

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：82108

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24651173

研究課題名(和文) シナプスを模した時間ゲート電界誘起相転移スイッチの開発

研究課題名(英文) Development of time gating devices using electric field induced metal insulator transition

研究代表者

林 将光 (Hayashi, Masamitsu)

独立行政法人物質・材料研究機構・磁性材料ユニット・主任研究員

研究者番号：70517854

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：ターゲットに金属のVを用いて作製した酸化バナジウム膜については、X線回折の結果から組成がV<sub>02</sub>に近い構造のピークが何度か得られたが、再現性が非常に乏しかった。これはスパッタ中にターゲットが酸化してしまうことで、堆積する膜の酸素濃度も変わってしまうことが原因と考えられる。構造がV<sub>02</sub>に近い膜は340度付近で金属・半導体層転移することが電気伝導測定からわかった。一方、ターゲットにV<sub>205</sub>を用いると、基板温度が600度付近で、V<sub>02</sub>相に相当するX線回折ピークの強度が増加したが、均一な単相の状態を作製するのが難しく、得られた膜の電気伝導を測定すると、金属・半導体相転移の転移温度、抵抗変化が小さかった。

研究成果の概要(英文)： Vanadium oxide films were made by reactively sputtering Vanadium metal targets or Vanadium oxide targets in oxygen/Ar gas mixture. The amount of oxygen in the sputtering gas, sputtering power and substrate temperature were varied to study their influence on electronic/structural properties of the oxide film. The thickness of the oxide film was set to ~40 nm. Films were characterized using X-ray diffraction (XRD), Atomic force microscopy (AFM) and transport measurements. The oxide film made by sputtering the metal (V) target showed XRD peaks corresponding to the V<sub>02</sub> (011) peak. However, the reproducibility of the film characteristics was a large problem, which is likely to do with oxidation of the metal target. Sputtering the oxide target (V<sub>205</sub>) resulted in better reliability. XRD peaks corresponding to the V<sub>02</sub> (011) peaks were found when the substrate temperature was set near 600 C. These films showed metal-insulator transition but with a lower film quality characteristic.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学・マイクロ・ナノデバイス

キーワード：ナノ電子デバイス

## 1. 研究開始当初の背景

多数の演算を高速かつ直列的にやり、大規模な数値計算などを得意とするコンピュータに対し、人の脳は複数の情報を同時に処理する並列演算手法を用い、情報の認識や識別の能力に長けている。人の脳の情報処理を主に司っているのは、ニューロンと呼ばれる神経細胞と、ニューロンとニューロンをつなぐ、シナプスと呼ばれる部分である。1つのニューロンは個々のシナプスを介して他のニューロンとつながっており、情報の処理や記憶は複雑に絡み合ったニューロンのネットワークを通して行われている。シナプスでは主に、1つのニューロンから次のニューロンにどれだけの大きさの信号を送るかを決定する。この信号透過度が情報認識や判断などを担っているとされる。シナプスにおける信号透過度は入力された信号の到着のタイミングやその周波数によって決まる。信号自身にトランジスタなどのゲートの機能を持たせることで、いわゆる「時間」をゲートに用い、組み合わせが容易な2端子素子の形をとってネットワーク型の並列演算回路を形成する。このような時空間と実空間を共に利用して物理量を制御する仕組みは、既存の固体デバイスにおいてはほとんど例がない。

## 2. 研究の目的

本研究では、酸化物を微細加工した固体素子において、金属・半導体相転移が電場で誘起できることを利用して、時間をゲートに用いた2端子電気スイッチ作製を目指す。複数の電圧パルスを組み合わせ、それぞれの到着のタイミングや周波数で電気伝導度を制御する。電界誘起の金属・半導体相転移を実時間で測定することにより、相転移の転移時間や緩和時間などを電圧、温度に対して系統的に評価し、相転移が誘起されるメカニズムを明らかにするとともに、時間ゲートスイッチの作製を目指す。

## 3. 研究の方法

バナジウム酸化物 ( $\text{VO}_2$ ) をスパッタ法を用いて製膜した。ターゲットには金属のバナジウム (V) と酸化物の  $\text{V}_2\text{O}_5$  を用いた。スパッタはアルゴンガスに微量の酸素 ( $\text{O}_2$ ) ガスを混ぜた反応性スパッタを行った。酸素ガスの分圧比を変えることで、膜中の酸素濃度の制御を試みた。スパッタ時の基板温度は400-600程度に設定し、酸化バナジウム膜の膜厚は40nm程度とした。酸化バナジウム膜を作製後、キャップ層として酸化アルミニウム ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 膜を1-2nm程度成膜した。成膜した試料はX線回折装置や原子間力顕微鏡 (AFM) で構造評価し、組成が  $\text{VO}_2$  に近い試料は電気伝導度の温度依存性を測定した。

## 4. 研究成果

ターゲットに金属のバナジウム (V) を用いて作製した酸化バナジウム膜については、X線回折の結果から組成が  $\text{VO}_2$  に近い構造のピークが得られたが、再現性が非常に乏しかった。Fig. 1 に金属バナジウムターゲットを Ar と酸素ガス雰囲気中でスパッタした際の X 線回折強度の基板温度依存性を示す。スパッタは DC 150W、酸素分圧は~6 at%、酸化物層の膜厚は~40 nm として、基板温度を変えて成膜を行った。その結果、基板温度が~500-600 付近で  $\text{VO}_2$  の(011)ピークが X 線回折測定で観測された。しかしながら、同様の条件で再度スパッタを行うと、ピーク位置がずれ、相が変化していた。また、金属バナジウムのスパッタレートも酸化物スパッタ後 (酸化物スパッタ前: ~0.96 /s、スパッタ後: ~0.81 /s) に変化していた。これらの結果から、金属ターゲットを酸素ガス雰囲気中でスパッタすると、ターゲットが酸化してしまい、堆積する膜の酸素濃度も変わってしまうことが考えられる。

金属バナジウムターゲットを Ar と酸素ガス雰囲気中でスパッタした際の X 線回折強度のスパッタ時の酸素ガス濃度依存性を Fig. 2 に示す。酸素分圧が~6 at% のとき、 $\text{VO}_2$  相の

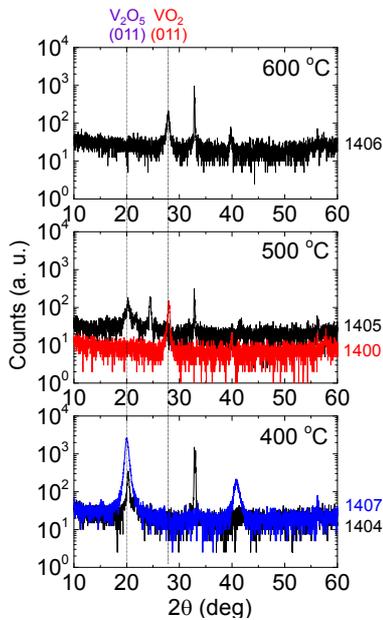


Fig. 1 金属バナジウムのスパッタにより成膜した酸化膜 (~40 nm 厚) の X 線回折強度。スパッタ条件は DC150W、酸素分圧~6 at% で、基板温度を変えた結果を示す。右の数字は試料番号を表し、若い番号の試料を先に成膜した。

(011)ピークが観測された。下段の AFM 像の結果から、酸素分圧を大きくすると表面粗さが大きくなることを見て取れる。

金属バナジウムターゲットで作製した試料の再現性が良くないので、ターゲットを酸化物の  $V_2O_5$  にして成膜を行った。Fig. 3 に酸化物 ( $V_2O_5$ ) ターゲットを Ar ガス雰囲気中でスパッタした際の X 線回折強度の基板温度依存性を示す。酸化物層の膜厚は~40 nm とした。スパッタは DC と RF の両方で行い、

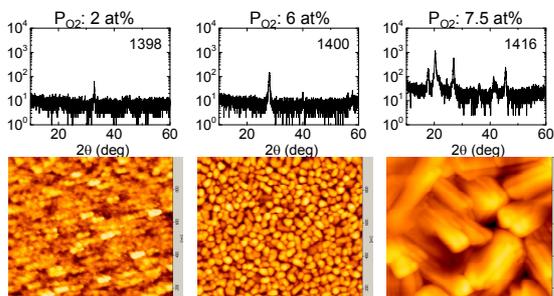


Fig. 2 金属バナジウムのスパッタにより成膜した酸化膜 (~40 nm 厚) の X 線回折強度 (上) と AFM 像 (下)。スパッタ条件は DC150W、基板温度は 500 で、スパッタ時の酸素分圧を変えた結果を示す。X 線回折図中の数字は試料番号を表す。酸素分圧~6 at% の試料 (1400) は Fig. 1 中段と同じ試料である。AFM 像の視野は 1  $\mu$ m x 1  $\mu$ m。像右下の数値は平均粗さ ( $R_a$ ) を表す。

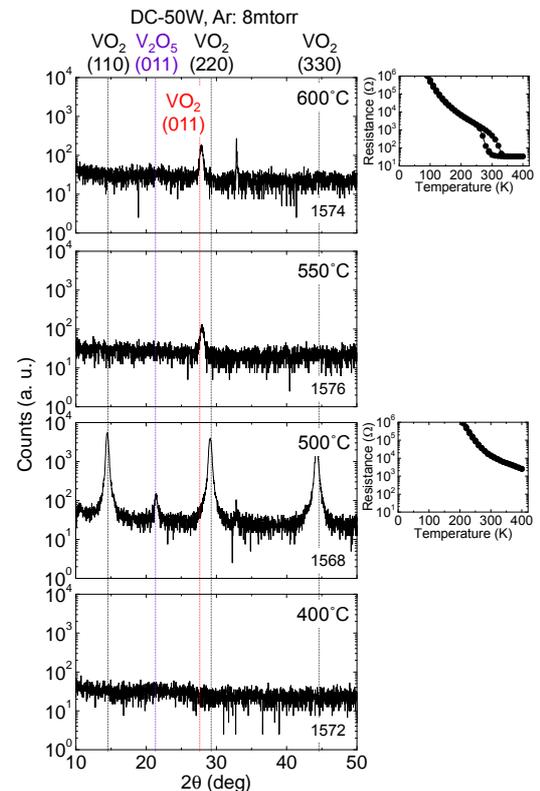
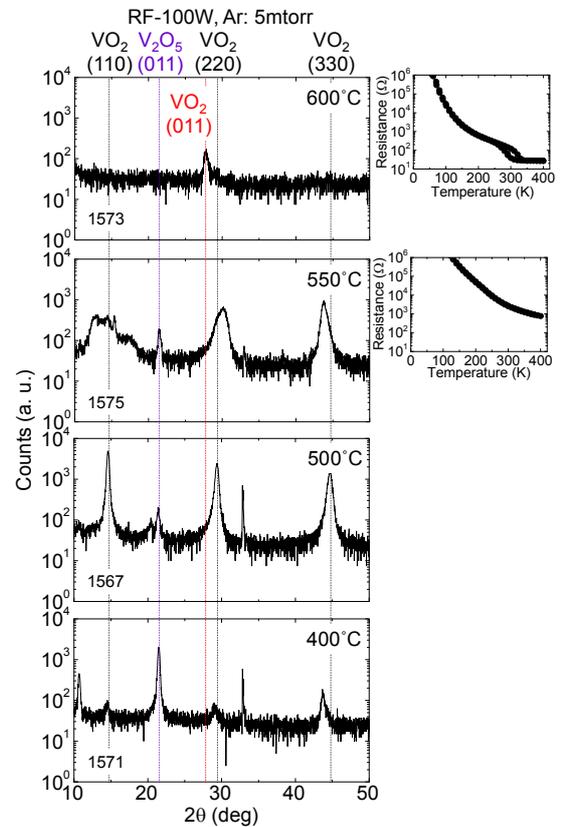


Fig. 3 バナジウム酸化物 ( $V_2O_5$ ) ターゲットのスパッタにより成膜した酸化膜 (~40 nm 厚) の X 線回折強度。スパッタ条件は RF 100 W、Ar ガス圧 5 mTorr (上段) と、DC 50W、Ar ガス圧 8 mTorr (下段)。基板を温度を変えた結果を示す。各パネル内の数字は試料番号を表す。1573, 1574, 1575, 1568 の横の図は、対応する試料の電気抵抗の温度依存性。

その比較を行った。Fig. 3 の上段は RF 100W、下段は DC 50W の結果を示す。酸素をスパッタガス中の導入した反応性スパッタも行き、その X 線回折測定も行ったが、酸素を導入していない試料の組成が VO<sub>2</sub> 相のそれに最も近かった。酸素ガスを導入しない酸化物ターゲットのスパッタでは、基板温度が~600 付近で VO<sub>2</sub> の(011)ピークが X 線回折測定で観測された。基板温度が~500 程度になると、VO<sub>2</sub> の(110)ピーク相が出現した。DC と RF スパッタには大きな相違は見られなかった。

得られた VO<sub>2</sub> 相の状態を調べるため、電気伝導の温度依存性を測定した。その結果を Fig. 3 に各 X 線回折結果の横に示す。基板温度が~600 の試料では、室温付近で明確な金属・半導体相転移が確認された。一方、基板温度を~500 程度に設定して成膜した VO<sub>2</sub> の(110)ピークを持つ膜は、~400 K まで相転移を確認できなかった。室温の抵抗が高いことから、この膜は VO<sub>2</sub> 相でなく、歪みを持つ他の高濃度酸素相である可能性が高い。

最後に、金属バナジウムターゲットと酸化物 (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ターゲットを用いて作製した試料のうち、X 線回折により明瞭な VO<sub>2</sub> 相が得られた試料の電気伝導の温度依存性測定結果の比較を Fig. 4 に示す。再現性は良くないが、金属バナジウムターゲットを酸素ガス雰囲気中で成膜した膜 (試料番号 1400) で最も大きな抵抗変化を観測できた。酸化物 (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ターゲットを用いて作製した試料は、相転移

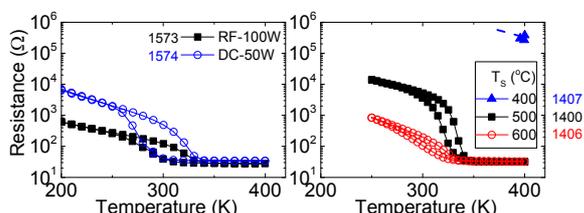


Fig. 4 (左) バナジウム酸化物 (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ターゲットの Ar ガススパッタと、(右) 金属バナジウムターゲットの酸素・Ar ガス反応性スパッタにより成膜した酸化膜 (~40 nm 厚) の電気抵抗の温度依存性。左図の基板温度は 600 、右図のスパッタ条件は DC150W、酸素分圧~6 at%。各パネル内の数字は試料番号を表す。

温度、抵抗変化率がともに小さく、他の相が共存しているか、VO<sub>2</sub> 相の均一性が良くないことが予想される。

VO<sub>2</sub> 単相が得られる成膜条件等の更なる最適化を行う必要があり、今後の課題とする。また、電界誘起の相転移の観測が次の課題となる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 0 件)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]  
出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等

<http://www.nims.go.jp/apfim/spin/index.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 将光 (HAYASHI, Masamitsu)

物質・材料研究機構・磁性材料ユニット・主任研究員

研究者番号：70517854

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者  
( )

研究者番号：