

# 液相結晶化薄膜多結晶シリコン太陽電池 作製技術に関する研究

・海汐 寛史<sup>1,2</sup>

・<sup>1</sup>筑波大学 大学院数理物質科学研究科 電子・物理工学専攻

・<sup>2</sup>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

### ● 研究背景

太陽電池の低コスト化を望む上で、材料費の削減と高効率化は重要な課題である。

そこで、高効率であるが材料費を抑えにくい結晶シリコン、材料費を抑えられるが効率が劣る薄膜シリコンに代わり、薄膜アモルファスシリコンを再結晶化させることで得られる薄膜多結晶シリコンに着目した。

特にレーザーを用いてアモルファスシリコンを溶解・再結晶化させる Liquid Phase Crystallization (LPC) は結晶化度が大きく粒径の大きい多結晶を形成することが可能なため、太陽電池利用への大きなポテンシャルを持っている。

そこで、低コストかつ高効率な太陽電池として、LPCを用いた薄膜多結晶シリコン太陽電池の研究を行っている。



図1. レーザーによる結晶化の様子

### ● 本実験の目的

- ・ LPCで作製した薄膜多結晶太陽電池は、変換効率でウェハーベースの太陽電池に大きく劣る。

移動度の改善や膜中の欠陥の低減等、膜質の改善が必要

膜質に大きな影響を与える以下の要素に関して調査を行った。

- ・ 大粒径の結晶の作製条件の調査
- ・ キャリア密度の制御と膜質への影響

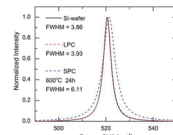


図2. 薄膜多結晶シリコン結晶化度

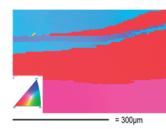


図3. 薄膜多結晶シリコン結晶粒径

表1. シリコン系太陽電池の最高変換効率

	Efficiency [%]	Jsc [mA/cm <sup>2</sup> ]	Voc [mV]	FF [%]
単結晶[1]	25.6	41.8	740	82.7
多結晶[1]	20.8	39.03	662.6	80.3
LPC[2]	12.1	27.3	649	68.4
SPC[1]	10.4	29.5	492	72.1
μc-Si[1]	11.8	29.39	548	73.1
a-Si[1]	10.2	16.36	896	69.8

## 実験

### ● 薄膜多結晶シリコン作製手順

- ・ 基板洗浄
- ・ PECVDを用いて中間層を成膜  
glass / SiNx (剥離防止) / SiOx (不純物拡散防止) / SiOxNy (pc-Si界面パッシベーション)
- ・ 同PECVD装置によりアモルファスシリコンプリカーサー (5 ~ 10 μm) 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 3h + 550°C 3h + 650°C 6h
- ・ 脱水素プリカーサー上にBドーパ-Si成膜 (ドーパントソース)
- ・ 804nm ダイオードレーザーを用いてアモルファスシリコンを再結晶化



図4. 結晶化及びドーパント拡散の模式図

### ● 調査概要

- ・ レーザーでのスキャン速度を変更した際の結晶粒径の変化の調査
- ・ SIMSを用いた、多結晶シリコン中のドーパント拡散範囲の調査
- ・ ドープガスの流量変更によるキャリア密度の制御 範囲の調査
- ・ ホール測定を用いた、キャリア密度と移動度の関係の導出

## 結果

### ● レーザースキャン速度及び粒径の関係

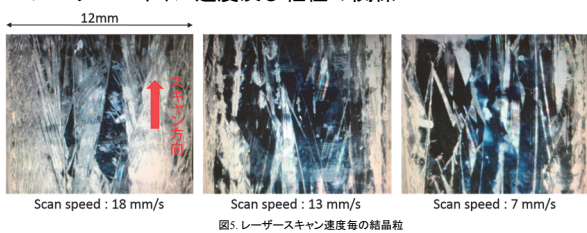


図5. レーザースキャン速度毎の結晶粒

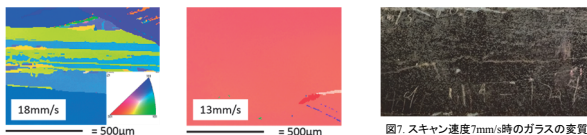


図6. スキャン速度18mm/s及び13mm/s時の結晶粒径

- ・ 一定速度以上でスキャンすると結晶粒の幅が狭くなる。
- ・ スキャン速度が遅いとガラスの変質が起こる。

### ● ドーパントの拡散と移動度

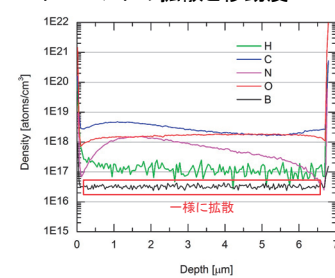


図8. 薄膜多結晶シリコン中の不純物濃度の深さ依存性

- ・ ドーパントは厚さ方向に一樣に拡散
- ・ キャリア密度の制御に成功
- ・ キャリア密度と移動度の関係を実験的に確認

➡ 移動度に改善の余地がある。

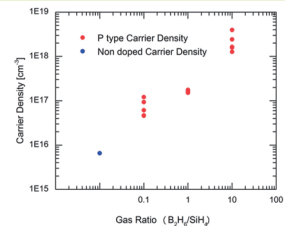


図9. ドープガス流量比による薄膜中キャリア密度の変化

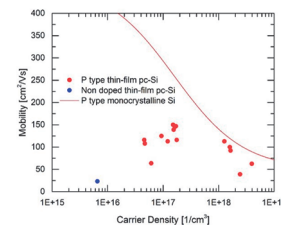


図10. 移動度のキャリア密度依存性

## 結論

- ・ レーザーのスキャン速度を最適化
- ・ 薄膜多結晶シリコン中へのドーパントの一樣な拡散を確認
- ・ 10<sup>16</sup> cm<sup>-3</sup> 台以上でキャリア密度の制御が可能
- ・ 移動度には改善の余地あり  
➡ キャリア輸送を制限する原因の調査が必要

## 参考文献

- [1] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and E. D. Dunlop, "Solar cell efficiency tables (Version 46)," Progress in Photovoltaics : Research and Applications 2015, 23: 805 – 812.
- [2] O. Gabriel, T. Frijnts, N. Preissler, D. Amkreutz, S. Calnan, S. Ring, B. Stannowski, B. Rech, and R. Schlatmann, Progress in Photovoltaics : Research and Applications, DOI: 10.1002/pip.2707 (2015).

## 謝辞

この研究はNEDO及びPVTECの協力のもと行っております。関係者の皆様に感謝致します。