

固体素子による VO₂ 転移速度の巨大ゲート変調

Colossal gate modulation of the VO₂ phase transition speed in solid-state devices

九大シス情¹, 東大マテ² ○矢嶋 超彬¹, 若藤 祐斉², 鳥海 明²

Kyushu Univ.¹, Univ. of Tokyo², ○Takeaki Yajima¹, Yusai Wakafuji², and Akira Toriumi²

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

ゲート電圧を印加して相転移を自在に制御することは、物性研究の大きな目標とされてきた。近年、イオン液体ゲートによって相転移を静的に制御することは可能となったが、イオン液体の応答が遅いため過渡特性を調べることは難しい。その中で、我々のグループは超高誘電率な TiO₂ をゲートとして、VO₂ 薄膜の金属絶縁体転移をゲート制御することに初めて成功した[1]。本素子を用いれば、ゲート電圧によって引き起こされる相転移の過渡特性を調べることが可能となる。本研究では、VO₂ チャネルトランジスタの「速度」を系統的に調べ、その結果、静特性では小さいゲート変調効果が過渡特性では顕在化する事、そしてその原因が、最低でも 4400 個の V 原子の集団がゲート変調効果を増幅することに起因するのを明らかにした。

VO₂ エピタキシャル薄膜を Nb[0.05wt%]ドープ TiO₂(101)基板上にパルスレーザー堆積法で成長させ、TiO₂空乏層をゲート絶縁膜とする VO₂ チャネルトランジスタを作製した (Fig. 1a)。そしてドレイン電圧 (V_D) を 1V に固定し、ソースに接続した直列抵抗 (R_S) の電圧降下を測定することで、ゲート電圧に対するチャネル伝導度の過渡特性を評価した。転移温度近傍で温度を固定し、 V_G をステップ関数状に変化させると、Fig. 1b のように VO₂ チャネルの伝導度は遅れて変化する。このチャネル伝導度の変化速度が、 V_G の大きさに強く依存することが分かった。これは静特性に V_G が与える影響が小さいこととは対照的な結果だと言える。Fig. 1b のように V_G 変化直後の変化速度から時間スケール τ_{MT} を定義すると、 τ_{MT} は VO₂ チャネル界面に蓄積される 2D 電子密度に対して Fig. 1c のように指数関数的に短くなる。過去の文献値から[1]、電子蓄積の効果を温度変化に換算すると (Fig. 1c 上軸)、転移点から数 K 離れるだけで、 τ_{MT} は約 100 fs (pump probe 測定で明らかにされている限界値[2]) まで短くなることが示唆された。この大きな V_G 効果の起源を明らかにするため、Fig. 1c の外挿線の傾きから転移のエネルギー障壁 E_B の温度係数を計算すると、 $2231k_B \text{ JK}^{-1}$ となり、VO₂ の金属相と絶縁相のエントロピー差 (V_2O_4 当たり $3k_B \text{ JK}^{-1}$ [3]) に比べてはるかに大きな値となった。これは、 V_G または温度の影響が、転移の集団性によって増幅されたことを示唆している。本研究は、科研費 20H02615 の助成によって行われた。[1] T. Yajima, Nature Commun. **6**, 10104 (2015). [2] A. Cavalleri, PRB **70**, 161102 (2004). [3] J. H. Park, Nature **500**, 431 (2013).

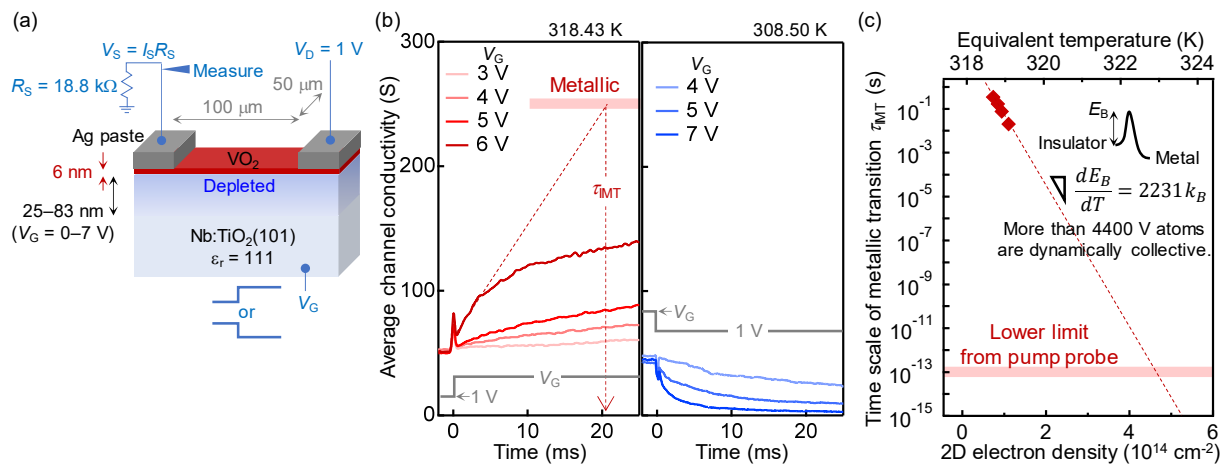


Fig. 1 (a) Schematics of the VO₂-channel transistor and the measurement geometry for the transient property. (b) The transient properties for various step-function gate voltages (V_G). (c) The time scale of the metallic transition is plotted as a function of the accumulated 2D electron density or the equivalent temperature.