

第 59 回 応用物理学会北海道支部 第 20 回 日本光学会北海道支部 合同学術講演会予稿

C 会場 (B32 講義室)

C - 2 1 月 6 日 (土) 15:30 ~ 17:15 座長 : 山ノ内 路彦 (北大工)

- C-2-1 2次元イジング模型における鈴木予想について
○松元和幸
(北教大旭川)
- C-2-2 ミュオン準位交差共鳴法による $ATaO_2N$ ($A=Ba, Sr$) のアニオン配列の検討 ★
○高橋利来¹, 宮崎正範¹, 鱒淵友治², 西村昇一郎³, 戎修二¹
(室蘭工大院工¹, 北大工², KEK 物構研³)
- C-2-3 反強磁性物質 $CeMnSi$ の圧力下におけるリートベルト解析
○落合令¹, 西山紗恵¹, 中桐大輝¹, 谷田博司², 林純一¹, 武田圭生¹, 関根ちひろ¹, 川村幸裕¹
(室蘭工大¹, 富山県立大²)
- C-2-4 充填スクッテルダイト化合物 ROs_4P_{12} ($R=Gd, Tb, Dy$) の純良試料合成と低温磁性 ★
○寺坂 聡志¹, 松本 允¹, 上野 公輔¹, 後藤 弘匡², 関根ちひろ¹
(室蘭工大院工¹, 東大物性研²)
- C-2-5 $\alpha-Dy_2S_3$ における磁化容易軸交錯の起源 ★
○Muhamad Anif Bin Mat Nasir, 笹森遥基, 宮崎正範, 戎修二
(室蘭工業大学大学院工学研究科)
- C-2-6 $Zn-Ag-Sc-RE$ 系正二十面体準結晶及び 1/1 近似結晶の形成条件と低温物性
○佐藤 啓生¹, 山崎 隆介², 柏本 史郎¹
(北大院工¹, 北大工²)
- C-2-7 $Au(111)$ 基板上の $Fe_3O_4(111)$ 薄膜の作製および評価 ★
○(M1)石原江瑚, Subagyo Agus, 山田雄貴, 渡邊連, 八田英嗣, 末岡和久
(北大情報科学院)

2次元イジング模型における鈴木予想について

北海道教育大学旭川校 松元和幸

2次元イジング模型の境界磁性についての研究は古い。B. M. McCoy と T. T. Wu (MW) がすでに1969年の論文の中で議論している。[1] しかし、それによると転移点において境界エントロピーが発散するなど境界の臨界現象に非物理的振舞いが見られた。そうした結果について、MW論文の中に「原因はよくわからない」といった著述がみられる。

そこで、鈴木は2017年頃になって、この問題を取り上げ境界磁性の臨界指数について、MWの与えた非物理的な値、 $(\alpha_b, \beta_b, \gamma_b) = (1, \frac{1}{2}, 0)$ ではなく、より物理的な値 $(0, \frac{1}{2}, 1)$ を提案した。これを鈴木予想と呼ぶことにする。鈴木によるとMW理論との違いは、境界磁性の物理量に関する定義の違いに帰することができるのである。[2]

実は、われわれは以前にMW理論あるいはMW理論模型を発展させて、それらを含むより一般的な理論模型を考察した。[3] その観点から眺めてみるとMWの理論的取り扱いには、極限の取り方について、曖昧な点があることがみてとれた。詳しくは講演の中で述べるが、極限操作の順番が問題となる。

そこで、鈴木予想を解決するために計算、考察を進めてみた。残念ながら最終的結論はまだ得られていないが、鈴木予想あるいは提案はかなり有望のようである。実際、境界臨界指数の一部は鈴木予想のとおりにもとまった。講演では、基本的考え方と現在までに得られている結果について述べる。

[1] B. M. McCoy and T. T. Wu, Phys. Rev. 188 (1969) 982.

[2] M. Suzuki, private communication.

[3] Y. Akutsu and K. Matsumoto, Prog. Theor. Phys. 75 (1986) 1304.

ミュオン準位交差共鳴法による $ATaO_2N$ ($A=Ba, Sr$) の アニオン配列の検討

Anion configuration of $ATaO_2N$ ($A=Ba, Sr$) Studied by Muon Level Crossing Resonance Method
室蘭工大院工, 北大工¹, KEK 物構研², ○高橋利来, 宮崎正範, 鱒渕友治¹, 西村昇一郎², 戎修二
Grad. Sch. of Eng. Muroran Inst. of Tec., ¹Fac. of Eng. Hokkaido Univ., ²KEK-IMSS
○T. Takahashi, M. Miyazaki, ¹Y. Masubuchi, ²S. Nishimura, and S. Ebisu

【序論】

ペロブスカイト型 Ta 酸窒化物 $ATaO_2N$ ($A=Ba, Sr$) は、アニオン配列 (O/N 配列) によって *cis/trans* という新たな自由度が導入される。これらの物質では、室温で ϵ_r が 10^2 – 10^3 程度の大きな誘電率を示し、機能性材料としての性質が期待されている [1-2]。しかし、粉末 X 線回折実験では、誘電分極が生じない *Pm-3m* や *I4/mcm* といった中心対称性をもつ構造が観測される [1-4]。これは、X 線・中性子による回折実験では、アニオンサイトは統計的に分布したモデルであるため、その局所分布を見分けることができないためである。そこで、本研究ではミュオン準位交差共鳴法 (μ -LCR) に着目した。この方法は、スピン 1/2 である正ミュオンの磁場中でのゼーマンエネルギーと原子核の核四重極モーメントのエネルギー差が等しくなったときにエネルギー準位の交差が起こり、そのミュオンスピンの共鳴緩和を観測する手法である。 μ -LCR では、正ミュオンはアニオンサイト付近に止まることが予想され、結晶構造中のミュオンサイトを決定することができれば、O/N 配列決定に知見を与えることができると考えられる。そこで、本研究では、 $ATaO_2N$ ($A=Ba, Sr$) を用いて μ -LCR 実験を行うとともに、第一原理計算から結晶中に止まるミュオンサイト推定し、O/N 配列の決定を試みた。

【実験方法】

$ATaO_2N$ ($A=Ba, Sr$) の合成は、 $BaCO_3$, Ta_2O_5 もしくは $Sr_2Ta_2O_7$ を原料に用いて、 NH_3 雰囲気下で焼成することで合成を行った。また、得られた試料は、粉末 X 線回折法で評価を行った。 μ -LCR 実験は、J-PARC の S1-ARTEMIS で、50 K 下で 0–150 G の範囲で測定を行った。ミュオンサイトおよび NQR 周波数の推定は第一原理計算で行った。

【結果・考察】

図 1 に μ -LCR の測定結果を示す。 μ -LCR より、 $BaTaO_2N$ では、112 G および 120 G 付近、 $SrTaO_2N$ では、117 G および 132 G 付近にブロードな共鳴緩和によるピークが少なくとも 2 つ観測された。これは、O, N 付近の異なるミュオンサイトからの信号、もしくは、非対称な電場勾配に起因する複数の NQR 周波数への分裂によるものであると考えられる。講演では、 μ -LCR 測定結果と第一原理計算から結晶中に止まるミュオンサイトおよび *cis/trans* 型構造のときに観測が予想される共鳴磁場を比較し、考察する。

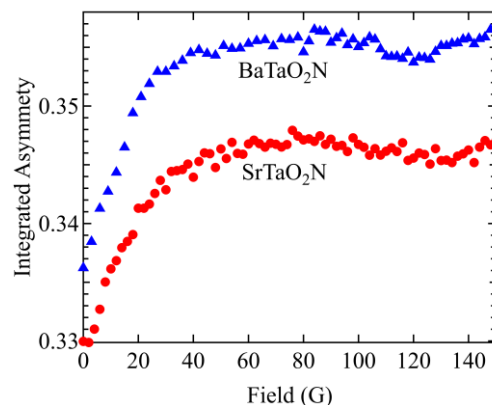


図 1 $ATaO_2N$ ($A=Ba, Sr$) の μ -LCR による積分 Asymmetry の磁場依存性

- [1] A. Hosono, *et al.*, *Solid State Sci.* **144** (2023) 107310. [2] D. Oka, *et al.*, *Sci. Rep.* **4** (2014) 4987.
[3] K. Page, *et al.*, *Chem. Mater.* **19** (2007) 4037–4042. [4] M. Yang, *et al.*, *Nat. Chem.* **3** (2011) 47–52.

反強磁性物質 CeMnSi の圧力下におけるリートベルト解析

室蘭工業大学¹, 富山県立大学²

○落合令¹, 西山紗恵¹, 中桐大輝¹, 谷田博司², 林純一¹, 武田圭生¹, 関根ちひろ¹, 川村幸裕¹

E-mail: 22043011@muroran-it.ac.jp

1. 目的

三元系金属化合物 CeMnSi は正方晶 CeFeSi 型結晶構造 (空間群 No, 129, $P4/nmm$) をとる. $T_N \sim 242$ [K][1]以下で Mn サイト由来の反強磁性秩序を形成し, Ce-4f 電子の重い電子状態を示すことから注目されている. 抵抗率は近藤効果に related した異常を示し, 加圧下で強く増強された後, 5.7[GPa]で構造転移を示す. この構造転移には Ce-4f 電子状態が関係していると考えられる. また, 0[GPa]~2[GPa]で T_N の低温へシフトしている際の構造の変化や, 圧力下での Ce-4f 電子の電子状態を明らかにするためには, Ce サイトの最近傍を調べることが重要であるため, リートベルト解析を行った. われわれの以前の研究では, 同じ構造を持つ CeCoSi についても解析を行っていたため CeMnSi との比較も行った.

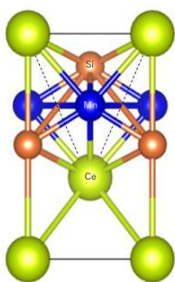


図 1. CeMnSi

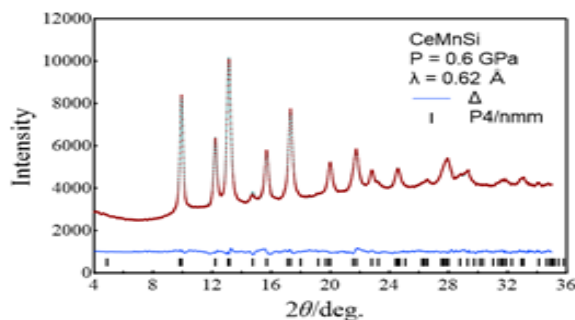


図 2. リートベルト解析結果

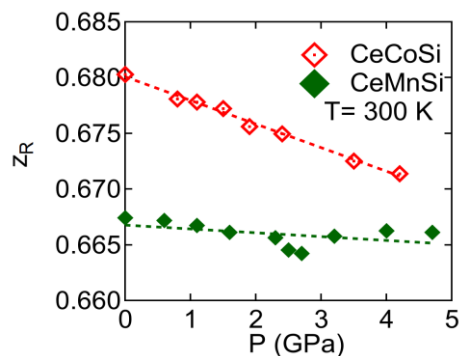


図 3. 原子座標 Z_R (R=Ce)

2. 実験方法

粉末 CeMnSi 試料の加圧下における放射光 X 線回折 (XRD) をダイヤモンドアンビルセルを用いて行った. リートベルト精密化は RIETAN-FP を用いて行った [2]. 原子位置は VESTA を用いた [3].

3. 結果

3-1. リートベルト解析

300[K], 0.6[GPa]でのリートベルト解析の結果を図 2 に示す. 評価する際に使われるパラメータを下記に示す.

$$R_{wp} = 1.04, R_p = 0.792, R_e = 1.59, S = 0.658$$

$R_{wp} < 3 \sim 5$, $S < 1.3$ とされている. したがって, リートベルト解析は成功したと言える.

3-2. 格子定数, 原子座標 Z_R (R=Ce)

CeMnSi と CeCoSi の原子座標 Z_R を図 3 に示す. CeCoSi の原子座標 Z_R は圧力とともに単調に減少するが, 今回解析した CeMnSi は圧力に対して鈍感な振る舞いを見せた.

4. 考察

今回は CeMnSi についての構造解析を行った. CeCoSi の Z_R は圧力の減少とともに単調に減少している. CeMnSi の Z_R は圧力とともに減少はしているが, CeCoSi に比べると圧力に対して鈍感な振る舞いを見せている. Z_R の減少は Ce-Ce 間距離が体積の減少以上に縮むことを示し, c-f 混成の増強を示唆している. Z_R の減少の差が構造相転移の圧力の違いを生んでいると考えられる.

参考文献

- [1] H. Tanida et al., J. Phys. Soc. Jpn. **92**, 044703 (2023).
- [2] F. Izumi and K. Momma, Solid State Phenom. **130**, 15-20 (2007)
- [3] K. Momma and F. Izumi: J. Appl. Crystallogr. **44**, 1272 (2011).

充填スクッテルダイト化合物 ROs_4P_{12} ($R = Gd, Tb, Dy$) の純良試料合成と低温磁性

¹室蘭工大院工, ²東大物性研

○寺坂 聡志¹, 松本 允¹, 上野 公輔¹, 後藤 弘匡², 関根 ちひろ¹

1. 序論

現在の電子デバイスは、電子の電荷とスピンを利用したものであり、電子の軌道の自由度を利用したものは開発されていない。しかし、近年、軌道自由度とスピンを合わせて整理される多極子自由度が関与する新たな秩序相の発見など、実験的に多極子秩序の存在が確認されており、将来、新たな電子デバイスへの応用も期待されている。充填スクッテルダイト化合物は、多極子自由度が関与する異常物性が多く発見されており、多極子研究に不可欠な物質の一つである。充填スクッテルダイト化合物 RT_4X_{12} (R : 希土類元素等, T : 遷移金属元素, X : プニクトゲン元素) は元素の組合せにより、100種類以上の化合物が存在し、非従来型超伝導、金属-絶縁体転移など様々な異常物性を示すこと知られている[1]。この化合物の結晶構造は、体心立方晶系(空間群 $Im\bar{3}$) であり、12個の X 原子が20面体のカゴ状構造を形成することが特徴である。充填スクッテルダイト化合物の物性は、そのカゴ状構造に内包された希土類イオン (R) の4f電子とカゴを形成する X 原子の p 電子との混成 (p - f 混成) 効果が重要であると考えられている。充填スクッテルダイト化合物は、試料合成が難しく、特に重希土類元素を含む充填スクッテルダイト化合物の合成には、数 GPa 以上の超高压が必要となり、その物性はほとんど明らかになっていない。 ROs_4P_{12} ($R = Gd, Tb, Dy$) は、高压合成法でのみ合成報告があるが、副相に RP ($R = Gd, Tb, Dy$) が生成されやすく、単一相試料の合成が極めて困難であり、研究例が少ない[2]。そこで本研究では、純良な単一相試料の合成を試み、詳細な物性測定を行うことで、 ROs_4P_{12} ($R = Gd, Tb, Dy$) の磁気的性質と多極子の関与について明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

ROs_4P_{12} ($R = Gd, Tb, Dy$) の試料は、キュービック・アンビル プレスを用いた高压合成法により合成した。合成条件は圧力 4GPa、温度 1150 °C である。得られた試料の同定には、粉末 X 線回折法を用いた。物性評価として比熱の測定を緩和法、磁化率の測定を SQUID で行った。

3. 結果と考察

高压合成法により作製した ROs_4P_{12} ($R = Gd, Tb, Dy$) 試料の粉末 X 線回折パターンを図1に示す。3つの試料においてほぼすべてのピークにスクッテルダイト構造の面指数を付けることができ、 RP ($R = Gd, Tb, Dy$) のピークは確認されず、ほぼ

単一相の試料が得られたと考えられる。しかし、 $DyOs_4P_{12}$ の副相として生成される DyP は、 $DyOs_4P_{12}$ とピークの位置が非常に近いため、粉末 X 線回折パターンでは、確認できないことがある。図2に ROs_4P_{12} ($R = Gd, Tb, Dy$) の比熱の温度依存性を示す。今回の測定で初めて、 $TbOs_4P_{12}$ に比熱の異常を確認できた。また、 $DyOs_4P_{12}$ の試料については、 DyP の 9 K での反強磁性相転移に伴う比熱異常が確認できないことから純良な試料の合成に成功したと考えられる。講演では、 ROs_4P_{12} ($R = Gd, Tb, Dy$) の磁気的性質の詳細について報告する。

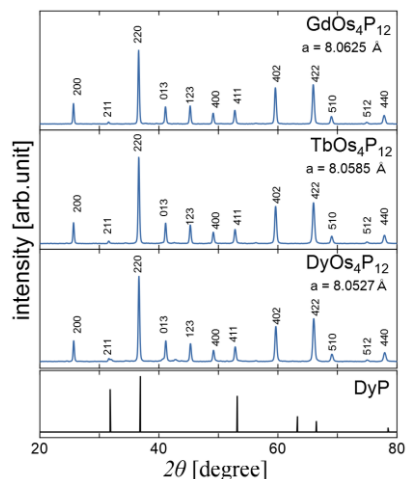


図1 ROs_4P_{12} ($R = Gd, Tb, Dy$) と DyP の粉末 X 線回折パターン

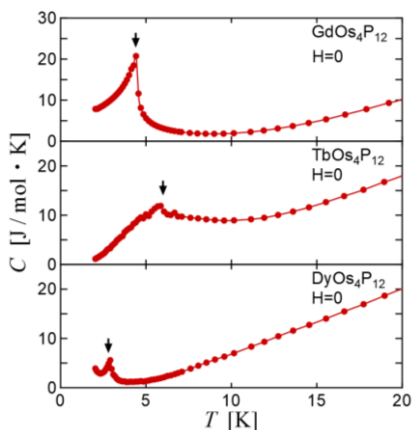


図2 ROs_4P_{12} ($R = Gd, Tb, Dy$) の比熱の温度依存性

参考文献

- [1] H. Sato, *et al.*, (North-Holland, Amsterdam, 2009) Vol. 18, Chap. 1.
- [2] C. Sekine *et al.* J. Phys. Soc. Jpn. **77** Suppl. A, 135 (2008).

α -Dy₂S₃における磁化容易軸交錯の起源

Origin of crossing of easy-magnetization axis of α -Dy₂S₃

室蘭工大院工 ○Muhamad Anif Bin Mat Nasir, 笹森遥基, 宮崎正範, 戎修二

Grad. Sch. of Eng. Muroran Inst. of Tec. ○Muhamad Anif Bin Mat Nasir, H. Sasamori, M. Miyazaki, S. Ebisu

E-mail: 23042075@muroran-it.ac.jp

【序論】希土類硫化物 α -R₂S₃ は直方晶系で空間群 $Pnma$ の対称性を有しており、結晶学的に独立な希土類サイト $R1, R2$ を持つ。多くの α -R₂S₃ は低温領域で逐次的に磁気相転移を示し、 α -Dy₂S₃ においては $T_{N1} = 11.4$ K, $T_{N2} = 6.4$ K で反強磁性転移を示す^[1]。低温側転移点 T_{N2} において結晶軸の a, c 軸方向の磁化率 χ_a, χ_c はシャープなピークを示すが、 $\chi_a < \chi_c$ の場合もあれば、 $\chi_a > \chi_c$ の場合もある。前者を磁化容易軸が a 軸という意味で a -easy 試料、後者を同様に c -easy 試料と呼ぶことにする。また、 α -Dy₂S₃ には T_{N2} の直上で電気抵抗率の異常な急増・急減現象が見られ^[2]、磁場中の単結晶回転^[3]や一軸圧印加により磁化容易軸が交換する^[4]場合もある。この磁化容易軸交錯と種々の特異物性との関連を調べるために、多くの a -easy と c -easy 試料が必要となる。本研究では単結晶育成の際の圧力を加減することによる α -Dy₂S₃ の磁化容易軸の制御可能性を調べるとともに交錯の起源を探ること目的とした。

【実験方法】純度 99.9% で -300 mesh のサイズの粉末酸化物 Dy₂O₃ の CS₂ 気流中熱処理により、粉末硫化物 α -Dy₂S₃ を得た。これを用い、ヨウ素を輸送剤とした気相化学輸送法により単結晶を育成した。従来の育成時のヨウ素使用量を 0.5 倍と 1.5 倍にすることにより、育成時の石英管内の圧力を低減・増加することを試みた。硫化した粉末試料と育成した単結晶の結晶方位は X 線ディフラクトメータ (XRD) 法で確認した。磁化の測定には MPMS (Quantum Design 社) を用いた。

【結果・考察】ヨウ素量を半分にした場合、針状単結晶の長手方向長が 0.3 mm の試料 1 と 0.2 mm の試料 2 の α -Dy₂S₃ 単結晶が育成できたと考えられるが、試料のサイズが小さく面方位の決定に至らなかった。これらの試料の磁化率の温度依存性を図 1 に示す。晶癖から推定した方位で考えると、両者ともに a -easy という結果になったが T_{N2} でのピーク形状がかなり鈍く、ピークの温度も 6.1-6.2K とやや低めに出ている。ヨウ素量を 1.5 倍にした場合、サイズがより大きく単結晶試料の形状の特徴が大きく異なったものが含まれていた。XRD 法では (101) 面しか特定できなかったため、その面に対する垂直・平行の二方向で測定した磁化率の温度依存性を図 2 に示す。(101) 面に垂直な方向は c 軸方向と対比して a 軸方向に近いのでこちらの試料も a -easy 試料であることが推定できた。今回の圧力加減実験では a -easy 試料しか得られなかったが最近、同研究の実験で通常圧力の場合に、両試料が混在して得られた。単結晶試料の形状と磁化容易軸との関係性等の多様な検討が必要である。

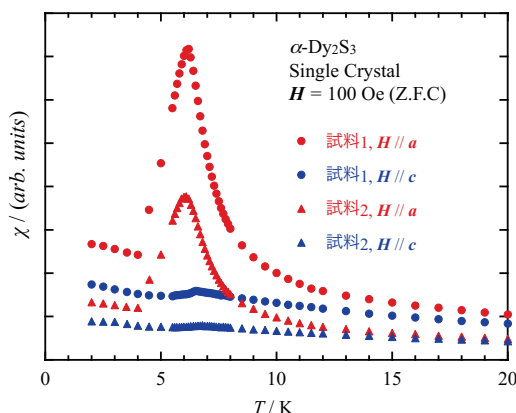


図1 試料 1, 2 の磁化率の温度依存性

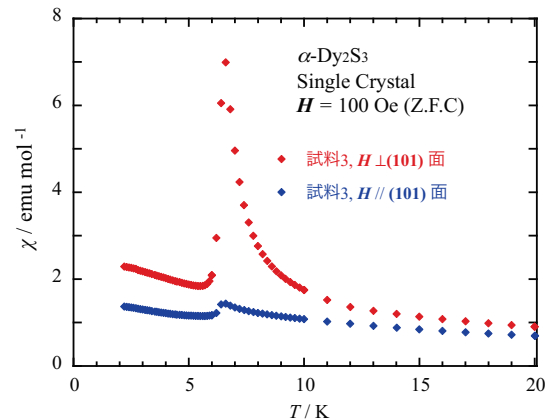


図2 試料 3 の磁化率の温度依存性

[1] S. Ebisu *et al.*, J. Magn. Magn. Mater. **310** (2007) 1741-1743

[2] S. Ebisu *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **75** (2006) 085002

[3] S. Ebisu *et al.*, J. Magn. Magn. Mater., **444** (2017) 140

[4] S. Ebisu *et al.*, 29th Int. Conf. of Low Temp. Phys. P23-SF3B-04 (2022)

Zn-Ag-Sc-RE 系正二十面体準結晶及び 1/1 近似結晶の形成条件と低温物性

北大院工¹, 北大工² ○佐藤 啓生¹, 山崎 隆介², 柏本 史郎¹

[はじめに] 準結晶とは並進対称性に相反する 5 回折対称性などの周期性とは異なる長距離秩序 (準周期性と呼ぶ) をもつ物質であり、局所的には三角形や五角形を含む正二十面体対称の多重シェル構造 (クラスタ) をとる。準結晶の発見以来、これらの構造的な特徴を反映した物性に大きな関心が持たれてきた。Jazbec らにより $Zn_{74.5}Ag_{9.5}Sc_{12}Tm_4$ 準結晶及び準結晶と同一の局所構造をもつ $Zn_{85.5}Sc_{11}Tm_{3.5}$ 近似結晶において、 $4f$ 電子に対する正二十面体対称性を反映した結晶場効果によるショットキー比熱の存在が報告されている[1]。しかし観測された低温領域では、スピングラス相への転移による比熱異常の可能性も否定できない。そこで我々は、希土類元素(RE)の種類や濃度を調整することで、磁気モーメントの大きさや相互作用の強さを变化させた試料について調べてきた。RE 濃度を増やした準結晶の形成条件については、徐冷では RE 6 at%程度、液相からの水焼き入れでは RE 8~9 at%程度が上限であり、RE 10 at%試料では近似結晶が主相として形成することが分かってきた[2][3]。また、形成限界付近の準結晶試料には 50 μm ほどの不純物相が試料全体に点在することもあり[3]、準結晶相固有の物性評価への影響も考慮しながら、今回はこれらの試料で磁性や電気伝導特性を調べた。加えて、より高い RE 濃度での形成が期待される 1/1 近似結晶のより詳しい RE 置換限界とその物性も調べた。

[結果] まず $Zn_{74.5}Ag_{9.5}Sc_{16-x}Ho_x$ ($x=6, 8, 10$) の磁化率の温度依存性を測定した。いずれも広い温度範囲で Curie-Weiss 則にしたがい、Curie 温度はいずれも負の値を取り、Ho 濃度が上がるほどその絶対値が大きくなった。また測定温度範囲(1.8~300 K)ではスピングラス等の磁気秩序の兆候は見られなかった。図 1 に単相性の高い $Zn_{74.5}Ag_{9.5}Sc_{10}RE_6$ (RE = Er, Dy) の電気抵抗率の温度依存性を示した。いずれも 200~300 $\mu\Omega cm$ 程度と一般的な金属のそれよりも高い値を示し、温度依存性は一般的な金属と逆に負の温度依存性を示したが、その変化率は 5%程度であった。

[考察] Curie 温度が負で Ho 濃度にしたがい絶対値が大きくなったことから、RE 濃度で反強磁性的な磁気相互作用の強さを制御できていることが分かる。しかし Ho 10 at%でも磁気秩序の形成には至っていない。電気抵抗率の負の温度係数は準結晶合金でよく見られる特徴で、弱局在効果などで説明されてきた。また、大きな電気抵抗率は、準結晶のフェルミ面付近で見られる擬ギャップによって状態密度が落ち込むためと考えられている。発表では近似結晶の形成条件についても議論する予定である。

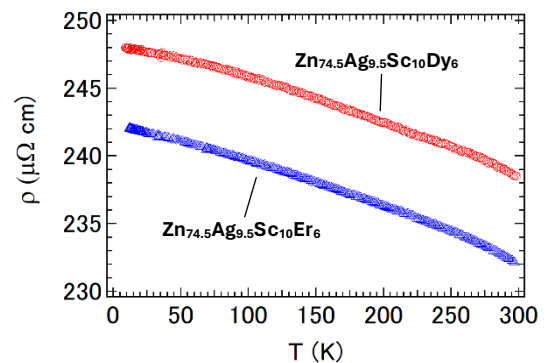


図 1: 準結晶の電気抵抗率温度依存性

[1] S. Jazbec, S. Kashimoto, P. Kojelj, S. Vrtnik, M. Jagodic, and J. Dolinsek: Phys. Rev B, 93 (2016) 054208.

[2] 山崎隆介 他, 第 56 回応用物理学会北海道支部学術講演会, C-7. 2021 年 1 月

[3] 佐藤啓生 他, 第 58 回応用物理学会北海道支部学術講演会, C-1. 2023 年 1 月

Au(111) 基板上の Fe₃O₄(111) 薄膜の作製および評価

Preparation and characterization of Fe₃O₄(111) thin films on Au(111) substrates

北大院情[○](M1)石原江瑚, Subagyo Agus, 山田雄貴, 渡邊連, 八田英嗣, 末岡和久

Graduate School of IST, Hokkaido Univ.

[○]E. Ishihara, A. Subagyo, Y. Yamada, M. Watanabe, E. Hatta and K. Sueoka

E-mail: ishihara.eko.r6@elms.hokudai.ac.jp; agus_subagyo@ist.hokudai.ac.jp

フェルミ準位近傍にスピン偏極度-100%の電子状態密度を有するハーフメタルであると予測されたマグネタイト (Fe₃O₄) は[1, 2], スピントロニクスデバイスへの応用が期待されている. MgO 基板や Al₂O₃ 基板などを用いて良質な Fe₃O₄ 薄膜は作製できるが, 成膜中に高密度な逆位相境界が形成されることや表面におけるスピン偏極度の低下が課題である. スピン分解光電子分光法により観測されたスピン偏極度は, Fe₃O₄(111) 表面では-80%であるが(100)面では-50%であった[3]. 再表面原子の測定感度が高いスピン偏極 He ビームを用いるスピン偏極分光法においても(111)面の方が(100)面より高いスピン偏極度を示す[4, 5]. 一方, 原子スケールの空間分解能を持つ再表面原子のスピン偏極電子状態の検出が可能なスピン偏極走査型トンネル顕微鏡 (SP-STM) があるが, Fe₃O₄(111) 表面の測定報告がなされていない. 本研究は, Fe₃O₄(111) 表面の原子構造やスピン偏極電子状態について SP-STM を用いて明らかにするために Au(111) 基板上の Fe₃O₄(111) 表面の作製を目的とした.

Fe₃O₄(111) は MgO(111) や Al₂O₃(0001) などの基板の上に作製可能であるが, Au(111) 表面を用いて SP-STM のスピン偏極探針のスピン偏極度の評価がおこなえることに着目し, 本研究では Au(111) 基板を用いた. しかし, Fe が少量の場合は 200°C 以上の温度で Fe が Au 内に溶け込むため, これまでの Fe₃O₄(111) の作製は Fe₂O₃ の薄膜を真空加熱により作製されている[6, 7]. まず, Au(111) 基板を Ar⁺スパッタおよび加熱により清浄化した. Au 基板を 200°C で加熱し, 酸素雰囲気中 (真空度が 7.7×10⁻⁷mbar) で Fe を約 0.1nm/min のレートで蒸着した. 膜厚は 2nm 程度になるように成膜は 10 分間おこなった. 成膜後は良質な組成の Fe₃O₄ 得るためにさらに 200°C での酸素雰囲気中の加熱を 30 分間おこなった. 冷却後の Fe₃O₄ の結晶特性および組成をそれぞれ LEED および XPS を用いて評価した.

図 1 は Au(111) 基板および Fe₃O₄ 薄膜の LEED 回折パターンを示す. Fe₃O₄ は Au(111) 基板の上にエピタキシャル成長し, (111) 面であることが分かった. また, 図 2 の Fe2p_{3/2} の XPS スペクトルは化学量論的組成の Fe₃O₄ を示すため, 採用した成膜条件により Au(111) 基板の上に Fe₃O₄(111) 薄膜の成膜が可能であることが分かった. 今後は, STM を用いて Fe₃O₄(111) の原子構造を明らかにし, さらに SP-STM を用いて表面スピン偏極電子状態の評価をおこなう予定である.

References :

- [1]. A. Yanase *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **53**, 312 (1984).
- [2]. Z. Zhang *et al.*, Phys. Rev. B **44**, 13319 (1991).
- [3]. Y. S. Dedkov *et al.*, Phys. Rev. B **65**, 064417 (2002).
- [4]. M. Kurahashi *et al.*, Phys. Rev. B **81**, 193401 (2010).
- [5]. A. Pratt *et al.*, Phys. Rev. B **85**, 180409 (2012).
- [6]. X. Deng *et al.*, Surface Science **604**, 627 (2010).
- [7]. W. Weiss *et al.*, Phys. Rev. B **59**, 5201 (1999).

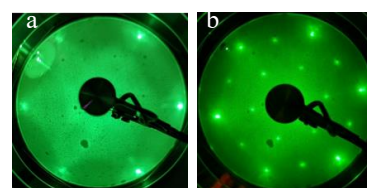


Fig. 1 LEED patterns
(a) Au(111), (b) Fe₃O₄(111)

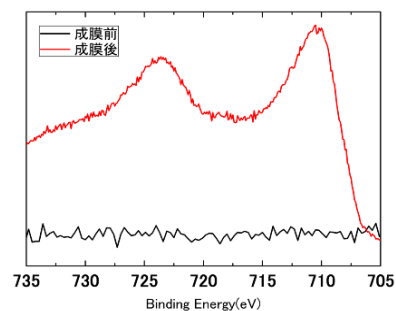


Fig. 2 Fe2p_{3/2} XPS spectrum