

固体ソースMBEによる P系化合物半導体太陽電池の作製

菅谷武芳・牧田紀久夫・大島隆治・松原浩司・仁木栄
産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター

研究の目的

- ★ $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 太陽電池: Large bandgap of about 1.9 eV
多接合セルのトップセル 世界記録: 37.7% [1]
 - P系材料の成長: MOVPEで行われている。
 - ★ 固体ソース分子線エピタキシー (SS-MBE)
 - 高周波用電子デバイス
GaAs-HBT, GaAs-HEMT : **Commercialized**
 - 量子ドットレーザー
 - ・超真空プロセス
 - ・高純度金属: ガスソースに比べて安価
- Potential to grow high quality InGaP-based materials for solar cells.

固体ソースMBEによるP系材料成長の問題点

1. InGaPの成長は非常に難しい。
 2. 自然発火性
 3. 通常成長条件(580° C)のSiドーピング: $\sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ が限界
- ↓
固体ソースMBEを用いたInGaP太陽電池やその多接合太陽電池作製の報告はほとんど無い。
(ガスソースMBEでの報告は有 [2])

今回の報告

1. 固体ソースMBEで成長したInGaP太陽電池 [3]
2. InGaP/GaAsダブルジャンクション太陽電池

実験

1. 固体ソースMBEによる $\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 薄膜の成長 [3, 4]

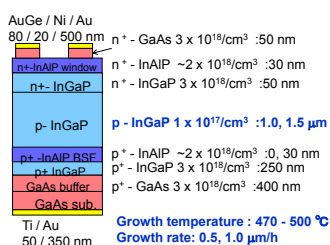
$\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ layers on GaAs (001) grown using a P valved cracker cell.
A red phosphorus ingot as a solid source

- Growth Rate: 0.5 $\mu\text{m}/\text{h}$
- P_2 : 5.8×10^{-6} Torr
- Temperature: 480 ~ 520 ° C

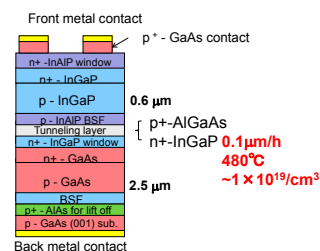
★MBEマシンの発火防止

LN_2 によるPTラップ機構
チャンパー大気開放前にベークし、Pを除去。

2. InGaP太陽電池の作製 [3]

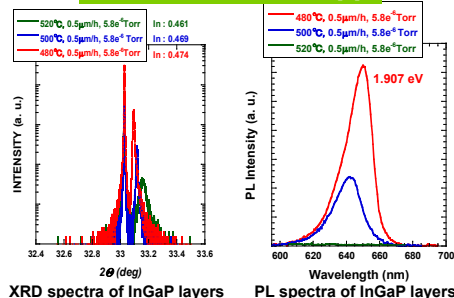


3. InGaP/GaAsダブルジャンクション太陽電池



結果及び考察

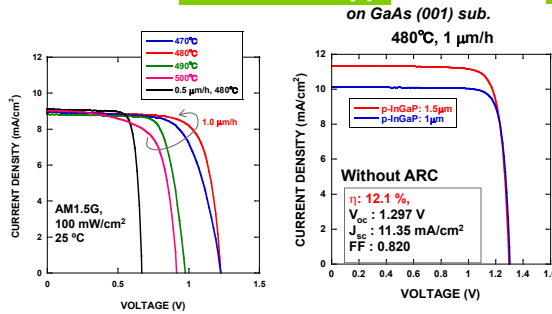
$\text{In}_{0.48}\text{Ga}_{0.52}\text{P}$ 薄膜の成長 [3]



• MOCVDによる(001) GaAs上InGaPの成長:

- PLにおいて $\sim 50 \text{ meV}$ のレッドシフト
 - ⇒ 自然超格子の形成 [5]
 - ⇒ 太陽電池応用では5-7° off基板の使用 [6]
- MBEによるInGaPの成長: レッドシフトは観察されず
 - ⇒ 自然超格子の形成されない
 - ⇒ GaAs (001) 基板の使用可能

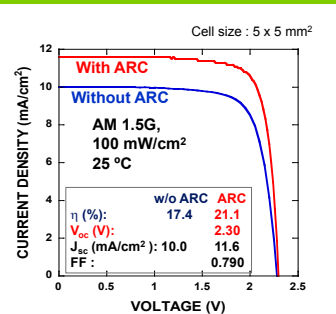
InGaP太陽電池 [3]



- ★ V_{oc} increases as the growth temperature decreases.
- ★ InGaP solar cells grown with 1 $\mu\text{m}/\text{h}$ have higher V_{oc}

⇒ ガスソースMBE: 成長温度の上昇でIn組成が変動[7]

InGaP/GaAsダブルジャンクション太陽電池



- ★ High V_{oc} value of 2.30 V was obtained.

High performance double junction solar cells fabricated using SS-MBE.

結論

1. 固体ソースMBEを用いてInGaP薄膜成長の系統的研究を行った。
最適成長温度: 480° C
2. 高性能InGaP太陽電池の作製に成功。
変換効率; 12.1% (ARC無し), V_{oc} : 1.297V
3. 固体ソースMBEにおいて、高性能InGaP/GaAsダブルジャンクション太陽電池の作製に成功。
変換効率; 21.1%, V_{oc} : 2.30V

謝辞

本研究の一部は、経済産業省のもと、NEDO技術開発機構から委託され、実施したものである。

参考文献

- [1] T. Takamoto, 5th Int. Symp. on Innovative Solar Cells, T-3, Tsukuba, Japan (2013).
- [2] J. Haapamaa, M. Pessa, and G. La Roche, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, **66**, 573 (2001).
- [3] T. Sugaya, A. Takeda, R. Oshima, K. Matsubara, S. Niki, and Y. Okano, J. Cryst. Growth, **10**, 1016/j.cbr.2011.03.031.
- [4] 5) T. Sugaya, A. Takeda, R. Oshima, K. Matsubara, S. Niki, Y. Okano, Appl. Phys. Lett., **101**, 133110 (2012).
- [5] A. Gomyo, T. Suzuki, K. Kobayashi, S. Kawai, I. Hino, T. Yuasa, Appl. Phys. Lett., **50**, 673(1987).
- [6] M. Shono, S. Honda, R. Hiroyama, K. Yoshida, T. Yamaguchi IEEE J. Quant. Electron., **27**, 1483 (1991).
- [7] M. Schmidbauer, A. Ugur, C. Wollstein, F. Hatami, F. Katmis, J. Appl. Phys., **111**, 024306 (2012).