

強磁性亜鉛フェライトの合成と磁気及び磁気光学特性

安達信泰、中田勇輔、新海圭亮 (名古屋工業大学)

Preparation and magnetic and magneto-optical properties of Zinc Ferrite

N. Adachi, Y. Nakata, K. Shinkai (Nagoya Institute of Technology)

1.はじめに

可視光領域に高い透過率を示す ZnFe_2O_4 は、反強磁性を示すことが知られているが、作製手法により強磁性を示す報告もあり、磁気光学結晶として期待できる¹⁾²⁾。我々は、有機金属分解法により焼成温度 500°C 、焼成時間 1h で作製した ZnFe_2O_4 薄膜が極低温で大きな磁化を示したことを報告した³⁾。この強磁性は、逆スピネル配列に起因すると考えられる。本研究では、さらに結晶化の際の熱処理を様々な条件で行うことで、 ZnFe_2O_4 薄膜の磁気特性の最適化、磁気光学特性を報告する。

2. 実験方法

ZnFe_2O_4 薄膜は有機金属溶液（高純度化学）をシリカガラス基板上にスピコーティングして成膜し、熱処理結晶化して作製した。有機金属溶液は、Zn と Fe が 1:2 の組成比となるように混合し、溶液滴下後は 100°C で 30min 乾燥し、有機物を分解させるために 300°C で 30min 仮熱処理を行った。これを約 $0.3\mu\text{m}$ の膜厚が得られるまで繰り返し、その後、熱処理を行い結晶化させた。熱処理は、温度を $400\sim 1000^\circ\text{C}$ 、時間を 1min $\sim$ 12h まで変えて作製した。作製した試料に対し、XRD による結晶評価、SQUID による磁気特性の評価、またファラデー回転測定を低温で行った。

3. 結果と考察

結晶化した薄膜は、 ZnFe_2O_4 単相のスピネル構造を示す多結晶回折ピークのみが観測された。Fig. 1 に各焼成条件で作製した試料の温度 4K での磁化曲線を示した。どの試料においても保磁力は 700 Oe 程度を示し、強磁性は同じ磁性相に由来すると考えられる。10kOe の印加磁界において、 $495^\circ\text{C}_1\text{h}$ では 34.1emu/g 、 $500^\circ\text{C}_2\text{h}$ では 44.5emu/g の磁化を示した。また、 $480^\circ\text{C}_12\text{h}$ では 37.2emu/g の磁化を示したことから、大きな磁化を示す焼成条件は、焼成温度 500°C 付近・焼成時間 2h 程度から焼成温度 480°C 付近・焼成時間 12h 程度の間にあると考えられる。また、温度 $4\sim 300\text{K}$ における磁気ヒステリシス曲線からアロットプロットからキュリー温度を 190K 程度と見積もった。80 K におけるファラデー回転を Fig.2 に示す。磁界に対して負の回転角を示し、膜厚当りに換算すると、 470nm で、 $-1.8\times 10^3 \text{ deg/cm}$ を示し、短波長領域で比較的大きなファラデー効果を示すことが分かった。

謝辞：メスバウアー分光測定で、名古屋工業大学の壬生教授、田中准教授にお世話になりました。SQUID 測定で、分子科学研究所の伊木氏、藤原氏らスタッフの皆様にお世話になりました。ここに感謝致します。

References

- 1) K. TANAKA et.al., J. Phys. Chem Solids Vol 59, No. 9, pp. 1611-1618 (1998)
- 2) N. Wakiya et.al. J. Mag. Mat. 310 (2007) pp.2546-2548
- 3) N. Adachi et.al. 13aC-9 日本磁気学会第42回学術講演会予稿集

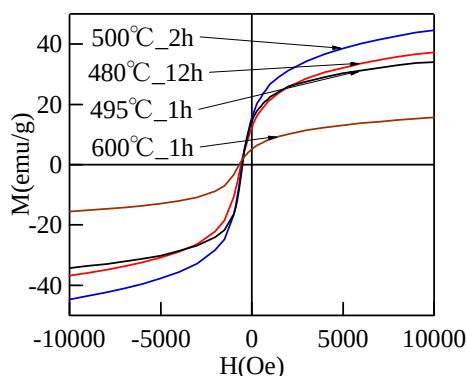


Fig.1 The magnetization curves depending on annealing conditions for ZnFe_2O_4 films.

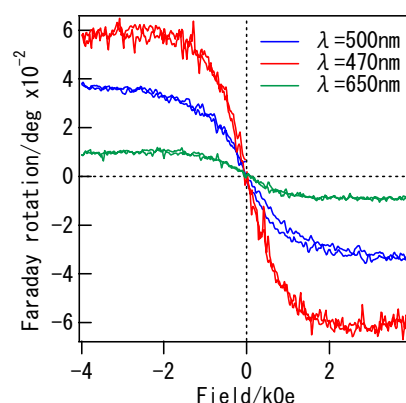


Fig.2. The Faraday Hysteresis curves at 80 K of ZnFe_2O_4

急冷により作製した高飽和磁化 Ca-Zn 系スピネルフェライト

橋本順平、柿崎浩一、神島謙二
(埼玉大学)

High saturation magnetization calcium-zinc spinel ferrite
prepared by rapid cooling

J. Hashimoto, K. Kakizaki, K. Kamishima
(Saitama Univ.)

緒言

スピネルフェライトは、一般に化学式 MeFe_2O_4 ($\text{Me} = \text{Mg}^{2+}, \text{Zn}^{2+}, \text{Co}^{2+}, \dots$) で表される。¹⁾ Mg 以外のアルカリ土類二価イオンは Me サイトに入らないと考えられていた。しかし先行研究²⁾の W 型フェライト組成を参考に $\text{CaZn}_2\text{Fe}_{16}\text{O}_{27}$ の組成で焼成を行うと高飽和磁化の Ca 系スピネルと $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、Ca 系酸化物の混相が得られた。但し、このスピネルの単相は得られていない。本研究では Ca-Zn 系高飽和磁化スピネルフェライトの単相を得るための作製条件を検討し、飽和磁化値向上を試みた。

実験方法

作製方法は粉末冶金法であり、2通りの焼成過程で行った。原料粉には CaCO_3 、 ZnO 、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を用い、Ca 系副生成物を抑制するため Ca の少ない $\text{Ca}_{0.5}\text{Zn}_{2.5}\text{Fe}_{16-x}\text{O}_{27-\delta}$ 組成となるように秤量し、湿式ボールミルで 24 時間混合後、乾燥させた。混合粉末を 1 t/cm^2 でディスク状に加圧成型し、 $T_s = 1200 \sim 1300^\circ\text{C}$ で 5 時間焼成した。焼成後、空冷 (-200 K/h.) もしくは水冷により試料を得た。³⁾ 試料の結晶構造は粉末 X 線回折法で同定し、磁気特性は超伝導量子干渉型磁束計 (SQUID) を用いて測定した。

実験結果

図 1 に $\text{Ca}_{0.5}\text{Zn}_{2.5}\text{Fe}_{16-x}\text{O}_{27-\delta}$ ($0 \leq x \leq 7$)、 $T_s = 1300^\circ\text{C}$ 、急冷試料の X 線回折図を示す。どの試料もスピネルが主相であった。 $x = 0$ では $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ が異相として残存するが、 $1 \leq x \leq 7$ ではスピネルの単相となった。これに対し、空冷 (-200 K/h.) の試料では $0 \leq x \leq 7$ の範囲でスピネルが生成したが、いずれも単相は得られず、異相として $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ca}_3\text{Fe}_{15}\text{O}_{25}$ が生成した。

図 2 に $\text{Ca}_{0.5}\text{Zn}_{2.5}\text{Fe}_{16-x}\text{O}_{27-\delta}$ ($0 \leq x \leq 7$)、 $T_s = 1300^\circ\text{C}$ 、急冷試料の飽和磁化を示す。300 K では $x = 1$ で最大値 93 emu/g であり、1.8 K では $x = 3$ で最大値 146 emu/g であった。一方、空冷 (-200 K/h.) した試料の飽和磁化の最大値は $x = 1$ で、300 K 及び 1.8 K においてそれぞれ 48 emu/g および 87 emu/g であった。また、急冷試料は導電性がありマグネタイト様スピネルであることが考えられるが、低温で通常の Zn 置換マグネタイト (約 140 emu/g) ⁴⁾ より高い飽和磁化値であった。この結果より、急冷により二価鉄を含むマグネタイト様スピネルが生成しただけでなく、Ca を添加したことによりイオン分布に変化が生じ、磁化が増加したと考えられる。

参考文献

- 1) S. Blundell, Magnetism in Condensed Matter, 97-98 (Oxford Univ. Press, 2001)
- 2) 関川雄大, 柿崎浩一, 神島謙二; 第 41 回磁気学会学術講演会概要集, 5 (2017)
- 3) E. W. Gorter, Philips Res. Rep. 9, 356-360 (1954)
- 4) J. J. Went, E. W. Gorter, Philips Tech. Rev. 7, 185 (1952)

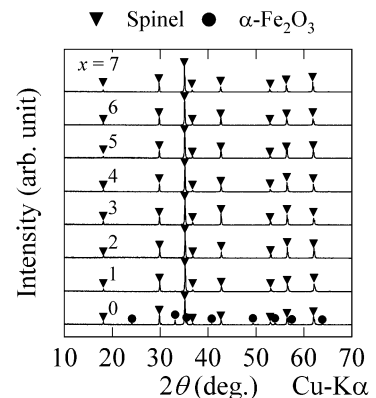


図 1 $\text{Ca}_{0.5}\text{Zn}_{2.5}\text{Fe}_{16-x}\text{O}_{27-\delta}$
($T_s = 1300^\circ\text{C}$ ・急冷)の X 線回折図

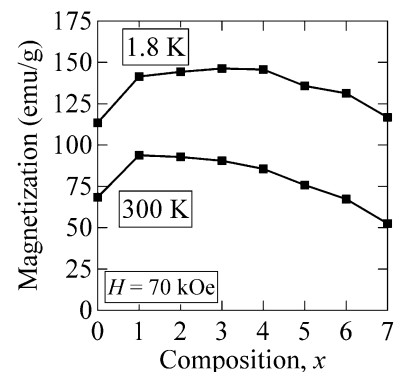


図 2 $\text{Ca}_{0.5}\text{Zn}_{2.5}\text{Fe}_{16-x}\text{O}_{27-\delta}$
($T_s = 1300^\circ\text{C}$ ・急冷)の飽和磁化

Ca 系 γ 型六方晶フェライトの磁気特性に対する Ni, Zn 置換効果

今井大貴、柿崎浩一、神島謙二

(埼玉大院理工)

NiZn-substitution effect on magnetic properties of Ca-based γ -class hexagonal ferrite

H. Imai, K. Kakizaki, K. Kamishima

(Saitama Univ.)

はじめに

Ca や Fe は地表付近での存在割合が大きく、資源的に豊富で毒性が低いという利点がある。そこで我々は Ca、Fe を用いた磁性体である Ca 系 γ 型六方晶フェライト $A_4B_{20}O_{33}$ ($A, B = Ca, Co, Fe$)¹⁾ の作製を試みた。Braun らの試料の組成比 $Ca : Co : Fe = 22 : 3 : 75$ で試料を作製した結果、 γ 型フェライトのほかに副生成物として非磁性物質の $CaFe_2O_4$ が生じ、 γ 型フェライト本来の磁気特性を評価できなかった。しかし組成を $Ca : Co : Fe = 4.0 : 0.7 : 15.3$ とすることで γ 型フェライトの単相試料が作製できることを発見した。²⁾ Braun らは二価遷移金属が Zn の場合には γ 型フェライトは作製できないとしていたため、¹⁾ 本研究では Co を Ni へ変更したうえで Zn 置換を試み、 γ 型フェライトの作製条件ならびに磁気特性への影響について調べた。

実験方法

$Ca : Zn : Ni : Fe = 4.0 : x : 0.7 - x : 15.3$ となるように $CaCO_3$, ZnO , NiO , $\alpha\text{-Fe}_2O_3$ を秤量し、遊星ボールミルによる粉碎を行った後、ディスク状に加圧成型し、 1225°C で本焼成した。試料の結晶構造は粉末 X 線回折法で同定し、磁気特性は VSM と SQUID 磁束計を用いて測定した。

実験結果及び考察

図 1 は Zn 置換 Ni- γ 型フェライト試料の X 線回折図を示す。すべての組成において γ 型フェライト単相となった。Braun らは二価遷移金属を Zn とした場合、通常 γ 型フェライトは作製できず、 Y_2O_3 等の添加が必要であると指摘した。¹⁾ しかし本研究の組成においては、二価遷移金属を Zn のみとした試料 ($x=0.7$) についても γ 型フェライトが単相で得られた。

図 2 は各試料の熱磁気曲線を示す。いずれの試料でもキュリー点の一つであり、試料に含まれる強磁性体は γ 型フェライトのみだった。これは X 線回折図の結果と矛盾せず、また得られた磁気特性が γ 型フェライトのみに起因することを示す。Ni のみの γ 型フェライトのキュリー点は 233°C であり、Zn の置換量が増加するに従いキュリー点は減少した。そして Zn のみの γ 型フェライトではキュリー点は 103°C となった。キュリー点の減少は磁性イオンである Ni を非磁性イオンである Zn に置換したことで、酸素を介した磁性イオン間の超交換相互作用が弱くなったことに起因すると考えられる。

参考文献

- 1) P. B. Braun and W. Kwestroo, Philips Res. Repts., 15, 394 (1960)
- 2) 今井大貴、柿崎浩一、神島謙二; 第 9 回 CSJ 化学フェスタ予稿集, P9-115 (2019)

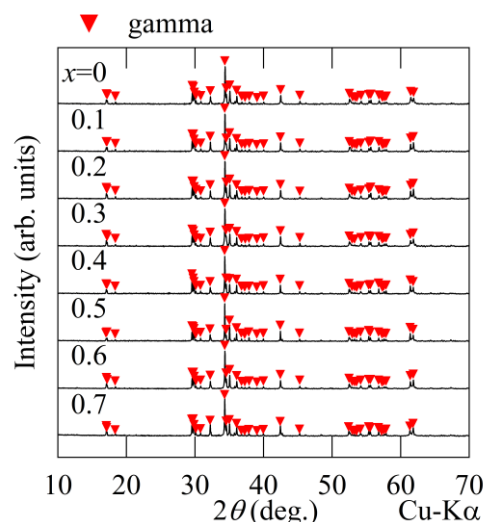


図 1 組成 $Ca : Zn : Ni : Fe = 4.0 : x : 0.7 - x : 15.3$, $T_s = 1225^\circ\text{C}$ の試料の X 線回折図

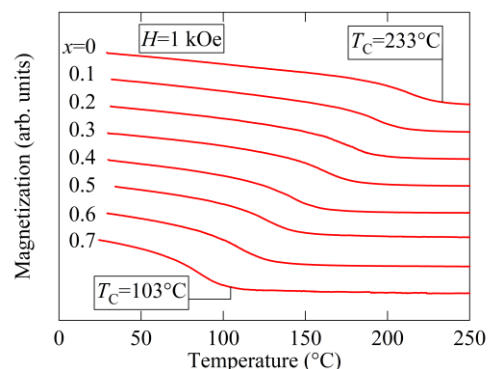


図 2 組成 $Ca : Zn : Ni : Fe = 4.0 : x : 0.7 - x : 15.3$, $T_s = 1225^\circ\text{C}$ の試料の熱磁気曲線

LiTi 置換 18H 型六方晶フェライトの作製

高橋久由、柿崎浩一、神島謙二
(埼玉大学 大学院 理工学研究科)

Synthesis of LiTi substituted 18H-type hexaferrite

H. Takahashi, K. Kakizaki, K. Kamishima

(Graduate School of Science and Engineering, Saitama University)

緒言

18H 型六方晶フェライトは、S ブロックと T ブロックからなる Y 型六方晶フェライトの T ブロックに六方晶チタン酸バリウム 3 化学式分の層が挟まった積層構造である。本研究の先行研究において 18H 型の組成を $\text{Ba}_5\text{Me}_{2-x}\text{Ti}_{3-x}\text{Fe}_{12+2x}\text{O}_{31}$ としたとき、 $x = 0.5$ で最適組成となることがわかっている。¹⁾ 本研究では二価金属を $\text{Li}^{2+}_{2/3}\text{Ti}^{4+}_{1/3}$ で置換した 18H 型フェライトを作製した。

実験方法

作製方法は 2 つあり、1 つ目の作製方法は乾式焼成法である。原料粉として BaCO_3 、 Li_2CO_3 、 TiO_2 、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を用いて $\text{Ba}_5(\text{Li}_{2/3}\text{Ti}_{1/3})_{2-x}\text{Ti}_{3-x}\text{Fe}_{12+2x}\text{O}_{31}$ ($x = 0.125 \sim 1.250$) の化学量論組成になるように秤量し、乳鉢で乾式混合を行った。得られた試料を加圧成型し、 1100°C で 5 時間本焼成した。2 つ目の作製方法はエタノール焼成法であり、エタノールを分散媒とした湿式混合を行った。これらの作製方法により得られた試料について粉末 X 線回折法により試料の結晶構造を解析し、振動試料型磁力計 (VSM) を用いて磁気特性を測定した。

結果と考察

図 1 に乾式焼成法で作製した $\text{Ba}_5(\text{Li}_{2/3}\text{Ti}_{1/3})_{2-x}\text{Ti}_{3-x}\text{Fe}_{12+2x}\text{O}_{31}$ 試料の X 線回折図を示す。 $0.125 \leq x \leq 1.25$ の範囲で 18H 型が生成した。しかし、いずれも単相は得られず、異相が残った。最も単相に近いのは $x = 0.5$ の試料であり、これが最適な組成であると考えられる。

図 2 に $x = 0.5$ の組成で乾式焼成法とエタノール焼成法により作製した試料 ($\text{Ba}_5(\text{Li}_{2/3}\text{Ti}_{1/3})_{1.5}\text{Ti}_{2.5}\text{Fe}_{13}\text{O}_{31}$) の X 線回折図を示す。エタノール焼成法で作製した試料は単相であった。このことから、Li を用いた 18H 型の作製には、エタノール焼成法が適していると考えられる。

図 3 に乾式焼成法とエタノール焼成法により作製した $x = 0.5$ の試料 ($\text{Ba}_5(\text{Li}_{2/3}\text{Ti}_{1/3})_{1.5}\text{Ti}_{2.5}\text{Fe}_{13}\text{O}_{31}$) の熱磁気曲線を示す。乾式焼成法ではキュリー点が 2 ヶ所存在した。低温側が 18H 型で、高温側が LiTi 置換系の M 型フェライトに由来するものと考えられる。エタノール焼成法では、M 型フェライトのキュリー点は消失し、磁気的にも単相になった。

乾式混合ではなくエタノール湿式混合を行うことで局所的な組成ずれによる副生成物の生成を抑制できたと考えられ、エタノール焼成法により単相の LiTi 置換 18H 型六方晶フェライトが得られた。

参考文献

- 1) K. Watanabe, T. Fujihara, K. Watanabe, K. Kakizaki, K. Kamishima : J. Phys. Soc. Jpn. 89, 014704, pp. 1-5 (2020).

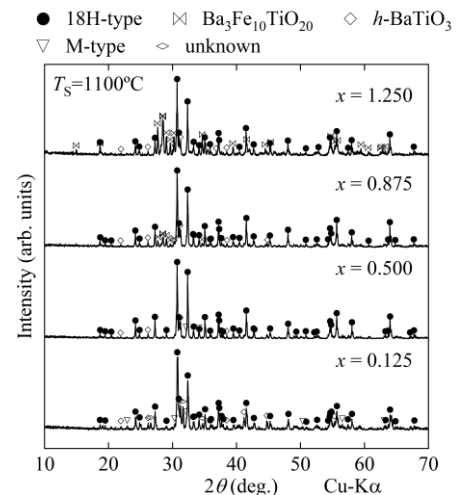


図 1 $\text{Ba}_5(\text{Li}_{2/3}\text{Ti}_{1/3})_{2-x}\text{Ti}_{3-x}\text{Fe}_{12+2x}\text{O}_{31}$ の X 線回折図

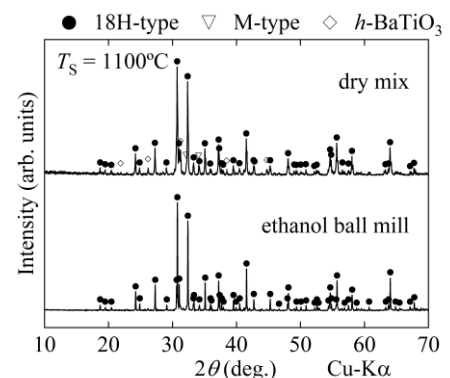


図 2 $\text{Ba}_5(\text{Li}_{2/3}\text{Ti}_{1/3})_{1.5}\text{Ti}_{2.5}\text{Fe}_{13}\text{O}_{31}$ の X 線回折図

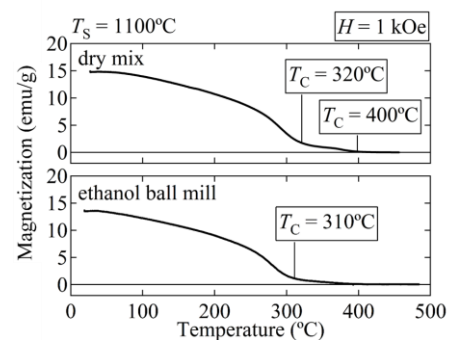


図 3 $\text{Ba}_5(\text{Li}_{2/3}\text{Ti}_{1/3})_{1.5}\text{Ti}_{2.5}\text{Fe}_{13}\text{O}_{31}$ の熱磁気曲線

Sr 置換 18H 型六方晶フェライトの作製

神治樹、柿崎浩一、神島謙二
(埼玉大学 大学院 理工学研究科)

Synthesis of Sr substituted 18H-type hexaferrite

H. Kan, K. Kakizaki, K. Kamishima

(Graduate School of Science and Engineering, Saitama University)

緒言

六方晶フェライトは M 型や Y 型などがあり、これらは S ブロック $((2\text{MeFe}_2\text{O}_4)^{0+}, (2\text{Fe}_3\text{O}_4)^{2+})$ 、R ブロック $((\text{BaFe}_6\text{O}_{11})^{2-})$ 、T ブロック $((\text{Ba}_2\text{Fe}_8\text{O}_{14})^{0+})$ を組み合わせた積層構造である (Me は二価遷移金属イオン)。先行研究において、S ブロックと T ブロックで構成される Y 型の T ブロック間に六方晶 BaTiO_3 (*h*-BTO) 化学式から成る層が挟まってできた構造である 18H 型六方晶フェライトを見出した¹⁾。18H 型の最適組成は $\text{Ba}_5\text{Me}_{1.5}\text{Ti}_{2.5}\text{Fe}_{13}\text{O}_{31}$ であることが分かっている。本研究では、18H 型六方晶フェライトに含まれるアルカリ土類金属の Ba を Sr に換えて作製条件の探索を試みた。

実験方法

原料粉 SrCO_3 、 BaCO_3 、 ZnO 、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 TiO_2 を化学量論組成 $(\text{Sr}_x\text{Ba}_{5-x})\text{Zn}_{1.5}\text{Ti}_{2.5}\text{Fe}_{13}\text{O}_{31}$ となるように秤量した。これらを湿式ボールミルで 24 時間混合し、乾燥させた。混合粉末を 1 t/cm^2 のディスク状に加圧成型し、 1250°C で 5 時間本焼成した。試料の結晶構造は粉末 X 線回折法で同定し、磁気特性は振動試料型磁力計 (VSM) を用いて測定した。

結果と考察

図 1 に 1250°C で焼成した $(\text{Sr}_x\text{Ba}_{5-x})\text{Zn}_{1.5}\text{Ti}_{2.5}\text{Fe}_{13}\text{O}_{31}$ ($0.00 \leq x \leq 0.80$) の X 線回折図を示す。全ての試料で 18H 型が生成したものの、 $x \geq 0.20$ の試料では異相である立方晶 SrTiO_3 (*c*-STO) 相のピークが観測された。

図 2 に 1250°C で焼成した $(\text{Sr}_x\text{Ba}_{5-x})\text{Zn}_{1.5}\text{Ti}_{2.5}\text{Fe}_{13}\text{O}_{31}$ ($x=0.00\sim 0.15$) の熱磁気曲線を示す。単相が得られた試料ではキュリー温度が 100°C 付近であり、Sr 置換により 18H 型六方晶フェライトのキュリー点は、ほぼ変化しなかった。

Sr 系 18H 型六方晶フェライトの生成限界が低いのは、STO の晶系によるものと考えられる。18H 型は六方晶 *h*-BTO 層が挟まってできた構造である一方、六方晶 *h*-STO は存在しない。これにより 18H 型六方晶構造に固溶し難く比較的生成しやすい立方晶 *c*-STO が副生成物として生じたと考えられる。

以上より、Sr 置換 18H 型六方晶フェライト $(\text{Sr}_x\text{Ba}_{5-x})\text{Zn}_{1.5}\text{Ti}_{2.5}\text{Fe}_{13}\text{O}_{31}$ の単相作製限界は $x \leq 0.15$ であることが分かった。

参考文献

- 1) K. Watanabe, T. Fujihara, K. Watanabe, K. Kakizaki, K. Kamishima: J. Phys. Soc. Jpn. 89, 014704, 1 (2020).

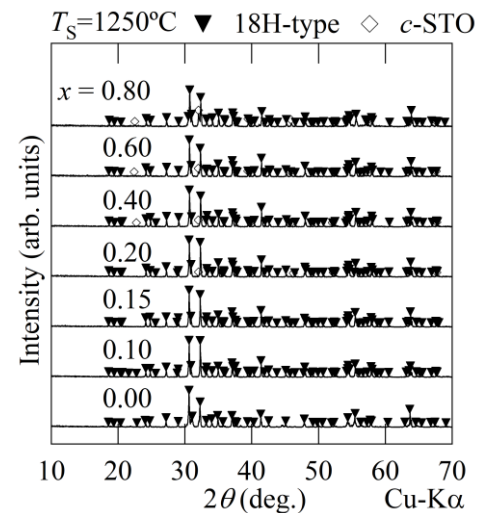


図 1 $(\text{Sr}_x\text{Ba}_{5-x})\text{Zn}_{1.5}\text{Ti}_{2.5}\text{Fe}_{13}\text{O}_{31}$ の X 線回折図

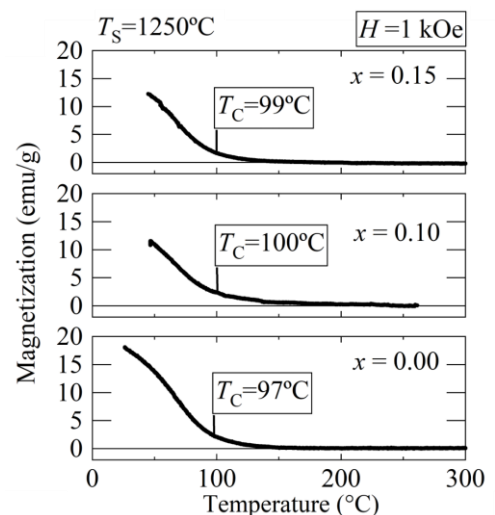


図 2 $(\text{Sr}_x\text{Ba}_{5-x})\text{Zn}_{1.5}\text{Ti}_{2.5}\text{Fe}_{13}\text{O}_{31}$ の熱磁気曲線

六方晶フェライト $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x)_{12}\text{O}_{19}$ の磁気相図

丸山健一(院生)¹, 田中誠也(院生)¹, 内海重宜¹, 鬼柳亮嗣², 中尾朗子³, 森山健太郎³, 石川喜久³

(¹ 公立諏訪東京理科大学大学院, ² 日本原子力研究開発機構, ³ 総合科学研究機構)

Magnetic phase diagram of hexagonal ferrite $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x)_{12}\text{O}_{19}$

K. Maruyama¹, S. Tanaka¹, S. Utsumi¹, R. Kiyonagi², A. Nakao³, K. Moriyama³, Y. Ishikawa³

(¹Suwa Univ. of Sci, ²Japan Atomic Energy Agency, ³CROSS)

はじめに

六方晶フェライト $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ に非磁性イオン Sc^{3+} を添加した $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x)_{12}\text{O}_{19}$ では、磁気モーメントが角度配列したヘリカル磁性が発現する。六方晶フェライトで発現するヘリカル磁性は強誘電性も示すマルチフェロイックスとしても注目されている。我々は、様々な Sc 濃度 x を持つ $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x)_{12}\text{O}_{19}$ の良質な単結晶の育成に成功している^[1]。本研究では、育成した $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x)_{12}\text{O}_{19}$ 単結晶試料について中性子回折および磁化測定を行い、 T - x 磁気相図を作成したので報告する。

実験方法

$\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x)_{12}\text{O}_{19}$ 単結晶試料はフラックス法により育成した。J-PARC の物質・生命科学実験施設 (MLF) BL18 に設置された、中性子単結晶回折装置 SENJU を用いて、TOF-Laue 中性子回折測定を様々な温度で行った^[2]。温度変化の速度は 0.5 K/min とした。入射中性子波長は 0.4-8.8 Å である。また、試料振動型磁力計 (VSM) を用いて磁化の温度変化を測定した。外部磁場は 5 kOe とし、 c 軸方向に印加した。

実験結果

(00 l) 中性子回折パターンの温度依存の一例として、 $x=0.128$ 結晶の結果を Fig.1 に示す。(00 2($n+\delta$)) で指数付けされる磁気衛星反射が 212 K 以下で観測され、ヘリカル磁性とフェリ磁性の磁気相転移温度が 212 K であることが分かった。ここで δ は磁気衛星反射の非整合性を示す。 $x=0.153$ 結晶では全測定温度範囲 (<296 K) で磁気衛星反射が観測された。これら中性子回折と磁化の温度変化の結果に基づいて作成した $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x)_{12}\text{O}_{19}$ の磁気相図を Fig.2 に示す。ヘリカル磁性は Sc 濃度 $x>0.06$ の領域で観測され、高 Sc 濃度領域ではヘリカル磁性と反強磁性が共存した範囲があり、さらに高 Sc 濃度範囲では反強磁性相のみ観測された。

謝辞

中性子回折実験は、J-PAR・MLF のユーザープログラム (課題番号 2018B0073, 2019A0211, 2019B0098, 2020A0034) の下で行われた。

参考文献

[1] S. Utsumi *et al.*, *ACS Omega* in print.

[2] T. Ohhara *et al.*, *J. Appl. Crystallogr.* **2016**, 49, 120–127.

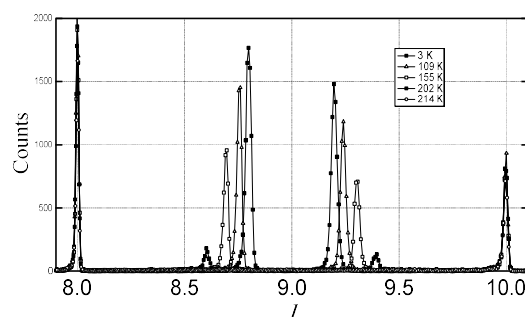


Fig. 1 Temperature dependence of (00 l) neutron diffraction pattern for the $x=0.128$ crystal.

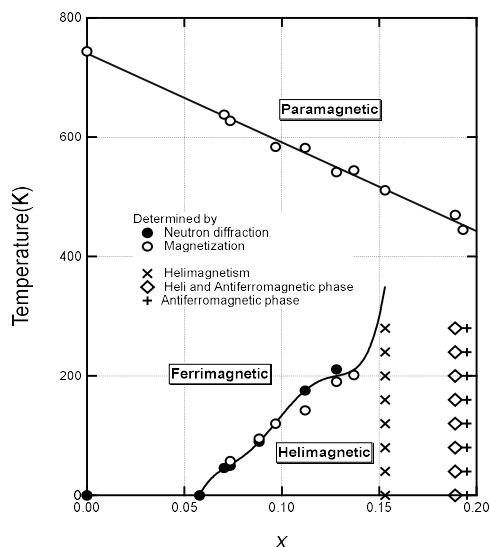


Fig. 2 Magnetic phase diagram of $\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Sc}_x)_{12}\text{O}_{19}$ in the T - x plane.