

鉄を挿入した遷移金属ダイカルコゲナイド  $\text{Fe}_x\text{TiS}_2$  の  
X線磁気円二色性による研究  
X-ray magnetic circular dichroism study of iron-intercalated  
transition-metal dichalcogenide  $\text{Fe}_x\text{TiS}_2$

芝田悟朗<sup>1\*</sup>, 野中洋亮<sup>1</sup>, 池田啓祐<sup>1</sup>, 万宇軒<sup>1</sup>, 鈴木雅弘<sup>1</sup>,  
Jaewook Kim<sup>2</sup>, Sang-Wook Cheong<sup>2</sup>, 藤森淳<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 大学院理学系研究科 物理学専攻, 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

<sup>2</sup> Rutgers Center for Emergent Materials and Department of Physics & Astronomy, Rutgers University, Piscataway, New Jersey 08854, USA

Goro Shibata<sup>1\*</sup>, Yosuke Nonaka<sup>1</sup>, Keisuke Ikeda<sup>1</sup>, Yuxuan Wan<sup>1</sup>, Masahiro Suzuki<sup>1</sup>,  
Jaewook Kim<sup>2</sup>, Sang-Wook Cheong<sup>2</sup>, and Atsushi Fujimori<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics, the University of Tokyo,  
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033, Japan

<sup>2</sup> Rutgers Center for Emergent Materials and Department of Physics & Astronomy, Rutgers University, Piscataway, New Jersey 08854, USA

## 1 はじめに

$3d$  遷移金属元素  $M$  を層間にインターカレートした遷移金属ダイカルコゲナイド  $M_x\text{TiS}_2$  は、 $M$  の種類およびドーブ量に依存して多彩な電気伝導および磁性を示すことから、その電子状態と物性との関係性を解明するための研究が長らく行われてきた[1-6]。特に  $\text{Fe}$  をインターカレートした化合物  $\text{Fe}_x\text{TiS}_2$  は、巨大な保磁力および垂直磁気異方性を示す強磁性体になることが知られている[2]。このような強い磁気異方性は、結晶構造が2次元であること、すなわち面直方向と面内方向との間で結晶構造に大きな異方性を持つことが原因であると予想されるが、その詳細なメカニズムは明らかになっていない。これを明らかにするため、本研究では、ベクトルマグネットを用いた磁場角度依存 X 線磁気円二色性 (XMCD) 実験[7,8]を行った。本年度はこの予備測定として、面直方向に磁場を印加した場合の XMCD スペクトルの測定を行った。

## 2 実験

Chemical vapor deposition (CVD) 法で作製した単結晶  $\text{Fe}_x\text{TiS}_2$  ( $x \sim 0.5$ ) 試料を、真空チャンバー内で劈開

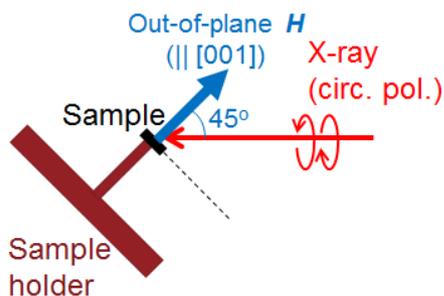


図 1 : XMCD の測定配置

することにより測定を行った。XMCD 測定は KEK-PF の BL-16A に設置したベクトルマグネット XMCD 装置[7]を用いて行った。図 1 に本実験の測定配置を示す。測定温度は  $T = 30$  K, 磁場強度は  $\mu_0 H = 1$  T であった。

## 3 結果および考察

図 2 (a), 2 (b) に  $\text{Fe } L_{2,3}$  端で測定した XAS および XMCD スペクトルを、また図 3 (a), 3 (b) に  $\text{Ti } L_{2,3}$  端での XAS, XMCD スペクトルを示す。磁場は試料面直方向に印加している。参照 XAS スペクトル [9,10] との比較により、 $\text{Fe}$  は  $2+$ ,  $\text{Ti}$  は  $3+$  の価数状態にあることがわかる。これは、インターカレートされた  $\text{Fe}$  原子からホストの  $\text{TiS}_2$  層へ電子がドーブされていることを示している。さらに図 3 (b) に示すとおり、 $\text{Ti}$  が有限の XMCD を示していることから、観測された

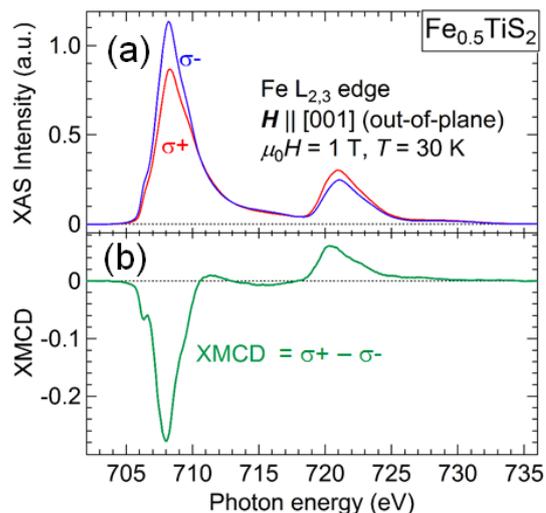


図 2 :  $\text{Fe } L_{2,3}$  端 (a) XAS および (b) XMCD スペクトル

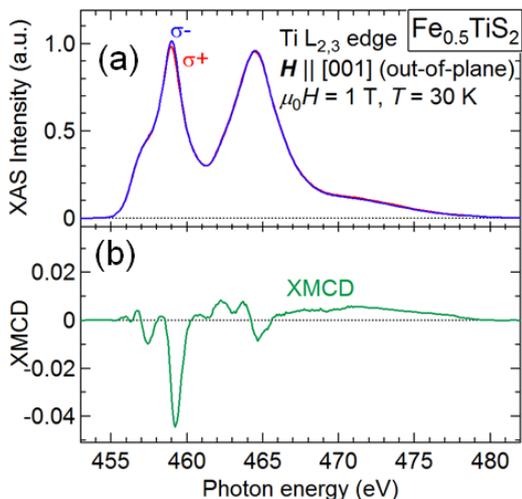


図3 : Ti  $L_{2,3}$  端 (a) XAS および (b) XMCD スペクトル

磁性が Fe の析出などの外的要因ではなく intrinsic なものであることがわかる。

図4は、図2(b)に示す Fe の XMCD を光エネルギー  $h\nu$  について積分したものである。積分の終端値が有限であることから、Fe に軌道磁気モーメントが誘起されていることがわかる。実際に XMCD 総和則によって Fe の磁気モーメントを求めたところ、 $M_{orb} = 0.59 \pm 0.08 \mu_B/Fe$ ,  $M_{spin}^{eff} = 2.45 \pm 0.16 \mu_B/Fe$  となり、孤立した  $Fe^{2+}$  イオンでの値 ( $1 \mu_B$ ) に近い大きさの軌道磁気モーメントが出現していることがわかった。これは、インターカレートされた Fe 原子が atomic な電子状態に近いことを表している。この巨大な軌道磁気モーメントが、 $Fe_xTiS_2$  の大きな磁気異方性エネルギーに関係していると考えられる。

なお、Ti の軌道磁気モーメントは  $M_{orb} = -0.04 \pm 0.30 \mu_B/Ti$  と、実験精度の範囲内では観測されなかった。また Ti は内殻  $2p$  軌道のスピン軌道分裂が小さく、XMCD スピン総和則を適用できないため [11,12]、スピン磁気モーメントの見積は行っていない。

今後は、XMCD スペクトルおよび軌道磁気モーメントの磁場方向依存性を測定することにより、磁気

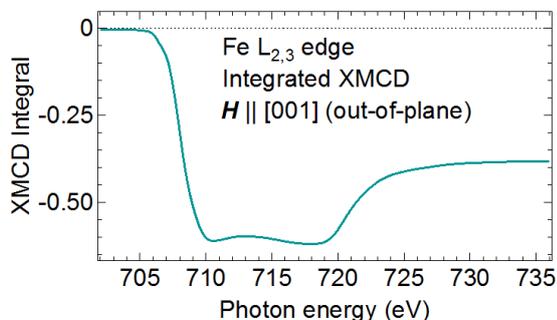


図4 : Fe  $L_{2,3}$  端 XMCD スペクトルを光エネルギー  $h\nu$  について積分したスペクトル。

異方性の起源についてより詳細に考察を進めてゆく予定である。

#### 参考文献

- [1] M. Inoue *et al.*, J. Low. Temp. Phys. **63**, 235 (1985)
- [2] H. Negishi *et al.*, J. Magn. Magn. Mater. **67**, 179 (1987).
- [3] A. Fujimori *et al.*, Phys. Rev. B **38**, 3676 (1988).
- [4] N. Suzuki *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **58**, 9 (1989).
- [5] S. Suga, Mol. Cryst. And Liq. Cryst. **341**, 9 (2000).
- [6] H. Martinez *et al.*, J. Elec. Spec. Rel. Phenom. **125**, 181 (2002).
- [7] M. Furuse *et al.*, IEEE Trans. Appl. Supercond. **23**, 4100704 (2013).
- [8] G. Shibata *et al.*, npj Quantum Mater. **3**, 3 (2018).
- [9] V. R. Singh *et al.*, J. Appl. Phys. **114**, 103905 (2013).
- [10] Y. Cao *et al.*, Nat. Commun. **7**, 10418 (2016).
- [11] Y. Teramura *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **65**, 1053 (1995).
- [12] C. Piamonteze *et al.*, Phys. Rev. B **80**, 184410 (2009).

\* shibata@rs.tus.ac.jp

Present Affiliation: Department of Applied Physics, Tokyo University of Science