

# 高度光閉じ込め構造による薄膜シリコン太陽電池の高性能化

## 齋 均

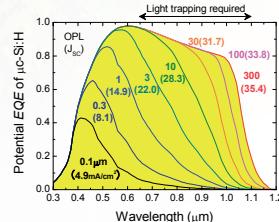
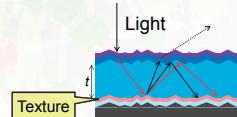
産業技術総合研究所 太陽光発電研究センター 先進プロセスチーム

### 光閉じ込め構造と薄膜シリコン太陽電池

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μc-Si:H等)は、その発電層の薄さから光閉じ込め構造の良否が発電特性に大きな影響を及ぼす。また、これらは、薄型の結晶シリコン太陽電池の光閉じ込め技術開発の場としても活用できる。本研究では光閉じ込め構造の高度化を目指している。

#### <光閉じ込め構造>

- 光路長(OPL) >> 発電層厚(t)とする技術
- テクスチャ構造の活用が一般的

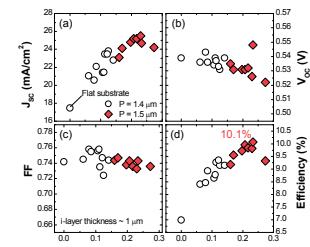


### 微結晶シリコン(μc-Si:H)太陽電池 – 光閉じ込め技術の実証

微結晶シリコン太陽電池における高性能化指針:

- 光閉じ込め効果の最大化
- テクスチャ誘起欠陥の抑制

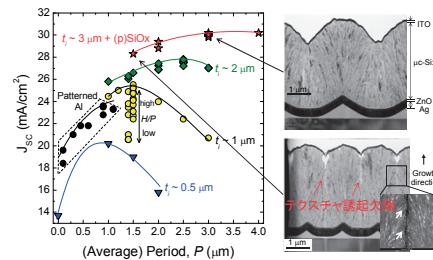
#### <アスペクト比依存性[1]>



$P$ (テクスチャ周期) ~  $t$ (セル膜厚)

$H/P$ (アスペクト比) ~ 0.25

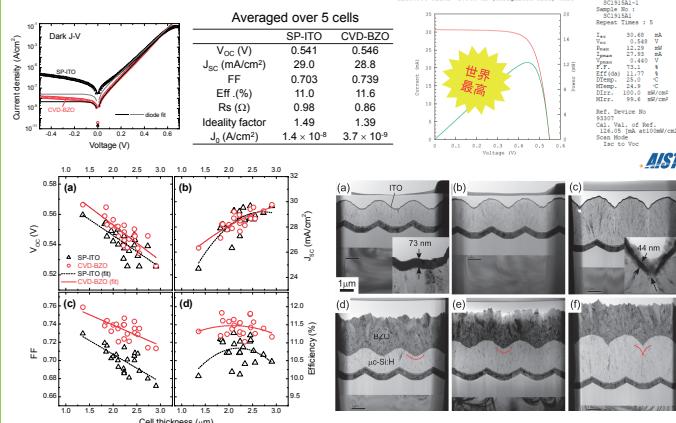
#### <周期依存性[2]>



### 高効率薄膜微結晶シリコン太陽電池

#### MOCVD-ZnO:B(BZO)をμc-Si:Hセルに適用[5]

→  $V_{OC} \cdot FF$ 改善、効率11.8%



### 結論

- 高度光閉じ込め構造としてハニカムテクスチャ基板を開発
- 膜厚4μmのμc-Si:H太陽電池にて $J_{SC} = 32.9 \text{ mA/cm}^2$ ,  $J_{QE} = 34.1 \text{ mA/cm}^2$
- MOCVD-BZO膜を適用した単接合μc-Si:H太陽電池にて世界最高の発電効率11.8%(da, 高精度評価)を達成
- ハニカムテクスチャ基板を利用した三接合a-Si/μc-Si/μc-Si太陽電池にて、世界最高の光安定化後効率13.6%(da, 高精度評価)を達成

### テクスチャ開発における課題

光学的最適解 ≠ デバイス最適解

光吸収 × 电荷輸送(膜質)

$$Eff. = J_{SC} \times V_{OC} \times FF$$

膜質 × 内蔵電界

膜質 × 抵抗

光学的最適化の例

(Wang, Nano Lett. 2012)

Trade-off

欠陥

(a)

ハニカムテクスチャによる系統的検討

"Honeycomb texture"

Period  $P = 1 \sim 4 \mu\text{m}$

Aspect ratio  $H/P = 0 \sim 0.3$

$D/P = 0.3 \sim 0.5$

TCO

$p$

$i$

$n$

$\mu\text{-Si:H}$

Ag

Sputter

PECVD

Sputter

Photolithography & etching

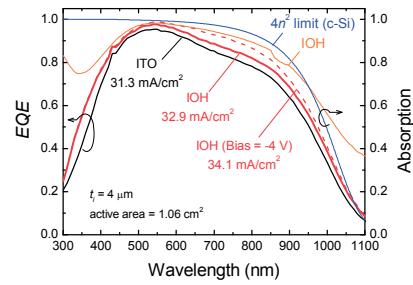
### 高電流密度化

■ 左記、高性能化指針の適用  $P = t = 4 \mu\text{m}$

■ 高透明性透明導電膜 $\text{In}_2\text{O}_3:\text{H}(\text{IOH})$ の適用[3]



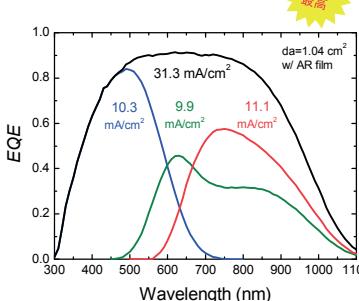
- $J_{SC} = 32.9 \text{ mA/cm}^2$ ,  $J_{QE} = 34.1 \text{ mA/cm}^2$  @  $t = 4 \mu\text{m}$
- $4n^2$  limit (36.9 mA/cm²)に対する到達度92% [4]



### 多接合太陽電池への展開

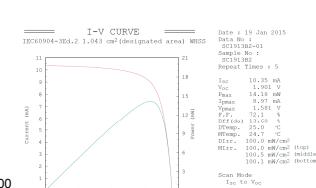
#### a-Si/μc-Si/μc-Si三接合構造[4]

→ 安定化効率13.6%



	$V_{OC}$ (V)	$J_{SC}$ (mA/cm²)	FF	Eff. (%)
Ini	1.907	9.7	0.780	14.5
LS	1.904	9.8	0.745	13.8
$\Delta\%$	-0.18	+0.23	-4.47	-4.42
LS	1.901	9.92	0.721	<b>13.6</b>
Certified				

LS: Light soaked under 1 Sun, 50°C for 1000 h



### 謝辞

PVTEC

Photovoltaic Innovation Research Center

NEDO New Energy and Industrial Technology Development Organization

NPP New Frontiers Nanoprocessing Platform

PVTEC 吉田様他、関係各位、シャープ(株)杉山様、  
パナソニック(株)片山様、三菱重工業(株)竹内様  
評価・標準チーム 菊川様、志村様、佐々木様  
PVTECスタッフ各位  
AIST-NPPの関係者各位

### 文献

- [1] H. Sai et al., Appl. Phys. Lett. **101**, 173901 (2012); doi: 10.1063/1.4761956
- [2] H. Sai et al., Appl. Phys. Lett. **102**, 053509 (2013); doi: 10.1063/1.4790642
- [3] H. Sai et al., Appl. Phys. Express **6**, 104101 (2013); <http://dx.doi.org/10.7567/APEX.6.104101>
- [4] H. Sai et al., submitted.
- [5] H. Sai et al., Jpn. J. Appl. Phys., in press.