

課題番号 : 2019B-E17  
利用課題名 (日本語) : Cu<sub>2</sub>Sb 型 Mn 系金属間化合物の磁気構造および電子構造の評価  
Program Title (English) : Characterization of magnetic and electronic properties of Cu<sub>2</sub>Sb-type Mn-based intermetallic compounds  
利用者名 (日本語) : 伊藤啓太<sup>1)</sup>, 窪田崇秀<sup>1)</sup>, 孫銘嶺<sup>1)</sup>, 林田誠弘<sup>1)</sup>, 高野大地<sup>1)</sup>, 竹田幸治<sup>2)</sup>, 斎藤祐児<sup>2)</sup>, 木村昭夫<sup>3)</sup>, 高梨弘毅<sup>1)</sup>  
Username (English) : K. Ito<sup>1)</sup>, T. Kubota<sup>1)</sup>, M. Sun<sup>1)</sup>, M. Hayashida<sup>1)</sup>, D. Takano<sup>1)</sup>, Y. Takeda<sup>2)</sup>, Y. Saitoh<sup>2)</sup>, A. Kimura<sup>3)</sup>, K. Takanashi<sup>1)</sup>  
所属名 (日本語) : 1) 東北大学金属材料研究所, 2) 日本原子力研究開発機構, 3) 広島大学理学研究科  
Affiliation (English) : 1) IMR, Tohoku Univ., 2) JAEA, 3) Grad. Sch. Sci., Hiroshima Univ.  
キーワード :

### 1. 概要 (Summary)

磁気ランダムアクセスメモリ (MRAM) を始めとするスピントロニクスデバイスにおける素子微細化に対しては、高い一軸磁気異方性エネルギー ( $K_u$ ) を有する薄膜が必要とされる。加えて、電流による磁化反転機構の一つである、スピン移行トルク (STT) 磁化反転における磁化反転電流密度 ( $J_c$ ) 低減のためには、 $J_c$  が飽和磁化 ( $M_s$ ) に比例するため  $M_s$  の低減が求められる。本研究では、高  $K_u$ 、低  $M_s$  材料として、Cu<sub>2</sub>Sb 型の Mn 基金属間化合物、MnAlGe 並びに (Mn-Cr)AlGe に着目した。

Cu<sub>2</sub>Sb 型の MnAlGe は遍歴的な電子状態により Mn の磁気モーメントが比較的小さいことが知られていた[1]。その  $K_u$  はおよそ  $5 \times 10^6$  erg/cm<sup>3</sup> 程度であることが知られていたが、近年の研究により、MnAlGe の Mn サイトの一部を Cr で置換することにより、 $K_u$  が大きくなることが (001) 高配向の薄膜試料において示された[2]。 $K_u$  の増大は状態密度計算により電子論的解釈が示されている一方で、実験的にはこれまでに Cr 置換に伴う状態密度の変化の議論はなされていない。

本研究では、MnAlGe 並びに (Mn-Cr)AlGe の (001) 配向薄膜試料における軟 X 線吸収分光 (XAS) 法による Mn 原子の  $L_{2,3}$  吸収端近傍の磁気円二色性 (XMCD) スペクトルから、Cr 置換による電子状態の変化を実験的に明らかにすることを目的とした。測定は、SPRING-8 の日本原子力研究開発機構ビームライン BL23SU において全電子収量法により行った。その結果、XMCD スペクトルに現れた二つのピーク構造の強度比が Cr 置換の有無、並びに外部磁場印加方向に依存することが確認された。得られたスペクトルは、状態密度の変化を反映していると考えられ、今後、磁気異方性の起

源に関する議論を深化させるために考察を進める。

### 2. 実験 (目的, 方法) (Experimental)

本研究では、熱酸化膜付きシリコン基板上に作製した MnAlGe 並びに (Mn-Cr)AlGe の薄膜試料について、XMCD 分光測定を行うことで、Cr による Mn サイトの部分置換に伴う磁気異方性の変化を電子論的に考察するための知見を得ることを目的とした。

試料は熱酸化膜付きのシリコン基板上に超高真空マグネトロンスパッタ装置で作製した薄膜を用いた。積層の構成は基板/下地/MnAlGe 又は (Mn-Cr)AlGe 20 nm/保護層である。保護層は MgO と Ta の積層膜で膜厚は合わせて 3 nm 程度である。

測定は、SPRING-8 の日本原子力研究開発機構ビームライン BL23SU において全電子収量法により行った。XAS 並びに XMCD スペクトルは、Mn  $L_{2,3}$  吸収端近傍において計測した。測定時に印加した外部磁場は面直配置 (0°) では  $\pm 3$  T、擬面内配置 (面直から 75°) では  $\pm 8$  T とした。測定温度は室温である。

### 3. 結果と考察 (Results and Discussion)

MnAlGe の Mn  $L_{2,3}$  吸収端近傍の XAS スペクトルは、バルク試料の先行研究と同様に各吸収端におけるブロードなピークの他にマルチプレット等の構造が無く、遍歴的な電子状態を反映した形状であった。一方、XMCD スペクトルには、Mn  $L_2$ 、Mn  $L_3$  吸収端各々におけるピークトップが二つに分裂していることが確認された。XAS、XMCD の両スペクトル形状におけるこれらの特徴は、(Mn-Cr)AlGe においても同様であった。

一方、XMCD における二つに分裂したピークの強度比

に関しては、Cr 置換の有無並びに磁場印加角度に関して依存性が確認された。Mn  $L_3$  吸収端における分裂したピークの強度比が(Mn-Cr)AlGe では高エネルギー側（640 eV 付近）が強いのに対し、MnAlGe では低エネルギー側（638 eV 付近）のピークが強い。Mn  $L_2$  吸収端においては、(Mn-Cr)AlGe ではわずかであるが高エネルギー側（651 eV 付近）のピーク強度が強いが、MnAlGe ではほぼ差は無い。また、磁場印加角度依存性に関しては、磁場を面直から擬面内へ傾けた結果、全体としてピーク強度が低下し、分裂がブロードになった。ピーク強度の低下の度合いは特に Mn  $L_3$  吸収端においては高エネルギー側で顕著な傾向が確認できた。

一連のスペクトル形状並びにその変化の起源は考察を進めている最中であるが、一つには伝導帯の状態

密度の形状[2]を反映している可能性が挙げられる。今後、磁場印加角度依存性も含めて議論を深める予定である。

#### 4. その他・特記事項 (Others)

##### 参考文献

- [1] A. Kimura *et al.*, J. Elect. Spec. Rel. Phenom. **78**, 287 (1996).
- [2] T. Kubota *et al.*, Appl. Phys. Express **12**, 103002 (2019).