

スマートスタックセルの高効率化に向けた InGaPサブセルの開放電圧向上

大島隆治¹・長門優喜²・岡野好伸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東京都市大学

研究の目的

多接合太陽電池



モノリシック InGaP/GaAs/InGaAs/InGaAs 39.8%@1 sun [1]
ウェハー接合 InGaP/GaAs/InGaAsP/InGaAs 46.0%@508 suns [2]

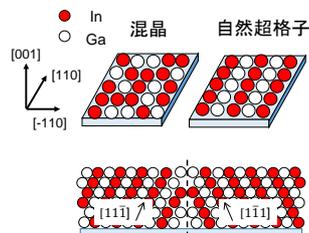
- 多接合太陽電池開発の殆どはMOCVD法が用いられ、固体ソースMBE法を用いた報告例はわずか

MBE法を用いた多接合太陽電池の高性能化

➡ 自然超格子の制御によるInGaPトップセルの高 V_{OC} 化

InGaP結晶中のIn, Ga原子の自然超格子

- (11-1), (1-11)面に自然超格子が形成 (ダブルバリエーション)
- 自然超格子による E_g 減少 (完全にランダムな場合、1.91 eV [3])
⇒ V_{OC} の低下
- 自然超格子のドメインの境界で結晶欠陥を発生
⇒ キャリア拡散長の低下

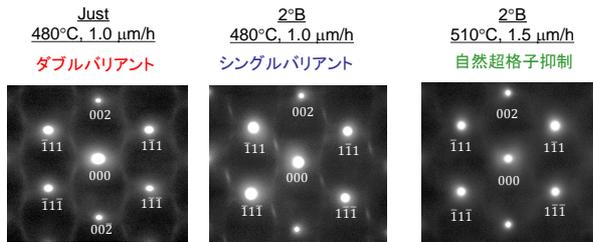


自然超格子の状態が
InGaPセル特性に影響

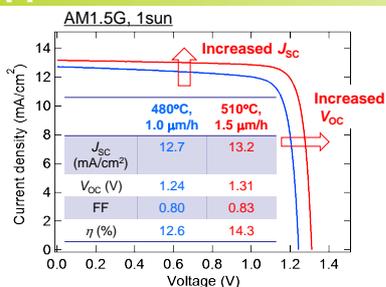
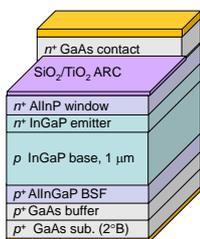
MBE法を用いたInGaP結晶中の自然超格子の制御

- 手法 ☆ 微傾斜基板 ⇒ 2°(111)B方向オフ(2°B) [4]
☆ 成長温度、成長速度 [5]

透過電子線回折 (TED)



InGaP 単接合太陽電池 [5]

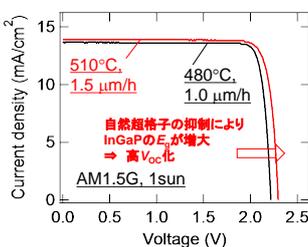
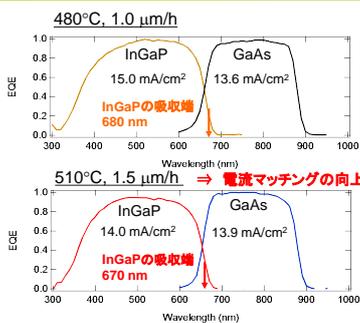
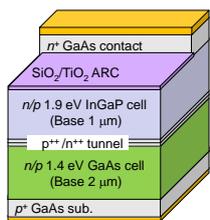


高温高速成長により自然超格子の形成を抑制した結果、

- E_g がワイドギャップ化し、 V_{OC} が70 mV増大
- 自然超格子のドメイン減少により、 J_{sc} 、FFが向上

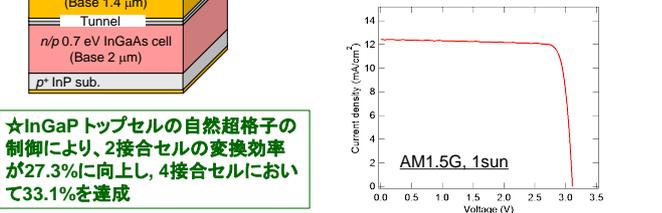
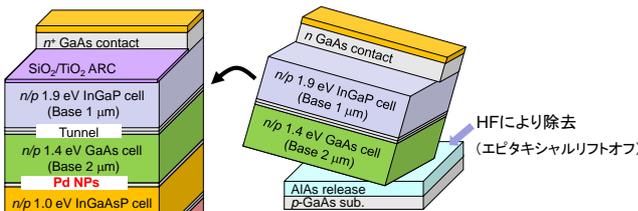
多接合太陽電池への応用

InGaP/GaAs 2接合セル



InGaP/GaAs/InGaAsP/InGaAs 4接合セル (//は接合部)

スマートスタックプロセスにより4接合セルを作製 [6]



☆ InGaP トップセルの自然超格子の制御により、2接合セルの変換効率が27.3%に向上し、4接合セルにおいて33.1%を達成

結論

- MBE成長におけるInGaP結晶中の自然超格子は微傾斜基板、成長条件により制御できることを示した。
- 高温、高速でInGaPセルを成膜することにより自然超格子を抑制でき、 V_{OC} が70 mV向上した。
- InGaP結晶の自然超格子を抑制することにより、変換効率が単接合セルで14.3%、2接合セルで27.3%に向上し、4接合セルにおいて33.1%を達成した。

参考文献

- [1] R. Krause *et al.*, AIP Conf. Proc. **1616**, 45 (2014).
- [2] R. M. France *et al.*, IEEE J. Photovolt. **6**, 578 (2016).
- [3] S. R. Kurtz *et al.*, Solar Cells **24**, 307 (1988).
- [4] R. Oshima *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **56**, 08MC08 (2017).
- [5] R. Oshima *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 08RD07 (2018).
- [6] H. Mizuno *et al.*, Appl. Phys. Express **10**, 072301 (2017).

謝辞

本研究の一部は、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。