エピタキシャル Fe/Ag/Cr 三層膜における

量子井戸形成に起因した界面フラストレーション

和田詠史^{*}、横山京祐^{**}、加藤健人^{**}、小野寺蓮^{**}、赤星大介^{*,**}、齊藤敏明^{*,**} (^{*}東邦大複合物性セ、^{**}東邦大理)

Interfacial frustration originating from quantum well formation in epitaxial Fe/Ag/Cr trilayers

E. Wada^{*}, K. Yokoyama^{**}, K. Kato^{**}, R. Onodera^{**}, D. Akahoshi^{***}, T. Saito^{***}

(*Research Center for Materials with Integrated Properties, Toho Univ., **Dept. of Phys., Toho Univ.) はじめに

前回我々はエピタキシャル Fe/Au/Cr 三層膜において、磁化のゆっくりとした緩和(スローダイナミクス) を観測し、その緩和の程度(磁気粘性 S)が Au 膜厚に依存して周期~14.7Åで振動する振る舞いを示すこと を報告した。また、この結果をもとに量子井戸形成によりスピン分極した Au と Cr の界面における磁気フラ ストレーションモデルを提案した^[1]。今回我々は Fe/Ag/Cr 三層膜においても同様の S の振動を確認した。さ らに、Ag/Cr 界面の乱れを変化させたときの S の振動的振る舞いについても調べた。これらの結果をもとに Fe/Ag/Cr 三層膜における上記界面磁気フラストレーションモデルの適用性について報告する。

<u>実験方法</u>

エピタキシャル MgO(001)/Cr(50 Å)/Ag(zÅ)/Fe(40 Å)/Ag cap(20 Å)膜を MBE 法を用いて作製した。まず、MgO 基板を 600℃で 1 時間アニールした後、成長温度 400℃の条件下で Cr 層を堆積させ た。その後成長温度 $T_{\rm S}$ (=100℃、75℃) にて Ag/Fe/Ag cap 層を堆 積させた。各層堆積の度に RHEED 観察でエピタキシャル成長を 確認した。Ag 中間層の膜厚 z は z=0 Å から 40 Å まで変化させ、 熱残留磁化($M_{\rm TRM}$)の緩和が z に対してどのように変化するかを SQUID を用いて調べた。この際、まず 300 K で 500 Oe の磁場を印 加し、その後 250 K まで 10K/min で冷却し、250K 到達直後に磁場 を切り 10000sec 間残留磁化 $M_{\rm TRM}$ の時間変化を測定、という手順 で行った。

<u>実験結果</u>

Fe/Ag/Cr 三層膜においても Fe/Au/Cr 三層膜同様全ての z, T_s の試料で M_{TRM} は $M_{TRM}=M_0$ -Slntの式で表わされるような長時間にわたる緩和を示した。ここで、t は時間、 M_0 は定数、S はこのスローダイナミクスの程度を表す量で磁気粘性と呼ばれる。Fig.1 は(a) $T_s=100^{\circ}$ 、(b)75^oCの試料における飽和磁化 M_s で規格化されたS の z 依存性である。これをみると、一定の膜厚 z_c より厚い z で振動が起こり、この z_c は $T_s=75^{\circ}$ Cの試料の方が $T_s=100^{\circ}$ の試料に比べて小さい。これは、Ag/Cr 界面のより平坦な $T_s=75^{\circ}$ Cの試料の方が薄い z で量子井戸が形成されることによるものと考えられる。Ag は Au に比べて Cr 上にエピタキシャル成長しづらいが、Fe/Ag/Cr 三層膜についても、本実験の結果は Ag 量子井戸形成によりスピン分極した Ag と Cr の界面で磁気フラストレーションが起こるモデルを支持していると言える。

参考文献

1) 和田詠史 他、第 39 回日本磁気学会学術講演概要集、8pB-9 (2015)



Fig.1 (a) 成長温度 $T_s=100$ °C、(b) $T_s=75$ °C のサンプルにおける規格化 された磁気粘性 S/M_s の Ag 膜厚 z 依 存性。破線で示した膜厚から S/M_s の振動が始まる。

シミュレーションによるジャロシンスキー·守谷相互作用の 簡易測定法の検討

平野 安彦¹、山田 啓介²、仲谷 栄伸¹ ¹電気通信大学、情報理工学研究科、²岐阜大学、工学部

Study on simple measurement method of Dzyaloshinskii-Moriya interaction by using simulations Yasuhiko Hirano¹, Keisuke Yamada², Yoshinobu Nakatani¹ ¹Graduate school of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications ²Faculty of Engineering, Gifu University

はじめに

近年、ジャロシンスキー・守谷相互作用(DMI)が働く強磁性体薄膜において、スカーミオンの生成[1]や特異 な磁壁移動[2]などが観測されており、DMI が有効に作用する系での研究が注目されている。しかしながら、 DMI の大きさを直接測る手法は、実験的に高度な測定方法を要する[3]。他の DMI 値を測定する方法として は、磁壁移動を用いる間接的な方法などがあるが、より簡易に DMI 値が測定できる方法が求められている。 本研究では、簡易に DMI 値を測定する方法を検討するために、DMI が働く垂直磁化膜を持つ円盤ディスク中 の外部磁界による磁化反転シミュレーションを行った。反転磁界の円盤ディスク径と DMI 値依存性を調べる ことで、容易に DMI 値を求める方法を調査した。

計算条件

材料定数は、CoFeB の値を用い、飽和磁化 1.5 Kemu/cm³、磁気異方性定数 14 Merg/cm³、磁気回転比 17.6 Mrad/(s・Oe)、交換スティフネス定数 3.1 μ erg/cm、損失定数 1.0 とした[4]。シミュレーション内容は、円盤 ディスク状の磁性体に対し、DMI の値を 0 から 1.0 erg/cm²の間で変化させ、それぞれ円盤ディスク面に平行 な方向(x 方向)と面直方向(z 方向)へ外部磁界(H_x , H_z)を加えた。磁気モーメントが x,z 方向にそれぞれ反転した ときの外部磁界の大きさ(H_x^{sw} , H_z^{sw})を求め、その値を比較した。比較して求めた値が DMI 値と円盤ディスク 径にどのように依存するかを調べた。円盤ディスク径(D)は直径 16~100 nm、膜厚 1 nm とした。

結果

図 1,2 にそれぞれ DMI=0,1.0 erg/cm²の x, z 方向の反転磁界のグラフを示している。図 3 は DMI=0~1.0 erg/cm² を変化させ、x 方向と z 方向の反転磁界の差分($\Delta H^{w}=H_x^{sw}-H_z^{sw}$)を取ったグラフである。図 3 の結果より、DMI の値が 0 erg/cm²の場合、 ΔH^{sw} はサイズに依らず差分が小さいが、DMI の値が大きくなると ΔH^{sw} が大きくなる。DMI=1.0 erg/cm²の場合、サイズ径が約 20 nm の時に ΔH^{sw} が最大になることもわかった。この結果より、 H_x^{sw}, H_z^{sw} を測定し、その差分を測ることで DMI 値を簡易的に測定できることがわかった。またサイズ径に依存した ΔH^{sw} を測ることで、より正確な DMI 値を求めることができることがわかった。



参考文献

[1] X. Z. Yu, *et al.*, Nature. 465, 901-904 (2010). [2] S. Emori, *et al.*, Nat. Mater. 12, 611 (2013).
[3] V. E. Dmitrienko, *et. al.*, Nat. Phys. 2859, 202-206 (2014). [4]S. Kanai, *et. al.*, Appl. Phys. Lett. 101, 122403 (2012).

二次元近藤格子系 CeFe_{1-x}Cr_xPO の Mössbauer 分光及び比熱測定

谷中慎太郎,井田和則,岡野智宏,北尾真司*,瀬戸誠*,金道浩一**,小濱芳允**,的場正憲,神原陽一 (慶應大,*京大,**東大)

Mössbauer Spectroscopy and Heat capacity of two dimensional Kondo lattice $CeFe_{1-x}Cr_xPO$

S. Taninaka, K. Ida, T. Okano, S. Kitao*, M. Seto*, K.Kindo**, Y. Ohama**, M. Matoba, Y. Kamihara

(Keio Univ.*Kyoto Univ.**Tokyo Univ.)

1 はじめに

重い電子系とは局在する f 電子軌道の一部が伝導電子と混成することにより電子の有効質量が通常の数百〜数千倍 となる物質群である.重い電子系には,磁気秩序を抑制させる近藤効果と磁気秩序を安定化させる RKKY 相互作用の 拮抗により,温度-化学組成相図上で,磁気秩序相と常磁性相の相境界が,0K 付近で消失する磁気量子臨界点 (QCP) が存在する.例えば CeRhIn₅ の QCP 近傍では異方性超伝導や非フェルミ液体的挙動等,新たな量子相が出現するこ とが,長年研究されている.^[1-3].本研究は,4f 電子を有する Ce 化合物のうち,Ce₂O₂ 層と Fe₂P₂ 層からなる層状構 造を持つ二次元近藤格子系 CeFePO を母相とした CeFe_{1-x}Cr_xPO(正方晶, P4/nmm)^[4] を研究対象とした.本物質 は二次元近藤格子系の中でも希少な強磁性 QCP を示すことが確認されており^[4],強磁性 QCP 近傍における新たな 磁気秩序相や電子状態の解明が重要である.

そこで本研究は、⁵⁷Fe Mössbauer 分光測定及び高磁場極低温比熱測定により、Fe 原子核における局所微細構造、磁気相転移の存在及び Kondo 一重項の形成機構を明らかにすることを目的とする.

2 実験方法

本報告における多結晶試料は 2 段階に分けた固相反応により合成した. 1 次熱処理は化学量論比で Ce: Fe: P (以後 Ce - 2Fe - 2P) = Ce: Cr: P (以後 Ce - 2Cr - 2P) = 1: 2: 2 に混合した後, 石英管に真空封入して熱処理を行った. 2 次熱処理は 1 次熱処理の物質および脱水した CeO₂ を用いて, 化学量論比で Ce - 2Fe - 2P: Ce - 2Cr - 2P: CeO₂ = 1 - x: x: 1 に混合した. その後, ペレット状に成型し, 石英管に減圧二重封入して熱処理を行った.

試料合成後, ⁵⁷Co 線源を利用した ⁵⁷Fe Mössbauer 分光測定をコンベンショナルな透過法により, クライオスタットを用いて 4.2 – 300 K までの測定を CeFe_{0.5}Cr_{0.5}PO において行った.

低温・磁場中での比熱測定は、片面を研磨した厚さ 50 μ m、質量 1 – 10 mg の多結晶試料を用い、低温・磁場下 (0.4 – 15 K, 0 – 9 T) において PPMS(Quantum Design 社) により行った. 高磁場比熱測定の研究対象とする物質 は Ce1111 系化合物 CeFe_{1-x}Cr_xPO(x =0.00, 0.200) とした. CeFe_{1-x}Cr_xPO(x=0.100, 0.500) ではゼロ磁場下, 2 – 300 K において比熱測定を行った.

3 実験結果および考察







Fig.2. Temperature dependence of specific

 $\begin{array}{c} \text{heat capacity in CeFe}_{0.8}\text{Cr}_{0.2}\text{PO at several} \\ \text{Fig.1.} & \text{Observed} \quad {}^{57}\text{Fe} \quad \text{MS} \quad \text{of magnetic fields.} \end{array} \\ \begin{array}{c} \text{Fig.3. Phase diagram of CeFe}_{1-x}\text{Cr}_{x}\text{PO} \\ \text{Fig.3.$

 $CeFe_{0.5}Cr_{0.5}PO$ at several temperatures.

CeFe_{0.5}Cr_{0.5}PO の Mössbauer 分光測定の結果を Fig. 1 に示す. 20 – 50 K の間で線幅の増大が確認され, しかし ながら sextet も現れないことから, 内部磁場分布の存在を仮定し, スペクトルのフィッティングを行った. その結果 25 K 付近において Fe の磁気状態がスピン密度波 (SDW) 状態を示していると結論した.

CeFe_{0.8}Cr_{0.2}POの比熱測定における Ce4f の寄与を Fig. 2 に示す. Cr のドープによる強磁性転移 (T_c =5.71 K) の出現と電子熱容量の著しい減少が観られる.これは低温領域で形成されていた Kondo 一重項の RKKY 相互作用 出現による消滅 (Kondo breakdown) が生じたためと考えられる.また,磁場の印加により磁気相転移温度の増大が 確認された.これは強磁性相における強磁性揺らぎの存在を示す.

 $CeFe_{1-x}Cr_xPO$ の低温における磁気相転移をまとめると Fig. 3 のようになった.

参考文献

- [1] G. Knebel, et al., Phys. Rev. Lett. 74, 020501(R) (2006).
- [2] S. A. Grigera, et al., Science **294**, 329 (2001).
- [3] H. Hegger, et al., Phys. Rev. Lett. 84, 4986 (2000).
- [4] T. Okano, et al., J. Appl. Phys. 117, 17E123 (2015).

有機無機層状遷移金属水酸化物 *M*₂(OH)₂(TPA), (*M* =Fe, Co, Ni, Cu)の磁性と構造

穴井克樹、木田孝則*、萩原政幸*、福田武司、鎌田憲彦、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 transition metal hydroxides $M_2(OH)_2(TPA)$, (M = Fe, Co, Ni, Cu)

K. Anai, T. Kida*, M. Hagiwara*, T. Fukuda, N. Kamata, Z. Honda

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

[はじめに]

層状コバルト水酸化物は様々な結晶構造をとることが知られている。中でも CoO₆ 八面体が辺共有と点共有 で層状構造を形成した Co₂(OH)₂(TPA), (TPA:テレフタル酸) は温度 *T*=2 K で保磁力 *H*_c=50k Oe を示すことか らレアアースを用いない高保磁力磁性材料の観点から研究されている。このような有機無機層状物質は層間 有機分子や金属イオンの置換が比較的容易であり、一連の類似物質の磁性を比較することで高保磁力の原因 解明が期待される。そこで我々は Co₂(OH)₂(TPA)の高保磁力の原因・条件を明らかにすることを目的に層間分 子及び中心金属を置換した一連の有機無機層状遷移金属水酸化物 *M*₂(OH)₂(*X*), (*M*=Fe, Co, Ni, Cu, *X*=TPA, NDCA, SDCA)を合成し、結晶構造と磁性を比較した。

[実験方法]

M₂(OH)₂(X)は遷移金属塩とジカルボン酸 X の水溶液に NH₃を 水酸化剤として加えた後、水熱法により合成した。合成の際、反 応温度・時間、水酸化剤濃度等の最適値を検討した。各試料の結 晶構造の同定には Bruker 社製粉末 X 線回折装置及びリートベル ト法を用い、磁性の評価には Quantum Design 社製 SQUID 磁束計 を用いた。

[結果]

図1にリートベルト法により推定した Co₂(OH)₂(TPA)の結晶構 造を示す。M=Fe, Co, Ni は単斜晶、M=Cu は三斜晶であり、MO₆ により構成された無機層と TPA 有機層が交互に積層した構造で あった。*M* =Fe, Co, Ni では無機層を形成する *MO*₆ 八面体が一軸 だけ短いに対し、CuO₆のみ一軸方向が大きく伸びており、ヤー ン・テラー効果を示唆した。M2(OH)2(TPA)の磁性を測定したとこ ろ *M* =Fe が反強磁性、*M* =Co が弱強磁性、*M* =Ni, Cu が強磁性を 示し、Coのみ高保磁力 52k Oe を示した。図 2 に各種 M2(OH)2(TPA) の温度2Kにおける磁化曲線を示す。M2(OH)2(TPA)の磁気モーメ ントの大きさを評価したところ、M=Coのみ軌道角運動量の残存 を示す結果を得た。さらに Co₂(OH)₂(TPA)の層間分子置換体を合 成し、磁性を比較したところ保磁力にほとんど差は見られなかっ た。Co₂(OH)₂(X)では残存軌道角運動量によって CoO₆八面体の一 方向にスピンが固定される強いイジング型磁気異方性が生じ、 CoO₆八面体の結晶場の主軸の向きが隣同士で平行でないことか ら保磁力の大きい弱強磁性を示したと考えられる。



図 1. Co₂(OH)₂(TPA)の結晶構造



図 2. 各種 *M*₂(OH)₂(TPA), (*M*=Fe, Co, Ni, Cu)の磁化曲線

シュウ酸類架橋ハニカム配位高分子の磁性

林青、児玉貴文、奥谷顕*、木田孝則*、萩原政幸*、福田武司、鎌田憲彦、本多善太郎 (埼玉大院理工、*阪大先端強磁場)

Magnetic properties of oxalate like ligands bridged honeycomb coordination polymers Q. Lin, T. Kodama, A. Okutani*, T. Kida*, M. Hagiwara*, T. Fukuda, N. Kamata, and Z. Honda

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

<u>初めに</u>

配位高分子は金属イオンが有機配位子によって架橋され、秩序をもつ構造を形成した金属錯体である。また、金属間に架橋配位子を介して超交換相互作用が働くため、多様な構造の磁性体の構築が可能であると共にその磁性が理解しやすいことがその特徴として挙げられる。我々はこれまでにシュウ酸(略称ox)と類似した分子構造のピリミジン-2-カルボン酸(略称pymca)と遷移金属との組み合わせにより新たな配位高分子磁性体を探索・合成してきた。その結果、その一部が2次元ハニカム構造を形成することを明らかにした。ハニカム格子上のスピンは再隣接原子数が3と少ないため磁気秩序の有無に興味が持たれる。また、ハニカム層間の機能性(分子吸着性など)も期待される。そこで本講演ではpymca架橋配位高分子M₂(pymca)₃(ClO₄), (*M*=Fe, Co, Ni, Cu)を中心に複数のハニカム磁性体の結晶構造と磁性ついて報告する。

実験方法

水熱法を用い、2座架橋配位子pymcaまたはoxと遷移金属イオン(Fe²⁺, Co²⁺, Ni²⁺, Cu²⁺)の複数の組み合わせに より配位高分子の合成を行った。水熱反応から得られた配位高分子単結晶及び粉末試料をX線回折(XRD)装置 で測定し、単結晶構造解析法、リートベルト法で結晶構造解析を行った。更に超伝導量子干渉素子(SQUID)磁 束計により各種ハニカム配位高分子の磁性を調べ、相転移の有無を調べるためマイクロカロリーメーターに よる比熱測定を行った。

<u>実験結果</u>

遷移金属とpymca、oxの水熱反応を行った結果、化学式 M₂(pymca)₃(ClO₄), (*M*=Fe, Co, Ni, Cu)及び(H₂dab)*M*₂(ox)₃:*n*H₂O, (*M*= Ni, Cu)の一連の配位高分子を得た。*M*₂(pymca)₃(ClO₄)は三 方晶であり、2価遷移金属イオンがpymcaにより架橋され、*ab*面 内にハニカム構造を形成していた。また、ハニカム孔内には ClO₄イオンが存在していた(図1)。

これらの配位高分子の磁気測定の結果、pymca及びoxを介し たハニカム格子内の交換相互作用はいずれも反強磁性的であ った。*M*₂(pymca)₃(ClO₄)及び(H₂dab)[*M*₂(ox)₃]·*n*H2O,(*M*= Ni, Cu)のキュリー定数は各金属イオンのスピンに基づく値とよ く一致し、2次元ハニカムハイゼンベルグ反強磁性体モデルと よく一致した。Cu₂(pymca)₃(ClO₄)の帯磁率χ温度T曲線とスピ ン1/2ハニカム格子反強磁性体モデルの比較を図2に示す。比 熱測定の結果、*M*₂(pymca)₃(ClO₄),(*M*=Co, Ni)は相転移を示した が、Cu₂(pymca)₃(ClO₄)はT=0.5 Kまで相転移の兆候を示さなか った。

更にこれらの配位高分子のガス吸着能を調べたところ、い ずれも酸素吸着性を示し、吸着された酸素分子の磁性が観測 された。



ハニカムモデルとの比較

高勾配磁気分離における磁性フィルターへの粒子堆積過程のその場観察

廣田憲之、安藤 努*、高野真光*、岡田秀彦 (物材機構、*日大生産工)

In-situ observation of particles deposition process on a ferromagnetic filter during high-gradient magnetic separation

Noriyuki Hirota, Tsutomu Ando^{*}, Tadamitsu Takano^{*}, Hidehiko Okada (NIMS, *Nihon Univ.)

高勾配磁気分離では強磁性フィルターを使用し、ワイヤーの磁化によりその周囲に急峻な勾配が形成され ることを利用して、流体中に分散する磁性粒子を吸引し、フィルターワイヤー上に堆積させることで物質を 分離する。フィルターの目は粒子のサイズよりも大きくても構わないため、圧損が小さい。また、磁場の印 加をやめれば磁性粒子はフィルターから脱着するので、フィルターの再生が可能であるという特徴を有する。 高勾配磁気分離はカオリン粘度の精製や環境水や排水の浄化に用いられているほか、近年では、放射性物質 で汚染された土壌の浄化への利用が検討されている。

高勾配磁気分離の効率は、分離する粒子の磁化、磁性フィルターのメッシュサイズや枚数、フィルターワ イヤーの直径、流体の流速、印加磁場などの様々なパラメーターにより決まる。磁性の小さな分離対象に対 しても、磁性の大きな粒子に吸着させる"担磁"を行なうことで分離可能となる。磁気分離条件の最適化の ために、しばしばシミュレーションも行われるが、そこでは、フィルターワイヤー上に堆積した粒子の体積 が無視されることが多く、目詰まりの影響が適切に評価されていない。フィルターワイヤー上に粒子がどの ように堆積するかがわかれば、実用のプロセスにおいて、分離に必要な条件の最適化に寄与すると考えられ る。そこで、本研究では、超伝導磁石のボア中で高勾配磁気分離を行なう際にフィルター上への粒子の堆積 過程をその場観察した。

実験にはヘリウムフリータイプで最大13 T印加可能な超伝導磁石を利用した。フィルターハウジングの外 壁をアクリルで作製し、内部の観測が可能とした。その場観測にはELMO社製CCDカメラUN43Hを利用した。 フィルターはSUS430製で直径25 mm、ワイヤー径0.22 mm、30メッシュのものを用いた。分離する試料は0.6 μm のジルコニアフェライト粒子0.5 gを1 Lの純水中に分散させたものである。ジルコニアフェライト粒子の分散

液をマグネット上から流し、磁場中心に設置したフィ ルター近傍での粒子挙動をその場観察する。印加磁場、 流速をパラメーターとして実験を行なった。

図は10 Tの磁場を印加した場合に観測された粒子堆 積の様子である。流れの上流側にスパイク状の構造を 形成して粒子が堆積していることがわかる。観測の結 果、印加磁場が低いほど、上流方向へ向かうスパイク 構造が長くなり、また流速が速いほど短くなる傾向が 観測された。これらは流体の作用や、ワイヤーの磁化 が空間磁場に与える影響を考慮することで定性的に理 解できた。当日は詳細について報告する。



Figure *In-situ* observation of deposition of magnetic particles on the ferromagnetic filter under 10 T

磁気アシストによる磁気ホログラムの回折効率向上に関する研究

白樫 善*,後藤 太一*.**,高木 宏幸*,中村 雄一*,林 攀梅*,内田 裕久*,井上 光輝* (*豊橋技術科学大学,**JST さきがけ)

Improvement of diffraction efficiency of volumetric magnetic hologram with magnetic assist recording

Zen Shirakashi*, Taichi Goto*.**, Hiroyuki Takagi*, Yuichi Nakamura*,

Pang Boey Lim*, Hironaga Uchida, Mitsuteru Inoue*

(*Toyohashi University of Technology, **JST PRESTO)

はじめに

ホログラムメモリは高転送レート・高記録密度が実現できることから,次世代のストレージデバイスとし て期待されている¹⁾. 我々は,書き換えが可能で長期安定性に優れたビスマス置換型イットリウム鉄ガーネ ット膜を用いた磁気ホログラムを提案し,その記録・再生に成功している²⁾. しかし磁気メディアの回折効 率は低く,データストレージとして用いるためにはさらなる回折効率の向上が必要である.磁気ホログラム の回折効率は,磁性膜のファラデー回転角&に依存するが,従来の熱磁気記録では十分な磁化反転が得られ ず,磁化に比例するファラデー回転角が小さい可能性がある. この改善方法の一つとして熱磁気記録時の浮 遊磁界に加え,外部から磁界を印加し磁化反転を補助する磁気アシストがある.本研究では,磁気ホログラ ムの回折効率向上を目的に,磁気アシストによる熱磁気記録が回折効率に及ぼす影響について検討した.

実験方法

記録材料として RF マグネトロンスパッタリング法で成膜した BiDyAl:YIG 膜(膜厚 0.7, 1.2, 2.7 µm)を用いた.パルス幅 50 psec,波長 532 nm のレーザを用いて、二光束干渉法により記録を行った.アシスト磁界は、記録材料付近に設置した電磁石により印加した.実験では、磁気アシストしない(*H*=0)場合と、磁性膜の初期磁化方向と逆方向に 10~60 Oe の磁界を印加した熱磁気記録を行った.また、周期間隔が 0.67 µm の磁気格子で各膜厚における消磁領域中心の浮遊磁界を有限要素法(COMSOL Multiphysics)により評価した.

実験結果及び考察

Table 1 にシミュレーションにより求めた, 膜厚 tylg と浮遊磁界 H_{stray}の大きさの関係を示す. 膜厚が薄いほ ど消磁領域の浮遊磁界が小さいことがわかった. Fig. 1 に実験により求めた, 各試料におけるアシスト磁界と 回折効率の関係を示す. 回折効率は磁気アシストしない (H=0) 場合の各膜厚における回折効率η_{00e} で規格化

している.磁気アシストにより回折効率は向上し,今回使用し た膜では,膜厚 0.7 µmの向上率が最も大きかった.しかし,印 加磁界を大きくすると回折効率はピーク値を取り,その後,低 下することがわかった.これは,アシスト磁界により反転磁化 は大きくできても,初期磁化方向の磁化が小さくなるためであ る考えられる.これより,0.7µmの膜では,元々の浮遊磁界が 小さく,アシスト磁界による初期磁化方向のファラデー回転角 の減少も小さかったことから,磁気アシストの効果がより有効 であったと考えられる.発表では,磁界中でのファラデー回転 角の基礎的な温度特性や,二光束干渉パターンでの磁界計算に ついて調査した結果の詳細についても報告する.

本研究の一部は科研費基盤研究(S) 26220902 および(A) 15H02240の援助を受けて行ったものである.

<u>参考文献</u>

- H.J. Coufal, D. Psaltis, et al., "Holographic Data Storage", Springer, New York (2000).
- 2) Y. Nakamura, et al., Opt. Express 22 (2014) 16439.

Table 1 Calculated stray magnetic field on interference pattern

	-		
Garnet film thickness t _{YIG} (µm)	0.7	1.2	2.7
Stray magnetic field	53.8	59.2	60.9



Fig. 1 Normalized diffraction efficiency of magnetic assist for Bi:YIG films.

a-TbFe/BiDyAl:YIG 積層構造を用いた 磁気光学3次元ディスプレイの高効率化

中村和樹*,後藤 太一***,高木 宏幸*,中村 雄一*,林 攀梅*,内田 裕久*,井上 光輝* (*豊橋技術科学大学,**JST さきがけ)

Enhancement of efficiency of magneto-optic three dimensional displays with *a*-TbFe/BiDyAl:YIG multilayer structure Kazuki Nakamura*, Taichi Goto****, Hiroyuki Takagi*, Yuichi Nakamura*, Pang Boey Lim*, Hironaga Uchida, Mitsuteru Inoue* (*Toyohashi University of Technology, **JST PRESTO)

はじめに

自然な立体像を表示することができる 3 次元表示技術として電子ホログラフィがある. 我々は,希土類置 換型イットリウム鉄ガーネット(BiDyAl:YIG)を用いた広視野角の磁気光学 3 次元ディスプレイについて研究 を行ってきた¹⁾.本ディスプレイのピクセル形成には,光吸収・キュリー温度を利用した熱磁気記録方式を 用いている.再生される 3D 像の明るさは,参照光の強度と磁気光学効果による回折効率に依存しており, ISO13406 では,ディスプレイの輝度は 100 cd/m²以上が推奨されている.光吸収を利用する書き込みエネル ギーと光学的な応答に依存する回折効率はトレードオフの関係にある.そこで,熱磁気記録に必要なエネル ギーが低く大きな残留磁化(1614 G)を持つアモルファステルビウム鉄(*a*-TbFe)をホログラムの記録層,回折効 率が高く小さな保磁力(200 Oe)をもつ多結晶 BiDyAl:YIG をホログラムの再生層とする積層膜構造を形成し, 記録層から生じる磁界で再生層の磁化を制御することで,上述のトレードオフを解決できると考えた.

実験方法、結果および考察

a-TbFe と BiDyAl:YIG の積層構造は SiN (50 nm) / *a*-TbFe (100 nm) /Al (20 nm) /BiDyAl:YIG (576 nm)(以下, 積層構造と略す)とし、イオンビームスパッタ法で作製した. Al 層は反射膜の役割を有し、各磁性層を光学的 に分離する.比較のために、*a*-TbFe 膜(SiN (50 nm) /*a*-TbFe (100 nm) /SiN (20 nm)), BiDyAl:YIG 膜(576 nm)(以 下,単層膜と略す)も作製した.各試料の波長 532 nm における磁気光学特性および光学特性の評価を行った. この時、積層膜は BiDyAl:YIG 層からの反射光, *a*-TbFe 膜は反射光、単層膜は透過光での評価を行った. 残 留回転角を単層膜と積層構造で比較したところ、積層構造は 1.5 deg.であり単層膜の 1.5 倍であった. 残留回 転角の大きさを使って理想的な回折効率 $\eta \in \eta = (4/\pi^2)T\sin^2(\theta)$ でもとめた.ここで、*T* は透過率、 θ は透過回転 角である.反射膜に対してはそれぞれ反射率と反射回転角を用いた.積層膜および単層膜の回折効率は、7.0 ×10⁻³%、8.2×10⁻³%となった.次に記録条件を露光時間 2 msec, レーザパワー2.7~26 mW の範囲で変化させ、 最小の書込みエネルギーを調査した.積層膜は *a*-TbFe 層に熱磁気記録を行い、BiDyAl:YIG 層から磁区を観 察したところ磁気ピクセルの転写が確認された.各試料の最小の書き込みエネルギーを評価した結果、積層 膜は 4.8 mJ/cm² と得られた.これは単層膜の約 1/4 であり、*a*-TbFe 層を用いることで記録エネルギーの低減 を行うことが出来た.ワイヤーフレームの立方体を再生するホログラムを *a*-TbFe 層に記録した後、

BiDyAl:YIG側から反射再生を行うことで再生像が得られた(図 1). ノイズの原因は BiDyAl:YIG 層の膜厚に起因する磁界の不均一性によるものと考えられる. 今後,磁性フォトニック結晶構造等の導入によって, BiDyAl:YIGの膜厚を低減することでノイズの低減が期待できる.

本研究の一部は科研費基盤研究(S) 26220902 および JSPS 科研費 15J05710 の援助を受けて行ったものである. 参考文献

K. Nakamura, H. Takagi, T. Goto, P. B. Lim, H. Horimai, H. Yoshikawa, V. M. Bove and M. Inoue, Appl. Phys. Lett., 108, 2, 022404



(a) 左面図(b)正面図図1 積層構造膜による反射再生像

高耐熱ブラッグミラーを用いた 近赤外波長域用磁性フォトニック結晶の作製

吉本拓矢*,後藤太一***,高木宏幸*,中村雄一*,内田裕久*,井上光輝* (*豊橋技術科学大学,**JST さきがけ) Fabrication of magnetophotonic crystals working at near-infrared region using high thermal resistant Bragg mirrors Takuya Yoshimoto*, Taichi Goto***, Hiroyuki Takagi*, Yuichi Nakamura*, Hironaga Uchida*, Mitsuteru Inoue* (*Toyohashi University of Technology, **JST, PRESTO)

<u>はじめに</u>

磁性フォトニック結晶 (MPC) は、イットリウム鉄ガーネット (YIG) などの透明磁性材料をブラッ グミラー (BM) で挟んだ構造体であり、特定波長の光の磁気光学 (MO) 効果を増大する. 透明磁性材 料であるYIGの、YサイトをCeイオンで置換したセリウム置換YIG (CeYIG) は、近赤外波長域において、 光吸収が小さく、大きなMO効果を有する¹⁾. このため、CeYIGを用いたMPCは近赤外波長域で非常に大 きなMO効果を生ずる. しかし、これまでに作製されたCeYIGを含むMPCは、波長 1570 nmにおいてフ ァラデー回転角は 3.0 度と大きかったが、透過率が 2.3%と低かった²⁾. これは、BM中のTa₂O₅が結晶 化し、光散乱が生じたためであると考えられる. そこで、本研究ではTa₂O₅の結晶化温度をCeYIGの結 晶化温度以上に上昇可能な、Ta₂O₅にY₂O₃を添加したY-Ta-O³を用いることで、結晶化による光散乱を 抑制したMPCを作製した.

実験方法

合成石英基板上に、イオンビームスパッタ法を用いてY-Ta-OとSiO₂を交互に 16 層、積層したBMを形成した.各層の膜厚は、共振波長においてBraggの回折条件を満たすように設計した.Y-Ta-Oの成膜ターゲットには、Ta₂O₅にY₂O₃を 14 at.%添加した焼結体を使用した.このBM上に、高周波マグネトロンスパッタ法と真空熱処理を用いて多結晶CeYIGを形成した後、下部と同様にBMを形成した.

実験結果

形成したMPCは, Fig. 1 に示すように, 波長 1470 nmにおいて 5.4 度のファラデー回転角を示し, CeYIG単層膜と比較すると,約50 倍回転角が増大した.また, Yを含まないTa₂O₅を使用して形成し たMPCと比較すると,ファラデー回転角が 1.8 倍,透過率が 15 倍 に向上した.講演会では,詳細な試料形成方法と,Y-Ta-Oの特性評 価の結果,およびマトリクスアプローチ法を用いたMPCのMO特性 の理論計算との結果について報告する.

謝辞

本研究の一部は, JSPS 科研費 26706009, 26600043, 26220902, 15H02240の助成を受けて行われた.

参考文献

- 1) M. Gomi et al., J. Magn. Soc. Jpn. 13(2), 163-166 (1989).
- 2) T. Yoshimoto et al., Opt. Express, 24, 8, 8746-8753 (2016).

3) H. Fujikawa et al., R&D review of TOYOTA CRDL., 30, 4 (1995).



Fig.1 Faraday rotation loops of MPC comprising fused a silica substrate/(Y-Ta-O/SiO₂)⁸/CeYIG/(SiO₂/Y-Ta-O)⁸ and CeYIG film at a wavelength of 1470 nm.

偏光制御型軟 X線光源による鉄ナノ薄膜の磁気光学効果の研究

久保田雄也^{A,B}、田口宗孝^C、平田靖透^{A,B}、保原麗^B、山本真吾^{A,B}、染谷隆史^{A,B}、横山優一^{A,B}、 山本航平^{A,B}、田久保耕^A、荒木実穂子^A、山本達^{A,B}、宮脇淳^A、藤澤正美^A、原田慈久^A、 角田匡清^D、和達大樹^{A,B}、辛埴^A、松田巌^{A,B} (^A東大物性研、^B東大理、^C奈良先端大、^D東北大工)

Magneto-optic effect of Fe nanofilm using polarization-controlled soft X-ray source Y. Kubota^{A, B}, M. Taguchi^C, Y. Hirata^{A, B}, R. Hobara^B, Sh. Yamamoto^{A, B}, T. Someya^{A, B}, Y. Yokoyama^{A, B},

K. Yamamoto^{A, B}, K. Takubo^A, M. Araki^A, S. Yamamoto^{A, B}, J. Miyawaki^A, M. Fujisawa^A, Y. Harada^A,

M. Tsunoda^D, H. Wadati^{A, B}, S. Shin^A, I. Matsuda^{A, B}

(^AISSP, the Univ. of Tokyo, ^BDepartment of physics, the Univ. of Tokyo, ^CNAIST, ^DDepartment of Electronic Engineering, Tohoku Univ.)

はじめに

磁気光学カー効果(MOKE)の測定には可視光領域の波長の光が一般的に用いられるが、その波 長を VUV~X線領域の磁性元素の吸収端に合わせることで、元素選択的測定が可能であるとともに、 可視光を用いるよりも巨大なカー回転角を観測できることが知られている[1,2]。本講演では、 SPring-8 BL07LSU にて実現した偏光制御型軟 X線光源を用いて測定した、鉄ナノ薄膜の MOKE に ついて報告する。

<u>実験方法</u>

我々のグループでは SPring-8 BL07LSU にて世界唯一の分割型クロスアンジュレータを整備し、 偏光制御された高エネルギー分解能・高輝度の軟 X 線光源を実現した。その光源を用いて、Fig. 1 (a) に示すような鉄ナノ薄膜の L 殻吸収端における共鳴 MOKE 測定を行った。

実験結果

鉄ナノ薄膜のL 殻吸収端におけるカー回転角を Fig. 1 (b)に示す。L₂ と L₃の吸収端においてカー 回転角がピークを持ち、さらにその符号が反転していることを観測した。また、鉄の光学定数から [3]、古典電磁気学に基づくカー回転角スペクトルの計算を行い、実験結果を再現する結果が得られ た。さらに、共鳴X線散乱理論を用いたクラスター計算結果[1]との比較も行った。この量子論に 基づく計算からL₃吸収端におけるディップ構造も再現することに成功した。本講演ではミクロとマ

クロ両視点からの磁気光学効果 (a) の考察に加え、SPring-8 BL07LSU の偏光制御型光源を 活かした、MOKE の偏光依存性 についても報告する予定である。

参考文献

- Sh. Yamamoto *et al.*, Phys. Rev. B **89**, 064423 (2014).
- S. Valencia *et al.*, Physica B 345, 189-192 (2004).
- H.-Ch. Mertins *et al.*, J. Magn. Magn. Mater. **240**, 451-453 (2002).



Fig. 1 (a) A schematic drawing of the 30-nm-thick Fe nanofilm on the MgO(001) substrate. Ta (2 nm) and Cu (2 nm) are capping layers. (b) Kerr rotation angle spectra of the Fe nanofilm at Fe $L_{2, 3}$ -edges obtained by the measurement (filled circles) and the classic calculation with the empirical constants (open circles).

厚肉Fe基非晶質合金箔の軟磁気特性-2

1	佐藤	駿	小山	裕太	中村	吉男		
(S A	CO合	·同会社)	(いすゞ	自動車)	(東工大	、 物質理	工学院)	
Soft magnetic properties of Fe-base thick amorphous alloy sheets-2								
T. Sato ¹⁾		Y	. Koyan	na ²⁾	Y. Nakamura ³⁾			
SACO L	LC	2) I	suzu Mo	otors	3) Tokyo I	nstitute of	f Technolog	y

<u>はじめに</u>

1)

ダブルスリット法で作製した 50 μ mの厚肉F e 基非晶質合金箔(準量産材)の磁気特性を過去2回にわた り報告してきた ^{1,2)}. 今回は、磁場焼鈍後の特性を調べてまとめとする. 合わせて各社の材料設計思想を推量する。

実験方法

前回と同様に、板厚の異なる材料を用意する. B 社製の 50 μ m 厚肉材 (B-1) と 30 μ m の薄肉材 (B-3), 市 販の 22~28 μ m の薄肉材 (X, Y, Z) の 5 種類. 合金組成は各社すべて公称 Fe₇₈Si₉B1₁₃(原子%)である.

これらを幅25mm,長さ100mmに切断し,800A/mの磁場焼鈍をする.条件は375℃x60minおよび390℃x60min, N₂気流中である.磁気測定は岩通計測(株)のSST(SY-956)を使い,50,60,100Hzの3条件で測った鉄損を.周 波数法でヒステリシス損(Wh)と渦電流損(We)に分離した.さらに,XRD,VSM,DSC,光顕観察,表面粗度測定を行い, 鉄損支配要因を分析する.

<u>結果と考察</u>

Fig.1のように、磁界印加により厚肉材 B-1の鉄損は改善し、市販2社の薄肉材と同等になった.これは Wh の 低減が無磁場焼鈍より大きいことによる. 各試料を磁場焼鈍より高い温度でアニールし XRD を調べた.420℃ で B-1,B-3 のロール面に鋭いピークが現れた.440℃ではピークはさらに大きくなる.Y にはピークが現れず X,Z では比較的小さいピークである.このことから B-1 には実際の焼鈍温度でも XRD で検出できない微結晶が存在 しているのではないか. エアポケット周辺の微結晶は応力場を生じ複雑な磁区が形成されている可能性があ る. 磁場焼鈍にはそのような磁区を解消する作用があると考えられる.

VSM で Bs (印加磁場 15k0e) を測定した.B-1,B-3,Z はほぼ同じ 1.548T. X:1.595T, Y:1.538T, Z:1.545T で

った. 結晶化開始温度は B-1, B-3:500℃, X:490℃, Y:530℃,Z:500℃であった. これを勘案すると,X社はFe 含有量が公称より高く,Y社は逆に低いことが推定さ れる. また,エアポケットと鉄損の関係は,板厚が薄い 場合はほぼ直線的であった.エアポケット密度ととも に鉄損は増加した.一方,B-1 は直線から低鉄損側に大 きく外れた.

このことから、エアポケットをY社並みに低減できれば、厚肉箔の鉄損を大幅に改善できると考えられる.

<u>参考文献</u>:

 1)佐藤:第38回日本磁気学会講演概要集2aE-11(2014)
 2)佐藤,小山,中村:第39回日本磁気学会講演概要集 11aB-10(2015)





厚肉非晶質合金箔の振動発電特性

佐藤 駿

(SACO 合同会社)

The Characteristics of Oscillation Power Generator Using Thick Amorphous Sheets (SACO Liability Limited Company)

<u>はじめに</u>

板厚50μmの厚肉非晶質合金箔が準量産規模で製造できる見通しがたったことは,過去2回の本講演 会で報告した.これらの用途は主に変圧器、モータを念頭においたものであったが,厚肉材の特長を生か した応用を考え実験した結果について発表する.具体的には振動発電素子である.厚肉材は非常にバネ が強くはじくと振動が長続きする.この性質を生かそうと考えた.

<u>実験方法</u>

Fig.1に振動発電実験の概念図を示す. 板厚が $65 \mu m$ の Fe 基非晶質合金箔(幅 25mm)を長さ 80mm に 切断し積層してコアとした. 積層枚数5枚である. コアの一端を結束し,他端は固く束ねずに先端を伸縮 性のある材料で押さえた. 各箔は長手方向にずれ(すべり)の自由度を有する. コアに 0.4mmの被覆 Cu 線を 180 ターン巻いてコイルとした. コアの前方に永久磁石を配置する. 磁石は中心軸上 2 cm 離れた位 置で 30mT, 3 cm で 10mT の磁界を示した. コイルの両端はデジタルテスターに接続した. このテスターは 振動操作中の電圧 Max, Min(rms)を計測できる. コアの結束端部を手で押さえて上下に振りコアを振動さ せた. コア先端の振幅を特定するために高さの異なる振幅枠(Amplitude frame)の中で振動させた.なお, 結束部の振幅は約1-2 cm, 振動数は約3 H z である.

<u>実験結果</u>

Fig.2にコアの自由端の振幅(Peak to Peak)に対するコイルに誘起された電圧Vmaxを示す.振幅とともに電圧は増加する.コイルの抵抗 1.8Ωを使って算出した発電出力Pmax は,電圧の2乗に比例するのでVmax よりさらに急激に増加する.振幅 8cm(peak to peak)で振らせた場合の電圧値 49.9mV から計算した電力値 1.38mW は振動エネルギーから得られる電力としては報告例¹⁾に比べて桁違いに大きい.

この理由はコアのたわみ変形(しなり)によると推測して,たわみが生じない条件で同様の実験をした. コアに厚紙を当て,コアのたわみを抑えた振動では、同じ振幅 8cm に対して,電圧Vmax は,たわみ変形を 許容した場合に比べて,電圧は 35%に,発電出力(W)は 12%に低下した.以上の結果は、厚肉非晶質 箔のたわみ振動を利用して,環境エネルギーを効率的に電気エネルギーに変換できることを示唆する.



Fig.1 Image of oscillation generator experiments. Fig.2 Induced voltage against oscillation amplitude. 参考文献 1) M.Zucca et al:IEEE Trans.<u>Mag.50</u> (2014) 8002104

セラミックス層を導入した Co-SiO₂ナノグラニュラー膜の 構造と磁気特性

青木英恵、大沼繁弘*、増本博、山口正洋 (東北大、*電磁研) Structure and magnetic properties of ceramics intercalated Co-SiO₂ nano-granular films H. Aoki, S. Ohnuma, H. Masumoto and M. Yamaguchi (Tohoku Univ., *DENJIKEN)

はじめに

Co-AlN 系グラニュラー膜は、50-85 at. %の広い Co 濃度において垂直磁化に起因する面内等方性と優れた高周波軟磁気特性を示すことを報告した¹⁾。これらの面内等方膜は、柱状組織や磁性粒子が垂直方向に結合した構造に起因する垂直磁化が膜の磁気異方性に寄与するが、異方性磁界は数 100 Oe であり 3-4 GHz の強磁性共鳴周波数(f_r)以上で透磁率(μ)は非常に小さい。また、電気比抵抗(ρ)も 100 μΩcm と小 さく、高周波デバイス応用上の障害となっている。前回の報告では、高抵抗な(Co-AlN)/SiO₂多層膜を作 製したが、高抵抗な SiO₂層が挿入されて垂直方向の磁気異方性が減少したため、f_rは 3 GHz 程度にとど まった。一方で、Co-SiO₂系グラニュラー膜は TMR を示す高抵抗膜²⁾であり、多層化した面内一軸異方 性膜では優れた高周波軟磁性(f_r = 2.5 GHz)も報告されている³が、より高い抵抗、f_rを有する面内等方膜 の報告はない。本報告では、高抵抗な Co-SiO₂膜の構造と垂直磁化に起因する μ-f 特性を明らかにする とともに、タンデム法を用いてセラミックス層を導入した場合の挿入層の効果について検討した。

実験方法

SiO₂ 基板上に Co チップをのせた SiO₂ と AlN をターゲットに用いて、タンデムスパッタ法で室温下で 交互に積層成膜した。グラニュラー層となる Co-SiO₂ 側の投入電力を 200 W で一定とし、いずれの (Co-SiO₂)/AlN 膜においても Co-SiO₂層の厚み(Co 粒子径)は 3-4 nm とした。一方、AlN 側の投入電力は 0-200 W と変化させ、AlN の成膜速度および層の厚みを変化させた。AlN の投入電力が 0-200 W へ減少 するとともに、膜の成膜速度は 0-2.5 nm/min へと減少した。薄膜の組成分析は XRF および EDX、断面 観察および結晶解析は TEM、 ρ は4 端子法、磁化曲線は VSM、 μ -f 特性はマイクロストリップ線路法を 用いて評価した。

実験結果

図1に投入電力0および100Wで作製した Co-SiO₂ 膜および(Co-SiO₂)/AlN 膜の μ -f特性を示す。1GHz における膜の μ は4であり、 f_r はそれぞれ12.5および13.4GHz と高いため5GHz付近まで損失が小さ い。Co-SiO₂ 膜および(Co-SiO₂)/AlN 膜の面内飽和磁化はそれぞれ11.4および10.0kGであり、飽和磁界 は2.6および2.9kOeであった。また、 ρ はそれぞれ3600および2500 μ Ocmであり、従来の窒化物系グ

ラニュラー膜に比べて高い。膜の高 い飽和磁界(大きな垂直磁化成分)や 膜の高ρが面内等方膜の高周波軟磁 気特性に寄与していると考えられ る。

<u>参考文献</u>

- H. Kijima, S. Ohnuma, H. Masumoto, IEEE. Trans. Magn., 47-10 (2011) 3928.
- 2) S. Honda, Y. Yamamoto, J. Appl. Phys.,93 (2003) 7936.
- K. Ikeda, T. Suzuki, T. Sato, IEEE. Trans. Magn., 45-10 (2009) 4290.





アモルファス CoFeSiBHf 薄膜の磁気特性の組成依存性

神保睦子,藤原裕司*,清水利文 (大同大学,*三重大学) Composition Dependence of magnetic properties in a-CoFeSiBHf thin films M.Jimbo,Y.Fujiwara, T.Shimizu (Daido Univ.,*Mie Univ.)

1. はじめに

アモルファス (a-) CoFeSiB 合金は,磁歪がほぼゼロで保磁力が 0.1Oe 以下と軟磁気特性に非常に優れてお り¹⁾,磁性グラニュラー薄膜の TMR を利用した GIG 磁気センサー²⁾のヨーク部に使用されている。しかし, この薄膜は非常に軟磁気特性に優れているが,薄膜であるために合金より耐熱性が低く,そのため,センサ ーに加工するための耐熱性の改善が必要である。そこで,我々は a-CoFeSiB 薄膜に Hfを少量添加することで, 低保磁力を維持しつつ耐熱性を向上させることが出来ることを報告した²⁾。今回は, a-CoFeSiBHf において, メタルやメタロイドの組成により磁気特性がどのように変化するかを検討したので,その結果について報告 する。

2. 実験方法

試料は、RFスパッタ装置を用い、Si, B, Hfの組成の異なる数種類の 合金ターゲットを用いて作製した。CoとFeの組成はそれぞれ約75~ 80at%、5at%である。作製した試料の膜厚は約500nmで、上部には保護 膜としてSiN膜を10nm蒸着した。作製した試料は、2x10⁻⁵Torrの真 空中で1時間磁界中熱処理を行なった。熱処理温度は、200℃か ら350℃である。磁気特性はVSMで測定し、XRDなどで構造を解 析した。但し、実験結果は全て熱処理前である。

3. 実験結果

Fig.1は、Hf の組成を一定にしてSi+Bの量を変化させた時の保磁力 の変化を示したグラフである。SiとBのメタロイドの量が10at%程度で は、試料の保磁力にばらつきがある。これらの試料では、垂直磁気異方 性が存在する様なBHループを示し、磁歪が大きくなっていると思われ る。そのため、試料作製時の応力により保磁力にばらつきが出たと考え られる。メタロイドが12at%を超えると角形性の良い低保磁力を示す試 料が得られる。Fig.2は、Si+B量を一定にしてHf量を変化させた時の 保磁力の変化を示したグラフである。メタロイドの量が9at%の時は、 Hfを添加すると保磁力が急激に低下しばらつきが無くなるが、メタロ イド量が15at%では、Hfを添加しても保磁力はほとんど変わらないこと がわかった。

参考文献

1) 例えば H.Fujimori and N.S. Kazama : Sci Rep. RITU, A-27 (1979) 177

2) N.Kobayashi et al. : J.Magn.Magn.Mater., 30 (1998) 188

3) <u>M.Jimbo</u>, Y.Fujiwara, T.Shimizu : J. Appl. Phys. 117, 17A313 (2015) 17A313-1



Fig.1 Dependence of the coercive force on (Si+B) concentration for CoFeSiBHf thin films.



Fig.2 Dependence of the coercive force on Hf concentration for CoFeSiBHf thin films.