

課題番号 : 2021A-E22
利用課題名 (日本語) : 軟 X 線磁気円二色性を用いたファンデルワールス鉄系強磁性金属の元素別磁気特性探索
Program Title (English) : Soft x-ray magnetic circular dichroism investigation of elemental selective magnetic properties in Fe-based van der Waals ferromagnet
利用者名 (日本語) : 山神 光平¹⁾, Pardo Almanza Markel¹⁾
Username (English) : K. Yamagami¹⁾, P. Almanza Markel¹⁾
所属名 (日本語) : 1) 沖縄科学技術大学院大学
Affiliation (English) : 1) OIST

キーワード : ファンデルワールス化合物、強磁性金属、磁気円二色性

1. 概要 (Summary)

スピントロニクスデバイスとしての応用を見据えた多種多様な強磁性化合物において、特に二次元強磁性体の強磁性発現機構が勢力的に研究されている。中でも二次元電子系であるファンデルワールス(vdW)強磁性体 Fe_5GeTe_2 は室温以上の強磁性転移温度($T_c \sim 310$ K)をもち、伝導性を有する数少ない強磁性金属としてその長距離磁気秩序の起源が興味を持たれている。本研究グループは世界に先駆けて、軟 X 線磁気円二色性(XMCD)を用いた元素選択的な電子状態の視点から、 Fe_5GeTe_2 の微視的起源の解明を SPring-8 BL23SU で行ってきた[1]。

本研究課題は Fe サイトに Co が置換された $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{5-\delta}\text{GeTe}_2$ に注目する。興味深い振る舞いとして、Co の置換量(x)を増やすと面内-面直磁気異方性の反転が伴う T_c の上昇(最大330 K)が発生する。さらに、 $x > 0.4$ 以上で面直方向に対して反強磁性秩序(転移温度 < 340 K)を示す。これは Co が持つ大きな軌道磁気モーメントが重要な鍵を示唆されるため、元素別の磁気特性の観測が求められている。

そこで、我々は $(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{5-\delta}\text{GeTe}_2$ に対して XMCD を用いて元素別の磁気特性を観測し、Co 置換によって増強される強磁性の熱的安定性、磁気異方性、そして強磁性-反強磁性転移の微視的理解を目的とする。

2. 実験(目的,方法) (Experimental)

$(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_{5-\delta}\text{GeTe}_2$ 単結晶試料はヨウ素を輸送剤とした化学気相輸送法によって作成した。大きさ、1 mm 角の六角形型の単結晶試料に対して、SQUID 測定によるマクロ磁化曲線、走査型電子顕微鏡、エネルギー分散型 X 線分光、単結晶 X 線構造解析を通じて、Co のドーピング量(x)をそれぞれ、 $x = 5.2\%$, 18.7% , 46.0% と同定した。分析で用い

た試料に対して、SPring-8 BL23SU の XMCD 装置を用いて実験を行った。実験スペクトルはすべて全電子収量法(TEY)によって獲得した。 2.0×10^{-7} Pa の真空中における室温での劈開を行い、酸素 K 端吸収スペクトルが存在していないことから、試料の清浄表面を獲得したことを確認した。試料に対して面直方向に ± 10 T の範囲で磁場を印加し、温度は 20 K で行った。

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

軟 X 線領域に対して、我々は価電子帯を構成する Fe 3d, Co 3d 電子、Te 5p 電子の磁気特性を調べるために、Fe $L_{2,3}$ 端, Co $L_{2,3}$ 端、Te $M_{4,5}$ 端に対する XMCD 測定を行った。特筆すべき結果として、 $x = 46.0\%$ の試料における、XMCD 強度の磁場依存性がある。これは元素別の磁化曲線に対応する。マクロ磁化曲線と比較すると、強磁性状態の存在を示唆する磁気ヒステリシスが観測された。この振る舞いは強磁性秩序層が積層方向に反強磁性的に並んだ AA 積層タイプのトポロジカル反強磁性帯 MnBi_2Te_4 の Mn $L_{2,3}$ 端 XMCD と類似であることが判明した。よって、我々は $(\text{Fe}_{0.54}\text{Co}_{0.46})_{5-\delta}\text{GeTe}_2$ の磁気モーメントは AA 積層タイプの反強磁性秩序を形成していると考えている。本結果は $(\text{Fe}_{0.54}\text{Co}_{0.46})_{5-\delta}\text{GeTe}_2$ の極薄膜に対する輸送特性などの物性測定に特異な振る舞いが現れる可能性があり、エキゾチックなスピントロニクスデバイス化に向けた物質開発が加速することが期待される。

4. その他・特記事項 (Others)

なし