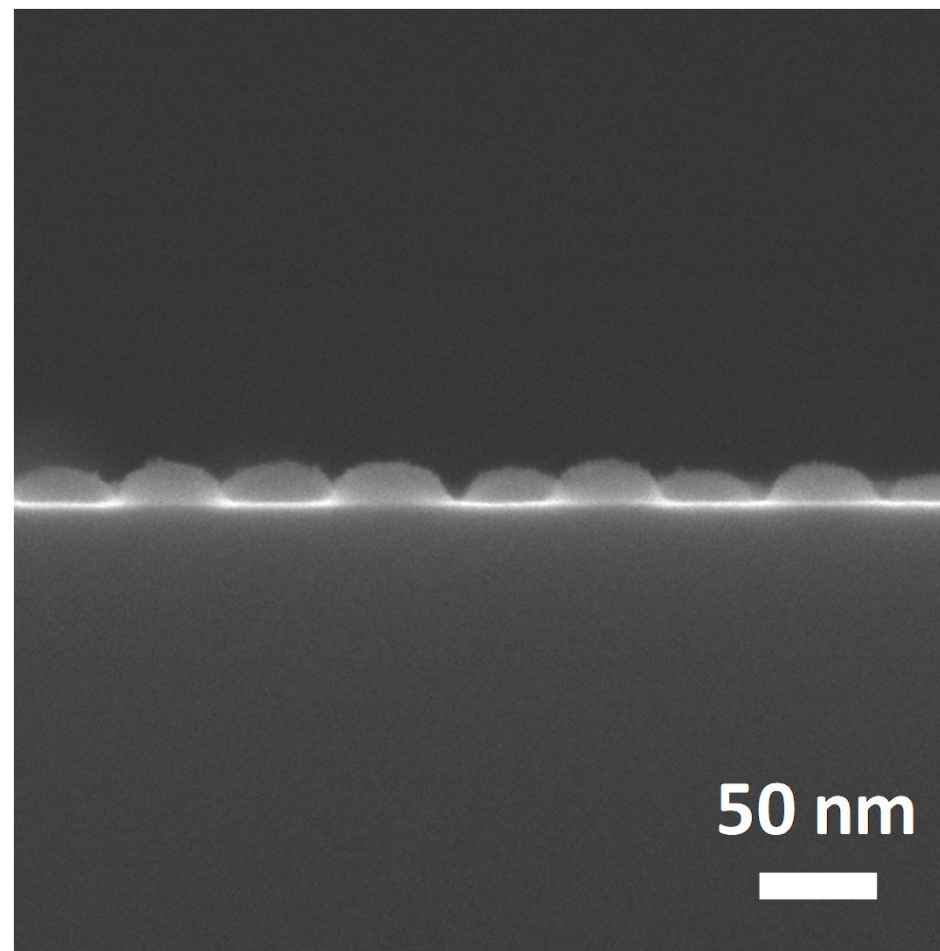
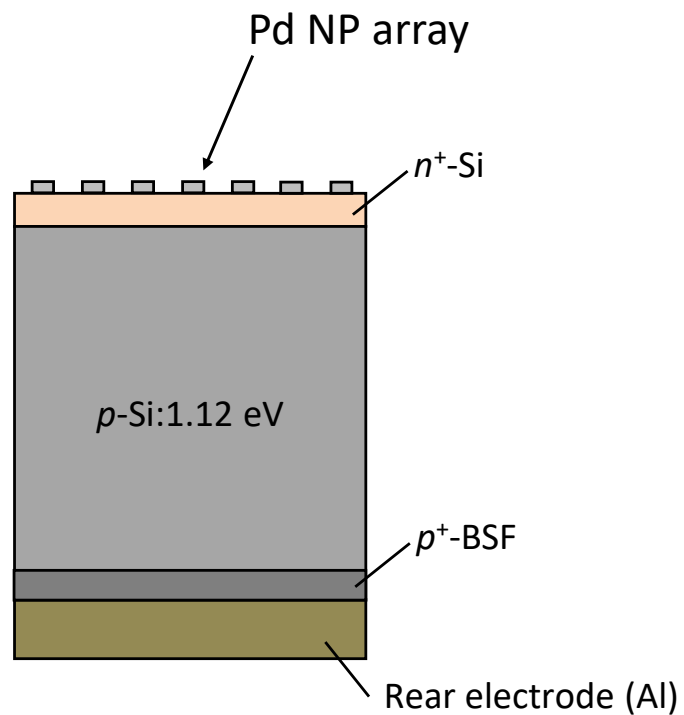
H. Mizuno et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **55**, 025001 (2016).

より効率的なセル作製：一括転写プロセス



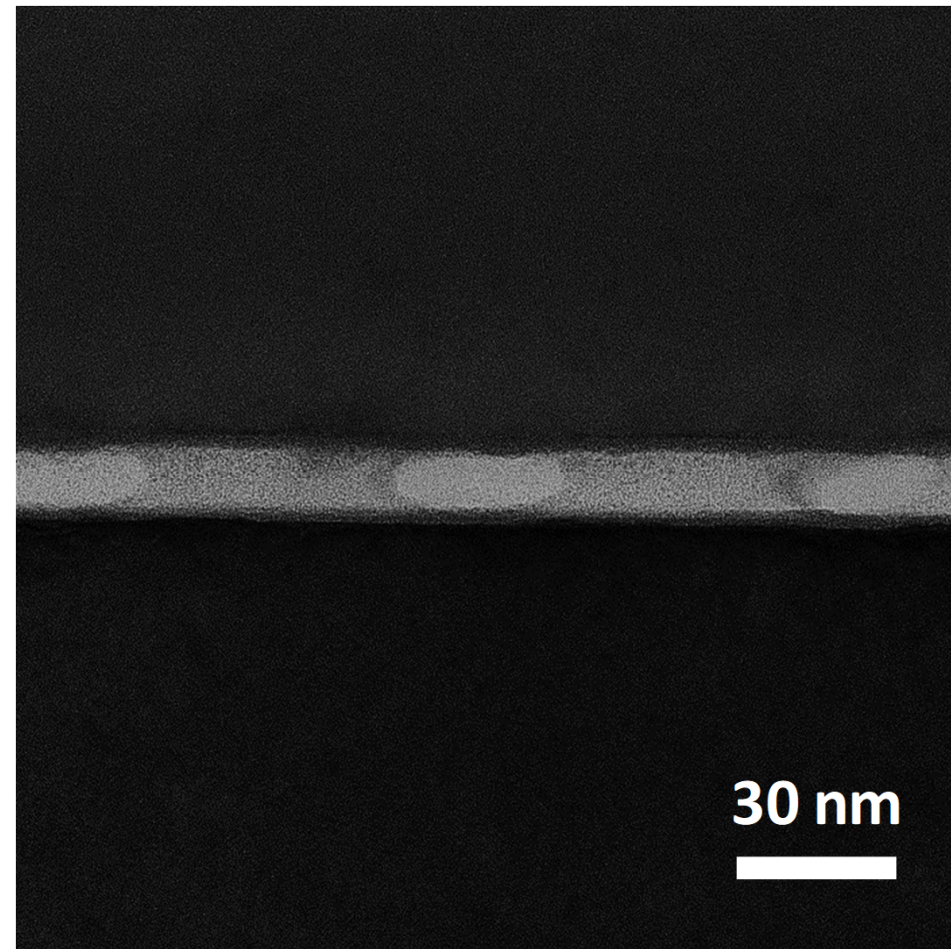
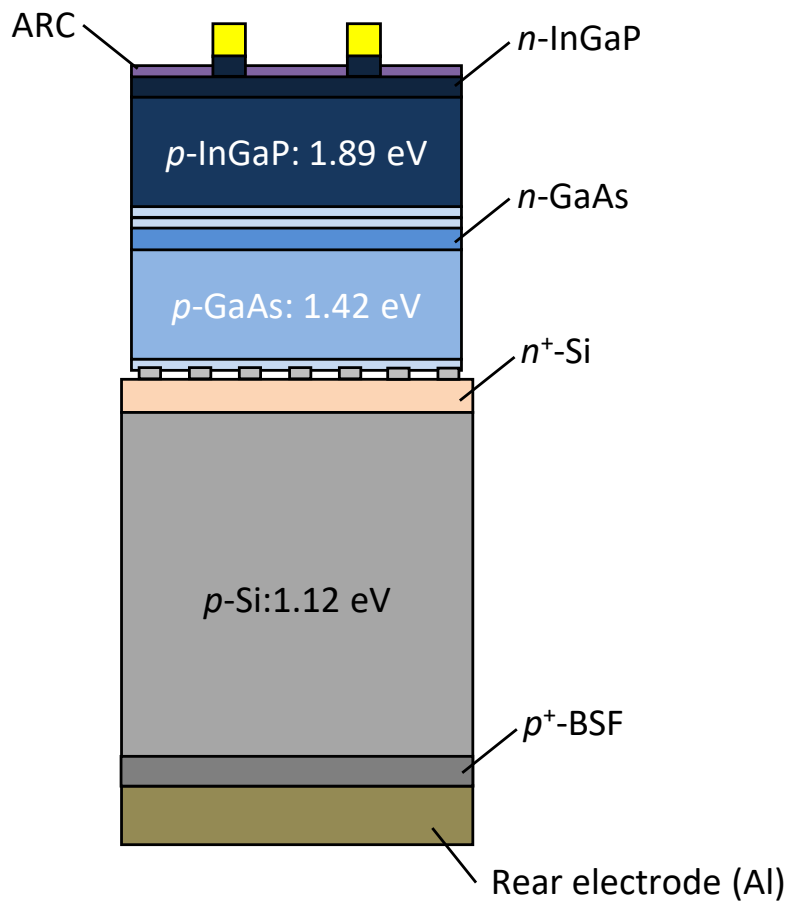
結晶Siスマートスタックセル

- ・ボトムセルはFREAで作製したAI-BSF型



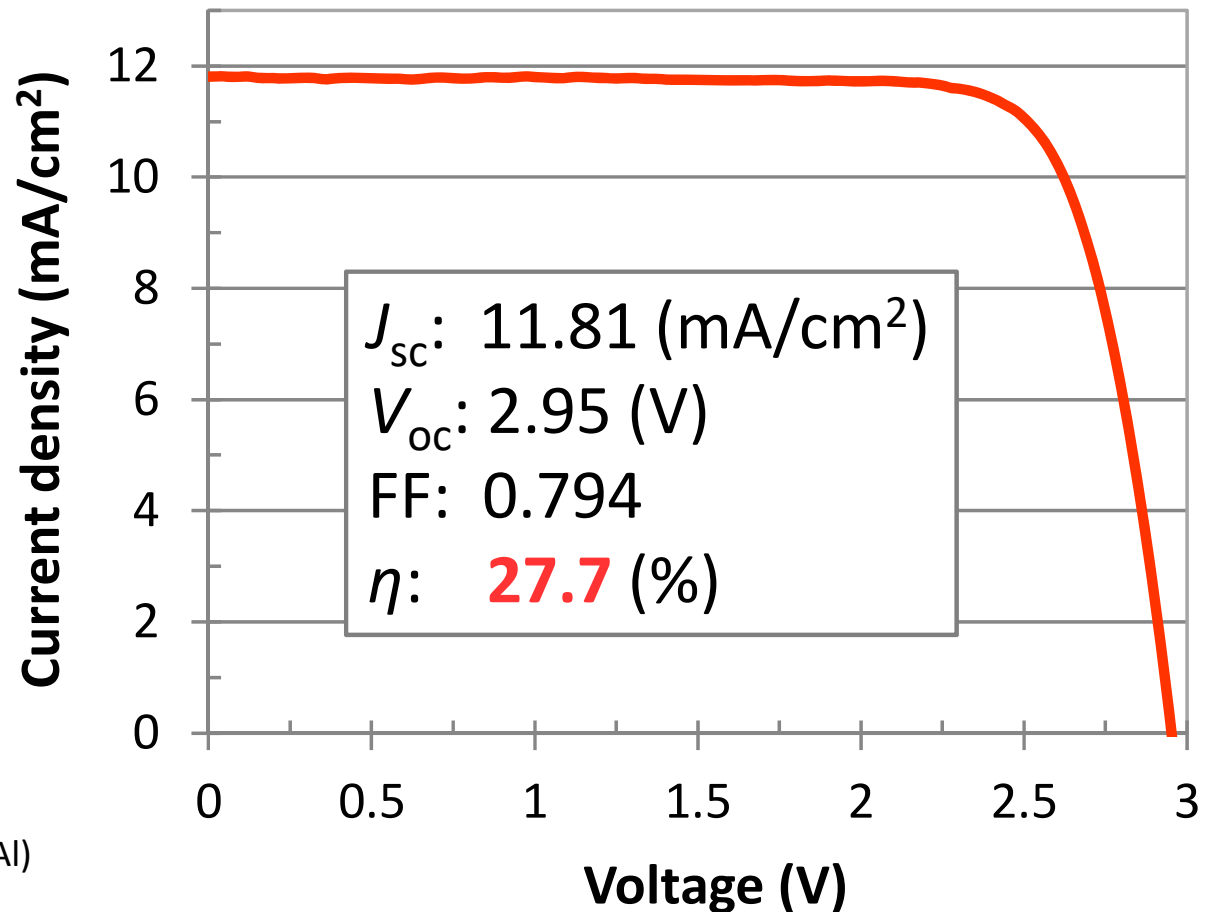
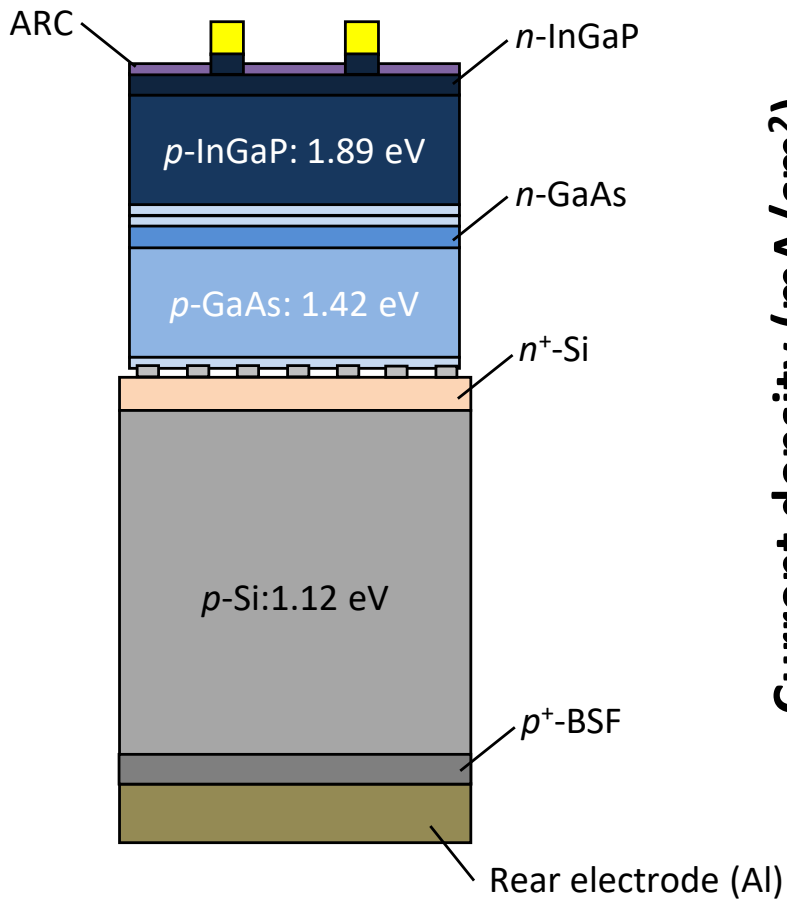
結晶Siスマートスタックセル

- ・ ボトムセルはFREAで作製したAI-BSF型
- ・ トップセルは太陽光センター（つくば）で作製したGaAs系2接合

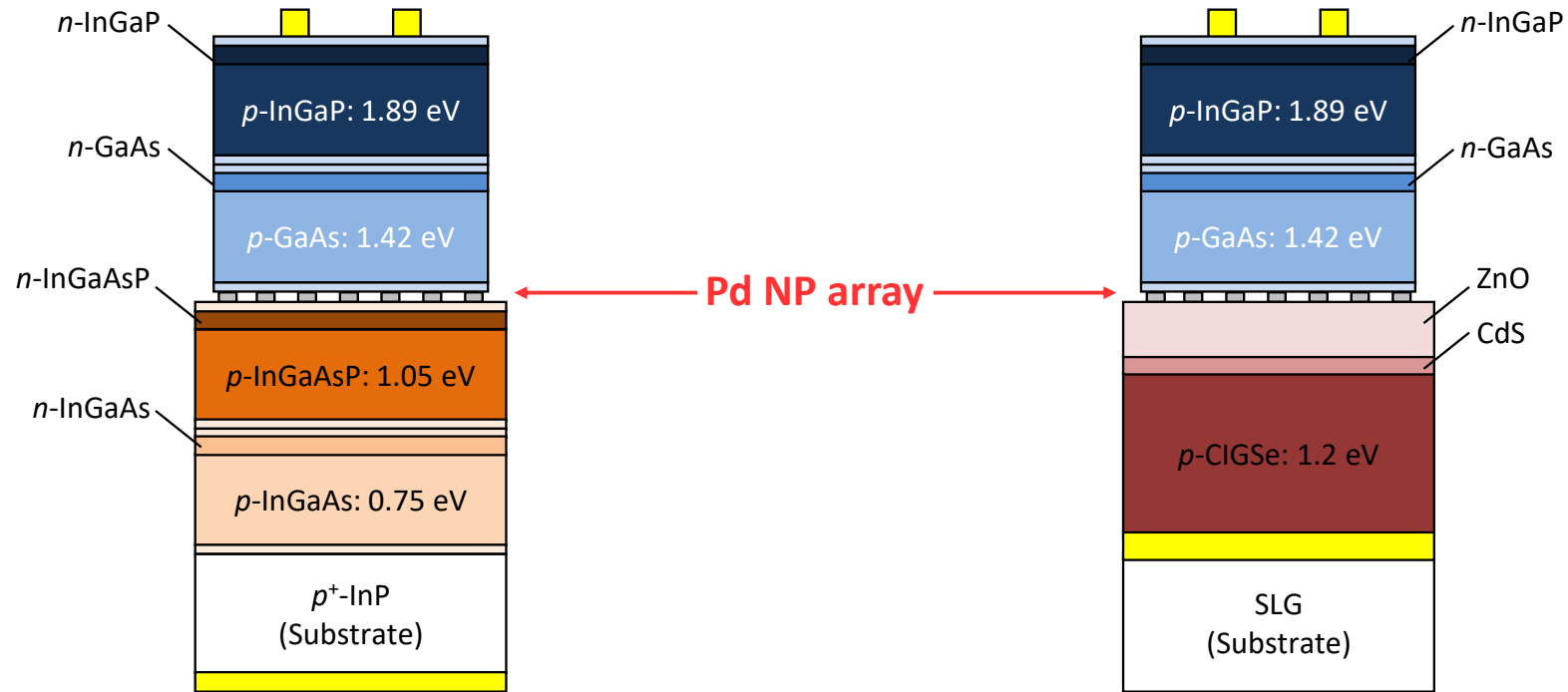


結晶Siスマートスタックセル

- ・ボトムセルはFREAで作製したAI-BSF型
- ・トップセルは太陽光センター（つくば）で作製したGaAs系2接合



その他のスマートスタックセル



4接合 = GaAs系 2接合 + InP系 2接合

$$J_{sc}: 12.42 \text{ (mA/cm}^2\text{)}$$

$$V_{oc}: 3.11 \text{ (V)}$$

$$FF: 0.857$$

$$\eta: \mathbf{33.1} \text{ (\%)}$$

3接合 = GaAs系 2接合 + CIGSe

$$J_{sc}: 12.60 \text{ (mA/cm}^2\text{)}$$

$$V_{oc}: 2.58 \text{ (V)}$$

$$FF: 0.750$$

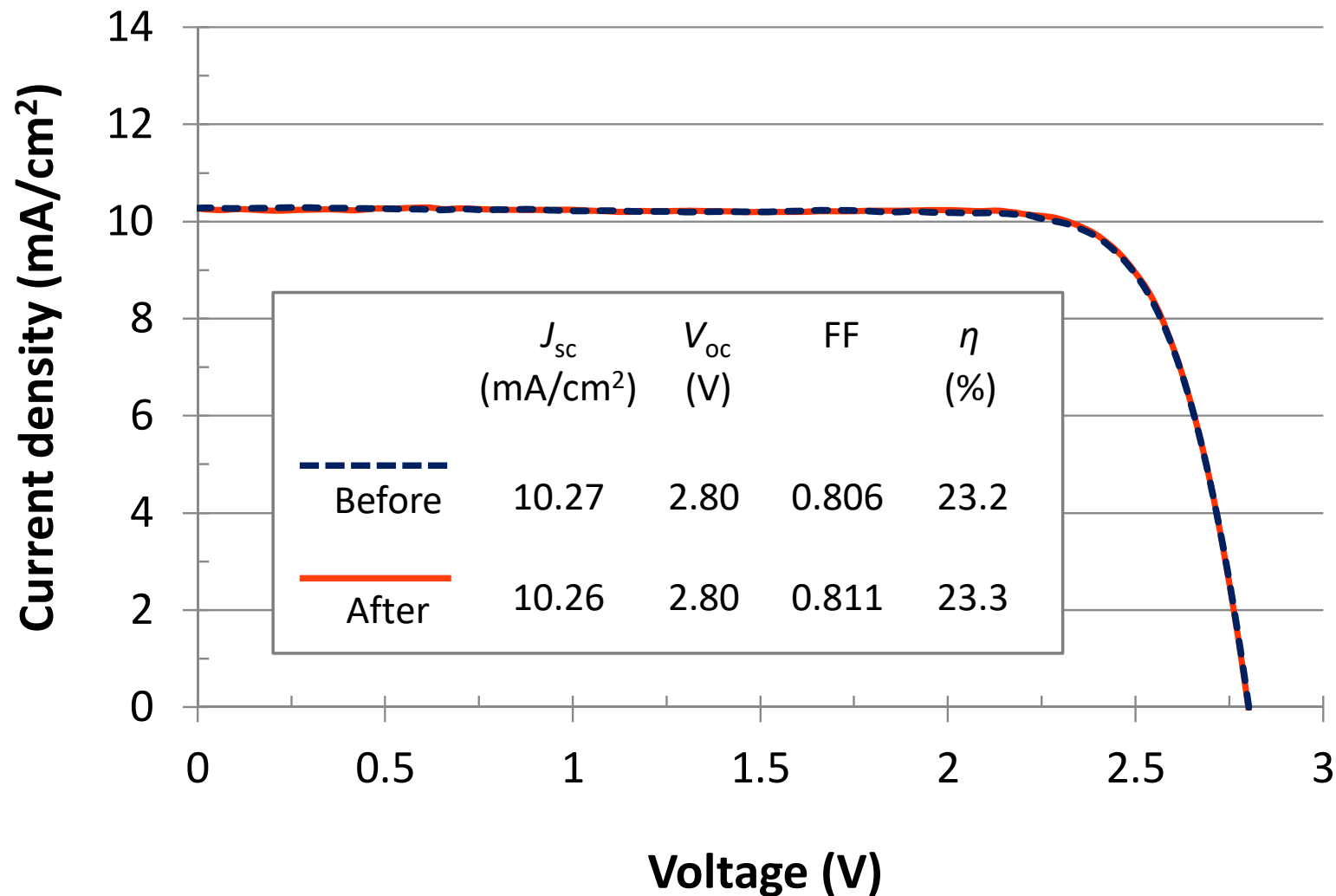
$$\eta: \mathbf{24.2} \text{ (\%)}$$

R. Oshima *et al.*, *GRE* 2018, P-Pv-2-5 (2018).

K. Makita *et al.*, *Proc. EUPVSEC* 2014, 1427 (2014).

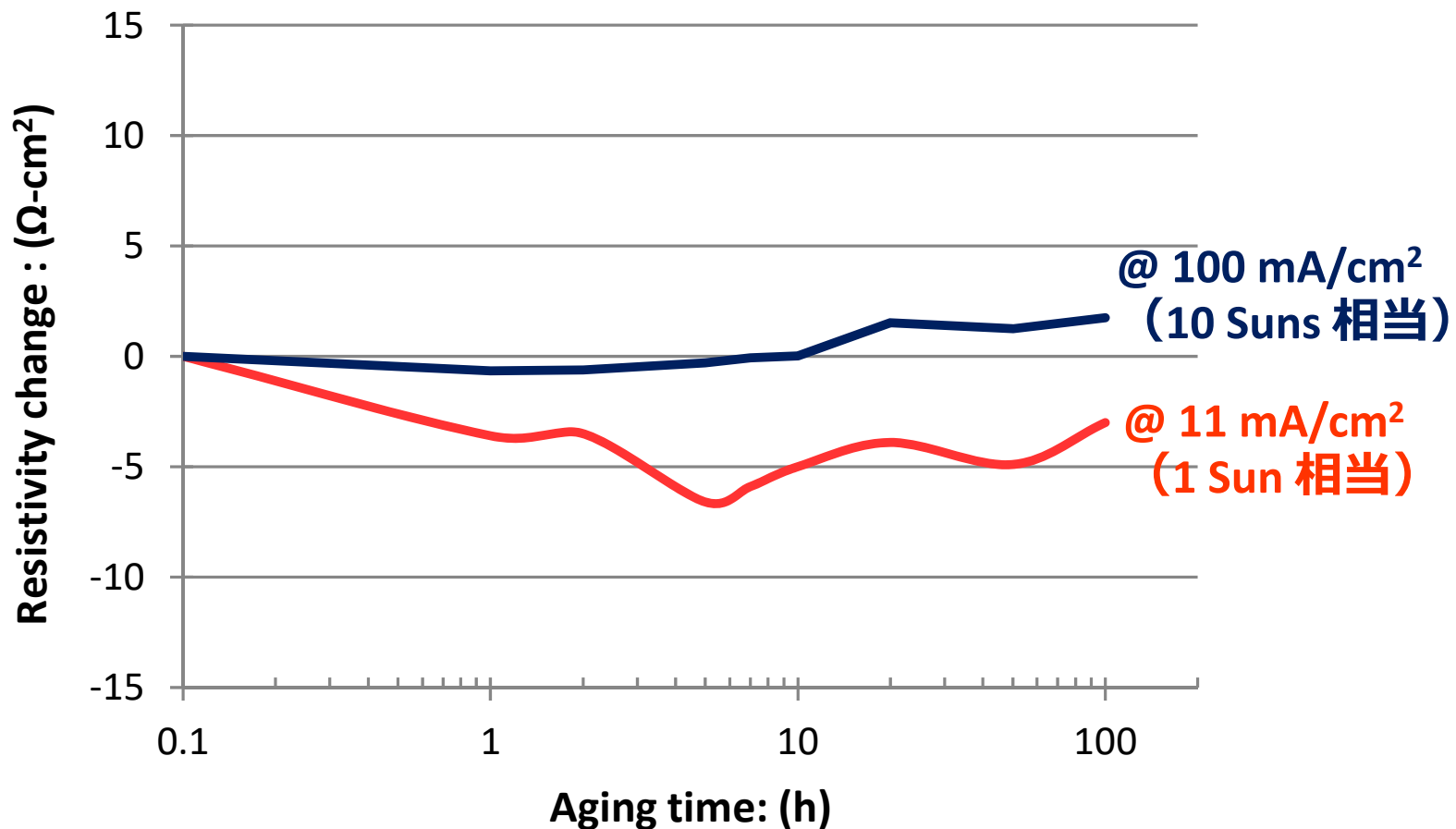
スマートスタックセルの信頼性検証①

温度サイクル試験 (-40 ↔ +85 °C、200回繰り返し) 後も劣化なし



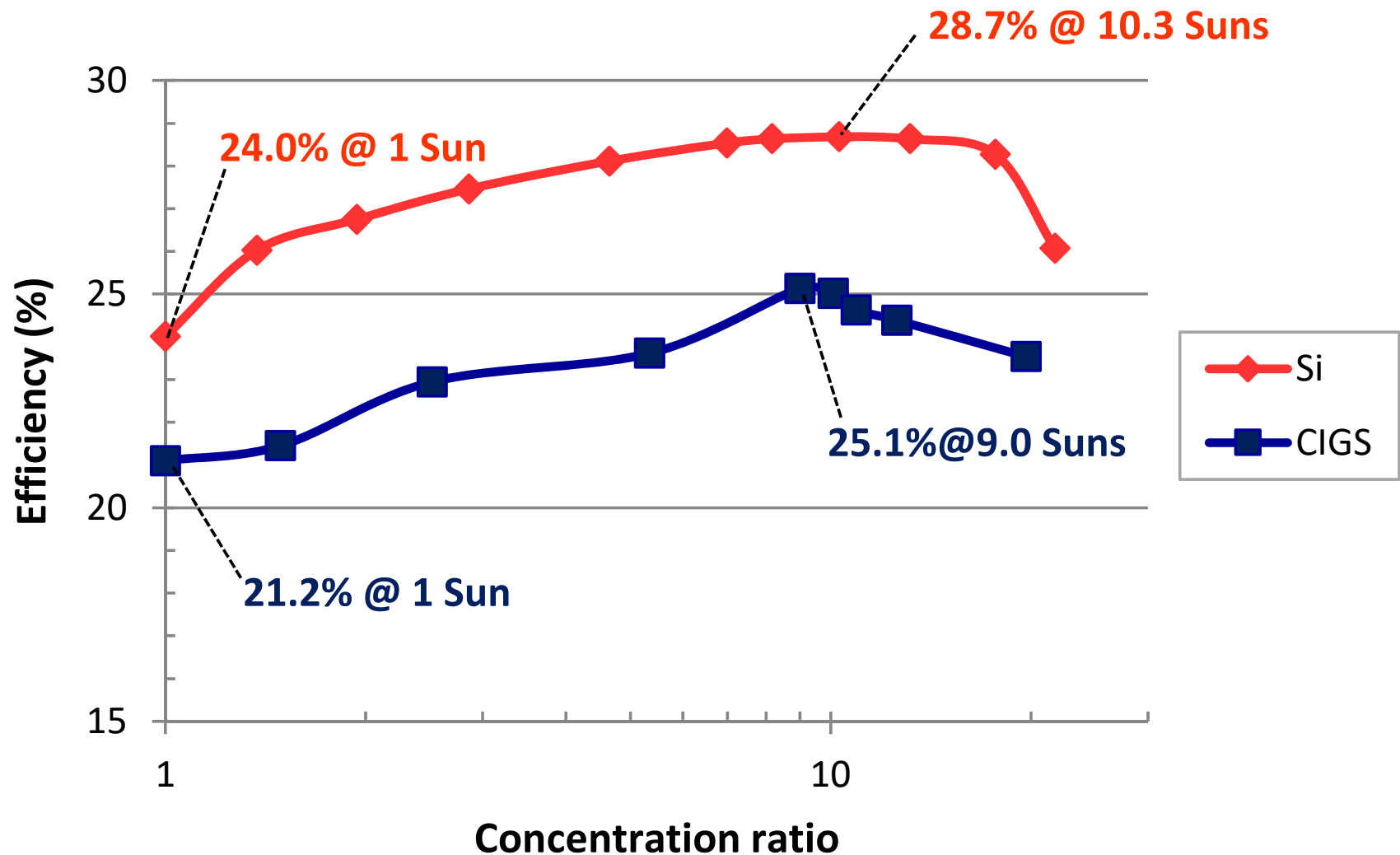
スマートスタックセルの信頼性検証②

高温通電試験 (**11 mA/cm²**, 150°C, 100 h) 後も界面電気特性に劣化なし
100 mA/cm²の場合、10時間経過後若干の抵抗向上が発生



低倍集光との組み合わせ

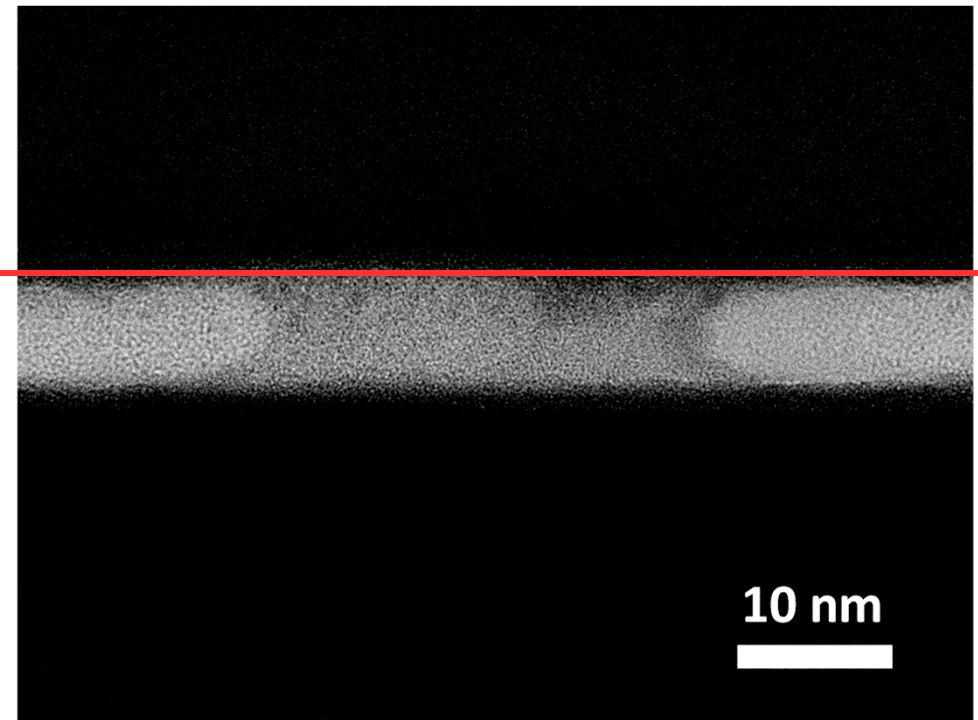
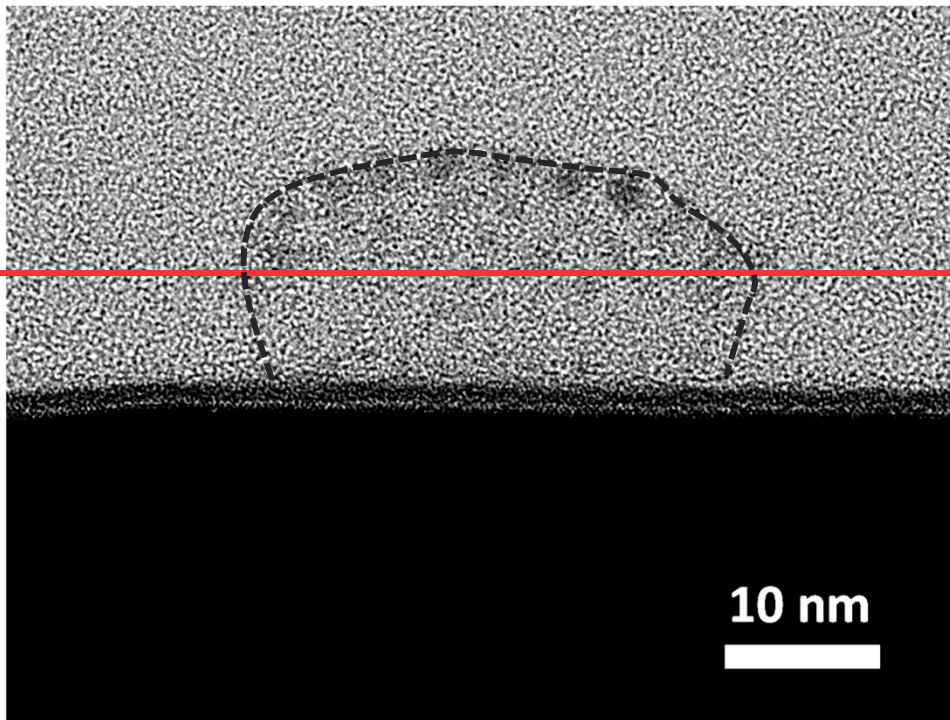
10倍集光程度まではスマートスタックセルにも適用可能



どのように接合するのか？ ①TEM

接合前

接合後



→ ナノ粒子の変形を伴った接合を示唆

どのように接合するのか？ ②

Appl. Phys. Lett. **59**, 3159 (1991)によれば、

Van der Waals bonding of GaAs on Pd leads to a permanent, solid-phase-topotaxial, metallurgical bond

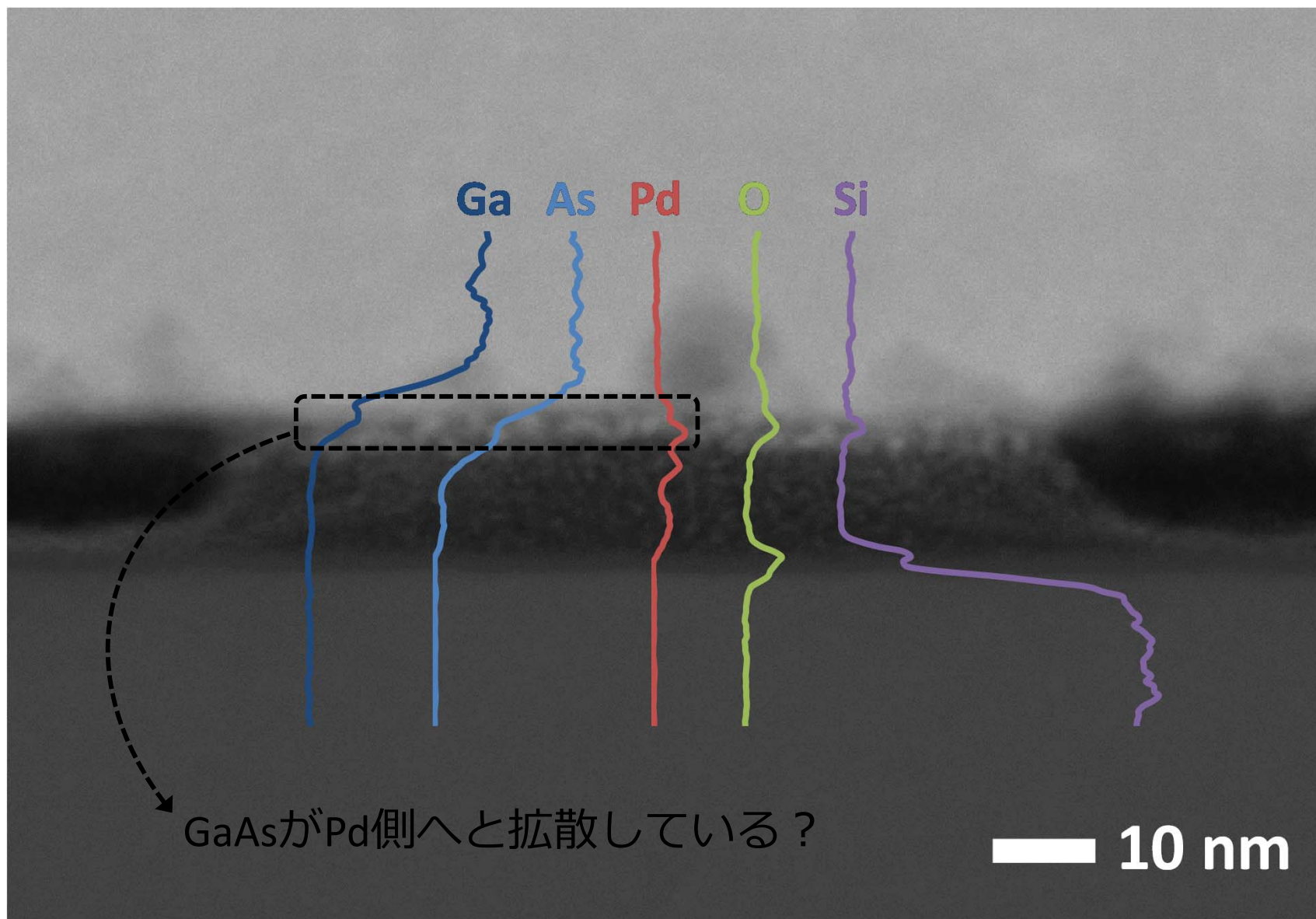
E. Yablonovitch, T. Sands, D. M. Hwang, I. Schnitzer, and T. J. Gmitter
Bell Communications Research, Navesink Research Center, Red Bank, New Jersey 07701-7040

S. K. Shastri, D. S. Hill, and J. C. C. Fan
Kopin Corp., 695 Myles Standish Blvd., Taunton, Massachusetts 02780

(Received 15 July 1991; accepted for publication 3 October 1991)

Various forms of wafer bonding have now emerged as a serious competitor to heteroepitaxy for optoelectronic integration of dissimilar semiconductor materials. Among the types of wafer bonding, perhaps the most flexible is that which employs free-standing III-V films as created by epitaxial liftoff. For some purposes, weak Van der Waals forces provide an adequate bond between the native oxides of the III-V film and its new substrate. If the substrate is coated by palladium however, **a low temperature solid-phase-topotaxial reaction occurs**, producing oriented Pd₄GaAs under the GaAs film. In effect, the topotaxy comes about through mechanical contact alone. The resulting metallurgical bond is an ohmic contact, a thermal contact and a robust, permanent, adherent contact.

どのように接合するのか？ ③TEM-EDX

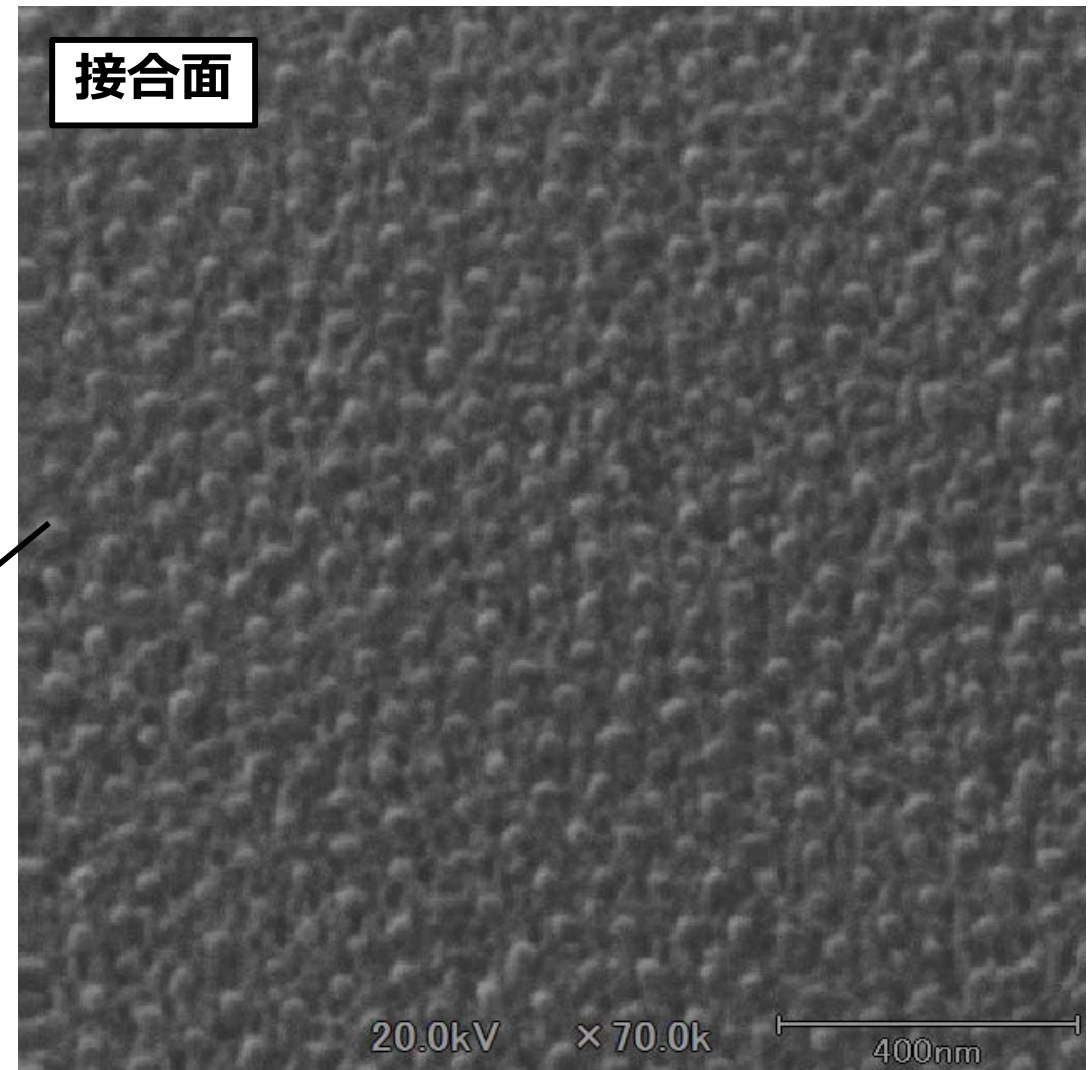
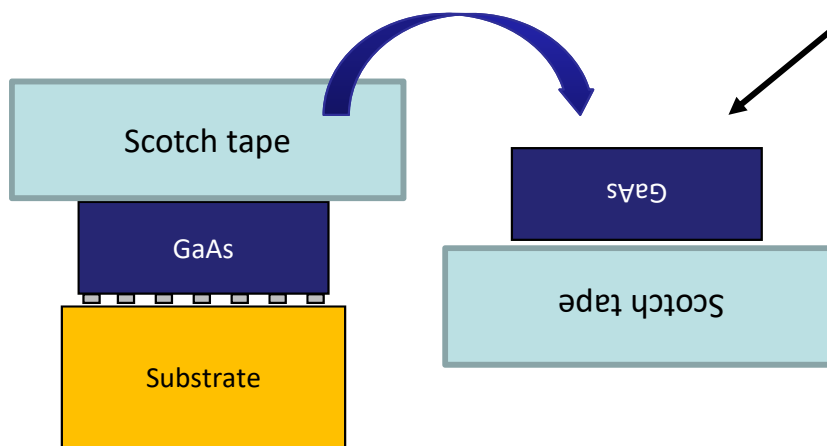


どのように接合するのか？ ④SEM

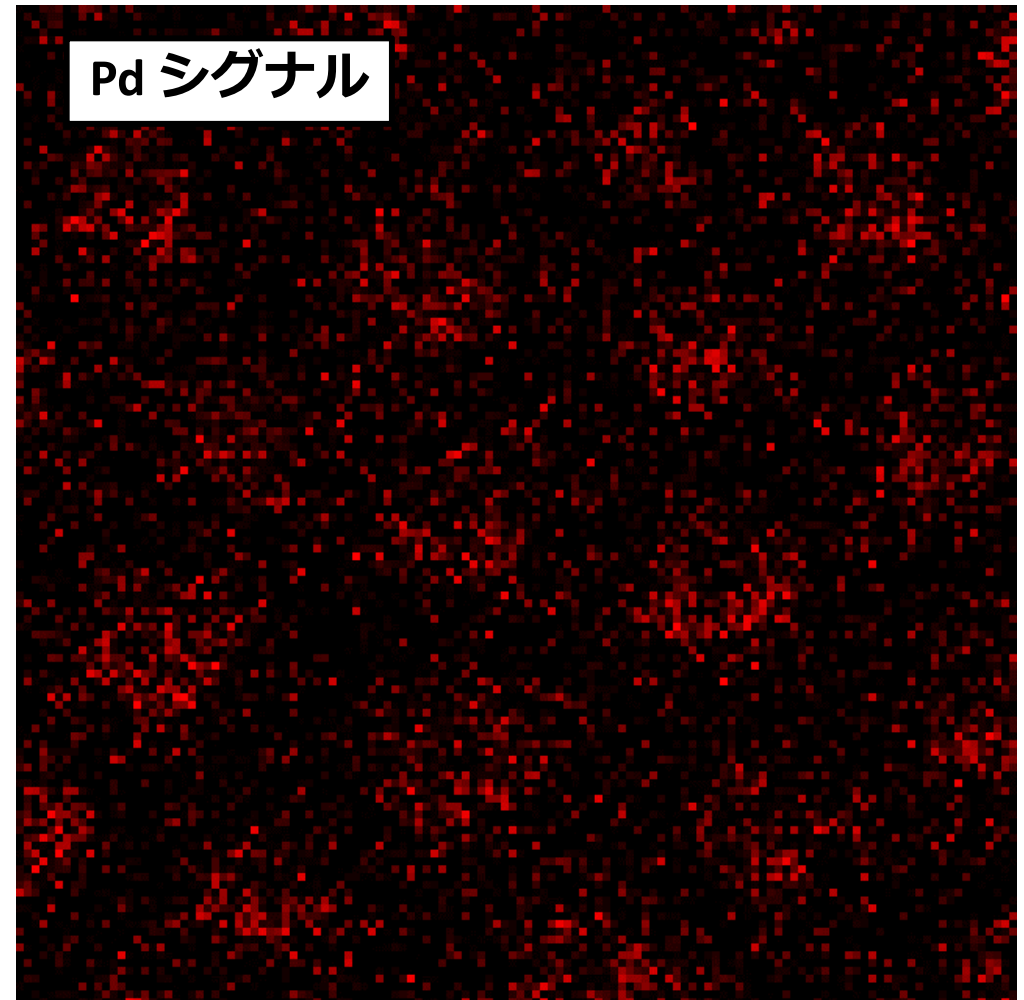
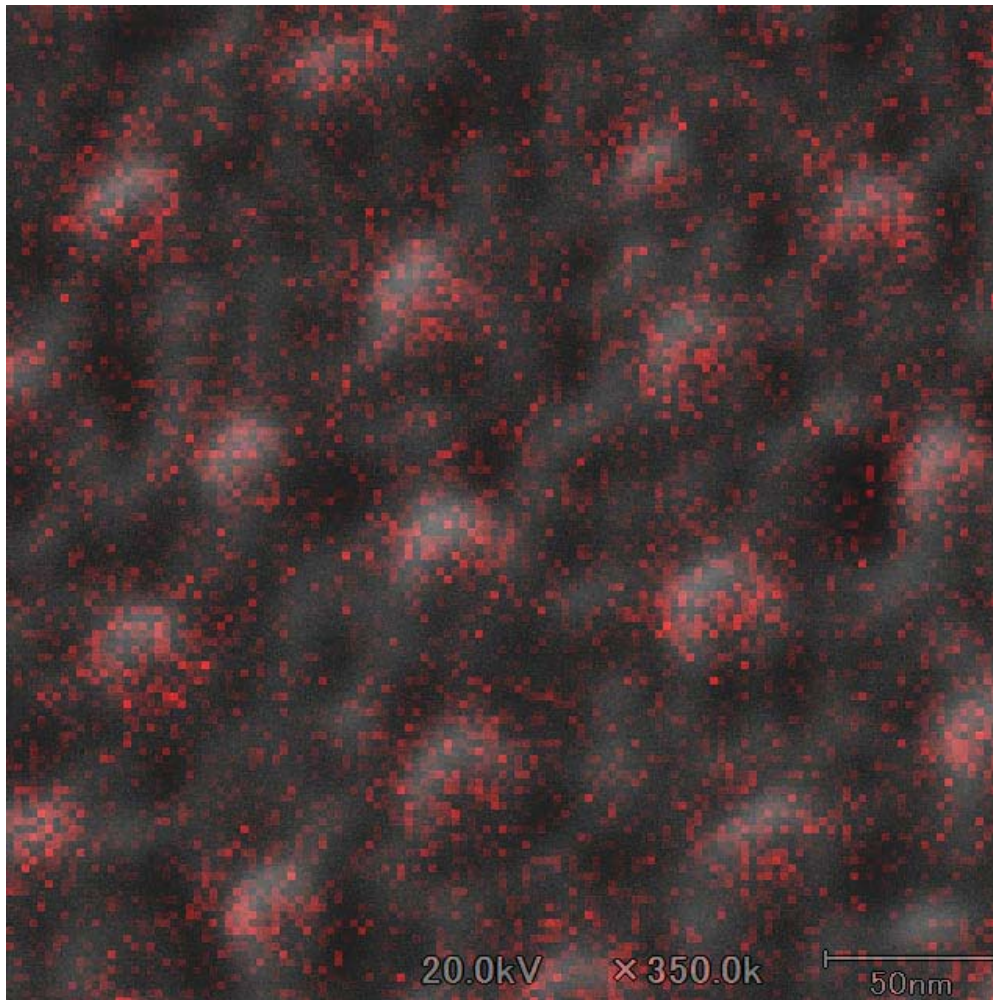
接合構造は

- ・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
(テープで剥離可能)



どのように接合するのか？ ⑤ AES




→ PdもGaAs側へ拡散 (接触部のPd濃度は4~5 atom%程度)

今後の展開

◆ 更なる高効率化・モジュール化・信頼性検証

  プロジェクト（H31年度終了予定）

◆ 多様性追求

 例：ペロブスカイト/結晶シリコンタンデム

◆ 企業様との共同研究

謝辞

本研究は  **NEDO** 国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

の委託のもと遂行されたもの

であり、関係各位に感謝いたします。

所内関係者（順不同・敬称略）

牧田 紀久夫、菅谷 武芳、太野垣 健、
大島 隆治、齋 均、宮寺 哲彦、
村上 拓郎、望月 敏光、棚橋 克人、
シャラムジャン スマイ、高遠 秀尚

