

低コストH-VPE法により作製した 高効率III-V族化合物太陽電池

大島 隆治、牧田 紀久夫、生方 映徳*、菅谷 武芳
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
*大陽日酸株式会社

背景

2030年 7円/kWhに向けた低コスト・高効率太陽電池開発 (NEDO PV Challenges)

ターゲット: III-V/Si 3接合セル

スマートスタック技術 [1,2]

ハイドライド気相成長法 (H-VPE)

- $\eta > 30\%$
- H-VPE
- モジュール < 45 円/W
- 地上、非集光

モジュールコスト試算 [3]

条件

- InGaP/GaAs/Si 3接合構造
- Pdナノ粒子による接合
- 変換効率 30%、6インチウエハー
- 寿命30年
- GaAs基板コスト1/10 (ELO技術)

* 低倍集光技術適用で更なるコスト低減が可能

ハイドライド気相成長法 (H-VPE)

大陽日酸 H260 system

- 高速結晶成長 (高スループット)
- 金属原料、低V/III比 (低コスト)
- 商用機がなく、太陽電池応用は世界2例目 (1例目はNREL [4,5])

→ **新規に設計・導入** (2016年8月稼働開始)

特徴

- 常圧 (非真空)
- 水素キャリアガスによる原料輸送
- 3室構造

成長メカニズム

原料部 (860 °C) 基板部 (680-710 °C)

(For GaAs)

$$Ga + HCl \rightarrow GaCl + \frac{1}{2}H_2$$

$$GaCl + \frac{1}{4}As_4 + \frac{1}{2}H_2 \rightarrow GaAs + HCl$$

結果と考察

GaAs成長速度

• 30 $\mu\text{m/h}$ までの高速成長を実現

• HClガス 20 sccm以上で未反応のHClガスがエッチングに寄与

理想的な条件下 $T_{\text{sub}} = 710^\circ\text{C}$

H₂ キャリアガス

HCl → GaCl

InGaP結晶成長

成長温度が成長効率に与える影響 (シミュレーション)

InGaP成長: 710 °C → 680 °C

条件1: $T_{\text{sub}} = 680^\circ\text{C}$, Inメタル 90% 充填
HCl (Ga/In) = 1.5/20 sccm, G.R-12 $\mu\text{m/h}$

条件2: $T_{\text{sub}} = 710^\circ\text{C}$, Inメタル 40% 充填
HCl (Ga/In) = 2/8 sccm

高速InGaP結晶成長の組成制御には、

- 成膜温度
- Inとメタルの接触面積

の設計が重要

膜厚分布

5 μm 厚GaAs on 2 inch-GaAs (001)

開発当初

- 下方ほど厚膜
- 面内不均一 30.1%

⇒ 不均一なガスフロー

ノズル改良後

- 面内不均一 3.2%

⇒ 太陽電池に十分適用可能

延長ノズルによるMixing部改善

セル特性

	H046 w/o window	H048 w/ window	NREL [5]
J_{sc} (mA/cm ²)	16.54	26.41	25.90
V_{oc} (V)	0.909	0.925	0.944
FF (%)	83.87	83.06	84.28
η (%)	12.61	20.29	20.60

- InGaP窓層の導入によりセル特性が大きく向上
- InGaP/GaAsヘテロ成長は良好
- NRELで行われた先行研究[5]と同等のセル性能
- 同等の結晶性

結論

低コスト・高効率III-V族化合物太陽電池の実現に向けてH-VPE装置を新規に導入し、成膜条件の検討とセルの試作を行った。

- GaAs結晶成長: 30 $\mu\text{m/h}$
- GaAsセル: $\eta = 20.29\%$
- 面内均一性: 3.2% 先行研究 (NREL) と遜色ない性能
- ドーピングの急峻性: < 40nm

太陽電池応用に十分適用可能な特性が得られ、今後更なる高速化、高性能化を図る。

参考文献

- [1] H. Mizuno *et al.*, Appl. Phys. Lett. 101, 191111 (2012).
- [2] H. Mizuno *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 55, 025001 (2016).
- [3] K. Makita *et al.*, 26th PVSEC, 1.2.3b, Singapore (2016).
- [4] J. Simon *et al.*, IEEE J. Photovolt. 6, 191 (2016).
- [5] J. Simon *et al.*, IEEE J. Photovolt. 7, 157 (2017).

謝辞

本研究は、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」の委託の下で行われた。