

多数キャリア移動度の理論モデルを用いた液相結晶化シリコン薄膜の電気特性評価

Investigation of electrical properties of liquid-phase-crystallized silicon thin-films by using theoretical model of majority carrier mobility

産総研¹, 筑波大² ○(P)海汐 寛史¹, 松井 卓矢¹, 齋 均¹, 櫻井 岳暁², 松原 浩司¹

AIST¹, Tsukuba Univ.², °Hiroshi Umishio¹, Takuya Matsui¹, Hitoshi Sai¹, Takeaki Sakurai²,

Koji Matsubara¹

E-mail: h-umishio@aist.go.jp

【はじめに】近年、結晶シリコン (c-Si) 太陽電池の材料コスト低減のため、ウェーハの薄型化が進められているが、薄型化に伴う強度低下が課題である。高品質な c-Si 薄膜を強固かつ安価なガラス基板上に形成出来れば、強度を保ちつつウェーハ製造プロセスの省略によるコスト低減が期待できる。近年、ガラス基板上のアモルファスシリコン (a-Si) 薄膜にライン状のレーザーあるいは電子ビームを照射・掃引することにより熔融・固化し大粒径 (mm ~ cm) の多結晶シリコン薄膜を得る液相結晶化法 (Liquid Phase Crystallization : LPC) が提案され[1]、LPC-Si を光吸収層に用いた太陽電池で 14% を超える変換効率が報告されている[2]。更なる効率向上には LPC-Si の電気特性の向上が必要であるが、性能を律則する要因は未だ十分理解されていない。そこで本研究では、LPC-Si の電気特性を制限する要因とその改善法を明らかにすることを目的に、多数キャリア移動度の実験結果と結晶粒界の影響を考慮した理論モデル(Seto モデル)[3]との比較検討を行った。

【実験】厚さ 3.3 mm のボロシリケートガラス上にノンドーパ a-Si (膜厚 8.5 μm) および P ドーパ a-Si (膜厚 0.3, 2, 10, 50 nm) を PECVD にて成膜し、CW ラインレーザー (波長 804nm、スポットサイズ 12×0.07 mm²) により速度 3 mm·s⁻¹ でスキャンして結晶化と P 拡散を行った。また、作製した LPC-Si の一部に PECVD にて水素プラズマ処理(HPP)を適用し、欠陥終端を試みた。その後、HPP 前後の LPC-Si の多数キャリア移動度を、Hall 効果測定を用いて評価し、Seto モデルを用いてフィッティングした。

【結果及び考察】Fig. 1 に実験で得た HPP 前後の LPC-Si の電子移動度と、Seto モデルを用いたフィッティングの結果を示す。HPP 処理により 10¹⁶ cm⁻³ 以下の低キャリア密度領域で移動度が顕著に増加した。図中の N_{gb} は Seto モデルより導出した結晶粒界における欠陥密度であり、HPP 処理後に N_{gb} が半減し、移動度が向上したと理解できる。しかし、LPC-Si の移動度は HPP 処理後においても単結晶 Si の移動度(黒実線)に比べて小さい。また Seto モデルからは、キャリア密度の低下と共に移動度が減少する傾向が確認される。これらの結果から、HPP を適用した LPC-Si であっても、結晶粒界の欠陥が移動度を始めた電気特性に大きく影響することが示唆される。一方、Seto モデルから推定される結晶粒径は数十 μm 程度と見積もられ、目視で観測される粒径 (~ 数 mm) よりも大幅に小さいことがわかった。Photoluminescence(PL)イメージングにより LPC-Si の結晶粒内及び粒界の発光特性を観察した結果、目視では数 mm から数 cm の結晶粒が観察された LPC-Si であっても、結晶粒中に多数の粒界や欠陥のクラスタがあることが示された。この結晶粒中の粒界や欠陥が、Seto モデルから推定される粒径が小さくなる一因であると考えられる。以上の結果から、LPC-Si の電気特性の向上には、目視で観測できないものも含む結晶粒界の低減、もしくは粒界の更なるパッシベーション技術の構築が重要であることが明らかとなった。

【謝辞】本研究は NEDO 委託のもと実施した。

【参考文献】 [1] D. Amekreutz *et al.*, Prog. Photovolt: Res. Appl. **19**, 937, (2011). [2] C. Thi-Trinh *et al.*, Sol. Energy Mater. Sol. Cells **174**, 187 (2018). [3] J. Y. W. Seto, J. Appl. Phys. **46**, 5247 (1975).

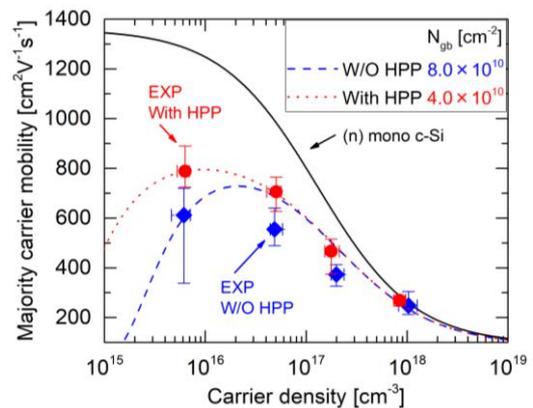


Fig. 1. Hall electron mobility versus carrier density of variously doped LPC-Si with and without HPP. Dotted and dashed lines are the fits to the experimental data based on a Seto model.