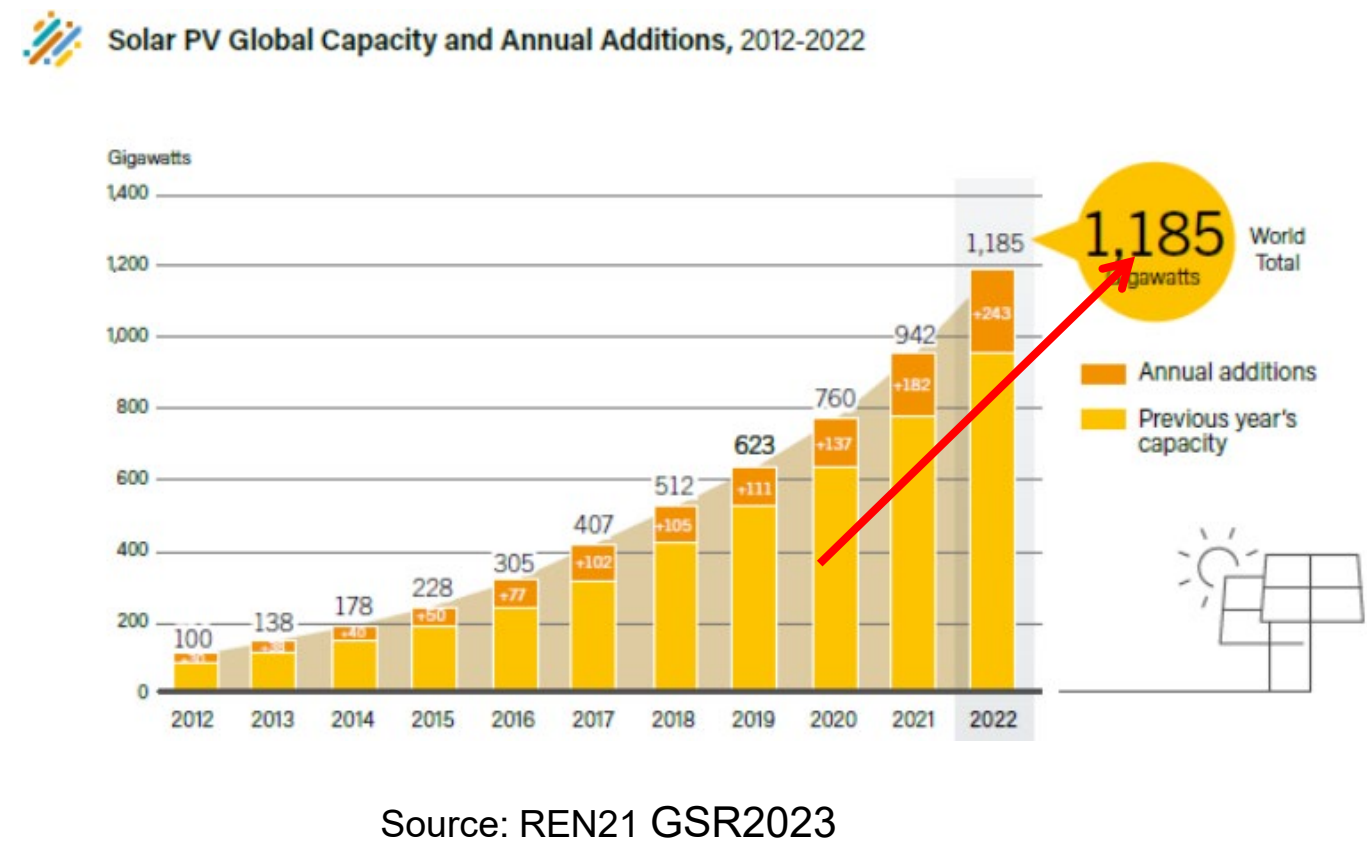


希少金属In不使用の非晶質SnO₂透明導電膜の開発と太陽電池への展開

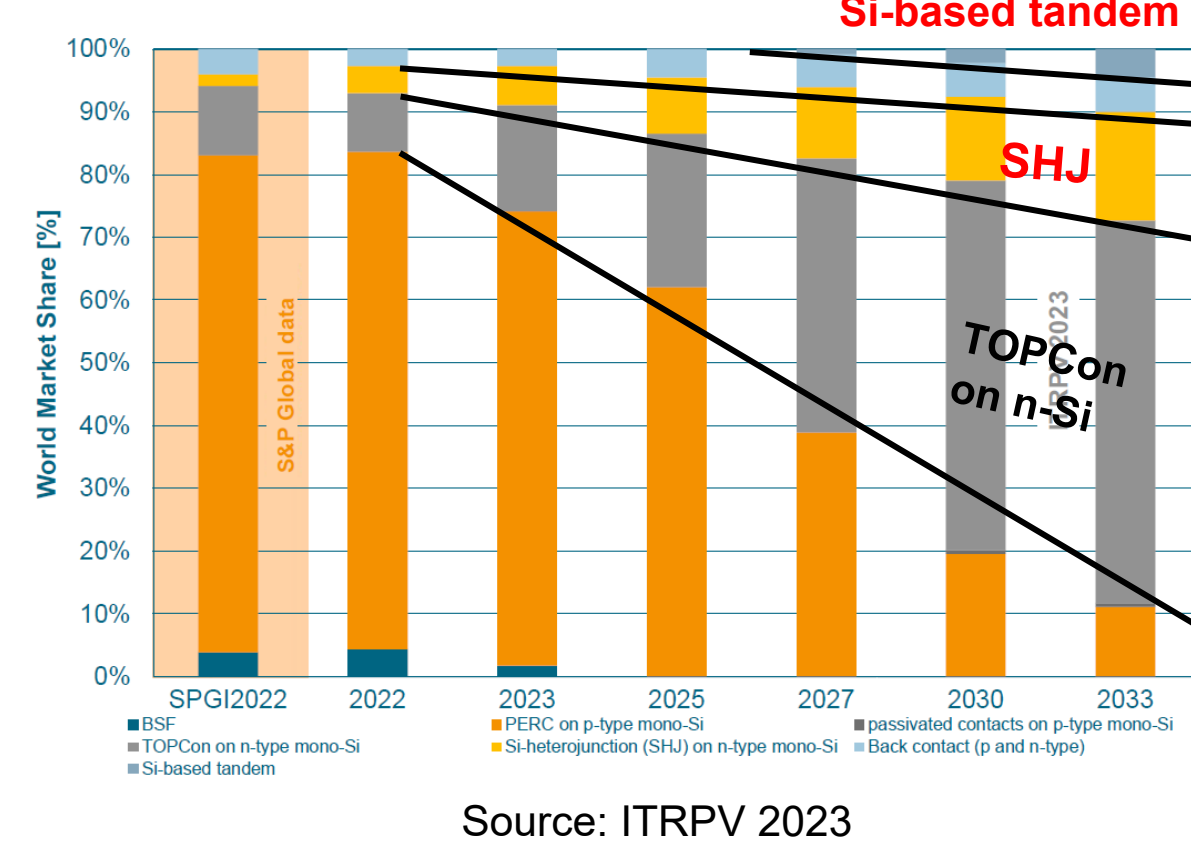
PVのトレンド・技術

PVの設備容量



年産240GW (2022年)
近い将来、年産1TWへ

Si-PVの種類 (実績と予測)

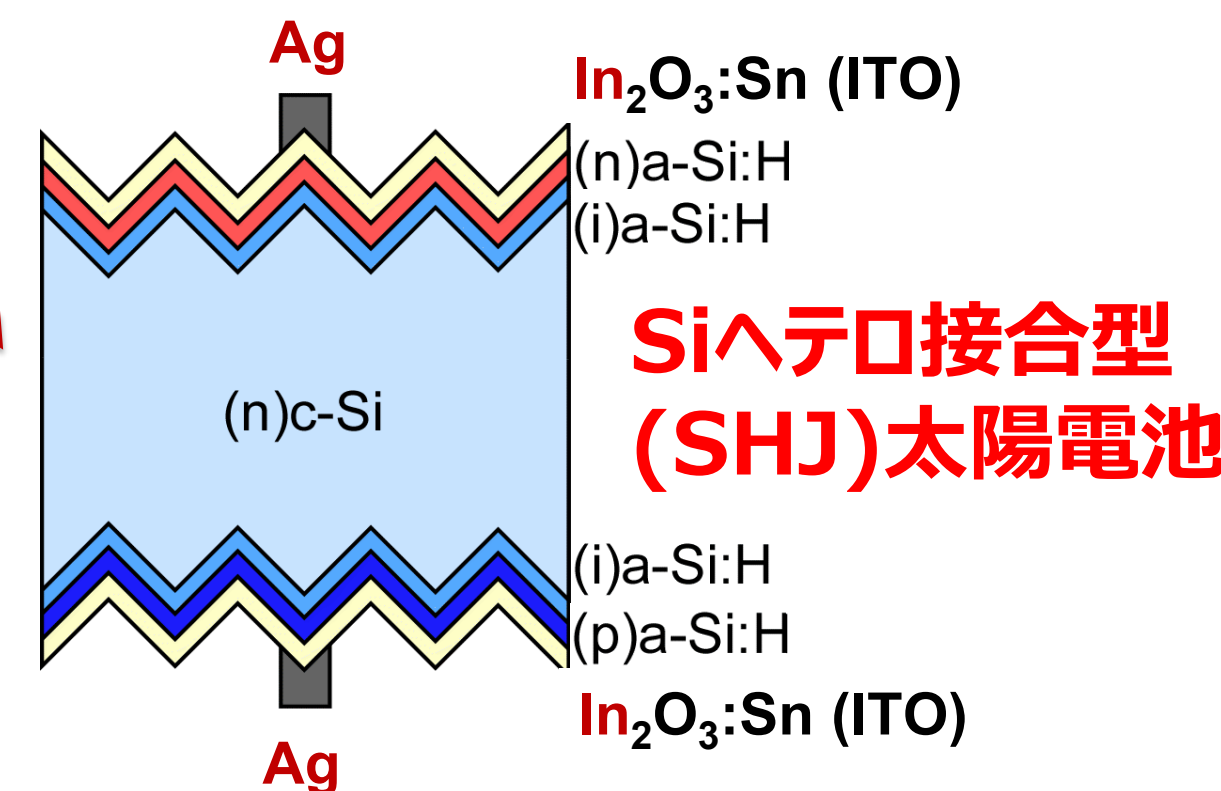


Si-PVでは従来のPERC (p型ウェハ使用) から高効率・高安定なTOPConやSHJ (n型ウェハ使用) へ段階的移行

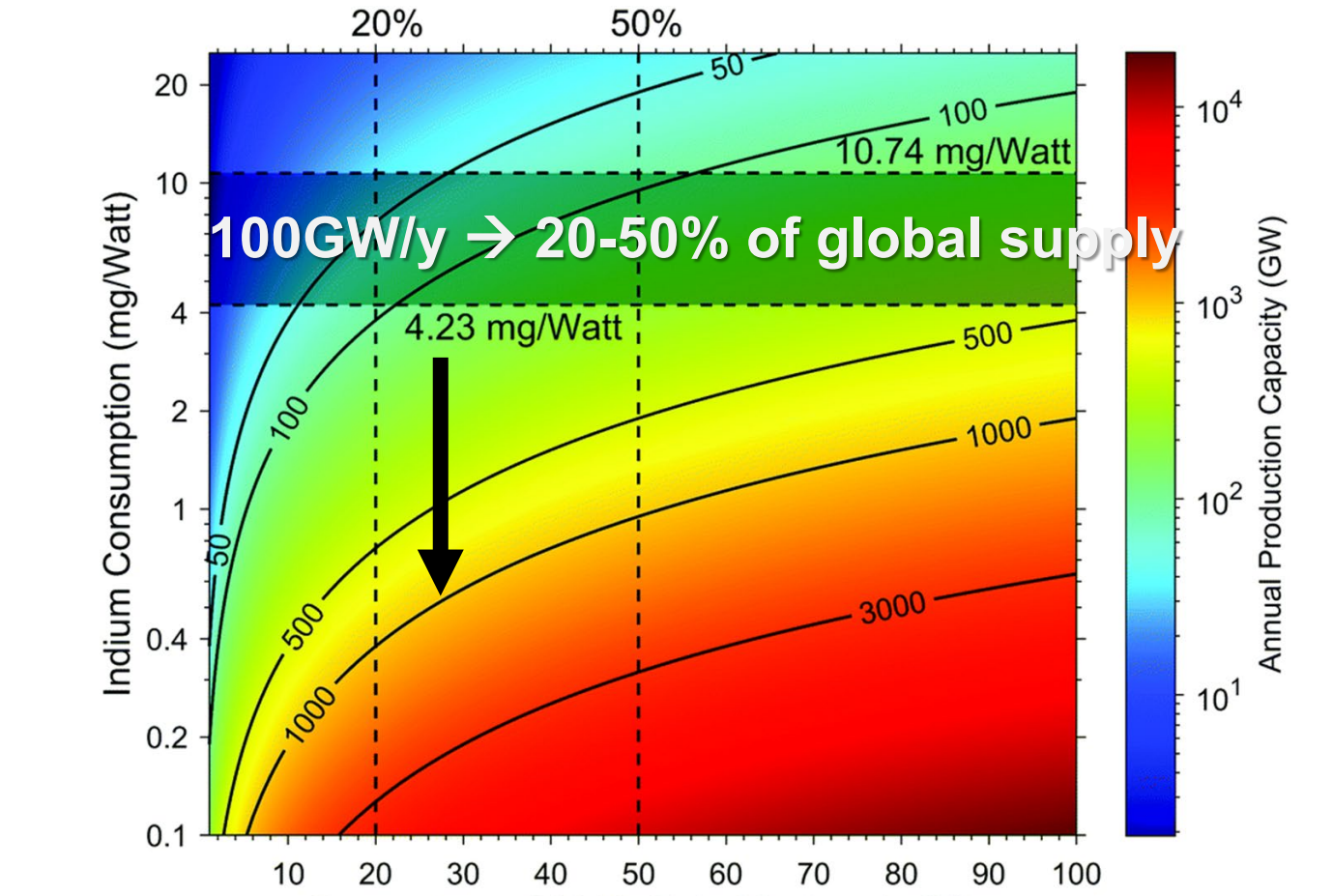
PV持続的発展には資源問題の解決が急務

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)



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

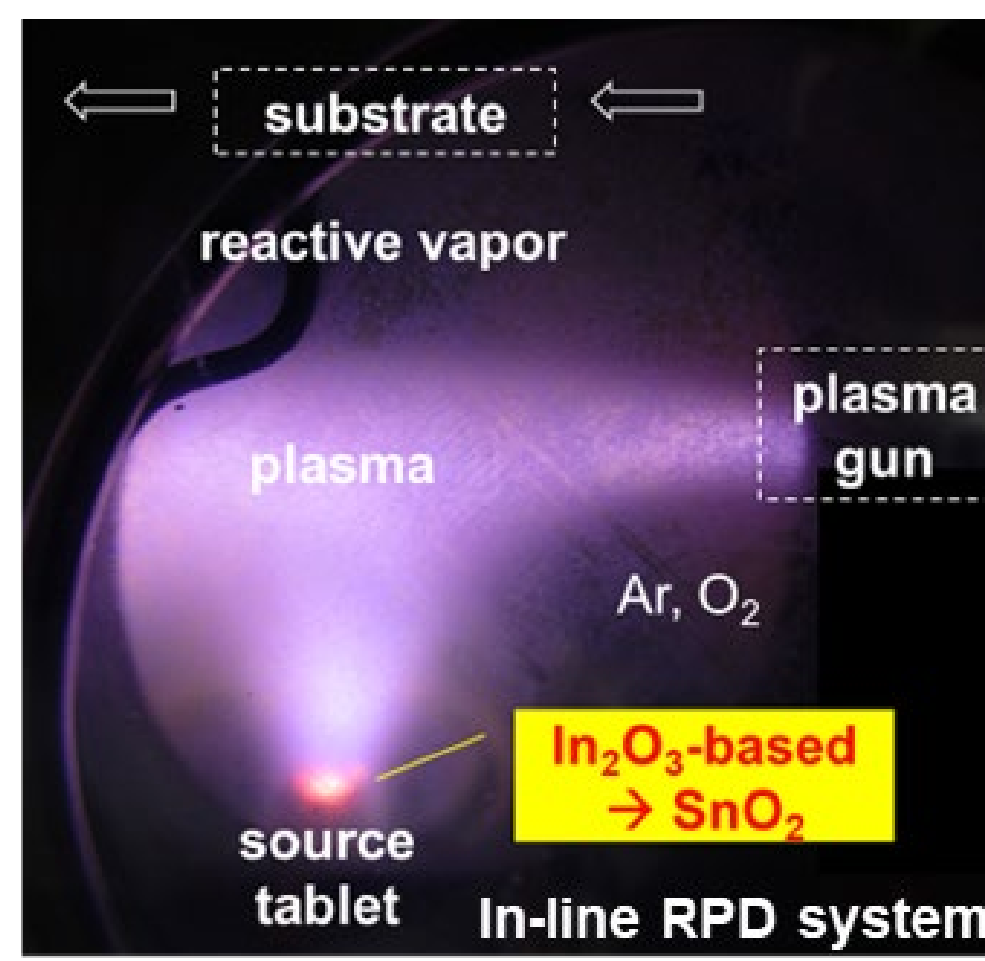
本研究の目的

| 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

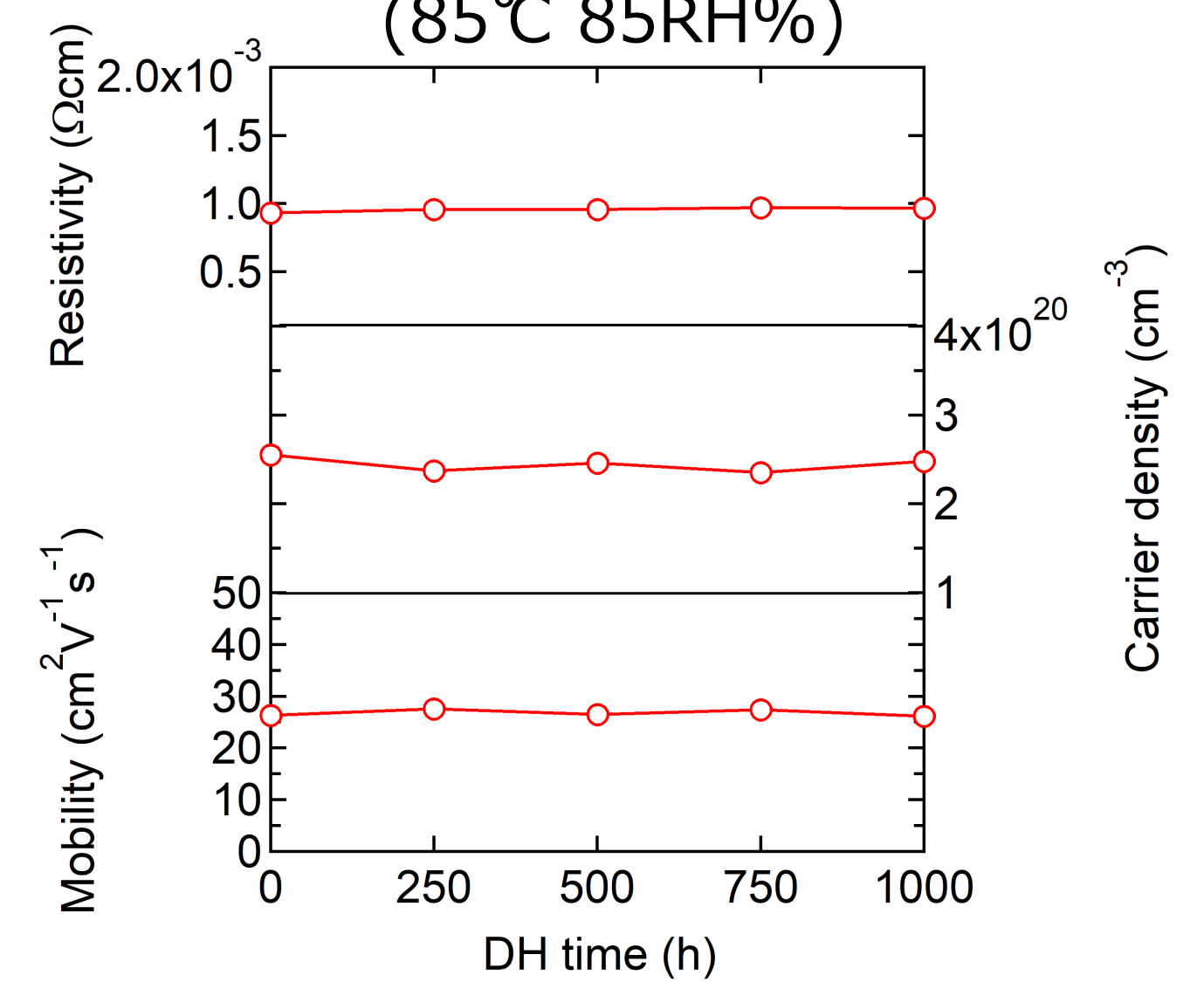


本RPD (反応性プラズマ堆積) 法はSHJ太陽電池の生産ラインでも使用
原料をIn₂O₃系からSnO₂に交換するだけ

光学特性

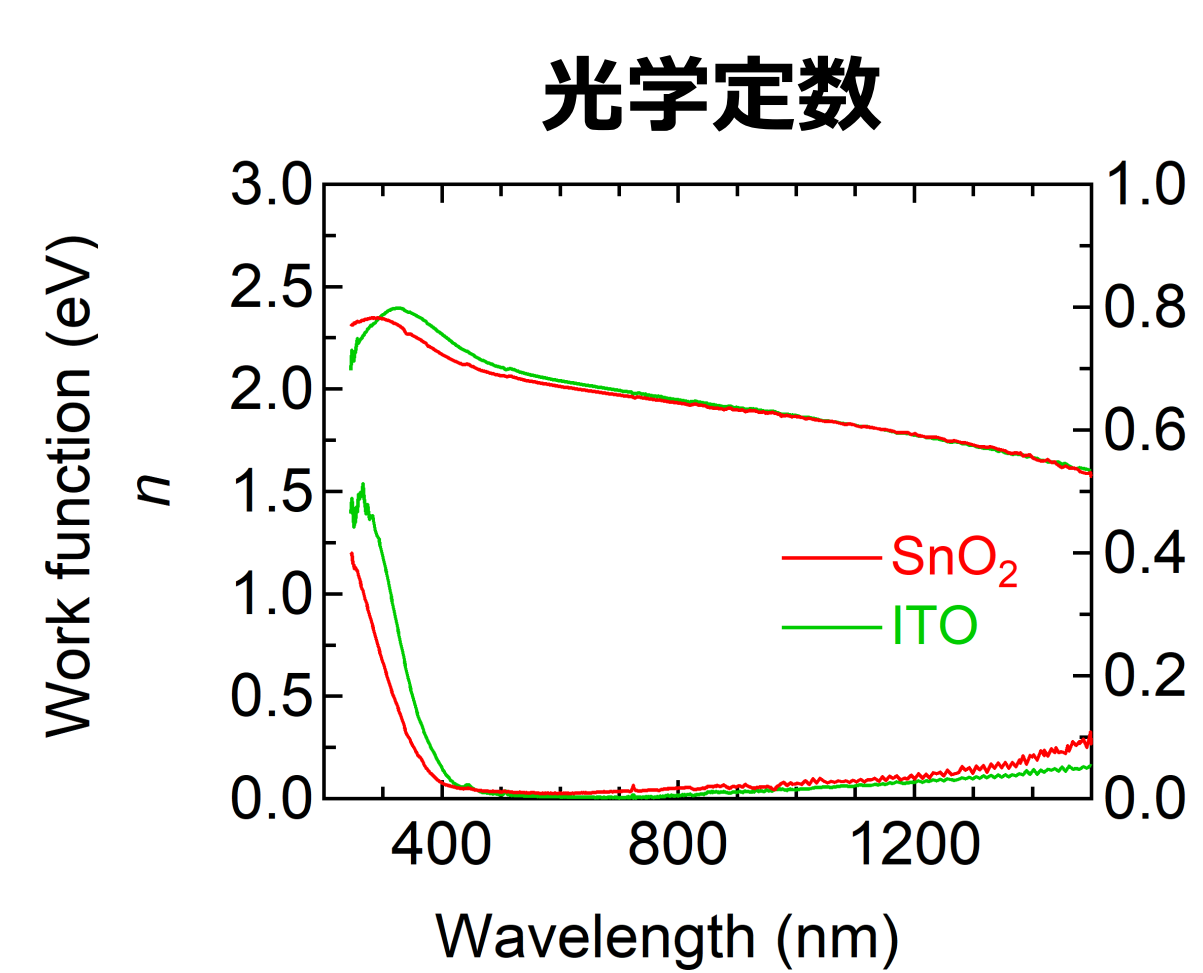
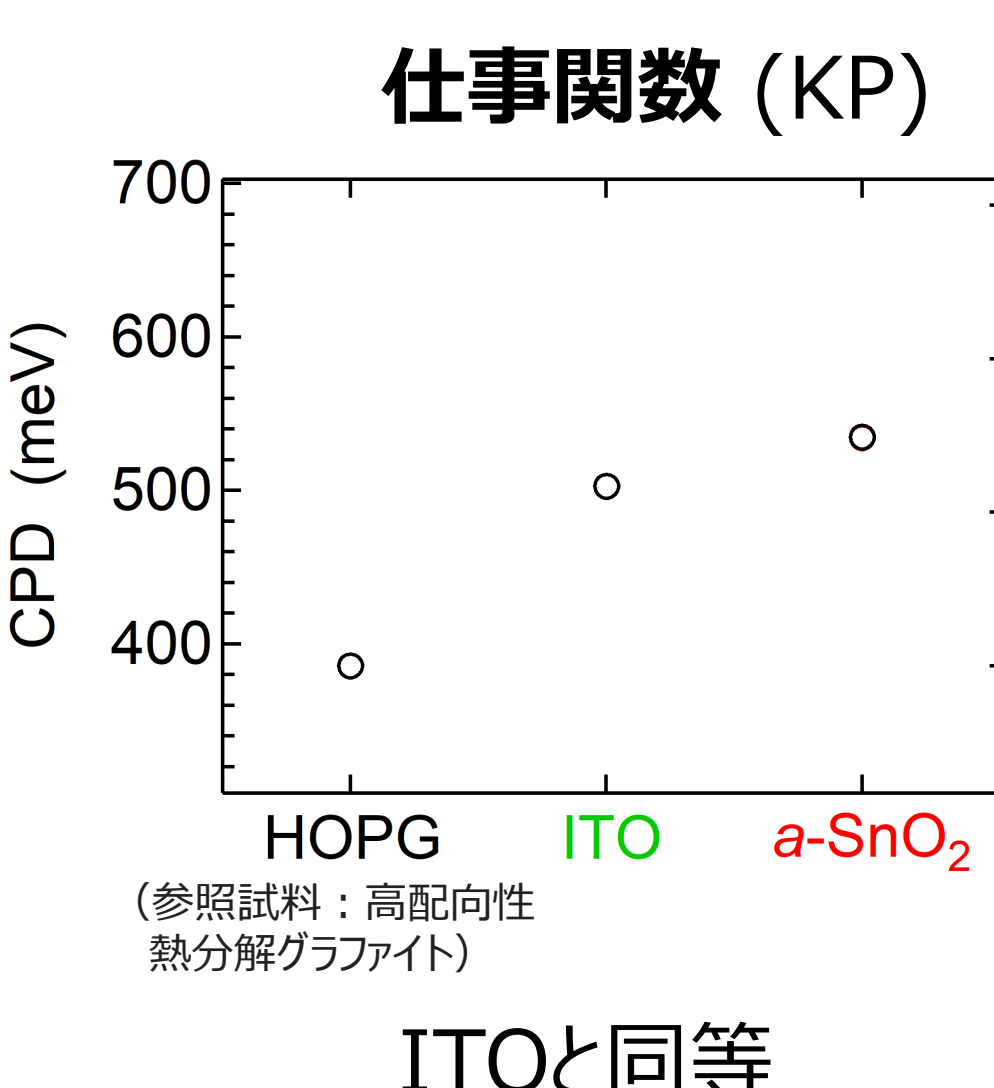


電気特性の安定性 (85°C 85RH%)



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

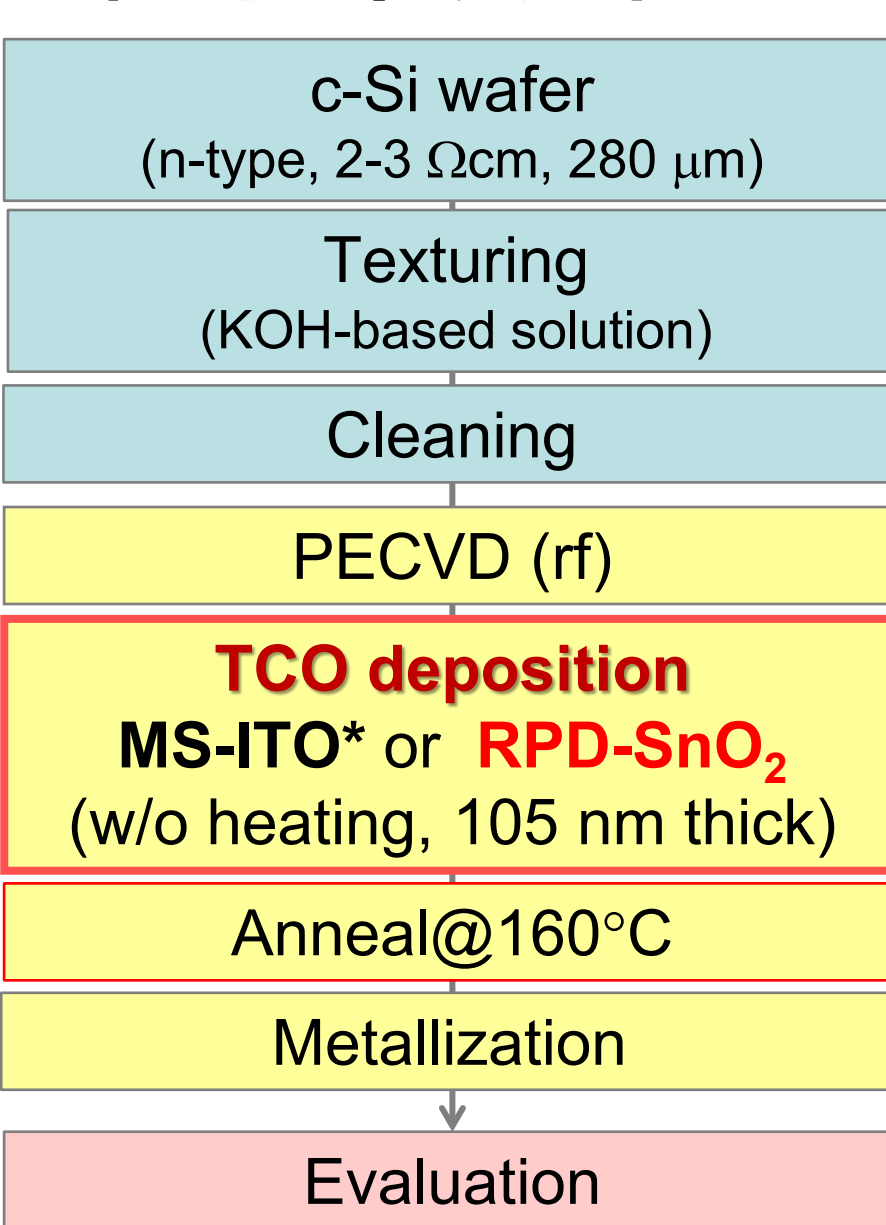
ITOと a-SnO₂ 薄膜の比較



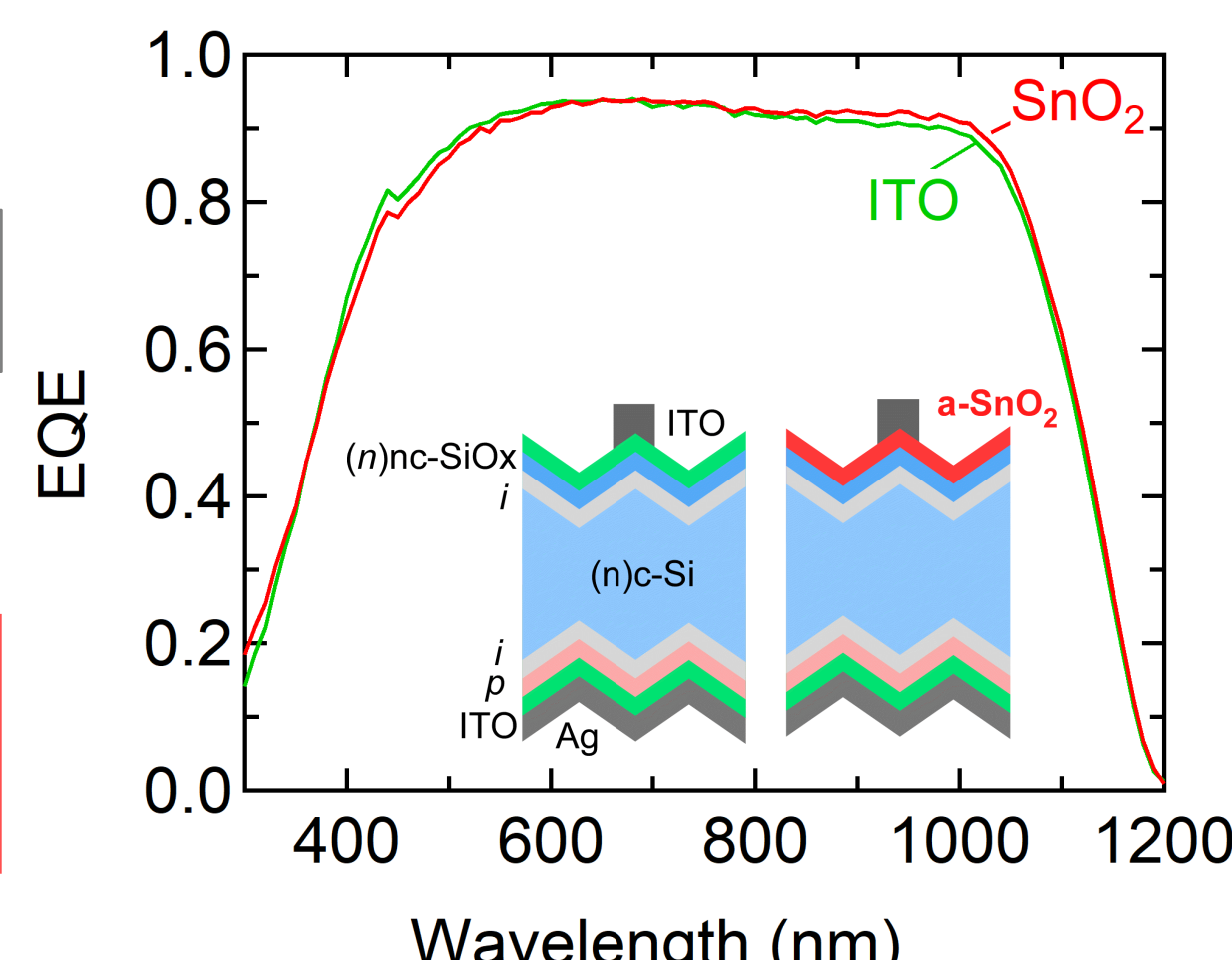
*ITO(90 wt.% In₂O₃- 10 wt.% SnO₂)
160°Cポストアニールで一部結晶化

SHJ太陽電池特性比較 (窓電極にITOとa-SnO₂を使用)

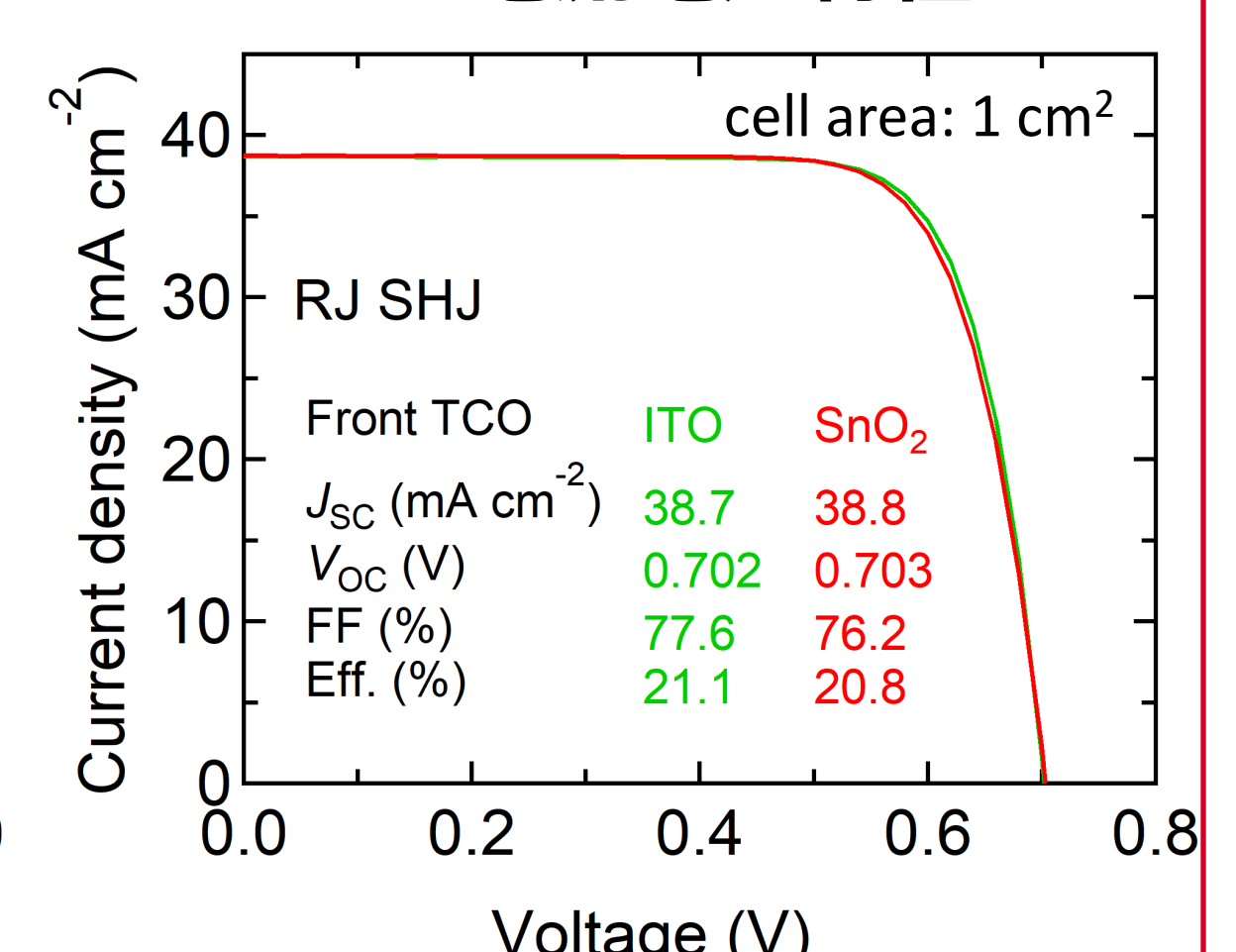
太陽電池作製工程



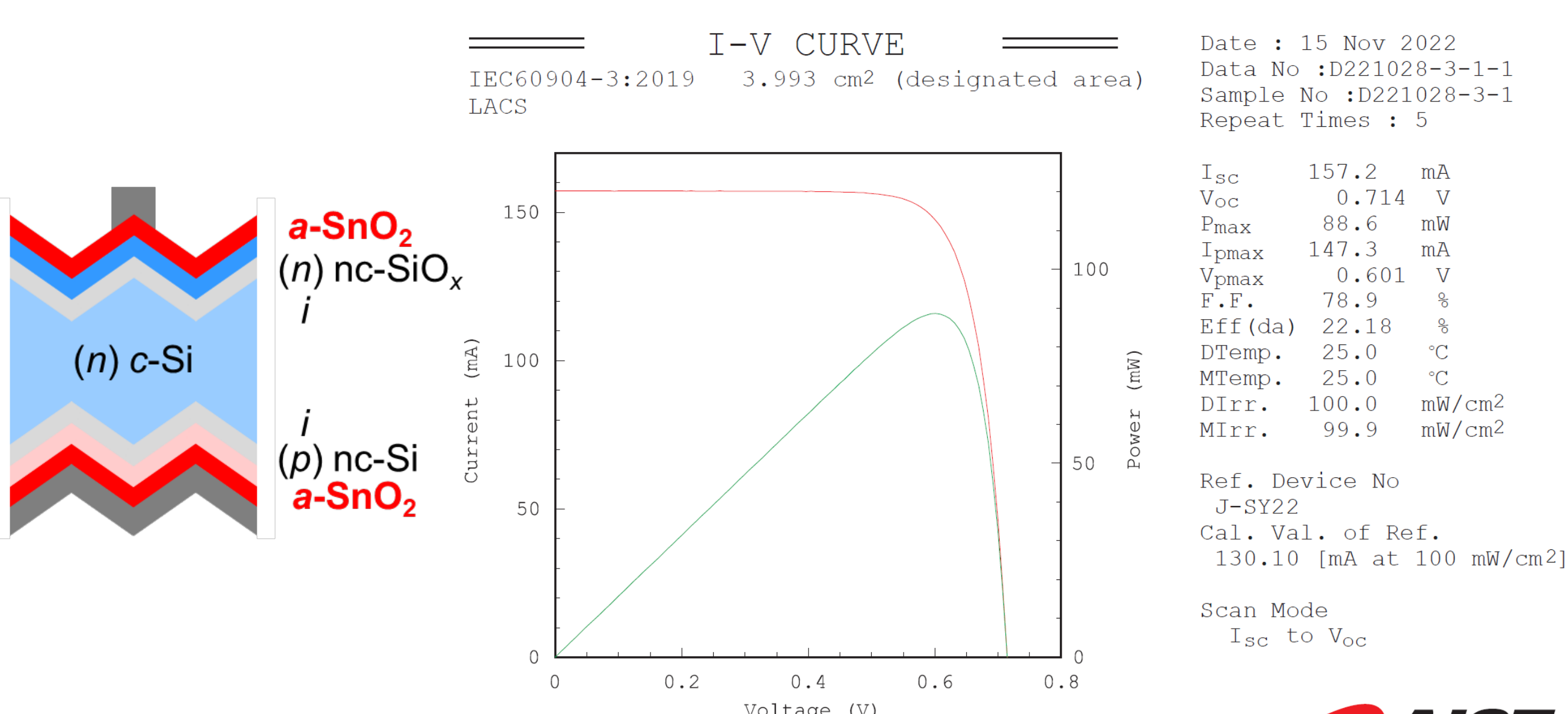
分光感度スペクトル



電流電圧特性



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