

高効率薄膜シリコン太陽電池の研究開発

齋 均、松井 卓矢

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(アモルファスシリコンa-Si:H、微結晶シリコン $\mu\text{c-Si:H}$ 等)は、(1)薄膜かつ集積構造が可能で意匠性に優れる、(2)200°C程度の低温プロセスで作製でき樹脂基板が活用できる、などの特徴を有し、大型太陽電池モジュールのほか、民生用電子機器の内蔵発電素子として実用化されている。しかし、結晶シリコン太陽電池やCIGS太陽電池に比べ、発電効率が低いことが欠点である。

我々のグループでは、昨年度までに、各種薄膜シリコン太陽電池の高効率化に取り組み、a-Si:H[1]および $\mu\text{c-Si:H}$ [2,3]を用いた単接合、二接合[1]、さらには三接合[4]の薄膜シリコン太陽電池で世界最高効率を達成した。しかし、絶対値としては十分では無く、更なる効率の向上が期待されている。特に三接合太陽電池では、トップセルの発電特性が不十分であるなど、幾つかの課題が残っていた。

本研究では、これまで得られた産総研独自の成果をさらに進化・発展させることにより、薄膜シリコン太陽電池の更なる効率向上を目指している。

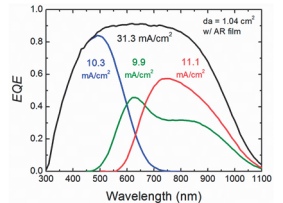
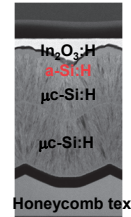
世界最高効率セル(13.6%)における課題

高効率化技術と課題

高移動度・高透明性TCO
In₂O₃:H [5] AIST original

高効率・高速製膜 $\mu\text{c-Si:H}$ セル
VHF-PECVD [2]

高度光閉じ込め基板
ハニカムテクスチャ [6,7] AIST original



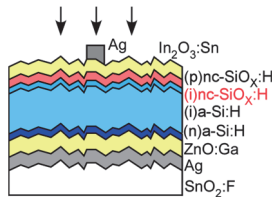
- a-Si:Hトップセルに課題 (安定化効率8.5%) [4]
 - サブストレート型(nip型)a-Si:Hの高効率化技術
 - 産総研開発トライオードPECVD法による低光劣化a-Si:H[1,8]

サブストレート型a-Si:H用p層およびp-i界面層の検討

サブストレート型では、(p)nc-SiO_xの適用で特性改善の報告あり[9]。
→これまでの(p)nc-Si:Hのみの構成[10]から、特性改善を図る。

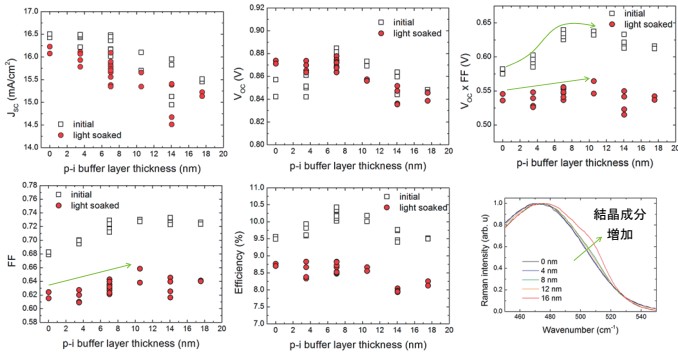
<実験>

- サブストレート型a-Si:H単接合セル
- テクスチャ付きSnO₂:F基板
- i層: 標準並行平板PECVD(13.56MHz) 膜厚250nm
- p, p-i buffer: nc-SiO_x:H(高水素希釈)



<評価>

- I-V, QE (active area評価)
- 光安定化処理 (3sun, 60°C, 6h)



- p層に酸素を添加することにより、J_{sc}が向上(~0.5 mA/cm²)
- 適切な厚さのp-i buffer層の適用で、結晶成分の増加および初期(Initial)及び光安定化後(Light soaked)のFFの改善を確認。

結論

- 多接合薄膜シリコン太陽電池の効率向上を目的に、サブストレート型a-Si:H太陽電池の安定化効率向上を目指した開発を実施。
- p層への酸素添加、p-iバッファ層の導入により、J_{sc}およびFFの改善を確認。
- i層へのトライオード法a-Si:H層の適用により、光劣化率の抑制を確認。また、加速劣化条件ではあるが、光安定化後効率9.4%を得た(アクティブエリア評価)。
- 今後これらを多接合太陽電池に展開していく。

謝辞



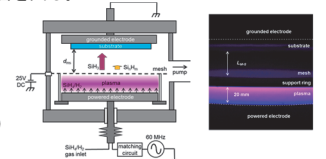
本研究成果の一部は、太陽光発電技術研究組合との共同研究により得られたものであり、関係各位に感謝致します。

トライオードPECVDによるa-Si:Hの適用

a-Si:Hの光劣化現象は、膜中のSi-H₂結合量と正の相関があることが知られている[11]。一種のリモートプラズマであるトライオードPECVD法は、膜中のSi-H₂結合量が低減可能で、スーパーストレート型では世界最高の光安定化効率(10.2%)を達成。
→サブストレート型にも適用し、特性改善を図る。

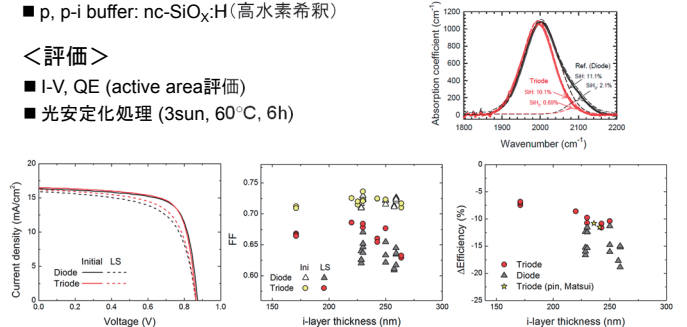
<実験>

- サブストレート型a-Si:H単接合セル
- テクスチャ付きSnO₂:F基板
- i層: 標準並行平板PECVD(13.56MHz) トライオードPECVD(60MHz)
- p, p-i buffer: nc-SiO_x:H(高水素希釈)



<評価>

- I-V, QE (active area評価)
- 光安定化処理 (3sun, 60°C, 6h)



	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (V)	FF	Effi. (%)
Initial	16.32	0.873	0.721	10.27
Diode	15.94	0.863	0.635	8.72
Δ(%)	-2.6	-0.5	-12.4	-15.2
Initial	16.24	0.874	0.726	10.30
Triode	15.89	0.864	0.686	9.41
Δ(%)	-2.2	-1.1	-5.5	-8.6

- トライオードPECVD法の適用で、光劣化による効率低下を抑制。
- スーパーストレート型セルと同等の光劣化率(~Δ10%) [8]。
- 光安定化後効率が改善(8.7%→9.4%)。

参考文献

- [1] T. Matsui *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 08KB10 (2015)
- [2] H. Sai *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 08KB05 (2015).
- [3] H. Sai *et al.*, IEEE J. Photovolt. **5**, 1528 (2015).
- [4] H. Sai *et al.*, Appl. Phys. Lett. **106**, 213902 (2015).
- [5] T. Koida *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., Part 2 **46**, L685 (2007).
- [6] H. Sai *et al.*, Appl. Phys. Lett. **102**, 053509 (2013).
- [7] H. Sai *et al.*, Appl. Phys. Express **6**, 104101 (2013).
- [8] T. Matsui *et al.*, Appl. Phys. Lett. **106**, 053901 (2015).
- [9] R. Biron *et al.*, J. Appl. Phys. **110**, 124511 (2011).
- [10] S. Guha *et al.*, Appl. Phys. Lett. **49**, 217 (1986).
- [11] S. Shimizu *et al.*, J. Appl. Phys. **97**, 033522 (2005).