

VO₂ ナノ細線を用いた局所ペルチェ効果による 可逆金属-絶縁体相転移制御

Reversible control of metal-insulator transition by local Peltier effect in VO₂ nanowires

阪大産研, 高見 英史, [○]神吉 輝夫, 田中 秀和

ISIR, Osaka Univ., Hidefumi Takami, [○]Teruo Kanki, and Hidekazu Tanaka

E-mail: kanki@sanken.osaka-u.ac.jp

【はじめに】二酸化バナジウム(VO₂)は、温度、電界、光等の外場により抵抗変化が数桁にも及ぶ金属-絶縁体相転移(MIT)を示すことから電子相転移を利用した新規酸化物デバイス創出に重要な材料である。これまで二端子素子の電流電圧バイアスによる MIT 誘起の研究において、スイッチング・メモリ効果が数多く報告されてきたが、すべて、絶縁体から金属への一方向制御であり、絶縁体から金属相への転移制御に関しては皆無であった。これは、ジュール熱効果による温度上昇が金属化の主な要因であったためであると考えられる。一方で、最近、金属相と絶縁体相の大きなペルチェ係数の違いから、この電子相界面に電流を流すと界面近傍で、冷却効果が確認された[1]。この局所的な冷却効果を利用することによって、従来不可能であった金属から絶縁体への相転移制御が出来る可能性が出てきた。今回、我々は、冷却能力を最大限発揮できる電子相ドメインの一次元配列 VO₂ ナノ細線を作製し、電子相界面の電流量・方向を制御することによって、金属から絶縁体への相転移を実現し、可逆的な MIT 制御を試みた。

【実験及び結果】パルスレーザーアブレーション法により Al₂O₃(0001)基板上に VO₂ を成膜し、ナノインプリントリソグラフィを用いて、120 nm~700 nm の VO₂ ナノ細線を作製した。Al₂O₃(0001)基板上的電子相ドメインサイズは 50 nm~100 nm 程度と言われており、120 nm 幅ナノ細線では、擬 1 次元的にドメインが配列していると思われる。図 1 には、電流密度 (i) に対する抵抗変化を示す。VO₂ ナノ細線において $i \sim 10^8$ A/m² オーダーで、抵抗値の急峻な上昇が見られた。一方で薄膜や、絶縁体領域での 300 K においては、抵抗上昇は見られなかった。この抵抗上昇は、金属相と絶縁体相が共存する狭い温度領域で、かつ個々のドメインの相転移が見られるナノ細線において確認できたことから、局所ペルチェ冷却による金属ドメインが絶縁体に相転移したものであると考えられる。

局所界面でのペルチェ効果、ジュール熱効果、熱拡散効果を考慮した局所温度変化のモデル式により、 $i=0 \sim 4 \times 10^9$ A/m² の範囲で、界面近傍の局所領域において ~3 K 程度まで温度が低下すると予測され、今回の抵抗上昇が見られた電流密度はこのレンジ内にある。また、120 nm 幅のナノ細線において、 $i=2 \times 10^9$ A/m² 付近で抵抗上昇と共にバイアス電流を Off にしても高抵抗状態を保持する不揮発特性が得られた (図 2(a))。また、理論曲線 (図 2(b)) に従い、逆バイアス電流印加によってジュール熱/ペルチェ加熱効果による低抵抗状態への遷移も確認でき、電流バイアスによる可逆 MIT 制御に成功した。当日は、詳細な実験データと本モデル式を用いた解析結果について報告する。

【謝辞】本研究は、JSPS 科研費 基盤(A)(No.26246013)、基盤(B)(No.25286058)の助成を受けたものです。

[1] F. Tela *et al.*, Nano Lett. **14**, 2394 (2014).

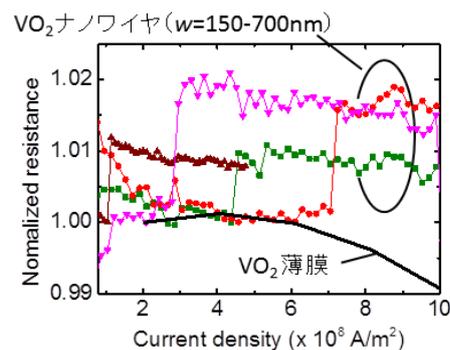


図 1 電流密度に対する抵抗値の変化

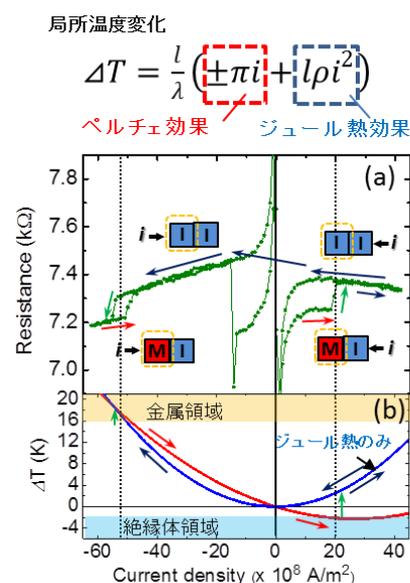


図 2 (a)電流密度・方向に対する VO₂ ナノワイヤの抵抗値変化、及び(b)電流密度に対する局所温度変化の理論曲線