

平成27年3月31日

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プロジェクト

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 ( 成 果 )

平成26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：

国立大学法人名古屋工業大学

研究開発責任者

壬生 攻

## 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

東北大学で作製された反強磁性薄膜の磁気物性の評価を、国内有数のメスバウアー分光拠点である名古屋工業大学にて、メスバウアー分光測定により推進していく。当該期間にはまず、 $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  薄膜や他元素ドーピング  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  薄膜に対し、磁気転移温度や磁気異方性や局所磁化などの磁気物性の膜厚依存性およびドーピング元素依存性・ドーピング量依存性を探っていく。得られた磁気転移温度や磁気異方性の情報を試料作製にフィードバックし、薄膜材料特性の改善に貢献する。一方、東北大学とは異なる薄膜作製手法であるパルスレーザー堆積法を用いて  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  などの反強磁性薄膜を作製し、新たな磁気特性制御法の開発を試みる。ここでも、磁気物性評価にメスバウアー分光法を有効利用する。

### 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

東北大学で作製された  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  反強磁性薄膜および Ir ドーピング  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  反強磁性薄膜の磁気物性(磁気転移温度や磁気異方性や局所磁化など)を、 $^{57}\text{Fe}$  メスバウアー分光測定により探った。得られた情報を東北大学での試料作製にフィードバックすることにより、薄膜材料特性の改善に貢献した。

一方、名古屋工業大学にて、東北大学とは異なる薄膜作製手法であるパルスレーザー堆積法を用いて  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  薄膜および Sn ドーピング  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  薄膜を作製し、メスバウアー分光法を利用して磁気特性を調べた。

#### 2-2 成果

交差相関電圧書込みの実現に向けて鍵となる反強磁性物質  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  は、室温付近で反強磁性から常磁性に相転移するため、実用に向けて、より高温まで反強磁性秩序を安定化させる必要がある。そのため的手段として、高い反強磁性転移温度をもつ  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  の薄膜との積層化が有望である。通常の  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  では反強磁性磁気モーメントが室温付近で六方晶の c 面方向にあるため、反強磁性磁気モーメントが六方晶の c 軸方向にある  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  の特性を活かすためには、 $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  の反強磁性磁気モーメントを c 軸方向に制御する必要がある。そこで、東北大学を中心に、他元素置換による  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  薄膜の磁気異方性制御が検討されている。しかるに、実用レベルの薄い反強磁性体薄膜の磁気モーメントの方向を直接実験的に調べるのは容易ではない。名古屋工業大学では、原子核による X線吸収スペクトルより原子核を取り巻く電子の磁気モーメントの大きさと方向を調べることができるメスバウアー分光法を用いて、東北大学で作製された  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  反強磁性薄膜および Ir ドーピング  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  反強磁性薄膜の磁気物性を調べた。

まず、比較的厚い 100 nm および 250 nm の  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0001) 薄膜の室温における反強磁性磁気モーメントの方向を調べた。これらの試料においては、予想通り磁気モーメントが室温で面内方向にあるという結果が得られた。一方、Ir を 1 at% ドーピングした厚さ 250 nm の  $\gamma$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0001) 薄膜に対しては、磁気モーメントが垂直に向いていることを明確に示すデータが得られた。さらに、実用レベルの厚さ 20 nm の試料に対しても同様の結果が得られた。また、Ir のドーピング量を 25 at% まで増した場合、Fe

サイトの局所的な磁気環境に乱れが生じるものの、垂直磁気モーメントの発現は維持されることがわかった。さらに最近の実験では、Ir をわずが 0.1 at% だけドーピングした場合にも垂直磁気異方性が発現することが示されつつある。これは驚くべき結果であり、その発現機構には応用上のみならず基礎研究上からも興味をもたるところである。これらの研究成果の一部は、東北大学との共同で、1 報の学術論文および 1 件の国内学会口頭発表として公表済みである。

東北大で作製された試料の評価と並行し、名古屋工業大学にてパルスレーザー堆積法を用いて  $\text{-Fe}_2\text{O}_3$  薄膜および他元素ドーピング  $\text{-Fe}_2\text{O}_3$  薄膜を作製し、メスbauer分光法を利用して磁気特性を探った。ドーピング元素として、まずは Sn を試みた。Sn は Fe と並んでメスbauer分光法の適用が比較的容易な元素で、将来的に  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  にドーピングした Sn のメスbauer分光測定を通じて  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  の反強磁性秩序の同定を行っていくことを見据えた実験である。メスbauer分光測定の結果、Sn 5 at% ドーピング  $\text{-Fe}_2\text{O}_3$  薄膜、10 at% ドーピング  $\text{-Fe}_2\text{O}_3$  薄膜ともに垂直磁気モーメントを示さず、これまでのところ Ir ドーピングとは対照的な結果となっている。今後さらなる条件探査が求められる。

### 2-3 新たな課題など

東北大で作製された  $\text{-Fe}_2\text{O}_3$  系薄膜のメスbauer分光法による評価は、これまでの測定とデータ解析によりノウハウが蓄積され、十分に軌道に乗っている。実用レベルの薄い薄膜試料は、試料中の  $^{57}\text{Fe}$  原子核の量が少なく、測定に 1 週間以上の時間を要する。今後、自然 Fe 中の含有量が 2.2% しかない  $^{57}\text{Fe}$  メスbauer核をより多くエンリッチした Fe 原料を用いた試料作製も検討していく必要があると考えられる。一方、わずが 0.1 at% の Ir ドーピングで  $\text{-Fe}_2\text{O}_3$  に室温で垂直磁気モーメントが誘起されるという現象は、これまでの常識を覆すもので、今後、実験の再現性確認やさらなる精密化をはかっていくとともに、理論グループと提携して機構解明を進めていく必要があると考える。

パルスレーザー堆積法を用いた名古屋工業大での試料作製に関しては、まだ研究が緒に就いたばかりであり、当面は Sn ドーピングを中心に考えていくが、しかるべきタイミングで、他元素置換を考えていく必要があると考える。

## 3 . アウトリーチ活動報告

該当なし