

電子エネルギー損失分光法を用いた 高パッシベーション性能 $\text{TiO}_x/\text{SiO}_x/\text{c-Si}$ ヘテロ界面の局所構造の解明

Local Structure of $\text{TiO}_x/\text{SiO}_x/\text{c-Si}$ Heterointerface with Superior Passivation

Performance Revealed by Electron Energy Loss Spectroscopy

名大院工 ○望月 健矢, 後藤 和泰, 黒川 康良, 山本 剛久, 宇佐美 徳隆

Graduate School of Eng, Nagoya Univ.

○ T. Mochizuki, K. Gotoh, Y. Kurokawa, T. Yamamoto, N. Usami

E-mail: mochizuki.takeya@d.mbox.nagoya-u.ac.jp

【導入】 近年、原子層堆積 (ALD) 法によって作製された酸化チタン (TiO_x) 薄膜を太陽電池に導入することで、22.1%という比較的高い変換効率が報告され[1]、注目を集めている。その高い変換効率には $\text{TiO}_x/\text{c-Si}$ 界面における高いパッシベーション効果が大きく寄与していると考えられる。この効果は SiO_x を $\text{TiO}_x/\text{c-Si}$ 界面に導入することによって上昇することが知られているが、 SiO_x の導入が周辺の局所的な構造にどのように影響するのかは明らかになっていない。本研究では、 SiO_x を $\text{TiO}_x/\text{c-Si}$ 界面に導入することで上昇する電気的特性と、ナノスケールの局所的な構造に着目し、高い実効キャリアライフタイム (τ_{eff}) を発現する局所構造の解明にアプローチした。

【実験方法】 Fz-p 型 Si 基板を使用し、室温で硝酸によって SiO_x を形成後、ALD 法によって TiO_x を成膜し、 $\text{TiO}_x/\text{SiO}_x/\text{c-Si}/\text{SiO}_x/\text{TiO}_x$ 構造を作製した。その際、 TiO_x と SiO_x の合計の膜厚を 4 nm とした。成膜後に 350 °C で 3 分の熱処理を行い、アニール前後の τ_{eff} を疑似定常状態光伝導度 (QSSPC) 法で測定した。さらに、走査透過型電子顕微鏡 (STEM)、電子エネルギー損失分光法 (EELS) を用いて $\text{TiO}_x/\text{c-Si}$ 界面付

近の化学状態を調査した。

【結果と考察】 少数キャリア密度 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ において、 τ_{eff} はアニール後に約 1.3 ms を示しており、高いパッシベーション性能が得られていることを確認した。Fig. 1 (a) は、アニール後の試料の断面 TEM 像である。 TiO_x 、 SiO_x とともにアモルファス構造であり、均一に成膜されていることが分かる。さらに、Fig. 1 に示す point-I から point-V の 5 点において EELS を用いることで $\text{Si-L}_{2,3}$ 殻、 $\text{Ti-L}_{2,3}$ 殻のスペクトルを取得した。そのスペクトルを Fig. 1 (b), (c) に示す。スペクトルの形状が測定位置によって大きく変化しており、様々な結合状態が試料内に存在していることが分かる。point-II に着目すると、Fig. 2 (b) より、 Si^{2+} 由来のピークが現れず、 Si^{4+} 由来のピークのみが見られる。よって、化学両論比に近い SiO_x が存在していることが分かる。また、Fig. 2 (c) では、少量の Ti^{4+} 由来のピークが検出されることから point-II に Ti 原子が含まれていることが分かる。これらの結果より、化学両論組成に近い SiO_x 中に Si-O-Ti 結合が形成している領域が存在し、この結合状態が高い τ_{eff} に寄与していると考えられる。

【謝辞】 本研究は NEDO の支援の下行われた。

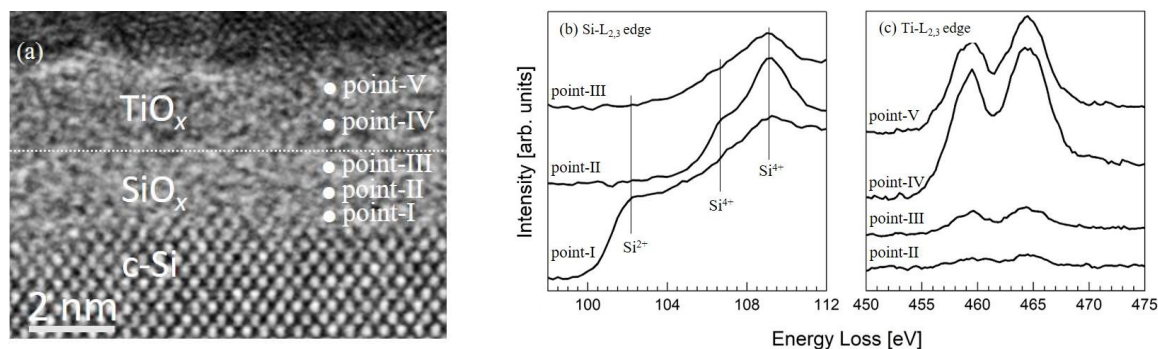


Fig. 1. (a) Cross-sectional HRTEM image of sample (E) after annealing.
Electron energy loss spectra of (b) $\text{Si-L}_{2,3}$ edge and (c) $\text{Ti-L}_{2,3}$ edge.

[1] X. Yang *et al.*, Prog. Photovolt: Res. Appl. **25**, 896-904 (2017).