

超薄型ウェーハを用いたa-Si:H/c-Siヘテロ接合結晶シリコン太陽電池の検討

齋 均、陳 柏璋、許 宏榮、松井 卓矢、布村 正太、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

■ 超薄型・高効率結晶シリコン太陽電池

- ・ ウェーハ薄型化による**低コスト化**
- ・ **軽量・フレキシブル**

■ a-Si:H/c-Si ヘテロ接合セル (SHJ)

- ・ 高 V_{OC} , 高効率 ($\eta > 25\%$)
- ・ 低温プロセス・両面受光

薄型セルに好適

■ 高効率SHJ実現の鍵 - (i)a-Si:H/c-Si 界面

□ 表面パッシベーション

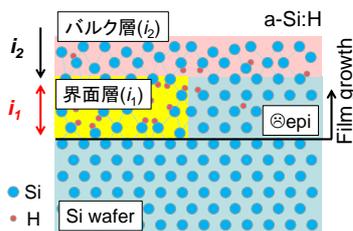
- ・ 急峻な (i)a-Si:H/c-Si 界面が理想的^[1-3]
- ⊗ (i)a-Si:Hの結晶化(epi)で特性低下
- ・ キャップ層の影響^[4]
- ⊗ p型層の積層で界面欠陥増加

□ キャリア輸送チャネル

- ・ 直列抵抗成分の極小化

超薄型SHJへのアプローチ:

- ① 良質なa-Si:H/c-Si界面の形成 → 2段階製膜
- ② 超薄型ウェーハの可能性検証 → 研削加工ウェーハ*



実験

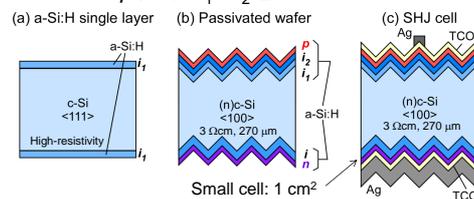
■ 2段階製膜a-Si:H: i_1 (interface) + i_2 (bulk)

- ・ i_1 層の圧力(P)・パワー密度(p_d)を調整
- ・ FT-IR, エリブソメトリ評価

	H_2/SiH_4	Pressure (P)	Power density (p_d)
i_1	0	Variable	Variable
i_2	10	fixed	fixed

Parallel-plate PECVD, 13.56 MHz

■ SHJセル - p層側に $i_1 + i_2$ を適用



(i)a-Si:H界面層(i_1)の特性 (~ 10nm)

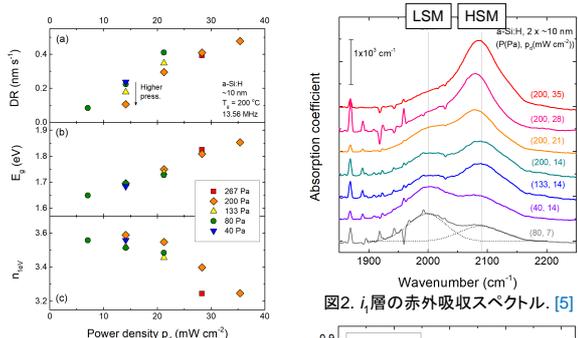


図1. i_1 層の特性. (a) 製膜速度 (DR), (b) 光学バンドギャップ (E_g), (c) 1 eVでの屈折率 (n_{1ev}). [5]

■ 微細構造因子 R^* ^[6]

$$R^* = I_{HSM} / (I_{LSM} + I_{HSM})$$

I_{HSM} : High-stretching modeの吸収強度
 I_{LSM} : Low-stretching modeの吸収強度

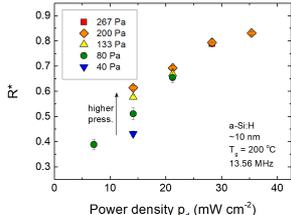


図3. i_1 層の R^* の製膜条件依存性[5]

2段階製膜($i_1 + i_2$)を適用したSHJセル

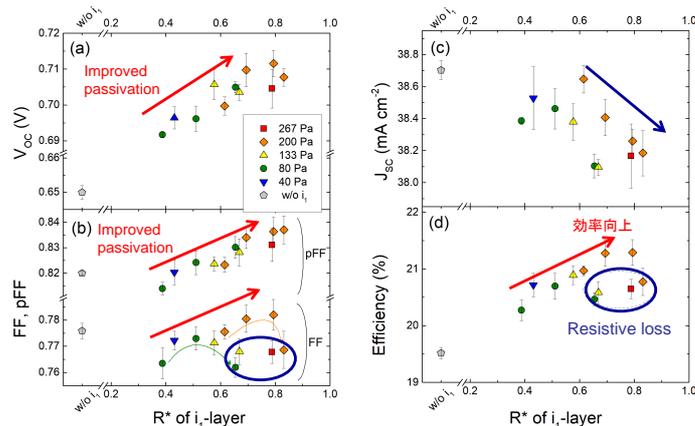


図4. p層側に2段階製膜($i_1 + i_2 = 4 + 6$ nm)を適用したSHJセルにおける i_1 層の R^* と発電特性の相関: (a) V_{OC} , (b) FFおよびpFF, (c) J_{SC} , (d) 発電効率. i_1 層の R^* を増加させると表面パッシベーションが改善し V_{OC} やpFFが大きく向上した. 一方、抵抗成分の増加や J_{SC} の若干の低下が見られる場合もあった. [5]

断面TEM観察

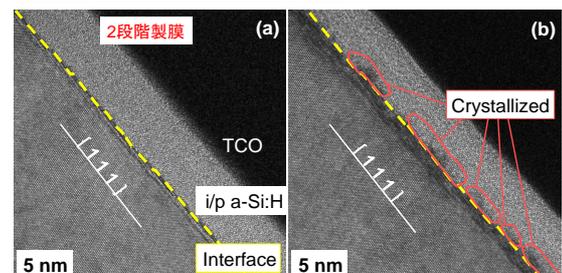


図5. p層側a-Si:H/c-Si界面の断面TEM像. 2段階製膜($i_1 + i_2$)では急峻な界面が得られるが(a)、単層(i_2 のみ)では部分的な結晶形成が確認された(b). [5]

超薄型SHJセルの作製 (ウェーハ提供: コマツNTC(株))

■ 厚さの異なるSHJセル (n型CZ-Si, 2 Ω cm)

- ・ ウェーハ厚に応じた V_{OC} と J_{SC} のトレードオフ
- ・ 板厚46 μ mでも厚板に近い特性(効率21.7%)

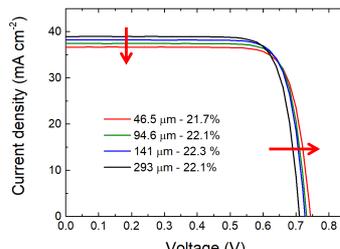


図6. 厚さの異なるSHJセルのJ-V曲線

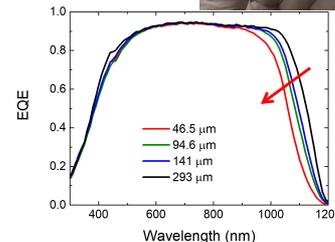


図7. 厚さの異なるSHJセルの外部量子効率(EQE)スペクトル

まとめ

- a-Si:Hの微細構造因子 R^* を制御することによりSHJセルの表面パッシベーション性や発電特性の向上が可能.
- 上記知見を取り入れながら超薄型SHJセルの可能性を検証し、厚さ50 μ m以下で効率21.7%を確認した.

謝辞

本研究はNEDOの委託を受け実施した。薄型ウェーハはコマツNTC(株)より提供頂いた。実験は先進プロセスチームメンバー(奥登志喜、佐藤芳樹、田辺まゆみ)の協力を得て実施した。各位に感謝致します。

文献

- 1.H. Fujiwara and M. Kondo, Appl. Phys. Lett. 90, 013503 (2007).
- 2.W. Liu et al., J. Appl. Phys. 120, 175301 (2016).
- 3.Y. Zhang et al., Chinese Phys. Lett. 34, 038101 (2017).
- 4.S. De Wolf and M. Kondo, J. Appl. Phys. 105, 103707 (2009).
- 5.H. Sai et al., J. Appl. Phys. 124, 103102 (2018).
- 6.J. Müllerová et al., Appl. Surf. Sci. 254, 3690 (2008).