

ガラス基板上への液相結晶化 多結晶シリコン薄膜の形成及び膜特性評価

海汐 寛史^{1,2}, 松井 卓矢¹, 齋 均¹, 櫻井 岳暁², 松原 浩司¹
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

研究の目的

● 研究背景

太陽電池の発電コストを低減するためには、太陽電池の高効率化及び材料コストの削減が重要である。材料コスト削減のため、現在、結晶シリコン太陽電池の薄型化の研究が盛んに行われている。本研究では、結晶シリコン太陽電池の薄型化の手段の一つとして、ガラス基板上に薄膜の多結晶シリコンを形成する手法に着目した。

特に高強度のラインレーザーを用いてアモルファスシリコンを瞬時溶解・再結晶化させる液相結晶化法(Liquid Phase Crystallization : LPC)は結晶化度や粒径の大きい多結晶シリコン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。

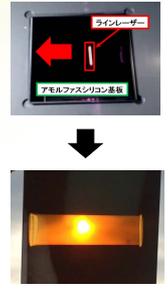


図1. ラインレーザーによる再結晶化の様子

● 本実験の目的

液相結晶化シリコン(LPC-Si)薄膜太陽電池は、依然、変換効率でウェハベースの太陽電池に大きく劣る(表1)。

LPC-Siに関して、太陽電池特性を決める重要なパラメータであるキャリア密度や移動度、少数キャリアライフタイム等の物性評価が不十分。

キャリア密度を系統的に変化させた際の膜特性や太陽電池特性に関して詳細を調査した。

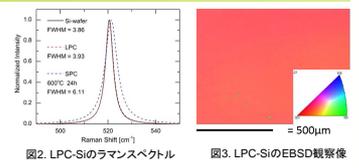


図2. LPC-Siのラマンスペクトル 図3. LPC-SiのEBSD観察像

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]	26.3	42.25	743.8	83.8
多結晶[1]	21.3	39.8	667.8	80.0
LPC[2]	12.1	27.3	649	68.4
SPC[1]	10.5	29.7	472	72.1
μc-Si[1]	11.8	29.39	548	73.1
a-Si[1]	10.2	16.36	896	69.8

実験

● 液相結晶化シリコン(LPC-Si)形成法

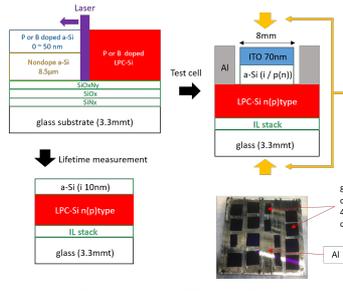
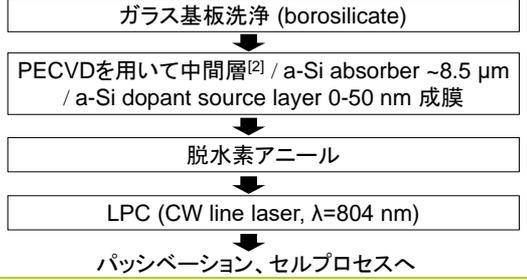


図4. LPCプロセスの概要と各測定用サンプルの構造

● 評価内容

- <LPC-Si膜>
- ドーパント濃度 : SIMS
 - キャリア移動度・キャリア密度 : Hall測定
 - 少数キャリア寿命 : Photoluminescence
- <セル評価>
- 両面受光型・簡易構造セル : I-V, 外部量子効率(EQE)
- 表面(Glass側)・裏面(ITO側)の双方から光を入射して評価した。

結果

● ドーパント濃度、キャリア密度、移動度、少数キャリアライフタイム

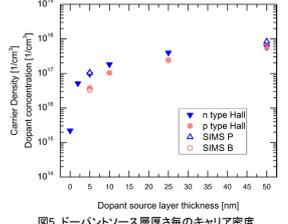


図5. ドーパントソース層厚さ毎のキャリア密度

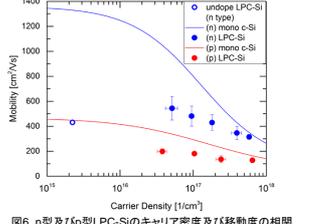


図6. n型及びp型LPC-Siのキャリア密度及び移動度の相関

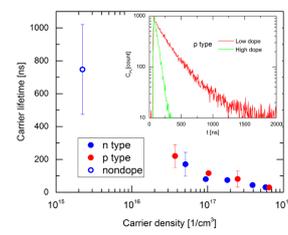


図7. n型及びp型LPC-Siのキャリア密度及び少数キャリアライフタイムの相関

● ドーパント濃度とキャリア密度はほぼ一致
 ↓
 キャリアはドーパント由来

● LPC-Siの移動度はキャリア密度が低下するにつれ単結晶との差が大きくなる。
 ↓
 低キャリア密度領域は不純物散乱以外の要因が移動度を律則。(粒界・欠陥による散乱を示唆)

● テストセルの電流電圧特性

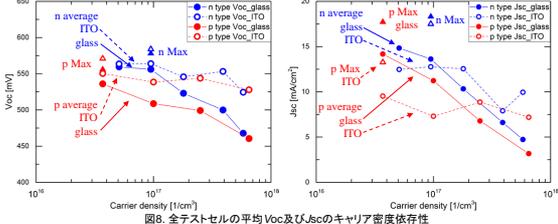


図8. 全テストセルの平均Voc及びJscのキャリア密度依存性

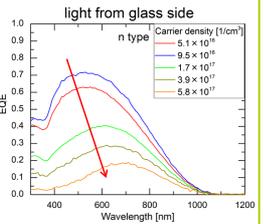


図9. n型LPC-Siセルのキャリア密度毎のEQE

● n型低ドーピングでおよそ580 mVの比較的高いVocが得られた。(H₂プラズマパッシベーションを行っていないセル^[2])

● キャリア密度の増加に伴い、セルのVoc及びJscは低下するが、ITO入射はガラス入射に比べVoc及びJscのキャリア密度依存性が小さい。

● キャリア密度の増加に対するEQEの変化は、ガラス入射では短波長側が、ITO入射では長波長側が顕著。

↓

高キャリア密度では中間層/LPC-Si界面付近での光生成キャリアの再結合損失が大きく、キャリアの拡散長がセル特性を律則している。
 ⇒ キャリア移動度・ライフタイムの結果と合致。

低キャリア密度では、内部量子効率評価によるキャリア収集特性の解析が重要
 水素化等によるさらなる移動度・ライフタイムの改善が課題

結論

- LPC-Siはドーパント添加によるキャリア密度制御が可能。
- キャリア密度増加に対してライフタイム及び移動度は低下し、同様にテストセルのVoc・Jsc及びEQEも低下。
 ⇒ LPC-Si膜の良否傾向とセル特性は概ね合致。
- n型及びp型の両セルで最大550 mVを超えるVocが得られ、特にn型に関してはおよそ580 mVの比較的高いVocが得られた。
- 高効率化には低キャリア密度領域における移動度・ライフタイムのさらなる改善が重要。

参考文献

[1] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, E. D. Dunlop, D. H. Levi, and A. W. Y. Ho-Baillie, "Solar cell efficiency tables (Version 49)," Progress in Photovoltaics : Research and Applications 2017; 25: 3 - 13.

[2] O. Gabriel, T. Frijnts, N. Preissler, D. Amkreutz, S. Calnan, S. Ring, B. Stannowski, B. Rech, and R. Schlattmann, "Crystalline silicon on glass - interface passivation and absorber material quality," Progress in Photovoltaics : Research and Applications, DOI: 10.1002/pip.2707 (2015).

謝辞

この研究はNEDO委託のもと行っております。また、Helmholtz-Zentrum Berlinより研究協力を賜りました。関係者の皆様へ感謝致します。