

TiO₂ 固体絶縁膜を用いた VO₂ モットトランジスタの動作機構の研究

Operation Mechanism of VO₂ Mott Transistors

with A TiO₂ Solid-State Gate Insulator

東大マテ¹, JST-CREST² ○矢嶋 赳彬¹, 西村 知紀¹, 鳥海 明^{1,2}

Univ. of Tokyo¹, JST-CREST², ○Takeaki Yajima¹, Tomonori Nishimura¹, and Akira Toriumi^{1,2}

E-mail: yajima@adam.t.u-tokyo.ac.jp

金属絶縁体転移を示す遷移金属酸化物をトランジスタのチャンネルに用いることで、不揮発性や急峻性を実現しようとする、「モットトランジスタ」が注目されている。遷移金属酸化物の中でも特に VO₂ は、室温以上の温度で比較的急峻な金属絶縁体転移を起こすことから、VO₂ をチャンネルとする素子が数多く作製されてきた。固体ゲート絶縁膜を用いた素子では蓄積電荷が VO₂ の転移に不十分であったが、近年イオン液体ゲートによってこの問題は克服され、蓄積電荷がチャンネル界面での遮蔽長を超えて VO₂ の電気伝導性を変調するという特異な動作機構も報告されている [M. Nakano *et al.*, *Nature* **487**, 459 (2012)]。一方でイオン液体ゲートから VO₂ チャンネルに酸素欠損 [J. Jeong *et al.*, *Science* **339**, 1402 (2013)] や水素イオン [H. Ji *et al.*, *Nano Lett.* **12**, 2988 (2012)] が拡散することも報告されており、こうした電気化学的な副作用がモットトランジスタ動作のさらなる研究を妨げている。モットトランジスタの動作機構を調べるために、固体ゲート絶縁膜で VO₂ の転移に十分な電荷 ($>1 \times 10^{14}/\text{cm}^2$) を蓄積し、モットトランジスタ動作を実現することが求められている。

本研究では、高誘電材料 (比誘電率 >100) の TiO₂ をゲート絶縁層に用いることで、固体素子で VO₂ チャンネルのモットトランジスタ動作を実証しその動作機構を調べることを目的とした。Nb ドープ TiO₂(101) 基板上に VO₂ 単結晶薄膜 6nm をパルスレーザー堆積法によって製膜し、ドープ基板をゲート電極として、界面に形成される TiO₂ 空乏層をゲート絶縁層として利用した。このゲート構造は、VO₂ チャンネルを金属層、Nb:TiO₂ 基板を N 型半導体とするショットキー接合と見做すこともでき、実際 Fig.1 に示すような良好な整流性 (1.1 以下の理想化定数、10V 以上の降伏電圧) を示した。この TiO₂ ゲートを用いて VO₂ の電気伝導度変調を行ったところ、Fig.2 に示すように VO₂ の転移温度 $\sim 318\text{K}$ から離れた温度では大きな変調は見られなかったが、転移温度近傍では約 2 桁の大きな変調が見られた。これは従来の電子蓄積から予想される変調量 (Fig.2 点線) を 2 桁上回り、モットトランジスタの特性を如実に反映した結果だと言える。一方蓄積電荷に依る転移温度の変化量は、同量の電子を VO₂ 薄膜全体に均質にドープした場合より小さく、10%程度に留まった。これはイオン液体ゲートで報告されている結果とは真逆の結果であるが、VO₂ の転移温度を変えるのに必要な熱力学的エネルギーを用いて考察した結果むしろ妥当であることが分かった。以上のように本研究は、VO₂ チャンネルトランジスタが、蓄積電荷による電気伝導効果をはるかに上回るゲート変調効果を持つことを実証し (モットトランジスタ動作)、その動作機構を熱力学的エネルギーを用いて議論した。

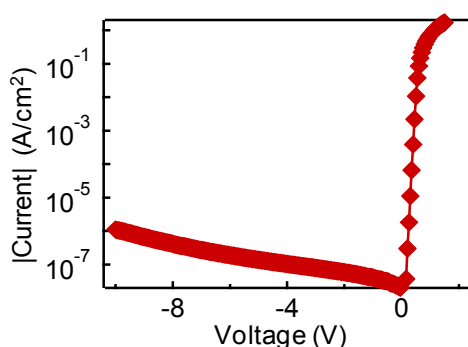


Fig. 1. Current voltage characteristics of a VO₂/Nb:TiO₂(101) Schottky junction.

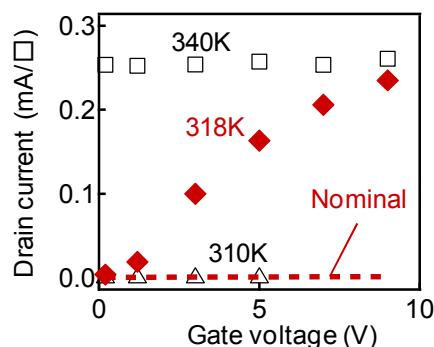


Fig. 2. Transfer characteristics of the VO₂-channel transistor.