

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 8 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25630146

研究課題名(和文) スピン波を利用したナノ磁性粒子の補足検知デバイス

研究課題名(英文) Spin-wave Devices for Collecting and Detecting Magnetic Nano-particles

研究代表者

岩田 聡 (Iwata, Satoshi)

名古屋大学・エコトピア科学研究所・教授

研究者番号：60151742

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：生体分子などを磁性微粒子を利用して検出するスピン波デバイスを開発するために、スピン波の伝搬に適した垂直磁化膜の開発を行うとともに、そのスピンドイナミクス計測を行った。Co/Ni多層膜は、積層周期1nmにおいて大きな垂直磁気異方性を示すこと、TaよりPt下地層を用いた方が異方性が大きくなることが示された。スピンドイナミクスの観察においては、ポンプ光によって励起された歳差運動が、300 ps以上持続することが確認され、フィッティングにより求めたダンピング定数も、0.020という小さな値を示した。Co/Ni多層膜がスピン波デバイスに適した材料であることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：In order to develop spin-wave devices for detection of biological molecules using magnetic nano-particles, perpendicular magnetized films have been prepared and their spin dynamics were measured. Perpendicular magnetized Co/Ni multilayers with period of 1 nm exhibit large perpendicular anisotropy, where the multilayers with Pt underlayer show larger anisotropy compared to the films with Ta underlayer. In spin dynamics observation using pump-probe method, precession of magnetization caused by a pump light sustained during over 300 ps. Damping parameter obtained fitting method of Co/Ni multilayers were approximately 0.020. This value is less than half value of 0.046 for GdFeCo amorphous films. These results implies that Co/Ni multilayers were appropriate material for spin-wave devices.

研究分野：ナノマグネティクス

キーワード：スピン波 磁性微粒子 バイオセンサ 磁性多層膜 スピンドイナミクス ダンピング定数

1. 研究開始当初の背景

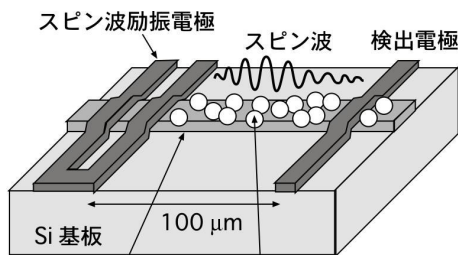
DNAなどの生体分子を磁性微粒子を利用して検出するセンサについては、すでにさまざまな研究が行われており、補足した磁性微粒子を巨大磁気抵抗効果を利用して検出する手法などが提案されている。また、生体分子を特定の分子に化学修飾したときの静電容量の変化を検出するデバイスの試作も行われている。しかし、これまでの手法では、十分な検出感度、S/N比を得ることが容易ではないことが分かってきている。本研究では、図1に示すような磁性薄膜上に生じる大きな磁界勾配によって磁性微粒子を補足するとともに、微粒子を検出するためのスピン波デバイスの開発を目指した。

2. 研究の目的

磁性薄膜の表面に磁性微粒子を吸着させるためには、膜表面に磁極が発生する垂直磁化膜である必要がある。また、スピン波デバイスとして、十分長い距離をスピン波が伝搬可能な磁性材料を開発する必要がある。光磁気記録や垂直磁気記録では、膜面垂直が磁化容易軸となる垂直磁化膜の利用が必須であるため、さまざまな磁性薄膜が開発されているが、スピン波用の材料としては、スピンダイナミクスにおいて、ダンピング定数が小さく、スピン波として伝搬したときの減衰が小さくなる材料が望ましい。本研究では、小さなダンピング定数をもつとともに、垂直磁化膜となる薄膜材料を探索し、そのスピンダイナミクスを計測してスピンデバイスへ利用できる材料を開発する。

3. 研究の方法

これまでに知られている垂直磁化膜のうち、ダンピング定数を大きくするTbやPt, Pdを含まない材料として、Co/Ni多層膜とGdFeCo膜を選び、磁性膜のスパッタ成膜を行うとともに、



Co/Ni多層膜の細線 磁性微粒子の吸着
図1. スピン波デバイスの概略図

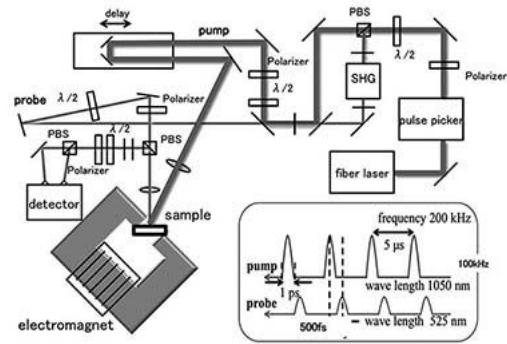


図2. ポンププローブ法によるスピンダイナミクス測定系の概略図

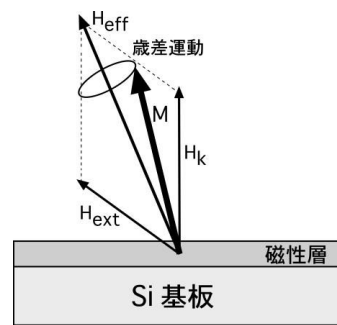


図3. 磁化スピンの歳差運動と実効磁界

その磁化曲線などの特性を評価する。また、図2に示すポンププローブ法によるスピンダイナミクス計測を行う。この測定では、図3に示すように膜面垂直方向からある角度方向に外部磁界 H_{ext} を加えた状態で、パルス幅 500 fs 前後のポンプ光を照射すると、磁性材料の電子系がレーザーのエネルギーを受けて、膜に働く実効磁界 H_{eff} のまわりを回転する磁化ベクトルの歳差運動が引き起こされる。この歳差運動をポンプ光からピコ秒オーダーで遅れて照射されるプローブ光で、磁気光学効果を利用して検出する。

4. 研究成果

図4は、 $\{Co(0.29 \text{ nm})/Ni(0.71 \text{ nm})\}_{10}/Ta(30 \text{ nm})$ と $\{Co(0.29 \text{ nm})/Ni(0.71 \text{ nm})\}_{10}/Pt(30 \text{ nm})$ 多層膜の磁化曲線を示している。Ta下地の多層膜に比べて、Pt下地の方が垂直異方性が大きく、面直方向の保磁力も大きいことが分かる。Pt下地層の方が異方性が大きくなるのは、Ptスパッタ膜の方が(111)配向性が高く、Co/Ni層の(111)配向もよくなるためと考えられる。しかし、Co/Ni多層膜の積層周期を図5に示すように $\{Co(0.48 \text{ nm})/Ni(1.19 \text{ nm})\}_6/Ta(30 \text{ nm})$ と長くす

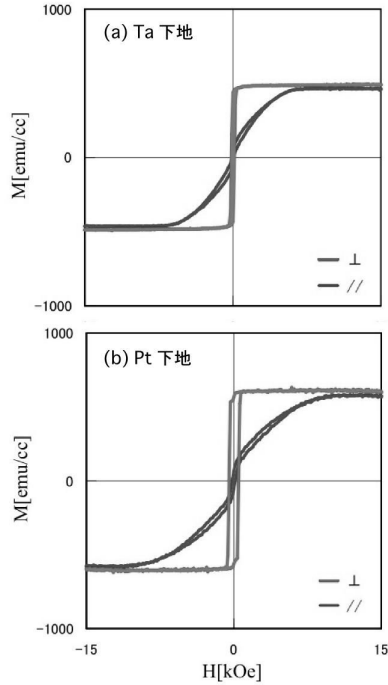


図 4. Co/Ni 多層膜の磁化曲線 . (a) Ta 下地, (b) Pt 下地

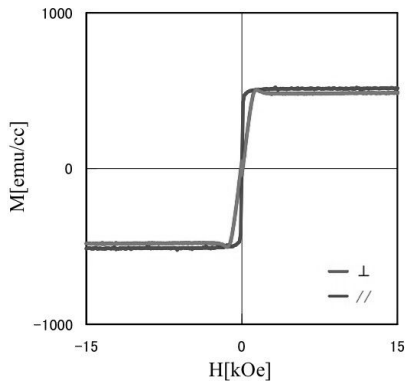


図 5. 積層周期 1.67nm の Co/Ni 多層膜の磁化曲線 (Ta 下地)

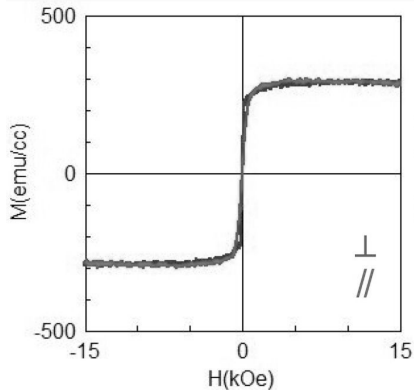


図 6. GdFeCo 膜の磁化曲線

ると、垂直異方性は、小さくなり、面内磁化膜と

なってしまう。一方、比較のため作製した GdFeCo 膜の磁化曲線は、図6に示すように、面内と垂直方向の曲線が接近して、辛うじて垂直磁化状態となっており、また、飽和磁化の値も Co/Ni 多層膜に比べて小さく、磁性微粒子を吸着する表面磁極も小さくなるのが分かる。

図 7 は、Ta 及び Pt 下地の $\{\text{Co}(0.29 \text{ nm})/\text{Ni}(0.71 \text{ nm})\}_{10}$ 膜のポンププローブによるスピンドYNAMICS 計測の結果を示している。両者とも、300 ps 以上に渡って、磁化の歳差運動が観察されており、減衰の小さい材料である

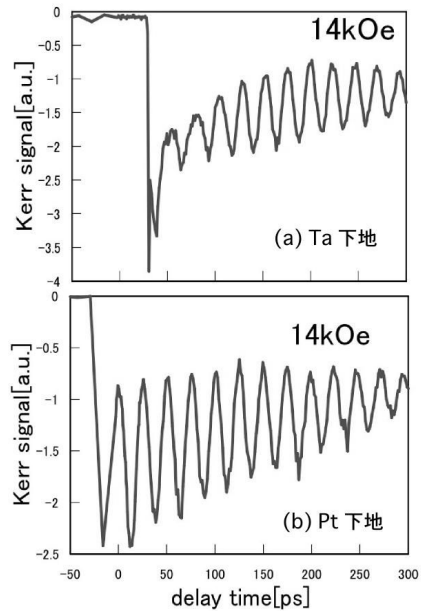


図 7. Co/Ni 多層膜のスピンドYNAMICS 測定結果 . (a) Ta 下地, (b) Pt 下地

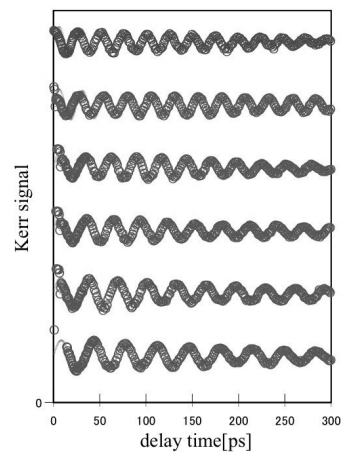


図 8. 振動周波数と減衰定数を求めるためのフィッティング

ことを示している。印加磁界 H_{ext} をパラメータとして、振動周波数と減衰定数を求めるためにパラメータフィッティングを行った結果を図8に、この結果から、ジャイロ磁気係数 g とダンピング定数をフィッティングしたものが、図9である。 g 係数は、Ta下地が、2.3、Pt下地が2.0とほぼ同程度、ダンピング定数は、Ta下地が、0.021、Pt下地が0.020と両者とも、かなり小さな値となった。比較のため計測したGdFeCo膜の場合は、図10に示すように、やや減衰が目立つ結果となり、フィッティングによって求めた g 係数と、ダンピング定数は、それぞれ、2.28、0.046となり、Co/Ni膜より、ダンピング定数が大きくなった。GdFeCoは、従来からダンピング定数の低い材料として知られてきたが、今回、3d

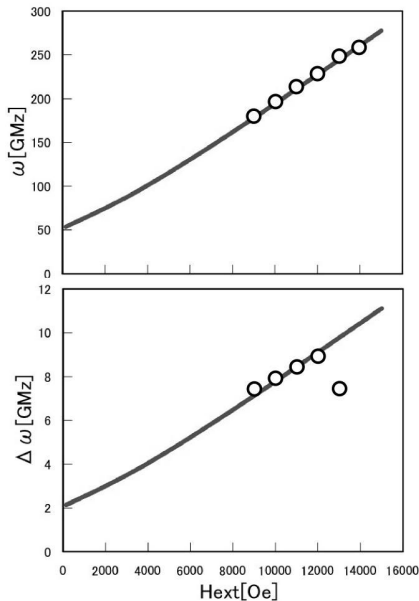


図9. ジャイロ磁気定数とダンピング定数のフィッティング

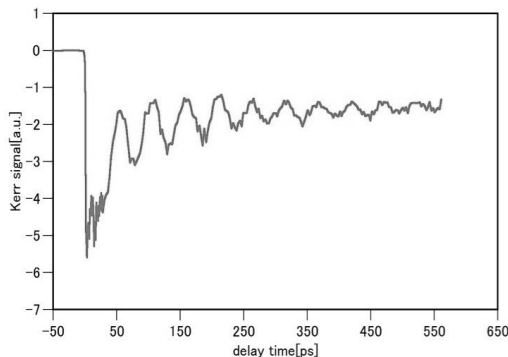


図10 GdFeCo 膜のスピンドYNAMICS測定結果

遷移金属のみを含むCo/Niの磁化ダイナミクスを調べることで、そのダンピング定数が、GdFeCoの約1/2と非常に小さく、スピン波の長距離の伝搬のために適した材料であることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計3件)

- (1) Y. Tokuoka, Y. Seto, T. Kato, S. Iwata: Effect of Ag addition to L10 FePt and L10 FePd films grown by molecular beam epitaxy, J. Appl. Phys., vol. 115, pp. 17B716-1-3 (2014). 査読有
DOI: 10.1063/1.4864251
- (2) D. Oshima, M. Tanimoto, T. Kato, Y. Fujiwara, T. Nakamura, Y. Kotani, S. Tsunashima, S. Iwata: Modifications of Structure and Magnetic Properties of L10 MnAl and MnGa Films by Kr+ Ion Irradiation, IEEE Trans. Magn., vol. 50, no. 12, 3203407-1-7 (2014). 査読有
DOI: 10.1109/TMAG.2014.2332975
- (3) D. Oshima, T. Kato, S. Iwata, S. Tsunashima: Control of magnetic properties of MnGa films by Kr+ ion irradiation for application to bit patterned media, IEEE Trans. Magn., vol. 49, no. 7, pp. 3608-3611 (2013). 査読有
DOI: 10.1109/TMAG.2013.2249501

[学会発表](計18件)

- (1) T. Kato, D. Oshima, M. Tanimoto, S. Iwata, S. Tsunashima: Ion beam irradiation for the fabrication of planer bit patterned media, Collaborative Conference on Materials Research, Jeju island, South Korea, (2013年6月24日). 招待講演
- (2) T. Kato, D. Oshima, M. Tanimoto, Y. Fujiwara, T. Nakamura, S. Iwata: Effect of Kr+ Ion Irradiation on Orbital Moment of CrPt3 Alloy Film, International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications 2013, Taichung, Taiwan, EA-03 (2013年7月24日). 招待講演
- (3) D. Oshima, T. Kato, S. Iwata, S. Tsunashima: Switching field distribution measurement of ion beam patterned MnGa

- film, International Symposium on Advanced Magnetic Materials and Applications 2013, Taichung, Taiwan, EA-08 (2013年7月24日)
- (4) K. Adachi, T. Kato, S. Okamoto, N. Kikuchi, O. Kitakami, S. Iwata: Perpendicular anisotropy and Gilbert damping constant of Co/Pt multilayers, Magnetics and Optics Research International Symposium 2013, Saitama, Japan, Tu-P-20, pp. 62-63 (2013年12月3日).
- (5) 徳岡良浩, 瀬戸陽介, 池田遼太, 加藤剛志, 岩田聡: MBE成長したAg添加FePt, FePd膜の構造と磁気特性, 第37回日本磁気学会学術講演会, 北海道大学工学部, 北海道, 5aA-7 (2013年9月5日).
- (6) 金城卓史, 津田啓志, 加藤剛志, 岩田聡: [Co/Pd]/ZnO/[Co/Pd]接合の磁気抵抗特性, 平成25年度電気関係学会東海支部連合大会, 静岡大, 静岡, B3-4 (2013年9月25日).
- (7) T. Kato, K. Adachi, Y. Kusanagi, S. Okamoto, N. Kikuchi, S. Iwata, O. Kitakami, S. Tsunashima: Variation of Gilbert damping with the layered structure of sputtered Co/Pt and Co/Pd multilayers, IEEE International Magnetics Conference 2014, Dresden, Germany, EE-09 (2014年5月7日).
- (8) D. Oshima, M. Tanimoto, T. Kato, Y. Fujiwara, T. Nakamura, Y. Kotani, S. Tsunashima, S. Iwata: Magnetic circular dichroism measurement of ion irradiated MnGa films, IEEE International Magnetics Conference 2014, Dresden, Germany, CB-04 (2014年5月6日).
- (9) S. Iwata, T. Kato, G. A. Wang: High sensitivity GMR Magnetic Sensors, Moscow International Symposium on Magnetism 2014, Moscow, Russia, 2RP-A-10 (2014年7月1日).招待講演
- (10) T. Kato, K. Adachi, Y. Kusanagi, S. Okamoto, N. Kikuchi, O. Kitakami, S. Iwata: Gilbert damping in magnetic multilayers with perpendicular anisotropy, 第38回日本磁気学会学術講演会, 慶應義塾大学, 神奈川, 3pB-1, p. 142 (2014年9月3日).招待講演
- (11) 永田太洋, 徳岡良浩, 瀬戸陽介, 加藤剛志, 岩田聡: MBE成長したAg添加CoPt, CoPd膜の構造と磁気特性, 第38回日本磁気学会学術講演会, 慶應義塾大学, 神奈川, 4pE-9, p. 299 (2014年9月4日).
- (12) 根来翼, 谷本昌大, 大島大輝, 加藤剛志, 岩田聡: ビットパターン媒体に用いるMnGa(001)配向膜の作製, 第38回日本磁気学会学術講演会, 慶應義塾大学, 神奈川, 3pA-2, p. 135 (2014年9月3日).
- (13) 東出智寛, 代兵, 加藤剛志, 岩田聡, 網島滋: GdFeCo/TbFe二層膜の垂直磁気異方性とダンピング定数のTbFe層厚依存性, 第38回日本磁気学会学術講演会, 慶應義塾大学, 神奈川, 4pE-7, p. 297 (2014年9月4日).
- (14) 草薙勇作, 岡本聡, 菊池伸明, 北上修, 加藤剛志, 岩田聡: CoPt/Ru垂直磁化膜のVNA-FMR, 第38回日本磁気学会学術講演会, 慶應義塾大学, 神奈川, 4pE-8, p. 298 (2014年9月4日).
- (15) 高橋洋太郎, 加藤剛志, 岩田聡: 磁歪式振動発電素子のためのFeGa薄膜の作製, 平成26年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 中京大, 愛知, (2014年9月8日).
- (16) 浅野佳太, 代兵, 加藤剛志, 岩田聡, 網島滋: GdFeCo / TbFe二層膜を用いた熱アシストスピン注入磁化反転, 平成26年度電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会, 中京大, 愛知, (2014年9月8日).
- (17) 永田太洋, 徳岡良浩, 大島大輝, 加藤剛志, 岩田聡: Ag添加した(001)配向CoPt, CoPd膜の構造と磁気特性, 電子情報通信学会 電子部品・材料研究会, 機会振興会館, 東京, CPM2014-95, pp. 17-20 (2014年10月8日).
- (18) 足立寛太, 加藤剛志, 大島大輝, 岡本聡, 菊池伸明, 北上修, 岩田聡: 貴金属/Co多層膜の垂直磁気異方性とダンピング定数, IEEE Magnetics Society 名古屋支部若手研究会, 名古屋大, (2015年2月3日).
- 【図書】(計0件)
- 【産業財産権】
- ・出願状況(計0件)
 - ・取得状況(計0件)

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.nuee.nagoya-u.ac.jp/labs/iwatalab/>

6．研究組織

(1) 研究代表者

岩田 聡 (IWATA SATOSHI)
名古屋大学・エコトピア科学研究所・教授
研究者番号：60151742

(2) 研究分担者

加藤 剛志 (KATO TAKESHI)
名古屋大学・工学研究科・准教授
研究者番号：50303665

(3) 連携研究者

なし