

## Temperature Dependence of Specific Heat of $\text{EuSn}_2\text{As}_2$ , a 2D Antiferromagnetic Compound

W. Lee<sup>1</sup>, R. Sakagami<sup>1</sup>, K. Hirata<sup>1</sup>, M. Matoba<sup>1</sup>, Y. Kamihara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dep. Applied Physics and Physico-Informatics, Keio University, Japan

After the discovery of graphene in 2004, 2D magnetic materials have earned a great interest among condensed matter physicists and material engineers due to their fascinating magnetic properties. The 2D magnetic materials have proven that they are worth of investigating as they gave birth to van der Waals materials or topological insulators. They are the type of materials that will introduce the new era for information and semiconductor technology.

The previous paper by R. Sakagami et al.<sup>1,2</sup> demonstrated that  $\text{EuSn}_2\text{As}_2$  samples were prepared from Eu ingots and Sn-As pallets through a liquid phase reaction in carbon crucibles within vacuum silica tubes.<sup>1)</sup> The resulting crystal structure of  $\text{EuSn}_2\text{As}_2$  has a sandwich shape where top and bottom layers are Eu, and SnAs bilayer is positioned in between Eu layers.

After successful synthesis, heat capacity measurement was performed through physical property measurement system (PPMS) from Quantum Design Inc. As shown in Figure 1, we observed that there was a sudden increase of heat capacity around 24 K which implies that antiferromagnetic transition occurred. It is noted that the heat capacity of  $\text{EuSn}_2\text{As}_2$  tends to follow Dulong-Petit limit at high temperature which means ultimately it would reach  $C = 3nR$  where  $n$  is the number of atoms per formula and  $R$  is the molar-gas constant. Nevertheless, at sufficiently low temperature, Dulong-Petit law does not hold anymore. It is necessary to take account for lattice vibration which is involving Debye model into our formula to obtain a value of electronic heat capacity<sup>4)</sup>, Sommerfeld constant. In the conference, we will demonstrate a Sommerfeld constant for polycrystalline  $\text{EuSn}_2\text{As}_2$ .

### Acknowledgement

This work was performed using facilities of the Institute for Solid State Physics, the University of Tokyo.

### References

- 1) R. Sakagami, Y. Goto, Y. Mizuguchi, M. Matoba, and Y. Kamihara, Master. Sci. Tech. Jpn. 55, 72-76 (2018).
- 2) R. Sakagami, Y. Goto, H. Karimata, N. Azuma, M. Yamaguchi, S. Iwasaki, M. Nakanishi, I. Kitawaki, Y. Mizuguchi, M. Matoba, and Yoichi Kamihara, J. J. Appl. Phys. 60, 035511 (2021).
- 3) K. Hirata, Master thesis (Keio University, 2021).
- 4) S. Pakhira, M. A. Tanatar, T. Heitmann, D. Vaknin, and D. C. Johnston, arXiv:2106.10519 (2021).

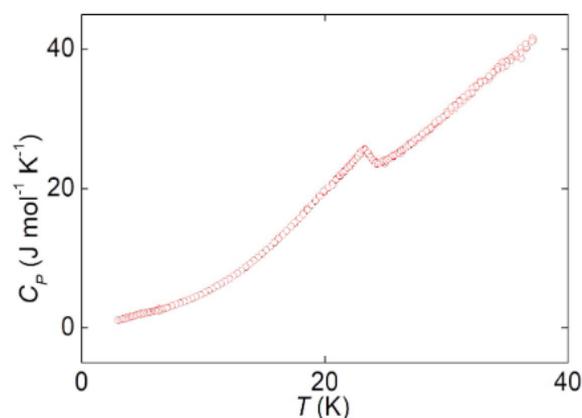


Fig.1 Specific heat ( $C_p$ ) as a function of temperature for polycrystalline  $\text{EuSn}_2\text{As}_2$ .<sup>3</sup>

## 層状秩序型 NiAs 型ニクタイトの磁気特性

○ 村上 泰斗, 斉藤 伸 (東北大学), 陰山 洋 (京都大学)

Structure and magnetic properties of metal-ordered NiAs-type pnictides

Taito Murakami, Shin Saito (Tohoku University), Hiroshi Kageyama (Kyoto University)

**はじめに** ヒ化ニッケル(NiAs)型構造は As が六方最密充填し、その八面体間隙を Ni が占めた構造をとっており、岩塩(NaCl)型構造と並んで三次元的な結晶構造の代表例として知られている。NiAs 型構造には NaCl 型とは異なり隣接する層間に金属結合が存在するため、これに起因した様々な物性を示す物質が知られている<sup>[1]</sup>。NiAs 型構造において金属が層状に秩序化した場合、隣接した金属結合が切断され異方的な物性が得られることが期待されるが、こうした例はこれまでカルコゲナイド<sup>[2-5]</sup>および少数のスズ化物<sup>[6]</sup>に限られており、ニクタイトにおいて金属元素が秩序化した例は殆ど知られていなかった。我々は Hf と Mn が層状に秩序化したニクタイト HfMnSb<sub>2</sub> と HfMnAs<sub>2</sub> の合成に成功したため、その結晶構造および磁気物性について報告する。

**実験方法** HfMnSb<sub>2</sub> および HfMnAs<sub>2</sub> は固相法により合成した。原料元素の粉末を窒素雰囲気下のグローブボックス内において化学量論比に従い混合、ペレット化したのち、石英管内に真空封入し 800 °C で 24-48 時間焼成した。得られた多結晶粉末試料は X 線回折(XRD)測定により同定した。さらに、シンクロトロン XRD 測定を行い、Rietveld 解析により結晶構造解析を行った。磁化測定、電気抵抗測定により物性を評価した。HfMnSb<sub>2</sub> については中性子回折測定を行い、磁気構造を決定した。また、WIEN 2k コードを用いた第一原理計算を行った。

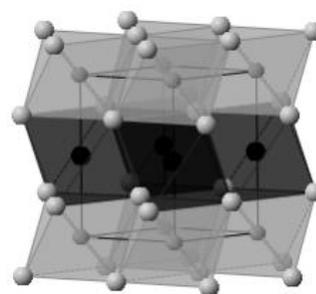


Fig. 1 Crystal structure of metal-ordered NiAs type compound

**実験結果** X 線回折測定より、得られた粉末試料は MnSb (NiAs 型構造)と同じ六方晶の対称性を持つことが分かったが、NiAs 型構造(空間群  $P6_3/mmc$ )に見られる消滅則が見られなかった。このことは、金属元素が  $c$  軸方向に層状に秩序化していることを示唆する。金属秩序 NiAs 型構造(空間群  $P3-m1$ )を仮定した Rietveld 解析の結果から同構造を持つニクタイト化合物 HfMnSb<sub>2</sub> および HfMnAs<sub>2</sub> が得られたと結論付けた(図 1)。

磁化率測定および Arrott プロットの結果から、HfMnSb<sub>2</sub> は  $T_c = 270$  K において強磁性転移を起こすことが分かった。この転移温度は NiAs 型構造を持つ MnSb ( $T_c = 587$  K)や MnBi ( $T_c = 628$  K)のものよりも低く、HfMnSb<sub>2</sub> の二次元的な構造を反映していると考えられる。一方で、低温での磁化の磁場依存性の測定結果からは  $H_c \sim 2$  T 以下において磁化プラトーが観測され、基底状態がフェリ磁性的であることが分かった。低温での磁気構造を明らかにするために中性子回折測定を行った結果、 $k = [0, 0, \delta]$  ( $\delta \sim 0.14$ ) で表される磁気反射が観測された。これらの結果より

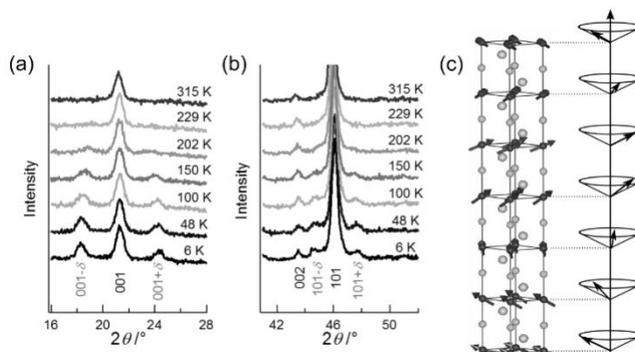


Fig. 2 Temperature dependence of magnetic peaks near (a) 001 and (b) 101 reflections. (c) Conical magnetic structure of HfMnSb<sub>2</sub>

HfMnSb<sub>2</sub> は図2に示すようにコニカルな磁気構造をとっていると結論付けた。他の Mn 系ニクタイトが三次元的な構造及び強磁性転移を示すことから、HfMnSb<sub>2</sub> のコニカル磁気構造は金属元素が層状に秩序化することにより引き起こされたと考えられる<sup>[7]</sup>。一方、HfMnAs<sub>2</sub> は 350 K 程度で強磁性転移を起こすことが分かり、層間の Mn-Mn 距離に応じて磁気物性が顕著に変化することを明らかにした。

**参考文献** 1) K. Motizuki et al. *Springer Ser. Mater. Sci.* 2009, **131**, 1. 2) G. D. Guseinov et al. *Mater. Res. Bull.* 1969, **4**, 807. 3) H. Bolleret et al. *Mater. Res. Bull.* 1995, **30**, 365. 4) L.D. Gulay et al. *J. Alloys. Compd.* 2007, **431**, L1. 5) V. Y. Shemet et al. *J. Alloys Compd.* 2006, **426**, 186. 6) S. Lange et al. *Z. Anorg. Allg. Chem.* 2006, **632**, 1163. 7) Taito Murakami et al. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2016, **55**, 9877-9880.

# 不純物をドーピングしたヘマタイト薄膜のモーリン転移の スピンホール磁気抵抗効果による検出

田中 雅章, 横山 幸季, 石井 千森, 藤井 一樹, 古田 旭宏, 壬生 攻  
(名古屋工業大学)

Detection of the Morin transition in impurity doped hematite films using spin Hall magnetoresistance  
Masaaki Tanaka, Koki Yakoyama, Kazushige Ishii, Kazuki Fujii, Akihiro Furuta, and Ko Mibu  
(Nagoya Institute of Technology)

コランダム構造の絶縁体であるヘマタイト( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ )では、磁気モーメントが  $c$  軸方向に向く反強磁性から  $c$  面方向に傾く弱強磁性への転移であるモーリン転移が室温付近で発現する。ヘマタイトのモーリン転移温度  $T_M$  は Ir や Ru などの微量の不純物をドーピングすることで上昇し、薄膜化すると低下する<sup>1)</sup>。ヘマタイト薄膜を垂直磁化型スピントロニクスデバイスの反強磁性材料に用いるには  $T_M$  を室温より十分高くする必要があるが、厚さ数十 nm 以下の薄膜試料の  $T_M$  の変化を磁化測定で調べることは難しく、 $T_M$  向上のためのドーピング材料の探索が難しい。本研究では磁性絶縁体/非磁性金属積層膜において、絶縁体表面の磁気モーメントの向きに依存してその抵抗率が変化するスピンホール磁気抵抗(SMR)効果<sup>2)</sup>を用いて不純物ドーピングのヘマタイト薄膜のモーリン転移温度  $T_M$  の検出を行った。

$\text{Al}_2\text{O}_3(0001)$  基板に Ru を 5 % ドープした 50 nm ヘマタイト薄膜を YAG 2 倍波長のレーザーを用いたパルスレーザー堆積法で製膜し、その上部にメタルマスクを用いた電子ビーム蒸着で厚さ 2.5 nm の Pt 細線パターンを作製した。Fig. 2 の挿入図に示すように  $xy$  平面,  $xz$  平面,  $yz$  平面で試料を  $\alpha$  回転,  $\beta$  回転,  $\gamma$  回転して、0.25 T の外部磁場方向に対する回転角  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  における Pt 電極の抵抗  $R(\alpha)$ ,  $R(\beta)$ ,  $R(\gamma)$  を測定した。

Fig. 1 に 200 K ~ 350 K の  $\alpha$  回転の抵抗変化率  $R(\alpha)/R(90^\circ) - 1$  の結果を示す。260 K 以下では  $\alpha$  回転をしても抵抗値に変化は見られないが、280 K 以上では外部磁場を  $-y$  軸方向から  $x$  軸方向に変化させると 0.15 % 程度抵抗変化率が減少する。Fig. 2 に  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  回転に対する  $R(90^\circ)$  と  $R(0^\circ)$  の抵抗変化率  $R(0^\circ)/R(90^\circ) - 1$  の値の温度依存性を示す。 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  回転すべてにおいて 270 K 以上では抵抗変化率が変化している。これは  $T_M$  以上の弱強磁性状態では外部磁場に対してほぼ垂直方向に磁気モーメントが向くために、磁場に対する試料の回転に伴い電流に対する磁気モーメントの向きが変わり SMR が変化したためと考えられる。発表ではメスbauer 一分光法による磁性評価の結果と合わせて議論する。

## 参考文献

- 1) N. Shimomura *et al.*, J. Appl. Phys. **117**, 17C736 (2015). 2) R. Lebrun *et al.*, Comm Phys. **2**, 50 (2019).

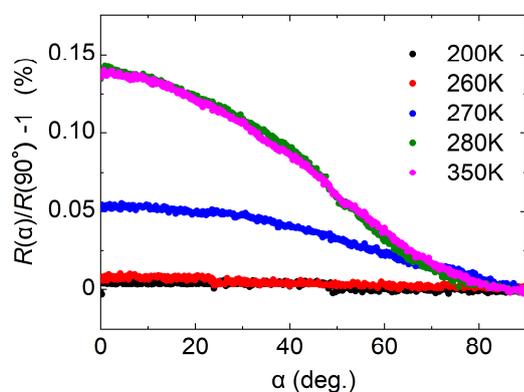


Fig.1 Angle dependence of the resistance change ratio at various temperatures.

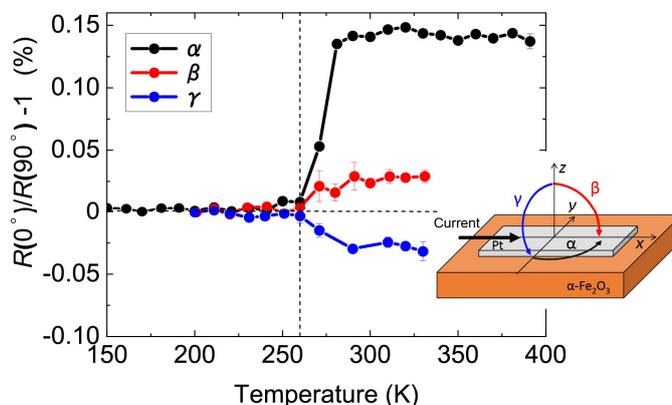


Fig. 2 Temperature dependence of “ $R(0^\circ)/R(90^\circ) - 1$ ”.

The insert is the schematic illustration of the experimental setup.

# CoCrPt 系磁気・電気力顕微鏡探針の作製とそれを用いた 強磁性・強誘電薄膜の磁区・分域構造観察

江川元太, 細谷亮太, 大下直哉, 吉村 哲

秋田大

Fabrication of CoCrPt-based magnetic / electric force microscope tip and  
observation of domain structure of ferromagnetic / ferroelectric thin films using the tip

G. Egawa, R. Hosoya N. Oshita and S. Yoshimura

(Akita Univ.)

**はじめに** 強磁性・強誘電材料薄膜は革新的な電界駆動型の次世代記録デバイス用材料としての可能性を秘めており、電界印加により形成された記録ビットの磁化状態を観察することが必要となっている。その観察には磁気力顕微鏡 (MFM) を用いことで評価を簡便に行うことが可能であるが、MFM に使用する「磁性探針」は種類が極めて少なくかつ磁気特性も不明なものが多く、強磁性・強誘電薄膜の評価に適しているかどうか不明である。本研究では、Si 探針母材に成膜する磁性薄膜として、組成制御や成膜条件により飽和磁化 ( $M_s$ ) および保磁力 ( $H_c$ ) を変化させることができる CoCrPt 系金属磁性薄膜に着目して、種々の磁気特性を有する探針を作製し、適する  $M_s$ , 高い  $H_c$  を併せ持つ探針を選定することで、強磁性・強誘電薄膜の磁区および分域構造の観察を行った。

**方法** 探針に成膜する CoCrPt 系薄膜の磁気特性の測定のため、平板基板を用い、基板加熱 (300-600 °C) しながら、Ar ガス圧: 10 mTorr, 成膜電源: DC (50 W), 膜厚: 30 nm の条件で、CoCrPt 系薄膜の成膜を行った。CoCrPt 系薄膜の組成は、Co<sub>80</sub>Cr<sub>20</sub> ターゲットに Cr, Pt シートを配置し、その数により組成を変化させた。薄膜の磁気特性の評価は振動試料型磁束計 (VSM) を用いた。そして、得られた結果から  $M_s$  が約 500, 700, 900 emu/cm<sup>3</sup> の薄膜を選定して、同一条件にて CoCrPt 薄膜を Si 探針に成膜し、磁気・静電気力顕微鏡探針を作製した。強磁性・強誘電薄膜の磁区・分域構造の観察には (Bi,La)(Fe,Co)O<sub>3</sub> (BLFCO) 薄膜<sup>1)</sup> ( $M_s \perp$ : 70 emu/cm<sup>3</sup>,  $H_c \perp$ : 1.8 kOe, 膜厚: 260 nm) を試料として用いた。測定は、まず BLFCO 薄膜に走査型プローブ顕微鏡 (SPM) のコンタクトモードで 3 μm×3 μm の走査範囲で電界を印加して書き込みを行い、その後、MFM, 静電気力顕微鏡 (EFM) で、電界書き込みを行った部分を中心に 6 μm×6 μm の走査範囲の磁区構造および分域構造の観察を行った。電界書き込み時には -10 V, EFM 測定時には -1 V の電圧を印加して行った。

**結果** Fig. 1 に、 $M_s$  が約 500, 700, 900 emu/cm<sup>3</sup> の探針で測定した MFM の位相像と EFM の位相像の結果を示す。像 (a)・(b) が  $M_s$  約 500 emu/cm<sup>3</sup>, 像 (c)・(d) が  $M_s$  約 700 emu/cm<sup>3</sup>, 像 (e)・(f) が  $M_s$  約 900 emu/cm<sup>3</sup> の探針で測定した MFM・EFM の位相像となる。MFM の位相像においては、いずれの探針を用いた場合でも、電界書き込みを行った部分の位相は他の部分の位相に対して明るくなっており、想定通りの「正」であった。また、図には示していないが、探針の磁化が大きくなるに従い、位相差も大きくなった。一方、EFM の位相像においては、500, 700 emu/cm<sup>3</sup> の探針の場合と 900 emu/cm<sup>3</sup> の探針とは明暗が逆転しており、位相差の符号に違いが生じた。今回の電界書き込みは -10 V で行ったため、BLFCO 薄膜の表面付近に + の電荷が帯電する。そして、EFM 測定時には探針に -1 V の電圧を印加したため、書き込みを行った部分と探針には引力が生じ、全ての探針で同じ極性「負」となることを想定していた。だが、900 emu/cm<sup>3</sup> の探針で測定した EFM 像では位相の極性が想定から反転している。よって、今回の (Bi,La)(Fe,Co)O<sub>3</sub> 薄膜の磁区・分域構造の観察では、明瞭な MFM 像および EFM 像を得るためには、測定に用いた3つの探針の中で約 700 emu/cm<sup>3</sup> 程度の  $M_s$  を有する探針が最も適していることがわかった。講演では、900 emu/cm<sup>3</sup> の探針を用いて測定した EFM 像の位相において、想定された極性と異なった原因について検討した結果も述べる予定である。

**参考文献** 1) M. Kuppan et al., Scientific Reports, Vol.11, p.11118 (2021)

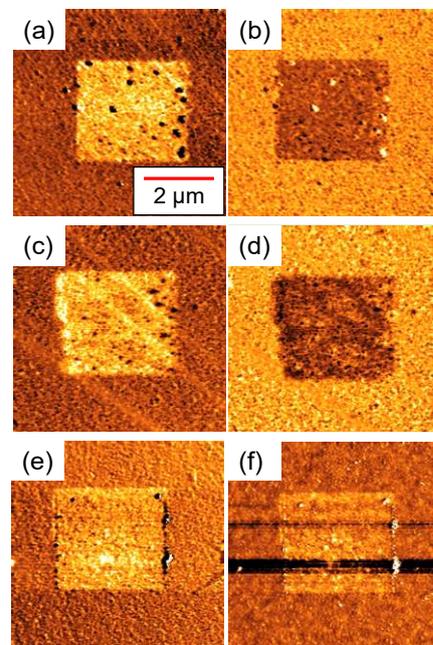


Fig. 1 (a), (c), and (e) are MFM images, (b), (d), and (f) are EFM images of (Bi,La)(Fe,Co)O<sub>3</sub> film. (a) and (b) are observed by tip with 500 emu/cm<sup>3</sup>, (c) and (d) are observed by tip with 700 emu/cm<sup>3</sup>, (e) and (f) are observed by tip with 900 emu/cm<sup>3</sup>.

## 有機無機層状桂皮酸コバルト水酸化物の構造と磁性

齋藤桂、市村奏絵、安田有智、木田孝則\*、萩原政幸\*、本多善太郎

(埼玉大院理工、\*阪大先端強磁場)

Magnetic properties and crystal structures of organic-inorganic layered cinnamo cobalt hydroxides

K. Saito, K. Ichimura, A. Yasuta, T. Kida\*, M. Hagiwara\*, and Z. Honda

(Saitama Univ., \*AHMF, Osaka Univ.)

### はじめに

有機無機層状水酸化物は有機アニオン層と金属水酸化物層が交互に無限積層した化合物であり、多様な磁性を示すことから興味もたれる。我々はこれまでに有機層に桂皮酸(略称 cin)を有する層状遷移水酸化物の合成に成功し、その磁性を調べたところ、層状コバルト水酸化物は巨大保磁力を有するフェリ磁性、層状銅水酸化物は強磁性を示すことを明らかにした。今回我々は巨大保磁力を示す層状コバルト水酸化物の構造の詳細を電子顕微鏡等で調べるとともに各種桂皮酸誘導体を用いて層状コバルト水酸化物を合成し、その磁性を比較した。また、双性イオン(正電荷と負電荷の両方を持つ分子)であるアミノ桂皮酸を有機層にした層状コバルト水酸化物を合成し、pH 調整により層の剥離を試みた。

### 実験方法

硝酸コバルトと cin 及びその誘導体 Xcin ( $X=4\text{-Cl}$ ,  $4\text{-CH}_3$ ,  $4\text{-NH}_2$ ) のエタノール溶液を各種条件下で加熱することにより有機無機層状水酸化物の合成を試みた。反応生成物の結晶構造の同定に粉末 X 線回折(XRD)法、透過型電子顕微鏡(TEM)を用い、組成の同定に示差熱・熱重量測定と化学組成分析を行った。また、超伝導量子干渉素子磁束計を用いて各種錯体の磁気測定を行った。さらに、アミノ桂皮酸層状コバルト水酸化物を蒸留水中で攪拌することで層剥離を試みた。

### 実験結果

硝酸コバルトと各種 cin 誘導体をエタノール中 100 °C で加熱したところ、XRD 高次反射を示すページュ色粉末を得た(図 1)。TEM 像には XRD 回折線と一致する層間隔約 20 Å に相当する縞模様がみられた。これは cin 分子の長さ(8.4 Å)の約 2 倍となっており、有機層に桂皮酸 2 分子が含まれる構造が同定された。さらに、粉末 XRD 等により無機層内構造の同定を行った。その結果、 $\text{CoO}_6$  八面体が点、辺共有した構造であることが判明した。これらの錯体の磁気測定を行ったところ、いずれも温度 47 K 以下で温度の減少と共に磁化率が急激に増加し、温度 2 K の磁化曲線には非常に大きな保磁力の磁気履歴が見られた(図 2)。さらに、アミノ桂皮酸層状コバルト水酸化物を蒸留水中で攪拌したところ、チンダル現象を示したことから層剥離が示唆される。当日詳細を報告する。

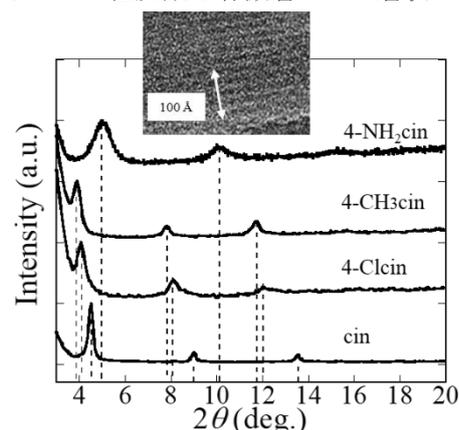


Fig. 1. XRD and TEM image of the layered cinnamo cobalt hydroxides

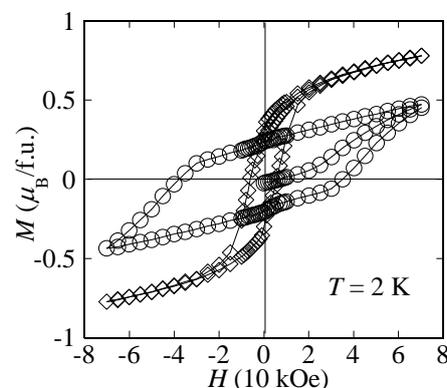


Fig. 2. Magnetization  $M$  vs. magnetic field  $H$  curves of the layered cinnamo cobalt hydroxides (○:  $\text{Co(OH)}_{1.2}(\text{cin})_{0.8}$ , ◇:  $\text{Co(OH)}_{1.5}(4\text{-NH}_2\text{cin})_{0.5}$ )

# 鉄系超伝導体 $\text{SmFeAsO}_{0.77}\text{H}_{0.14}$ の磁氣的性質

川松拓也, 堀地竜成, 的場正憲, 神原陽一

慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科

Magnetic Characteristics of Iron-based Superconductor  $\text{SmFeAsO}_{0.77}\text{H}_{0.14}$

Takuya Kawamatsu, Ryusei Hotchi, Masanori Matoba, Yoichi Kamihara

Department of Applied Physics and Physico-Informatics, Faculty of Science and Technology, Keio University

## 1. はじめに

超伝導は転移温度以下で電気抵抗が 0 になる現象で, 超伝導磁石や送電線に応用されている. 今回扱う鉄系超伝導体  $\text{SmFeAsO}_{1-x}\text{H}_x$  は, SmO 層と FeAs 層が積み重なった構造を取る. 水素負イオンをドーピングすると生じた電子が鉄の反強磁性相を消し, 55 K 以下で超伝導相になる. 水素負イオンドーピングは多量の電子を供給でき, 超伝導転移温度を上げることが可能となる利点がある. LaFeAsO 由来の超伝導体は転移温度が約 7 K 上昇して 35 K になる<sup>[1]</sup>. 我々は試料  $\text{SmFeAsO}_{0.77}\text{H}_{0.14}$  の磁気測定により, この試料の臨界電流密度を明らかにした.

## 2. 実験方法

試料の合成は Sakai の報告による<sup>[2]</sup>. 試料について超伝導量子干渉計で磁気測定を行い, 5 K から 300 K における磁気履歴曲線(M-H Loop)を測定した. 得られた M-H loop から, 拡張 Bean モデルを用いて臨界電流密度( $J_c$ )を算出する<sup>[3]</sup>.

$$\Delta M = \frac{tJ_{c1}}{20} \left( 1 - \frac{tJ_{c1}}{3lJ_{c2}} \right) \quad (1)$$

ここで  $l, t$  は試料の短辺と長辺の長さ(mm),  $\Delta M$  は M-H Loop の幅,  $J_{c1}$  と  $J_{c2}$  はそれぞれ  $l, t$  方向の臨界電流密度である. また磁束密度  $B$  を用いて磁束のピン止め力  $F_p$  を算出する<sup>[4]</sup>.

$$F_p = J_c \times B \quad (2)$$

## 3. 実験結果

Fig1 は 10 K における M-H Loop を示す. 下部臨界磁場は 159 kA/m と求めた. また, 70 K のとき常伝導相であると考えられるが, 実際の M-H Loop の測定結果は 100 K を超えても自発磁化を示す成分が観測された (Fig2). この要因が主相と異相のどちらに起因するかを学会で報告する.

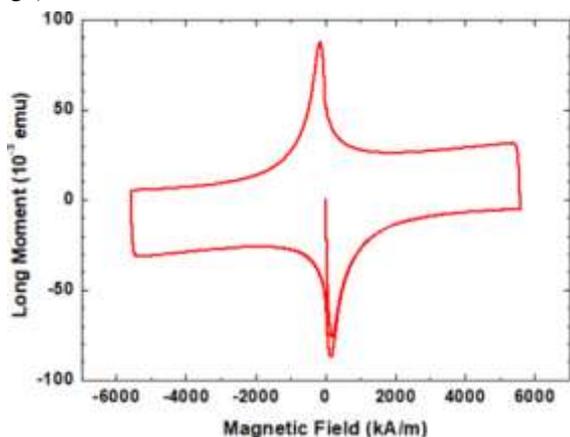


Fig1. M-H Loop of  $\text{SmFeAsO}_{0.77}\text{H}_{0.14}$  at 10 K.

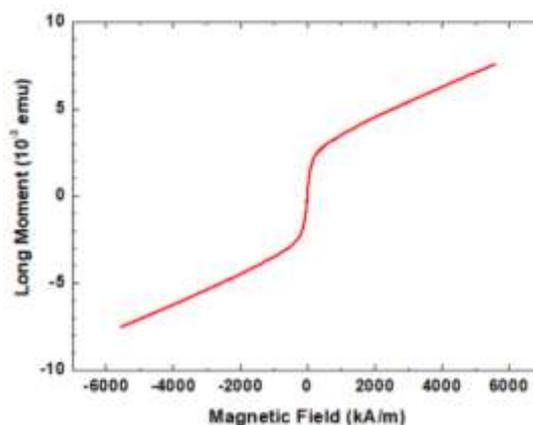


Fig2. M-H Loop of  $\text{SmFeAsO}_{0.77}\text{H}_{0.14}$  at 100 K.

## 参考文献

- 1) M. Miyazawa *et al.*, Appl. Phys. Lett. **96**, 072514\_1-3(2010).
- 2) Y. Sakai, Doctor thesis (Keio Univ., 2015).
- 3) E. M. Gyorgy *et al.*, Appl. Phys. Lett. **55**, 283-285(1989).
- 4) H. Basma *et al.*, J. Supercond. Novel Mag. **32**, 3065(2019).

EuSn<sub>2</sub>P<sub>2</sub> の多結晶合成

劉子豪, 坂上良介, 神原陽一  
慶應義塾大学理工学部 物理情報工学科

Synthesis of polycrystalline EuSn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>

by

Zihao LIU, Ryosuke SAKAGAMI, Yoichi KAMIHARA

Dep. Applied Physics and Physico-Informatics, Keio university, Japan

## 緒言

Goldsmid と Douglas による Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 系材料の開発<sup>1</sup>以来, 60 年以上, 実用を目指した熱電変換の研究は, 材料の素子化やモジュール化に重点が置かれた. 近年は新たな結晶構造の材料候補が提案されつつけている. 磁性トポロジカル絶縁体としての物性の有無についての議論<sup>2,3</sup>のある 2 次元磁性体 EuSn<sub>2</sub>Pn<sub>2</sub> は, 熱電変換性について Sakagami らにより報告された.<sup>4,5</sup> EuSn<sub>2</sub>Pn<sub>2</sub> は, 層状構造をとる点, 空間群が R3m である点, vdW 結合を有する点, および, 孤立電子対を有する点で, Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> の結晶と共通する特徴を示す. この層状化合物においては, 孤立電子対に起因する熱伝導率低減が着目されている.

## 実験方法

Eu は購入時, 油漬されているため, 短時間, アセトンで超音波洗浄し, その表面をキムワイプで拭き取り, アルゴン雰囲気の中へ移動して使用した. Eu は金属ヤスリを用いて, 粉末化した. P 粒を, めのう乳鉢・乳棒で摩砕し得られた P 粉末と, Sn 粉末を, 化学量比で Sn : P = 1 : 1 になるように, かつ, Sn 及び P の合計の質量が 0.6623 g になるように秤量し, めのう乳鉢・乳棒で混合・摩砕した. その油圧 20MPa の一軸加圧でペレット状に成型し, Sn-P ペレットを得た. 化学量論比で Eu:Sn:P=1:2:2 となるように, Sn-P ペレットと Eu 片を, カーボンるつぼ内に入れた. これらの作業は GB 内で行った. 得られた出発物入りカーボンるつぼを石英ガラス管内に真空封入し, 熱処理した. 熱処理後, 石英ガラス管を割り, 試料入りカーボンるつぼを取り出した. これをアルミ箔で包みハンマで叩き割り, 試料を回収した. 切り出された試料片を, めのう乳鉢・乳棒で粉砕し, XRD 測定し相同定した.

## 結果

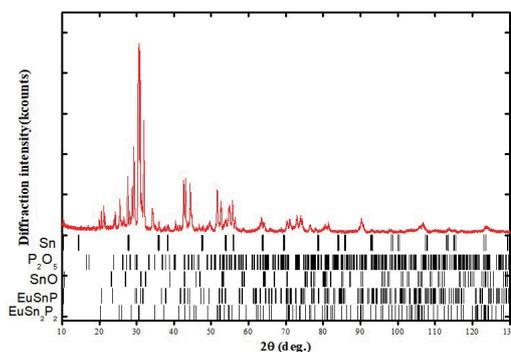


Fig.1 XRD patterns of EuSn<sub>2</sub>P<sub>2</sub> samples. The vertical bars at the bottom represent calculated positions of Bragg diffractions of EuSn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>

Fig.1 は得られた試料の粉末 XRD パターン.

## 参考文献

- 1) H. J. Goldsmid and R. W. Douglas, Brit. J. Appl. Phys. 5, 386 (1954).
- 2) L. Hang et al, Phys. Rev. X 9, 041039 (2019).
- 3) H.-C. Chen, et al, Chin. Phys. Lett. 37, 047201 (2020).
- 4) 坂上良介 et al, 材料の科学と工学 55,72(2018).
- 5) R. Sakagami, et al, J. J. Appl. Phys. 60, 035511,1 (2021)
- 6) Xin Gui, et al, ACS Cent.Sci 5,900(2019)