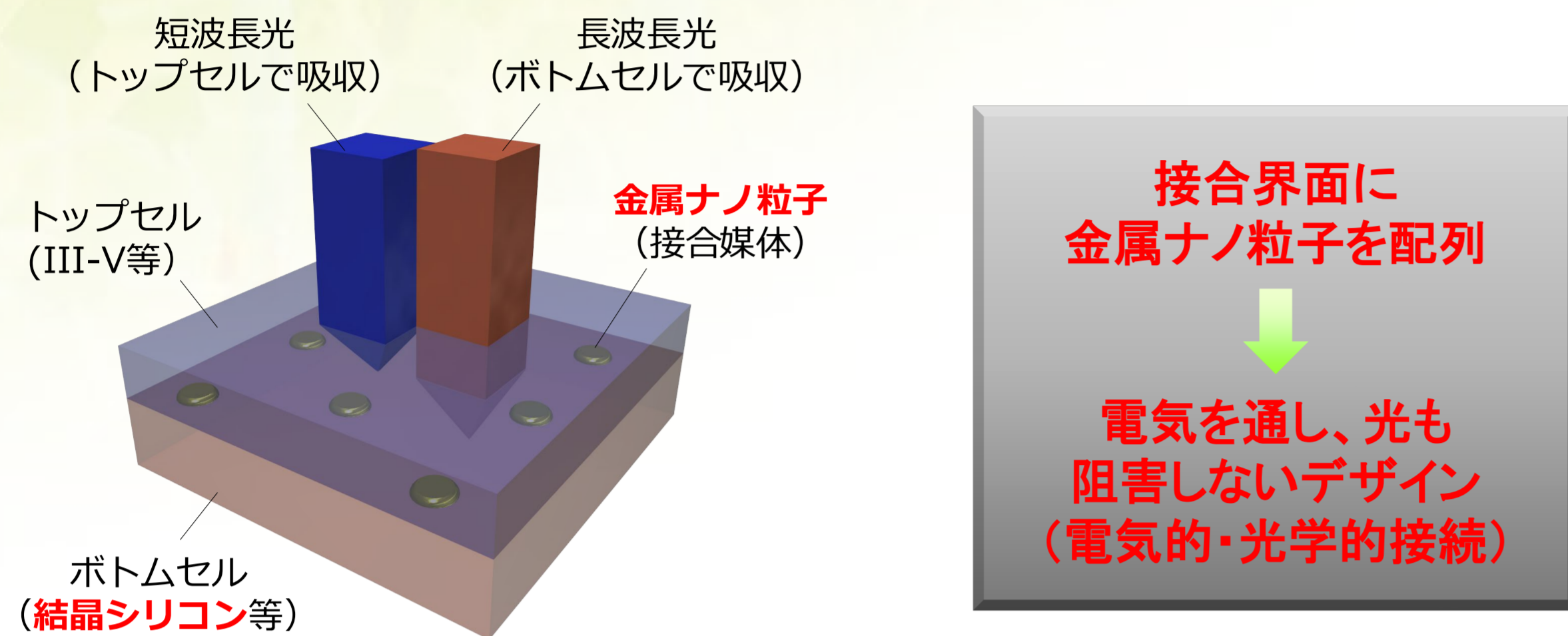


ヘテロ接合型結晶シリコン太陽電池を用いた III-V//Siスマートスタック

水野 英範¹、牧田 紀久夫²、齋 均²、望月 敏光¹、松井 卓矢²、高遠 秀尚¹、
 Ralph Müller³、David Lackner³、Frank Dimroth³、菅谷 武芳²
¹ 産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター
² 産業技術総合研究所 ゼロエミッション国際共同研究センター
³ Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems

スマートスタックとは？

われわれが提案するタンデム型(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。^[1,2]

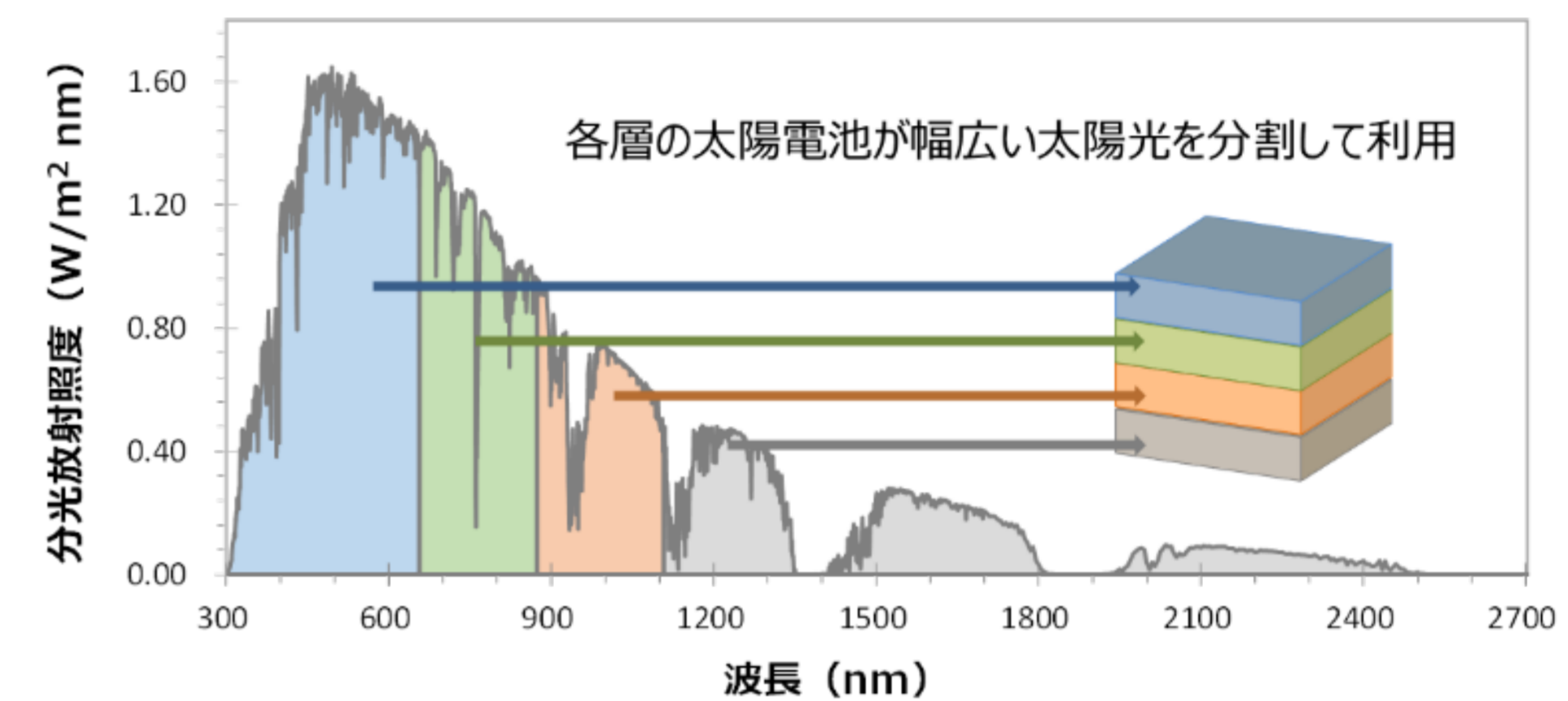


これまでにTOPCon型結晶シリコン太陽電池をボトムセルとして用いたIII-V//Siスマートスタックで変換効率30.8%を達成している。^[3] 本発表では、シリコンヘテロ接合(SHJ)をボトムセルとして用いた「III-V//SHJスマートスタックセル」についての検討結果を報告する。

Siタンデム太陽電池

現在の結晶Si太陽電池は、研究開発レベルではセル効率26%以上、モジュール効率24%以上の報告がなされている。他方で、結晶Si太陽電池の理論限界効率はDetailed Balance Theoryによれば29%程度(セルの場合)と言われており、更なる高効率化(30%以上)を実現するためには何らかの工夫が必要となる。

有効な手段の一つは、結晶Siとは異なる太陽電池材料を積層することで得られる多接合またはタンデム型と呼ばれるデバイス構造を導入することである。これらの太陽電池では、紫外から赤外という幅広い波長を有する太陽光を各々の太陽電池(光電変換層)で有効に電気に変換できるため、従来の単接合型太陽電池と比較して大幅な変換効率の向上が可能となる。

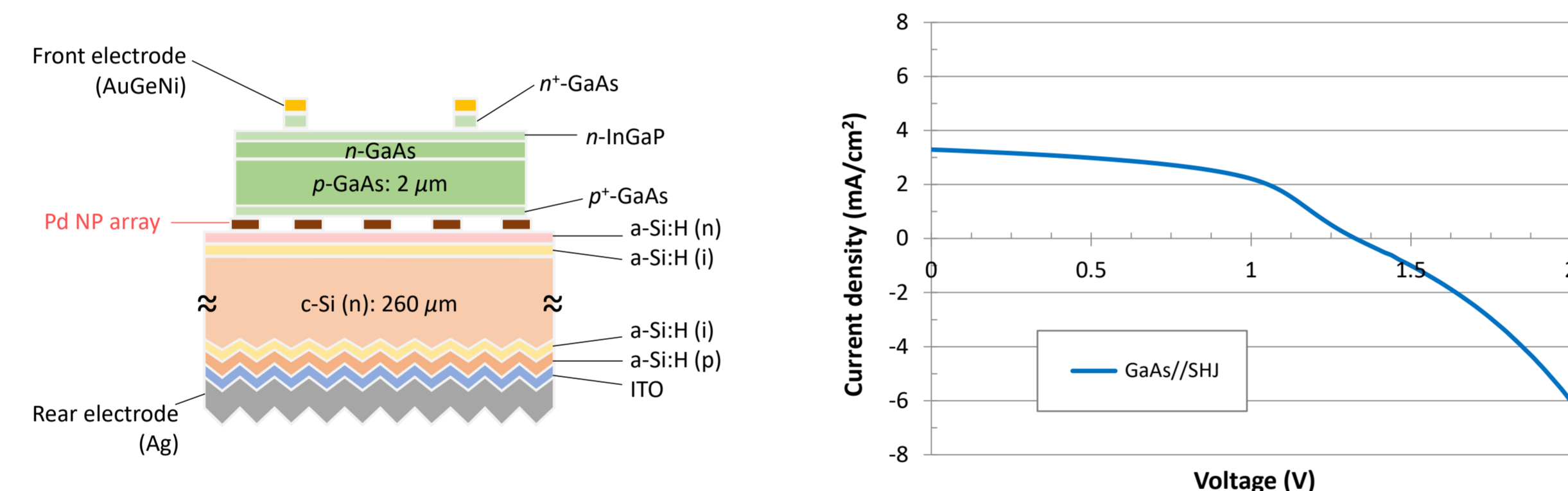


SHJを用いたIII-V//Siスマートスタック^[4]

謝辞: 本研究の一部は NEDO の委託のもと実施されたものであり、関係各位に感謝いたします。

GaAs//SHJによる初期検討

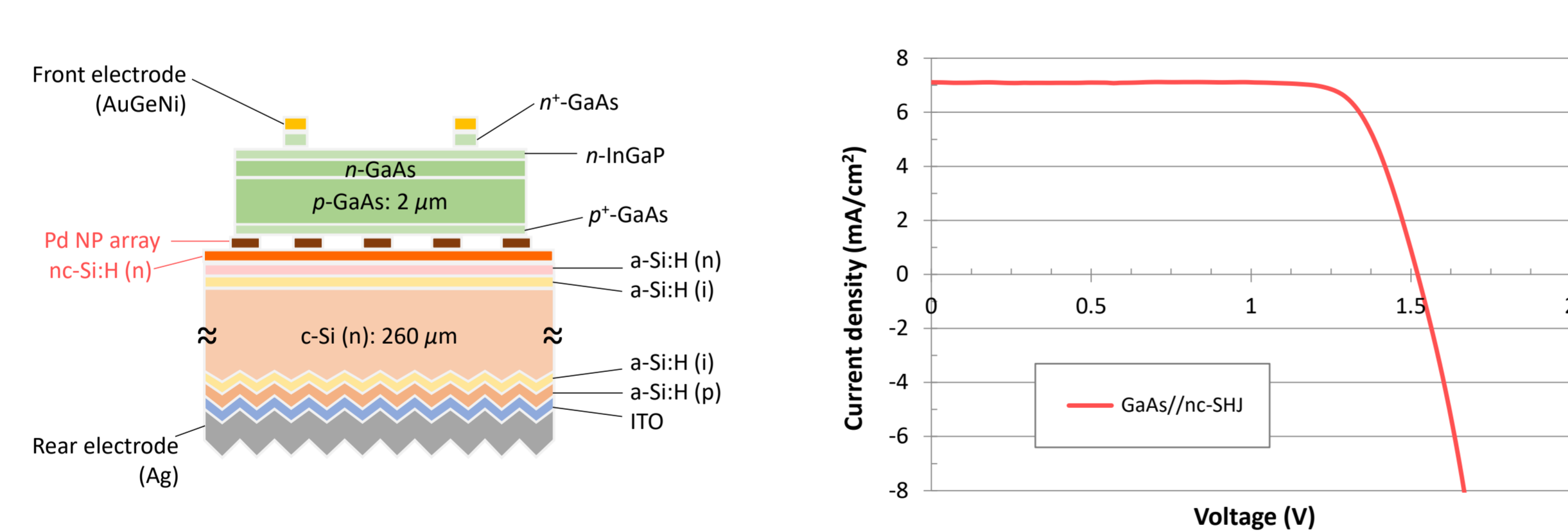
a-Si:H(n)層を最表面に有するSHJボトムセルにPdナノ粒子配列を作製した場合



⇒ 接合抵抗が高く、FFが出ない & J_{sc} も想定(〜7 mA/cm²)より低い
 ⇒ a-Si:H上への直接のPdナノ粒子配列では良好なタンデム特性が得られない

GaAs//nc-SHJによる検討

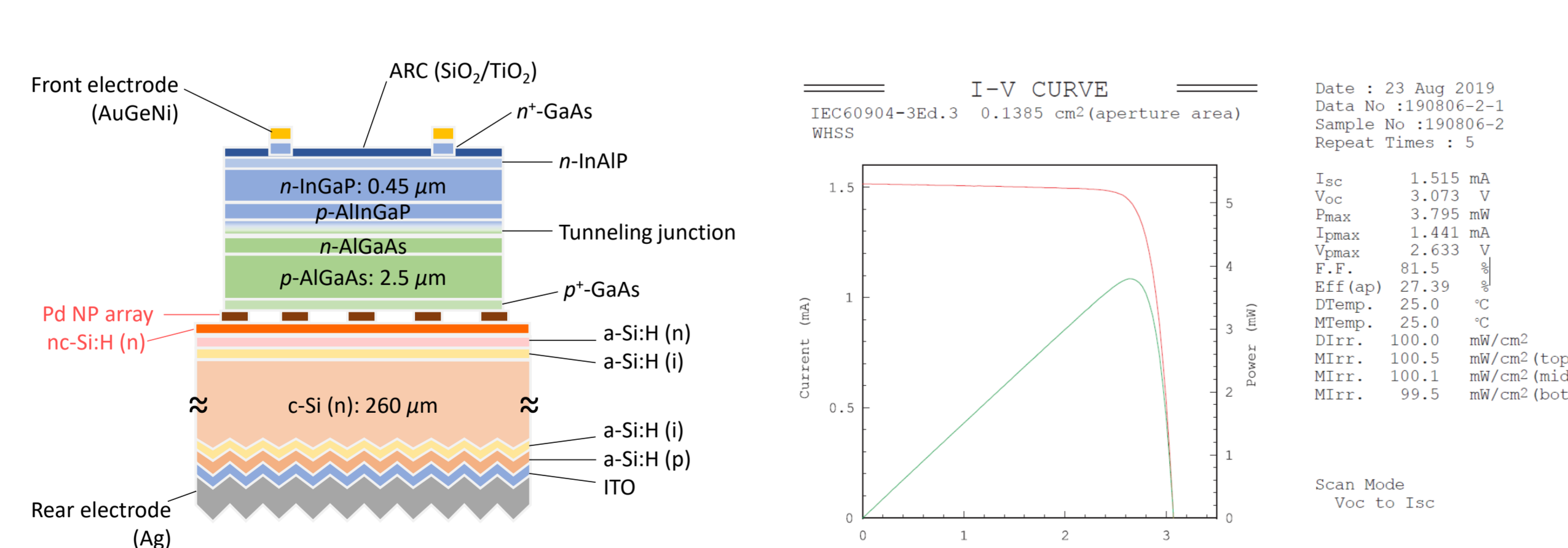
a-Si:H(n)層上にnc-Si:H(n)層を挿入したボトムセル(nc-SHJ)にPdナノ粒子配列を作製した場合



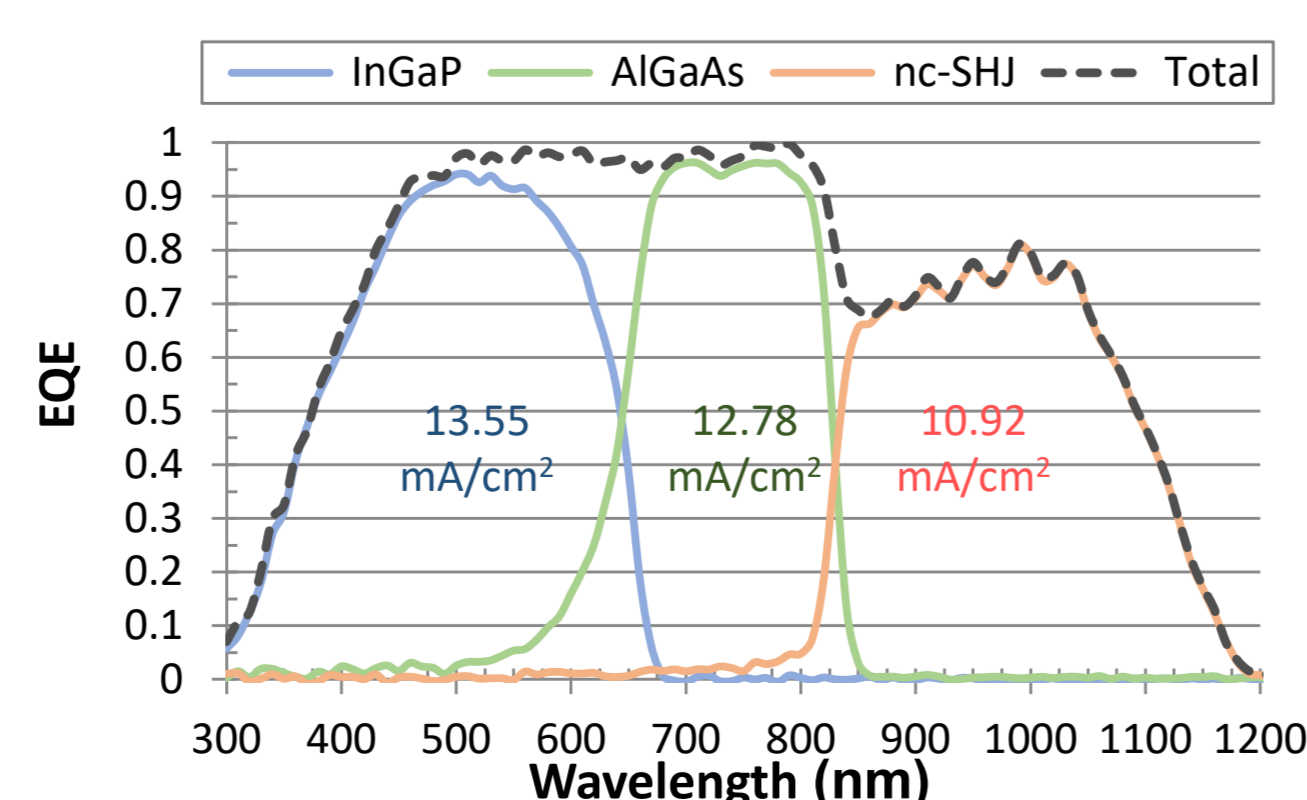
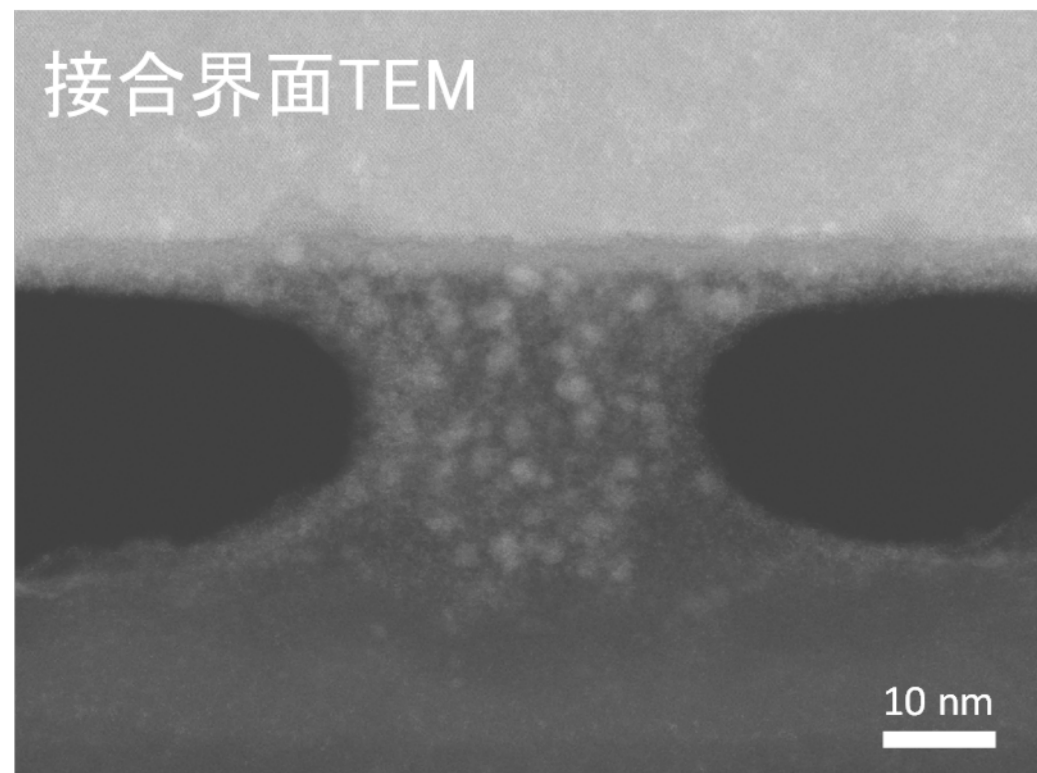
⇒ 特性が著しく改善(nc-Si:H層によるa-Si:H層の保護、導電性の改善)

InGaP/AlGaAs//nc-SHJによる高効率セルの開発

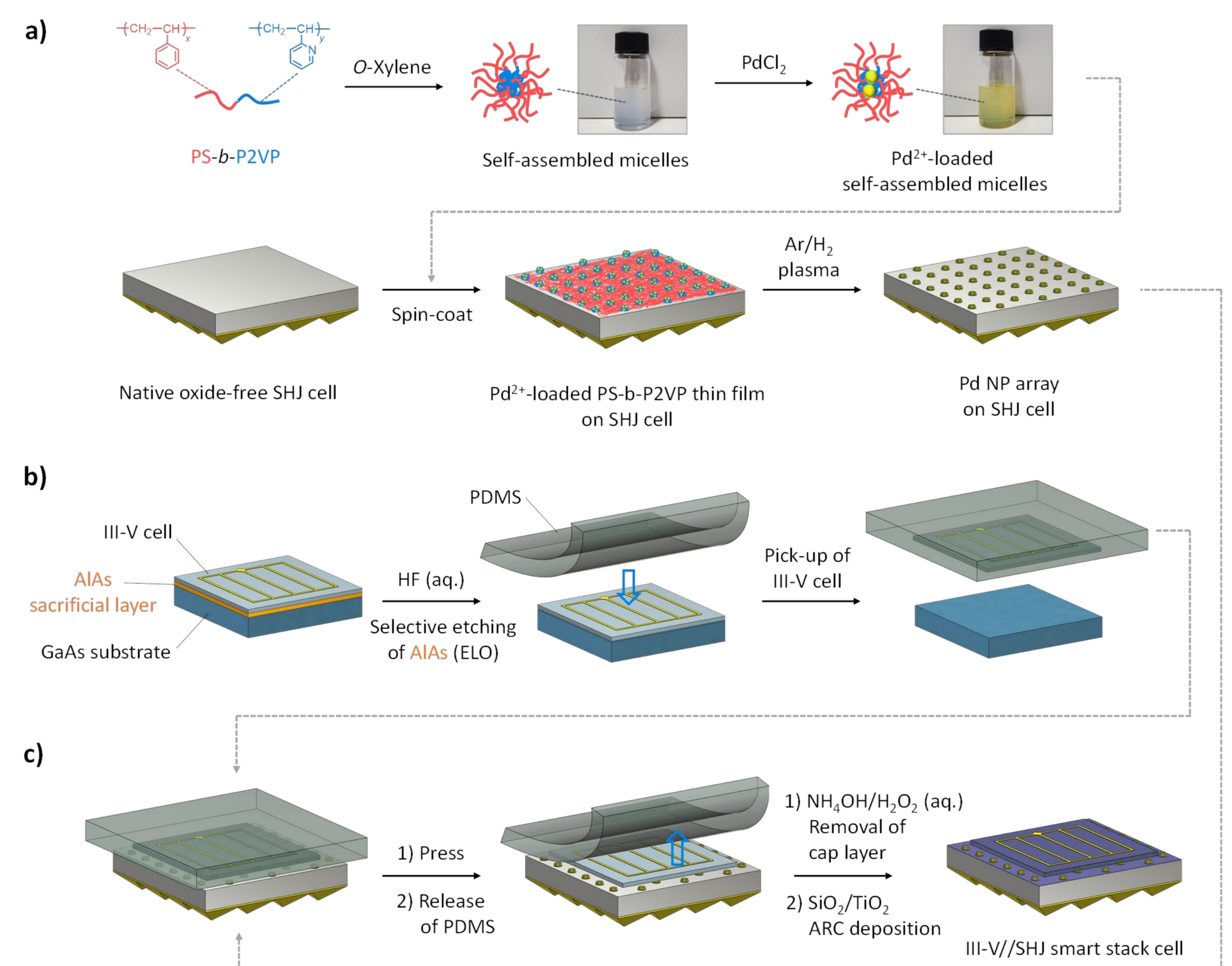
変換効率27.4%を達成



接合界面TEM



スマートスタックプロセス



- SHJセル上へのPd NPアレイの作製
- III-V族化合物セルのELOとPDMSによるピックアップ
- Pd NPアレイで装飾されたSHJセル上のIII-V族セルの接合、NH₄OH/H₂O₂によるIII-V族セルのキャップ層の除去、SiO₂/TiO₂ベースのARCの成膜。

まとめ: a-Si:HキャップのSHJセル上にPdナノ粒子配列を直接作製すると、接合抵抗が高く、SHJセルのパッシベーション効果も失われ、良好なタンデム特性が得られなかった。そこで、Pdナノ粒子配列とSHJセルの間に水素化ナノ結晶Si(nc-Si:H)層を導入し接合抵抗の改善とパッシベーション効果の保持を図った。このようなnc-Si:HキャップのSHJセルをInGaP/AlGaAs 2接合セルと組み合わせ、27.4%の変換効率(AM1.5G条件下)を達成した。EQEからは、ボトムSHJセルで J_{sc} が律速されていることが確認された。接合界面ギャップの制御により、更なる高効率化(TOPConの場合の30.8%を超える効率)が可能と考えられる。

参考文献

- [1] H. Mizuno, K. Makita, and K. Matsubara, *Appl. Phys. Lett.*, **101**, 191111 (2012).
- [2] H. Mizuno, *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **55**, 025001 (2016).
- [3] K. Makita, *et al.*, *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, **28**, 16 (2020).
- [4] H. Mizuno, *et al.*, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, DOI: 10.1021/acsami.1c22458 (2022).