

核反応解析法と原子間力顕微鏡を用いた TiO_x/SiO_x/Si ヘテロ構造におけるパッシベーション性能の支配要因 Dominant Factors of the Passivation Performance of TiO_x/SiO_x/Si Heterostructure

Revealed by Nuclear Reaction Analysis and Atomic Force Microscope

名大院工¹, 東大生研² ○中川 裕太¹, 後藤 和泰¹, Markus Wilde²,

小倉 正平², 黒川 康良¹, 福谷 克之², 宇佐美 徳隆¹

Graduate School of Eng., Nagoya Univ.¹, Institute of Industrial Sci., The Univ. of Tokyo²

○Y. Nakagawa¹, K. Gotoh¹, M. Wilde², S. Ogura², Y. Kurokawa¹, K. Fukutani², N. Usami¹

E-mail: nakagawa.yuta@e.mbox.nagoya-u.ac.jp

【導入】近年、原子層堆積 (ALD) 法によって作製した酸化チタン (TiO_x) 薄膜は、結晶シリコン (c-Si) に対して良好な表面パッシベーション性能とキャリア選択性を持ち合わせていることから、Si ヘテロ接合太陽電池への応用に注目されている。我々は、TiO_x/SiO_x/c-Si ヘテロ構造のパッシベーション性能を、最適な条件で熱処理を施すことで大きく向上できることを報告した[1]。熱処理による構造特性の変化と電気的特性との相関を明らかにすることで、さらなる電気的特性の向上と太陽電池の高効率化が期待できる。本研究では、TiO_x/SiO_x/c-Si ヘテロ構造を作製し、熱処理が水素深さ分布と表面粗さへ及ぼす影響を調査し、電気的特性との相関関係を明らかにした。

【実験方法】両鏡面仕上げ、Fz-n 型 c-Si(100)基板を用いた。基板の抵抗率、厚さはそれぞれ 2.8~3.0 Ω·cm、280 μm である。Si 基板の自然酸化膜除去した後、室温の硝酸に 10 分浸漬させることにより Si 基板表面に約 1 nm 厚の SiO_x 膜を形成した。次に、ALD 法を用いて、成膜温度 150 °C で TiO_x を 3 nm 成膜した。作製した試料に対して、温度 350~450 °C の範囲で 3 分間のアニールを行った。アニール前後の実効少数キャリア寿命(τ_{eff})を疑似定常状態光伝導度法で測定し、パッシベーション性能を評価した。核反応解析(NRA)法と原子間力顕微鏡 (AFM) を用いて試料の水素深さ分布と二乗平均平方根表面粗さ (R.M.S.) をそれぞれ調査した。

【結果と考察】図 1 は注入少数キャリア密度 1×10¹⁵ cm⁻³ におけるアニール前後の τ_{eff} のアニール温度依存性を示す。TiO_x/SiO_x/c-Si ヘテロ構造では、400 °C で 3 分間のアニールを行うことで、τ_{eff} が 891 μs と最も向上した。図 2 は NRA 法による水素深さ分布を示す。熱処理温度が高温であるほど膜中の水素濃度が減少した。さらに、AFM 測定から得られた R.M.S.は、アニール前では 0.141 nm であり、450 °C で 3 分間のアニールを行うことで表面粗さが 0.205 nm にまで増大した。これらの結果から、アニール温度の増大に伴って成膜原料由来の水素濃度が減少する一方で、表面粗さが増大することが判明した。つまり、パッシベーション性能の決定要因には、水素濃度の減少による τ_{eff} の向上要因と、表面粗さの増大による τ_{eff} の低下要因が存在することがわかった。

【謝辞】本研究は Hydrogenomics、NEDO の支援の下で行われた。

【参考文献】 [1] T. Mochizuki *et al.*, *Adv. Mater. Interfaces* **6**, 1801645 (2018).

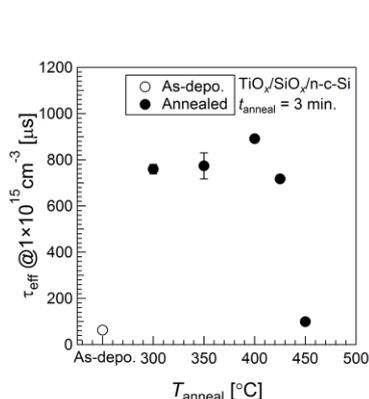


Figure 1. Dependence of effective carrier lifetime of the TiO_x/SiO_x/c-Si heterocontacts on FGA temperature at the injection-level of 1 × 10¹⁵ cm⁻³.

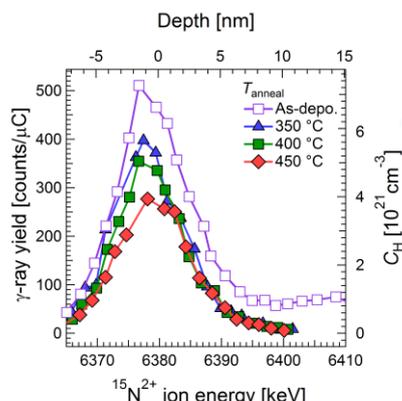


Figure 2. NRA γ -yield curves of the as-deposited samples and annealed samples at 350, 400 and 450 °C for 3 min.