

ルチル型 TiO_2 単結晶の酸素空孔分布制御による可逆的抵抗変化特性

Reversible resistive switching by the control of oxygen vacancy distribution in rutile TiO_2 single crystals

○(M1) 清水拓磨, 竹内正太郎, 酒井朗 (阪大院基礎工)

○Takuma Shimizu, Shotaro Takeuchi, Akira Sakai (Grad. Sch. of Eng. Sci., Osaka Univ.)

E-mail: sakai@ee.es.osaka-u.ac.jp

背景: 抵抗変化 (RS) 現象を示す TiO_2 は、メモリスタ素子材料として期待されている。メモリスタ素子の高機能化に向けて、ドーパント (酸素空孔) 分布の電界による精密制御が必要である。前回、我々は、熱還元処理したルチル型 $\text{TiO}_2(100)$ 単結晶基板上に酸素空孔分布を制御する端子を持つ 4 端子平面型素子を作製し、電極間で可逆的な RS 現象が発現すること、また、制御された酸素空孔分布を電気着色現象によって視覚的に捉えられることを報告した[1]。その一方で、ルチル型 TiO_2 単結晶は正方晶構造であるため、結晶方位は異方性を有している。この異方性が RS 特性に与える影響は、未だ明らかになっていない。今回、我々はルチル型 $\text{TiO}_2(001)$ 単結晶基板上に 4 端子平面型素子を作製し、酸素空孔分布の制御と RS 特性の評価を行った。

実験方法: ルチル型 $\text{TiO}_2(001)$ 単結晶基板に対し、真空度 10^{-6} Pa で 700°C 、6 時間の熱還元処理を行い、結晶中に酸素空孔を生成した。その後、基板表面に Pt 電極を配置し 4 端子平面型素子を作製した (図 1)。真空プローブ内において、電極 1-3 間、2-4 間に電圧 1V で流れる電流 I_{1-3} 、 I_{2-4} を計測した (手順 1)。その後、電極 1 と 3 を接地し、電極 2 と 4 に同時に電圧 $V_{2,4}$ を 100 秒間印加し (手順 2)、手順 1 の計測を行った (図 2)。電圧 $V_{2,4}$ は、1V 刻みで $0\text{V} \rightarrow 6\text{V} \rightarrow 0\text{V} \rightarrow -6\text{V} \rightarrow -1\text{V}$ と変化させ、このサイクルを繰り返した。また、電圧印加および電流計測の各段階で、光学顕微鏡を用いて素子を観察した。

実験結果: 図 2 で示した測定シーケンスを 3 回繰り返した際の印加電圧 $V_{2,4}$ に対する I_{1-3} 、 I_{2-4} の変化を図 3 に示す。1 サイクル目では印加電圧 $V_{2,4}$ を 6V まで段階的に上げることで、 I_{1-3} と I_{2-4} の急峻な増加と減少を確認した。これは、電極 1-3 間に酸素空孔が集積した低抵抗領域の形成を意味する。その後、 $V_{2,4}$ の変化に対して、電流値はほぼ一定値を保ち、 $V_{2,4}$ が -6V に達すると、 I_{1-3} と I_{2-4} の急峻な減少と増加を確認した。これは、電極 1-3 間の酸素空孔集積領域の消失と電極 2-4 間の酸素空孔集積領域の形成を意味する。その後、 I_{1-3} と I_{2-4} は一定値を示した。2 サイクル目以降では、 $V_{2,4}$ として正電圧・負電圧を順次印加することで、 I_{1-3} と I_{2-4} は可逆的な変化を繰り返す結果が得られた。発表当日は、電気着色現象による酸素空孔分布と RS 特性との関連性、および結晶方位依存性の詳細を報告する。

[1] 下谷将人ら, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 21p-H111-12.

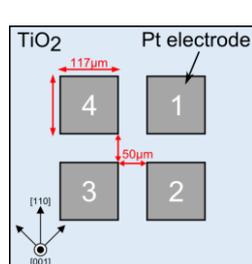


Fig. 1. A schematic of four terminal device structure.

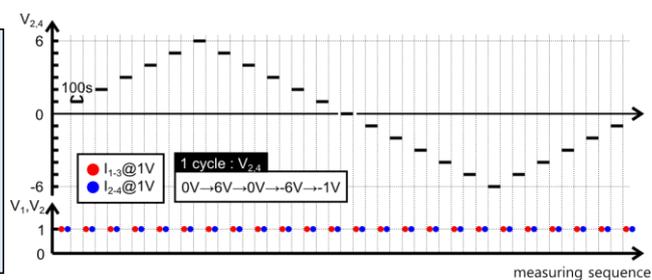


Fig. 2. Time series of the applied voltage $V_{2,4}$. I_{1-3} and I_{2-4} were measured at 1 V between respective steps of $V_{2,4}$ application.

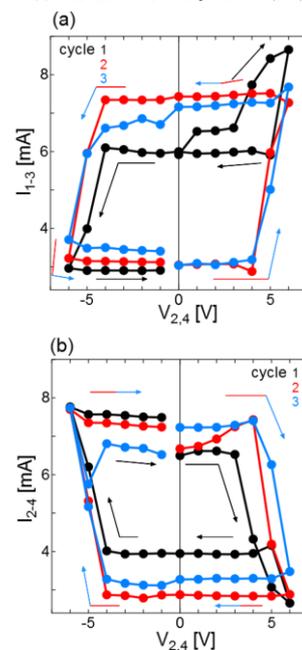


Fig. 3. Variation of (a) I_{1-3} and (b) I_{2-4} depending on V_{2-4} . Black, red, and blue indicate the number of the measurement cycle.