

VO₂ モットトランジスタにおける超急峻ゲート変調の起源Origin of the Ultra-Sharp Gate Modulation in VO₂ Mott Transistors東大マテ [○]矢嶋 超彬, 西村 知紀, 田中 貴久, 内田 建, 鳥海 明The Univ. of Tokyo, [○]Takeaki Yajima, Tomonori Nishimura, Takahisa Tanaka, Ken Uchida, and
Akira Toriumi

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

酸化バナジウム VO₂ は室温において絶縁体的な振る舞いを示すが、電子がドーピングされると金属状態へと相転移し電気抵抗を約 3 桁減少させる。従って、VO₂ を電界効果トランジスタのチャンネルに用いれば、ゲート電圧による電子蓄積が電子ドーピングとして働き、相転移を伴う急峻なスイッチングが実現できると考えられる (モットトランジスタ, Fig. 1a)。実際には、ゲート電圧で蓄積できる電子量には限界があるが、我々は超高誘電率の TiO₂ ゲートを用いることで初めて、固体ゲートによる完全な金属絶縁体転移を実証した[1,2]。さらに、ゲート電圧と独立にドレイン電圧を印加することで、ゲート誘起相転移が劇的に急峻化することを見出した (Fig. 1b)。しかしこの転移の急峻化は、一次相転移がドメイン構造を形成して急峻性を失うという熱力学的な描像と矛盾するように見える。本発表では、この現象が、デバイス動作の非平衡性によって熱力学的限界を超えたことに起因することを、デバイスシミュレーションによって明らかにした。

実験に使用したのは、7nm 厚の VO₂ チャンネルを Nb 0.05 wt% ドープ TiO₂(101) 基板上にエピタキシャル成長させ、Nb:TiO₂ 基板側に形成される空乏層をゲート絶縁体とするバックゲートトランジスタである (Fig. 1a)。ゲート電圧による電子蓄積によって局所的な転移温度が下がる効果と、チャンネル電流によって局所的な温度が上昇する効果とから、自己無撞着にトランジスタの定常状態をシミュレーションし、ドレイン電流 (I_D) をゲート電圧 (V_G) とドレイン電圧 (V_D) に対してプロットした (Fig. 1c)。その結果、電子蓄積とジュール熱のみで実験結果をほぼ再現できることが分かり (Fig. 1b の実験結果は Fig. 1c の各 V_D における断面に対応)、急峻なゲート誘起相転移の起源は、電子蓄積による相転移がドレイン電流によるジュール熱を加速的に増大し熱暴走させるためであることを解明した。これは相転移の熱力学的描像からは予測できない、デバイス動作時の非平衡性ならではの現象である。さらに、ゲート電圧による電子蓄積が相転移を引き起こすのに対し、ドレイン電圧によるジュール熱は転移時のみ発生して転移を急峻化するという、役割分担が存在することを明らかにした。このような役割分担は 3 端子デバイスならではの現象であり、2 端子の VO₂ デバイスにおけるジュール熱誘起の転移とは根本的に異なるものだと言える。本研究は科研費 17H04812 及び一部は JST-CREST JPMJCR14F2 の助成を受けて行われた。[1] T. Yajima *et al.*, Nature Commun. **6**, 10104 (2015). [2] T. Yajima *et al.*, Small **13**, 1603113 (2017).

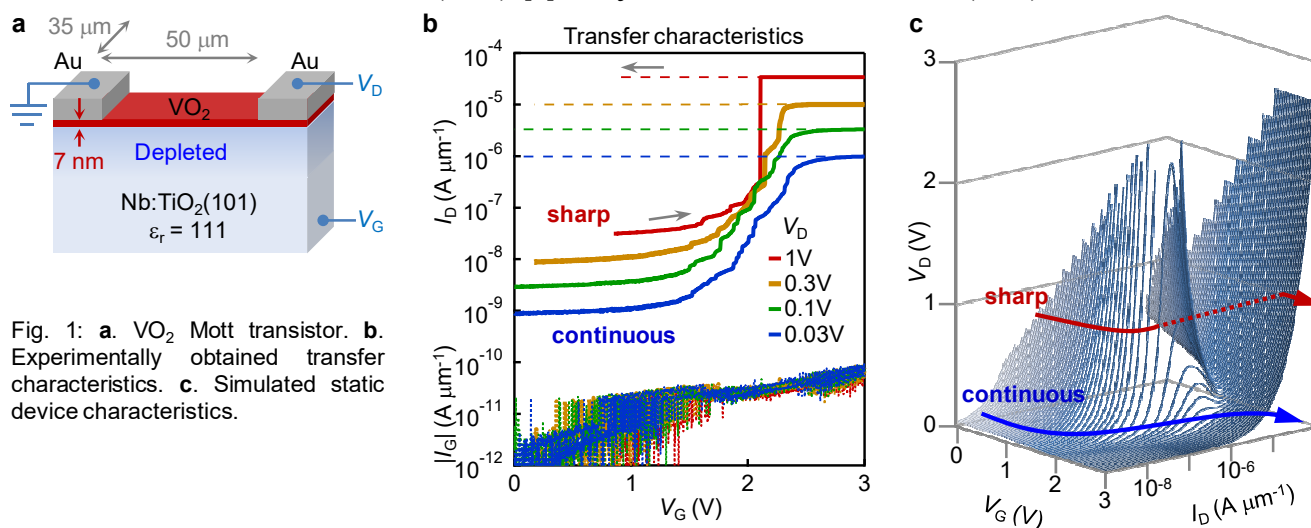


Fig. 1: **a.** VO₂ Mott transistor. **b.** Experimentally obtained transfer characteristics. **c.** Simulated static device characteristics.