

PdSb 添加 FeNi 合金薄膜の結晶構造と磁気特性

西野 昂史・神島 謙二・柿崎 浩一
(埼玉大学 大学院 理工学研究科)

Crystal structure and magnetic properties of FeNi alloy thin films doped with PdSb

T. Nishino, K. Kamishima, and K. Kakizaki

(Graduate School of Science and Engineering, Saitama University)

緒言

当研究グループではこれまでに Pd および Sb を複合添加した CoPt および FePt 合金薄膜において、磁化容易軸である $\langle 001 \rangle$ 方向が膜面垂直方向に配向した $L1_0$ 規則相が得られることを報告した^{1),2)}。そこで本研究では、CoPt および FePt 合金と同様に、 $L1_0$ 規則構造を形成するとされる FeNi 合金³⁾に添加物として Pd-Sb を加えることで、CoPt および FePt 合金薄膜と同様のメカニズムにより $L1_0$ 規則相を生成できないか検討したので報告する。

実験方法

成膜には rf マグネトロンスパッタ装置を用いた。ターゲットには 76 mm ϕ の Fe₅₅Ni₄₅ 円板上に Pd チップおよび粒状の Sb を貼り付けたものを用いた。チャンバー内を 7.0×10^{-7} Torr 以下に排気後、スパッタガスとして Ar を導入し、Ar ガス圧は 10 mTorr とした。スパッタ時の投入電力は 2.2 W/cm² とし、合成石英ガラス基板上に膜厚が約 80 nm となるよう室温で成膜した。成膜後、減圧下水素気流中 700°C で 1 時間の急加熱急冷処理を行い、試料を得た。

結果および考察

Fig. 1 は成膜後 700°C で 1 時間熱処理した Sb/Pd 比の異なる (PdSb)₉(Fe_{0.5}Ni_{0.5})₉₁ 薄膜の X 線回折図を示す。すべての膜において、(Fe_{0.5}Ni_{0.5})Sb₂ が生成しており、CoPt および FePt 合金薄膜では優先的に生じた Sb と Pd の反応が起きていない。これに伴い、すべての膜において fcc-FeNi 相が生成し、わずかに生成する $L1_0$ 規則相は fct-FePd 相由来であると考えられる。すなわち、Sb が FeNi 格子中から Pd を引き抜けないことが原因で、FePd 規則相が生成したと推察できる。このように、熱処理時の各相の生成過程が CoPt および FePt 薄膜と異なる可能性が示唆されたが、生成エンタルピーを計算したところ、Sb との反応は FeNi-Sb > Ni-Sb > Pd-Sb > Fe-Sb の順で反応しやすい。そのため FeNi 薄膜で Sb は Pd と反応するのではなく、FeNi と反応して (Fe_{0.5}Ni_{0.5})Sb₂ を形成すると考える。

Fig. 2 は成膜後 700°C で 1 時間熱処理した Sb/Pd = 1.46 の (PdSb)₉(Fe_{0.5}Ni_{0.5})₉₁ 薄膜の磁化曲線を示す。膜面垂直方向に測定した保磁力は、約 1.5 kOe であり、膜面内方向と比較して大きい値を示すことから、垂直磁化膜となっている。これは、 $L1_0$ -FePd の (001) 面が膜面直方向に配向したことに加えて、基板と膜との熱膨張係数の差が原因で生じた膜面内方向への引っ張り応力が原因であると考えられる。

参考文献

- 1) 狩野智弘, 柿崎浩一, 神島謙二; 第 39 回日本磁気学会学術講演概要集(2015) 34.
- 2) K. Kakizaki, S. Takakuwa, K. Kamishima; J. Jpn. Soc. Powder Metallurgy, 64 (2017) 355.
- 3) L. Néel, J. Paulevé, R. Pauthenet, J. Laugier, and D. Dautreppe; J. Appl. Phys. 35 (1964) 873.

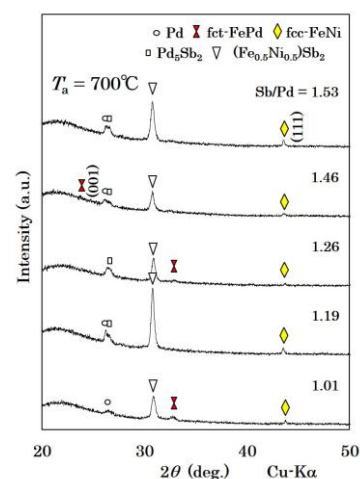


Fig. 1 XRD patterns of PdSb-FeNi thin films with different Sb/Pd ratios.

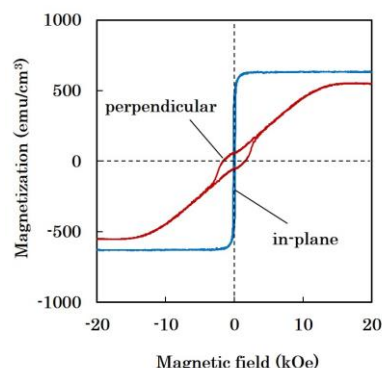


Fig. 2 In-plane and out-of-plane hysteresis loops of a PdSb-FeNi thin film with an Sb/Pd ratio of 1.46.

H₂ プラズマを用いた *in-situ* 脱窒素法による L1₀-FeNi 薄膜の作製

林田誠弘¹、伊藤啓太^{1,2}、水口将輝^{1,2}、柳原英人³、高梨弘毅^{1,2}
 (¹ 東北大金研、² 東北大 CSRN、³ 筑波大物工)

Fabrication of L1₀-FeNi films by *in-situ* denitridding method using radio frequency H₂ plasma
 M. Hayashida¹, K. Ito^{1,2}, M. Mizuguchi^{1,2}, H. Yanagihara³, K. Takanashi^{1,2}
 (¹IMR, Tohoku Univ., ²CSRN, Tohoku Univ., ³Inst. of Appl. Phys., Univ. of Tsukuba)

はじめに

一軸磁気異方性エネルギー(K_u)が大きな強磁性体材料には希土類または貴金属元素が含まれているものが多く、元素戦略上これらの元素を含まない新しい材料が必要とされている。我々は L1₀-FeNi 規則合金に注目して単結晶薄膜の作製と、規則度および K_u の向上に取り組んできた¹⁾。本研究では、FeNiN 薄膜に対する脱窒素法²⁾による高規則度単結晶 L1₀-FeNi 薄膜の作製と高 K_u の実現を目的とし、分子線エピタキシー(MBE)法により作製した FeNiN 薄膜に高周波(RF)H₂を用いた *in-situ* 脱窒素処理を行い L1₀-FeNi 薄膜を作製した。

実験方法

Fe、Ni および RF-N₂ の同時供給による MBE 法により³⁾、SrTiO₃(STO)(001)基板上に FeNiN 薄膜(20 nm)のエピタキシャル成長を行った。N₂ 流量を 1.0 sccm、RF 入力を 250 W、蒸着レートは 0.042 Å/s (Fe)と 0.039 Å/s (Ni)、成膜温度を 350 °C とした。成長後、MBE 装置内で RF-H₂を用いた *in-situ* 脱窒素処理を行った。H₂ 流量を 1.0 sccm、RF 入力を 300 W とし、RF-H₂ を供給しながら 350 °C の熱処理を最長で 16 時間行った。脱窒素処理後、面外(ω -2 θ)および面内(ϕ -2 θ)X 線回折(XRD)で試料の構造評価を、振動試料型磁力計(VSM)で磁化曲線を測定し K_u の評価を行った。

実験結果

XRD パターンから、処理時間が長くなると FeNiN→Fe₂Ni₂N→FeNi の過程で脱窒素が進み、16 時間の脱窒素処理では窒素がほとんど抜け、大部分が FeNi となっていた。 ω -2 θ XRD では FeNi 200、 ϕ -2 θ XRD では FeNi 200 および 002 が重なったピークが見られ、 a 軸配向した L1₀-FeNi の形成と、膜面内に倒れた c 軸の方向が互いに 90°異なるバリエーションの形成が示唆された

{L1₀-FeNi[001](100) || STO[100](001)および L1₀-FeNi[010](100) || STO[100](001)}。図 1 に VSM で評価した飽和磁化(M_s)および K_u を示す。 M_s および K_u はそれぞれ脱窒素処理時間が長くなるにつれて大きくなり、16 時間では 1141 ± 9 emu/cm³ および $(2.3 \pm 0.1) \times 10^6$ erg/cm³ の値が得られた。Fe₂Ni₂N および FeNi の M_s はそれぞれ 730 emu/cm³ 程度⁴⁾ および 1280 emu/cm³ 程度⁵⁾ であり、脱窒素は Fe₂Ni₂N で止まることなく FeNi まで進んでいることが XRD の結果と同様に示唆された。

参考文献

- 1) K. Takanashi *et al.*, J. Phys. D: Appl. Phys. **50**, 483002 (2017).
- 2) S. Goto *et al.*, Scientific Reports **7**, 13216 (2017).
- 3) F. Takata *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **57**, 058004 (2018).
- 4) X. G. Diao *et al.*, J. Appl. Phys. **85**, 4485 (1999).
- 5) J. Pauleve *et al.*, J. Appl. Phys. **39**, 989 (1968).

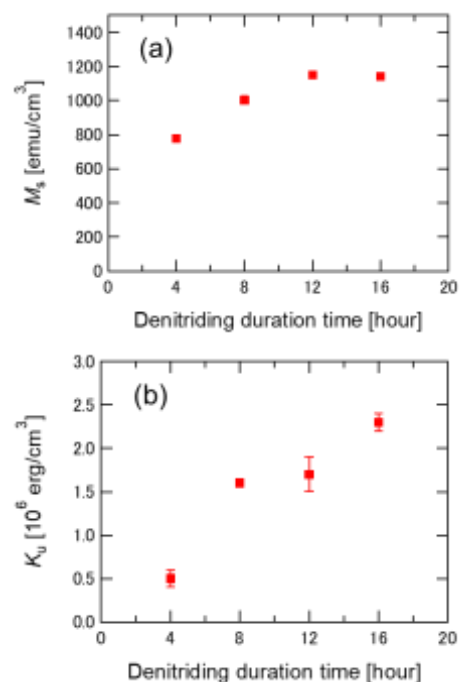


図 1 各試料の(a) M_s および(b) K_u

窒素サーファクタント効果を用いた高品質 FeCo 合金超薄膜の作製

高橋 優樹^{1,2}、宮町 俊生²、飯盛 拓嗣²、服部 卓磨²、山本 航平³、小板谷 貴典³、横山 利彦³、
小森 文夫²、小嗣 真人¹
(東京理科大¹、東大物性研²、分子研³)

Fabrication of high quality FeCo alloy thin films using the nitrogen surfactant effect
Yuki Takahashi¹, Toshio Miyamachi², Takushi Iimori², Takuma Hattori², Kohei Yamamoto³, Takanori
Koitaya³, Toshihiko Yokoyama³, Fumio Komori², Masato Kotsugi¹
(Tokyo Univ. of Sci.¹, ISSP, The University of Tokyo², IMS³)

はじめに

$L1_0$ 型 FeCo 規則合金($L1_0$ -FeCo)は遷移金属合金の中で極めて高い垂直磁気異方性を有することが理論的に予測されており[1]、レアアースフリーの高機能新規磁性材料として注目を集めている。 $L1_0$ -FeCo 薄膜の作製のために、パルスレーザー蒸着 (PLD) 法を用いた単原子交互積層がこれまでに用いられてきた。しかし、 $L1_0$ -FeCo は非平衡構造なため[2]、接合界面における原子スケールでの構造と磁気特性の乱れに起因して規則度が低く、面直磁化はこれまでに実現されていない。そこで我々は Fe_2N 単原子層の窒素サーファクタント効果を利用し、Cu (001)基板上に高品質な FeCo 合金薄膜の作製を試みている。 Fe_2N 単原子層の高い表面格子安定性[3]および Fe/Co 界面における相互拡散を効果的に抑制する窒素サーファクタントにより原子レベルで平坦で均一な界面をもつ FeCo 合金薄膜の作製が期待できる。これまでに $L1_0$ -FeNi の作製を目的に窒素サーファクタント効果を用いた FeNi 原子層の形成が行われ、本手法の有効を確認している[4]。本研究では窒素サーファクタント効果を用いた高品質 FeCo 合金薄膜作製の初期段階として、Co 1 原子層 (ML) を積層した Fe_2N/Cu (001)の原子スケールでの構造と磁気特性を走査トンネル顕微鏡 (STM)、低速エネルギー電子線回折 (LEED) および X 線吸収分光法/X 線磁気円二色性 (XAS/XMCD) を用いて調べた。

実験方法

Fe_2N 単原子層は窒素イオンボンバードメント処理をした Cu (001)基板上に Fe 2 ML を室温蒸着後、約 300 °C でアニール処理することにより作製した。その後、Co 1 ML を約 -100 °C での低温蒸着により積層した。Cu (001)上の Fe_2N 単原子層の成長様式や表面構造の詳細は STM および LEED によって XAS/XMCD 測定前に確認している。[3,5]

実験結果

まず、 Fe_2N 単原子層の XAS/XMCD 測定を行い、先行研究同様、強い面内磁気異方性が観測された[5]。しかし、Co 1 ML 積層後、Fe 面直磁化の相対的な増大が確認された。事前に行った STM 観察により、Co 1 ML を積層した Fe_2N 単原子層は、窒素サーファクタント効果により構造が変化し、 $Co_2N/Fe/Cu$ (001) が形成されることがわかっている。Fe の面直磁化は Fe と Co の交互積層 ($Co_2N/Fe/Co/Fe$) によってさらに増大することが明らかになった。得られた結果より、窒素サーファクタント効果が Fe/Co 界面における相互拡散を効率的に抑制して FeCo 合金超薄膜の表面/界面が原子レベルで平坦に維持され、 $L1_0$ -FeCo の特有の面直磁化が反映されていると考えられる。

参考文献

- [1] T. Burkert et al., Phys. Rev. Lett. **93**, 027203, (2004).
- [2] H. Ito et al., AIP Advances **9**, 045307 (2019)
- [3] Y. Takahashi et al., Phys. Rev. Lett. **116**, 056802 (2016).
- [4] K. Kawaguchi et al., *submitted*.
- [5] Y. Takahashi et al., Phys. Rev. B **95**, 224417(2017).

熱アニールによる Si/SiO₂ 基板上高保磁力 CoPt 薄膜

遠山諒¹、河智史朗^{1,2}、飯村壮史¹、山浦淳一^{1,2}、村上洋一^{1,2}、細野秀雄¹、真島豊¹
(¹東工大、²KEK)

High coercivity in CoPt thin films on Si/SiO₂ substrates by thermal annealing

R. Toyama¹, S. Kawachi^{1,2}, S. Iimura¹, J. Yamaura^{1,2}, Y. Murakami^{1,2}, H. Hosono¹, Y. Majima¹
(¹Tokyo Institute of Technology, ²KEK)

はじめに

CoPt 合金は、熱処理によって $A1$ 不規則相から $L1_0$ 規則相に構造変態すると、高い一軸結晶磁気異方性や高い保磁力を持つことが知られており、次世代強磁性材料として注目を集めている [1]。室温においてもナノ構造における磁化の熱擾乱を避けることが可能であるため、ナノスケールの磁気トンネル接合素子などへの応用が期待されている。CoPt 規則合金の発現のためには、MgO や Al₂O₃ といった単結晶基板が用いられることが多い。しかしながら、将来的なデバイス応用を見据えた際、現在主流であるシリコンテクノロジーとの親和性から、CoPt 規則合金を Si 基板上に作製することが望ましい。そこで本研究では、Si 基板上に CoPt 薄膜を作製し、アニール処理を行い、その磁気特性の評価を行ったので報告する。

実験方法

電子線蒸着により、熱酸化膜付き Si 基板上に、Co と Pt を交互積層させた Co/Pt 多層膜を作製した。その後、強磁性 CoPt 合金化を促進するためにプレアニールを行った。最後に、急速加熱装置 (RTA) を用いて、高い昇温レートで、900 °C で試料の熱処理を行い、 $L1_0$ -CoPt 規則合金への構造変態を試みた。作製した試料の磁気特性は、SQUID VSM を用いて、室温にて、-70 kOe から 70 kOe の範囲で測定した。

実験結果

アニール処理前後の試料の面内磁化特性を Fig. 1 に示す。as depo. の試料においては、成膜した Co に由来する磁化特性が得られた。一方、熱処理を行った試料では、飽和磁化は 600 emu/cm³ 程度まで増加し、およそ 2.6 kOe という高い保磁力を示した。これらの結果から、RTA を用いた熱処理によって、高い保磁力を持った CoPt 薄膜の Si 基板上への作製が確認された。

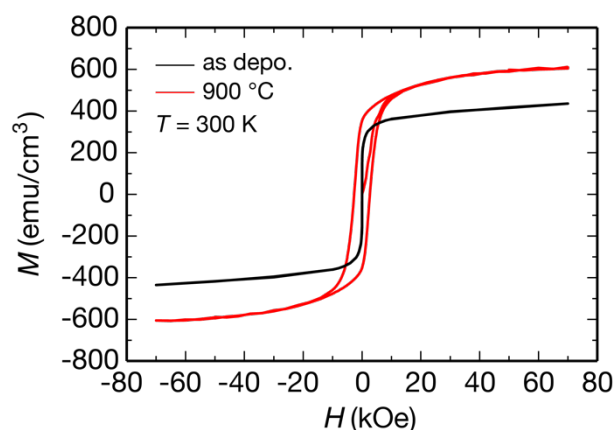


Fig. 1. In-plane M - H curves for the CoPt thin films on Si/SiO₂ substrates.

謝辞

本研究の一部は、文部科学省「元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>」、東京大学物性研究所共同利用の支援により行われた。

参考文献

[1] D. Weller and A. Moser, *IEEE Trans. Magn.*, **35**, 4423, 1999.

TbFe フェリ磁性合金薄膜静磁気特性の膜厚依存性とその抑制

長谷川任¹, 吉川大貴², 塚本新²

(¹ 日本大学大学院理工学部研究科, ² 日本大学理工学部)

Film thickness dependence of static magnetic properties on TbFe ferrimagnetic alloy thin film and its suppression

Tsutomu Hasegawa¹, Hiroki Yoshikawa², Arata Tsukamoto²

(¹ Graduate School of Science and Technology, Nihon Univ., ² College of Science and Technology, Nihon Univ.)

はじめに 今後期待される極微細スピントロニクスデバイスでは、従来にも増し、界面の寄与が大きな課題となることが考えられる。よって、用いられる薄膜磁性材料の膜厚依存性やその抑制が重要となる。我々は、各元素由来の副格子磁化が反平行に結合した重希土類-3d 遷移金属からなる、GdFeCo フェリ磁性合金薄膜における静磁気特性の新たな膜厚依存性モデルの提案と、Gd 超薄膜の隣接による膜厚依存性の抑制を報告している¹⁾。本報告では、GdFeCo 合金薄膜と同様な重希土類-3d 遷移金属フェリ磁性体であり、高磁気異方性を示す実用記録媒体として知られる TbFe 合金薄膜における、静磁気特性の膜厚依存性や界面の Tb 超薄膜隣接効果につき、実験、検討を行うことで、報告されている GdFeCo の膜厚依存性と同様にその抑制効果の評価、特に祖施肥変化に敏感な磁化補償温度への寄与につき検討する。

実験方法 測定試料には、マグネトロンスパッタリング法により作製した試料群 A : SiN (60 nm) / Tb₂₂Fe₇₈ (t nm) / SiN (5 nm) / Si sub. 及び、Tb 超薄膜を隣接させた試料群 B : SiN (60 nm) / Tb (1 nm) / Tb₂₂Fe₇₈ (t nm) / Tb (1 nm) / SiN (5 nm) / Si sub. を用いた(膜厚 t = 5, 10, 20, 30 nm)。各試料群 A, B に対する背景温度(50 ~ 300 K)における膜面垂直方向への外部磁場 (-70 ~ 70 kOe) 依存性を評価した。これには、超伝導量子干渉素子式試料振動型磁力計を用い、飽和磁化 M_s, 保磁力 H_c を評価した。また、背景温度 50 K において 70 kOe で着磁後、300 K まで昇温しつつ、残留磁化 M_r の温度依存性を測定し、組成変化に敏感な磁化補償温度(ぶく光子の磁化が打ち消し合う温度) T_{comp} を見積もった。

実験結果 Fig. 1 に各温度の両試料群における飽和磁化 M_s の膜厚依存性を示す。全膜厚範囲において膜厚 t の減少ともなう、M_s の正側への増大傾向が確認できる。さらに試料群 B では t = 10 ~ 30 nm の範囲で膜厚依存性が抑制されていることがよくわかる。試料群 A で生じた M_s の変化量 ΔM_s = M_s(30 nm) - M_s(10 nm) は、試料群 B の構造とすることで 300 K において {ΔM_s(B) - ΔM_s(A)} / ΔM_s(A) = -67.9 %, 50 K において -108.1 % もの減少が確認された。次に、Fig. 2 に両試料群における磁化補償温度 T_{comp} の膜厚依存性を示す。T_{comp} が膜厚の減少とともに低下しており、実効的組成比が遷移金属優勢側に移行していることが示され、前述の M_s 変化とも対応する。試料群 B において膜厚依存性が抑制され、両試料群の t = 10 ~ 30 nm の範囲における T_{comp} の変化量 ΔT_{comp} = T_{comp}(30 nm) - T_{comp}(10 nm) を比較すると、試料群 B の構造とすることで {ΔT_{comp}(B) - ΔT_{comp}(A)} / ΔT_{comp}(A) = -82.7 % もの減少が確認された。一方、t = 5 nm においても抑制効果が表れていることは確認されたが、いずれの試料群でも著しい M_s 変化を生じ、かつ、T_{comp} が確認されなかったことから、10 nm 未満の薄膜領域では別の起源の効果が寄与しているものと考えられる。

謝辞 本研究の一部は平成 26~30 年度文部科学省科学研究費補助金 新学術領域研究(研究領域提案型)ナノスピ変換科学(Grant No. 26103004)の助成により行った。

参考文献 1) Yasuhiro. Futakawa et al., Technical Meeting on "Magnetics", IEE Japan, MAG-17-150 (2017).

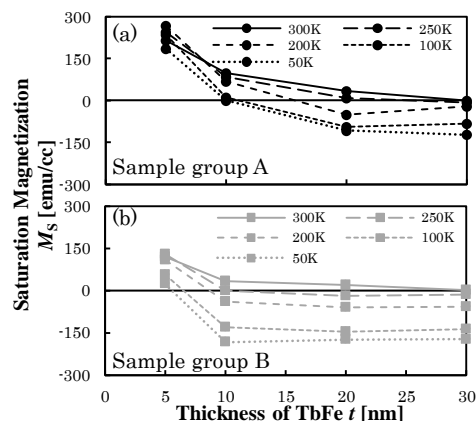


Fig.1 Thickness dependency of M_s in sample group A, B

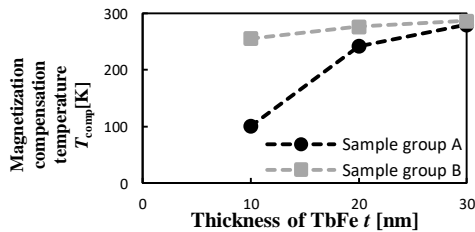


Fig.2 Thickness dependency of T_{comp} in sample group A, B

Fe₃O₄(111)/SrTiO₃(111)スパッタエピタキシャル膜の垂直磁気異方性

渡邊 雅人

((公財)電磁材料研究所)

Perpendicular magnetic anisotropy in Fe₃O₄(111)/SrTiO₃(111) sputtered epitaxial thin films

Masato Watanabe

(Research Institute for Electromagnetic Materials)

はじめに

マグネタイトは高キュリー点(850K)を有し、高温相がハーフメタル特性あるいは大きな異常ホール効果($\rho_H \sim 10 \mu\Omega\text{cm}$)など興味深い電子物性を示すが、立方晶のため反磁界エネルギー以上の強い一軸磁気異方性は得られない。もし整合歪みなどで異方性を制御し垂直磁化膜が得られれば、垂直磁化型 MRAM など各種デバイス応用への展開も期待できる。本講演では、強い垂直異方性を示す(111)配向 Fe₃O₄ エピタキシャル膜が得られたのでこの結果について報告する。

実験方法

FeO 焼結ターゲットを用い、Ar+O₂ 混合ガスを導入した反応性 RF マグネトロンスパッタ法により、600°Cまで加熱した SrTiO₃(111)単結晶基板上に成膜を行った。Ge(220)モノクロメータを用いた高分解能 XRD で構造評価を行い、VSM および CEMS(内部転換電子メスbauer分光)により磁性評価を行った。比較のために MgO(100)および SrTiO₃(100)基板上への成膜も行った。

実験結果

流量比で酸素量 1~2% の Ar+O₂ 混合ガスを導入した場合に、面直に(111)配向した Fe₃O₄膜が生成し、Fe₃O₄(311)の極点図に相当する XRD ϕ スキャンから面内構造も制御されたエピタキシャル膜であることを確認した。

膜厚依存性を検討した結果、膜厚減少とともに XRD ピークシフトの増大が観測され、整合歪みが印加されていると考えられる。磁化および保磁力が最も大きくなった 87 nm 厚試料の磁化カーブを Fig. 1 に示す。垂直成分の磁化が面内成分よりも大きく強い垂直異方性が誘起されていることが確認できる。一方、比較のため作製した(100)配向試料の磁化カーブからは、大きな垂直異方性の誘起は確認されなかった。

この試料の CEMS スペクトルを A, B サイトの分解成分とともに Fig. 2 に示す。3:x:1:1:x:3 のピーク強度比から得られた磁気モーメントの方向は、面直から 30° 以内で(100)配向の場合と比較し垂直に近く、磁化カーブに対応した結果となった。反磁界エネルギー $2\pi M^2 = 1.5 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$ 以上の垂直異方性の誘起が予想される。無反跳分率の影響を考慮し、A, B サイト成分の積分強度比から求まる Fe_{3.5}O₄ の空孔パラメータ δ は 10^{-3} オーダで十分小さく、ストイキオメトリーに近い Fe/O 組成であることが確認された。

本研究は、科研費 17K06806 の交付を受け実施している。

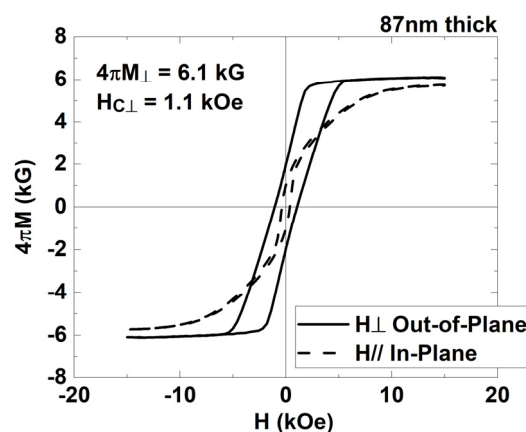


Fig. 1 Magnetic hysteresis curves for 87nm thick Fe₃O₄(111) / SrTiO₃(111) thin film.

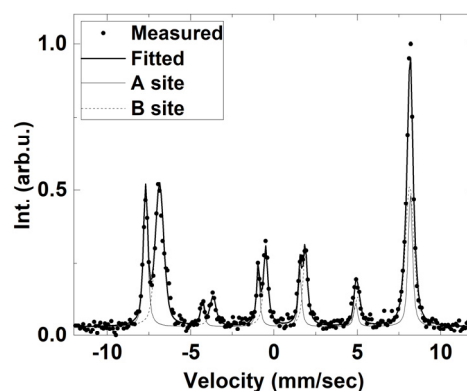


Fig. 2 CEMS spectra for 87nm thick Fe₃O₄(111) / SrTiO₃(111) thin film.

MgO/Fe/Au 系における磁化ダイナミクスの検討

神谷 尚輝, 大島 大輝, 加藤 剛志, 岩田 聡
(名古屋大学)

Investigation of magnetization dynamics in MgO / Fe / Au system

N.Kamiya, D.Oshima, T.Kato, S.Iwata

(Nagoya University)

はじめに

磁気ランダムアクセスメモリ(MRAM)は不揮発性、高速動作、無限の書き換え耐性、低消費電力といった特徴を持つ次世代のメモリとして注目されているが、高密度化のためには、メモリ層の磁化ダイナミクスの理解が求められる。スピン軌道相互作用の大きな金属と絶縁体の間に 3d 遷移金属の超薄膜を挟んだ系では、ラッシュバスピ軌道相互作用の有効場により、垂直磁気異方性(PMA)が大きくなることが報告されている^[1]。本研究では、MgO / Fe / Au 系を分子線エピタキシー法によって成膜し、その PMA および磁化ダイナミクスを調べたので報告する。

実験方法

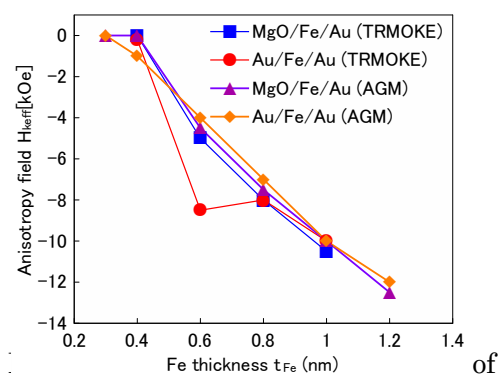
測定試料は分子線エピタキシー (MBE) 法により作製し、膜構成は、MgO (5 nm) / Fe (t_{Fe}) / Au (20 nm) / Cr (5 nm) / MgO (001)基板、Au (2 nm) / Fe (t_{Fe}) / Au (20 nm) / Cr (5 nm) / MgO (001)基板とした。Fe 層厚は $t_{Fe}=0.3 \sim 1.2\text{nm}$ で変化させた。MBE による成膜後、光学測定用の干渉膜として SiN をスパッタ成膜した。試料の磁気特性は交番磁界勾配型磁力計 (AGM) により測定した。また磁化ダイナミクスは、中心波長が 1040 nm、パルス幅 500 fsec、繰り返し周波数 100 kHz のファイバレーザーを用いた時間分解磁気光学 Kerr 効果 (TRMOKE) 計測により調べた。なお、TRMOKE 測定では Pump 光として 1040 nm、Probe 光として第二高調波の 520 nm の光を用いた。測定時には膜面法線方向から 40~60 度傾けた方向に外部磁界 H_{ext} を 4~14 kOe の範囲で印加した。

実験結果

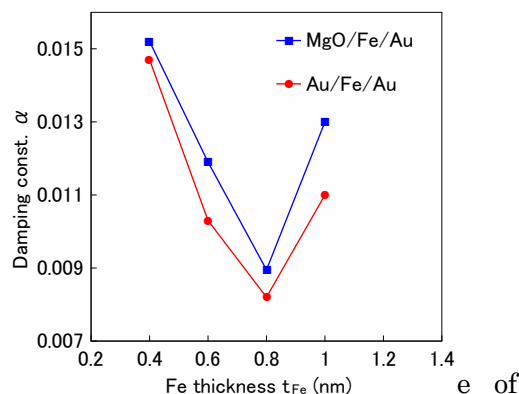
TRMOKE 法により測定した磁化の歳差運動を減衰振動関数 $e^{-\alpha t} \sin \omega t$ によりフィッティングし、 ω と t の外部磁界依存性から異方性磁界 H_{keff} 、 g 係数、ダンピング定数 α 、異方性分散 ΔH_{keff} を求めた。Fig. 1 は H_{keff} の t_{Fe} 依存性を示している。なお、Fig. 1 には、AGM により見積もった H_{keff} も示した。TRMOKE および AGM による H_{keff} は Au / Fe (0.6 nm) / Au を除きおおよそ一致している。 H_{keff} は t_{Fe} の減少により増加し、MgO / Fe (0.4 nm) / Au では垂直磁化膜となり、一方、Au / Fe (0.4 nm) / Au では面内磁化膜であった。Fig. 2 はダンピング定数 α の t_{Fe} 依存性を示している。 t_{Fe} 層厚が 0.8 nm 以下では Fe 層厚の減少により α が増加しており、Au 層内でのスピン緩和の影響を反映していると考えられる。一方、 α は MgO / Fe / Au 系の方が Au / Fe / Au 系よりも大きいことが確認された。スピンポンピングによるスピン流は MgO 層には流れないことから、MgO / Fe / Au 系ではスピン緩和に別の機構を考える必要があることを示唆している。

参考文献

[1] S. E. Barnes et al., Sci. Rep. 4, 4105 (2014).



of effective anisotropy field H_{keff} of MgO / Fe / Au and Au / Fe / Au trilayers.



e of damping constant α of MgO / Fe / Au and Au / Fe / Au trilayers.