

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 2 6 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

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

平成 26・27 年度の研究開発課題の目標は、1) 格子ひずみの効果も考慮しつつ、 α -Fe₂O₃/Cr₂O₃ 構造によるスピン相関長の増大と Cr₂O₃ および α -Fe₂O₃ の磁気異方性の制御法の確立によるネール温度および磁気異方性の向上の実現可能性を示すこと、2) Cr₂O₃/強磁性体金属積層膜への局所電圧書き込みの実証に向けて Cr₂O₃ 薄膜の電気磁気効果を用いた磁化の電界制御を達成するとともに、磁化の電界制御に必要な閾値電圧を低減することである。

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

α -Fe₂O₃/Cr₂O₃ 積層構造界面におけるスピン相関を利用した Cr₂O₃ のネール温度の向上(すなわち Cr₂O₃ の電気磁気効果を用いた磁化の電界制御動作温度の向上)には、高いネール温度を持つ α -Fe₂O₃ 層が十分に高い温度まで膜面垂直方向のスピンを保っていることが求められ、1nm ほどの薄い膜厚の Cr₂O₃ においても強磁性 Co との界面に十分な交換バイアス磁界が働くような大きな垂直磁気異方性が Cr₂O₃ に求められる。また、 α -Fe₂O₃ と Cr₂O₃ の格子定数の違いにより生じる格子ひずみの効果も明確にしておく必要がある。H26 年度は、 α -Fe₂O₃/Cr₂O₃ 積層構造界面におけるスピン相関を利用した Cr₂O₃ のネール温度の向上(すなわち動作温度の向上)の実現に向けて、 α -Fe₂O₃ バッファ層による格子ひずみの効果を精査し、Cr₂O₃ のネール温度およびプロッキング温度(磁気異方性)に与える影響を明らかにするとともに、 α -Fe₂O₃ への 5d 元素の微量ドーピングにより垂直磁気異方性が劇的に向上し、室温以上でも膜面垂直スピンを示す α -Fe₂O₃ が得られることを示した。以上、平成 26 年度は α -Fe₂O₃/Cr₂O₃ 積層構造界面におけるスピン相関を利用した Cr₂O₃ のネール温度の向上に向けての大きな課題であった、 α -Fe₂O₃ の垂直磁気異方性の制御などに成功し、本研究開発課題の解決に向けて、一歩前進した。平成 27 年度以降は、本研究開発課題解決のために改造を進めているスパッタ装置を用いて、Cr₂O₃ の動作温度の向上を実現する。

Cr₂O₃/強磁性金属積層膜への局所電圧書き込みの実証に向けては、まずは最初の大きな壁であった Cr₂O₃ 薄膜において、室温付近の等温下で Cr₂O₃ の反強磁性ドメインを反転させることと、交換バイアスを介して強磁性転写層へ情報を転写することに成功した。このことから、原理的に、Cr₂O₃ 反強磁性層への電界による書き込みが可能であることが示された。ただ、当初、Cr₂O₃ の形態を 0.5mm 程度のバルク体から数百 nm 程度の薄膜に変えることで膜厚が 1/1000 程度になるため、書き込みに必要な電圧が劇的に下がることを期待していたが、薄膜で得られている書き込み電圧はバルク体から 1 桁程度しか下がっていない。電界効果の指標である電気磁気感受率(α)を、500nm 厚の薄膜で測定した結果では、バルク値との違いは認められず、なぜ書き込み電圧が単純に下がっていないかは、実験手法の検証も含めて、物理的解明が必要であるという新たな課題が生じた。新たな課題は生じたものの、Cr₂O₃ 反強磁性体薄膜に対する書き込みおよび読み出し動作に成功したことは、大きな前進である。今後は「局所」書き込みの実証に向けた取り組みを進めていく。

2-2 成果

Cr₂O₃ 薄膜の磁気特性に対する α -Fe₂O₃ バッファによる格子ひずみ導入の影響

Pt、 α -Fe₂O₃ など異なるバッファ層を用いて作製した Cr₂O₃ に対して磁気特性の評価を行い、 α -Fe₂O₃ のような a 軸長が伸びるような格子ひずみを加えると、Cr₂O₃ の磁気異方性は向上するがネール温度が下がってしまうというトレードオフの関係があることがわかった。しかしながら磁気異方性の増加量に比べネール温度の減少量は小さく、 α -Fe₂O₃/Cr₂O₃ 積層構造によるスピン相関の利用によるネール温度の向上および Cr₂O₃ の磁気異方性の向上の観点からは、有益な結果が得られたものとする。また、 α -Fe₂O₃ の格子定数は Ir ドープにより調整でき、磁気異方性とネール温度のトレードオフの度合いも制御可能であることを示した。

Ir ドープによる α -Fe₂O₃ の垂直磁気異方性の向上

α -Fe₂O₃ にはモーリン温度と呼ばれるスピン再配列温度が存在し、その温度以上ではスピンの面内に向いてしまう(垂直スピンの得られない)ということが、 α -Fe₂O₃/Cr₂O₃ 積層構造界面のスピン相関の利用のうえで大きな問題となっていた。我々は、スパッタ法で Ir をドープした α -Fe₂O₃ を作製し、1%以下の Ir の微量ドープでも劇的に垂直磁気異方性が向上し、400K 以上まで垂直スピンの維持される α -Fe₂O₃ を得ることに成功した。このドーピング効果は、Ir ドープ量がごく微量の 0.1% から 25% の広い領域で得られている。現在このメカニズムは明らかになっていないが、これを明らかにすることで、単に α -Fe₂O₃ の特性改善のみにとどまらず、同様の方法が Cr₂O₃ の磁気異方性向上にも応用できることが期待される。

Cr₂O₃ 薄膜への電界による書き込みと強磁性転写層への転写

これまで、バルクを用いた系でしか Cr₂O₃ の電気磁気効果は観測されておらず、これを薄膜で実現することが大きな課題であった。我々は磁気特性と電気特性の大幅な改善と、Cr₂O₃/強磁性転写層の間のスペーサーの検討により、世界に先駆けて、室温等温下で電界による Cr₂O₃ ドメインの反転と強磁性転写層の 180°磁化反転を実証することに成功した。この電気磁気効果を用いた反転では、電界の向きを 180°反転させることで、それに伴い強磁性転写層の磁化も 180°反転し、かつ不揮発性も有しているという、ハードディスクドライブの媒体応用に適した特性を示す。

2-3 新たな課題など

我々は、ハードディスクドライブの媒体に組み込むことができる形態であることと、書き込みの電圧を下げられることの 2 点を期待して、Cr₂O₃ 薄膜において電界による強磁性転写層の制御に取り組み、それを実証することに成功したが、後者の書き込み電圧に関しては、当初の期待ほどの低下が得られていない。膜厚がバルク体の 0.5mm 程度のバルク体から数百 nm 程度の薄膜に変えることで膜厚が 1/1000 程度になるため、必要な電界強度が同じであれば書き込みに必要な電圧も 1/1000 程度になるはずだが、現状では 1 桁程度しか低減されていない。この原因を、実験手法の検証も含め、書き込み電圧がどのようなパラメータで決まっているかの物理精査と、バルク体と薄膜体で何が変化しているかの調査により明らかにし、さらなる書き込み電圧の低減を目指すという新たな課題が生じた。この課題に対しては、電界・磁界中冷却での結果ではあるが、通常とは逆方向に交換バイアスが働く「正の交換結合」の導入で、電界と磁界の積である EH 積が 5 分の 1 程度まで低減できることが判っており、この解明も含めて検討を進めて行く。

3. アウトリーチ活動報告

特になし。