

MBE法による0.7 eV帯InGaAs 太陽電池の高性能化

石塚優希^{1,2}・大島隆治¹・岡野好伸²・菅谷武芳¹

¹産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 先進多接合デバイスチーム

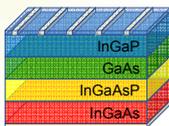
²東京都市大学 総合理工学研究科 情報専攻

研究の目的

ウェハ接合4接合太陽電池

Fraunhofer ISE, SOITEC $\eta = 46.0\%$ (508 suns) [1]

4接合セルの高効率化には、
各サブセルの高性能化が必須



Institute	Method	V_{oc} (V)	η (%)	W_{oc} (V)	補足
NREL [2]	MOVPE	0.40	12.8	0.34	AMO
Univ.Tokyo [3]	MOVPE	0.39	9.7	0.35	TBP
NREL [4]	—	—	—	0.38	IMM4-J
Sony [5]	—	0.31	10.0	0.44	—
Univ.Lyon [6]	MBE	0.35	—	0.38	ELO
AIST [7]	—	0.34	9.5	0.40	Invert

InP基板上InGaAsセル (0.74 eV) に着目
 $W_{oc}(MBE) > W_{oc}(MOVPE)$ $W_{oc} = V_{oc} - \frac{Eg}{q}$
 → MBE法を用いたInGaAsセルに改善の余地

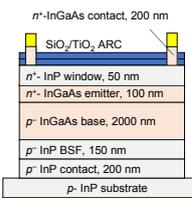
本研究 成長温度、微傾斜基板を用いた結晶成長の検討

実験

手法: 固体ソースMBE法 [7]

デバイス構造

成長条件



成長速度

成長温度

InGaAs : 1.0 $\mu\text{m/h}$
InP : 0.8 $\mu\text{m/h}$

420, 450, 490 °C

分圧

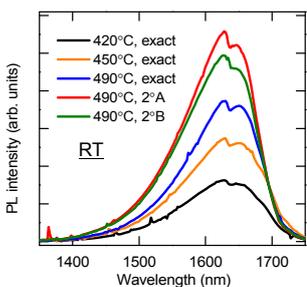
基板 InP(001)

As_2 : 1×10^{-5} Torr
 P_2 : 1.5×10^{-5} Torr

Exact, 2° (111)A → (2°A)
(111)B → (2°B)

結果

室温PL

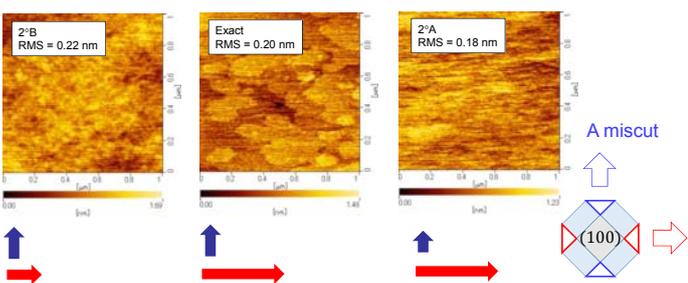


高温成長に伴って ;
 ・ PL発光強度 **大**
 → MBEチャンバー内に残存する不純物原子の混入が減少
 ・ 半値幅 **小**
 → 結晶の均一性が向上
 490°Cにおいて最小の62.16 meV
 高温成長により結晶性が向上

微傾斜基板により ;
 ・ PL発光強度 **大**
 ・ ピーク波長および半値幅(63 meV)に変化なし
 → 組成、均一性に影響なし

ステップを利用した結晶成長によって、結晶性が変化した可能性

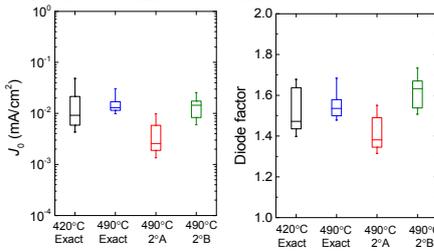
AFM



- Exact ⇒ [1-10]方向の表面拡散は[110]方向よりわずかに大きい
- 2°A ⇒ [110]方向の表面拡散が抑制
- 2°B ⇒ [1-10]方向の表面拡散が抑制
- 2°Aにおいて、ステップフロー成長が促進
結晶品質が改善し、PL発光強度が増大

ダイオードパラメータ

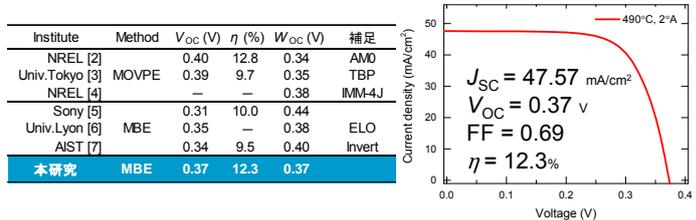
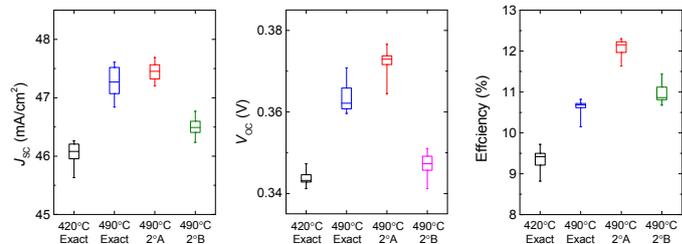
(同一ウェハー上の13セルを評価)



ダイオードモデル
 $J = J_0 \left(\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right)$
 490°C、2°Aの条件で成長したInGaAsセルは J_0 、 n 値が改善

J_{sc} 、 V_{oc} が増大し
 最も高い $\eta = 12.3\%$ を実現

セルパラメータ



MBE法を用いたInGaAsセルの中で
 最も高い変換効率、最も小さい W_{oc} を実現

結論

- MBE法を用いたInP基板上InGaAsセルの作製における、成長温度と微傾斜基板の影響を調査した。
- 490°Cの高温成長により、結晶性が向上したことによりPL発光強度が増大し半値幅が低減した。
- 2°A基板を用いることにより、ステップフロー成長をより促進できることを明らかにした。
- 2°Aかつ490°Cで成長したInGaAsセルは、MBE法を用いたInGaAsセルで最も高い変換効率12.3%、かつ最も小さい $W_{oc} = 0.37$ Vが得られた。

参考文献

- [1] F. Dimroth *et al.*, IEEE J. Photovolt. **6**, 343 (2016).
- [2] M. W. Wanlass *et al.*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **41/42**, 405 (1996).
- [3] H. Sodabanlu *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 08RD09 (2018).
- [4] R. M. France *et al.*, IEEE J. Photovolt. **6**, 578 (2016).
- [5] M. Arimochi *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 056601 (2015).
- [6] F. Chancerel *et al.*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **195**, 204 (2019).
- [7] R. Oshima *et al.*, Proc. 43rd IEEE PVSC, 2354 (2016).

謝辞

本研究の一部は、国立研究開発法人NEDO「超高効率・低コストIII-V化合物太陽電池モジュールの研究開発」により行われた。