

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 2 7 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

佐橋 政司

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

「Cr₂O₃ 薄膜における電圧書込み動作温度の向上法の開発」ではスピン相関長の利用による Cr₂O₃ 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。その実現に向けて、Cr₂O₃ および α -Fe₂O₃ の磁気異方性の制御法の確立に取り組み、10⁷erg/cc 台の磁気異方性の実現可能性を示す。

「Cr₂O₃/強磁性体金属積層膜への局所電圧書込みの実証」では、交差相関係数(電気磁気効果係数)の温度依存性、書込み電圧の温度依存性、交換結合バイアスとの関係、Cr₂O₃ 薄膜の磁気異方性との関係を詳しく調べるとともに薄膜の電気特性や素子化プロセス、素子構造と有効電界との関係を調べることで、現在等温下での電圧(電界)による磁化反転に必要な電圧(~100V)を一桁下げる。

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

「Cr₂O₃ 薄膜における電圧書込み動作温度の向上法の開発」では、ドーピングによる Cr₂O₃ および α -Fe₂O₃ の磁気異方性の制御法を確立することに成功したことでスピン相関長の利用による Cr₂O₃ 薄膜のネール温度向上の準備が整い、当初の予定通りの進捗が得られた。

「Cr₂O₃/強磁性体金属積層膜への局所電圧書込みの実証」では、Cr₂O₃ 薄膜の交差相関係数(電気磁気効果係数)の温度依存性を世界で初めて測定することに成功し、これにより書込み電圧と交換結合バイアスとの関係を精査することができた。また、得られた知見を利用することで、書込みエネルギーを低減させる方法を新たに提案し、実際に書込みエネルギーの 1 桁以上の低減も実証することができた。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

「Cr₂O₃ 薄膜における電圧書込み動作温度の向上法の開発」では、小田らによって理論的に示された α -Fe₂O₃/Cr₂O₃ 積層構造のスピン相関増強を利用した Cr₂O₃ 薄膜のネール温度向上に向けて必要となる、高い垂直磁気異方性を有する Cr₂O₃ 薄膜および、400K 以上のモーリン温度を有する α -Fe₂O₃ 薄膜の開発を行った。Cr₂O₃ の場合は、ある元素を置換することにより、Cr₂O₃/Co 交換結合膜において、垂直交換バイアスの絶対値とブロッキング温度の著しい増大がみられた(図 1)。また、この増大効果は元素置換量を増やすにつれて大きくなった。この結果は、Mauri のモデルや Meiklejohn-Bean のモデルによると、Cr₂O₃ の磁気異方性が向上していることを示しており、異種元素置換による磁気異方性の向上に成功した。 α -Fe₂O₃ の場合は、モーリン温度 T_M(バルクの場合は T_M~260K)にて面直スピンから面内スピンへのスピン再配列(モーリン転移)が起こることが問題となっていたが、少量の Ir を置換することでこのモーリン温度を 400K 以上に向上させることに成功した。 α -Fe₂O₃ 薄膜のモーリン温度の評価は容易ではないが、我々は放射光全反射メスバウアー分光(Grazing Incidence Synchrotron Radiation Mössbauer Spectroscopy : GISRMS)を用いることで、たった 0.1atm% Ir をドーブした 20nm の α -Fe₂O₃ 薄膜のモーリン温度が 400K 程度となっていることを明らかにした。Cr₂O₃ の場合も α -Fe₂O₃ の場合も、異種元素置換効果の解明という課題は残るものの、 α -Fe₂O₃/Cr₂O₃ 積層構造に用いるのに適した材料を開発することに成功し、予定通りの進捗が得られた。

「Cr₂O₃/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 Cr₂O₃ 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、Cr₂O₃ 薄膜を用いた系では Cr₂O₃ バルク単結晶を用いた系と比べ反転に必要なエネルギー(電界と磁界の積: EH 積)が 2-3 桁大きくなってしまったという問題が生じ、その原因究明と反転エネルギーの低減が大きな課題となっていた。この課題に対し、我々は Cr₂O₃ 単体薄膜の特性と Cr₂O₃/Co 交換結合膜の特性をそれぞれ詳しく調べることで課題の解決に当たった。これまで Cr₂O₃ 単体薄膜の電気磁気特性を測定することは精度が足りず難しかったが、我々はロックイン検波を用いた測定系を構築することで、高精度に電気磁気係数 α の温度依存性を世界で初めて測定することに成功し、Cr₂O₃ バルクと薄膜とで電気磁気特性に大きな違いがないことを明らかにした。また、ここから得られた知見から Cr₂O₃/Co 交換結合膜の反転エネルギーを下げる方法を見出し、実際に反転エネルギーの 1 桁以上の低減を実証することに成功し、当初の想定以上の進捗が得られた。

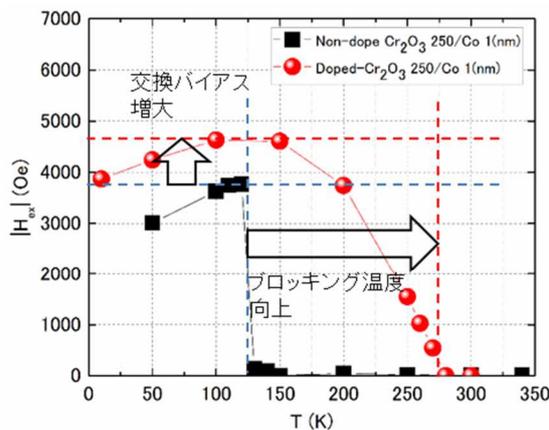


図1. 置換無し試料(黒)と元素置換試料(赤)の交換バイアスの温度依存性. 置換試料で交換バイアスとブロッキング温度の増大が得られた。

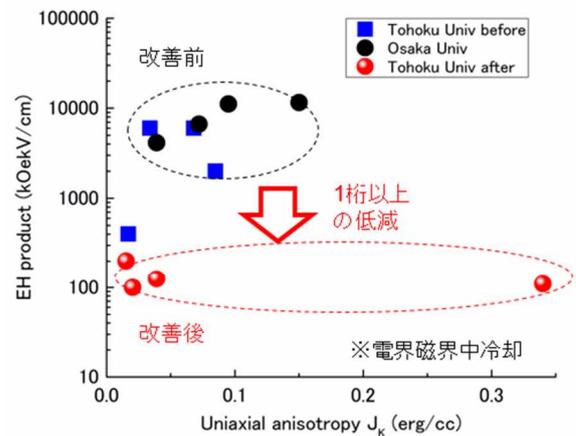


図2. 電界磁界中冷却による磁化の電界反転の反転エネルギーの交換バイアスの大きさ依存性. 今年度の成果により、1桁以上の反転エネルギーの低減が得られた。

2-3 新たな課題など

研究を進める中で、Cr₂O₃ や α -Fe₂O₃ 薄膜の特性改善に異種元素置換が極めて有効であることがわかってきたが、なぜ、ごく少量の異種元素置換でもこれほどまで大きな特性変化(例えば垂直磁気異方性の向上)が引き起こされるのか、また、どのような元素が有効であるかについて、未だ知見が得られていない。さらなる材料特性の向上のためにも、異種元素置換の効果解明が新たな課題として生じた。

3. アウトリーチ活動報告

該当なし