

銅を接合媒体として用いたIII-V/Siスマートスタック

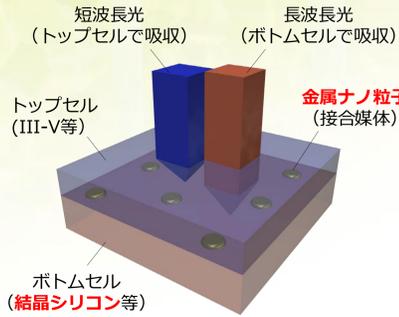
水野 英範¹、牧田 紀久夫²、望月 敏光¹、太野垣 健¹、菅谷 武芳²、高遠 秀尚¹

産業技術総合研究所 1 再生可能エネルギー研究センター

2 ゼロエミッション国際共同研究センター

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]



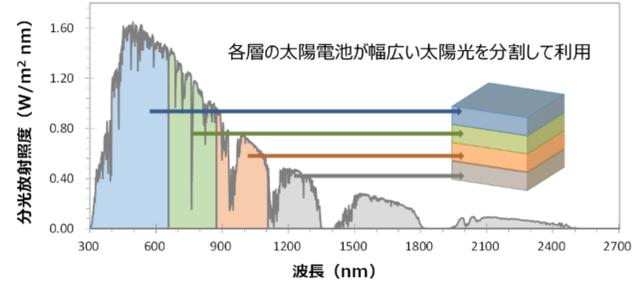
接合界面に
金属ナノ粒子を配列
↓
電気を通し、光も
阻害しないデザイン
(電氣的・光学的接続)

これまでの、金属ナノ粒子の原料としては高価なパラジウムを用いてきたが、本研究では、今後の低コスト化を見据え安価な銅を用いたスマートスタックについて詳細検討を行った。

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。

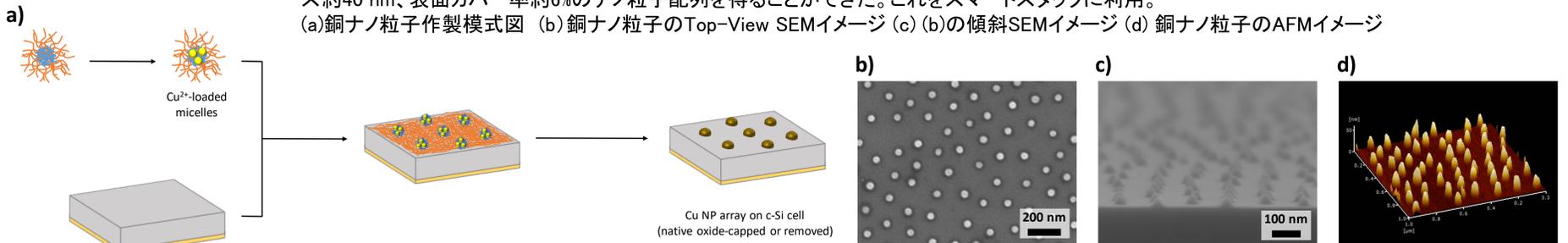


銅を用いたIII-V/Siスマートスタック^[3]

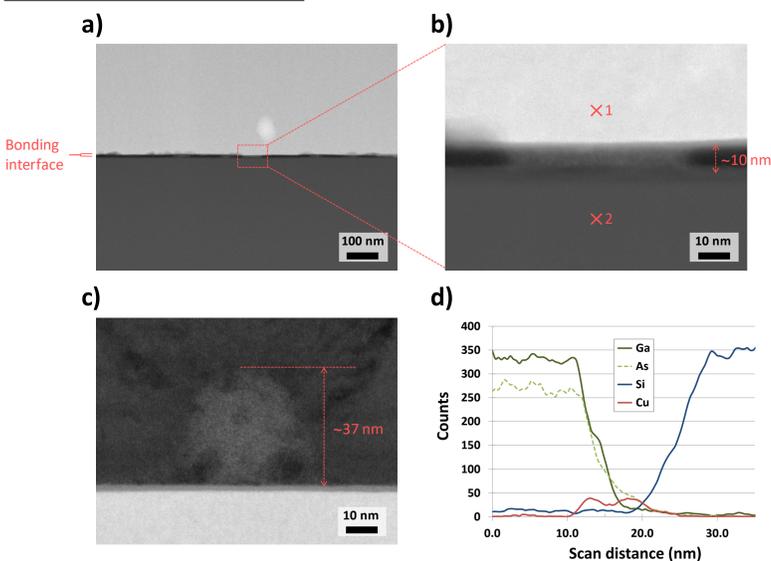
銅ナノ粒子の作製

Cu(II)イオンを導入したブロック共重合体の自己組織化ミセルを基板(シリコン太陽電池)表面にスピコートし、Ar/H₂処理を行うことによりサイズ約40 nm、表面カバー率約6%のナノ粒子配列を得ることができた。これをスマートスタックに利用。

(a)銅ナノ粒子作製模式図 (b)銅ナノ粒子のTop-View SEMイメージ (c) (b)の傾斜SEMイメージ (d)銅ナノ粒子のAFMイメージ

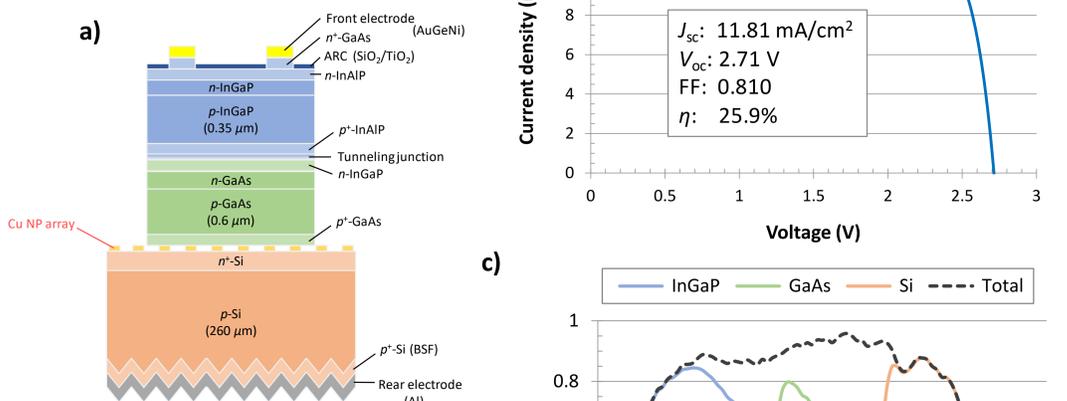


接合界面



STEMを用い、接合界面の観察を行った。(a,b)界面には約10 nmのギャップ(接合後の銅ナノ粒子の高さに由来)が確認された。(c)接合前の銅ナノ粒子は高さが約37 nmあったことから、スマートスタック接合は銅ナノ粒子の変形を伴って進行していることが確認された。(d) EDXラインプロファイル(bのX1からX2に沿って分析)においてはGaAs層へのCuの拡散の可能性も示唆された。

デバイス特性



(a) 銅ナノ粒子配列を用いたInGaP/GaAs/Siスマートスタック3接合太陽電池の構造模式図 (b) 電流-電圧特性($J_{sc} = 11.81 \text{ mA/cm}^2$, $V_{oc} = 2.71 \text{ V}$, $FF = 0.810$, 変換効率 = 25.9%) (c) EQEスペクトル。InGaP・GaAs・Siセルにおいて発生した電流密度はそれぞれ11.90、11.82、12.11 mA/cm²であり、GaAs律速であることが確認された。

まとめ

本研究では、スマートスタックに用いる金属として、高価なパラジウムではなく銅を検討した。銅ナノ粒子配列を用いた場合でも、高効率タンデム太陽電池実現に不可欠な低抵抗・高光透過を有する接合界面が得られることを確認した。InGaP/GaAs/Siからなる3接合太陽電池において変換効率25.9%を達成した。

謝辞: 本研究は 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。

参考文献

- [1] H. Mizuno, K. Makita, and K. Matsubara, *Appl. Phys. Lett.*, **101**, 191111 (2012).
- [2] H. Mizuno, K. Makita, T. Sugaya, R. Oshima, Y. Hozumi, H. Takato, and K. Matsubara, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **55**, 025001 (2016).
- [3] H. Mizuno, K. Makita, T. Michizuki, T. Tayagaki, T. Sugaya, and H. Takato, *ACS Appl. Energy Mater.*, **3**, 3445 (2020).