

FMR measurements on $\text{Co}_2\text{FeAl}_x\text{Si}_{1-x}$ Heusler alloy thin films

T. Hojo ^a, H. Hamasaki ^a, M. Tsunoda ^a, M. Oogane ^a, O. Chumak ^b, A. Nabiałek ^b, and L. T. Baczewski ^b

^a Graduate School of Engineering, Tohoku University

^b Institute of Physics, Polish Academy of Sciences

Introduction

Due to their half-metallicity and high Curie temperature, Co-based Heusler alloys are promising materials for spintronic devices such as magnetic random-access memory (MRAM) and magnetic sensors. In such devices, low magnetic anisotropy of Co-based Heusler alloys is an advantage to improve their performances. These days, we have reported that magneto-crystalline anisotropy K_1 of $\text{Co}_2\text{FeAl}_x\text{Si}_{1-x}$ thin films changed from positive to negative as x increased and crossed $K_1 = 0$ line at around $x = 0.33$.¹⁾ In this study, we performed in-plane and out-of-plane ferromagnetic resonance (FMR) on $\text{Co}_2\text{FeAl}_x\text{Si}_{1-x}$ thin films to investigate magnetic properties in more detail.

Experimental Procedure

50-nm thick $\text{Co}_2\text{FeAl}_x\text{Si}_{1-x}$ films were deposited on (001)-oriented MgO single crystalline substrate by co-sputtering method with Co_2FeAl and Co_2FeSi targets, and then annealed at 500°C to improve their crystallinity. We have firstly investigated their crystalline properties by X-ray diffraction. It was found that above 80% of B2 ordering was observed in all the samples but L_{21} structure was detected only in the samples with x below 0.4, indicating that all the samples are expected to show half-metallicity. Subsequently, in-plane and out-of-plane FMR was performed.

Results

Fig. 1 (a) shows the in-plane angular dependence of the resonance field for the $\text{Co}_2\text{FeAl}_x\text{Si}_{1-x}$ thin films. It is evident that the magnetic easy axis has changed from [100] to [110] with increase of x . By fitting with the function suggested by H. Suhl²⁾, the K_1 has changed from small positive to negative value and crossed zero value at around $x = 0.33$. This behavior of K_1 agrees with that evaluated from magnetization curves measured by vibrating sample magnetometer. The smallest K_1 measured in this study was $< 1,000$ erg/cc, which is the smallest value reported for Co-based Heusler alloy thin films.³⁾ Figure 1 (b) shows the out-of-plane angular dependence of the linewidth of the FMR spectrum for the sample with $x = 0.33$. To evaluate intrinsic magnetic damping constant α , we fitted the linewidth by the sum of the intrinsic and extrinsic terms. The minimum value of magnetic damping constant α was less than 0.003 at $x = 0.33$, which indicates good half-metallicity because the damping constant α is proportional to the density of states at the Fermi level. Such a unique material with both good half-metallicity and small magneto-crystalline anisotropy is a good candidate for enhancing the performance of spintronics devices like magnetic sensors. This work was supported by SIP-project, SCOPE project, X-nics project, and CSIS, CIES and GP-spin program in Tohoku University.

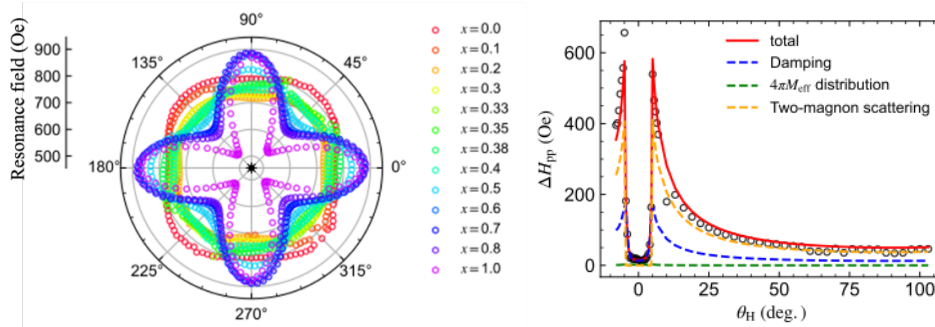


Figure 1 (a) In-plane angular dependence of resonance field for all the samples, and (b) out-of-plane angular dependence of linewidth for the sample with $x = 0.33$.

References

- 1) T. Hojo *et al.*, J. Magn. Magn. Mater. **601**, 172144 (2024)
- 2) H. Suhl, Phys. Rev. **97**, 555 (1955).
- 3) A. Nabiałek *et al.*, Phys. Rev. B **106**, 054406 (2022)

Co 基ホイスラー合金電極を用いた 高感度 TMR センサ用バッファ層の作製

○濱崎 宏海、北條 峻之、角田 匡清、大兼 幹彦

(東北大学大学院工学研究科)

Fabrication of Buffer Layers for Highly Sensitive TMR Sensors with Co-based Heusler alloy electrodes

H. Hamasaki, T. Hojo, M. Tsunoda, and M. Oogane

(Graduate School of Engineering, Tohoku University)

はじめに

TMR センサとは、トンネル磁気抵抗 (TMR) 効果を利用した磁気センサであり、これまでに室温で心磁場を測定するのに十分な感度を持つ TMR が報告されている¹⁾。一方、脳磁場のような小さな磁場をリアルタイムで検出するには、より大きな TMR 比と小さな異方性磁界 H_k ($= 2K_1/M_s$) が必要である。我々はハーフメタル性により室温で大きな TMR 比が期待できる Co 基ホイスラー合金 $\text{Co}_2\text{FeAl}_x\text{Si}_{1-x}$ 薄膜を作製し、その K_1 は x の増加に伴って正から負に変化し $x=0.33$ 付近において $K_1=0$ 線と交差することを明らかにした²⁾。また Co 基ホイスラー合金電極の強磁性トンネル接合 (MTJ) において大きな TMR 比を得るためには、高い B2 規則度と優れた (001) 結晶配向性が求められる。そこで本研究では Co_2FeAl 、 Co_2FeSi 及びこれらの中間組成である $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.33}\text{Si}_{0.67}$ 薄膜を複数のバッファ層上に成膜し、その結晶・磁気特性を評価した。

実験方法

MgO (001) 基板上にスパッタリング法で MgO (20 nm)、Cr (60 nm)、Cr (60 nm)/Ag (20 nm) の各バッファ層をそれぞれ成膜した後、 Co_2FeAl 、 Co_2FeSi および $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.33}\text{Si}_{0.67}$ を室温で 50 nm 成膜し、酸化防止のために Ru を 2 nm 成膜した。成膜後、ポストアニール温度 $T_a=400 - 700^\circ\text{C}$ で熱処理した。結晶特性は XRD で測定し解析した。B2 規則度は $2\theta/\omega$ スキャンのピーク強度を、(001) 結晶配向性はロッキングカーブの全半値幅を用いて評価した。

結果

Fig. 1 は各試料のロッキングカーブ測定における Co_2FeAl (004) ピークの全半値幅である。熱処理によって、全半値幅が小さくなり (001) 結晶配向性が改善されていることがわかる。特に Cr/Ag バッファ層上に成膜した Co_2FeAl 薄膜は 600°C において優れた (001) 結晶配向性を示している。これは、Cr 層によるミスマッチの緩和と、Ag 層による Cr 原子の拡散防止によるものである。また、同条件において B2 規則度は約 80% であり、Cr/Ag バッファ層によって高い B2 規則度と優れた (001) 結晶配向性が得られることが分かった。発表当日は、 Co_2FeSi および $\text{Co}_2\text{FeAl}_{0.33}\text{Si}_{0.67}$ 薄膜における結果も併せて発表する予定である。

参考文献

- 1) M. Oogane *et al.*, Appl. Phys. Exp. **14**, 123002 (2021)
- 2) T. Hojo *et al.*, J. Magn. Magn. Mater. **601**, 172144 (2024)

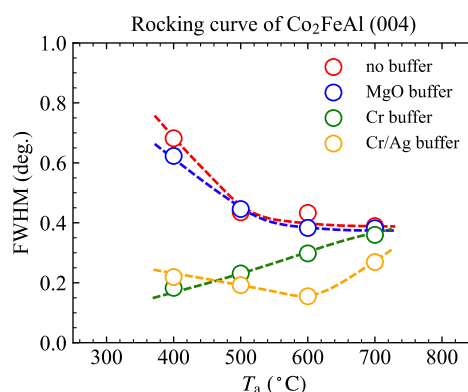


Figure 1 Annealing Temperature dependence of (001)-orientation for Co_2FeAl thin films

集合組織を形成した Fe-6.5Si 偏平粒子の組織と磁気特性

本塚智、グエン・ザー・ミン・タオ*、竹澤 昌晃
(九工大、*島根大)

Microstructure and Magnetic Properties of Fe-6.5Si Flaky Particle with Crystallographic Texture

S. Motozuka, N. G. M. Thao, M. Takezawa
(Kyushu Inst. Tech., *Shimane Univ.)

はじめに

水アトマイズ法などで得られた不定形の純鉄粒子をボールミルで塑性変形させることで、偏平化した純鉄粉末が得られる。ボールミル処理の際に黒鉛などの固体潤滑剤や油などを添加すると、塑性変形の様式が変化し、{001}が偏平面と平行に配向した純鉄粒子が得られる。今回は、純鉄粒子に代えて、Fe-6.5Si 粒子を用いて同様の方法で偏平粒子を作製し、その組織と磁気特性を評価した。

実験方法

Fe-6.5Si 粒子(以後、合金粒子)としてはエプソンアトミックス社製の PIS65 を使い、これを目開き 125 μm のふるい下および 90 μm のふるい上の合金粒子をボールミル処理に供した。合金粒子と SUJ-2 の鋼球、固体潤滑剤である窒化ホウ素とイソプロピルアルコールを SUS304 製のボールミル容器に入れ、本容器を遠心ボールミル(日新技研社製、NEV-MA-8)に取り付け、所定時間処理した。比較のため、潤滑剤を加えずに単体でも合金粒子をボールミルで処理した。得られた粒子は Ar 雰囲気下で 700 度で 1 時間熱処理し、ボールミル処理に伴うひずみを除去した。さらにシリコン樹脂(ダウコーニング東レ SR2400)で被覆し、被覆された粒子を外径 30 mm、内径 20 mm のリング状に 900 MPa でプレスし、EBSD(Electron Backscattered Diffraction)および B-H アナライザで集合組織及び磁気特性を評価した。

実験結果

図 1(a)に潤滑剤と共にボールミル処理された合金粒子の SEM 像を示す。4 時間のボールミル処理によって、潤滑剤とともに処理された合金粒子は、厚みが $2.3 \pm 0.7 \mu\text{m}$ 、偏平面の外周に外接する円で評価した粒子サイズが $100.0 \pm 43.4 \mu\text{m}$ 程度、潤滑剤を加えずに処理された合金粒子はそれぞれ $2.8 \pm 1.1 \mu\text{m}$ 、 $144.1 \pm 65.7 \mu\text{m}$ の偏平粒子となった。熱処理および絶縁被覆後に直径 11.3 mm の金型で 900 MPa でプレスして

図 1(b)に示すようなペレットを得た。潤滑剤を添加及び添加せずに得られた偏平粒子のペレット断面の EBSD による逆極点図をそれぞれ図 1(c, d)に示す。逆極点図はペレットの中心軸方向を基準に描画している。潤滑剤を添加してボールミル処理された合金粒子によるペレットの 001 の極密度は 3.09 であるのに対し、添加しない場合は 1.98 と低い値となった。すなわち、潤滑剤と共にボールミル処理された偏平粒子の方が、鉄の磁化容易軸の<001>をより多くその偏平面内に持つことがわかる。講演では、結晶粒径などの組織の詳細および、磁気特性について報告、議論する。

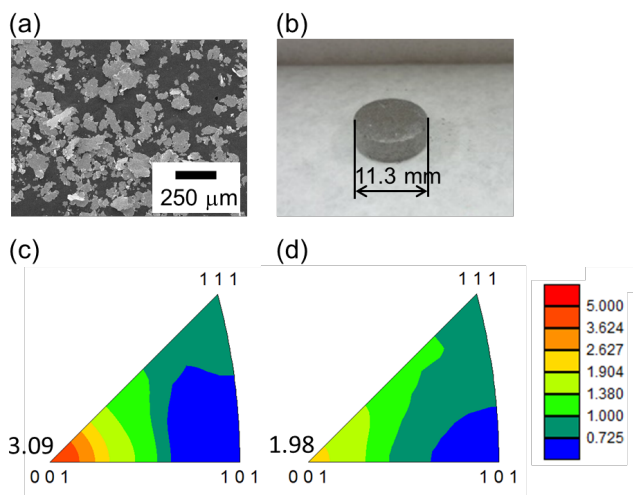


Fig. 1 (a)SEM image of ball-milled flaky particle, (b) its consolidated pellet, and (c, d) inverse pole figures of cross section of the consolidated flaky powder achieved by ball-milling treatment with and without lubricant, respectively (figures on left apex of triangle are pole densities at 001).

高 Si 濃度 Fe-B-Si アモルファス合金のアモルファス形成範囲と磁氣的・電氣的性質

尾藤輝夫、星野弘匡、杉村佳奈子*、小谷淳一*
(秋田県立大学、*パナソニックインダストリー(株))

Magnetic and electric properties of Fe-B-Si amorphous alloys with high Si concentration

T. Bitoh, H. Hoshino, K. Sugimura*, J. Kotani*
(Akita Prefectural Univ., *Panasonic Industry Co., Ltd.)

緒言

Fe-B-Si アモルファス合金は既に広範な分野で使用されているが、近年は携帯機器用などの高周波磁性部品にも用途が広がりつつある。しかし、現在市販されている材料(~80 at% Fe)は主として配電用変圧器の鉄心用として開発されており、高周波用途に適しているとは言い難い。また Fe-B-Si 系の各種の物性についても、高 Fe 濃度組成を中心に研究が行われてきたため、Si 濃度が高い領域などではデータが少ないのが現状である。本研究では、Fe-B-Si アモルファス合金の用途拡大に対応するため、高 Si 濃度領域を中心として、本合金のアモルファス形成範囲と磁氣的・電氣的性質を中心に検討を行った。

実験方法

アーク溶解法により母合金を作製し、単ロール液体急冷法により幅 1~2 mm、厚さ約 20 μm のアモルファス合金試料を作製した。X 線回折(XRD)を用いて試料の構造を評価し、示差走査熱分析(DSC)で合金のキュリー温度と結晶化開始温度を評価した。室温での飽和磁化、保磁力と電気抵抗率を、それぞれ磁気天秤、直流 B - H ループトレサ、直流四探針法で測定した。

実験結果

過去に報告されている Fe-B-Si 合金のアモルファス形成範囲^{1,2)}を参考に、検討する組成を決定した。Fig. 1 に室温における構造と飽和磁化($\mu_0 M_s$)の組成依存性を示す。過去の報告では、20 at% Si 以上でのアモルファス合金の作製例は $\text{Fe}_{75}\text{Si}_{25}$ と $\text{Fe}_{70}\text{B}_{10}\text{Si}_{20}$ のみであるが²⁾、今回の研究では 7~10 at% B の範囲であれば 20 at% Si 以上でもアモルファス単相薄帯が作製できることが明らかとなった。また今回検討した組成範囲では、飽和磁化は Fe 濃度の低下および Si 濃度の増加とともに低下する傾向を示した。DSC の結果から、Si 濃度の増加により室温の飽和磁化が低下するのは、キュリー温度の低下が原因の一つであることが確認された。

一方、電気抵抗率は Si 濃度の増加とともに増加する傾向を示し、20 at% Si 以上では概ね 1.5 $\mu\Omega\text{m}$ を超える値を示すことが分かった。これは市販の Fe-B-Si アモルファス合金の値(1.19~1.25 $\mu\Omega\text{m}$)³⁾よりも 20%以上大きい。したがって、高 Si 濃度 Fe-B-Si アモルファス合金は、高周波用途に適した材料であると考えられる。

参考文献

- 1) M. Hagiwara, A. Inoue and T. Masumoto, Sci. Rep. RITU A29 (1980) 351-358.
- 2) Y. Kawazoe et al., Landolt-Börnstein, New Series, 37A, Springer, 1997.
- 3) 小川雄一 他、日立金属技報 22 (2006) 31-34.

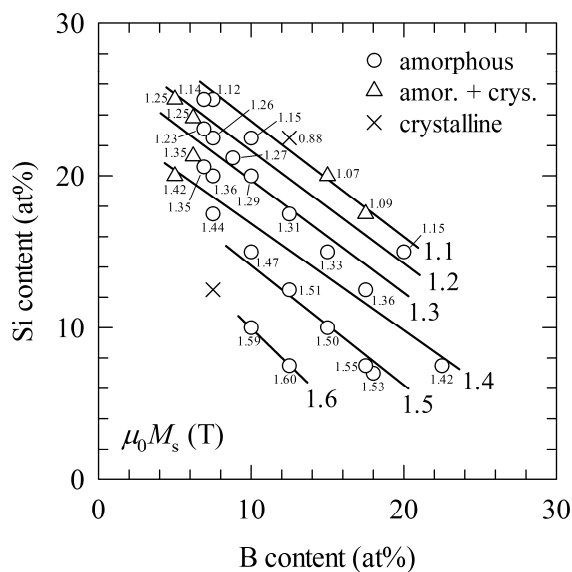


Fig. 1. Compositional dependence of as-quenched structure and saturation magnetization ($\mu_0 M_s$) of rapidly quenched Fe-B-Si alloys at room temperature.

Fe-3 wt.%Si 薄帯における磁気特性と構造の熱処理温度依存性

高須匠*, 馬小童*, 梅津理恵*, 三上慎太郎, 平城智博, 室賀翔*, 遠藤恭* (東邦亜鉛, *東北大学)

Dependence of magnetic properties and structure on the annealing temperature for Fe-3 wt.%Si ribbons

T. Takasu*, X. Ma*, R. Umetsu*, S. Mikami, T. Hiraki, S. Muroga*, Y. Endo*

(Toho Zinc Co., Ltd, *Tohoku Univ.)

緒言 Fe-Si 合金薄帯は高飽和磁化を有し、低鉄損であることから、高周波リアクトルやトランスなどで幅広く利用されている。この材料をさらに高周波帯で利用するためには、渦電流損失を低減させる必要がある。その方法の一つとして、薄帯厚の低減が有効である。我々は、これまでに、Si 組成の異なる 10 μm 厚の Fe-Si 合金薄帯を作製し、渦電流損失が高周波数帯まで抑制可能であることを実験的に示した[1]。本研究では、これらの Fe-Si 合金薄帯の更なる磁気特性の改善を目指して、磁気特性および構造の熱処理による影響について検討した結果を報告する。

実験方法 試料は圧延処理して作製した 10 μm 厚の Fe-3 wt.%Si 薄帯である。熱処理については、試料を石英管に真空封入し、熱処理炉中で 673-873 K の温度範囲で 3 時間保持した。作製した試料の磁気特性は、VSM、フェライトヨーク法による透磁率測定、B-H アナライザおよび薄帯磁歪測定装置[2]を用いて評価した。また、結晶構造は XRD を用いて評価した。なお、これらの評価はすべて室温で行われた。

結果 Fig.1 に 10 μm 厚の Fe-3 wt.%Si 薄帯における飽和磁化 σ_s と保磁力 H_c の熱処理温度依存性を示す。 σ_s に関しては、熱処理温度に依存せずほぼ一定であった。これらの値はバルク値とほぼ一致している。 H_c に関しては、熱処理温度の上昇にともない減少した。この挙動は、圧延により誘起された応力が緩和したことによるものと考えられる。

Fig.2 に異なる温度で熱処理した Fe-3 wt.%Si 薄帯における複素透磁率を示す。 μ' は熱処理温度に関係なく、低周波側ではほぼ一定であり、 μ' 値は、熱処理温度の増加にともない増加した。一方、 μ'' はいずれの熱処理温度においても数百 kHz 帯から増加し、極大をとり、その後減少した。極大となる周波数は熱処理温度の増加にともない低周波側へシフトするものの、 μ'' の立ち上がる周波数は熱処理温度に関係なく、あまり変化しなかった。これらの挙動は、渦電流が抑制されていることを示している。

以上より、10 μm 厚の Fe-3 wt.%Si 薄帯を 673-873 K の温度範囲で熱処理すると、渦電流損失を高周波帯まで抑制したまま、その軟磁気特性が改善できることがわかった。

謝辞 本研究の一部は、文化省革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業 JPJ009777, 文科省データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト(DXMag), 東北大学 CSIS および CIES の支援の下で行われた。

参考文献

[1] T. Takasu et al., Digests of 174th JIM spring., P4(2024)

[2] Y. Endo et al., Digests of 44th MSJ conf., 55(2020)

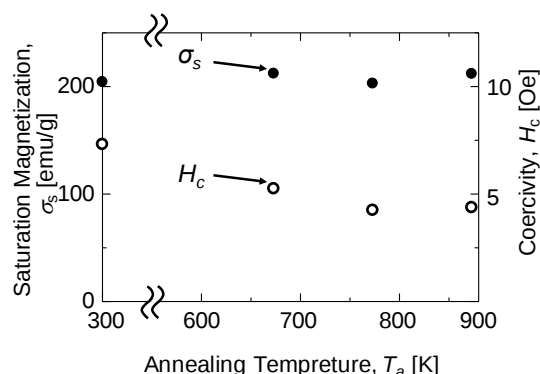


Fig.1 Change in saturation magnetization and coercivity of 10- μm -thick Fe-3 wt.%Si ribbons with annealing temperature.

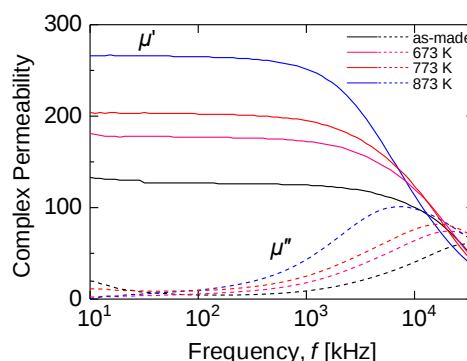


Fig.2 Frequency dependence of complex permeability for Fe-3 wt.%Si ribbons at different annealing temperature.

超高比抵抗な面内一軸異方性ナノグラニューラー膜の 電磁気特性と熱処理挙動

直江正幸、曾根原誠*、宮地幸祐*、佐藤敏郎*、室賀翔**、遠藤恭**、小林伸聖
(電磁研、*信州大、**東北大)

Electromagnetic properties of annealed in-plane uniaxial nanogranular films having ultra-high resistivity
M. Naoe, M. Sonehara*, K. Miyaji*, T. Sato*, S. Muroga**, Y. Endo**, N. Kobayashi
(DENJIKEN-Res. Inst. EM Mater., *Shinshu Univ., **Tohoku Univ.)

はじめに

磁性金属ナノ粒子が絶縁セラミックから成るマトリックスに分散するナノ組織を呈するナノグラニューラー磁性膜において、マトリックスの絶縁性はバンドギャップおよび結晶性で決まり、量の増加で高比抵抗化するが、磁性体の体積分率低下で磁気特性は希釈され、フェロ磁性からスピロ磁性を経て超常磁性に変わる。面内一軸異方性を誘導した高透磁率を有する高周波膜の比抵抗を、これまで As-depo. で CoZrNb 金属アモルファスの約 10 倍である $15 \mu\Omega\cdot\text{m}$ 程度としてきたが、準安定相故に、フェロ磁性の組成域では熱履歴を経るとナノ組織が変化して比抵抗が低下するため、デバイス応用を念頭に、より高い比抵抗の膜を用意する必要がある。そこで、 $1500 \mu\Omega\cdot\text{m}$ までの範囲で比抵抗を高め、電磁気特性を評価したところ、従来よりも極めて高い比抵抗領域でも高透磁率を伴う面内一軸異方性が得られ、熱履歴を経ても高比抵抗を保ったので報告する。

実験方法

同時スパッタの一種であるタンデム法の陰極を $\text{Co}_{60}\text{Fe}_{25}\text{Ni}_{15}$ (at. %) とし、他方を CaF_2 とした。各陰極と対向する水冷陽極に設置のガラス基板を周速 0.33 m/s で公転させることで、 1.07 Pa の Ar ガス圧でプラズマを発生させた両陰極上を交互に通過させた。この時、 26 kA/m の直流磁界印加で面内一軸異方性を誘導した。比抵抗(=膜組成)は両陰極への投入電力比で調整し、厚みは成膜時間で制御して約 500 nm とした。なお、一軸異方性の安定のため、全ての試料には 10 nm の CaF_2 単層から成る下地層を設けた。得られた試料は、 40 kA/m の直流磁界を面内磁化容易軸に印加した $1 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ 以下の真空熱処理を施し、膜厚、比抵抗(直流四探針法)、静磁化特性(VSM)、高周波透磁率(短絡マイクロストリップライン法)などにより評価した。

実験結果

一例として、 CaF_2 の体積分率が 36.0 vol. % では、As-depo. での比抵抗が $538 \mu\Omega\cdot\text{m}$ となった。面内一軸異方性の本試料(506 nm)について、Fig. 1 は、筆者らのデバイス作製で想定される最高プロセス温度である 463 K で 1 h 保持した真空熱処理前後の面内磁気特性を比較した結果である。(a)の静磁化特性では、熱処理による磁化容易軸の低保磁力化($3.1 \rightarrow 0.9 \text{ kA/m}$)と異方性磁界の増加($4.4 \rightarrow 6.7 \text{ kA/m}$)が確認された。(b)の磁化困難軸の高周波複素透磁率では、異方性磁界が増加したにも関わらず 100 MHz での μ' で評価した静的透磁率が向上し($88 \rightarrow 98$)、 μ'' からは共鳴半値幅の改善($3.43 \rightarrow 1.28 \text{ GHz}$)も見られた。熱処理による磁性ナノ粒子の粒成長を伴うナノ組織の均一化や内部応力緩和の効果であると考えられる¹⁾。他方、比抵抗は低下したが、 $17 \mu\Omega\cdot\text{m}$ と高い値を保った。

謝辞

本研究の一部は、JST A-STEP JPMJTR22R9 および JSPS 科研費 JP24H00388 の助成を受けた。

参考文献

- 1) Naoe, et al.: *J. Magn. Magn. Mater.*, **391** (2015) 213.

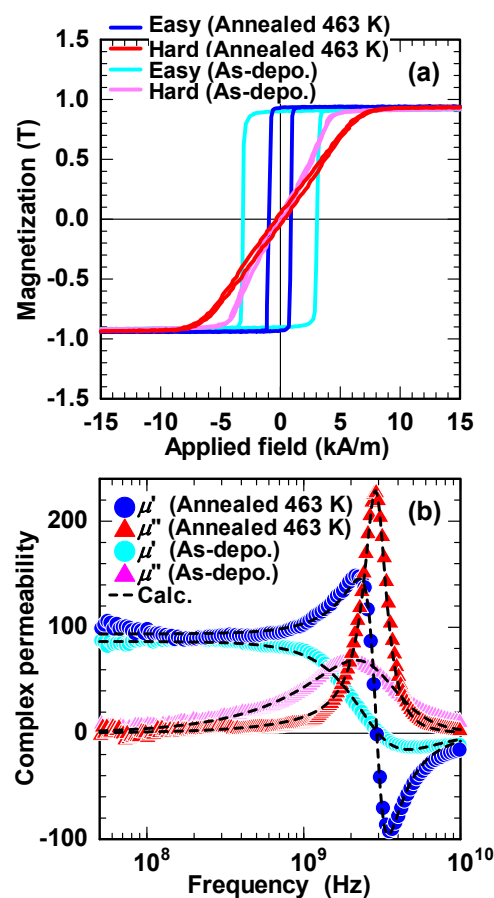


Fig. 1 In-plane magnetic properties of $\text{Co}_{60}\text{Fe}_{25}\text{Ni}_{15}\text{-CaF}_2$ films having resistivity of $538 \mu\Omega\cdot\text{m}$ (as-depo.): (a) magnetization curves and (b) complex permeability spectra of magnetic hard axis.

希土類元素 Gd を用いた新規メタルフェリ磁性材料の設計と評価

岡田 茉佑子¹, 山崎 貴大¹, 河崎 崇広¹, 野崎 岳人¹, 島 侑一郎¹, 早川 聡¹,
Lira Foggiatto Alexandre¹, 小嗣 真人¹
(東京理科大学¹)

Design and evaluation of novel metal ferrimagnetic materials using the rare earth element Gd

Mayuko Okada¹, Takahiro Yamazaki¹, Takahiro Kawasaki¹, Taketo Nozaki¹, Yuichiro Shima¹,
Satoshi Hayakawa¹, Alexandre Lira Foggiatto¹, Masato Kotsugi¹
(Tokyo Univ. of Sci.¹)

はじめに

世界的な電力消費量の増加に伴い、環境保護の観点から電力使用過程におけるエネルギー損失をいかに低減するかが課題となっている。特に、軟磁性材料に関連するエネルギー損失はデバイス全体の約 3 割をも占めることから、高性能な新規軟磁性材料の開発が急務とされている。ナノ結晶アモルファス合金は現在最も優れた軟磁性を示す材料の 1 つであり、元素種の違いにより発現する物性や機能に関する調査が進められている。そこで我々は、FeB を母材とするアモルファス合金に対して希土類元素である Gd を添加した新規軟磁性コンポジット合金を提案する。この材料は強磁性ナノ結晶に由来する高い飽和磁化と残留アモルファス金属が有するフェリ磁性に由来する反強磁性交換結合を組み合わせることにより、外部磁場に対する高速応答が可能なメタルフェリ磁性材料として期待できる。本研究では、コンビナトリアル手法を用いて上記提案材料における優れた軟磁性の発現条件を探索し、その材料設計指針の確立を目的とした。

実験方法

RF マグネトロンスパッタリング法を用いて Si(100)基板上に組成傾斜を有する磁性層として $Gd_xFe_{85-x}B_{13}Nb_1Cu_1$ ($x = 0 \sim 25$ at%)に成膜した。また、拡散防止層および酸化防止層として Ta 2 nm を用いた。さらに、赤外線ランプ加熱装置を用いて 250℃ から 650℃の異なる温度条件でポストアニールを実施した。作製した試料については、X線回折(XRD)による結晶構造評価、磁気光学 Kerr 効果(MOKE)による磁気特性評価、Spring-8 での X 線磁気円二色性(XMCD)を用いた元素選択的な磁気モーメント解析を行った。

実験結果

MOKE 測定で得られた Gd 添加濃度の異なる熱処理前の試料 (アモルファス前駆体) における磁化曲線を Fig. 1 に示す。Gd 添加に伴って MOKE 信号が減少し、最終的に磁気ヒステリシスが反転する挙動が見られた。これは室温において Gd 濃度 25 at% が磁気補償点となることを示している。さらに、磁化曲線から算出した各 Gd 濃度におけるヒステリシスの傾き (磁化率) を Fig. 2 に示す。Gd の微小添加 (4 at%程度) により添加前よりも磁化率が向上していることを確認した。これは Fe と Gd の反強磁性交換結合が磁化反転の促進に起因したと考えられる。当日は XMCD 解析による磁化反転メカニズムについても考察する。

参考文献

- [1] K. Sano et. al., Scripta Materialia 242, 115956 (2024)
- [2] T. Yamazaki et. al., Journal of Non-Crystalline Solids 563, 120808(2021)

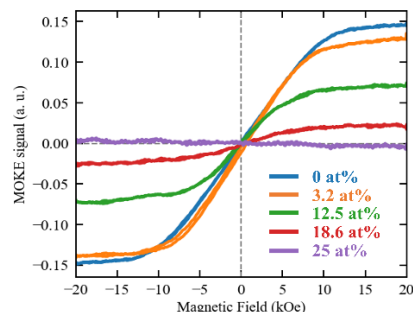


Fig. 1 Magnetization curve at Gd concentrations

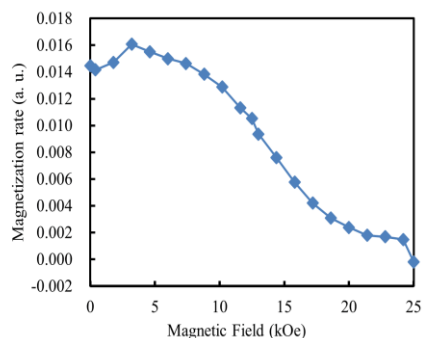


Fig. 2 Magnetization rate at Gd concentrations