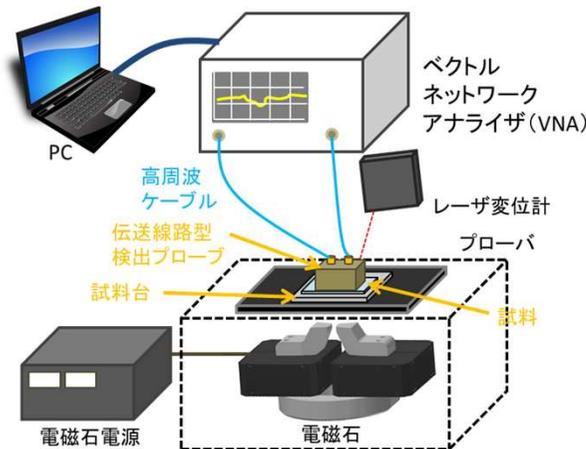


研究プロジェクト名: 磁性薄膜の磁化ダイナミクスメカニズム

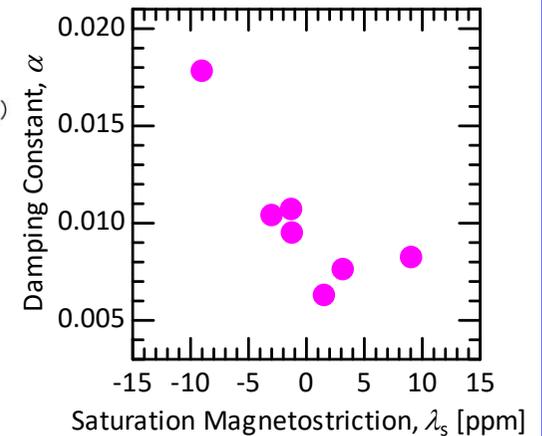
概要: 次世代省エネ型スピントロニクスデバイスの創製・設計にあたり、デバイスを構成する磁性薄膜の磁化ダイナミクス(ダンピング定数、FMR周波数およびFMR線幅など)を理解することが重要である。本研究PJでは、この磁化ダイナミクスと、他の磁気パラメータ(磁気異方性や磁気ひずみなど)を詳細に検討し、それらの関連性の有無を明確にし、磁性薄膜の磁化ダイナミクスの起源を理解する。得られた知見をもとにして、デバイスを構成する磁性薄膜の設計指針を確立し、デバイスの性能・信頼性の向上へとつなげる。

コアメンバー: 遠藤 恭(東北大)、Nguyen Thi Van Anh(東北大)、白土優(大阪大)、中谷亮一(大阪大)、室賀翔(秋田大)

期待される研究成果: 磁性薄膜における磁化ダイナミクスの詳細な評価解析により得られる本研究の知見は、スピントロニクス分野に加えて、従来の磁気デバイス(ノイズ抑制体や磁気ヘッドなど)の設計指針への活用も期待できる。また、本研究の知見は、次世代省エネ型スピントロニクスデバイスの実現に向けた材料設計基準を構築でき、関連研究分野へのインパクトおよび社会への波及効果が大きいものと予想される。



新規磁化ダイナミクス計測法
(伝送線路型プロービング
高周波磁気計測技術)



磁化ダイナミクス(ダンピング定数)
と磁気ひずみの関係
(10 nm厚Ni-Fe膜)

研究プロジェクト名: 磁性薄膜の磁化ダイナミクスメカニズム

概要: 磁性薄膜の磁化ダイナミクスは、スピントロニクスデバイスの動作を担う主要な基本原理であり、その電界制御はデバイスの省エネ化を実現するうえで重要である。本研究では、磁性薄膜における磁化ダイナミクスの基本特性(ダンピング定数、磁気共鳴周波数、周波数帯域幅等)と他の磁気パラメータについて検討し、それらの関連性の有無を理解した上で、磁化ダイナミクスのメカニズムを明確にする。得られた知見に基づいて、デバイスを構成する薄膜材料設計指針の確立、デバイスの性能・信頼性の向上につなげる。

研究成果(実施状況): 高周波伝送線路をプローブに用いた新規磁化ダイナミクス計測法を用いて、軟質磁性Fe系二元合金であるNi-Fe薄膜やFe-Si薄膜、さらにはYIG多結晶膜における応力負荷および無負荷時における強磁性共鳴スペクトルから、それらの薄膜のダンピング定数と飽和磁気ひずみを高精度に評価した。Fe-Si薄膜の場合においても、Ni-Fe薄膜と同様に、磁気ひずみゼロ付近のSi組成を境に、ダンピング定数のSi組成による変化量が大きく異なることを明らかにした。一方、YIG膜に関しては、膜厚の増加にともない、飽和磁気ひずみの低下とともにダンピング定数も低下した。これらの結果は、ダンピング定数と飽和磁気ひずみとの間に関連性があることを示している。

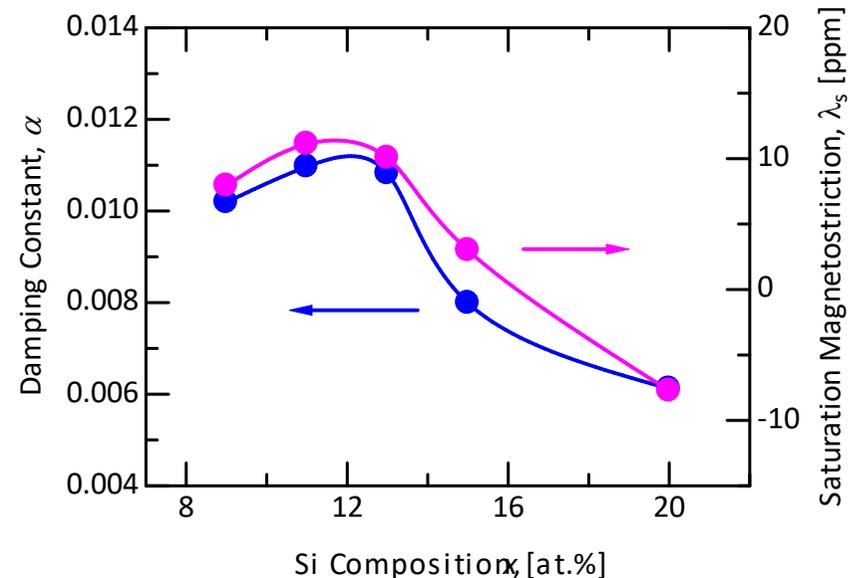


図 Fe-Si (10 nm) 薄膜におけるダンピング定数 α と飽和磁気ひずみ λ_s のSi組成(x)依存性

主要発表論文等: [1] Y. Endo et al., Appl. Phys. Lett., 112, 252403 (2018).
 [2] O. Mori, Y. Endo, Y. Shimada, S. Yabukami, R. Utsumi, Trans. Magn. Soc. Jpn., 2, 52 (2018).
 [3] Y. Endo, Magn. Jpn., 14, 33 (2018).

研究プロジェクト名: 磁性薄膜の磁化ダイナミクスメカニズム

概要: 磁性薄膜における磁化ダイナミクスは、スピントロニクスデバイスの動作を担う主要な基盤要素技術であり、その原理に関する理解はデバイスの設計・開発する上で重要となる。本研究では、磁性薄膜における磁化ダイナミクスの基本パラメータにあたるダンピング定数、磁気共鳴周波数、周波数帯域幅と、他の磁気パラメータを詳細に検討し、それらの関連性の有無を理解した上で、磁化ダイナミクスの原理を明確にする。得られた知見に基づいて、スピントロニクスデバイスを構成する磁性薄膜材料設計指針の確立、デバイスの性能・信頼性の向上につなげる。

研究成果(実施状況): 高周波伝送線路とベクトルネットワークアナライザを組み合わせたBroadband強磁性共鳴法, 高周波伝送線路型プロービング新規磁気計測法等を用いて、Co-Fe-Bアモルファス薄膜と大きな飽和磁気ひずみを有するFe-Ga多結晶薄膜におけるダンピング定数と飽和磁気ひずみを評価した。Co-Fe-B薄膜に関しては、ダンピング定数は5 nm厚以下の薄い膜厚領域を除きほぼ一定でそれらの値は0.005程度と低く、磁気ひずみは膜厚に関係なくバルクと同程度となった。一方、Fe-Ga薄膜に関しては、ダンピング定数と飽和磁気ひずみは軟磁性薄膜の場合に比べて比較的高くなった。いずれも場合も、Fe系二元合金軟磁性薄膜で見られたダンピング定数と飽和磁気ひずみとの関連性が明確には見られなかった。

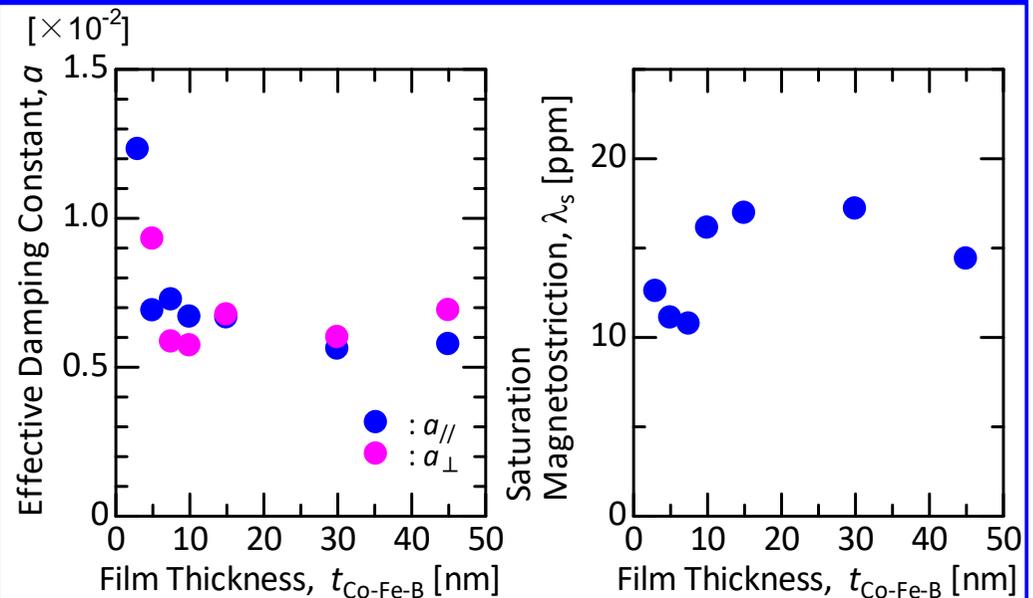


図 Co-Fe-B薄膜における面内・面直有効ダンピング定数および飽和磁気ひずみの膜厚による変化

主要発表論文等: [1] Y. Endo et al., The Papers of Tech. Meeting on "Magnetics", IEEJ, MAG-19-201, 23 (2019)., [2] Y. Endo et al., J. Magn&Magn. Mater., 487, 1 (2019)., [3] Y. Endo et al., Abstract for 64th Annual Conference on MMM (2019).他

研究プロジェクト名: 磁性薄膜の磁化ダイナミクスメカニズム

概要: 省エネ型スピントロニクス素子を構成する磁性薄膜における磁化ダイナミクスは、素子を駆動する上での主要な要素技術の一つであり、そのメカニズムの理解は素子の創製・設計において重要な課題である。本研究では、磁性薄膜における磁化ダイナミクスの基本特性(ダンピング定数、強磁性共鳴周波数および線幅など)と、他の磁気特性(磁気異方性や磁気ひずみなど)を詳細に検討し、それらの関連性の有無を明確し、そのメカニズムを理解する。得られた知見に基づいて、素子を構成する薄膜材料設計指針の確立、素子の性能・信頼性の向上につなげる。

研究成果(実施状況): Fe系二元合金(Fe-M)薄膜における面内および面直ダンピングをBroadband強磁性共鳴法により評価し、比較検討を行った。M=Niの場合、面内ダンピングと面直ダンピングは同程度であり、外部磁界の印加方向によらず材料固有のダンピングの観測が可能である。一方で、M=Si, Co, Gaの場合、面内ダンピングが面直ダンピングに比べて2~5倍高くなった。この原因は、膜面平行に外部磁界を印加する場合2-マグノン散乱もしくは異方性分散などの磁気的な不均一性による不均一モードが発生することによるものと考えられる。以上のように、材料によって外部磁界の印加方向を慎重に選択する必要があることを示唆している。

表1 Fe-M薄膜における面内ダンピングと面直ダンピングの比較

| Materials (Fe-M) | M=Ni | M=Si | M=Co | M=Ga |
|---|--------|--------|--------|--------|
| $4\pi M_s$ [kG] by VSM | 10.4 | 15.1 | 19.9 | 14.6 |
| In-plane damping ($\alpha_{//}$) in case of magnetic field // film plane | 0.0063 | 0.0108 | 0.0332 | 0.0260 |
| Out-of-plane damping (α_{\perp}) in case of magnetic field \perp film plane | 0.0064 | 0.0055 | 0.0072 | 0.0074 |

主要発表論文等: [1] Y. Endo et al., Abstract of INTERMAG2021, FP-11 (2020)., [2] Y. Endo et al., IEEJ Func.&Mater., 141, 118 (2021)他.

研究プロジェクト名: 磁性薄膜の磁化ダイナミクスメカニズム

概要: 次世代省エネ型スピントロニクスデバイスの創製・設計にあたり、デバイスを構成する磁性薄膜の磁化ダイナミクス(ダンピング定数、FMR周波数およびFMR線幅など)を理解することが重要である。本研究PJでは、この磁化ダイナミクスと、他の磁気パラメータ(磁気異方性や磁気ひずみなど)を詳細に検討し、それらの関連性の有無を明確にし、磁性薄膜の磁化ダイナミクスの起源を理解する。得られた知見をもとにして、デバイスを構成する磁性薄膜の設計指針を確立し、デバイスの性能・信頼性の向上へとつなげる。

研究成果(実施状況): 独自の高周波磁気計測技術を用いて、膜厚の異なるYIG多結晶膜の磁化ダイナミクスを評価した。飽和磁気ひずみ(λ_s)は膜厚に依存せず-1.0 ppm以下でバルク値より低くなった。この原因は磁気的不均一によるものと考えられる。面内有効ダンピング定数($\alpha_{//, \text{eff}}$)は膜厚の増加にともない0.00384から0.00316へ低下した。これらの $\alpha_{//, \text{eff}}$ 値はいずれもYIG単結晶膜に比べてかなり高くなった。この値の違いは、磁気的不均一に由来する外的なダンピングが面内で増大していることによるものと考えられる。これらの結果から、YIG多結晶膜の場合には、面内方向の磁気的不均一性が主に $\alpha_{//, \text{eff}}$ と λ_s の挙動に影響を与えていることを示唆している。

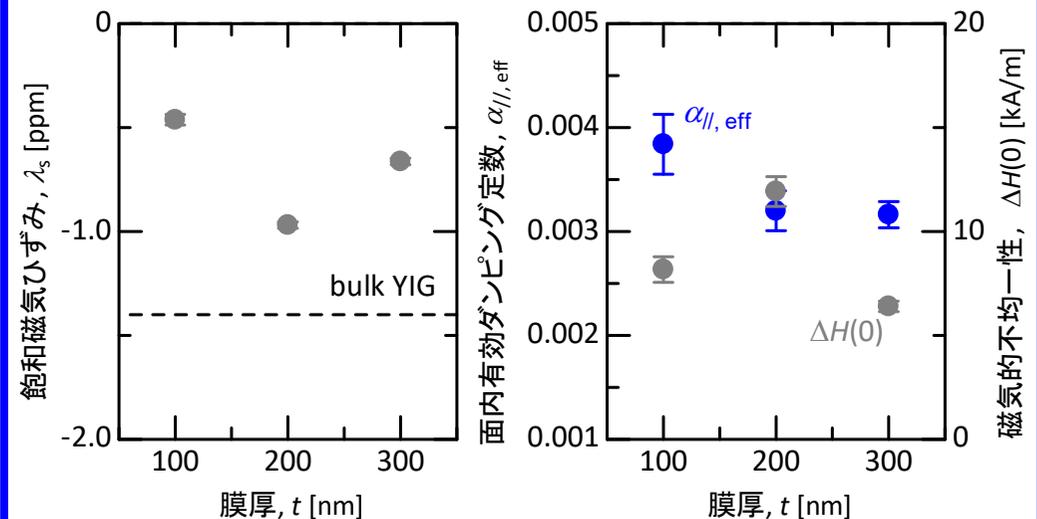


図 YIG多結晶膜における飽和磁気ひずみ(λ_s), 面内有効ダンピング定数($\alpha_{//, \text{eff}}$)および磁気的不均一性(静磁気的なFMR線幅の広がり, $\Delta H(0)$)の膜厚依存性

主要発表論文等: [1] T.V.A. Nguyen, Y. Endo, AIP Advances, 12, 035234 (5 pages), (2022)., [2] Y. Endo, T.V.A. Nguyen, T. Miyazaki, Abstract of 5th CRCs-4th GP-MS Symposium, 2PS-133 (2021). [3] Y. Endo, T.V.A. Nguyen, T. Miyazaki, INTERMAG21 Digest Book, 909 (2021). [4] Y. Endo, H. Tanaka, S. Hashi and T. Miyazaki, INTERMAG21 Digest Book, 1428 (2021). 他