

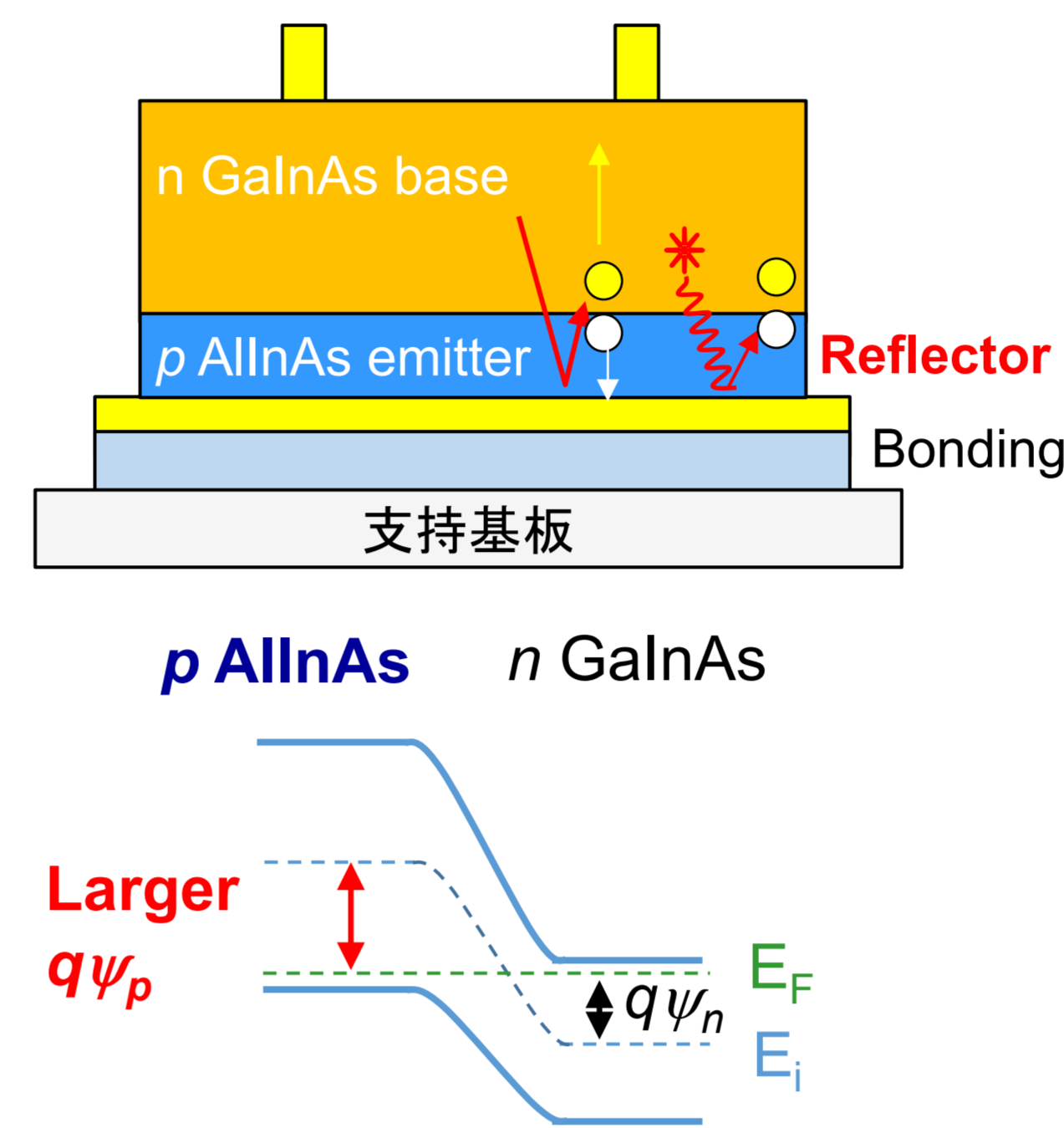
MBE法を用いた GaInAsへテロ接合型太陽電池の開発

大島 隆治、庄司 靖、牧田 紀久夫、菅谷 武芳
産業技術総合研究所 ゼロエミッション国際共同研究センター

研究の目的

- Ga_{0.47}In_{0.53}AsはInPと格子整合する0.75 eV帯材料であり、多接合太陽電池におけるボトムセルとして用いられている[1-3]。しかし、GaInAsセルの研究開発例は少なく、高効率化技術は確立されていなかった。
- これまでに、高温成長、微傾斜基板を用いたGaInAs結晶の高品質化[4]、成長シーケンスの最適化によるヘテロ界面の高品質化[5]を実現し、変換効率13.1%までの高効率化を達成した。
- 一方で近年、GaAs太陽電池においてヘテロ材料を用いたpn接合によってエミッタ層での再結合損失を低減でき、開放電圧が向上できることが示されていた[6]。
- 今回、InP基板上GaInAsセルにおいて初めて逆積みリアヘテロ接合型太陽電池による高性能化を検討した。

リアヘテロ接合型セル



1. 裏面反射構造

- 光路長の増大
- 発光再結合によって放出された光子の再吸収 (フォトンリサイクリング [7])

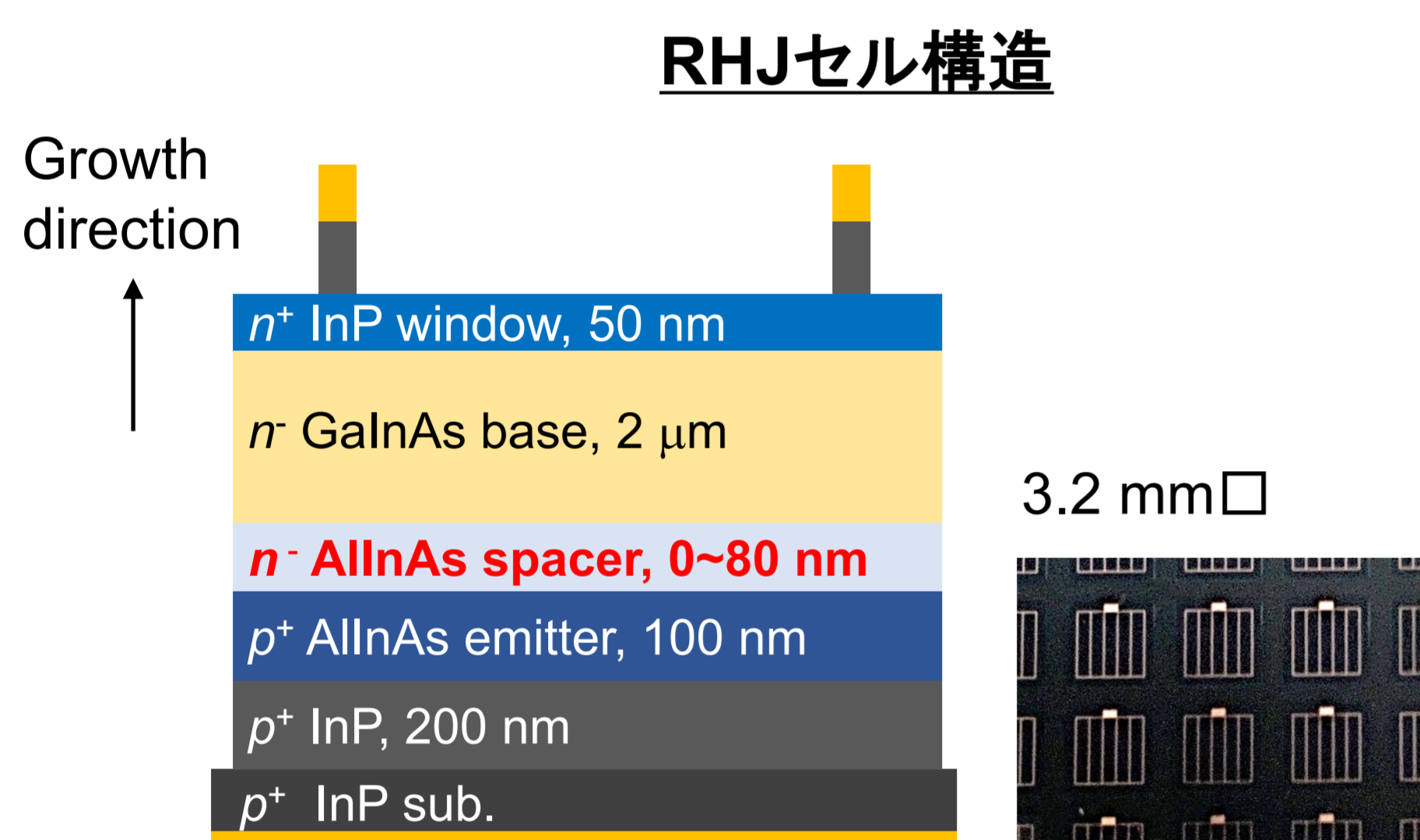
2. ヘテロpn接合

- 内蔵電界 (V_{bi}) の増大
- エミッタ層での非発光再結合損失の低減

GaInAsリアヘテロ型セル(RHJ)の構造最適化

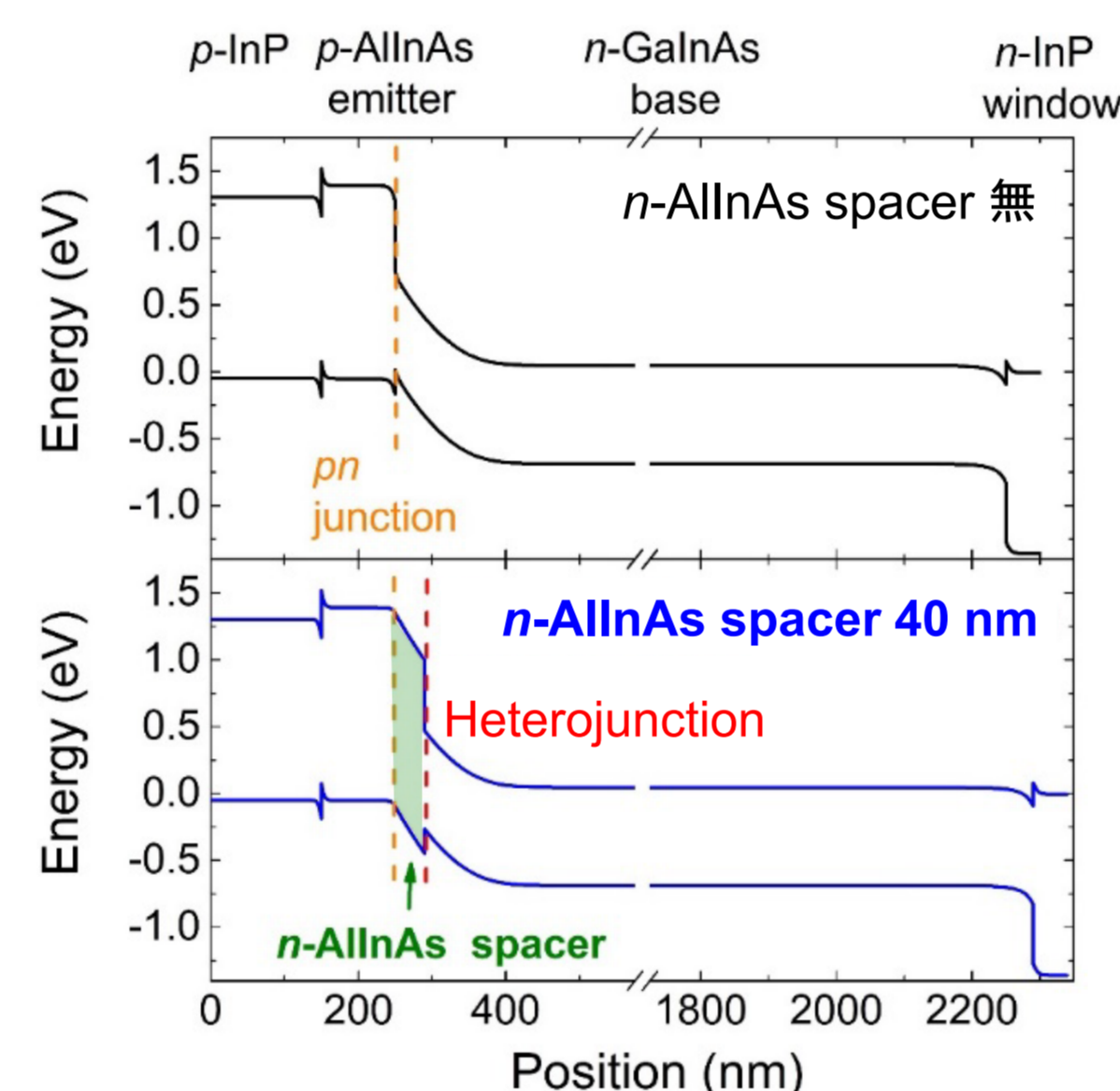
固体ソース分子線エピタキシー(MBE)法

- 2インチInP(001)基板上にセル構造を形成

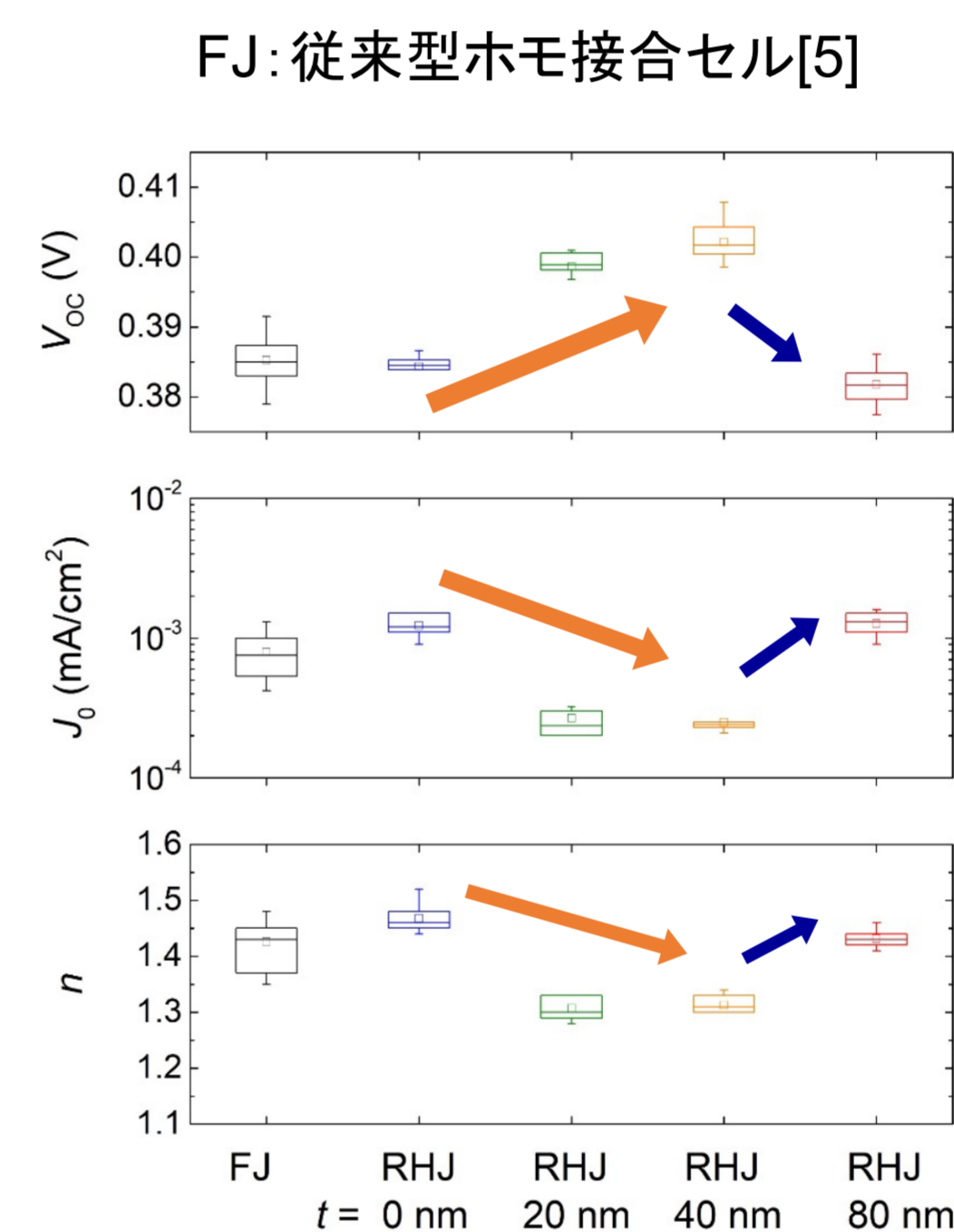


バンド構造

- n-AllInAsスペーサー層を導入することによってpn界面とヘテロ界面の距離を制御



解放電圧(V_{OC}), 逆方向飽和電流(J_0), ダイオード因子(n)のn-AllInAsスペーサー層厚依存性



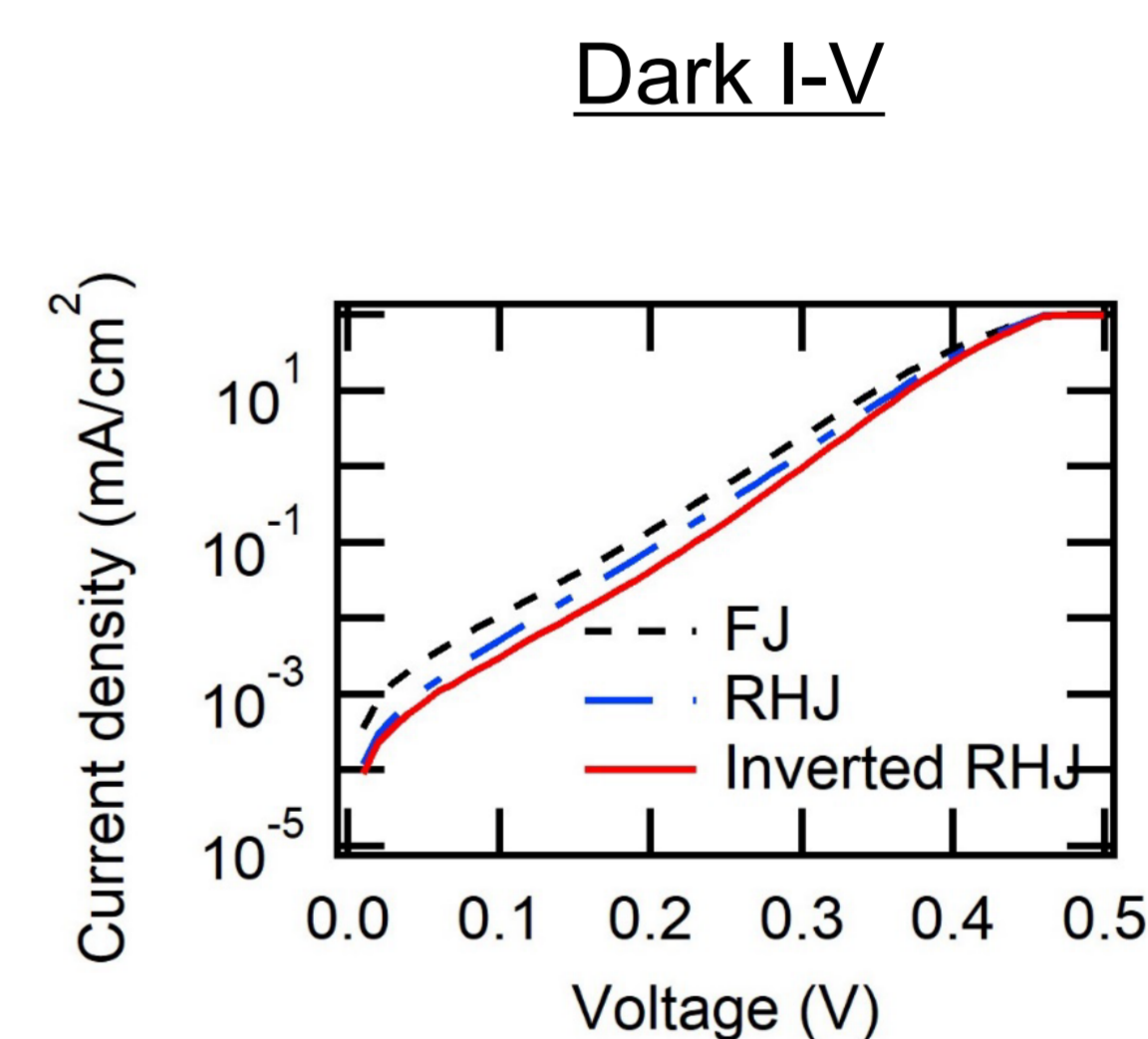
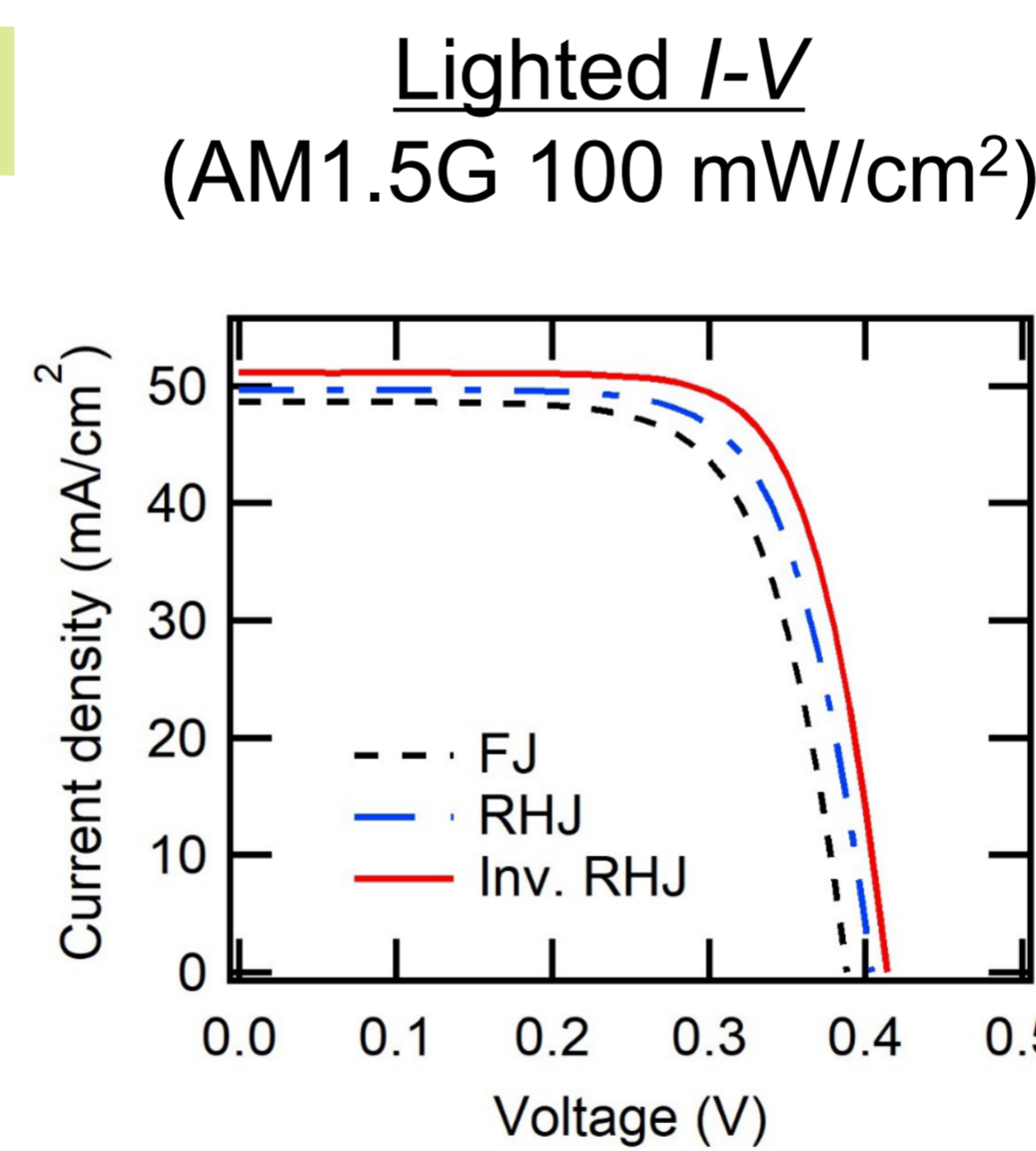
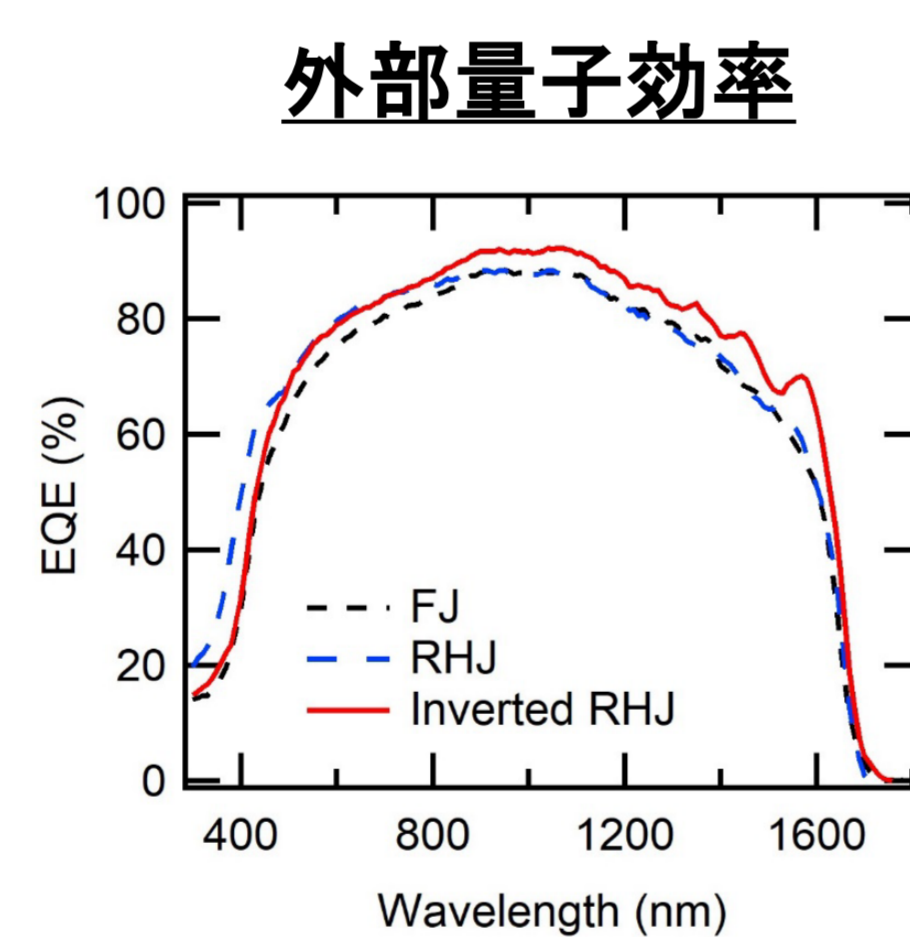
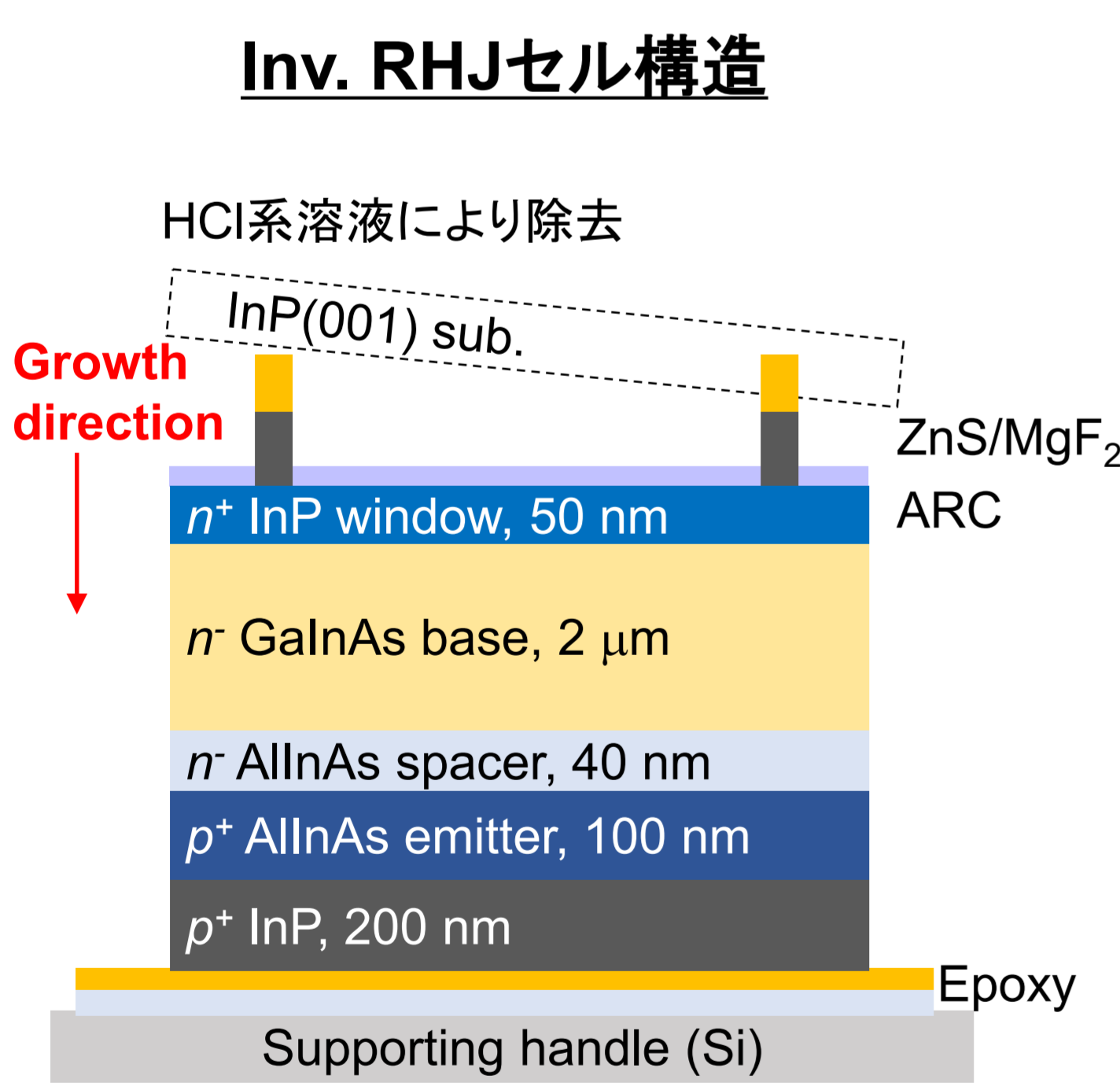
- 適した膜厚(20~40 nm)のn-AllInAsスペーサー層の導入により V_{OC} が向上

再結合速度が速いpn接合部から界面準位が形成されるヘテロ界面を引き離すことにより再結合損失が低減

$$J_0 = qSN_D e^{-qV_{bi}/kT}$$

N_D : ベース層のキャリア濃度
 S : 界面再結合速度
 qV_{bi} : 内蔵電界

GaInAs逆積みリアヘテロセル(Inv. RHJ)の評価



$$J_0 \text{ for } p^+-n \text{ diode}$$

$$J_0 \sim \frac{qn_i W}{\tau}$$

Radiative lifetime (τ_{rad}) [7]

$$\tau_{rad} = \frac{\tau_{theory}}{1-f}$$

f : pn接合で発光した光子が再吸収される割合

- 裏面反射を利用することにより長波長側の外部量子効率が向上
- Inv. RHJセルは暗電流が最も小さく、フォトンリサイクリングが生じている可能性を示唆 $\Rightarrow V_{OC}$ が向上

他機関との比較 本研究により世界最高レベルの変換効率を実現

Method	V_{OC} (V)	η (%)	Institution	Ref.
MOVPE	0.4	12.8	NREL, USA	[1]
	0.39	9.7	Univ. Tokyo, Japan	[2]
	0.35	-	Univ. Lyon, France	[3]
MBE	0.39	13.1	AIST, Japan (This work)	FJ [5]
	0.40	14.2		RHJ
	0.41	15.4		Inv. RHJ

結論

- MBE法によるInP基板上0.75 eV GaInAs太陽電池の高効率化に取り組んだ。
- GaInAsリアヘテロ型セルでは、適した膜厚(20~40 nm)のn-AllInAsスペーサー層の導入によってヘテロ界面での再結合の影響が低減し、ダイオード特性が向上することを見出した。
- GaInAs逆積みリアヘテロ型セルでは、裏面反射構造によって外部量子効率が向上した。さらに、 J_0 が低減することにより V_{OC} が向上し、結果として世界最高レベルの変換効率15.4%を達成した。

本研究は、国立研究開発法人NEDOの委託の下で行われた。

参考文献

- [1] M. W. Wanlass et al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells 1996, **41/42**, 405.
- [2] H. Sodabanlu et al., Jpn. J. Appl. Phys. 2018, **57**, 08RD09.
- [3] F. Chancerel et al., Sol. Energy Mater. Sol. Cells 2019, **195**, 204.
- [4] R. Oshima et al., Phys. Status Solidi A 2020, **217**, 1900512.
- [5] R. Oshima et al., J. Cryst. Growth 2022, **593**, 126769.
- [6] T. Nakamura et al., J. Appl. Phys. 2021, **130**, 153102.
- [7] C. H. Henry et al., IEEE J. Quantum electronics, 1983, **QE-19**, 905.