

研究種目：特定領域研究

研究期間：2007～2010

課題番号：19048017

研究課題名（和文）

光スピントロニクス機能デバイスの研究

研究課題名（英文）

Research on Opto-spintronic Functional Devices

研究代表者

清水 大雅 (SHIMIZU HIROMASA)

東京農工大学・大学院共生科学技術研究院・特任准教授

研究者番号：50345170

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 電子デバイス・電子機器

キーワード：スピントロニクス，強磁性金属，光アイソレータ，磁気光学効果，光エレクトロニクス

### 1. 研究計画の概要

半導体強磁性金属ハイブリッド光アイソレータ(以下、ハイブリッド光アイソレータ)は光半導体による発光・増幅・導波機能と強磁性金属による非相反・不揮発機能を集積した光スピントロニクスデバイスと呼ぶことができる。本研究課題ではハイブリッド光アイソレータが示す非相反伝搬機能を基に、用いる強磁性体の探索から光情報信号処理デバイスへの応用までを見据えた研究を行う。以下3つの項目について研究を行う。

#### (1) 強磁性材料の探索とハイブリッド光アイソレータの高機能化

ハイブリッド光アイソレータではこれまでFeやCoといった単元素からなる強磁性金属を用いている。本研究課題ではエピタキシャル強磁性金属薄膜のMnSbなど、ユニークな強磁性材料を領域内の共同研究によって探索し、ハイブリッド光アイソレータの実証、高機能化を目指す。

#### (2) ハイブリッド光アイソレータの高機能化

単体で10dB/mm程度の消光比を示す現状のハイブリッド光アイソレータに対し、伝搬損失の低減、消光比の向上を目指す。

#### (3) ハイブリッド光アイソレータの光情報信号処理デバイスへの応用

ハイブリッド光アイソレータでは非相反伝搬特性によって光子密度が軸方向に沿って分布する。この現象を応用した高機能な双安定半導体レーザ、光フリップフロップメモリの実現が期待できる。ハイブリッド光アイソレータを用いた非相反双安定半導体レーザの実現を目指す。

### 2. 研究の進捗状況

本研究課題でこれまで得られた成果を1. 研究計画の概要で述べた3つの項目について伸べる。

#### (1) 強磁性材料の探索とハイブリッド光アイソレータの高機能化

領域内の共同研究によってエピタキシャルMnSb、Co添加TiO<sub>2</sub>、PrCoB薄膜について材料探索を行った。エピタキシャルMnSb薄膜では、実際にハイブリッド光アイソレータを作製し、波長1540nmにおいて12dB/mmの消光比を達成した(雑誌論文の[4]等を参照)。また永久磁石材料のPrCoB、PrFeB薄膜の磁気光学効果の評価を行った。これらの材料の磁気光学スペクトルは単元素の強磁性金属Co、Feとは異なり、特に可視域の短波長側で大きな磁気光学性能指数を示すことが明らかになった。

#### (2) ハイブリッド光アイソレータの高機能化

従来のハイブリッド光アイソレータでは導波路の加工によってもたらされる過剰伝搬損失が問題であった。また相互利得飽和効果によって信号光が戻り光の影響で変調を受ける問題を新たに見出した。これらの問題点を解決するためにエバネセント導波路型TEモード半導体光アイソレータを提案した。設計に基づいたエバネセント導波路光アイソレータの作製を行い、波長1540nmにおいて7.4dB/mmの光アイソレーションの観測に成功した(雑誌論文の[1]等を参照)。

#### (3) ハイブリッド光アイソレータの光情報信号処理デバイスへの応用

ハイブリッド光アイソレータでは非相反損失伝搬効果によって軸方向に沿って光子が分布する。半導体光アイソレータに特長的な光子密度の分布を応用して、非相反双安定半導体レーザの作製を行い、レーザ発振を確認した。

### 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

領域内の共同研究によってハイブリッド光アイソレータの高機能化に成功した点は評価が高いと考えている。また、エバネセント光アイソレータや非相反双安定半導体レーザ等の従来にない新しい光スピントロニクスデバイスの実証に成功しつつある。本研究の成果に関連して4件の国内学会の招待講演を行っている。

### 4. 今後の研究の推進方策

2. 研究の進捗状況の(3)で述べた非相反双安定半導体レーザを中心に研究を推進する。具体的には、双安定半導体レーザの双安定動作の確認と、磁化状態による双安定動作の変調、外部光による光メモリ特性の制御を目指す。

### 5. 代表的な研究成果

(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5件)

- [1] H. Shimizu and S. Goto, "InGaAsP/InP evanescent mode waveguide optical isolators and their application to InGaAsP/InP/Si hybrid evanescent optical isolators" *Optical and Quantum Electronics*, **40** (2010), online first (2010年4月時点でonline出版). 査読有
- [2] H. Shimizu and S. Goto, "Evanescent Semiconductor Active Optical Isolators for Low Insertion Loss and High Gain Saturation Power", *IEEE / OSA Journal of Lightwave Technology*, **28** (2010) early access (2010年4月時点でonline出版). 査読有
- [3] H. Shimizu, S. Yoshida, and S. Goto, "Semiconductor Waveguide Optical Isolators towards Larger Optical Isolation utilizing Nonreciprocal Phase Shift by Ferromagnetic Co", *IEEE Photonics Technology Letters*, **20** (18), pp. 1554-1556, (2008). 査読有
- [4] T. Amemiya, Y. Ogawa, H. Shimizu, H. MuneKata, and Y. Nakano, "First Semiconductor Waveguide Optical Isolator Incorporating Ferromagnetic Epitaxial MnSb for High Temperature Operation", *Applied Physics Express*, **1**, 022002 (2008). 査読有
- [5] H. Shimizu and Y. Nakano, "Monolithic Integration of a Waveguide Optical Isolator With a Distributed Feedback Laser Diode in the

1.5- $\mu\text{m}$  Wavelength Range", *IEEE Photonics Technology Letters*, **19** (24), pp. 1973-1975, (2007). 査読有

[学会発表] (計18件)

- [1] 清水大雅、半導体光アイソレータの現状と応用 (招待講演)、電子情報通信学会 2010年総合大会、2010年3月16日、東北大学
- [2] T. Mori, S. Goto, K. Okada, Y. Kono, and H. Shimizu, "Nonreciprocal Semiconductor Laser Diodes for Bistable Optical Flip-Flop Memories", *Magnetics and Optics Research International Symposium for New Storage Technology 2009*, 2009年6月16日、淡路国際会議場
- [3] 清水大雅、新たな光集積回路に向けた半導体能動導波路光アイソレータ (招待講演) 電子情報通信学会 2009年総合大会、2009年3月18日、愛媛
- [4] T. Amemiya, Y. Ogawa, H. Shimizu, M. Tanaka, H. MuneKata, Y. Nakano, *Semiconductor Waveguide Optical Isolators Incorporating Ferromagnetic Epitaxial MnX (X=As or Sb)*, *Conference on Lasers and Electro-Optics / Quantum Electronics and Laser Science Conference 2008*, 2008年5月8日、米国
- [5] H. Shimizu, and S. Yoshida *Integrable Semiconductor Optical Isolators Towards Larger Optical Isolation utilizing Nonreciprocal Phase Shift*, *Conference on Lasers and Electro-Optics / Quantum Electronics and Laser Science Conference 2008*, 2008年5月8日、米国

[図書] (計3件)

- [1] Hiromasa Shimizu (分担執筆), INTECH, *Advances in Optical and Photonic Devices*, Chapter 4 "Monolithic Integration of Semiconductor Waveguide Optical Isolators with Distributed Feedback Laser Diodes", (2010), pp. 59-66.
- [2] Tomohiro Amemiya and Yoshiaki Nakano (分担執筆), INTECH, *Advances in Optical and Photonic Devices*, Chapter 7 "Single Mode Operation of 1.5- $\mu\text{m}$  Waveguide Optical Isolators Based on the Nonreciprocal-loss Phenomenon", (2010), pp. 117-136.
- [3] 清水大雅(分担執筆)、シーエムシー出版、*スピントロニクスの基礎と材料・応用技術の最前線 第33章 光スピントロニクスデバイス ～集積光非相反デバイス～* 2009年 pp. 397-407.

[その他]

雑誌論文リスト:

<http://kenkyu-web.tuat.ac.jp/Profiles/14/0001357/theses1.html>

招待講演・学会発表リスト:

[http://kenkyu-web.tuat.ac.jp/Profiles/14/0001357/meeting\\_achieve1.html](http://kenkyu-web.tuat.ac.jp/Profiles/14/0001357/meeting_achieve1.html)