

平成 31 年 1 月 11 日

電気・電子情報工学専攻	学籍番号	第 123299 号	指導教員	中村 雄一
氏名	吉本 拓矢			内田 裕久

## 論文内容の要旨 (博士)

博士学位論文名	スピン波素子用磁性ガーネット薄膜の形成と特性 (Fabrication and properties of magnetic garnet thin films for spin wave device)
---------	---

(要旨 1,200 字程度)

スピン波 (SW) は、磁気モーメント間の結合によって磁性体中を伝わる波であり、ジュール熱を伴わずに情報を伝達可能なため、低消費電力な情報キャリアとして注目されている。これまでに SW の減衰が小さい、イットリウム鉄ガーネット (YIG) 中を伝搬する前進体積 (FV) SW の干渉を用いた素子の開発が報告されているが、「素子面積が大きい」「外部磁界の変化によって出力が変化する」という課題があった。本論文では、上記課題を解決に向けて、薄膜 YIG を用いた小型 SW 位相干渉器の実証と、外部磁界が不要な低ダンピング垂直磁気異方性 (PMA) 導波路の実現に向けた、基板と YIG の格子不整合を利用した弾性磁気異方性の変調について検討した。また、光を用いて SW を励起・検出する光マグノニクスの要素技術の実現に向けて、SW 素子に一体化可能な光学多層膜を開発した。

短波長 SW をシングルモードで導波可能な、膜厚 54 nm の薄膜 YIG を形成し、薄膜 YIG 上に三端子 SW 位相干渉器を作製した。外部磁界 2800 Oe の時、周波数 3.95 GHz、波長 8.92  $\mu\text{m}$  の SW が入力ポートから出力ポートへと対称性よく伝搬しており、上述の磁界と周波数において位相干渉を行った結果、従来の位相干渉器と同等の ON/OFF 比を維持しつつ、素子面積を 40000 分の 1 に縮小できた。

SW を用いた論理素子の動作実証には、均一に磁界を印加できる電磁石が利用できるが、実際に素子として応用する際には、小型化が可能な永久磁石を用いる必要がある。しかし、永久磁石の磁界強度分布のばらつきによって SW の位相が変化し、論理素子の演算結果がばらついてしまう可能性がある。この問題は、外部磁界を印加不要な PMA 導波路を用いることで解決できるため、低ダンピング PMA 導波路の実現に向けて、三種類のガーネット基板上に YIG を形成し、基板と YIG の格子不整合を利用して弾性磁気異方性を変調した。各基板上 YIG の SW 伝搬特性を測定した結果、ネオジムガリウムガーネット基板を用いることで、SW 励起に必要な外部磁界を半分以下に低減できることが明らかになり、格子不整合を利用した低ダンピング PMA 導波路の実現可能性が示された。

一方、従来の SW 素子とは異なり、光を用いて SW を励起・検出する光マグノニクスと呼ばれる分野が開拓されつつあり、完全ジュール熱フリーな素子の実現可能な技術として期待されている。光マグノニクスの要素技術の 1 つである、光を用いた SW 検出器は磁気光学効果を増幅可能な磁性フォトニック結晶 (MPC) を用いることで実現できるが、MPC を SW 素子と一体化すると、YIG を形成する際の熱処理によって MPC に用いられる誘電体ミラー (DM) 中の  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  が結晶化し DM の特性が劣化するため、SW 素子との一体化を阻んでいた。そこで、SW 素子と一体化可能な光を用いた SW 検出器の実現に向けて、Y 添加  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  を用いた高耐熱性の DM を開発し、MPC の局在波長における偏光面回転角と透過率を、従来の  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  を用いた MPC から 1.8 倍および 10 倍、改善することに成功した。

Date of Submission (month day, year) : January 11<sup>th</sup>, 2019

Department of Electrical and Electronic Information Engineering	Student ID Number	D123299	Supervisors	Yuichi Nakamura
Applicant's name	Takuya Yoshimoto			Hironaga Uchida

**Abstract (Doctor)**

Title of Thesis	Fabrication and properties of magnetic garnet thin films for spin wave device
-----------------	---

Approx. 800 words

Spin wave (SW) attracts much attention as a low power consumption information carrier because which can propagate without Joule heating. Recently, SW logic gates using interference of forward volume (FV) SW propagating in yttrium iron garnet (YIG) was developed. However, this device has issues that large footprint and the output fluctuation due to the change of applied field. To solve these issues, three port SW interferometer was miniaturized by using thin YIG film. The magnetoelastic anisotropy was modulated by stress originated from a lattice mismatch between YIG film and substrate. In addition, dielectric mirror (DM) which can be integrated into SW logic gate was developed to realize optical SW detector.

54 nm thick YIG was fabricated for miniaturized SW interferometer because of a capability of guiding the short wavelength SW in single mode and three port SW interferometer was fabricated using thin YIG film. When the magnetic field of 2800 Oe was applied perpendicular to the film, SW having the frequency of 3.95 GHz and the wavelength of 8.92  $\mu\text{m}$  propagate with good symmetry. The observed ON/OFF ratio was comparable with previous three port interferometer and footprint of the fabricated interferometer was 40000 times smaller than that of the previous one.

In actual application, a permanent magnet needs to be used instead of the electromagnet for applying a magnetic field. However, a phase change of SW due to a magnetic field distribution of the permanent magnet leads to a change of the result of the SW logic gate. This issue can be solved by realizing a perpendicular magnetic anisotropic (PMA) waveguide having low magnetic damping. To realize this waveguide, the magnetoelastic anisotropy of YIG was modulated using a lattice mismatch between YIG and substrate. As a result, the external magnetic field required for excitation of FV SW was reduced to less than half using a neodymium gallium garnet substrate. This result clarified the feasibility of a PMA waveguide having low magnetic damping.

On the other hand, excitation and detection of SW using light attracts much interests because of its great potential realizing a perfect Joule heat free device. An optical SW detector is an essential element for this device and which can be developed using a magnetophotonic crystal (MPC) comprising two DMs. However, if the MPC is integrated with SW logic gate, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> used in the DM of MPC was crystallized by the heat treatment for crystallization of YIG, deteriorating the transparency. To solve this issue, DM showing a high resistance to annealing was developed by using Y added Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (aTYO). As a result, Faraday rotation angle and transmittance of MPC using aTYO were improved by 1.8 times and 10 times than those of MPC using Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.