

TCOフリーシリコンヘテロ接合太陽電池の検討

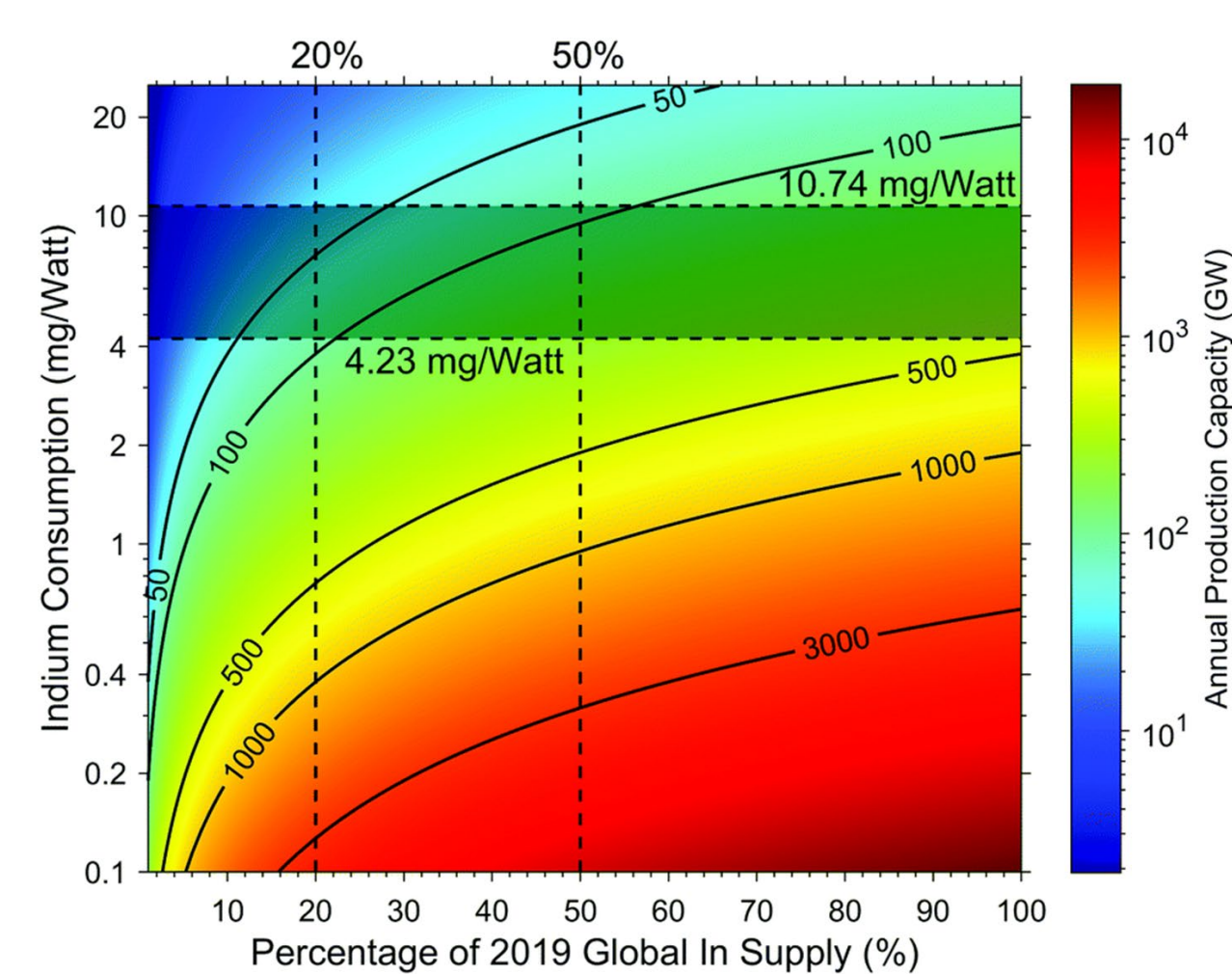
研究の目的

■ シリコンヘテロ接合太陽電池 (Silicon heterojunction; SHJ)

- 高効率: 26.8%(表裏電極型)^[1]
26.7%(裏面電極型)^[2]
- 高温環境下で高出力^[3]
- 両面受光が容易

■ 課題

- 装置コスト (CVD)
- 非シリコン材料のコスト^[4]:
Ag, In, Biなど
InはTCOの主要材料として使用



省インジウム、脱インジウムへの取り組み

■ 薄型In系TCO

- In-TCO + 誘電体薄膜, $\eta = 22.8\%$ [5]

■ In-free TCO

- ZnO:Al, $\eta = 23\%$ [6,7]

■ TCO-free

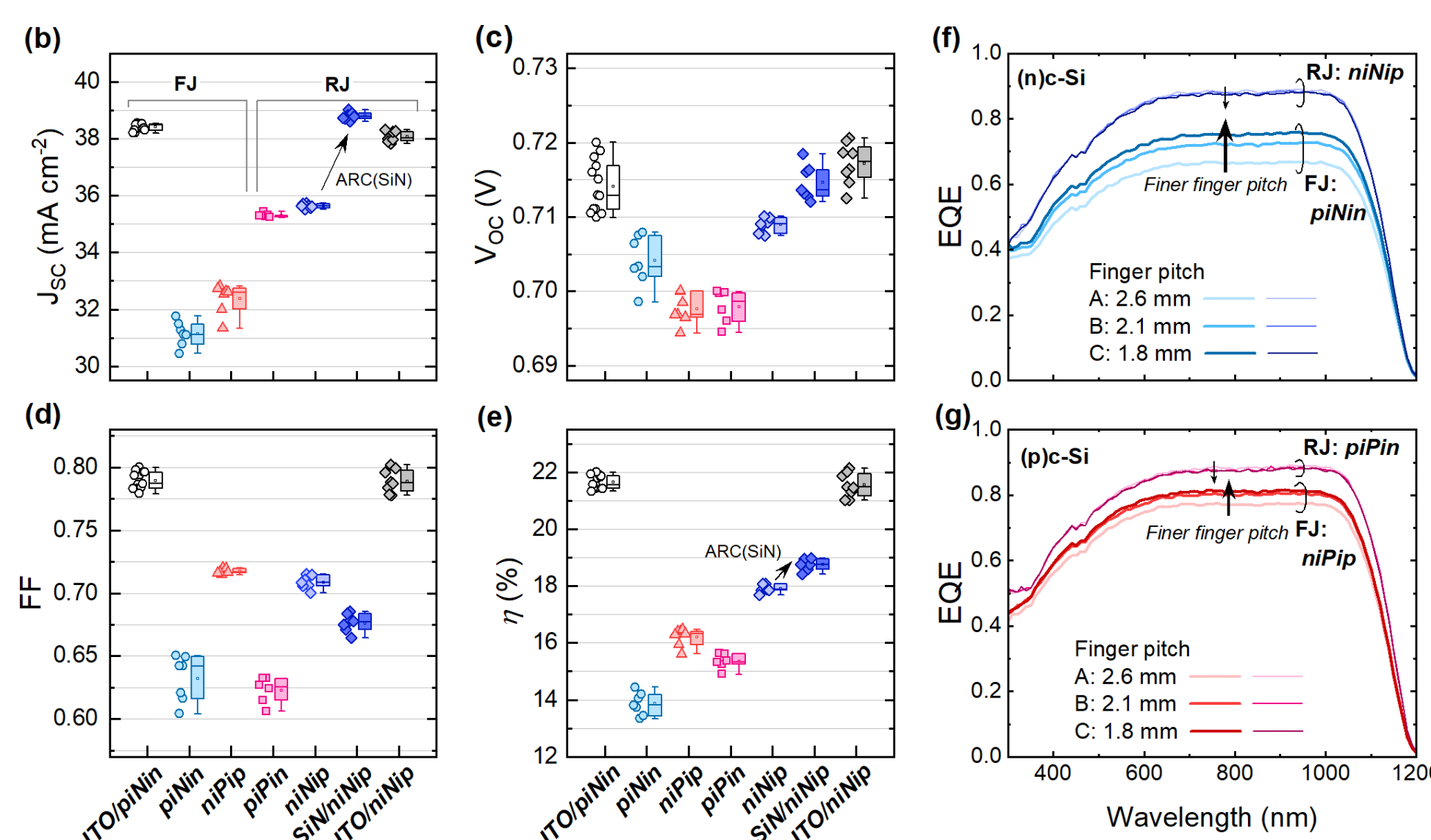
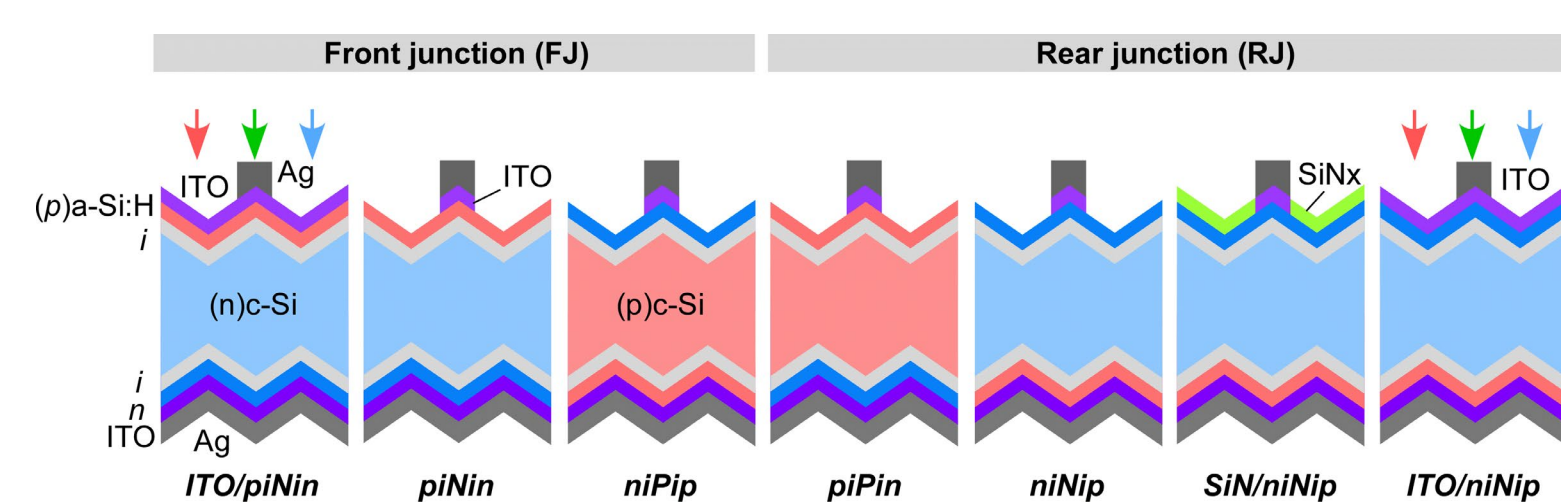
- TCOは使わず、Siウェーハ内でキャリア輸送 (高注入下) [8]

**本研究の目的：
TCOフリーSHJ太陽電池の可能性探索**

実験と結果 1 - 表側TCOフリーSHJセル

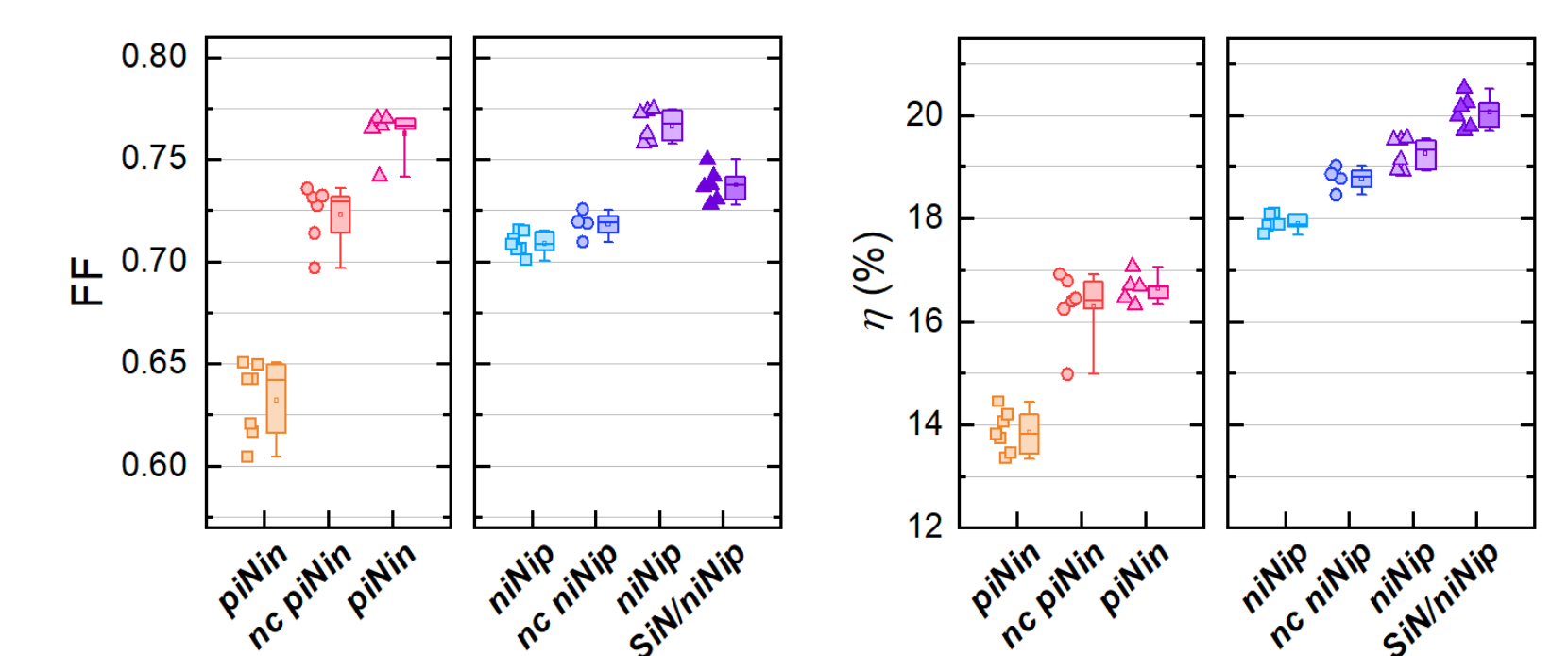
■ セル構造の影響 (片面受光SHJ)

- ラボサイズの小面積SHJセル [9,10]
- N型裏面接合型 (RJ) が高い効率
- 表面接合型 (FJ) はキャリア収集に課題 (J_{SC} およびEQEの低下)
- (p)a-Si:HコンタクトがFFを制約



■ キャリアコンタクト構造の影響

- 表面TCOフリーSHJセルのFFは、キャリアコンタクト構造の変更で大きく改善する (a-Si:H → nc-Si:H) [11]
- Ag/a-Si:H直接コンタクトで最大のFF

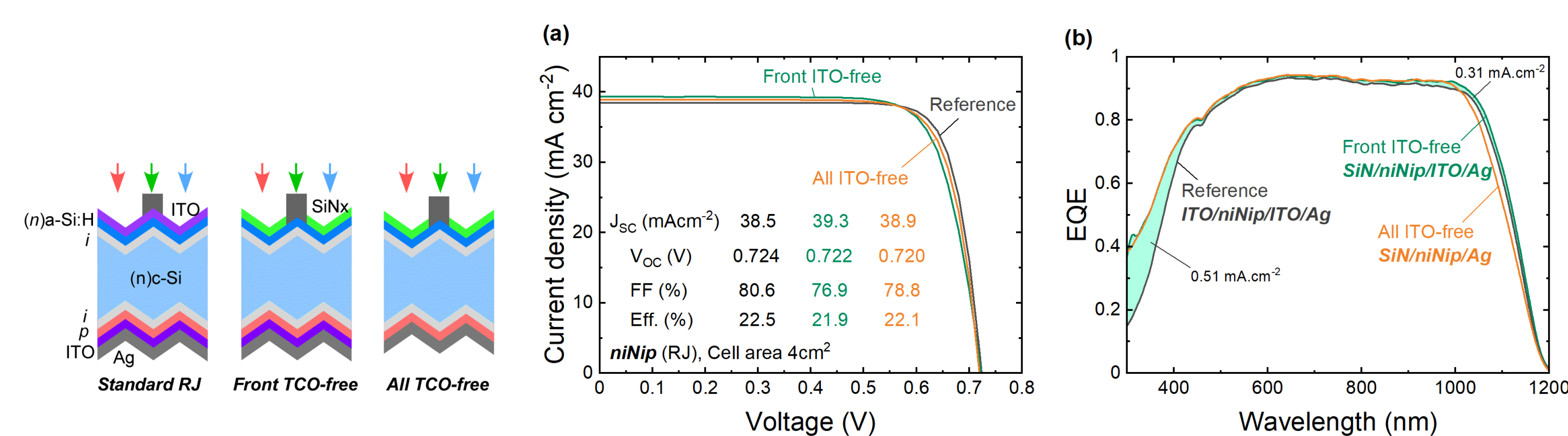


実験と結果 2 - 完全TCOフリーSHJセル

■ 完全TCOフリーセル

- niNip構造にて $\eta = 22.1\%$ (SiNx-AR, 4 cm²)
- ITO有りのniNip構造セルと同等の性能
- EQE 短波長側 ↑ ITOの吸収損失が削減
長波長側 ↓ 裏面側のTEX-Si/Agにおける吸収^[9]

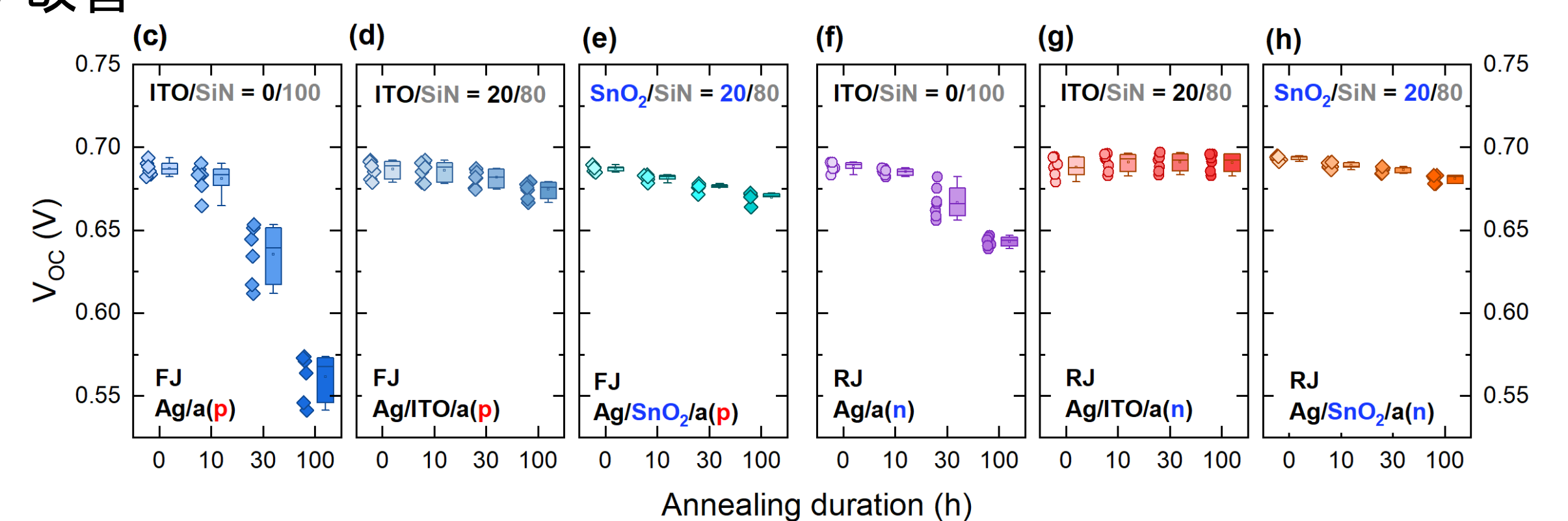
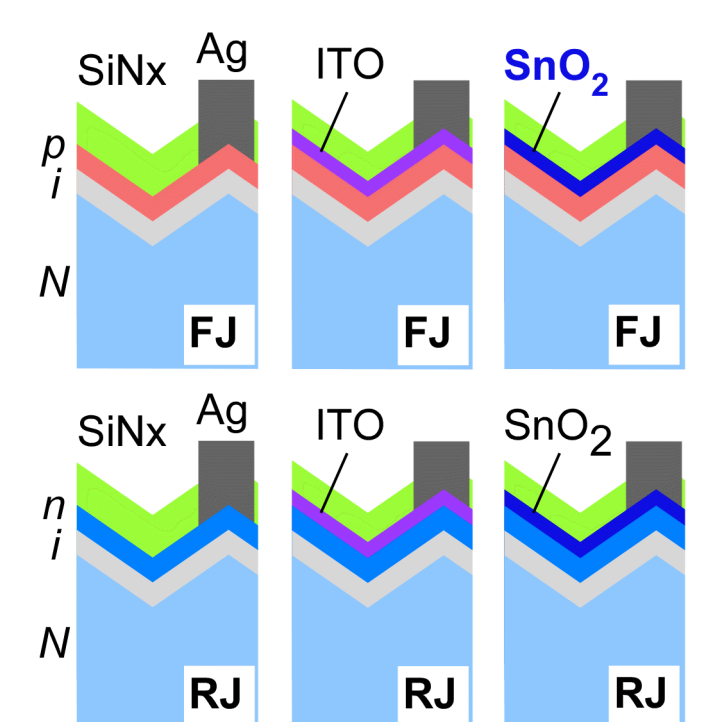
■ TCO無しでも高効率(初期特性)なSHJセルは実現可能



実験と結果 3 - 熱アニールに対する安定性

■ 熱アニールによる安定性評価 (160°C 100h)

- Ag/a-Si:H直接コンタクトを持つセルでは、 V_{OC} が顕著に減少
- FJ構造ではより大きな性能低下
→ p-コンタクトの方が不安定
- 薄いバリア層 (ITO, ALD-SnO₂)の挿入で安定性が改善



まとめ

- 完全TCOフリーSHJセルで高い初期効率(>22%)を実証
- TCOが無くても高効率なSHJセルは実現可能
- しかし、TCOは効率面でなくセルの安定性にも重要な役割を持つ
- TCOフリーSHJセルの応用には、長期安定性を担保する技術の開発が重要

参考文献

- [1] LONGi Solar, press release (2022).
- [2] Yoshikawa et al., SOLMAT **173** (2017) 37.
- [3] Sai et al., PIP **29** (2021) 1093 and others.
- [4] Zhang et al., Energy Environ. Sci **14** (2021) 5587.
- [5] Han et al., PIP **30** (2022) 750.
- [6] Morales-Viches et al., IEEE JPV **9** (2018) 34.
- [7] Meza et al., Appl. Sci **9** (2019) 862.
- [8] Li et al., Joule **5** (2021) 1535.
- [9] Sai et al., JAP **124** (2018) 103102 DOI10.1063/1.5045155
- [10] Umishio et al., PIP **29**(2020) 344 DOI10.1002/pip.3368
- [11] Haschke et al., JAP **127** (2020) 114501. doi.org/10.1063/1.5139416.

謝辞

以下の方々に感謝申し上げます。
産総研再生エネセンター: 奥登志喜、佐藤芳樹、田辺まゆみ、武藤由樹子
産総研NPF: 山崎将嗣
本研究の一部は 文科省“ナノテクプラットフォーム”の支援を受けて実施された。