

固体ソースMBEで作製したInGaP/GaAs/InGaAsP トリプルジャンクション太陽電池

菅谷武芳¹⁾・牧田紀久夫¹⁾・水野英範²⁾・大島隆治¹⁾・望月透³⁾・松原浩司¹⁾・岡野好伸³⁾・仁木栄¹⁾
産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター¹⁾、再生可能エネルギー研究センター²⁾
東京都市大学³⁾

研究の目的 多接合太陽電池

★半導体直接接合技術
4, 5接合太陽電池 World records
44.7% : 集光[2]
38.8% : 1 sun [3]

・GaAs上 2, 3接合
InGaP/(AlGaAs)/GaAs
・InP上 2接合
InGaAsP/InGaAs

Connected

3接合太陽電池
InGaP/GaAs/InGaAs 3接合
Sharp [1]
37.9% : 1 sun
44.4% : 集光

★固体ソース MBE
・超高真空プロセス
・高純度金属
⇒ Pベース太陽電池成長のポテンシャルは持つ。

P系成長の問題点

1. 固体MBEでP系の成長の実績はあまり無い。特にInGaAsP系は皆無。
・ガスソースMBEによるInGaP/GaAsタンデム太陽電池[4]
高価なガスソースが必要。
・MBEによるInGaP/GaAs/GaInNAsSb 3接合太陽電池
集光効率 44.0%[5] 成長の詳細は報告されていない。
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

これまでの報告(固体ソースMBEによるP系材料の成長)

1. InGaPを母材とするInGaAs量子ドット太陽電池の作製 [6]
2. 固体ソースMBEを用いたInGaP薄膜の成長と太陽電池応用 [7]
3. InGaP上InGaAs量子ドットの成長と量子準位制御 [8]
4. InGaP/GaAs/InGaAs量子ドット構造における電子的結合状態の形成 [9]

This work – InGaP/GaAs/InGaAsP 3接合太陽電池–

- ★固体ソースMBEを用いたInGaP/GaAs タンデム太陽電池の作製 [10]
- ★InP基板上InGaAsP太陽電池の作製に初めて成功。
- ★InGaP/GaAs/InGaAsP 3接合太陽電池

実験

- 1. In_{0.48}Ga_{0.52}P 太陽電池**
AuGe / Ni / Au 80 / 20 / 500 nm
n⁺-GaAs 3 x 10¹⁹/cm³ :50 nm
n⁺-InAlP window n⁺-InAlP $\sim 2 \times 10^{19}$ /cm³ :30 nm
n⁺-InGaP n⁺-InGaP 3 x 10¹⁹/cm³ :50 nm
p-InGaP p-InGaP 1 x 10¹⁷/cm³ :1.0, 1.5 μm
p⁺-InAlP BSE p⁺-InAlP $\sim 2 \times 10^{19}$ /cm³ :0, 30 nm
p⁺-InGaP p⁺-InGaP 3 x 10¹⁹/cm³ :250 nm
GaAs buffer p⁺-GaAs 3 x 10¹⁹/cm³ :400 nm
GaAs sub.
Ti / Au 50 / 350 nm
Growth temperature : 480 °C
Growth rate: 1.0 μm/h
- 2. InGaP/GaAs タンデム太陽電池**
Front metal contact
n⁺-InAlP window p⁺-GaAs contact
n⁺-InGaP 0.6 μm
p-InGaP p⁺-AlGaAs
p-InAlP BSE Tunneling layer n⁺-InGaP
n⁺-InGaP window n⁺-InGaP
p-InGaAs p-InGaAsP
p-InGaAsP p⁺-InGaAsP 3 x 10¹⁹/cm³ :200 nm
p⁺-InP buffer p⁺-InP 3 x 10¹⁹/cm³ :200 nm
InP sub.
Ti / Au 50 / 350 nm
Back metal contact 2.5 μm
- 3. InGaAsP (1.0eV) SCs**
AuGe / Ni / Au 80 / 20 / 500 nm
n⁺-InGaAs 3 x 10¹⁹/cm³ :50 nm
n⁺-InP 3 x 10¹⁹/cm³ :30 nm
n⁺-InGaAsP 2 x 10¹⁹/cm³ :50 nm
p-InGaAsP p-InGaAsP 1 x 10¹⁷/cm³ :2.0 μm
p⁺-InGaAsP p⁺-InGaAsP 3 x 10¹⁹/cm³ :200 nm
p⁺-InP buffer p⁺-InP 3 x 10¹⁹/cm³ :200 nm
InP sub.
Ti / Au 50 / 350 nm
- 4. Triple-junction SCs**
Front metal contact
InGaP top : 0.6 μm 1.9 eV
Tunneling layer
GaAs middle : 2.5 μm 1.42 eV
Pd nanoparticle [11]
InGaAsP bottom : 2 μm 1.0 eV
p-InP sub.
Back metal contact

結果及び考察

InGaP 太陽電池

on GaAs (001) sub.
480°C, 1 μm/h

~16% can be expected with ARC

⇒ 高性能InGaP/GaAsタンデム太陽電池の作製に成功。

InGaP/GaAs タンデム太陽電池

Cell size : 5 x 5 mm²

★High Voc value of 2.30 V was obtained.

InGaAsP(1.0 eV)の結晶成長

固体ソースMBEでの成長例はほとんど無い。

★AsとP、2種のV族を制御することは困難と考えられていた。
※わずかなAs圧の変化で発光波長も大きく変わる。

InGaP/GaAs/InGaAsP 3接合太陽電池

固体ソースMBEでの初のInGaP/GaAs/InGaAsP太陽電池

	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (V)	F. F.	η (%)
3J SC	12.1	2.66	0.791	25.6
Bottom	24.0	0.49	0.595	7.0
Top cell	12.1	2.20	0.794	21.1

結論

1. 高性能InGaP太陽電池の作製に成功。
変換効率;12.1%(ARC無し), Voc:1.297V
2. 高性能InGaP/GaAsタンデム太陽電池の作製に成功。
変換効率;21.1%, Voc:2.30V
3. 固体ソースMBEを用いてInGaAsP薄膜の成長と太陽電池作製に初めて成功。
4. InGaP/GaAs/InGaAsP 3接合太陽電池の作製に初めて成功。
変換効率;25.6%, Voc:2.66V

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] A. W. Bett, et al., Proc. 28th EUPVSEC 2013, 1AP.1.1, Paris, France, pp. 1-6 (2013).
- [3] R. R. King et al., 28th EUPVSEC 2013, 1CO.13.4, Paris, France (2013).
- [4] J. Haapamaa, M. Pessa, and G. La Roche, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, **66**, 573 (2001).
- [5] V. Sabnis, H. Yuen, and M. Wiemer, 8th International Conference on Concentrator Photovoltaics, Toledo, (2012).
- [6] T. Sugaya, A. Takeda, R. Oshima, K. Matsubara, S. Niki, Y. Okano, Appl. Phys. Lett., **101**, 133110 (2012).
- [7] T. Sugaya, A. Takeda, R. Oshima, K. Matsubara, S. Niki, and Y. Okano, J. Cryst. Growth, **378**, 576 (2013).
- [8] T. Sugaya, R. Oshima, K. Matsubara and S. Niki, J. Cryst. Growth **378**, 430 (2013).
- [9] T. Sugaya, R. Oshima, K. Matsubara, and S. Niki, J. Appl. Phys., **114**, 014303 (2013).
- [10] T. Sugaya, K. Makita, A. Takeda, R. Oshima, K. Matsubara, Y. Okano, and S. Niki, Jpn. J. Appl. Phys., **53**, 05FV06 (2014).
- [11] H. Mizuno, K. Makita, and K. Matsubara, Appl. Phys. Lett., **101**, 191111 (2012).