

基板上 VO₂ 薄膜の転移応力制御によるマイクロクラックの削減と転移の急峻化

Crack-free metal-insulator transition in epitaxial VO₂ films by relaxing elastic energy

東大院工¹, ○大森 康平¹, 矢嶋 赳彬¹, 西村 知紀¹, 鳥海 明¹

Univ. of Tokyo¹, ○Kohei Omori¹, Takeaki Yajima¹, Tomonori Nishimura¹, and Akira Toriumi¹

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

VO₂ は、温度や圧力の変化または電子ドーピングによって 3-4 桁の急峻な抵抗変化を示す金属絶縁体材料であり、スイッチングデバイスへの応用が期待されている[1]。バルクの単結晶 VO₂ では 0.1K ほどの非常に小さな温度変化によって急峻な転移が起こるのに対し[2]、基板上的単結晶 VO₂ 薄膜では転位欠陥を起点にマイクロクラックが生じ急峻な転移が得られないことが報告されてきた[3]。VO₂ の金属絶縁体転移を電子デバイスに応用していくためには、薄膜でマイクロクラックの生成を防ぎバルクレベルの急峻な転移を実現することが望まれる。本研究では VO₂ 薄膜のマイクロクラックの形状を統計的に調べることで、マイクロクラックの生成が転位欠陥だけでなく、転移の際の構造変化に伴う弾性エネルギーにも起因していることを明らかにした。さらに VO₂ 薄膜をワイヤ化して弾性エネルギーを緩和することで、マイクロクラックの生成を防ぎ、バルクに近い急峻な転移を実現した。

実験では、VO₂ 薄膜 (25nm) を TiO₂(001)基板上に温度 290°C、酸素圧 1Pa でパルスレーザー堆積法によって堆積した。マイクロクラックは互いに直行して薄膜を長方形に区切る (Fig. 1 画像) が、その長方形の各辺の長さ (x, y) には Fig. 1 に示すような関係性 $a/x + 4a/y < 1$ ($x > y$) があることが分かった。この関係性は近似的に弾性エネルギーの上限を表わしており[4]、ある決められた弾性エネルギーを超えるとクラックが生成することを意味している。そこで VO₂ 薄膜をワイヤ状に加工し、ワイヤに垂直方向に弾性エネルギーを緩和させれば、マイクロクラックの生成を防げるのではないかと考えた。マイクロクラックが VO₂ 成膜直後の冷却中に生じることを考慮し[5]、成膜後にワイヤ化するのではなく、Y₂O₃ のハードマスクを用いてワイヤ状に成膜を行った。2.8~19.7μm 幅の VO₂ ワイヤを作製し、Al 電極で電気抵抗を測定した (Fig. 2)。その結果、ワイヤ幅が小さくなるにつれて、マイクロクラック周辺領域に対応する高温側のなだらかな転移 (Fig. 2 両矢印) が小さくなり、2.8μm 幅のワイヤではバルクに近い急峻な転移 (0.2K で 3 ケタ近い抵抗変化) が観察された。この結果は、基板上的 VO₂ 薄膜でも、その転移応力を制御することで、バルクに近い特性を実現できる可能性を示唆している。本研究は JSPS 科研費 15K17466 および日本板硝子材料工学助成会の助成を受けて行われた。

[1] T. Yajima *et al.*, Nature Commun. **6**, 10104 (2015). [2] B. S. Mun *et al.*, Phys. Rev. B **84**, 113109 (2011).

[3] K. Kawatani *et al.*, Phys. Rev. B **90**, 054203 (2014). [4] 金多 潔, 弾性論 (コロナ社, 1973).

[5] T. Yajima *et al.*, Phys. Rev. B **91**, 205102 (2015).

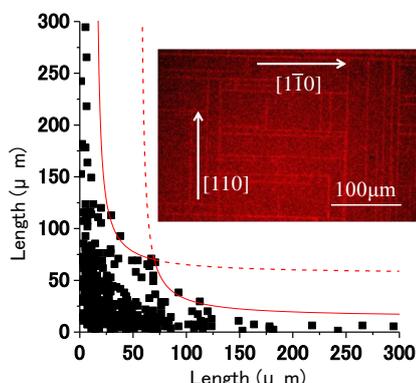


Fig. 1. Statistic distribution of rectangle sides (x, y) defined by the microcracks in VO₂ thin films. The inset is the optical microscope image of microcracks.

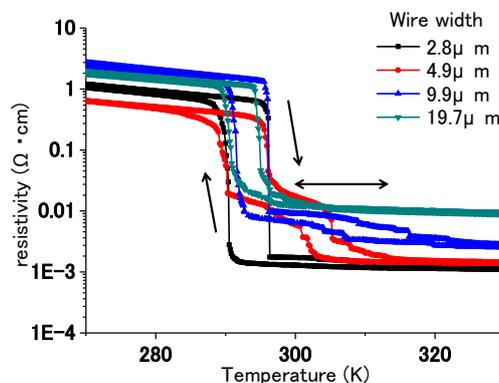


Fig. 2. Resistivity vs. temperature of VO₂ wires with four different widths.