

Si ヘテロ接合太陽電池への応用に向けた p 型ナノ結晶 Si 薄膜の特性評価 Evaluation of film properties of p-type hydrogenated nanocrystalline silicon thin films for application to silicon heterojunction solar cells

産総研 太陽光発電研究センター °(P)海汐 寛史, 齋 均, 松井 卓矢

AIST-RCPV, °Hiroshi Umishio, Hitoshi Sai and Takuya Matsui

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

【はじめに】シリコンヘテロ接合(SHJ)太陽電池の高効率化には a-Si:H 窓層における光学的な吸収損失の低減が必要であり、その手法の一つとしてナノ結晶シリコン(nc-Si:H)の窓層への応用が研究されている[1]。これまでの研究から、フロントエミッタ型 SHJ セルの窓層に(p)nc-Si:H を適用すると、良好な発電特性を得るには(p)a-Si:H の場合に較べてより厚膜の(p)nc-Si:H が必要とされること、膜厚が小さいと V_{oc} や FF が著しく低下することが確認されている[2]。しかし、その理由は明らかではない。本研究では、SHJ セルの高効率化に資する nc-Si:H 層の設計指針を得ることを目的に、(p)a-Si:H 及び(p)nc-Si:H の暗・光導電率評価ならびに UV ラマン散乱分光法による結晶性評価を行い、膜中のキャリア密度や結晶成長過程と太陽電池特性の相関を調べた。

【実験】成膜ガスとして SiH_4 、 B_2H_6 (水素希釈 5000ppm)、 H_2 を用い、PECVD にて各 p 層を成膜した。 H_2/SiH_4 及び B_2H_6/SiH_4 流量比は、(p)a-Si:H 成膜時はそれぞれ 4 及び 3、(p)nc-Si:H 成膜時はそれぞれ 150 - 200 及び 0.28 - 1 とした。また、(p)a-Si:H 成膜の励起周波数は 13.56 MHz (RF) を使用し、(p)nc-Si:H 成膜には RF に加え 65 MHz (VHF) を用いた。導電率測定には、ガラス基板上に(i)a-Si:H (膜厚 10.5 nm) を成膜後に各 p 層を成膜し、その後 Al コプラナ電極を蒸着したものを用いた。また、UV レーザー($\lambda=325$ nm)を用いたラマンスペクトルの測定を行い、c-Si (520 cm^{-1}) と a-Si (480 cm^{-1}) の強度比(I_{c-Si}/I_{a-Si})から(p)nc-Si:H の結晶性を評価した。さらに、270 μm 厚の n 型 c-Si テクスチャ基板を用いて、各 p 層をエミッタに適用した SHJ セルを作製して発電特性を評価した。詳細なセル作製条件は既報[3]の通りである。

【結果及び考察】Fig.1 に(a)ラマンスペクトル強度比(以下、結晶化率と呼称)、(b)光導電率(白抜き)及び暗導電率(塗潰し)、(c) V_{oc} の p 層膜厚依存性(各膜厚はフラット基板上で測定)を示す。Fig.1 より、結晶化率、導電率、 V_{oc} は p 層の膜厚と共に増加し、結晶化率が飽和する臨界膜厚(RF : ~ 30 nm、VHF : ~ 15 nm)以上でこれらがほぼ一定になる傾向が確認された。一方、p 層が臨界膜厚より薄い場合は、(p)nc-Si:H の暗・光導電率は(i)a-Si:H のそれらと同程度の値となった。今回、結晶性の評価に用いた UV レーザーの c-Si に対する侵入長が 5 nm 以下であることから、上記の臨界膜厚は島状成長したナノ結晶層同士が結合し膜表面が結晶で完全に被覆される膜厚を反映し、それ以上の p 層膜厚でナノ結晶の電気伝導が支配的になることを示している。また、導電率と V_{oc} の関係から、(p)nc-Si:H の結晶相の表面被覆性が太陽電池の正孔選択性を支配していることが示唆され、今回の検討では励起周波数を RF から VHF にすることでナノ結晶の表面被覆化をより薄い膜厚で実現できることを示している。当日は、異なる励起周波数条件下で最適化したセル特性の詳細について報告する。

【謝辞】本研究は NEDO 委託のもと実施した。

【参考文献】[1] L. Mazzarella *et al.*, Phys. Status Solidi A **214**, 1532958 (2017). [2] 海汐 他, 第 66 回応用物理学会春季学術講演会, 大岡山, 2019. [3] H. Sai *et al.*, J. Appl. Phys. **124**, 103102 (2018).

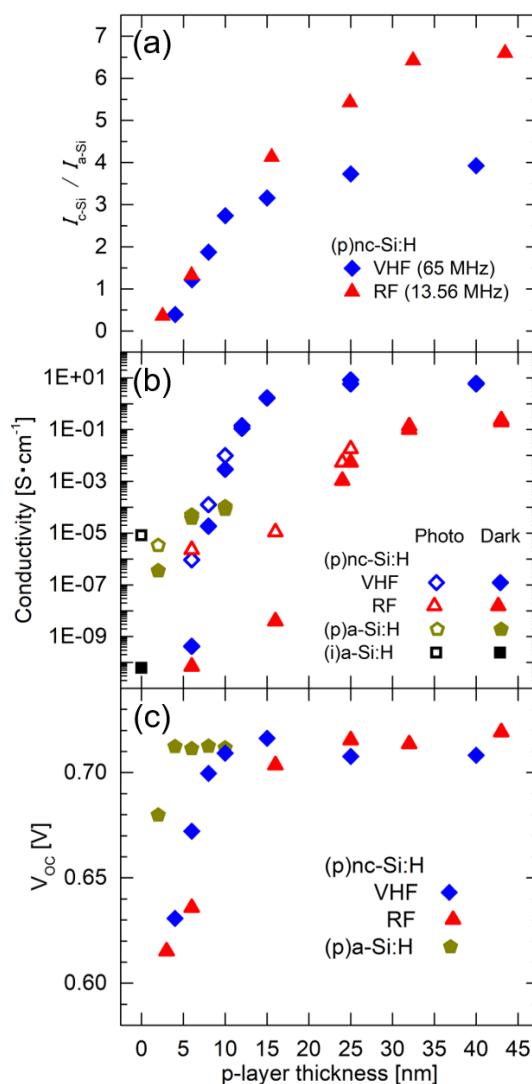


Fig. 1. Dependence of (a) Raman intensity ratio, (b) photo/dark conductivity and (c) V_{oc} of SHJ solar cells on the variation of p-layer thickness deposited by RF and VHF-PECVD.