

課題番号	: F-14-UT-0102
利用形態	: 機器利用
利用課題名(日本語)	: 鉄系酸化物半導体トンネル接合素子形成
Program Title (English)	: Fabrication of tunneling devices based on iron oxide semiconductors
利用者名(日本語)	: 高橋雅尚, 山原弘靖, 関 宗俊, 田畑 仁
Username (English)	: M. Takahashi, H. Yamahara, M. Seki, H. Tabata
所属名(日本語)	: 東京大学大学院工学系研究科
Affiliation (English)	: Graduate School of Engineering, The University of Tokyo.

1. 概要(Summary)

本研究では酸化物材料に着目し、次世代メモリデバイスとして期待されている MRAM に応用可能な磁気トンネル接合(Magnetic Tunnel Junction: MTJ)素子をスピネル型フェライトをベースとして作製することを目的としている。さらに付加的な機能として、スピングラスというスピンのランダムな状態で凍結している磁性体を用いて MTJ 素子を作製し、新しい機能を有するスピングラスデバイスの基盤技術を実施した。

2. 実験(Experimental)

試料の作製には、パルスレーザー蒸着(Pulsed Laser Deposition: PLD) 法を用いた。ターゲットには Fe_2O_3 (純度: 99.99%), CoO (純度: 99.9%) 粉末を適切な割合で混合して 1200°C で 10 時間加熱し焼結体としたものを用いた。基板には $\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$ を使い、周波数、レーザーフルエンス、成膜温度、雰囲気ガス圧はそれぞれ 5 Hz, 50 mJ/cm², 500°C , 1×10^{-4} Pa とした。PLD 法により薄膜を堆積させる前に、サファイア基板の表面をアニールすることにより原子レベルで平らにした。アニールの温度、時間はそれぞれ 1100°C , 8 時間である。表面平坦後の原子間力顕微鏡(atomic force microscopy: AFM)像によりステップが確認でき、ステップ高さが $\sim 12 \text{ \AA}$ とサファイアの原子層に対応しており、サファイア基板の表面が原子レベルで平らになっていることが分かる。コバルトフェライト $\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ の組成としては、従来よりも Co 濃度を減らした $x = 0.5$ の $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$ と、雰囲気ガス圧を 1×10^{-6} Pa にして成膜した $x = 1$ の CoFe_2O_4 を用意した。これらの薄膜の評価方法として、AFM により表面分析を、X 線回折装置(x-ray diffraction : XRD)により構造分析を、X 線光電子分光(X-ray Photoelectron Spectroscopy : XPS)により化学結合状態分析を、超伝導量子干渉素子(Superconducting QUantum Interference Device : SQUID)により磁気特性を、物性測定装置(Physical Properties Measurement System: PPMS)により電気特性を測定した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

Fig. 1に SQUID により測定した $\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ 薄膜($x = 0, 0.5$ and 1.0) の磁化-磁場特性を示す。ここには 100 K しか示していないが、300 K においてもきれいなヒステリシス曲線と熱残留磁化が観測され、コバルトフェライトが室温以上の高い転移温度を示すフェリ磁性体であることが確認できた。 $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$ ($x = 0.5$) の保持力は 100 K で 6.5 kOe であり、 Fe_3O_4 ($x = 0$, $H_c \sim 0.75$ kOe at 100 K) のものよりも十分大きな値となっている。これは Co^{2+} の

磁気異方性が大きいからであり、この値は Co 濃度が高いほど大きくなる。また、すべての薄膜で実験結果より求めた飽和磁化の値が理論値よりも小さい値となった(例: $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$ において実験結果より求めた飽和磁化の値が $3.04 \mu\text{B/f.u.}$ なのに対し、理論値は $3.5 \mu\text{B/f.u.}$)。この原因としては逆位相境界(anti-phase boundary: APBs)における反強磁性的な結合によるものと説明できる。逆位相境界は成膜中に形成される構造欠陥で、PLD 法によって作製された別のフェライト薄膜においても同様の報告がなされている。

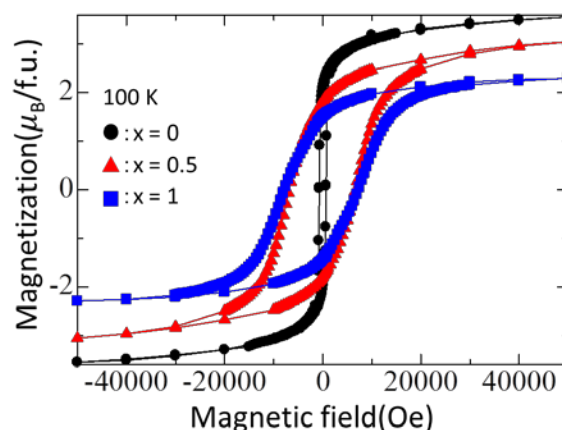


Fig. 1 Magnetization as a function of the magnetic field for the $\text{Co}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ films at 100K ($x=0, 0.5$ and 1.0).

4. その他・特記事項(Others)

・本研究の一部は科研費基盤研究 S「生体ゆらぎに学ぶゆらぎエレクトロニクス」および、(独)日本学術振興会の「研究拠点形成事業(A.先端拠点形成型)」の助成を得て遂行された。

・共同研究者: アークレイ(株) 青木一良様

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

(1) M. Takahashi, T. Ohshima, H. Yamahara, M. Seki, and H. Tabata, "Highly spin-polarized current in Co-substituted Fe_3O_4 epitaxial thin films at room temperature" J. Appl. Phys. 116, 213907 (2014).

(2) 第 62 回応用物理学会春季学術講演会(東海大学 湘南キャンパス), 平成 27 年 3 月 12 日. 田畑 仁

6. 関連特許(Patent)

なし