

平成30年6月5日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18091

研究課題名（和文）電圧印加によるマグノニック結晶のON/OFF制御

研究課題名（英文）Control of magnonic crystal by voltage

研究代表者

大島 大輝（OSHIMA, Daiki）

名古屋大学・未来材料・システム研究所・助教

研究者番号：60736528

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：ナノサイズで周期的に並べた電極パターンを用いることによりスピン波を制御することを目的とし、そのための材料開発を行った。作製したサンプルにおいて電圧印加を試みたものの、電圧効果が顕著に見られなかったため、電圧効果が得やすいようにサンプルの薄膜化を行ったところ、比較的良好な磁気特性を有したまま薄膜化することができた。また、新たな構造として、強磁性絶縁体/強磁性金属/非磁性金属の多層膜構造を提案し、その試作を行ったところ、磁化が垂直方向を向きやすい垂直磁気異方性を有していることがわかった。今後、微細加工プロセスの最適化を行い、電圧印加の実験を行っていく予定である。

研究成果の概要（英文）：Development of materials was carried out in order to control spin wave by using periodic nano-sized electrodes. First, voltage was applied to the fabricated samples, however, the voltage effect was not obtained. Thinning the sample was tried because it was effective to obtain a voltage effect. As a result, thinning the sample without degrading the property of the sample was successful. In addition, a multilayered structure of ferromagnetic insulator / ferromagnetic metal / nonmagnetic metal was suggested as a new system for voltage application, and the prototype of the structure was fabricated. It was found that the fabricated structure had a perpendicular magnetic anisotropy. In the future, micro-fabrication process will be optimized and the experiment for voltage application will be carried out.

研究分野：スピントロニクス

キーワード：電圧印加 周期構造 磁性薄膜

### 1. 研究開始当初の背景

スピン波は電子スピンの揺らぎが波として伝搬するものであり、電荷の輸送を供なわいたため低消費電力デバイスへの利用が期待されているとともに、波の性質を利用したロジック素子の提案もされている<sup>1)</sup>。その実現のためにはスピン波の伝搬を制御する必要があり、多くの研究が行われている。

### 2. 研究の目的

スピン波の伝搬特性を変化させるものの一つとして、磁性材料に対し何らかの周期構造を与えたマグノン結晶があるが<sup>2)</sup>、単純にマグノン結晶を作るだけではスピン波を能動的に制御することは難しい。本研究では、磁性材料の薄い絶縁層を介して上にナノ周期電極パターンを形成し、電圧を印加することにより擬似的なマグノン結晶を作製することでスピン波の制御をすることを提案し、また、そのための材料開発を行った。

### 3. 研究の方法

スピン波を伝搬させるものとして、NiFe および MnGa 膜をマグネトロンスパッタ法により真空中で作製した。また、同じくマグネトロンスパッタ法により Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> を用いた多層膜の作製も行った。基板には熱酸化膜付 Si 基板および MgO 単結晶基板を用いた。必要により成膜中および成膜後にサンプルの熱処理を行った。作製したサンプルの電圧効果を確認するために、サンプルをフォトリソグラフィおよび Ar イオンエッチングにより図 1 に示すように十字状に加工し、サンプルに電流を流したときに生じる異常ホール電圧の測定を行った。磁界は膜面垂直方向に加えた。また、十字部の上に絶縁層および電圧印加用の電極を形成し、異常ホール効果測定の際に電圧を印加することにより、電圧効果について調べた。

### 4. 研究成果

図 2 に作製した NiFe 膜の異常ホール効果測定の結果を示す。NiFe 膜は面内磁化膜であるため、膜面垂直方向に磁界を加えた場合には磁化曲線はほぼ直線となり、磁化を飽和させるには大きな磁界が必要になる。異常ホールループは膜面垂直方向の磁化曲線に相当

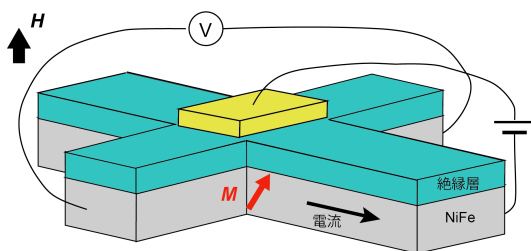


図 1 異常ホール効果の測定

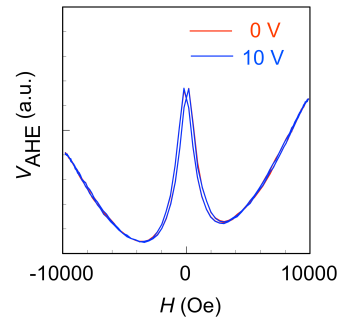


図 2 NiFe 膜の異常ホールループ

するため、異常ホールループもほぼ直線になるものと考えられるが、実際には 0 磁場付近にピークが存在している。これは、異常ホール効果と共に異方性磁気抵抗効果が観測されているためと考えられる。本来この測定では異方性磁気抵抗の影響は非常に小さいはずであるが、異常ホール効果がさらに小さく、信号の大きさが同程度となってしまっている。図中にはゲート電極に電圧を +10 V 印加した場合としていない場合の曲線が示されているが、印加ありとなしを比較しても曲線にほぼ違いはなかった。電圧印加による変化を大きくするためには、電圧を高くすればよい。しかしながら、今回作製した膜においては +15 V 印加した際に素子が壊れてしまうという問題が生じた。そのため、電圧印加のためには良質な絶縁層を有するデバイスの作製をする必要がある。

電圧印加の効果を確認するためには、磁性膜の薄膜化も有効である。ここでは MnGa 膜の薄膜化を試みた結果を示す。従来、MnGa 膜は膜厚 15 nm で作製してきたが、今回、5 nm に薄膜化した。図 3(a)に 15 nm の MnGa 膜、(b)に 5 nm の MnGa 膜の磁化曲線を示す。15

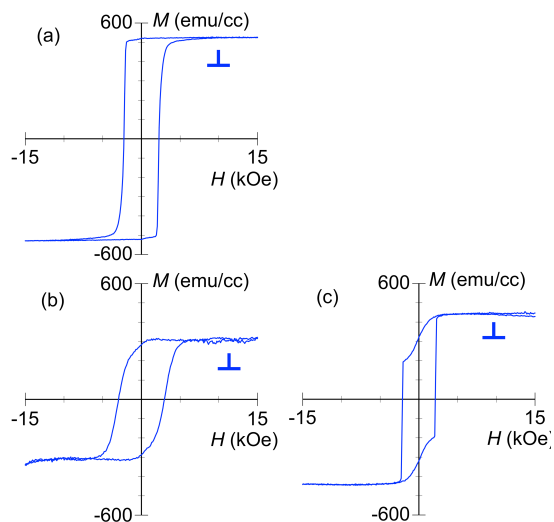


図 3 (a) 15 nm (CoGa バッファなし), (b) 5 nm (CoGa バッファなし), (c) 5 nm (CoGa バッファあり) の MnGa 膜の膜面垂直方向の磁化曲線

nm の MnGa 膜の磁化曲線は大きな垂直磁気異方性を示し、良質な膜が作製できている。一方、5 nm の MnGa 膜においては、垂直磁気異方性を示すものの 15 nm の膜に比べ飽和磁化も小さい、ループ形状が悪い、など磁気特性が劣化している様子が見られた。この劣化を改善するため、他研究で報告がある CoGa バッファ膜を用いた MnGa 超薄膜<sup>3)</sup>の作製を試みた。図 3(c)にその結果を示す。0 磁場付近のなだらかなループは CoGa バッファ膜自体の磁性の成分を示している。つまり、MnGa 膜自体は四角いヒステリシスループを示していると考えられる。なお、このなだらかなループは CoGa 中の Ga の組成を多くすることで低減できると考えられる。図 3 (c)を見ると、CoGa バッファ膜なしのものに比べ、ループの立ち上がりが急峻であり、膜中の均一性が上がっている様子が見られる。このように、バッファなしのものに比べ、良質な MnGa 膜が作製できた。しかし、飽和磁化は 15 nm のものに比べてまだ小さく、より一層の改善が求められる。

電圧の効果を大きくするためには、磁性膜は薄くしたほうが良いが、スピン波の伝搬を考慮するとあまり薄くはできない。この問題に対するアプローチとして、強磁性絶縁体/強磁性金属/非磁性金属の多層膜の材料開発を試みた。強磁性絶縁体の候補としてはフェライトを考えた。始めに、絶縁体ではなく導電性の Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>を用い、結晶成長の様子や磁気特性について調べた。図 4 に作製したサンプルの磁化曲線を示す。作製したサンプルは垂直方向に磁化しやすい垂直磁化膜となった。この起源はまだ定かではないが、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Cr の多層膜においても垂直磁気異方性を示すことからフェライト/非磁性金属の界面が重要な役割を果たしていると考えている。なお、多層膜は結晶構造解析により、エピタキシャル成長しているものと考えられる。強磁性酸化物/非磁性金属の系においてこれほど特性のよい垂直磁化膜が得られたという報告は他になく、非常に興味深い結果が得られた。今後は、導電性の Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>に代わり NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> や ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>を用いたサンプルの作製をしていく必要がある。

本研究において、電圧印加のための材料の

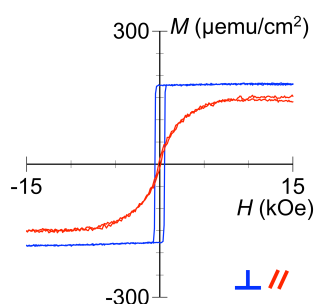


図 4 フェライト/強磁性金属/非磁性金属の磁化曲線

開発を進めることができたが、電圧印加はうまく行えていない。今後、微細加工プロセスの最適化を行い、サンプルに十分な電圧を印加できるような構造を作製し、実験を進めて行く予定である。

#### <引用文献>

- 1) A. Khitun et. al., IEEE Trans. Magn., vol. 44, p. 2141 (2008).
- 2) C. G. Sykes et. al., Appl. Phys. Lett., vol. 29, p. 388 (1976).
- 3) K. Z. Suzuki et. al., J. J. Appl. Phys., vol.55, 010305 (2016).

#### 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 1 件)

- ① D. Oshima, T. Kato, S. Iwata, “Switching Field Distribution of MnGa Bit Patterned Film Fabricated by Ion Beam Irradiation,” IEEE Trans. Magn., vol. 54, no. 2, pp. 3200207-1-7 (2018), 査読有

[学会発表] (計 8 件)

- ① Y. Horie, D. Oshima, T. Kato, S. Iwata, “Ion beam patterning of ultrathin L1<sub>0</sub>-MnGa (001) film grown on CoGa buffer layer,” IEEE International Magnetism Conference 2018, Singapore, BQ-12 (2018).
- ② 堀江祐貴, 大島大輝, 加藤剛志, 岩田聡, 極薄L1<sub>0</sub>-MnGa(001)膜へのイオン照射による磁気パターンニング, 電気学会マグネティックス研究会, 名古屋大学, 愛知, MAG-18-7 (2018).
- ③ 堀江祐貴, 大島大輝, 加藤剛志, 岩田聡, CoGaバッファ層を用いたMnGa膜へのイオン照射, IEEE Magnetism Society 名古屋支部若手研究会, 豊橋技術科学大, 愛知, (2018).
- ④ T. Ishikawa, K. Fukuta, D. Oshima, T. Kato, T. Nakamura, Y. Kotani, K. Toyoki, S. Iwata, “Scanning X-ray magnetic circular dichroism observation of magnetic state of ion-irradiation bit patterned L1<sub>0</sub>-MnGa films,” International Conference on Materials and Systems for Sustainability, Nagoya, Japan, P-1-15 (2017).
- ⑤ 大島大輝, 加藤剛志, 岩田聡, イオン照射により作製したMnGaビットパターン膜のFORC解析, 第41回日本磁気学会学術講演会, 九州大学, 福岡, 22aC-9 (2017).
- ⑥ 石川徹, 福田憲吾, 大島大輝, 加藤剛志, 中村哲也, 小谷佳範, 豊木研太郎, 岩田

聡, 走査型XMCD顕微鏡によるイオン照射型L1<sub>0</sub>-MnGaビットパターン膜の局所的磁気状態の評価, 第41回日本磁気学会学術講演会, 九州大学, 福岡, 22aC-10 (2017).

- ⑦ D. Oshima, T. Kato, S. Iwata, “Ion Beam Bit Patterned Media Using MnGa Alloy Films (Invited),” The 28th Magnetic Recording Conference, Tsukuba, Japan, B2 (2017).
- ⑧ D. Oshima, T. Kato, S. Iwata, “First order reversal curve diagram analysis of ion irradiated bit patterned MnGa film,” IEEE International Magnetism Conference 2017, Dublin, Ireland, EE-09 (2017).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大島 大輝 (OSHIMA, Daiki)

名古屋大学・未来材料システム研究所・助教

研究者番号 : 60736528