

磁化容易軸の異なる層からなる GdFeCo/NiFe 交換結合積層膜の磁化状態
Magnetization state by Magnetic properties in exchange coupled GdFeCo / NiFe bilayer
consists of different magnetic easy axes

○秋山竜¹, 塚本新²

*Ryo Akiyama¹, Arata Tsukamoto²

Abstract: It is important to understand magnetization dynamics in the magnetic metal bilayer in spintronics field. Therefore, we focused on the bilayer of the GdFeCo magnetic thin film capable of inducing a precessional motion in the order of several hundred ps in the time resolved magneto optical measurement by the pump probe method [1] and NiFe magnetic thin film which has soft magnetism an easily control the magnetization. We report magnetic property near the interface of GdFeCo/NiFe bilayer.

1. はじめに

電子の電荷のみならずスピンを制御することで工学的なデバイス応用を狙うスピントロニクス分野において、金属磁性体内部で誘起されたスピン波や磁化歳差運動の理解及び制御が重要となる。しかし、単層の金属磁性薄膜の検討はされているものの金属磁性体積層膜の磁化動特性の検討は少ない。そこで、複合磁性層内でのスピン波伝搬特性の解明を目的とし、相対スピン角の大きな磁気構造に注目し、膜面垂直磁化膜と膜面内磁化膜で構成された積層膜での磁化動特性の検討を目指している。本研究では、対象材料として、ポンププローブ法を用いた時分解磁気光学計測によって数 100 ps オーダーの歳差運動を誘起・計測できる膜面垂直磁化特性を有する GdFeCo 磁性薄膜^[1]と、磁化を容易に制御可能なソフト磁性である膜面内磁化膜である NiFe 磁性薄膜から成る積層膜とした。本報告では GdFeCo/NiFe 積層膜における超伝導量子干渉素子式試料振動型磁力計(SQUID-VSM)によって測定した外部磁界に対する磁化応答特性により、磁化容易軸の異なる二層から成る交換結合二層構造における磁化状態の検討を行う。

2. 測定試料

GdFeCo 磁性薄膜は希土類金属由来の磁気モーメント M_{RE} と遷移金属由来の磁気モーメント M_{TM} が反平行に結合しているフェリ磁性体であり、組成比変化や磁性層膜厚変化によって、磁気的特性が顕著に変化する^[2, 3]。本検討では、界面近傍の磁化状態をより顕著に測定するために、遷移金属である Ni, Fe と同系統な金属である Fe, Co 由来の磁化 M_{TM} が優勢 ($M_{TM} > M_{RE}$)となる Gd 組成 $x = 22$ at. % を選択した。また、測定試料は Fig. 1 に示すように、マグネトロンスパッタリング法を用いて GdFeCo/NiFe 積層膜, GdFeCo 単層膜, NiFe 単層膜を作製した。

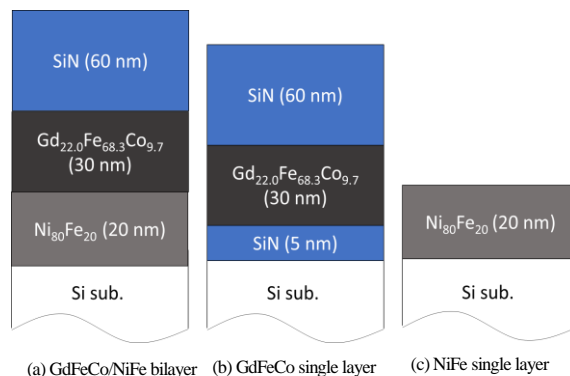


Fig. 1 Schematic diagram of film structure

3. GdFeCo/NiFe 積層膜の外部磁界に対する磁化応答特性

本測定では外部磁界 H を膜面垂直方向に印加し、磁化応答特性の測定を行った。このときの磁化の挙動を考えると、GdFeCo/NiFe 積層膜の磁化状態の検討を行う。GdFeCo/NiFe 積層膜及び NiFe 単層膜の測定結果を Fig. 2 に、GdFeCo 単層膜の結果を Fig. 3 に示す。また、GdFeCo/NiFe 積層膜における $H = 0$ Oe 近傍の磁気特性を Fig. 4 に示す。以降、磁性層膜厚成分を取り除くために単位面積当たりの磁気モーメントを用い、 $M \times t$ (磁化 \times 磁性層膜厚)と表記する。

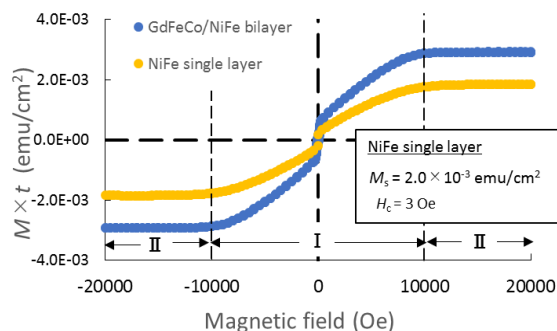


Fig. 2 Magnetization response for applied magnetic field of GdFeCo / NiFe bilayer and NiFe single layer

1 : 日大理工・院(前)・電子 2 : 日本理工・教員・電子

3.1 GdFeCo 単層膜及び NiFe 単層膜の外部磁界に対する磁化応答特性

Fig. 3 の GdFeCo 単層膜の外部磁界に対する磁化応答特性において、GdFeCo は飽和時の $M \times t (=M_{st})$ が $M_{st} = 5.0 \times 10^{-4} \text{ emu/cm}^2$ 、保磁力 H_c が $H_c = 40 \text{ Oe}$ である膜面垂直磁化が優勢な磁性薄膜といえる。一方、Fig. 2 の NiFe 単層膜における外部磁界に対する磁化応答特性において、 $M_{st} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ emu/cm}^2$ 、 $H_c = 3 \text{ Oe}$ であり、領域 I において緩慢に単調変化し、回転磁化特性を示していることから NiFe は膜面内磁化が優勢である磁性薄膜といえる。

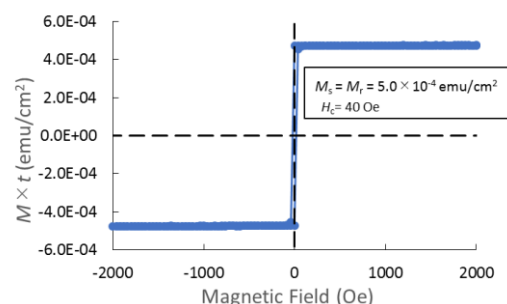


Fig. 3 Magnetization response for applied magnetic field of GdFeCo single layer

3.2 GdFeCo/NiFe 積層膜における高磁界領域の磁化状態

Fig. 2 の領域 II において、GdFeCo/NiFe 積層膜は $M_{st} = 2.9 \times 10^{-3} \text{ emu/cm}^2$ であり、NiFe 単層膜及び GdFeCo 単層膜はそれぞれ $M_{st} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ emu/cm}^2$ 、 $M_{st} = 0.5 \times 10^{-3} \text{ emu/cm}^2$ となった。したがって、単層膜の M_{st} の和は $2.5 \times 10^{-3} \text{ emu/cm}^2$ となるので、領域 II では GdFeCo と NiFe の磁化が膜面垂直方向に分布していると考えられる。

Fig. 2 の領域 I において、GdFeCo/NiFe 積層膜は 0 Oe 近傍から 10 kOe の間では緩慢に単調に変化している。この磁化の振る舞いは NiFe 単層膜の場合と類似していることから積層膜内の NiFe の磁化によるものが主であると考えられる。

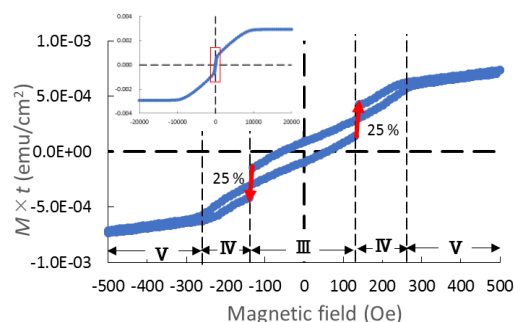


Fig. 4 Magnetization response of near the zero-magnetic field of GdFeCo / NiFe bilayer

3.3 GdFeCo/NiFe 積層膜における $H = 0 \text{ Oe}$ 近傍の磁化状態

Fig. 3 の領域 III から IV にかけて、25 % 程度の $M \times t$ の変化が生じた。この変化は膜面垂直磁化膜における膜面垂直方向に外部磁界を印加した場合の磁化応答特性に得られる保磁力であると考えられる。したがって、この磁化変化は GdFeCo の磁化が主に寄与していることが考えられる。また、Fig. 3 より、GdFeCo 単層膜の保磁力と比べると、GdFeCo/NiFe 積層膜の保磁力は大きく増大し、FeCo の磁化と NiFe の磁化間に交換相互作用が働いていることを示していると考えられる。

4. まとめ

磁化容易軸の異なる二層から成る GdFeCo/NiFe 交換結合積層膜の磁化動特性を測定するために、SQUID-VSM を用いて外部磁界に対する磁化応答特性を測定し、積層膜の磁化状態の検討を行った。GdFeCo 単層膜及び NiFe 単層膜においてはそれぞれ、膜面垂直磁化膜及び膜面内磁化膜であることが確認できた。そこで、GdFeCo/NiFe 積層膜では、高磁界領域においては NiFe の磁化変化が主であると考えられる。一方、 $H = 0 \text{ Oe}$ 近傍領域においては $H = \pm 130 \text{ Oe}$ のときに 25 % 程度の変化が生じた。この変化は膜面垂直磁化膜の膜面垂直方向に磁界を印加した場合の磁化応答特性に得られる保磁力であると考えられる。よって、この変化は GdFeCo の磁化が主に寄与していると考えられる。さらに、GdFeCo 単層膜の保磁力と比べると、GdFeCo/NiFe 積層膜の保磁力の方が大きく増大していることから FeCo の磁化と NiFe の磁化が交換結合しているものと考えられ、界面近傍は磁氣的に結合している可能性があると言える。これにより、積層膜内でスピン波を励起させ、伝搬させられる可能性が得られたといえる。

謝辞

本研究の一部は平成 25 年 ~ 29 年度文部科学省私立大学戦略的基盤形成支援事業(S1311020)、平成 26 年~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)」ナノスピン変換科学の助成を受けて行った。

参考文献

- [1] A. Tsukamoto, T. Sato, S. Toriumi, and A. Itoh, J Appl. Phys. **109**, 07D302 (2011)
- [2] 吉川大貴: 平成 26 年度 日本大学大学院理工学研究科修士論文
- [3] 植田涼平: 平成 28 年度 日本大学大学院理工学研究科修士論文