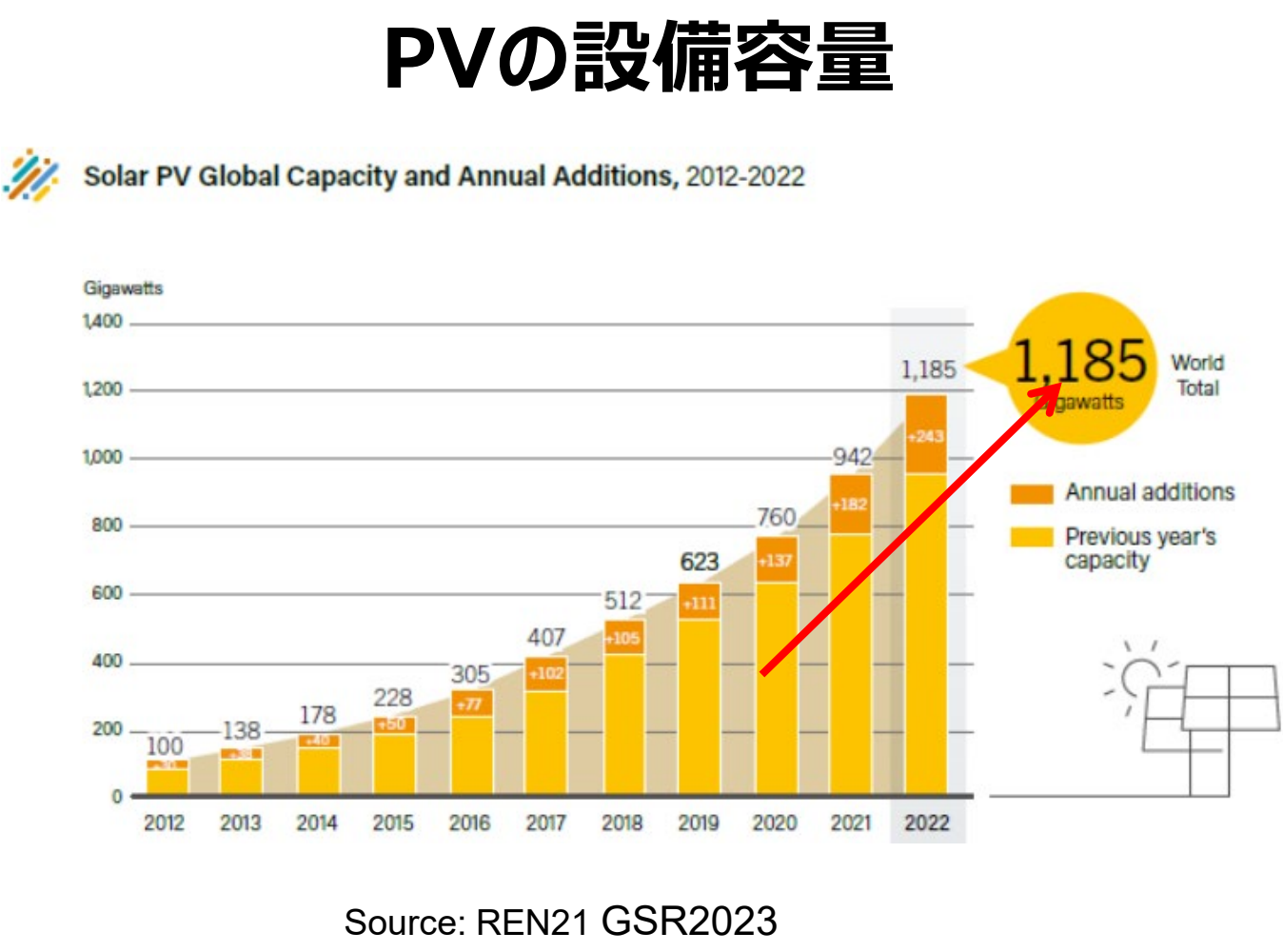


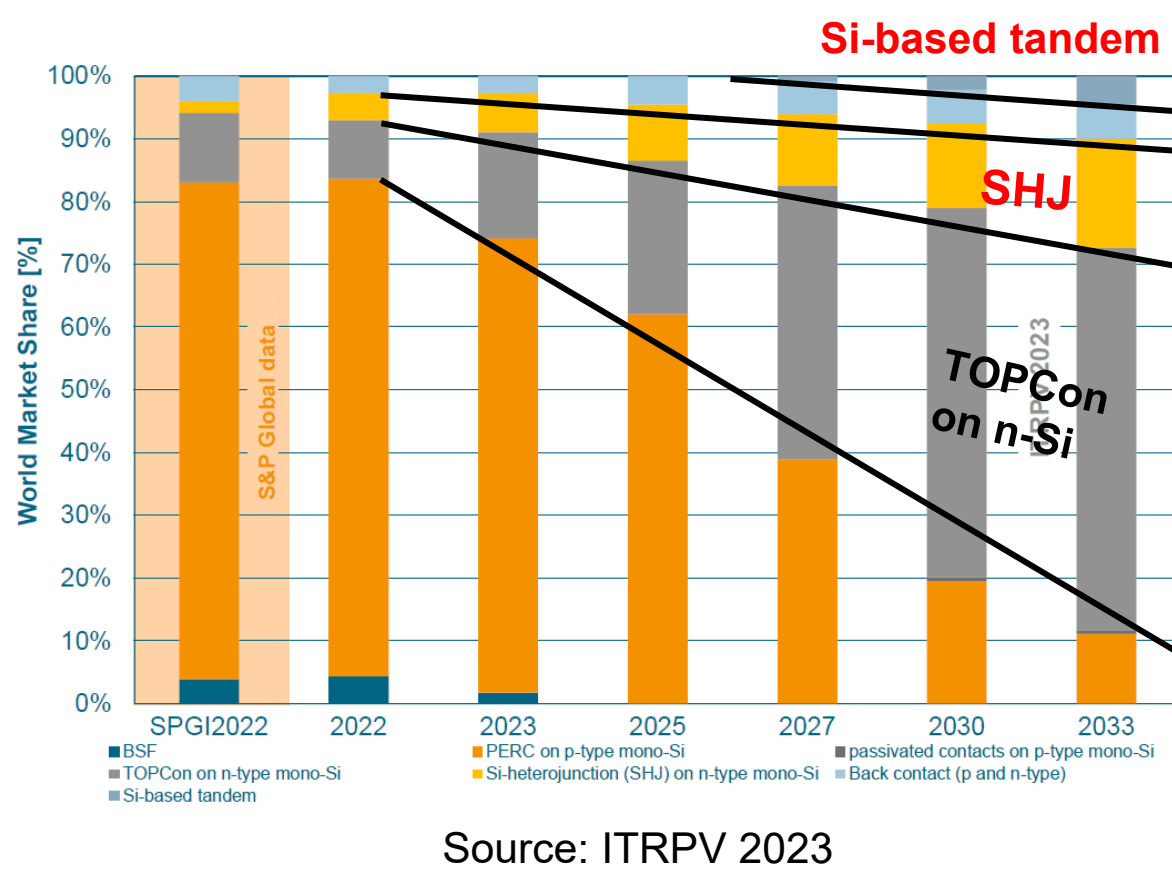
希少金属In不使用の非晶質SnO₂透明導電膜の開発と太陽電池への展開

PVのトレンド・技術



年産240GW（2022年）
近い将来、年産1TWへ

Si-PVの種類（実績と予測）

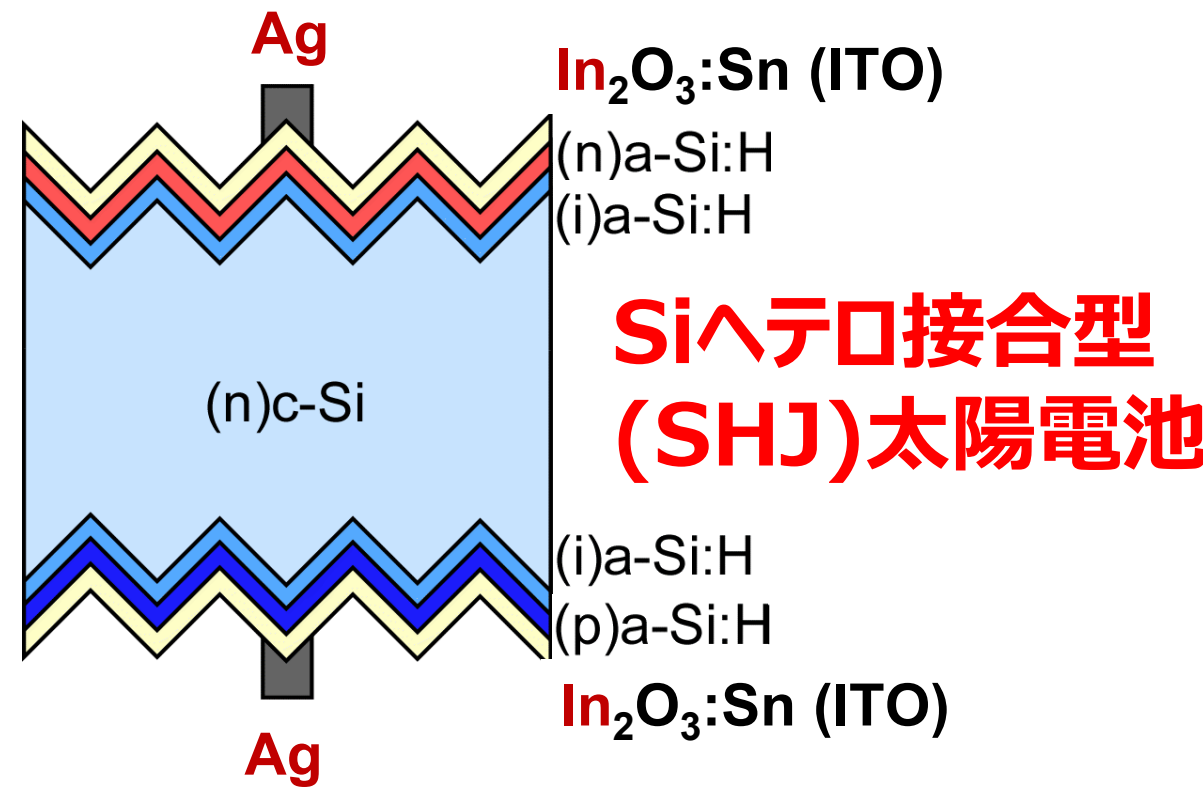


Si-PVでは従来のPERC（p型ウェハ使用）から高効率・高安定なTOPConやSHJ（n型ウェハ使用）へ段階的移行

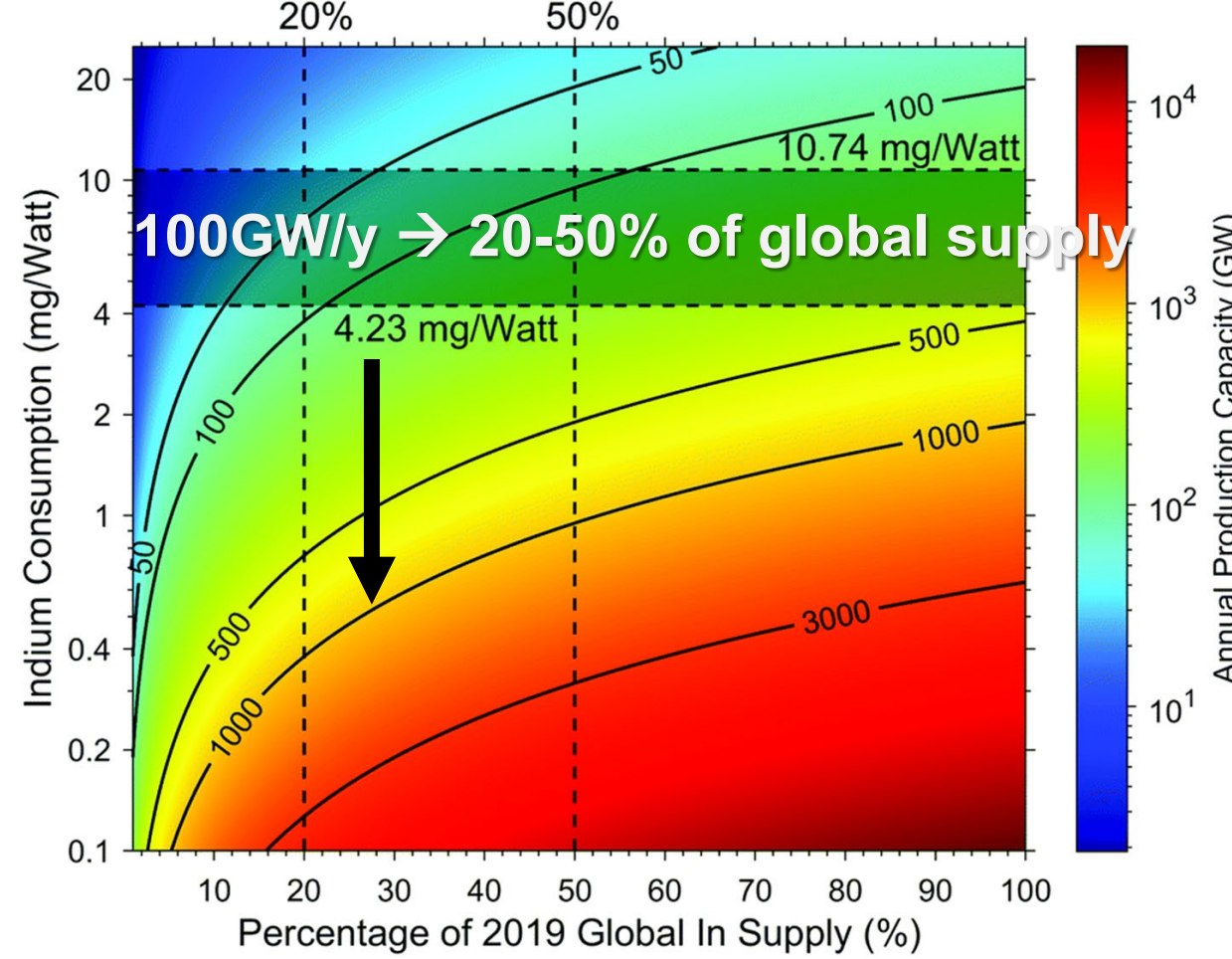
PV持続的発展には資源問題の解決が急務

Si-PV等で使用している希少金属

In（ITO透明電極）：SHJ, perovskite, tandem
Ag（集電極）：全てのSi-PV
Bi（Sn-Bi低温ハンダ）：Si-PV(特にSHJ)



SHJ太陽電池に必要なIn量（試算）



Source: Zhang et al., Energy Environ. Sci 14 (2021) 5587.
現ITO使用量（100nm厚）で年100GW生産するには、世界のIn供給量の20-50%が必要

これまでの業界での検討

省In

反射防止機能を持たせるために薄いITOと誘電体層（SiN_x等）の積層膜
→製造コストの増大

脱In

ZnO系透明導電膜
→安定性・信頼性に課題

現在、PV業界では主に省Inの積層膜が検討されている

高導電率a-SnO₂透明電極の開発

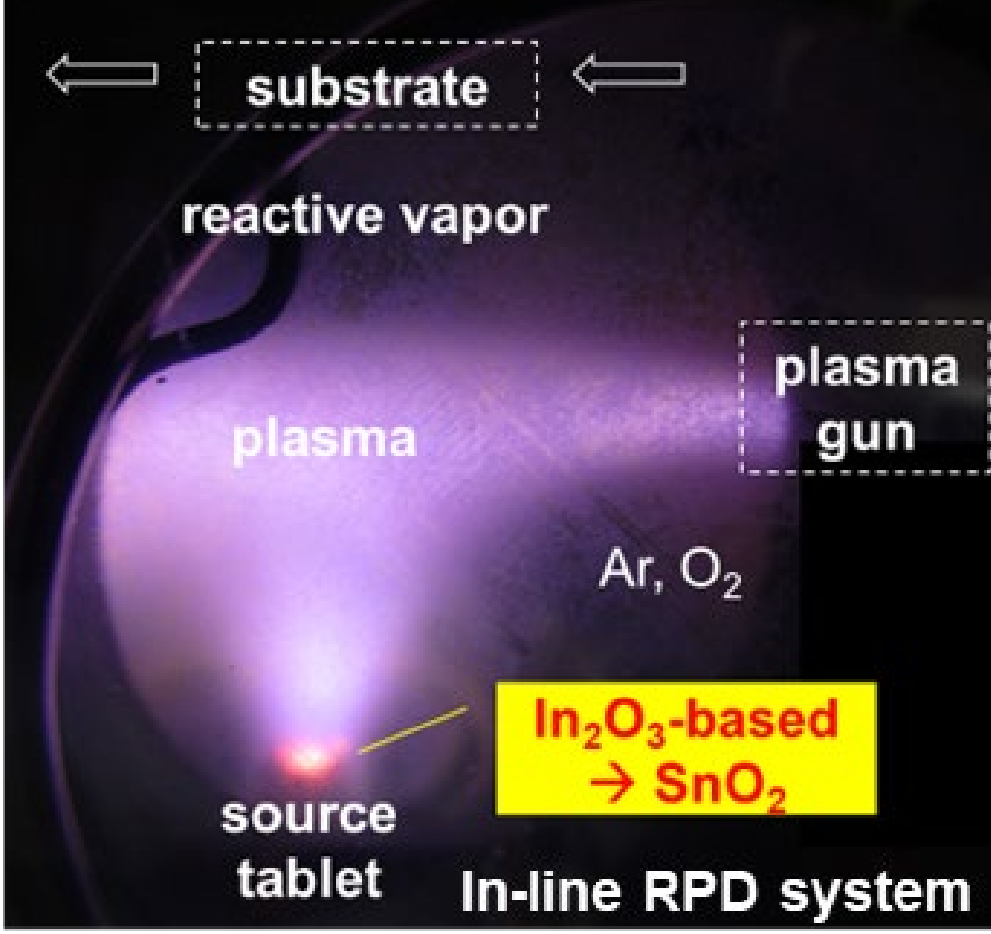
本研究の目的

材料/構造	多結晶 (高温製造)	非晶質 (低温製造)
In ₂ O ₃ 系	☑ ITO, IWOH	☑ a-IOH, a-IZO
SnO ₂ 系	☑ FTO, ATO	未開拓 (低導電率)

- SnO₂とIn₂O₃は類似の電子状態
- 透明電極として結晶質は共に広く普及
- 結晶質と非晶質は類似の電子状態
- 非晶質はIn₂O₃系のみ実用化

なぜ非晶質SnO₂は低導電率？
キャリアの生成・散乱機構に立ち返り、製造技術を見直す

薄膜製造



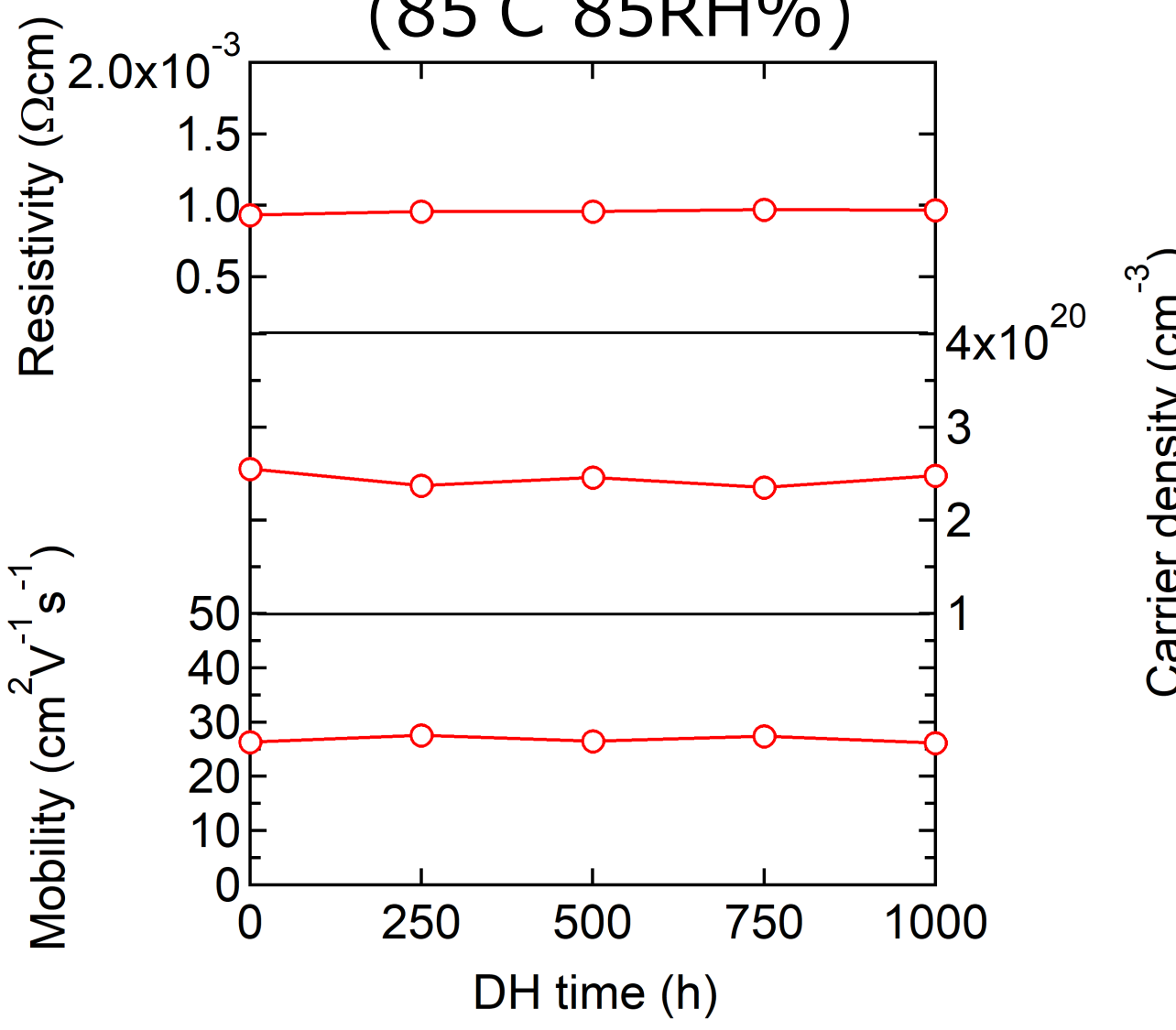
本RPD（反応性プラズマ堆積）法はSHJ太陽電池の生産ラインでも使用
原料をIn₂O₃系からSnO₂に交換するだけ

光学特性



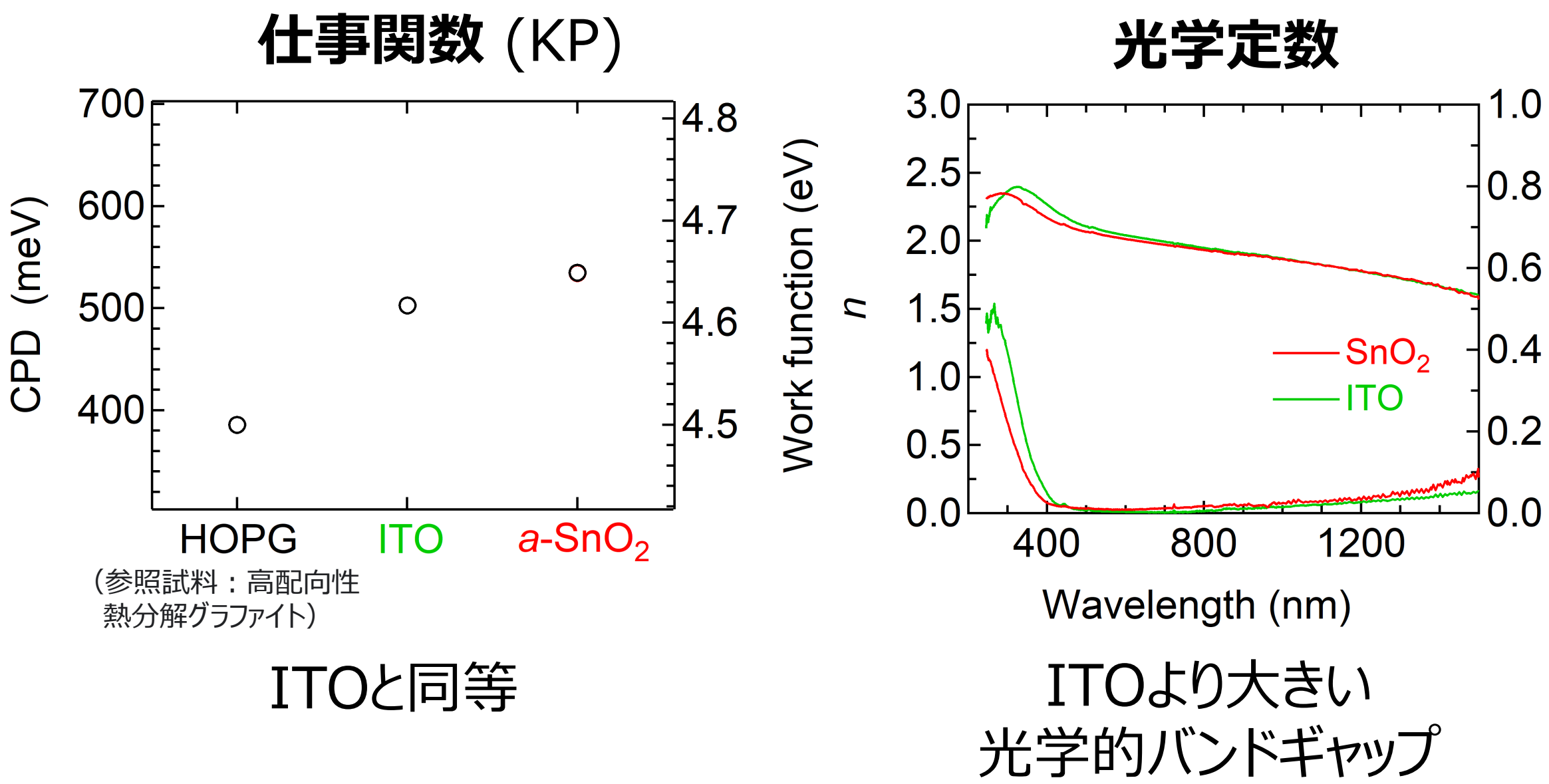
透明性問題なし
E_g^{opt}: 2.95 eV

電気特性の安定性 (85℃ 85RH%)



低抵抗率化に初めて成功(<1E-3 Ωcm)
非晶質構造に由来し、高温高湿下安定

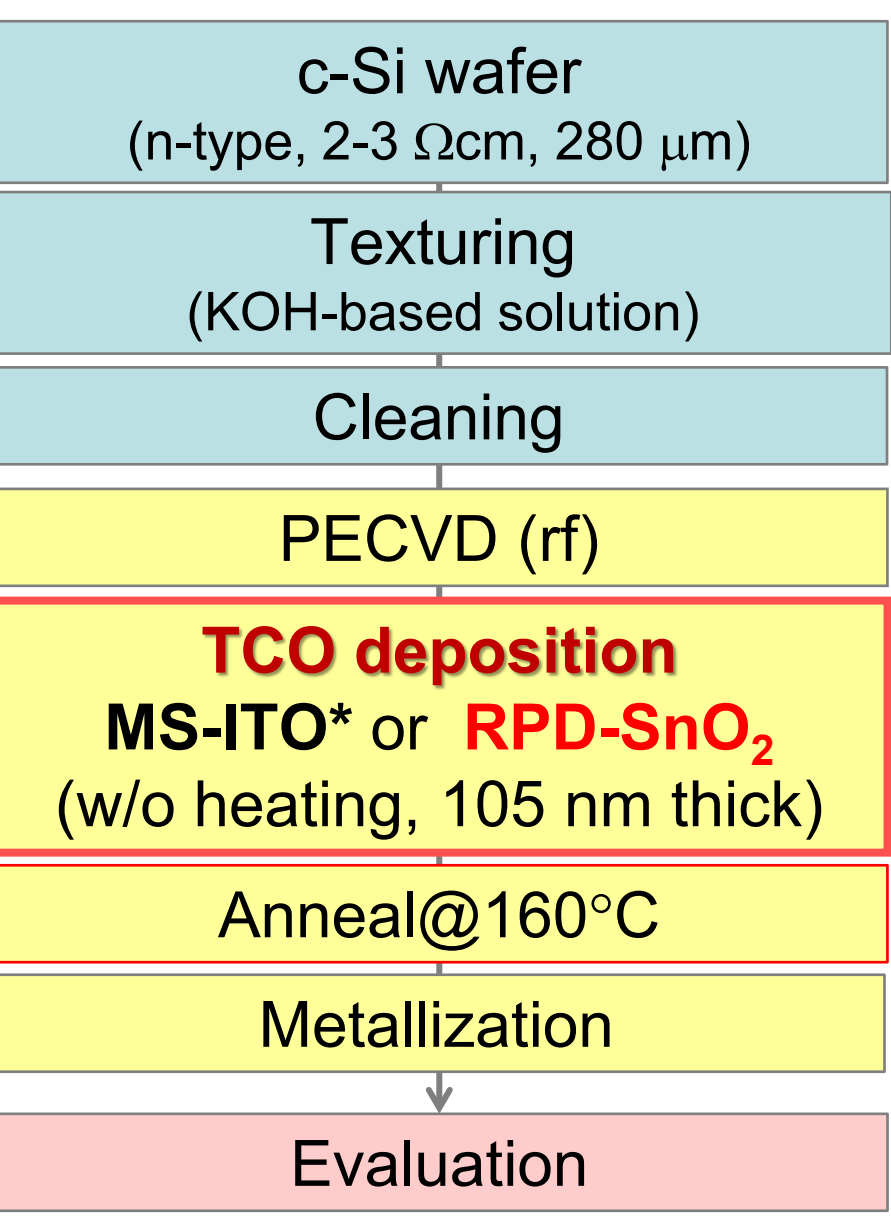
ITOと a-SnO₂ 薄膜の比較



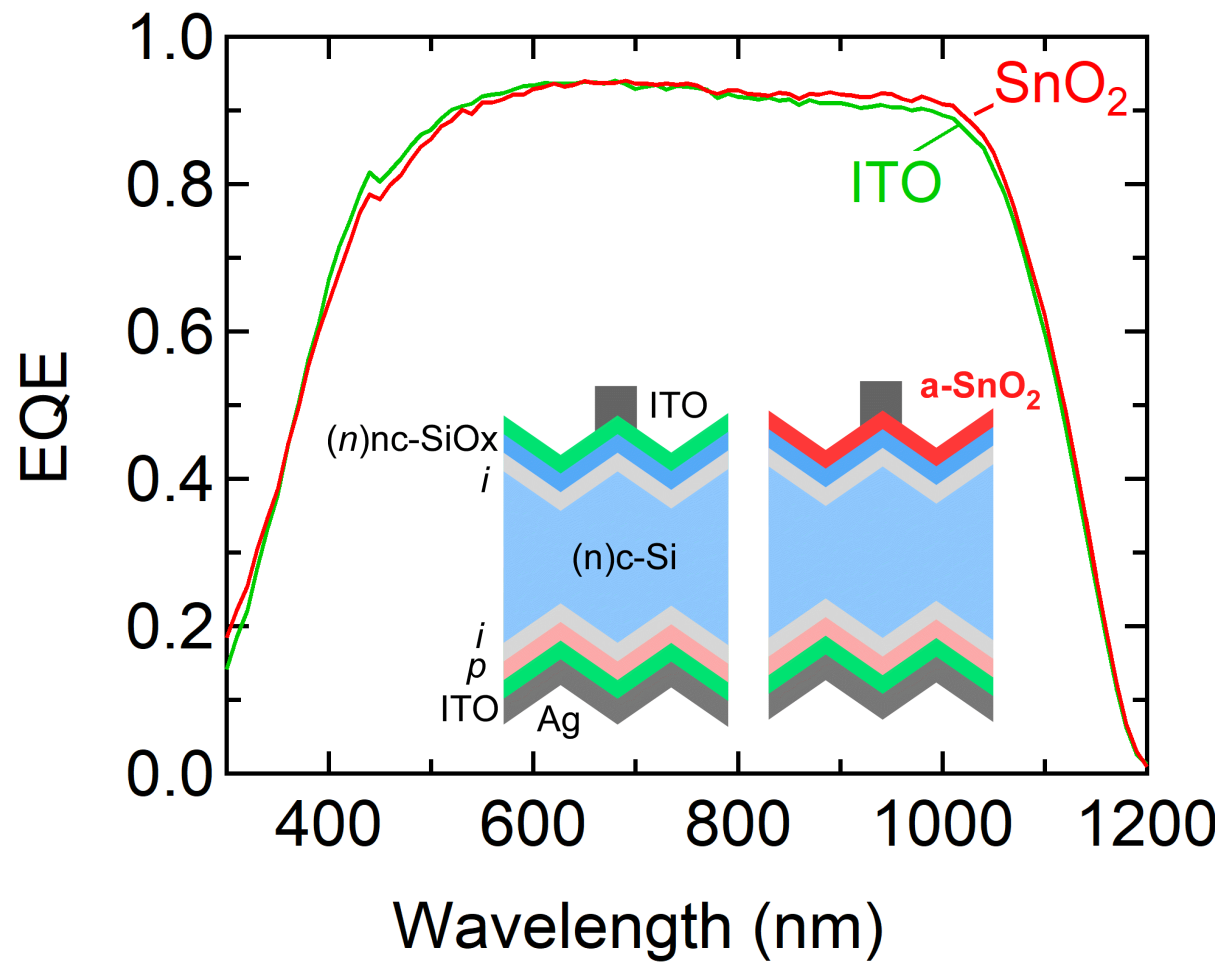
*ITO(90 wt.% In₂O₃- 10 wt.% SnO₂)
160℃ポストアニールで一部結晶化

SHJ太陽電池特性比較（窓電極にITOとa-SnO₂を使用）

太陽電池作製工程

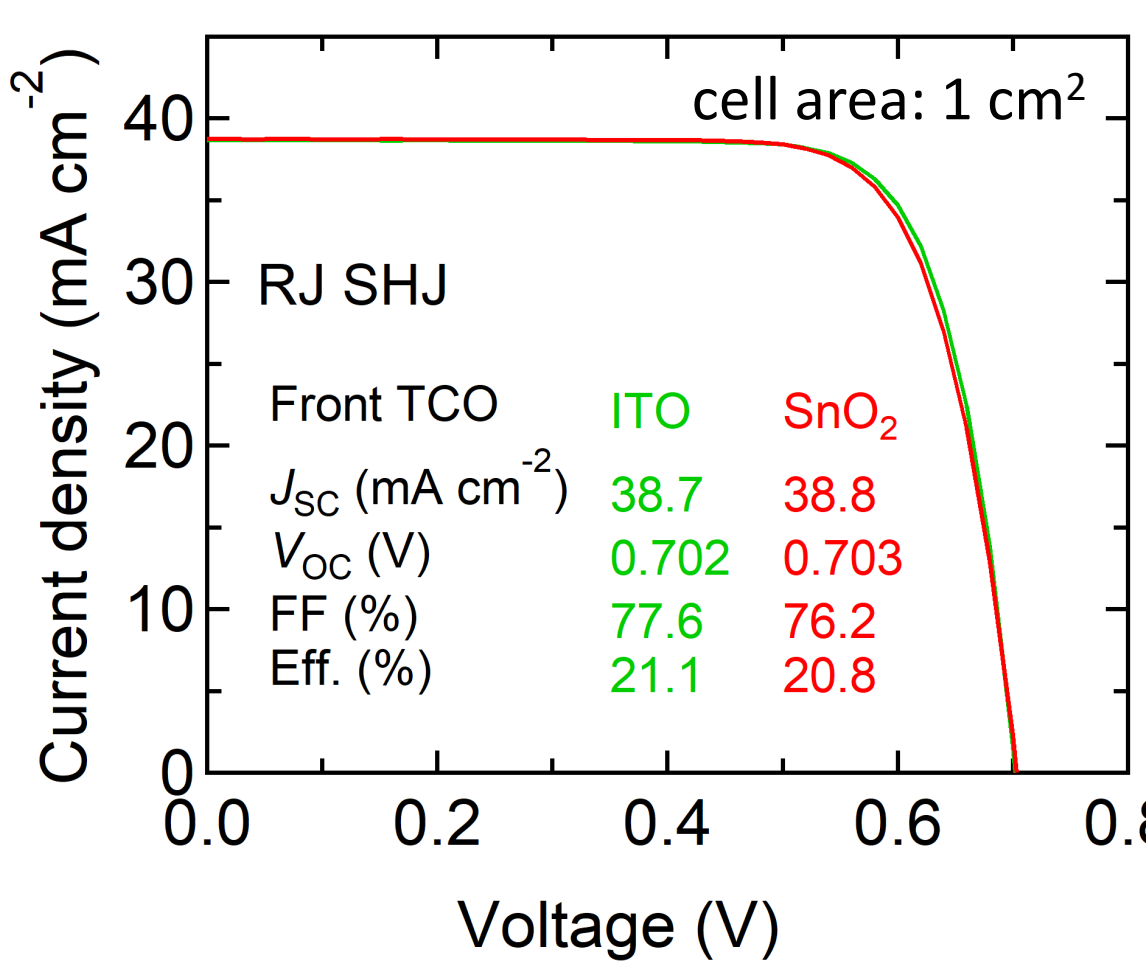


分光感度スペクトル



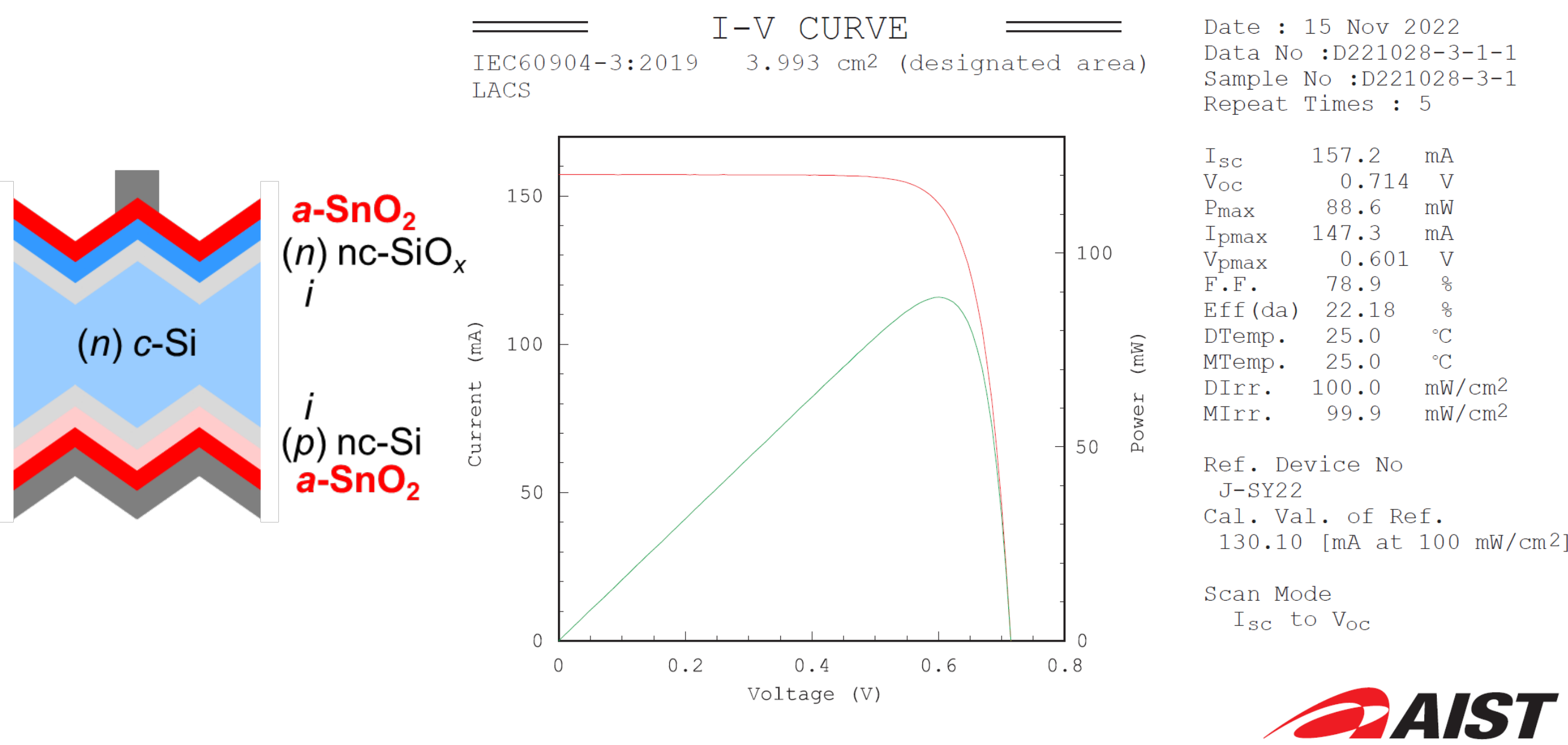
同等の分光感度
(両者の差はTCO膜厚に由来)

電流電圧特性



同等の太陽電池特性
(Textured p/i/c-Si 上のTCOシート抵抗 a-SnO₂: 160 Ω/sq. ITO: 60 Ω/sq.)

希少金属Inを使わない a-SnO₂を用いたSHJ 太陽電池



まとめ

- RPD法を用い、高導電率 (>1 × 10³ Scm⁻¹) a-SnO₂ TCO薄膜の製造に世界で初めて成功、高温高湿環境下で安定
- 光学的バンドギャップはa-In₂O₃系TCOより大きい
- 窓電極としてa-SnO₂を用いたSHJ太陽電池はITOを用いた太陽電池と同等の性能
- a-SnO₂を用いたリアジャンクションSHJ太陽電池において変換効率22.2%を達成
- a-SnO₂が従来のIn₂O₃系に代わるTCOとして、太陽電池に有用であることを実証

T. Koida, T. Matsui, H. Sai, Sol. RRL 7, 2300381 (2023) DOI: 10.1002/solr.202300381