

酸化物ナノ細線における金属-絶縁体ドメイン壁の

電流駆動ダイナミクス

東京大学生産技術研究所

守谷 頼

1. 背景と目的・目標

強相関電子系酸化物における、単一の金属-絶縁体ドメイン境界面（ドメイン壁）は 1) ナノサイズの細線、2) 単結晶、3) 歪のかからない構造、の3つの条件を満たした時のみ観測される特殊な現象である。単一のドメイン壁においては、図1に示すように、伝導電子がドメイン壁を通過する際に生じる界面での熱電効果によって、ドメイン壁の近傍が電流の向きによって加熱または冷却される。このことは、十分に大きな熱電効果を生じる材料中においては、この局所熱電効果によって電流の流れる方向に沿ってドメイン壁を運動させることが実現可能であるということをしめしている。

本研究ではこの強相関電子系酸化物酸化バナジウム(VO_2)の1次元ナノ細線を用いた、電流駆動による金属-絶縁体ドメイン壁の移動の実現と、さらにそのドメイン壁駆動を活用した新機能素子の創出を目的としている。

2. 結果及び考察

作製したナノ細線の金属-絶縁体転移を光学顕微鏡により観測した。図2において、細線幅 $1.4 \mu\text{m}$ の VO_2 を絶縁体の状態 (50°C) から昇温していった際の光学顕微鏡像を示す。ナノ細線の左にある赤と青の四角はガイドのために示している。作製直後のナノ細線は多数ドメインの生成とその拡張による絶縁体-金属への相転移が起こっていることが分かる。 Si 基板上に作製された VO_2 ナノ細線は表面の SiO_2 に強く張り付いているため、強く歪を受けることが知られている。そのため作製直後のナノ細線は図2に示すように複数のドメインの生成とその拡大によって相転移が起こる。この場合、多数のドメイン壁が細線中に存在するため、相転移は非常に複雑な過程を経由しその定量的な理解や電流によるドメイン壁の駆動の観測は困難である。そのため本研究課題ではバッファードフッ酸を用いて基板の SiO_2 を取り除き吊り下げ構造の VO_2 ナノ細線を作製した。

吊り下げ構造デバイスに加工した後、同様に光学顕微鏡によって金属-絶縁体転移を観測した結果を図3に示す。このときの細線の幅は $0.4 \mu\text{m}$ である。吊り下げ構造のデバイスでは金属-絶縁体転移の様子が大きく異なっている。吊り下げ構造にする事によって単一ドメイン構造が安定となり、相転移が単一のドメイン壁の生成とその伝播による過程へと変

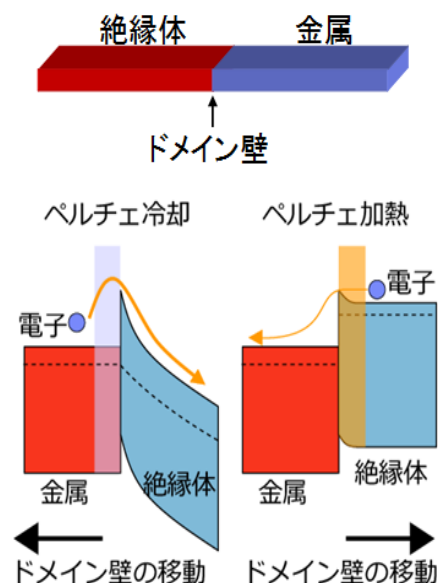


図1. 電流方向によるドメイン壁の運動制御

化した様子が良く分かる。特に図 3 中で 55 °C の顕微鏡写真においては、絶縁体相において体積が増加したナノ細線が直線ではなく垂れ下がった状態になる、いわゆるバックリング (Buckling) が観測されておりナノ細線の歪を取り除くことに成功したことを示している。

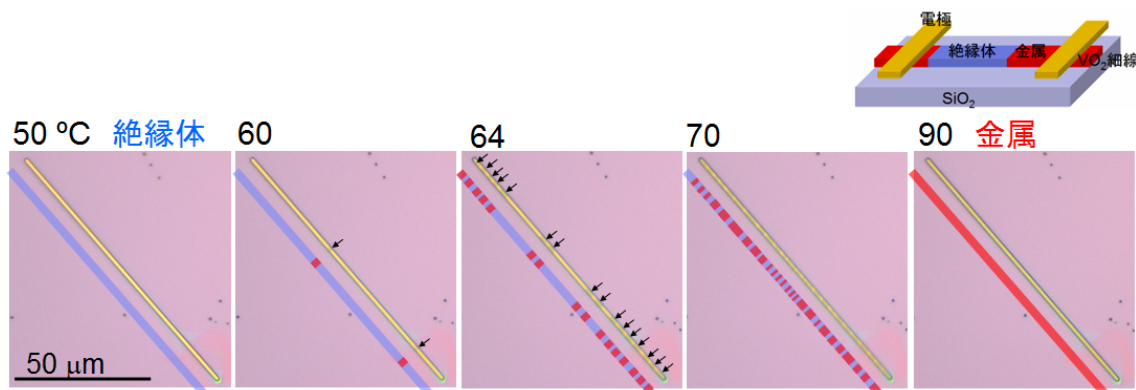


図 2. 成長直後の VO₂ ナノ細線における金属-絶縁体転移

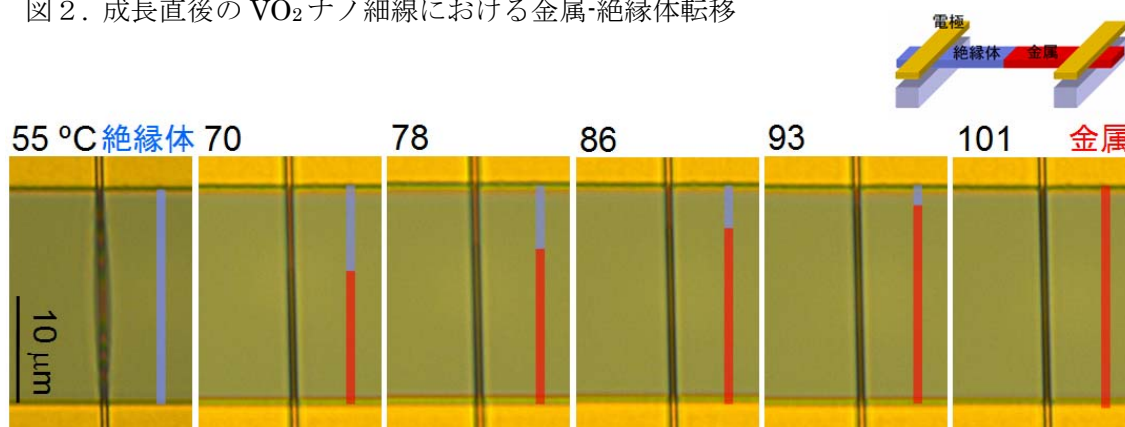


図 3. 吊り下げ構造をもった VO₂ ナノ細線における金属-絶縁体転移

3. まとめと課題

今回単一ドメイン壁の電流駆動という目的に向け、酸化バナジウムの単結晶ナノ細線を用いて、単一の金属-絶縁体ドメイン壁の制御の実験を行った。今回の研究結果で特に注目すべきは、ナノ細線が基板上にある場合と吊り下げ構造にした場合でそのドメイン構造が大きく異なるということである。光学顕微鏡および、報告書では割愛したが電気伝導測定によって、複数ドメインの運動から単一ドメイン壁の運動による金属-絶縁体転移への変化の課程を確かめた。

このようなデバイスに加えて、今後単一ドメイン壁を制御よく注入する技術を開拓することができれば、電流パルスによるドメイン壁の位置制御の実験を行える段階に到達できると考えている。今後電流パルスを用いた実験をさらに推し進めていくことによって、当初の研究構想に対する実験的な回答が得られると考えている。