

液相結晶化による薄膜多結晶シリコンの 作製と太陽電池への応用

海汐 寛史^{1,2}

¹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
²筑波大学 大学院数理物質科学研究科 電子・物理工学専攻

研究の目的

- 薄膜多結晶シリコン太陽電池

アモルファスシリコン太陽電池

メリット

- シリコン使用量の削減
- 大面積で一括生産

デメリット

- 変換効率が低い。

結晶シリコン太陽電池

メリット

- アモルファスシリコンに比べ、変換効率が低い。

デメリット

- 製造コストが高い。

製造コスト削減 + 高効率化 ➡ 発電コスト削減

- Liquid Phase Crystallization (LPC) による多結晶薄膜シリコンの形成

： レーザーや electron beam を用いてアモルファスシリコンにエネルギーを与え、溶融・再結晶化させることで多結晶シリコンを得る。

特徴

- 大粒径の結晶が得られる。
- 結晶化度の高い結晶が得られる。

太陽電池利用に対して高いポテンシャルを持つ。

ウエハー使用セルに比べ効率が低く、高効率化に向けて大きな余地が存在する。

表1. シリコン系太陽電池の最高変換効率

	Efficiency [%]	Jsc [mA/cm ²]	Voc [mV]	FF [%]
単結晶[1]	25.6	41.8	740	82.7
多結晶[1]	20.8	39.0	663	80.3
LPC[2]	11.8	27.8	632	67.0
SPC[1]	10.5	29.7	492	72.1
a-Si[1]	10.2	16.4	876	69.8

実験

- 基板洗浄
- PECVDを用いて中間層を成膜
SiNx (剥離防止) / SiOx (不純物拡散防止) / SiOxNy (反射防止) の三層構造([3])
受光面側に成膜するため、高い透明度が必要
- 同PECVD装置によりアモルファスシリコン(5 ~ 10μm)成膜
- マッフル炉を用いて脱水素アニール
レーザー起因の急激な加熱による水素の破裂防止
450°C 8h + 550°C 8h + 650°C 8h
- 808nm LDラインレーザーを用い、アモルファスシリコンを再結晶化、薄膜多結晶シリコンを形成

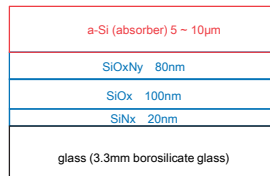


図1. 中間層及びa-Si成膜の模式図



図2. PECVD装置



図3. 中間層成膜後(左)及び素ガラス(右)



図4. レーザーによる結晶化

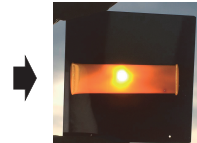


図5. 薄膜多結晶シリコン

結果・考察

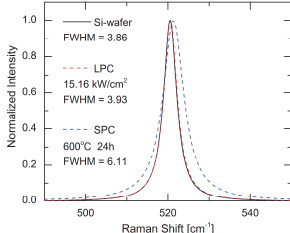


図6. 単結晶シリコン・LPC・SPCにおけるラマンスペクトル

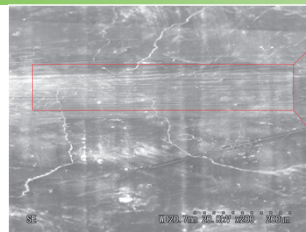


図7. 結晶化基板表面SEM

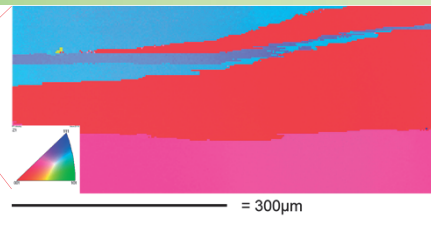


図8. LPCによる結晶粒

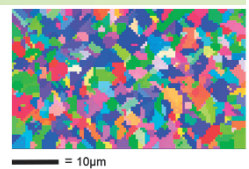


図9. SPCによる結晶粒

- 従来のアモルファスシリコンの結晶化法の一つであるSPC(Solid Phase Crystallization)に比べ、LPCは高い結晶化度と大きな結晶粒径を持つことが確認できた。

今後

- 欠陥密度、不純物密度、導電率、ライフタイムの評価により、より高品質の成膜条件を追求する。
- バックコンタクト、pc-Si/a-Siヘテロジャンクションの最適化を図り、より高効率のセルを目指す。

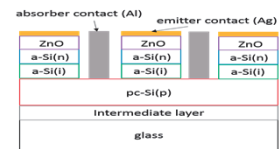


図10. 作製予定セルの模式図

結論

- LPCを用いた結晶化により、結晶化度が高く大粒径の薄膜多結晶シリコンが得られる。
➡ 高効率・低コストの太陽電池への応用に期待できる。
- 現在報告されているセル効率を見ると、特にSPCと比較して、LPCによる薄膜多結晶シリコンの特性を活かされていない。
➡ AISTの持つ光閉じ込め、結晶Siヘテロジャンクション等の技術を用い、より高効率を目指す。

参考文献

- [1] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and E. D. Dunlop, "Solar cell efficiency tables (Version 45)," Progress in Photovoltaics : Research and Applications 2015; 23: 1-9.
- [2] D. Amkreutz, J. Haschke, S. Kuhnappel, P. Sonntag, and B. Rech, "Silicon Thin-Film Solar Cells on Glass with Open-Circuit Voltages above 620mV Formed by Liquid-Phase Crystallization," IEEE J. Photovoltaics, vol.4, no.6, pp.1496-1501, 2014.
- [3] O. Gabriel, T. Frijnts, S. Calnan, S. Ring, S. Kirner, et al., "PECVD Intermediate and Absorber Layers Applied in Liquid-Phase Crystallized Silicon Solar Cells on Glass Substrates," IEEE J. Photovoltaics, vol.4, no.6, pp.1343-1348, 2014.