

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 27 年度

研究開発課題名：

交差相関係数増大法の開発

研究開発機関名：

国立大学法人 大阪大学 大学院基礎工学研究科

研究開発責任者

木村 剛

# 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

$\text{Cr}_2\text{O}_3$  はネール温度 307 K を持つ反強磁性体であり、この温度以下で 1 次の電気磁気効果を示す希少な物質である。 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  における電気磁気効果を利用して反強磁性ドメインの電場によるスイッチングを行えば、交換バイアス効果によって隣接する強磁性層の磁化反転を行うことができ、電圧書き込み型の磁気記録の実現が期待される。しかし、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  の電気磁気効果は室温で動作するということは言えるが、上限 307 K という動作温度は実用上耐えないものであり、さらなる動作温度の向上が望まれる。小田、今村らの理論計算 [Y. Kota et al., Appl. Phys. Express 6, 113077 (2013) など] によれば、格子歪みがネール温度に大きく影響することが予測されている。それによると、六方晶表記の c 軸を縮め、a 軸を伸ばすようなひずみを与えた場合には転移温度は減少し、c 軸を伸ばし、a 軸を縮めるようなひずみを与えた場合には転移温度は増加するという結果が得られている。そこで、格子歪みがネール温度に対して如何に影響するかを実験的に評価するため、バルク単結晶試料における一軸圧印加の効果を検証した。このため、平成 26 年度より一軸圧下での物性測定を行うための新たな実験環境を構築してきたが、この測定系を用い、さらに平成 26 年度の成果でも示した本研究室でフラックス法により育成された  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  単結晶試料を用いて、一軸圧力下における磁気誘電特性の測定を行い、そこで観測されるネール温度における異常から、ネール温度を評価し、一軸圧環境下における転移温度の変化を評価した。加えて、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  以外の室温でバルク特性として電気磁気効果を示す物質の探求を進める意図で、六方晶フェライト類似の物質を中心に新規の室温動作電気磁気効果を示す材料の開発を試みた。

## 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

平成 26 年度から構築を進めてきた一軸圧プローブの構造を図 1 に示す。ステッピングモーターの回転動力をロールギアによってヘリカルギアの垂直動力に変換する機構となっている。プローブの耐久性等を考慮し、発生可能な最大応力は 5000 N に設定されている。このプローブを既存の超伝導マグネットに導入することにより、様々な温度 (5~400K) ・磁場環境下 (0~9T) の誘電率、電気磁気効果の測定が可能となった。この一軸圧プローブを用いて、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$  単結晶試料のネール温度の一軸圧依存性を評価した。

加えて、 $(\text{Ba}, \text{Sr})_3\text{Co}_2\text{Fe}_{24}\text{O}_{41}$ 、 $(\text{Ba}, \text{Sr})_2(\text{Co}, \text{Zn})_2(\text{Fe}, \text{Al})_{12}\text{O}_{22}$  などの六方晶フェライトの多結晶および単結晶試料の合成を行い、平成 26 年度経費で購入の熱分析装置や平成 27 年度経費で購入の高温磁化測定用オープンなどを用い、それらの試料評価・磁化特性評価を行った。

### 2-2 成果

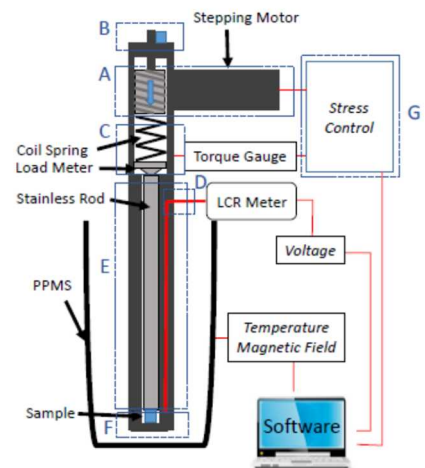


図 1：本研究で使用した 1 軸圧プローブ概略図。

Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のc軸方向の磁場中における面直一軸圧でのc軸方向の誘電率の温度依存性の結果の一例を図2に示す。圧力の増加に伴ってネール温度における誘電異常が抑制されるような振る舞いを示したものの、各一軸圧下での誘電異常は正しく検出されている。結果、どの試料形状に対しても、一軸圧を印加するに従ってネール温度（誘電異常のピークトップ）が下がってゆくような振る舞いが見られた。図3にネール温度の一軸圧依存性をまとめた。c軸方向の一軸圧を印加することで、ネール温度が減少することが確認できる。この一軸圧による格子歪みは、c軸長を縮め、a軸長を伸ばすことに対応している。本研究結果は上述の格子歪みのネール温度への影響を調べた理論計算の結果と一致するものである。加えて、過去に報告されている、反強磁性転移における磁歪現象によって、熱力学的に支持される結果である。さらに、本研究結果は、a軸方向に一軸圧を加えた場合、すなわち、c軸長を伸ばし、a軸長を縮めるような格子歪みを与えた場合に、ネール温度の向上が実現されることを強く示唆する結果である。また、前項に記したいいくつかの六方晶フェライト試料の作製に成功した。

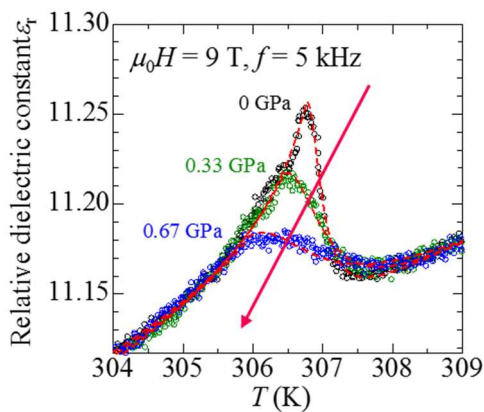


図2：Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単結晶試料のネール温度付近でのいくつかの一軸圧下での誘電率の温度依存性。

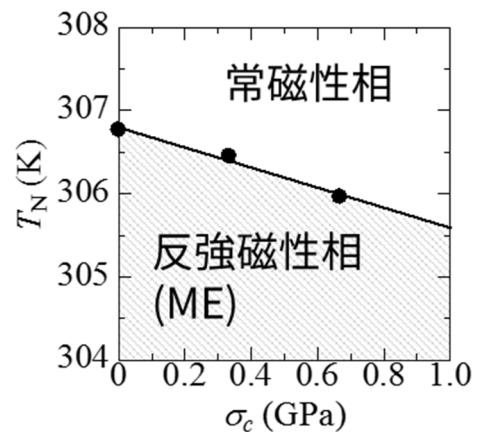


図3：Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>単結晶試料のネール温度のc軸方向の一軸圧下依存性。

### 2-3 新たな課題など

理論計算で予測されるネール温度に対する格子歪みの効果を支持する実験結果が得られたという点では望ましい結果ではあるが、本来の目的であるネール温度の上昇のためには、一軸圧の印加では、難しい。しかしながら、薄膜作製により面内格子定数を縮めるような格子歪を導入するにより、ネール温度の上昇が期待できることは示されたものと思われる。また、異なる格子歪の形態として、こちらも小田らによって理論的に予測がなされている等方圧の印加によるネール温度の上昇が期待される。本年度の研究により、こちらの測定系の構築および測定を試みてきたが、圧力媒体の問題などにより、本年度、十分な結果を示すことができていない。こちらは圧力媒体の再検討などを行い、平成28年度に実施する予定である。

また、六方晶フェライト材料に関しては、室温以上での安定な電気磁気効果の動作のためには電気伝導性の低減化が必要であり、酸素アニールの処理などのさらなる検討を行う。

## 3. アウトリーチ活動報告

2015年7月11日(土)に株式会社フロムページが主催する大学研究&学問発見のための国公立大 合同進学ガイダンス「夢ナビライブ 2015」において、高校生向けに物質における電気と磁気の関わりに関して電気磁気効果等の研究に関して講義を行った。