

プログラム名：無充電で長期間使用できる究極のエコ IT 機器の実現

PM 名：佐橋 政司

プロジェクト名：交差相関電圧書込み磁気記録

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 8 年 度

研究開発課題名：

高性能電気磁気効果薄膜材料の開発

研究開発機関名：

東北大学 大学院・工学研究科

研究開発責任者

野崎 友大

# I 当該年度における計画と成果

## 1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

「Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜における電圧書き込み動作温度の向上法の開発」では $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ヘテロ構造を用いたスピンの相関増強によるCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜のネール温度の向上(ネール点のバルク値307K以上)に取り組むとともに、膜厚が薄くなっても特性を維持できるようにCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の磁気異方性の向上に取り組む、実用に供する動作温度の実現を目指す。

「Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/強磁性体金属積層膜への局所電圧書き込みの実証」では現在大きな問題となっているCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜における書き込み電圧の増大の原因を解明し、実デバイスでの駆動が可能となる、1V以下での書き込みを目指す。

## 2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

### 2-1 進捗状況

「Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜における電圧書き込み動作温度の向上法の開発」では $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ヘテロ構造の特性理解に注力し、Irをドーピングした $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜表面に垂直方向の交換結合を誘起しうることを示し、また、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜のスピンの相関長を調べることに実験的に成功し、 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ヘテロ構造によるスピンの相関増強と動作温度向上への大きな課題が高品質な極薄Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜の作製にあることを導き出した。さらに、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>へのAlドーピングによる磁気異方性の1桁以上の増大を実証した。これら知見は動作温度向上を実現する上で非常に重要であり、大きな進捗が得られた。

「Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/強磁性体金属積層膜への局所電圧書き込みの実証」では、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜の膜厚が薄くなるほど書き込み電圧が増大するという問題の解決に取り組む、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>への磁化の付与によって書き込み電圧を低減することができることを示し、さらに、書き込み電圧低減に必要な磁化の付与と制御が可能なCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜材料をドーピングにより開発することに成功した。これにより、実用に供する数十ナノメートルの膜厚のCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜を用いた低電圧(1V以下)書き込みが可能となり、実デバイスでの駆動が現実のものとなった。このことから、当初の想定以上の進捗が得られた。

### 2-2 成果

「Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>薄膜における電圧書き込み動作温度の向上法の開発」では、 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>ヘテロ構造によるスピンの相関増強の実現に向けて、 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>およびCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の極薄膜の特性理解に取り組んだ。まず、 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の表面において垂直方向の磁気結合が得られるかどうかを確認するため、 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Co構造で垂直方向の交換バイアスが得られるかを調べた。これまで、 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/強磁性体構造では、垂直方向の交換バイアスは報告されてこなかったが、我々は $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に代わりIrをドーピングしたFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(前年度の成果で400Kまで垂直スピン構造を持つことを確認)を用いることで、世界で初めて、垂直交換バイアスの観測に成功した。これにより、IrドーピングFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>界面において垂直方向の磁気結合が存在し、スピンの相関の増強が起こりうることを確認できた。次に、ヘテロ構造におけるCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の膜厚を設計するため、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のスピンの相関長(スピンの相関増強効果が得られる距離に対応)をCr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>極薄膜のネール温度の有限サイズスケール効果を調べることで実験的に求めた。得られたスピンの相関長は0.5nm程度であり、1nm程度の周期の多層膜構造を作製することでスピンの相関増強が得られることがわかった。これらの結果により、課

題が高品質な $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  界面の作製にあることが明らかになり、材料開発の方針が明確になった。さらに、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  の磁気異方性向上に取り組み、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  薄膜に Al ドープを行うことで、1 桁程度の磁気異方性の向上が得られることを明らかにした。これにより、総膜厚を数十 nm まで低減しても十分な熱安定性が得られる  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  薄膜を開発できた。以上の結果から、 $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  の材料特性の改善が得られたため、高品質界面を実現することで動作温度を向上させることができるという道筋が得られた。

「 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ /強磁性体金属積層膜への局所電圧書き込みの実証」では、本研究者らが  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  薄膜を用いて世界に先駆けて磁化の電界制御に成功したが、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  の膜厚が減少するにつれて反転に必要なエネルギー（電界と磁界の積：EH 積）が大きくなってしまふことが実応用の可否に関わる大きな問題となっていた。本研究ではこの EH 積の増大の原因が情報の読み出しに必要な強磁性体との間の交換バイアスにあることを突き止め、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  に磁化を付与して交換バイアスのエネルギーを  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  磁化のゼーマンエネルギーで相殺することによって EH 積を下げるという方法を提案し、実験的に 2 桁程度の EH 積の低減を実証することに成功した。さらに、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  の膜厚が小さくなるほど交換バイアスのエネルギーを相殺するのに必要な磁化が大きくなるが、ドーピングによる  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  の磁化の制御を実現し(図 1)、実用に必要となる数十ナノメートルの  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  薄膜でも小さな EH 積で反転を起こせる材料の開発に成功した。これにより、1V 以下での電圧による書き込みが可能となり、実デバイスへの組み込みが可能となった。

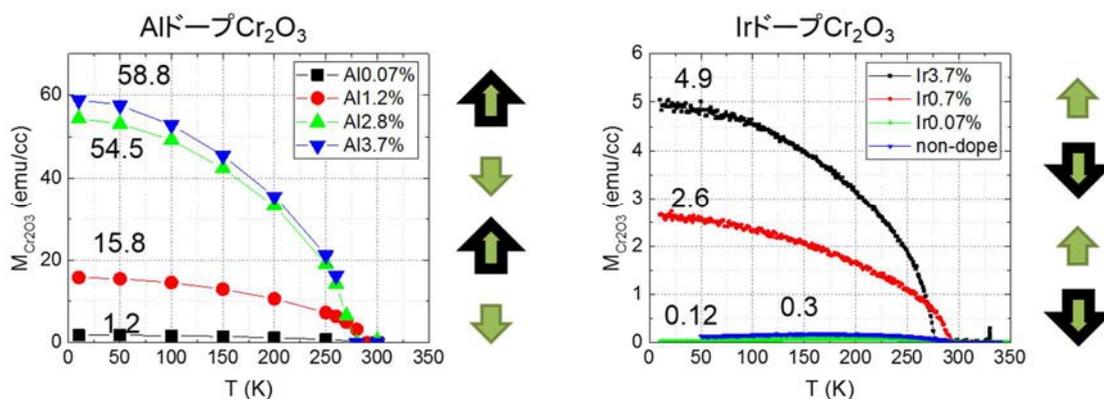


図 1. Al ドープと Ir ドープによる  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  への磁化の付与と制御. ドープ量によって磁化の大きさを、ドープ種によって磁化の向きを制御できる。

### 2-3 新たな課題など

これまでの成果により、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  の電気磁気効果を用いた磁化反転の物理解明と材料特性の向上は大いに進んだ。これまで特に膜厚の厚い(数百ナノメートル)領域において高品質  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  薄膜を作製してきたが、さらなる調査と実応用に向けては、極薄の  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  薄膜の特性がより重要となる。このような高品質な極薄  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  薄膜および $\alpha$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Cr}_2\text{O}_3$  界面の作製技術の開発が今後の課題となる。

### 3. アウトリーチ活動報告

該当なし