

# 世界最高効率の多接合薄膜シリコン太陽電池の実現

齋 均, 松井 卓矢, 松原 浩司

産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 先進プロセスチーム

## 研究の目的

薄膜シリコン太陽電池は「樹脂基板も使える低温プロセス」「集積化構造による高いデザイン性」「優れた室内光動作特性」等の特長を持ち、屋外定置発電のみならず民生品にも活用されている。産総研では、アモルファスシリコン(a-Si:H)に特有の光劣化現象を低減する**トライオードPECVD法**[1]や、世界最高効率の微結晶シリコン( $\mu\text{c-Si:H}$ )太陽電池を実現した**ハニカム基板**[2]などの独自技術を開発しており、2015年にはサブストレート型(nip型)a-Si:H/ $\mu\text{c-Si:H}$ / $\mu\text{c-Si:H}$ 三接合太陽電池にて**世界最高効率13.6%**を達成した[3]。しかし、nip型のa-Si:Hトップセルは逆構造であるpin型[4]に比べ効率が低く、トライオードPECVD法も未適用であった。また、電流整合にも課題があった。本研究では、これらの課題の解決と更なる発電効率の改善を試みた。

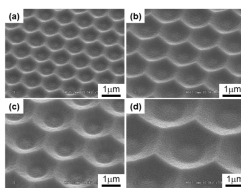


Fig. 1. Honeycomb textured substrates for substrate-type  $\mu\text{c-Si:H}$  cells and related multi-junction TFS cells.

## 13.6%三接合セルの課題

- ① a-Si:Hトップセルの安定化効率向上
- ② サブセル間電流整合

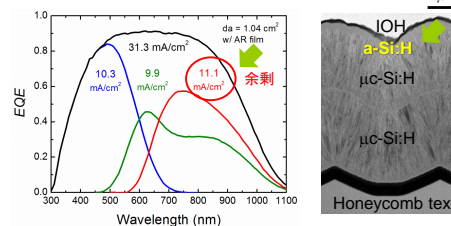


Fig. 2. EQE spectra (left) and cross-section TEM image (right) of 13.6% a-Si:H/ $\mu\text{c-Si:H}$ / $\mu\text{c-Si:H}$  triple junction cells.

## nip型a-Si:Hトップセルの開発

### nc-SiO<sub>x</sub> p and buffer layers

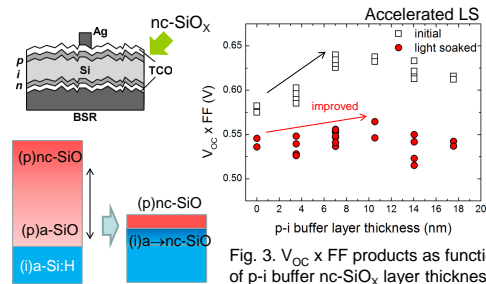


Fig. 3.  $V_{oc}$  x FF products as function of p-i buffer nc-SiO<sub>x</sub> layer thickness.

### Application of triode-PECVD a-Si:H to nip cells

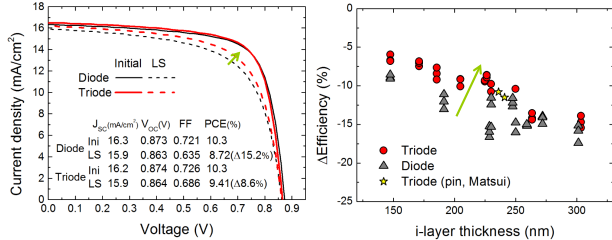
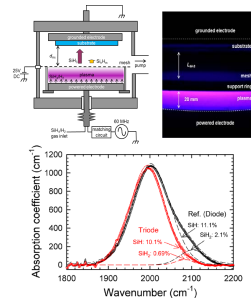


Fig. 4. Schematic of triode-PECVD and FT-IR spectra of a-Si:H materials (left) [1], J-V curves of nip a-Si:H cells using diode and triode PECVD (center), and light-induced efficiency degradation as functions of i-layer thickness (right).

## 高光安定a-Si:H/ $\mu\text{c-Si:H}$ / $\mu\text{c-Si:H}$ 三接合セルの開発

### Light-induced FF degradation

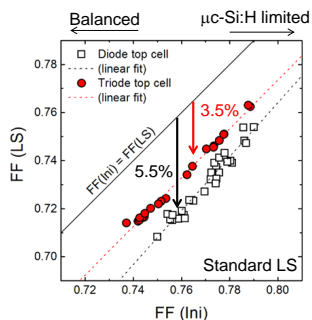


Fig. 5. Comparison of FF in initial and light-soaked states in triple junction cells [5].

### Impact of current mismatch

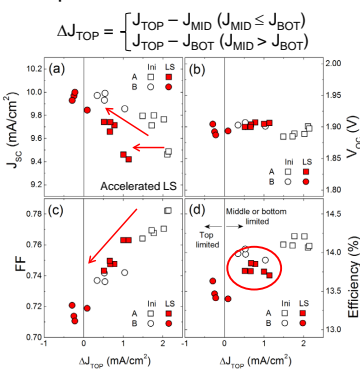


Fig. 6. J-V properties in initial and light-soaked states as functions of current mismatch,  $\Delta J_{TOP}$  [5].

### Improved stabilized efficiency [5]

Table 1. J-V parameters of the record triple junction cells after the light soaking 1 sun, 50°C for 1000 h (w/ AR film, A = 1 cm<sup>2</sup>).

|              | $J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> ) | $V_{oc}$ (V) | FF    | $\eta_{stb}$ (%) |
|--------------|--------------------------------|--------------|-------|------------------|
| Previous [3] | 9.92                           | 1.901        | 0.721 | 13.60            |
| New [5]      | 9.94                           | 1.922        | 0.734 | 14.04            |

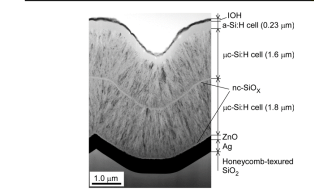


Fig. 7. Cross-section TEM image of the record triple junction cell.

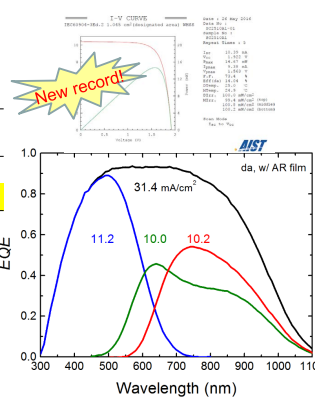


Fig. 8. J-V curve (top) and EQE spectra (bottom) of the record triple junction cell.

## 結論

- nc-SiO<sub>x</sub>を用いたp/buffer層及びTriode-PECVD法は、nip型a-Si:H太陽電池の光安定化効率の向上に有効である。
- Triode-PECVD法はa-Si:Hをトップセルとする三接合太陽電池においてもFFの光劣化を抑制する。
- a-Si:Hトップセルが電流律則しない状況で安定化効率が改善する。
- 上記の技術により、薄膜シリコン三接合太陽電池で**世界最高の安定化効率14.04%**を実現した。

## 参考文献

- [1] T. Matsui *et al.*, Prog. Photovolt. **21**, 1363 (2013).
- [2] H. Sai *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 08KB05 (2015).
- [3] H. Sai *et al.*, Appl. Phys. Lett. **106**, 213902 (2015).
- [4] T. Matsui *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 08KB10 (2015).
- [5] H. Sai *et al.*, Appl. Phys. Lett. **109**, 183506 (2016).

## 謝辞

本研究の一部は太陽光発電技術研究組合(PVTEC)と共同で実施された。また試料作製の一部ではAIST-NPFFの支援を受けた。

