

Pt/TaO_x/Ta₂O₅/Pt 素子の直流および交流コンダクタンスの温度依存性の解析

Analyses of temperature dependence of DC and AC conductance in Pt/TaO_x/Ta₂O₅/Pt cells

京大院工 °宮谷 俊輝, 西 佑介, 木本 恒暢

Kyoto Univ. °Toshiki Miyatani, Yusuke Nishi, Tsunenobu Kimoto

E-mail: miyatani@semicon.kuee.kyoto-u.ac.jp

はじめに TaO_x 系抵抗変化素子では、低抵抗状態における抵抗の温度依存性が Mott の Variable Range Hopping (VRH) のモデルで説明できることが報告されている[1]。我々は、Pt/TaO_x/Ta₂O₅/Pt 抵抗変化素子では初期状態においても、直流コンダクタンスの温度依存性がおよそ 200 K 以下の低温領域において Mott の VRH のモデルに従うことを報告した[2]。本研究では、Pt/TaO_x/Ta₂O₅/Pt 素子の初期状態の直流および交流コンダクタンスの温度依存性を評価・解析することで、本素子におけるキャリア輸送機構の考察を行った。

実験 DC スパッタリングにより Pt (60 nm)/Ti (5 nm) を SiO₂ 基板上に下部電極として堆積した。次に、Ta₂O₅ および TaO_x を反応性スパッタリングにより所望の膜厚で堆積した。TaO_x の酸素組成 x に関しては、2.5 以下となるように酸素流量を適切な値に設定した。最後に EB 蒸着により、Pt 上部電極(100 ~ 500 μmφ)を堆積した。この Pt/TaO_x/Ta₂O₅/Pt 素子の初期状態において、直流コンダクタンスおよび交流コンダクタンスの周波数特性の温度依存性などを調べた。

結果と考察 低温領域における直流コンダクタンスの温度依存性から、Mott の VRH のモデルに従うコンダクタンス成分 G_{VRH} を温度 T の関数として求めた。初期状態における 0.1 V 印加時のコンダクタンスを G_{ini} とする。Fig. 1 に G_{ini} および $G_{ini}-G_{VRH}$ の温度依存性を示す。 $G_{ini}-G_{VRH}$ は G_{ini} より広い温度範囲でアレニウスの式に従い、この直線の傾きから本素子の直流コンダクタンスの活性化エネルギー 180 meV が得られた。これより、Mott の VRH 伝導は室温付近においても導電率に寄与し、さらに Mott の VRH 伝導と並列に、バンド伝導が存在すると考えられる。一方、交流コンダクタンスの周波数に依存する成分を $G(\omega)$ とする。文献[3]の Small Polaron Tunneling (SPT) モデルによると、 $G(\omega)$ は

$$G(\omega) = A\omega^s, \quad s = 1 + \frac{4}{\ln(\omega\tau_{op}) + W_H/k_B T}$$

と表される。 A は係数、 τ_{op} は光学フォノン周波数の逆数のオーダーの値を有する定数、 W_H はスモールポーラロンの活性化エネルギーである。Fig. 2 に、各温度における $G(\omega)$ を実験で、SPT モデルによるフィッティング曲線を黒の破線で示す。なお、 τ_{op} , W_H は温度によらず図中に示す値を用いた。フィッティング曲線は実験結果とよく一致しており、パラメータ s の温度勾配が正となることから、交流特性は SPT モデルにより記述できることがわかる。この結果は、Pt/TaO_x/Ta₂O₅/Pt 素子において、Ta₂O₅ 中の局在準位に捕らわれたキャリア(電子)がスモールポーラロンを形成することを示唆する。

以上より、Pt/TaO_x/Ta₂O₅/Pt 素子の初期状態の導電率は、 $\sigma = \sigma_{Band} + \sigma_{VRH} + \sigma_{SPT}(\omega)$ で表される。 σ_{Band} はバンド伝導が寄与する導電率、 σ_{VRH} は Mott の VRH が寄与する導電率、 $\sigma_{SPT}(\omega)$ はスモールポーラロンの輸送による交流導電率である。本講演では、コンダクタンスの素子サイズ依存性の評価から、Ta₂O₅ 中の局在準位の分布に関する議論も行う予定である。

[1] Z. Wei et al., *IEDM*, 721 (2011).

[2] 宮谷 俊輝 他, 第 65 回春季応用物理学会, 18p-C102-16 (2018).

[3] A. R. Long, *Adv. Phys.* **31**, 553 (1982).

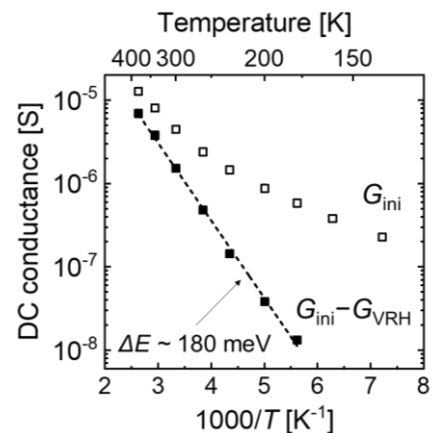


Fig. 1 Temperature dependence of G_{ini} at 0.1 V and $G_{ini}-G_{VRH}$.

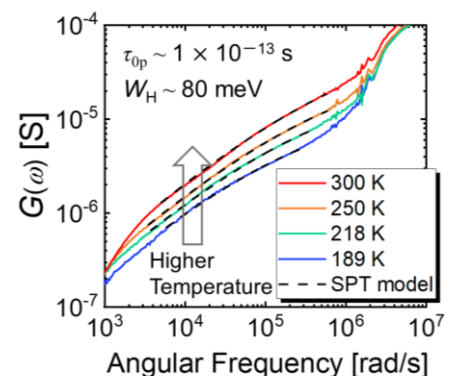


Fig. 2 Frequency characteristics of $G(\omega)$ and its temperature dependence