

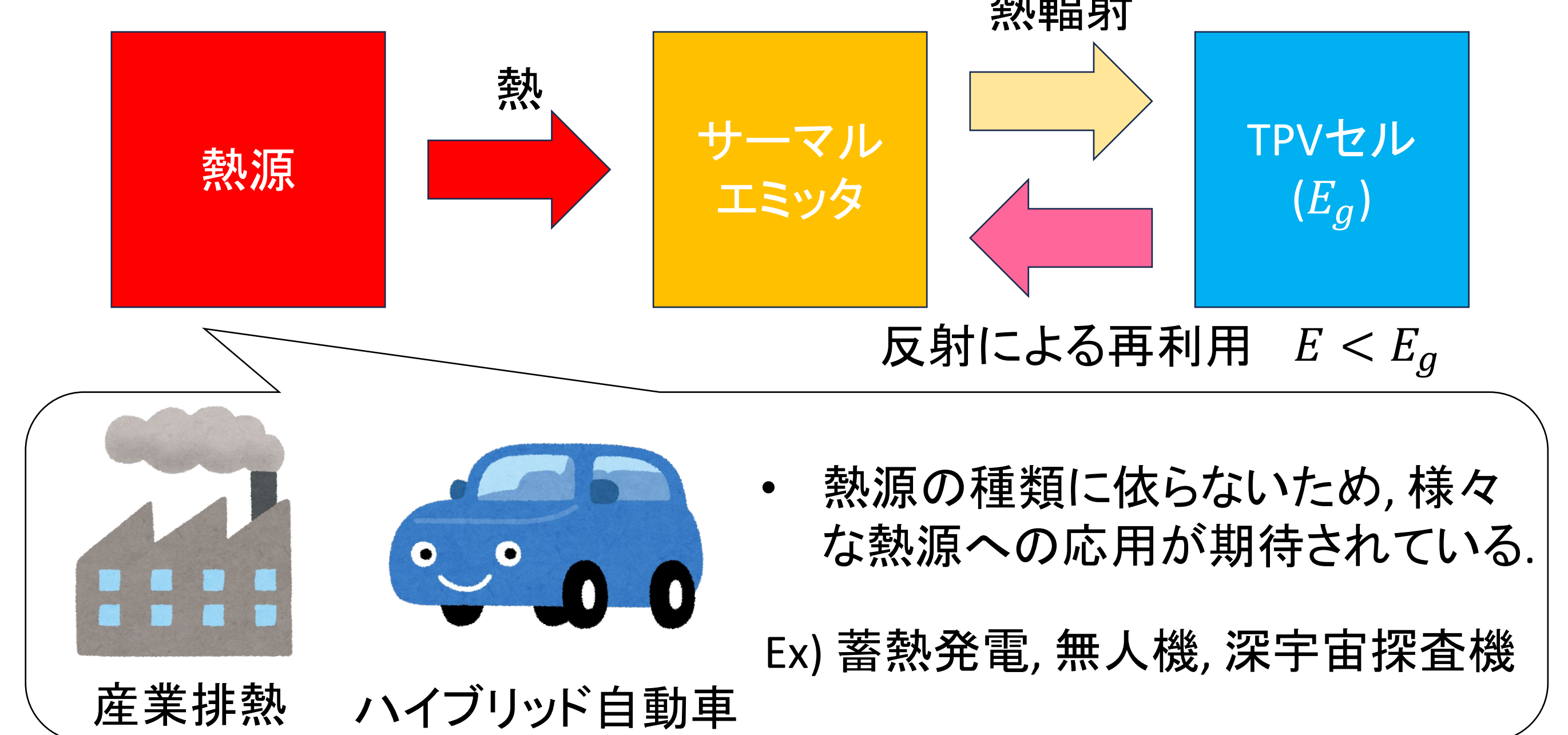
InGaAs熱光起電力セルに向けた表面電極の開発

研究の目的

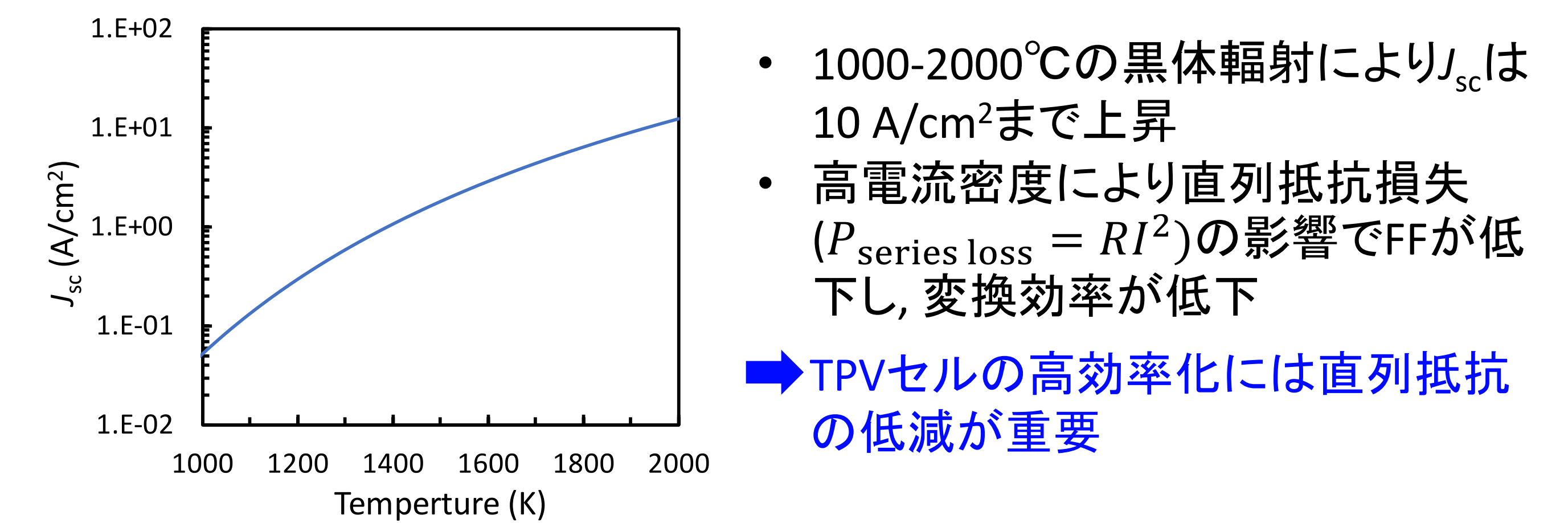
- 熱光起電力(TPV)は高温(1000-2000°C)のサーマルエミッタからの熱輻射を用いて太陽電池セルにより発電する技術である。
- 0.75 eV In_{0.53}Ga_{0.47}AsはTPVに適した材料として研究開発が進められている[1-3]。我々は、2022年 In_{0.53}Ga_{0.47}As逆積みリアヘテロ型セルにおいて、世界最高レベルの変換効率13.9%を達成した[4]。
- TPVの高効率化には、高電流密度動作により発生する直列抵抗損失の低減が重要となる[2,3]。
- 同じく高電流密度で動作する集光型太陽電池(CPV)では、表面電極の改善による直列抵抗の低減が行われてきた。
- 今回、直列抵抗低減を目的とし、InGaAs TPVセルに対しCPVで用いられている表面電極形状を採用し、集光測定による高電流密度での評価を行った。

熱光起電力 (TPV) [1-3]

TPVシステム構成図



黒体放射温度とTPVセルの短絡電流密度J_{sc}の関係

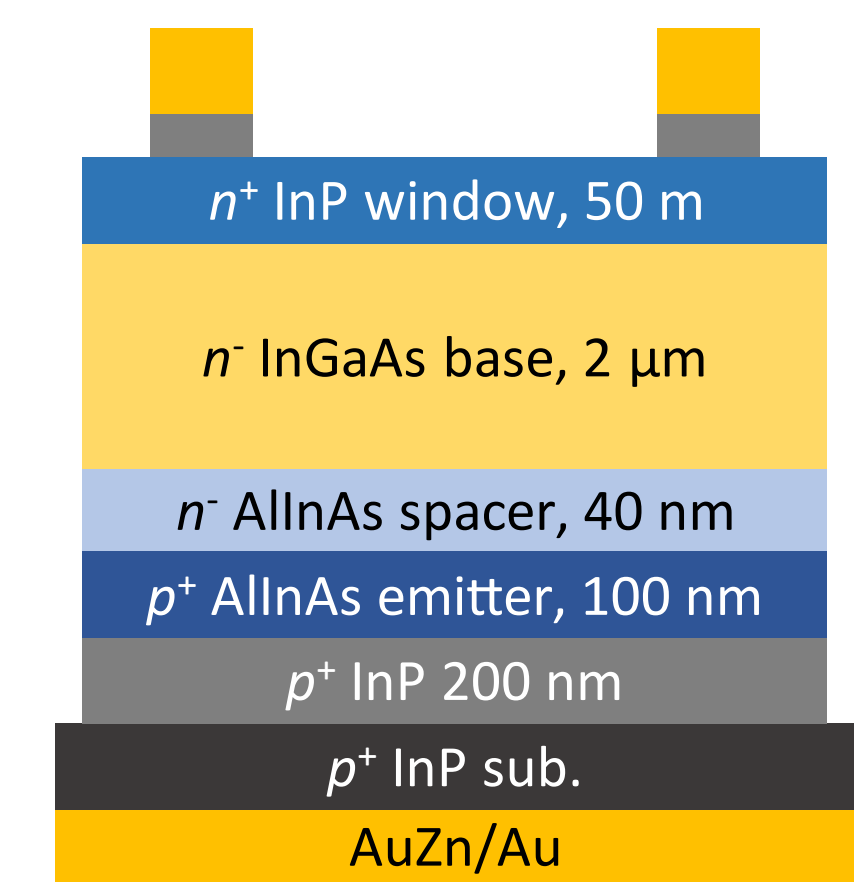


InGaAs TPVセルの作製

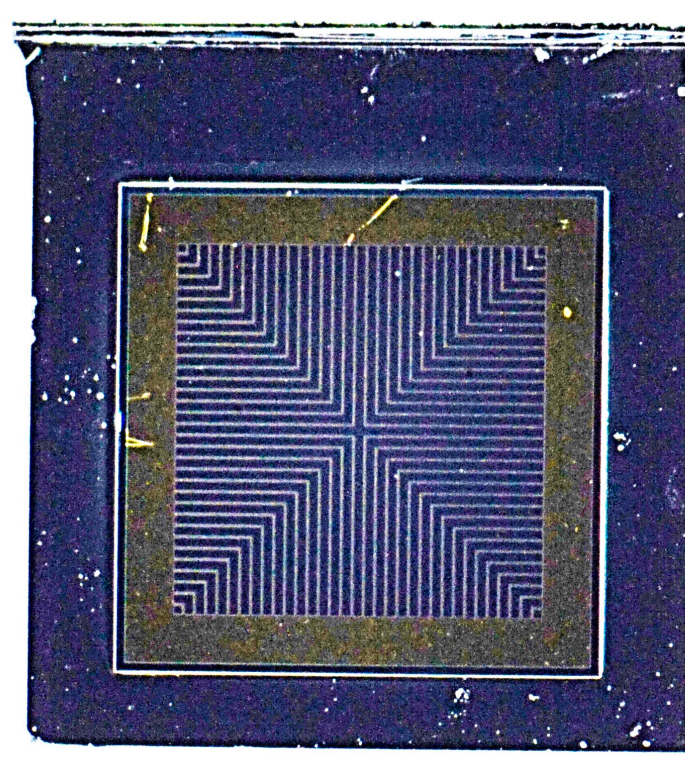
固体ソース分子線エピタキシー(MBE)法

- 2インチInP(001)オフ基板(2° to (111)A)上にセル構造を形成
- 直列抵抗を抑えた表面電極形状(格子状パターン)を採用[5]

TPVセル構造 5.0 mm□



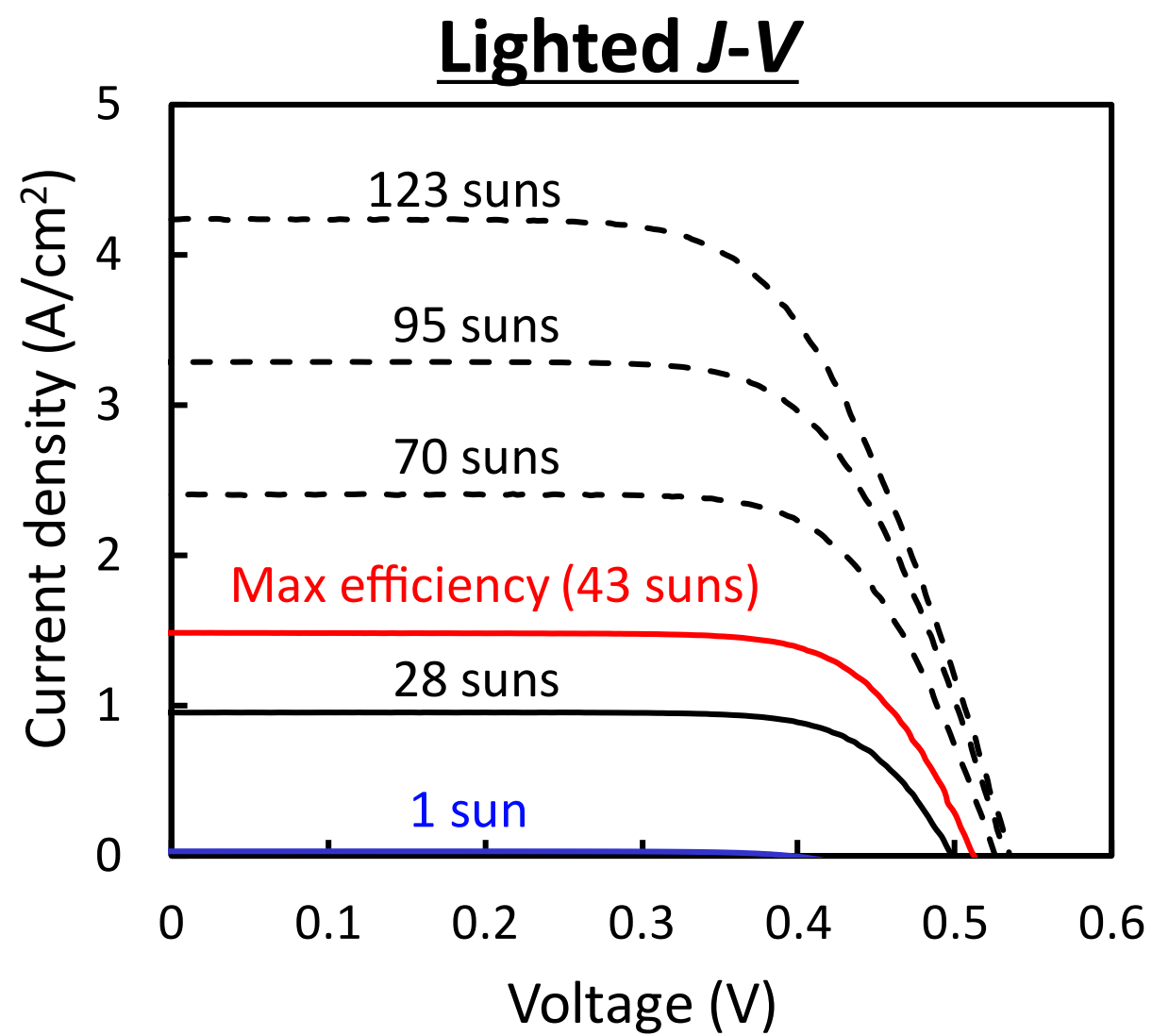
表面電極



- 格子状パターン
- Ti 50 nm/Au 500 nm
- グリッド幅 20 μm
- グリッド間隔 96 μm

TPVセルの集光測定

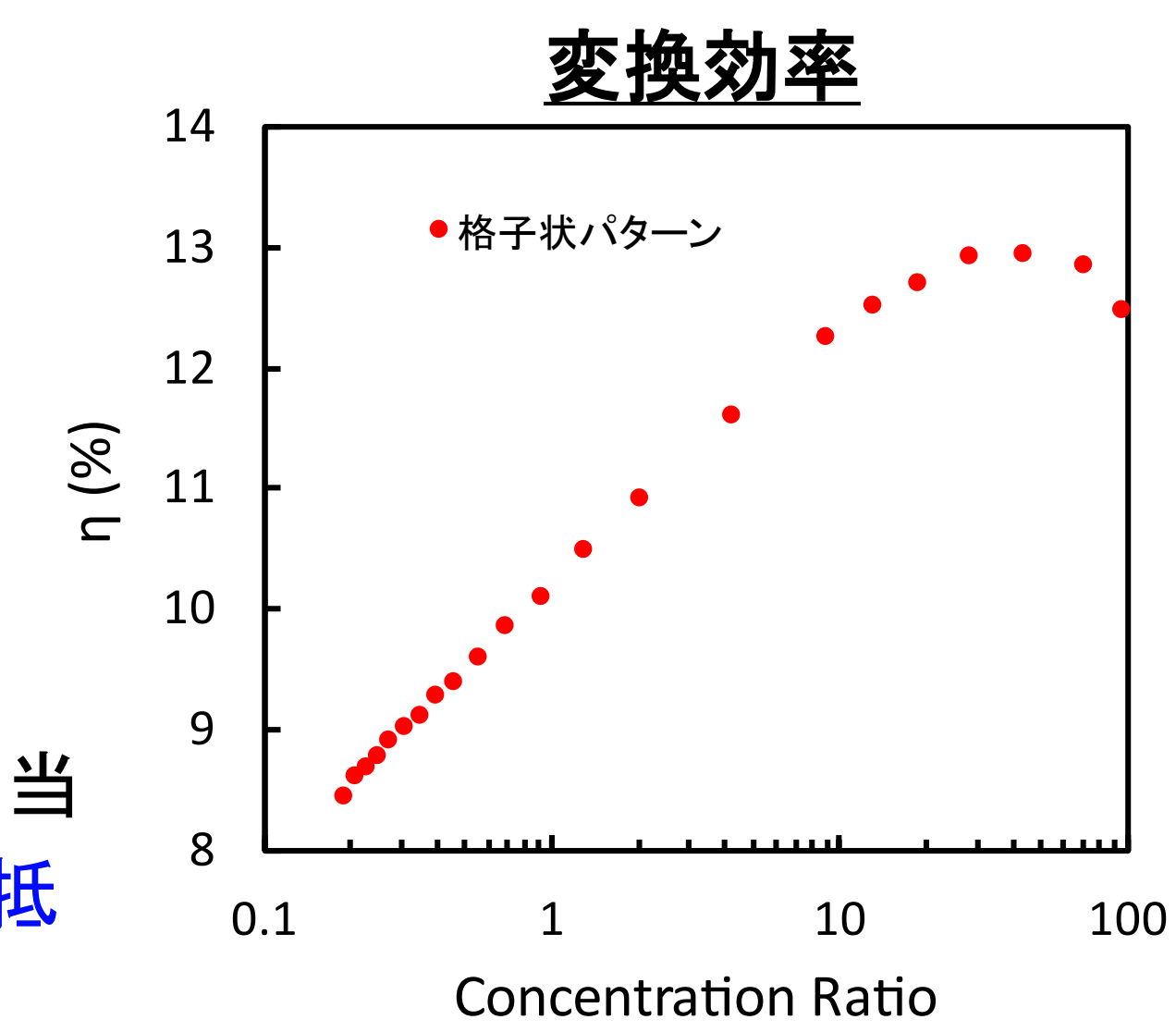
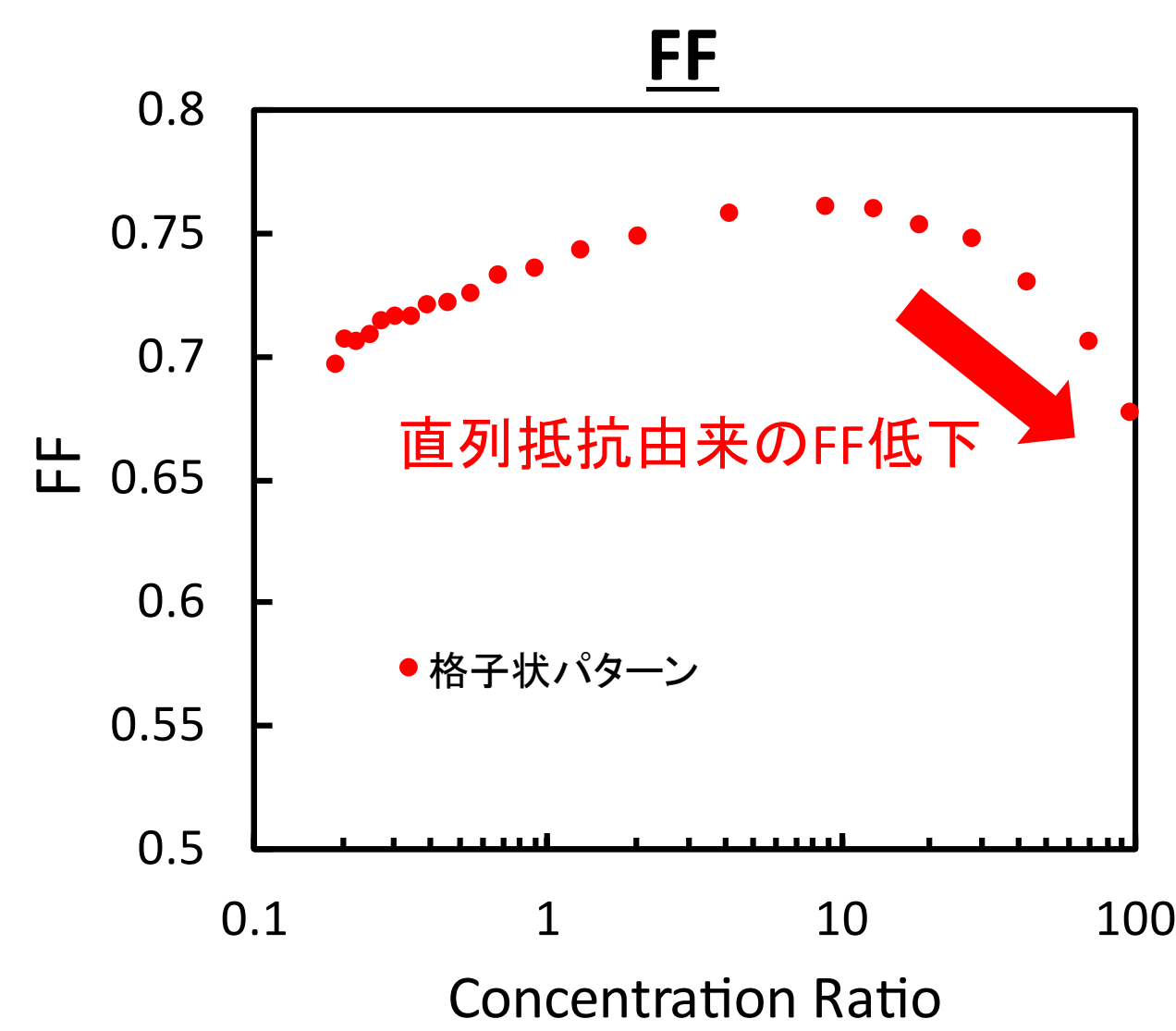
- AM 1.5 Gでの集光測定



最大変換効率 (43 suns)

	J _{sc} (A/cm ²)	V _{oc} (V)	FF	η (%)
格子状パターン	1.486	0.512	0.731	12.94

- J_{sc} 1.5 A/cm²は1450°Cの黒体放射に相当 ⇒ <1450°Cの黒体放射において、直列抵抗損失を抑えた動作が期待



直列抵抗成分

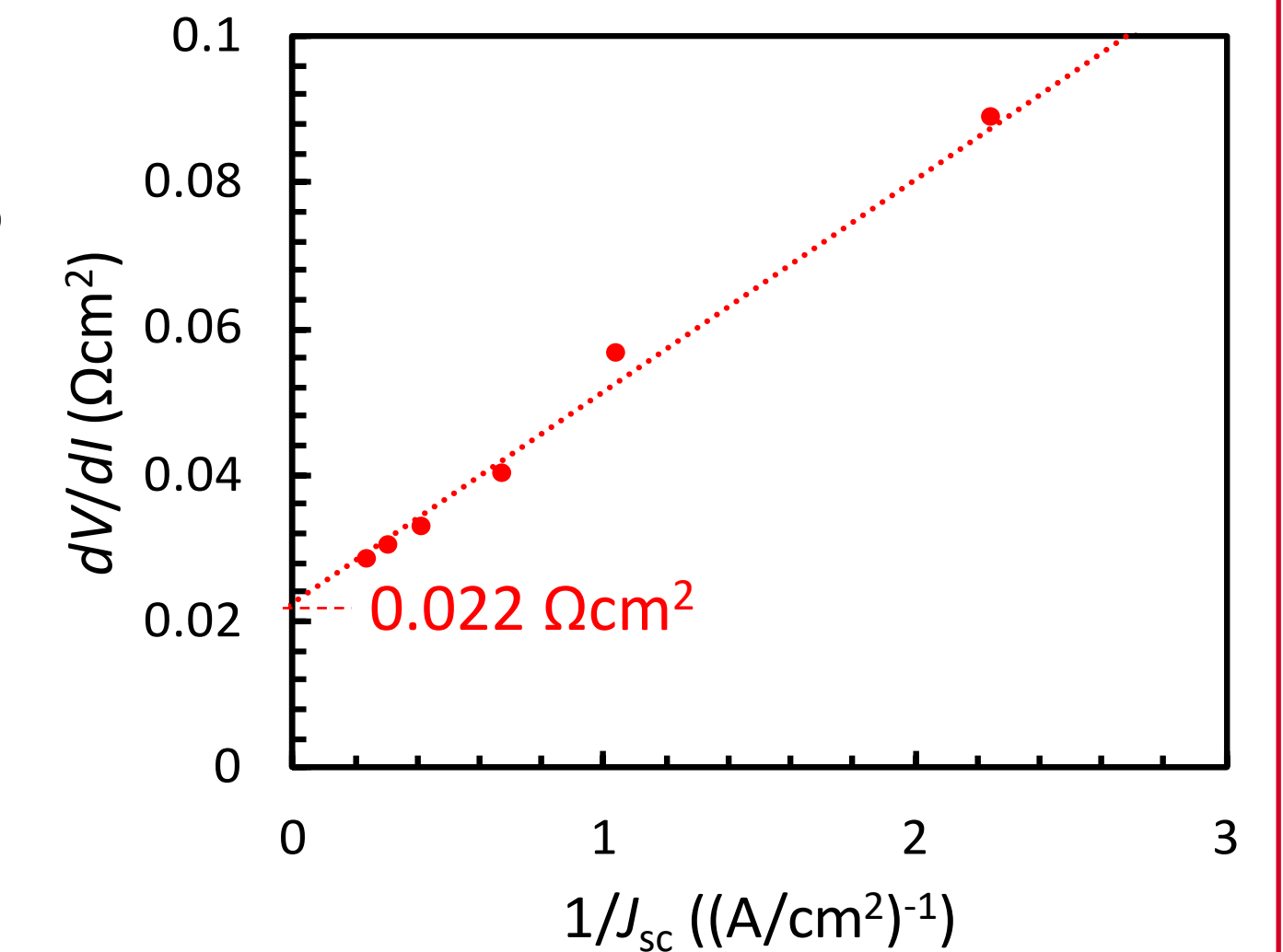
J-V特性から得た直列抵抗[6-8]

シャント抵抗が十分大きい場合、太陽電池のJ-V特性は以下の式で与えられる。

$$J = J_0 \left\{ \exp \left(\frac{q(V - JR_s)}{nkT} \right) - 1 \right\} - J_{sc}$$

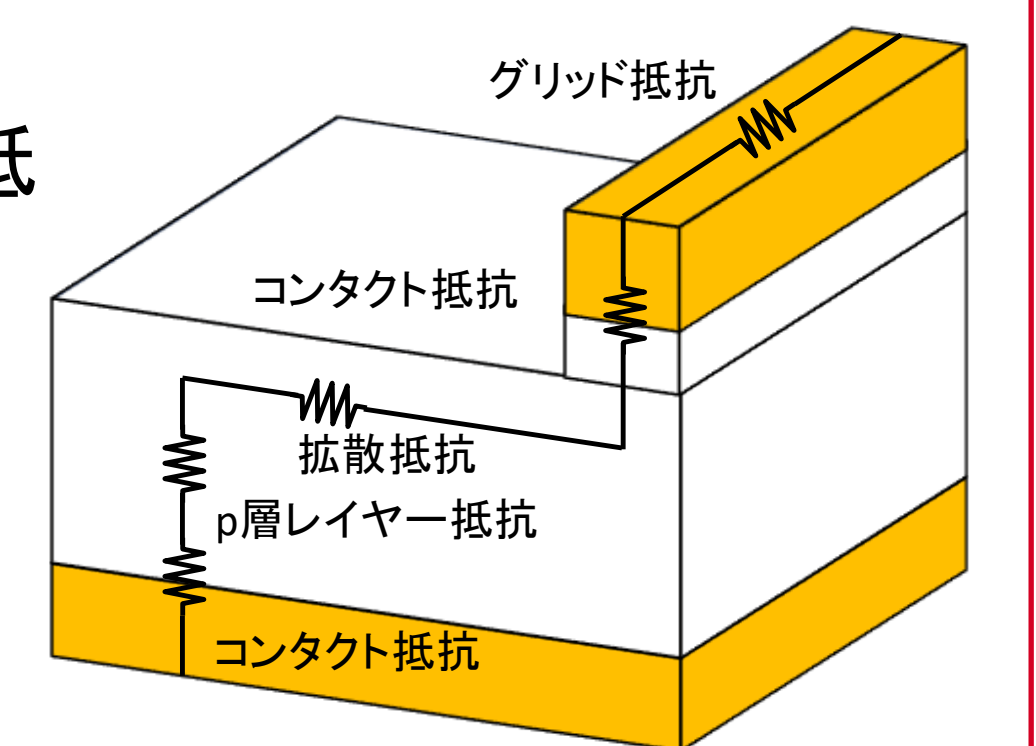
V = V_{oc}, J = 0の時

$$\frac{dV}{dJ} = R_s + \frac{nkT}{q} \frac{1}{J_{sc}} \quad \begin{matrix} J_{sc} \text{が} \text{大きくなることで} \\ dV/dJ \text{が} R_s \text{に収束} \end{matrix}$$



モデルから算出した直列抵抗

- TLM法によりn,p層-金属接触抵抗, n層シート抵抗を測定
- グリッド抵抗を測定し、金属抵抗率を測定[6]
- モデルから表面電極の抵抗を算出[5]
- キャリア濃度, 移動度よりp層の抵抗を算出



直列抵抗成分

R _{front_grid} (Ωcm ²)	R _{spreading} (Ωcm ²)	R _{front_contact} (Ωcm ²)	R _{p-layer} (Ωcm ²)	R _{back_contact} (Ωcm ²)	R _{total} (Ωcm ²)
1.52×10 ⁻³	7.74×10 ⁻⁴	1.74×10 ⁻⁴	1.25×10 ⁻⁶	1.39×10 ⁻⁴	2.27×10 ⁻³

- J-V特性から得た抵抗値(2.2×10⁻² Ωcm²)はモデル値(2.3×10⁻³ Ωcm²)と比べて1桁大きい ⇒ モデルと実際の電流経路の違い、接触抵抗のばらつきが影響した可能性
- 表面電極のグリッド抵抗, グリッド間の拡散抵抗の割合が大きい ⇒ 直列抵抗の更なる低減には、グリッド間隔の狭小化, 電極の厚膜化が必要

結論

- InGaAs TPVセルの高効率化へ向け、CPVに用いられる表面電極形状を採用し、直列抵抗の低減に取り組んだ。
- 集光測定より、作製したTPVセルは<1450°Cの黒体放射において直列抵抗損失を抑えた動作が行えることが期待される結果を得た。
- 直列抵抗を成分ごとに分けて解析した結果、更なる低抵抗化にはフィンガー電極間隔の狭小化, 電極の厚膜化が必要であることを明らかにした。今後はこれらの改善を図る予定である。

参考文献

- [1] M. W. Wanlass et al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells 1996, **41/42**, 405.
- [2] Z. Omair et al., Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2019, **116**, 15356.
- [3] E. J. Tervo et al., Joule 2022, **6**, 2566.
- [4] 大島隆治 ほか, 「MBE法を用いたGaInAsヘテロ接合型セルの開発」(AIST 太陽光発電研究 成果報告2022)
- [5] A. R. Moore., RCA Rev. 1979, **40**, 140.
- [6] K. Nishioka et al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells 2006, **90**, 1308.
- [7] K. Makita et al., IEEE J. Photovolt. 2023, **13**, 105.
- [8] M. Bashahu et al., Renew. Energ. 1995, **6**, 129.