

高効率低コスト太陽電池に向けたHVPE法によるAl含有化合物半導体の結晶成長

庄司 靖¹、大島 隆治¹、相原 健人¹、牧田 紀久夫¹、生方 映徳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太陽日酸株式会社

研究背景

III-V族太陽電池

バンドギャップの異なる材料を接合することで高効率化

最高効率 (集光時)^[1]

- 2接合: 35.5%
- 4接合: 46.0%
- 6接合: 47.1%

現在の主な応用先: 人工衛星

今後期待される応用先: 無人航空機, 電気自動車

課題: 低コスト化

ハイドライド気相成長 (HVPE) 法による成膜

HVPE装置の概要(太陽日酸 H260 system)

HVPEのメリット/デメリット

- 😊 純金属を使用するため原料費が安い (MOVPEの $\frac{1}{10}$)
- 😊 成長速度が速い
- 😞 ガス切り替えに時間を要する
- 👉 対策: 3室構造により、V族ガス供給下での待機と事前の供給ガス雰囲気作りを可能にした^[4]
- 😞 AlCl₃が石英ガラスを激しく還元する
 - ・成長結晶内へのSi混入
 - ・石英反応炉の損傷
- 👉 対策: Al原料の温度を低温(500°C)にすることでAlCl₃の発生を抑制(AICl₃として供給)

成膜室B

原料部の反応

$$\text{Ga}(l) + \text{HCl}(g) \leftrightarrow \text{GaCl}(g) + 1/2 \text{H}_2(g)$$

$$\text{In}(l) + \text{HCl}(g) \leftrightarrow \text{InCl}(g) + 1/2 \text{H}_2(g)$$

$$\text{Al}(s) + 3\text{HCl}(g) \leftrightarrow \text{AlCl}_3(g) + 3/2 \text{H}_2(g)$$

ガス混合部(基板部)の反応

$$\text{GaCl}(g) + \text{PH}_3(g) \leftrightarrow \text{GaP}(s) + \text{HCl}(g) + \text{H}_2(g)$$

$$\text{InCl}(g) + \text{PH}_3(g) \leftrightarrow \text{InP}(s) + \text{HCl}(g) + \text{H}_2(g)$$

$$\text{AlCl}_3(g) + \text{PH}_3(g) \leftrightarrow \text{AlP}(s) + 3\text{HCl}(g)$$

※PH₃が未分解の場合

Al温度に対する塩化物ガス種の平衡分圧に関する計算結果

本研究の目的

ターゲット構造 (効率30%以上、発電コスト7円/kWh)

高効率InGaPセルを作製するには...

- ・Window層
- ・リアヘテロ構造^[2]

を形成するために、AlIn(Ga)Pが必要

高効率・低コスト太陽電池の実現に向けてHVPE法によるAl含有化合物半導体の高品質成膜を実証する

エピタキシャルリフトオフ(ELO)^[3]による基板再利用を行うためにAlAs犠牲層が必要

AlInGaPの結晶成長

GaAs cap	HCl[Al]	0 ~ 2 sccm
	HCl[In]	6 ~ 20 sccm
AlInGaP	HCl[Al]	0 ~ 2 sccm
	PH ₃	25 ~ 100 sccm
GaAs buffer	H ₂ キャリア (III族供給用)	0.5 ~ 2.8 slm
GaAs sub.	基板温度	660°C

HCl[Al]流量の影響

HCl[Al]流量を増加すると平坦性が低下

V/III比の影響

V/III比を下げて成長することでRMS改善 → マイグレーション向上効果

H₂キャリアガス(GaCl, AlCl₃, InCl)の影響

キャリアガス流量が高い状態であれば、HCl[Al]流量を増加しても平坦性良好

- ・不純物の取り込み抑制
- ・境界層の影響

EPMAによるIII族組成分析

室温PLスペクトル

AlInGaPからの発光を確認

AlAsの結晶成長とELO試験

GaAs 2 μm	HCl[Al]	6 sccm
AlAs	AsH ₃	10 sccm
GaAs buffer	H ₂ キャリア (III族供給用)	5 slm
GaAs sub.	基板温度	660°C

RMS: 0.54 nm

AlAs上でもGaAsがステップを形成しており、平坦性も良好

基板とHVPE成膜層の分離に成功 (フレキシビリティあり)

ELOで分離

まとめ

HVPE法においてAl原料温度を500°Cにすることで、AlInGaPとAlAsの成膜を実施

- V/III比を下げ、H₂キャリアガス流量を多くすることで、AlInGaPの成膜品質を改善
- 室温で2.27 eVのPL発光をAlInGaP試料から観測 → 理論値と一致
- AlAs試料においてELOを実施し、基板とHVPE成膜層の分離を実証

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。

参考文献

- [1] M. A. Green *et al.*, Prog. Photovolt.: Res. Appl. **27**, 565 (2019).
- [2] J. F. Geisz *et al.*, Appl. Phys. Lett. **103**, 041118 (2013).
- [3] M. Konagai *et al.*, J. Cryst. Grow. **45**, 277 (1978).
- [4] R. Oshima *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 08RD06 (2018).