

フェムト秒レーザーによる YIG 光磁気造形を利用した磁気光学回路

Magneto-optical integrated circuits by femtosecond laser modeling in YIG

雨宮 智宏^{1,4}, 顧 之琛², 石川 篤^{4,5}, 庄司 雄哉², P. N. Hai³, 田中 雅明⁶, 水本 哲弥², 田中 拓男^{4,7}, 荒井 滋久^{1,2}

○T. Amemiya^{1,4}, Z. Gu², A. Ishikawa^{4,5}, Y. Shoji², P. N. Hai³, M. Tanaka⁶, T. Mizumoto², T. Tanaka^{4,7}, and S. Arai^{1,2}

東京工業大学 量子ナノエレクトロニクス研究センター¹, 電気電子工学専攻², 電子物理工学専攻³
理化学研究所⁴, 岡山大学 産業創成工学専攻⁵, 東京大学 電気系工学専攻⁶, 北海道大学 電子科学研究所⁷

E-mail: amemiya.t.ab@m.titech.ac.jp

1. はじめに

フェムト秒レーザーによる非線形吸収に基づく光加工技術を用いて、ガラスなどの透明材料中の屈折率を数百 nm オーダーで局所的に変化させることが可能となる[1, 2]。我々は、この手法を透明フェリ磁性材料であるセリウム添加イットリウム鉄ガーネット (Ce-substituted Yttrium Iron Garnet, 以降 Ce:YIG) に対して応用し、材料内部の光学 (屈折率) および磁気特性 (保磁力) の両方を任意の 3 次元ナノ領域において変化させることに成功した[3]。

本報告では、この技術を用いて Ce:YIG 内に磁気光学回路 (Magneto-optical integrated circuits, 以降 MOIC) を実現する方法を提案する。提案する磁気光学回路では、任意の場所に、数 μm の間隔で“非相反導波路”および“相反導波路”を集積でき、Ce:YIG 基板内に光アイソレータ・サーキュレータなどを一括集積した機能回路を作り上げることが可能となる。

2. 磁気光学回路の提案および光学特性解析

Fig. 1(a)に提案する MOIC の概要を示す。MOIC における導波路は、Ce:YIG 表面にフェムト秒レーザー照射を行うことで実現できる (レーザー照射された領域は屈折率が増加するため、この部分をコア層として利用する)。Fig. 1(b)に導波路断面およびモード分布の計算例を示す。パラメータとなるのは照射領域幅 w と浸透長 h の 2 つであり、 w については照射時の挿引回数を、 h については照射パワー (または照射位置) を変えることで制御可能である。Fig. 2 に浸透長 h のレーザー照射パワー依存性を示す。膜厚 $4 \mu\text{m}$ の Ce:YIG ウェハ表面にレーザー照射を行ったサンプルを定量位相差顕微鏡で観測した結果、レーザー照射パワー 48 mW で h が $1.35 \mu\text{m}$ となることが観測された (本測定では、あらかじめ得られている屈折率変化量のデータ[3]から、浸透長 h の逆算を行った)。

レーザー照射された Ce:YIG は、屈折率変化だけではなく、磁化困難という性質も付加される[3]。そのため、浸透長 h が下地基板 (SGGG) まで届いているかどうかで、導波路の非相反性の有無を選択可能となる (例えば Fig. 1(c)において、導波路 A は磁気的に非対称となるため非相反性を示す。一方、導波路 B は非相反性を有さない)。本提案に基づいた導波路の解析結果を Fig. 3 に示す。解析では、Ce:YIG の層厚を $3 \mu\text{m}$ とし、照射前後の Ce:YIG の屈折率を各々 2.2、2.217、および SGGG の屈折率を 1.96 とした。浸透長 h は前述の結果から $1.35 \mu\text{m}$ に固定し、照射領域幅 w をパラメータとした。 w が $4 \mu\text{m}$ のとき、シングルモード伝送が実現され、非相反効果の元となる下部 YIG 層 (Fig. 1(b)の B1 領域) における閉じ込め係数は 41.5%まで高められることが分かった。

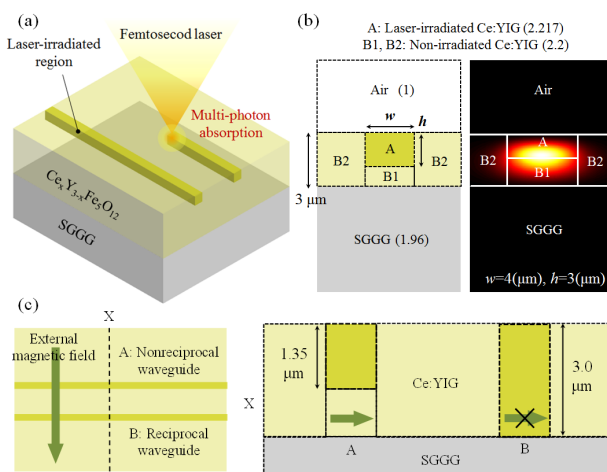


Fig. 1. フェムト秒レーザーによる光磁気造形を利用した非相反導波路の提案

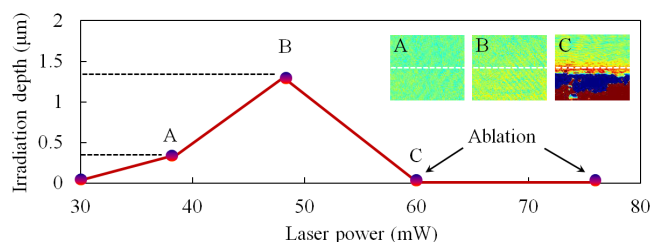


Fig. 2. レーザー照射パワーにおける浸透長の評価

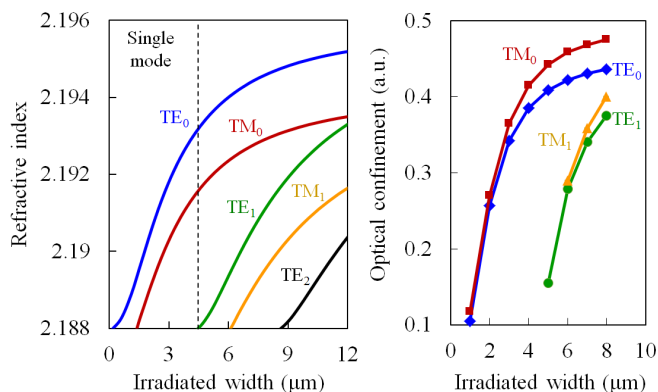


Fig. 3. モード特性 (左) および下部 YIG 層 (Fig. 1 の B1) における閉じ込め係数 (右) の導波路幅依存性の解析

Acknowledgment

本研究は、JSPS 科研費 (#24246061, #25709026, #25420321) の援助により行われた。

References

- [1] K. M. Davis et al., *Optics Lett.* **21**, 212 (1996).
- [2] A. Y. Vorobyev et al., *Laser & Photon. Rev.* **7**, 385 (2013).
- [3] T. Amemiya et al., *Optics Lett.* **39**, 212 (2014).