

薄膜シリコン太陽電池用光閉じ込め技術の開発

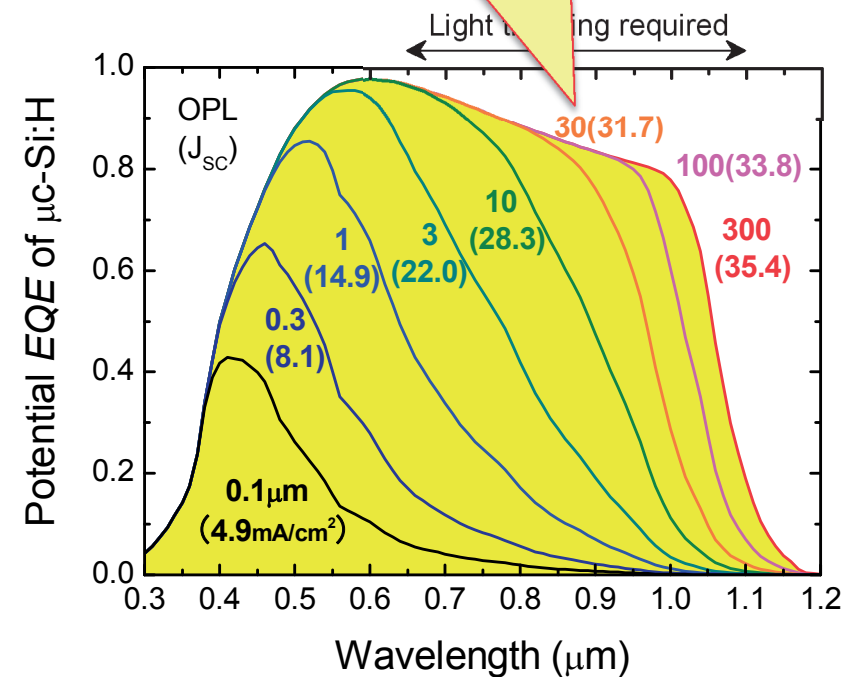
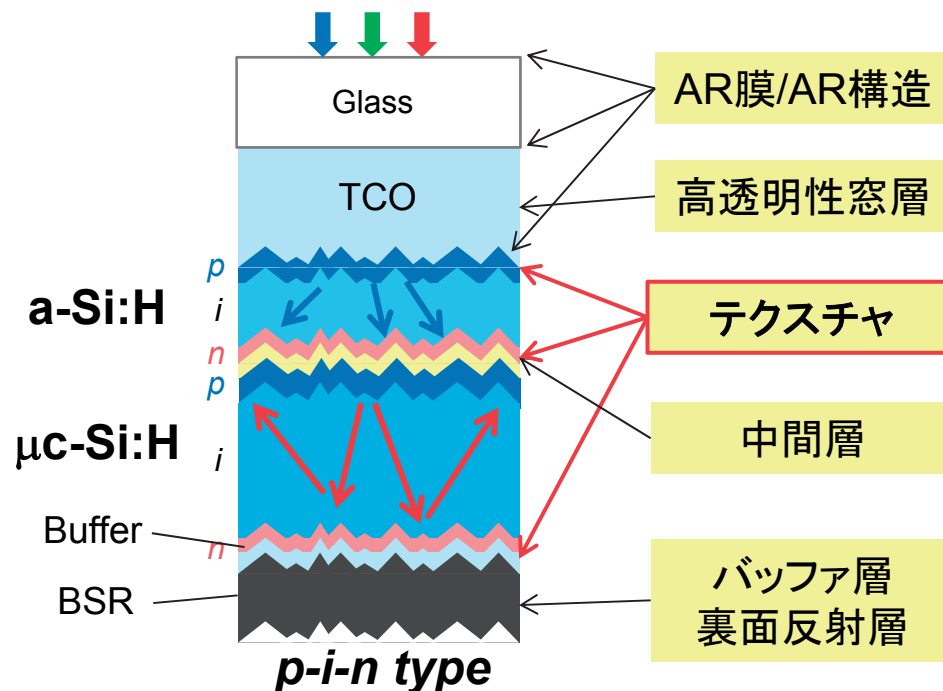
先端産業プロセス・低コスト化チーム 齋 均

発電効率15% (2接合)

⇒ $J_{SC} = 15 \text{ mA/cm}^2$

⇒ $\mu\text{c-Si:H}$ 単接合 (膜厚 $\sim 2\mu\text{m}$) で **30 mA/cm^2**

⇒ 光閉じ込めによる $\mu\text{c-Si:H}$ の高電流化が必須

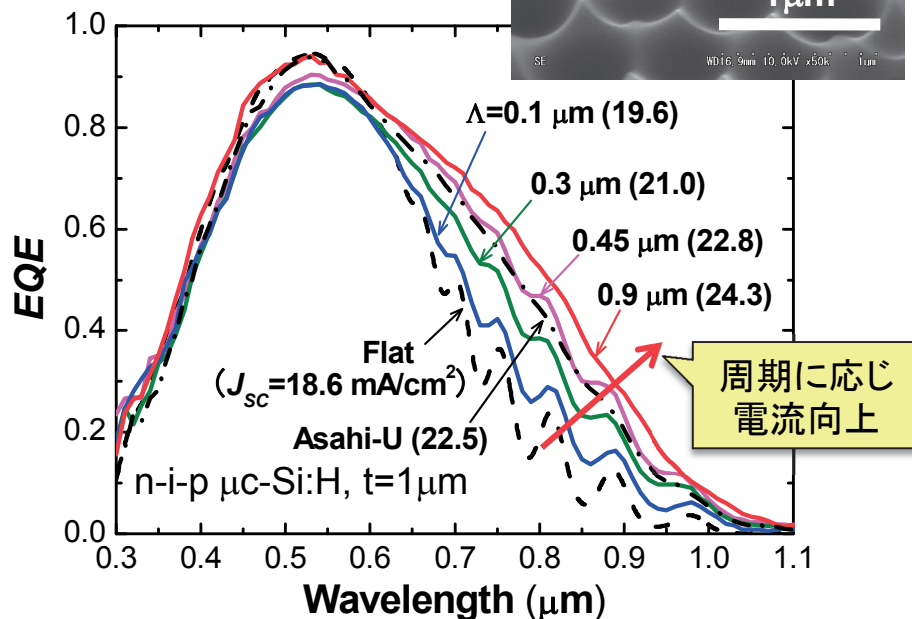
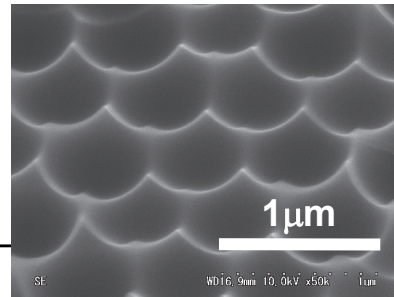


最適な光閉じ込め用テクスチャ構造の探索

＜過去の取組み: AI陽極酸化法*＞

- ☺ リソ不要、周期が可変0.1~1 μm
- ☺ n-i-p型 $\mu\text{c-Si:H}$ 電池に適した凹凸構造
- ☹ 周期>1 μm 実現困難
- ☹ 形状制御困難

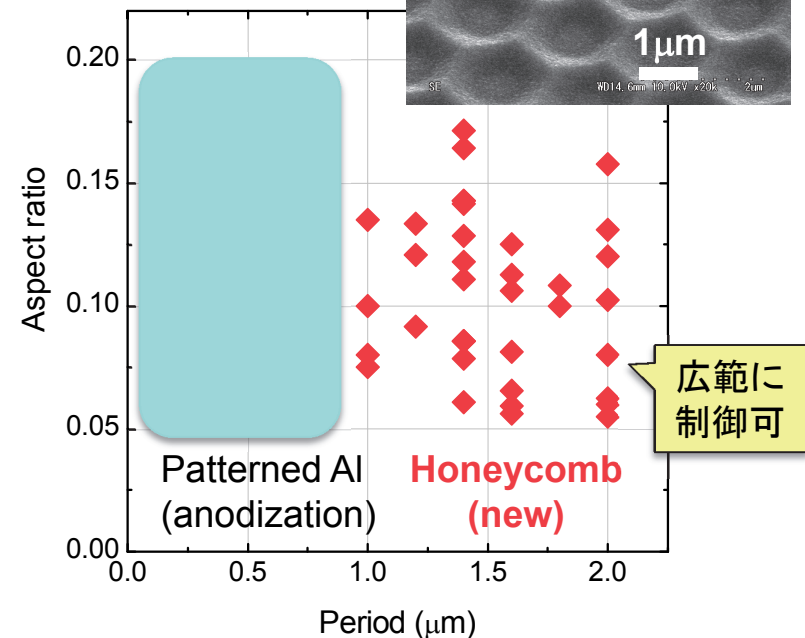
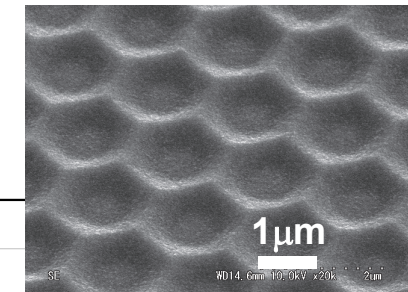
Sai et al.
 APL 93 143501 (2008)
 JAP 105 094551 (2009)



＜本研究: 高制御テクスチャ形成法＞

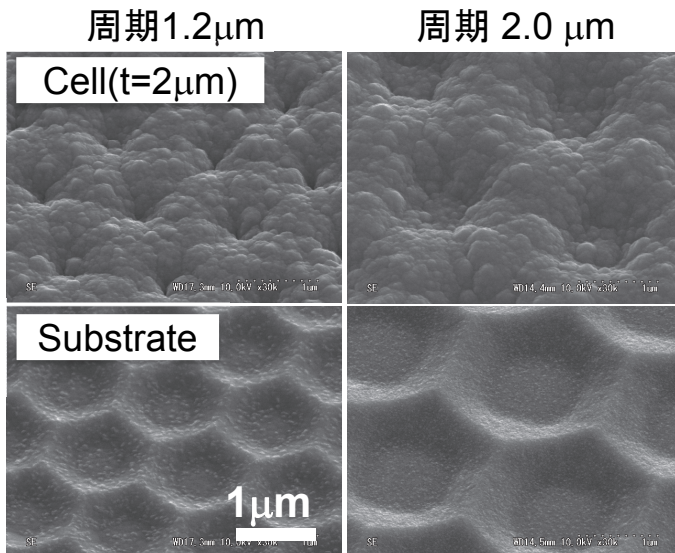
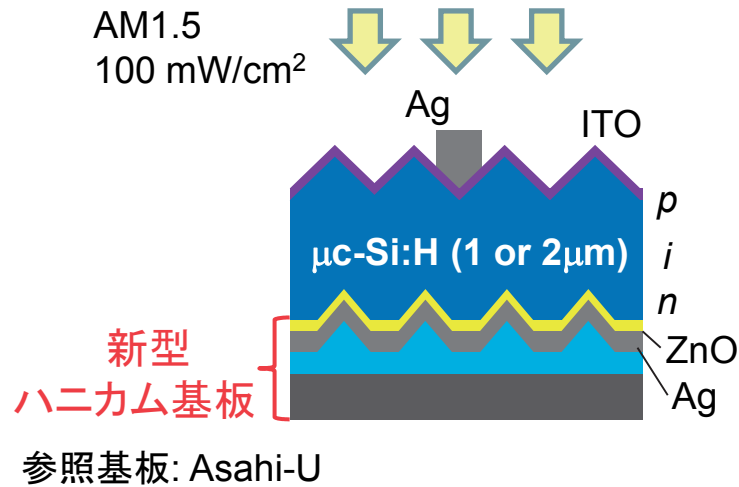
- ☺ 半導体プロセスによるテクスチャ形成
- ☺ 周期・アスペクト比可変、>1 μm も容易
- ☺ 高い制御性・再現性、形状も可変
- ☹ リソ必要

低コストプロセスの
開発は次のステップ

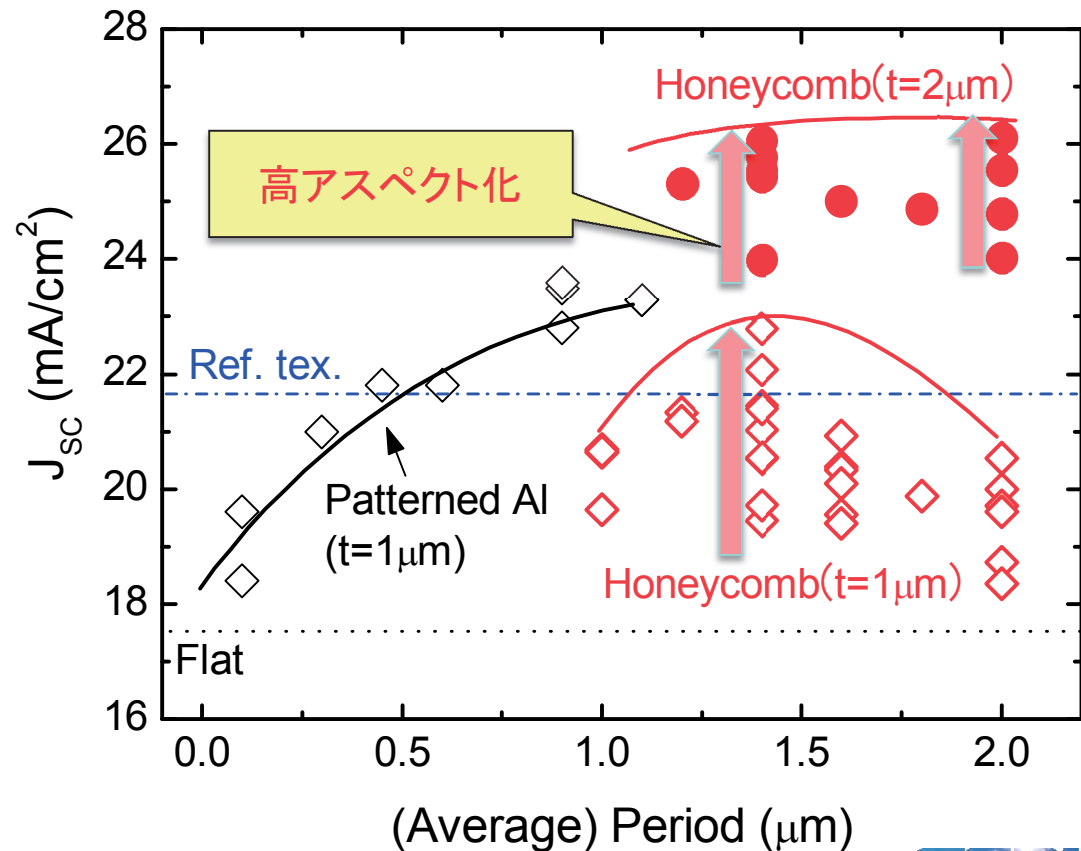


*AIを電解液中で通電酸化し規則構造を得る手法

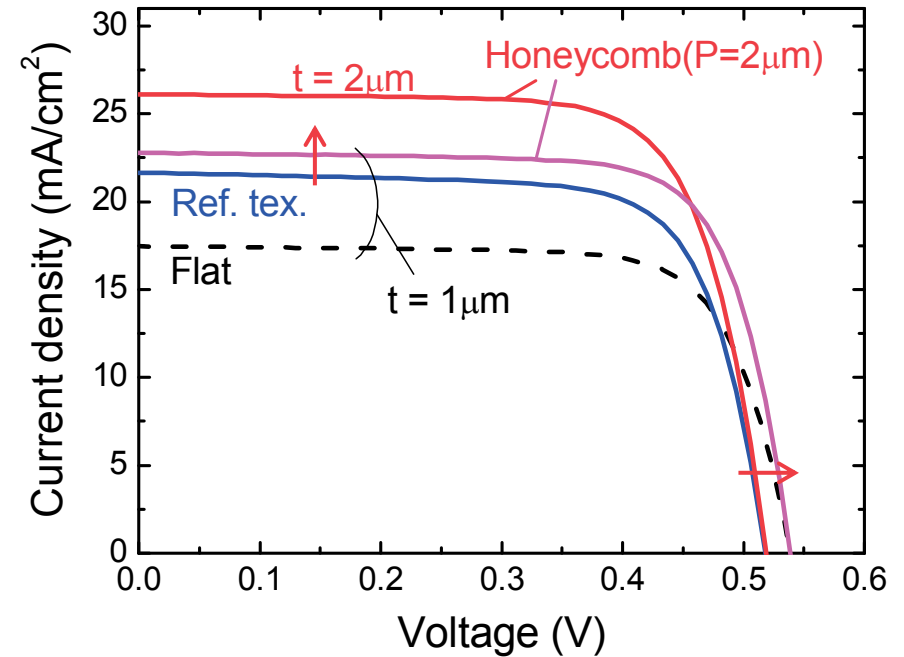
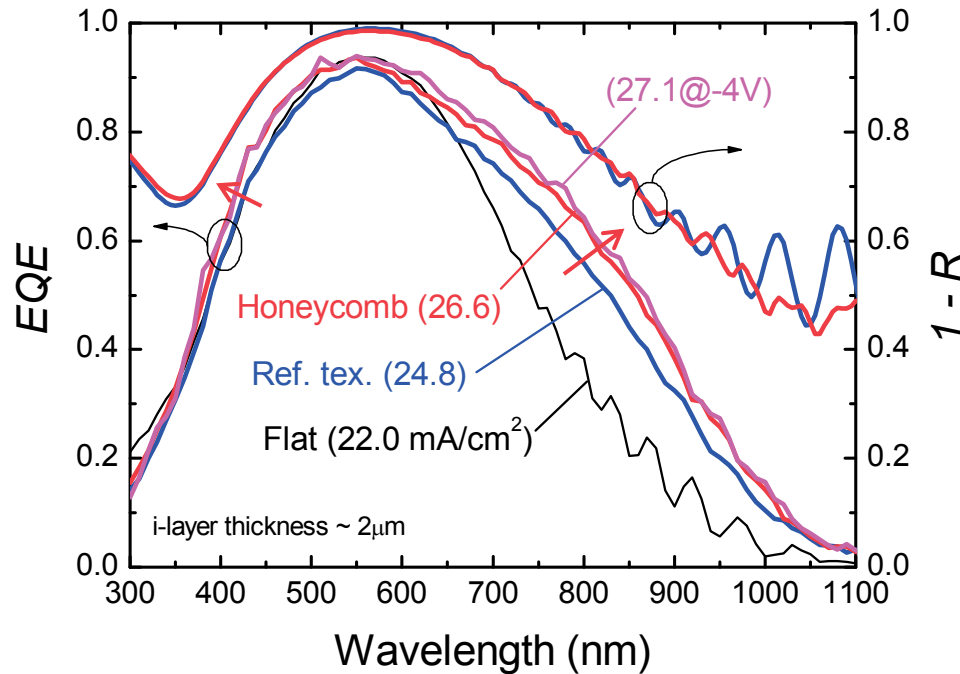
周期・アスペクト依存性



- 高アスペクト化で J_{SC} 向上
- 最適周期はセル膜厚に依存 \Rightarrow セル表面平坦化と関連?
- 周期 = 2 μm , 高さ = 0.26 μm で J_{SC} 最大($t=2\mu\text{m}$)



周期・アスペクト依存性



- 短波長側・長波長側のEQEが向上
- 逆バイアス下で $J_{QE} > 27 \text{ mA/cm}^2$
- 参照基板に対し $V_{OC} \cdot FF$ が改善
→高品質 $\mu\text{c-Si:H}$ 薄膜成長を示唆

- 今後
- 更なる高アスペクト化/形状効果の検討
 - p/n層、TCOの高透明化・高性能化
 - p-i-n型(スーパーストレート型)への展開

	Voc V	Jsc mA/cm ²	FF	Eff. %
Ref.tex.	0.518	21.6	0.728	8.2
Honeycomb	0.539	22.8	0.744	9.1
Honeycomb (t=2µm)	0.519	26.1	0.730	9.9

Active area = 1cm²

薄膜シリコン太陽電池用光閉じ込め技術の開発

齋 均

先端産業プロセス・低コスト化チーム

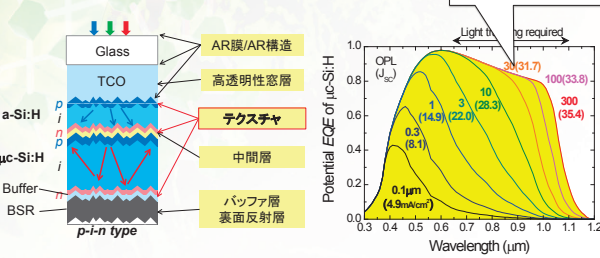
研究背景

発電効率15% (2接合)

⇒ $J_{SC} = 15 \text{ mA/cm}^2$

⇒ $\mu\text{-Si:H}$ 単接合 (膜厚 $\sim 2\mu\text{m}$) で **30 mA/cm^2**

⇒ 光閉じ込めによる $\mu\text{-Si:H}$ の高電流化が必須

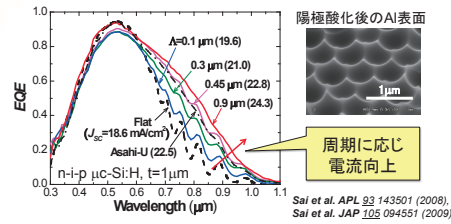


$\mu\text{-Si:H}$ 電池に最適な光閉じ込め構造の探索

既報: Al陽極酸化法によるテクスチャサイズの系統的検討

◎ リソ不要、周期が可変 $0.1\sim 1\mu\text{m}$

◎ n-i-p型 $\mu\text{-Si:H}$ 電池に適した凹凸構造



課題

- ◎ 周期 $> 1\mu\text{m}$ 実現困難
- ◎ 形状制御困難



制御性を高めたテクスチャ形成手法を開発し、 $\mu\text{-Si:H}$ 電池を高電流化・高性能化する光閉じ込め構造を明らかにする。

実験手法

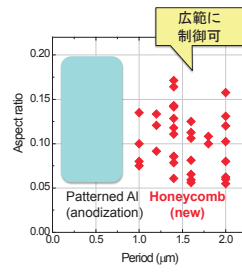
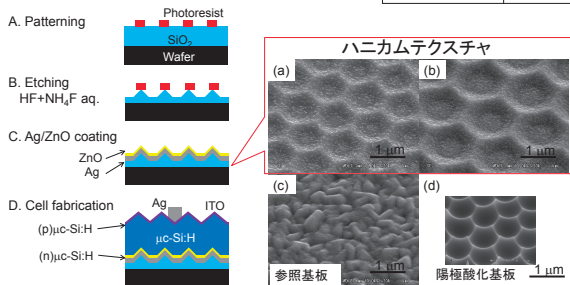
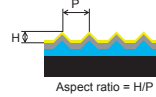
半導体プロセスによるテクスチャ形成

◎ 周期・アスペクト比可変、 $> 1\mu\text{m}$ も容易

◎ 高い制御性・再現性、形状も可変

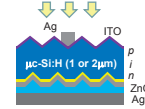
◎ リソ必要 ⇒ 低コストプロセスは次の課題

制御パラメータ	制御手法
周期 (サイズ) P	パターン
高さ (アスペクト比) H (H/P)	パターンのエッチング条件

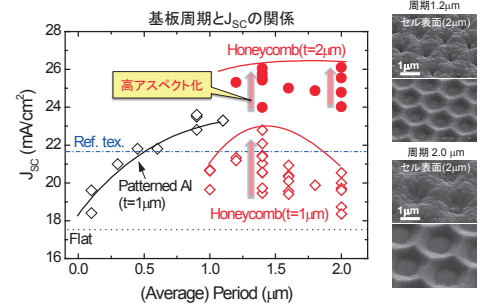


電流密度

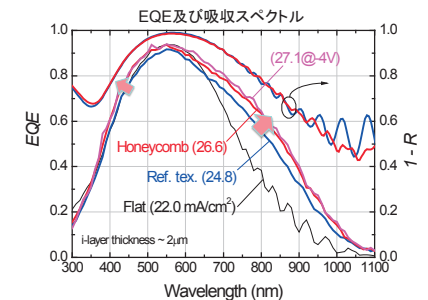
AM1.5 100 mW/cm²



- 高アスペクト化で J_{SC} 向上
- 最適周期はセル膜厚に依存 ⇒ セル表面平坦化とも関連?
- 周期 = $2\mu\text{m}$, 高さ = $0.26\mu\text{m}$ で J_{SC} 最大 ($t=2\mu\text{m}$)

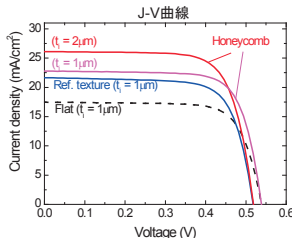


- $J_{OE, SC} = 26.6 \text{ mA/cm}^2$, $J_{OE}(-4V) > 27 \text{ mA/cm}^2$
- 吸収量は参照基板と同程度 → 光吸収の増強が必要

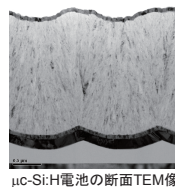


J-V特性

- 参照基板に対し J_{SC} に加えて V_{OC} ・FFが改善 → 高品質 $\mu\text{-Si:H}$ 薄膜成長を示唆
- 発電効率9.9%



Sub	t_i (μm)	V_{OC} (V)	J_{SC} (mA/cm^2)	FF	Eff. (%)
Flat	1	0.539	17.5	0.742	7.0
Ref.	1	0.518	21.6	0.728	8.2
HC(2)	1	0.539	22.8	0.744	9.1
Flat	2	0.519	21.9	0.748	8.5
Ref.	2	0.501	24.4	0.722	8.8
HC(2)	2	0.519	26.1	0.730	9.9



結論

周期やアスペクト比を広範囲に制御可能な自由度の高い $\mu\text{-Si:H}$ 電池用の光閉じ込め構造を開発した。

最大の J_{SC} が得られる最適周期は $\mu\text{-Si:H}$ 層の膜厚に応じて変化した (膜厚 $1\mu\text{m} \Rightarrow$ 周期 $1.4\mu\text{m}$ 、膜厚 $2\mu\text{m} \Rightarrow$ 周期 $2\mu\text{m}$)。膜厚が増すと周期依存性は緩やかになった。

適正化したテクスチャでは膜厚 $2\mu\text{m}$ 、逆バイアス下で $J_{OE} > 27 \text{ mA/cm}^2$ を得た。参照基板と比較して J_{SC} のみならず V_{OC} 、FFも改善し、発電効率9.9% (active area)を得た。

謝辞

本研究開発はNEDO「太陽エネルギー技術研究開発 太陽光発電システム次世代高性能技術の開発 次世代多接合薄膜シリコン太陽電池の産学官協力体制による研究開発」の中で実施されたものです。

また、本研究開発の一部は産総研ナノプロセスセンター (NPF) の支援を受けて実施されたものです。

関係各位に感謝致します。