

HVPE法によるInGaP/GaAs 2接合太陽電池の開発

大島 隆治¹、庄司 靖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 ☺ 高い変換効率^[1]
- 単接合セル η = 29.1% (1sun)
 - 6接合セル η = 39.2% (1sun)

☹ 高い製造コスト → 応用が限定的

現状 宇宙、集光型

製造の低コスト化、生産能力の向上が課題

⇒ **ハイドライド気相成長(HVPE)法**^[2]

将来 無人航空機、車載PV など

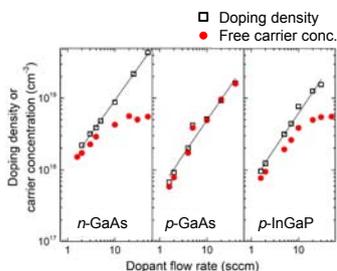
- これまでの開発**
- GaAs 単セル η = 22.1%^[3]
 - InGaP 単セル η = 12.1%^[4]

研究課題 InGaP/GaAs 2接合セルの開発

トンネルダイオードの開発

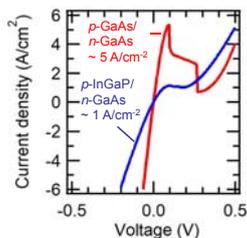
ドーピング特性

成長速度 GaAs: 12 μm/h InGaP: 24 μm/h



- n-GaAs
⇒ 電子濃度が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で飽和
⇒ $S_{\text{As}}-V_{\text{Ga}}$ アクセプター複合欠陥の形成に起因^[5]
- p-GaAs
⇒ 正孔濃度は線形に増大
⇒ 縮退ドーピング可能
- p-InGaP
⇒ 正孔濃度が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で飽和

トンネルダイオード特性



p ⁻ -GaAs, 40 nm	
p-InGaP, 200 nm	ドーピング密度
p ⁺⁺ -tunnel, 40 nm	$2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$
n ⁺⁺ -tunnel, 40 nm	$4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$
n-InGaP, 40 nm	
n-GaAs, 200 nm	
n-GaAs sub.	

- nmオーダーの極薄膜のヘテロ成長が可能であることを実証
- $>10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の過剰ドーピングにより、良好なトンネルダイオード特性を実現
⇒ 複合欠陥等の局在準位を介したトンネル
- n-GaAs/p-InGaPトンネル接合
⇒ GaAsボトムセルに対してトンネル接合の寄生吸収の低減が期待できるが、ドーピング特性の改善が課題

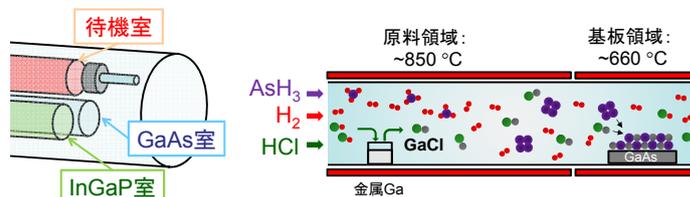
結論

- HVPE法を用いたトンネルダイオード、およびInGaP/GaAs 2接合セルを開発した。
- GaAs, InGaP結晶へのZn, Sドーピング特性を明らかにした。
- 極薄膜のヘテロ成長が可能であることを実証し、5 A/cm²のピークを有するGaAsトンネルダイオードを実現した。
- トンネルダイオードによるV_{OC}の損失はほぼ無視でき、InGaP/GaAs 2接合セルにおいて変換効率21.8%が得られた。

HVPE装置

	MOVPE	HVPE
III族原料	有機金属	金属(塩化物)
V族原料	水素化物	水素化物
V/III比	△ 20	◎ 2
原料利用率	○ ~20%	◎ ~60%
成長速度	○ ~5 μm/h	◎ ~100 μm/h
界面制御	◎	?

従来(MOVPE)と比較して:
原料コスト ~1/10
成長時間 ~1/20 (高スループット性)

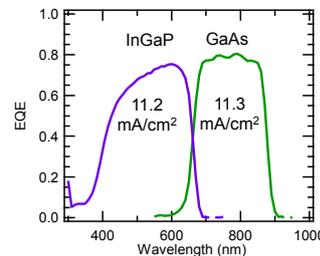
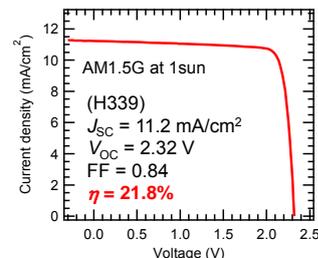
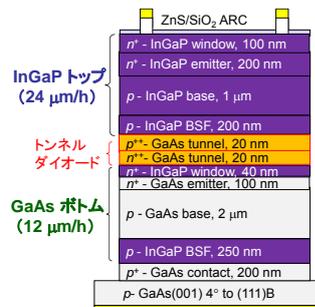


- 特徴**
- ホットウォール型反応炉
 - 多室構造によるヘテロ成長
 - 非真空プロセス
 - ドーパント原料: H₂S (n型), DMZn (p型)

研究項目

- 高濃度ドーピング特性 ($>10^{19} \text{ cm}^{-3}$) の解明
- トンネル接合、2接合セルの試作と評価

InGaP/GaAs 2接合セルの開発



- 単接合セルのV_{OC}:
GaAs = 1.00 V^[2] InGaP = 1.32 V^[3]
⇒ **トンネル接合によるV_{OC}の損失無し**
- 変換効率の向上には**高J_{SC}化**が課題

高J_{SC}化へのアプローチ

- InGaPトップセル ⇒ Al系ワイドギャップ窓層による**表面再結合の低減**
- GaAsボトムセル ⇒ ワイドギャップトンネル層による**寄生吸収の低減**

参考文献

- [1] M. A. Green *et al.*, Prog. Photovolt.: Res. Appl., 27, 3 (2019).
- [2] R. Oshima *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., 57, 08RD06 (2018).
- [3] R. Oshima *et al.*, IEEE J. Photovolt., 9, 154 (2019).
- [4] Y. Shoji *et al.*, Appl. Phys. Exp., 12, 052004 (2019).
- [5] E. Veuhoff *et al.*, J. Crystal Growth, 53, 598 (1981).

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。