

MBE法によるGaInAs太陽電池の パッシベーション層材料の最適化

大島 隆治¹、石塚 優希²、岡野 好伸²、菅谷 武芳¹

1 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 2 東京都市大学

研究の目的

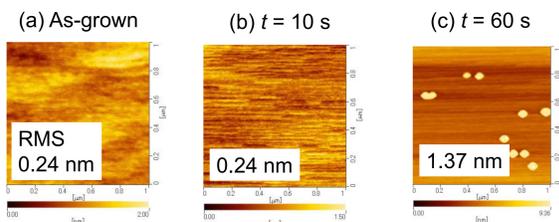
- Ga_{0.47}In_{0.53}AsはInPと格子整合する0.75 eV帯材料であり、多接合太陽電池におけるボトムセルとして用いられている[1-3]。しかし、GaInAsセルの研究開発例は少なく、高効率化技術は確立されていなかった。
- 太陽電池の高効率化において、バルク欠陥、界面欠陥、表面/裏面の表面準位を介した非発光再結合を抑制することが重要である。
- これまでに、高温成長、微傾斜基板を用いることで高品質なGaInAs結晶成長を実現し、高効率化できることを明らかにした[4]。
- 今回、InP基板上GaInAsセルにおいてパッシベーション層であるwindow層、BSF層とGaInAsとのヘテロ界面の高品質化、およびパッシベーション層材料の最適化による高効率化を検討した。

結果と考察① GaInAs/InPヘテロ界面

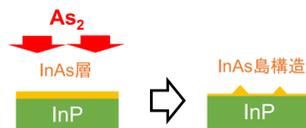
- GaInAs/InPヘテロ成長では、V族(As, P)フラックスの供給をまず安定させる必要があるが、成長表面での意図しないAs/P交換反応が生じる[5,6]。
- ⇒ それぞれの表面材料(InP, GaInAs)において、高品質なヘテロ界面を得るためのV族供給条件の最適化を検討

InP 表面

基板温度(T_S) = 500°C (GaInAsの成長温度)

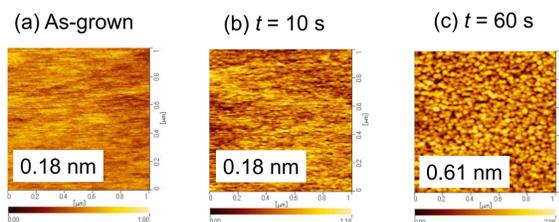


- 照射初期はステップ構造が維持されるが、長時間照射により3次元構造が形成
- ⇒ As/P交換反応により表面にInAs原子層が形成し、その後厚膜化することで島構造が形成



GaInAs 表面

基板温度(T_S) = 450°C (InPの成長温度)



- 照射初期からステップ構造が消失し、その後にラフネスが増大
- ⇒ P原子の付着係数はAsよりも低いため、表面に不安定なGaInAsP層が形成
- ⇒ その後、相分離による分解、表面からの原子の脱離が促進



⇒ InP, GaInAsそれぞれの表面における平坦性の劣化メカニズムは異なるが、ヘテロ界面の高品質化には短時間のV族原料の切り替えが必要

結論

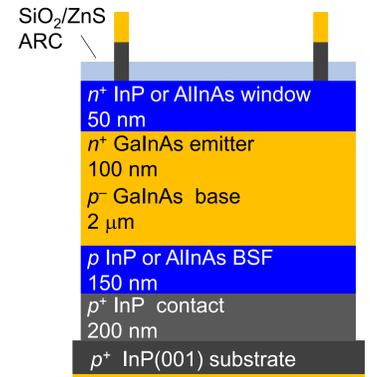
- MBE法によるInP基板上0.75 eV GaInAs太陽電池の高効率化に取り組んだ。
- GaInAs/InPヘテロ界面の高品質化に向けて、InP, GaInAsそれぞれの表面劣化メカニズムが異なることを明らかにし、短時間のV族原料の切り替えによって表面でのAs/P交換反応を小さくできる結果を得た。
- GaInAs太陽電池において、窓層にInP、BSF層にAllnAsを用いた組み合わせが最適であることを明らかにし、世界最高レベルの変換効率を得た。今後更なるセル構造の高度化による高効率化を図る予定である。

本研究は、国立研究開発法人NEDO の委託の下で行われた。

GaInAs太陽電池の作製

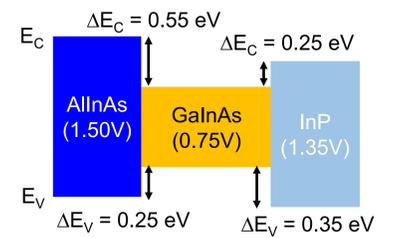
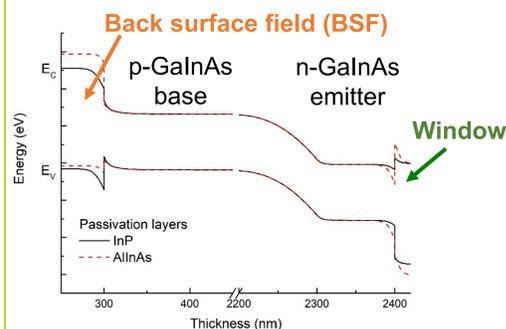
固体ソース分子線エピタキシー(MBE)法

- 2インチ p-InP(001) (2° off to (111)A)
- 成長温度: 500°C (GaInAs, AllnAs)
450°C (InP)
- 成長速度: 1.0 μm/h (GaInAs, AllnAs)
0.8 μm/h (InP)
- V族圧力: P_{As2} = 1.2 × 10⁻⁵ Torr
P_{P2} = 1.5 × 10⁻⁵ Torr



セルサイズ 3.2 mm口

バンド構造図



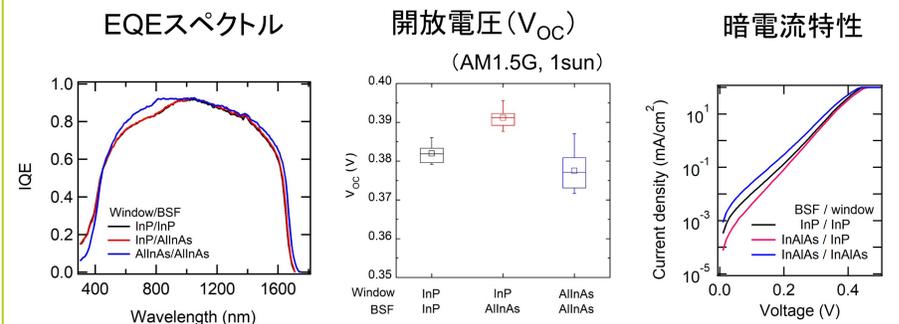
3種類の組み合わせを検討

	Window	BSF
I.	InP	InP
II.	InP	AllnAs
III.	AllnAs	AllnAs

実験

1. 成長シーケンスの改善によるGaInAs/InPヘテロ界面の高品質化
2. GaInAsセルにおけるパッシベーション層材料の最適化

結果と考察② GaInAs太陽電池の評価



Window層の検討

- AllnAsはInPと比較してワイドギャップであり、450 ~ 900 nmのEQE感度の改善に有効
- 一方で、AllnAs/InGaAsはΔE_Vが小さいため、AllnAsをwindow層に用いると暗電流が増大し、V_{OC}が低下

⇒ Window窓層材料としてInPが最適

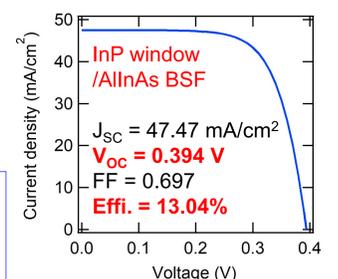
BSF層の検討

- AllnAsはInPと比較してΔE_Cが大きく、BSF層として用いることで暗電流が減少し、V_{OC}が増大

⇒ BSF層材料としてAllnAsが最適

- 得られたV_{OC}、変換効率は世界最高レベル
- セル構造の高度化(リアヘテロ、裏面反射の導入)により更なる高効率化が可能

The best GaInAs cell in this work



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] M. U. González et al., Appl. Surf. Sci. 2002, 188, 188.
- [6] S. Hasan et al., J. Crystal Growth 2021, 557, 126010.