

低コストHVPE法により作製した GaAs太陽電池

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大陽日酸株式会社

大島 隆治¹, 牧田 紀久夫¹, 庄司 靖¹,
生方 映徳², 菅谷 武芳¹

概要

1. 研究背景

2. ハイドライド気相成長(HVPE)法

3. GaAs太陽電池の高性能化

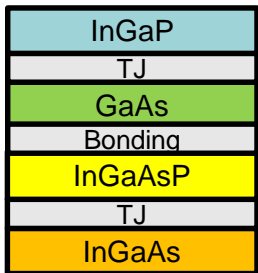
- GaAs/InGaPへテロ界面の高品質化
- 逆積み薄膜セルの開発

4. まとめ

低コストIII-V族化合物太陽電池

従来

⇒ 宇宙、高倍集光用途が殆ど



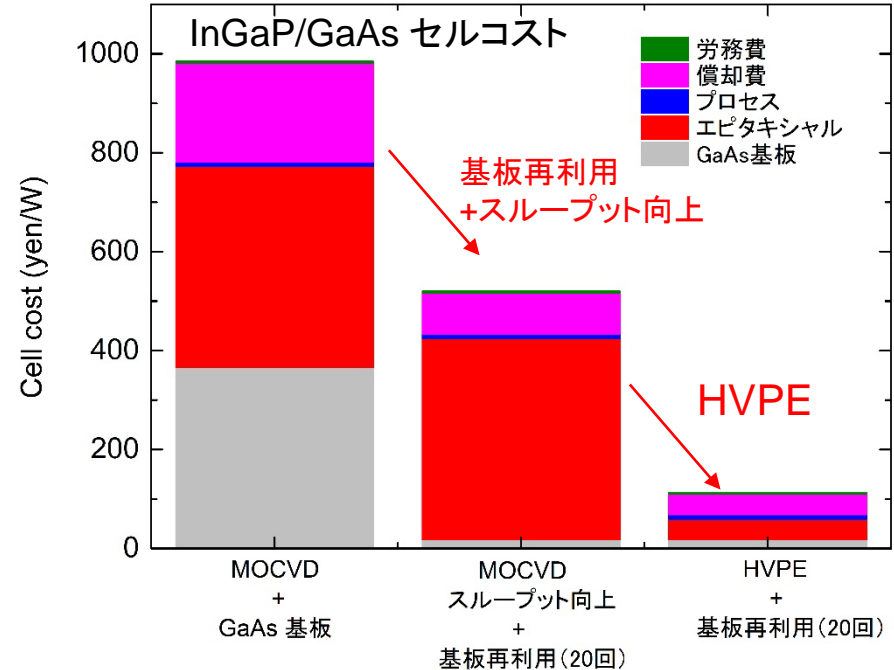
➤ 高効率

46.0% @508 suns

F. Dimroth *et al.*, IEEE JPV 6, 343 (2016).

➤ 高価

⇒ 基板、エピタキシャルコストに大きな課題



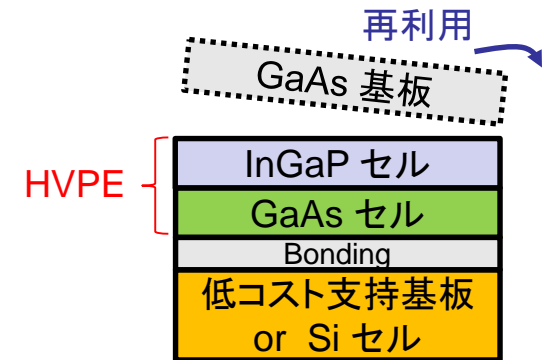
一般応用を目指した低コスト技術

発電コスト7円/kWh (セルコスト ~50円/W) (NEDO PV challenges)

1. 基板コスト ⇒ 基板再利用 (エピタキシャルリフトオフ)

B. Gai *et al.*, ACS Nano, 11, 992 (2017).

2. エピタキシャルコスト ⇒ ハイドライド気相成長法 (HVPE)

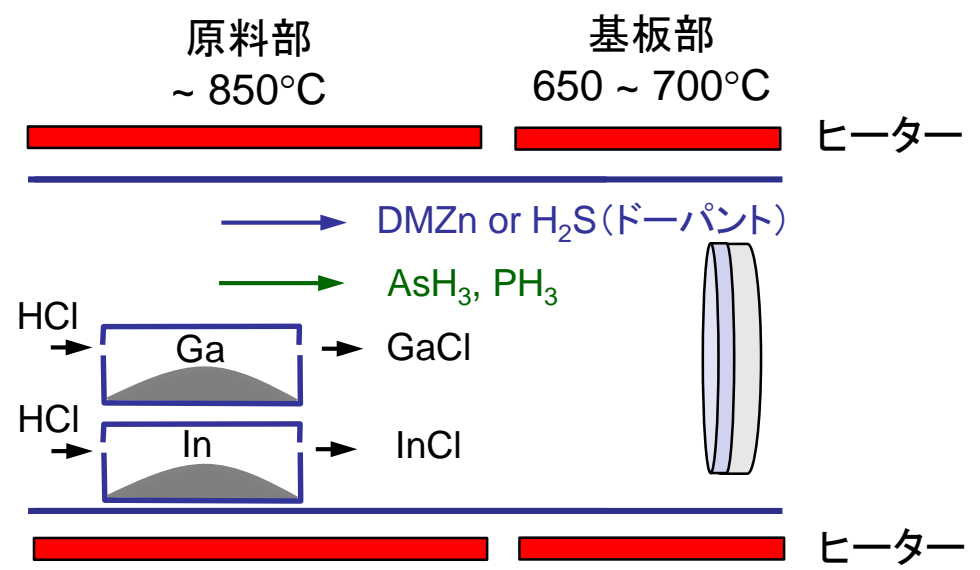


HVPE法の特徴

	MOCVD	HVPE	
III族原料	有機金属	金属(塩化物)	} 原料コスト ↓
V族原料	水素化物	水素化物	
V/III比	10~100	~2	
成長速度	5 μm/h	100 μm/h	} 装置コスト ↓
成長圧力	減圧	常圧	

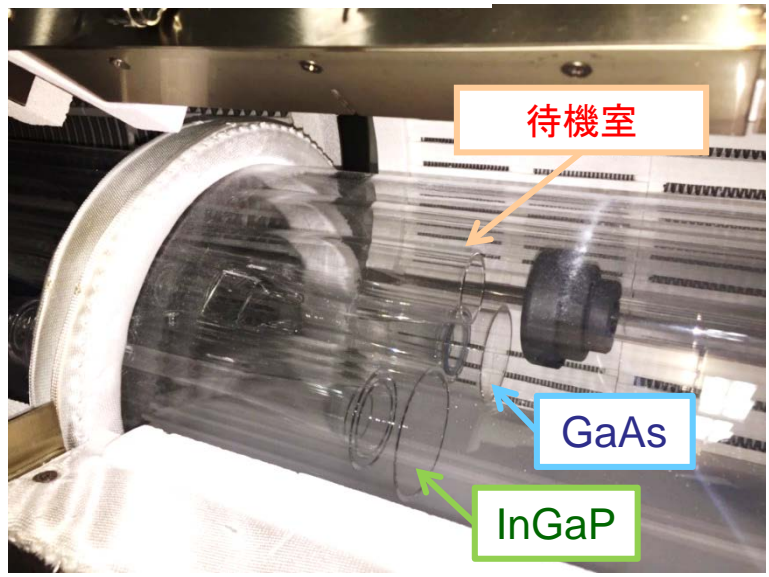
課題

- ガス(成長雰囲気)の切り替えに時間を要する
- ⇒ p/n界面、As/P界面を有するIII-V族太陽電池の界面制御は単一チャンバーでは困難

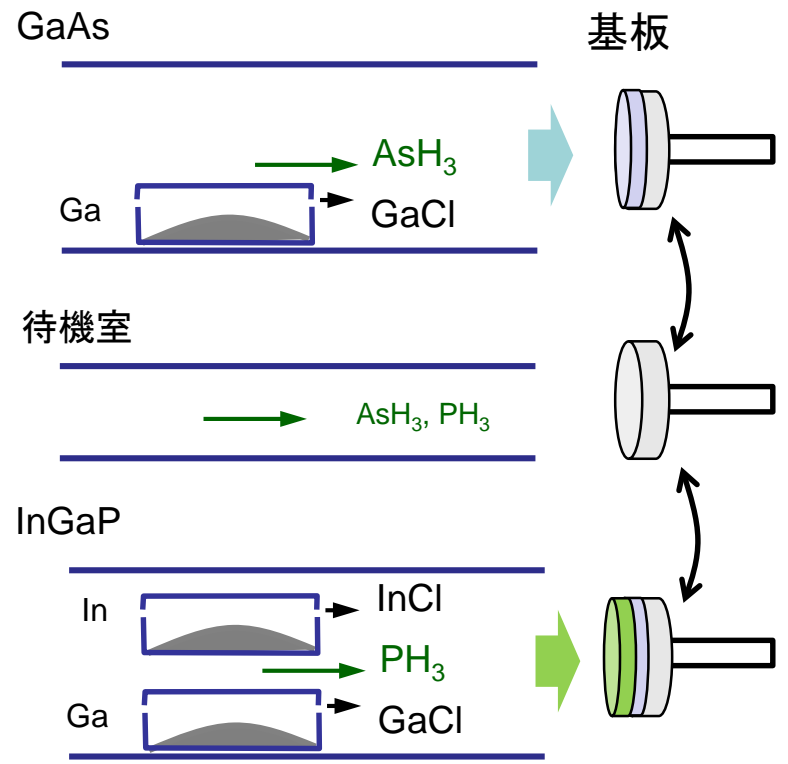
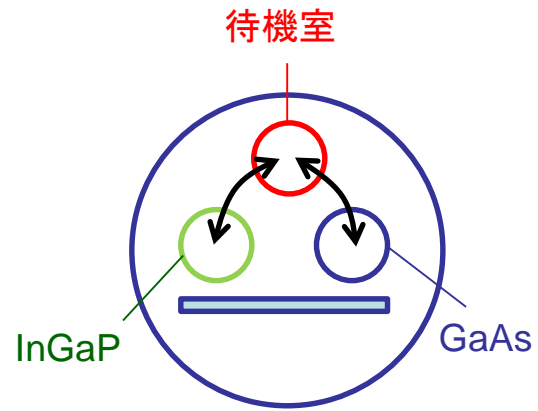


3チャンバー式 HVPE 装置

Taiyo Nippon Sanso, H260



2016年8月稼働開始



- 各室は予め成膜雰囲気を用意
- 基板が各室間を移動することでヘテロ成長
(2秒以内に移動可能)

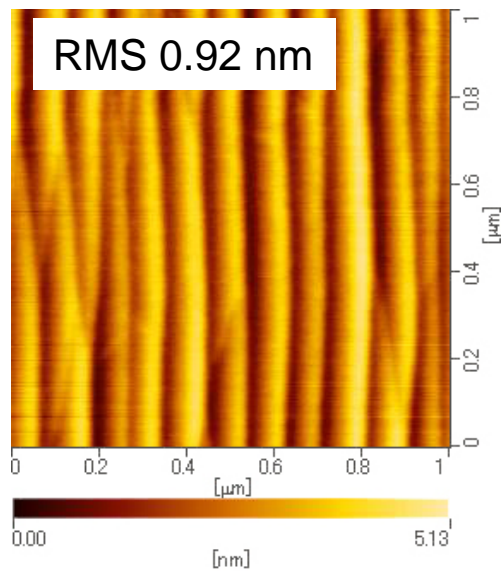
R. Oshima et al., 44th IEEE PVSC, 2017.

GaAs, InGaP 薄膜

- 原子スケールで平坦かつ高均一な結晶成長が可能

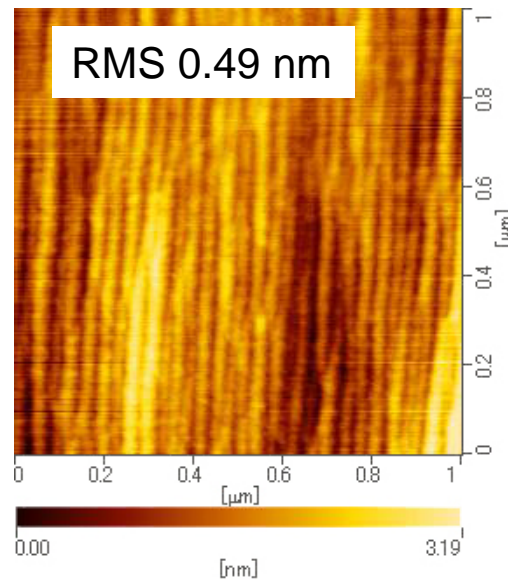
GaAs 薄膜

7.0 $\mu\text{m}/\text{h}$

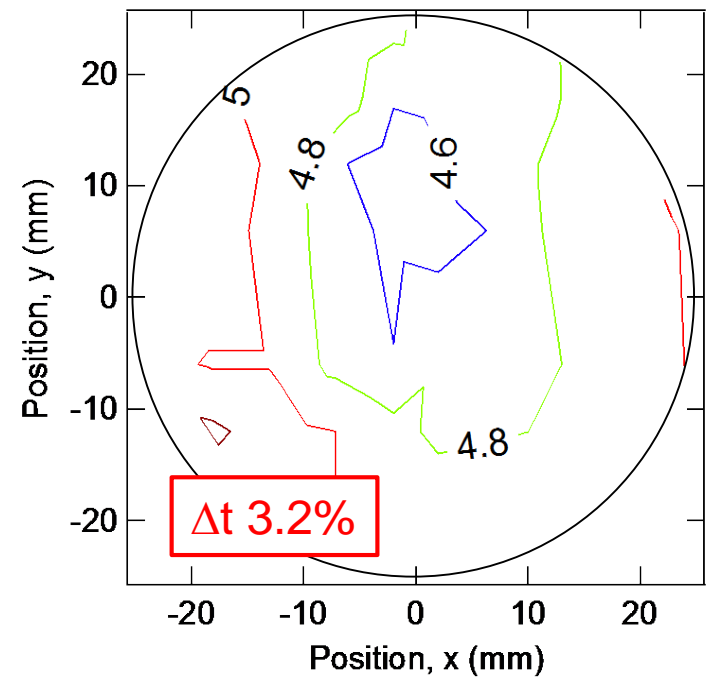


InGaP 薄膜

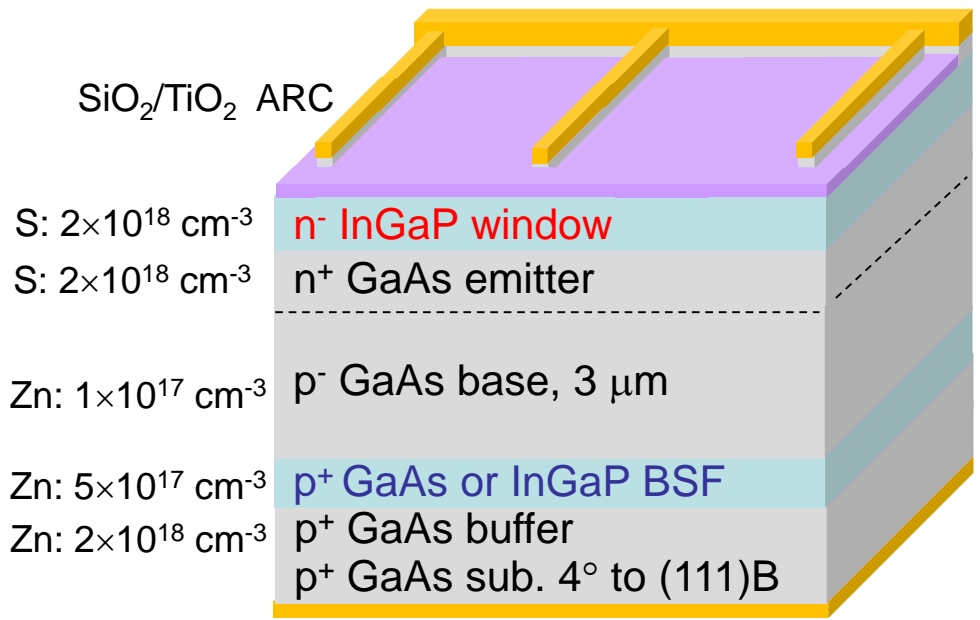
24.0 $\mu\text{m}/\text{h}$



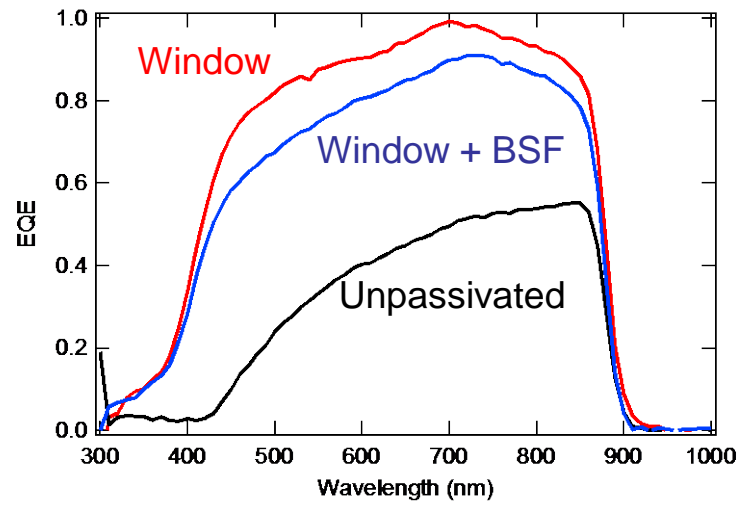
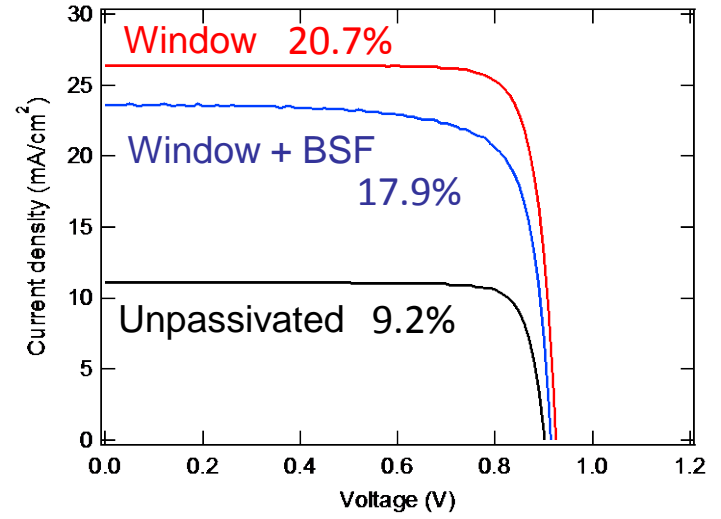
膜厚分布 (5 μm 厚GaAs)



順積みGaAsセル



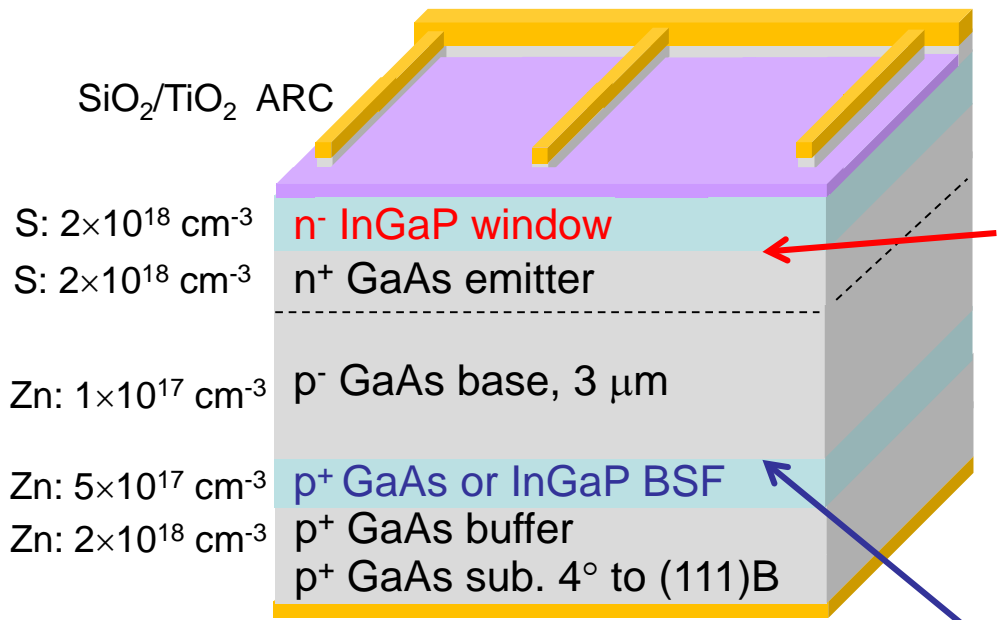
- 成長温度: 660°C
- 成長速度: GaAs 8.0 μm/h
InGaP 24.0 μm/h
- V/III比 : ~4
- ドーパント: H₂S (n-type), DMZn (p-type)



R. Oshima et al., Jpn. J. Appl. Phys., **57**, 08RD06 (2018).

- InGaP BSF層を導入した場合、変換効率が低下**

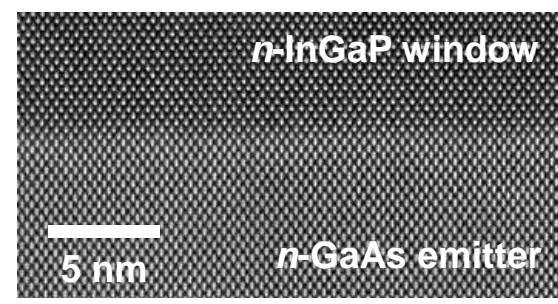
InGaP/GaAsヘテロ界面



STEM 格子像

InGaP on GaAs 界面

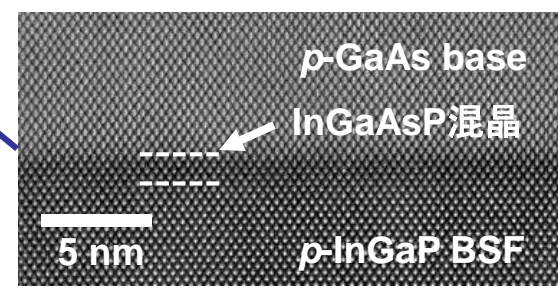
⇒ 急峻な
ヘテロ界面



成長中断
AsH₃ 18 s

GaAs on InGaP 界面

⇒ 混晶層の
形成



成長中断
AsH₃ 18 s

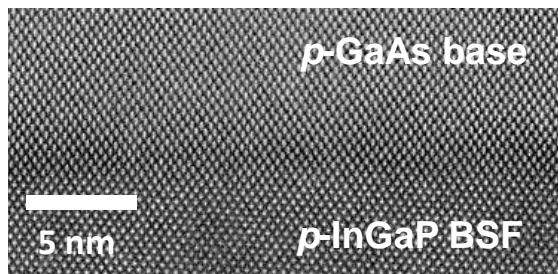
InGaP表面はGaAsと比較して、成長中断に影響を受けやすい

- InGaP表面のIn偏析
- P原子とAs原子の交換反応

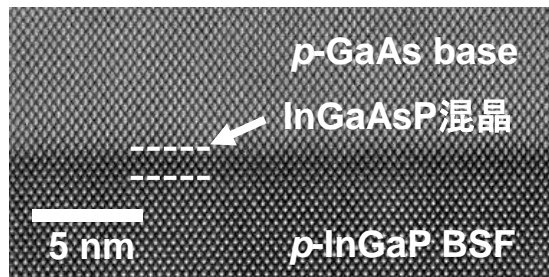
R. Oshima et al., Jpn. J. Appl. Phys., **57**, 08RD06 (2018).

成長中断シーケンスの検討

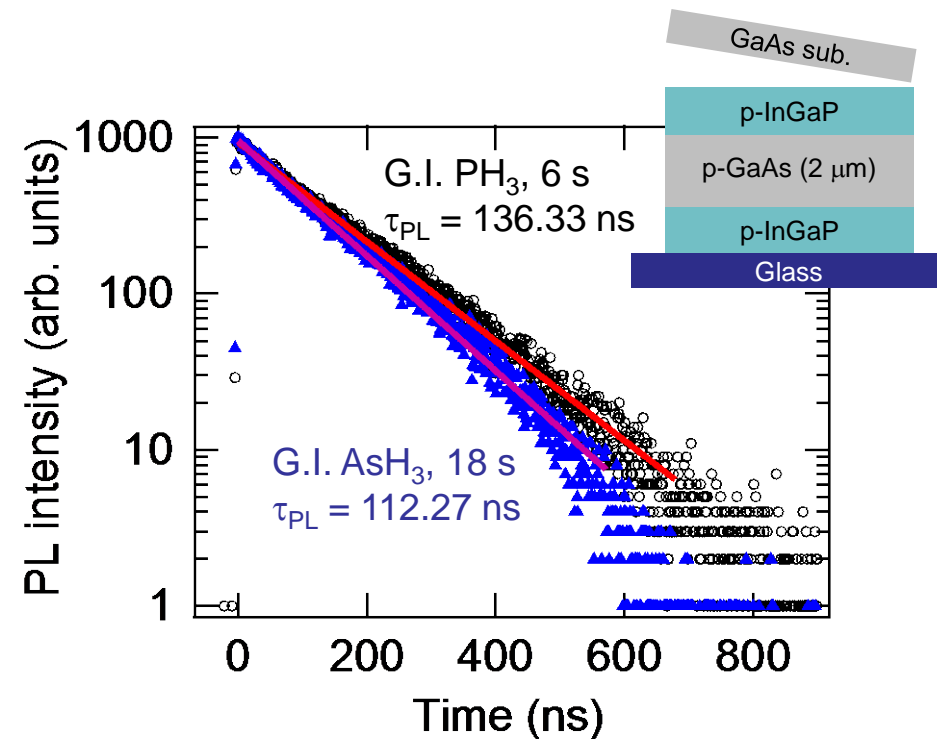
GaAs on InGaP 界面



成長中断
 PH_3 6 s

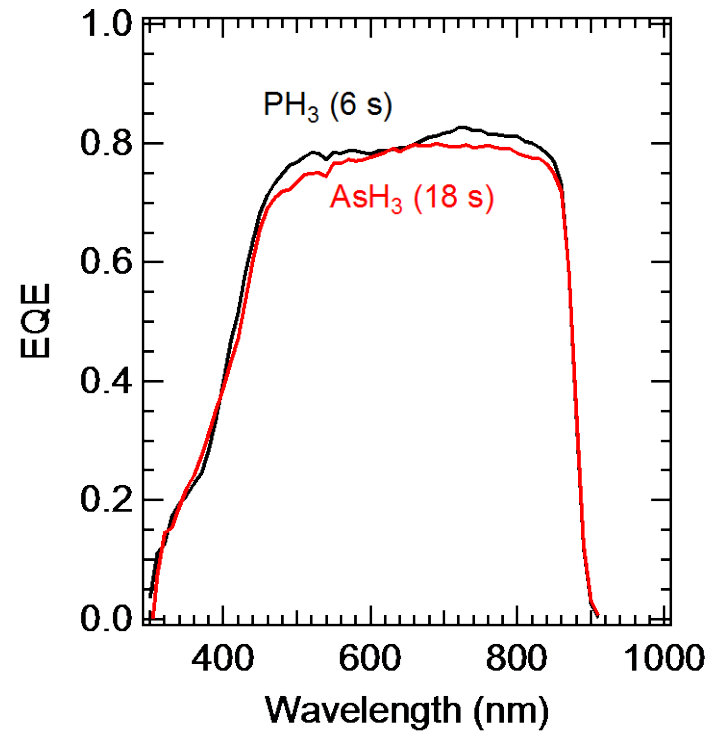
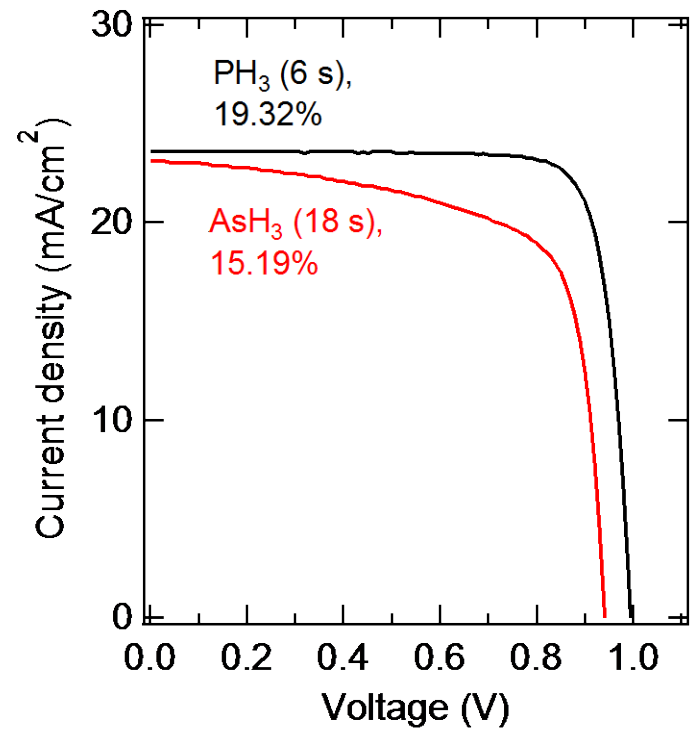


成長中断
 AsH_3 18 s



- PH_3 供給下で短時間の成長中断を行うことにより、混晶層の形成が抑制
- 成長中断シーケンスの改善によりPL寿命が長寿命化
⇒ 混晶層での再結合が抑制

順積みGaAsセル特性



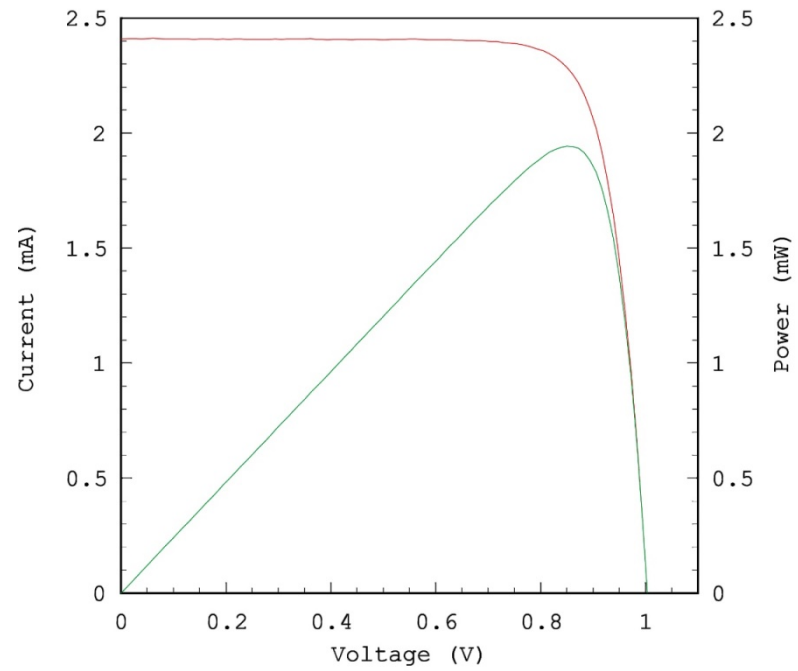
	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	η (%)
AsH ₃ , 18 s	23.10	0.94	0.70	15.19
PH ₃ , 6 s	23.56	1.0	0.82	19.32

- PH₃供給下で短い成長中断を行うことにより、良好なヘテロ界面が形成でき、変換効率が19.32%に向上

順積みGaAsセル特性

I-V CURVE

IEC60904-3 Ed.3 0.0931cm² (designated area)
LACS



Date : 20 Mar 2018
 Data No : H128-11-1
 Sample No : H128-11
 Repeat Times : 5

I_{sc} 2.410 mA
 V_{oc} 1.004 V
 P_{max} 1.944 mW
 I_{pmax} 2.287 mA
 V_{pmax} 0.850 V
 F.F. 80.4 %
 Eff (da) 20.87 %
 DTemp. 25.0 °C
 MTemp. 24.9 °C
 DIrr. 100.0 mW/cm²
 MIrr. 99.9 mW/cm²

Scan Mode
 Isc to Voc



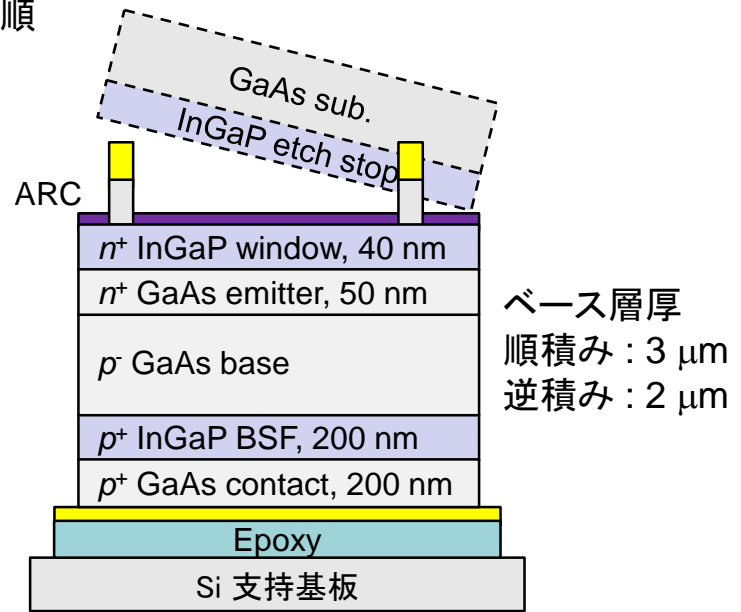
J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (V)	FF	η (%)
25.85	1.004	0.804	20.87

AIST 評価・標準チームにより測定



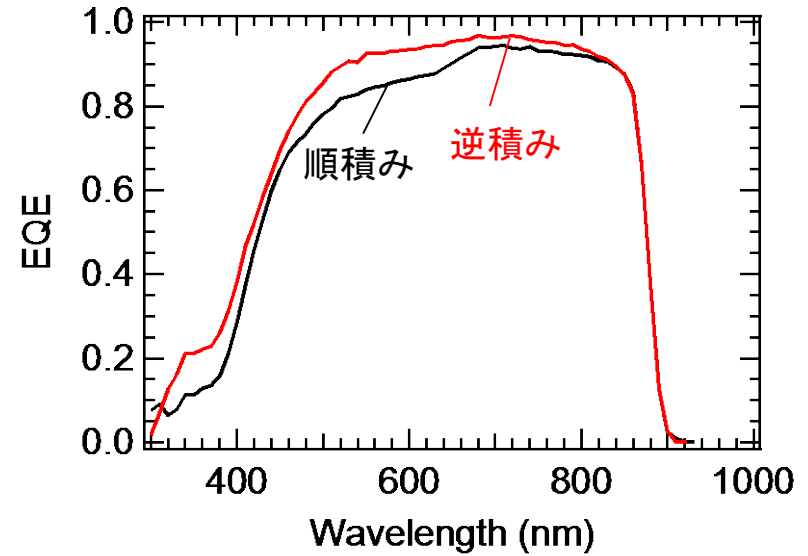
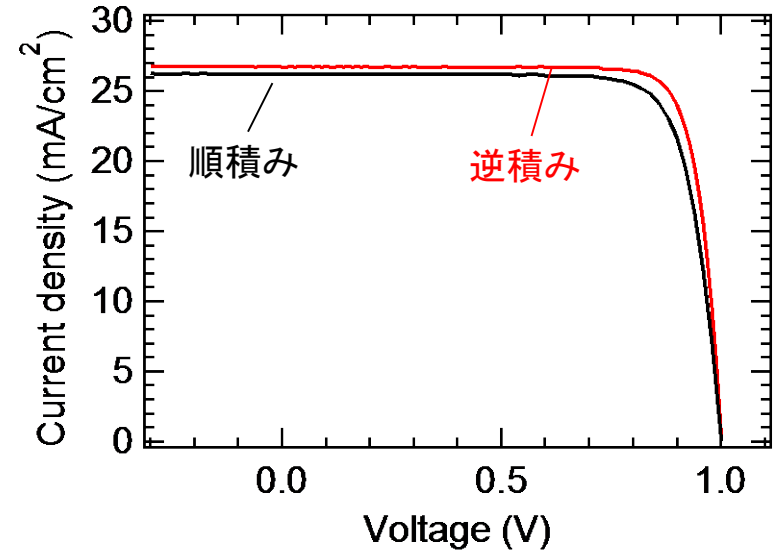
逆積み薄膜セル

結晶成長順



	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	η (%)
順積み	25.85	1.004	0.804	20.87
逆積み	26.7	1.00	0.83	22.1

- 裏面反射を利用することで薄膜化したセルにおいても J_{sc} が向上



まとめ

低コストHVPE法を用いたGaAsセルの開発

- p -InGaP BSF/ p -GaAs baseのヘテロ界面のHVPE成長において、 AsH_3 供給下で成長中断した場合にInGaAsP混晶層が形成され、再結合の増大によりGaAsセル特性の低下が生じた。
- PH_3 供給下で短時間の成長中断により混晶層の形成が抑制され、良好なヘテロ界面が形成された。
- 成長シーケンスの改善により、順積みセルで20.87%、逆積み薄膜セルで22.11%に変換効率が向上した。

謝辞

本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「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」の委託の下で行われた。