

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2012～2015

課題番号：24686045

研究課題名(和文) 一方向発振リングレーザを用いた大規模スピン光メモリ

研究課題名(英文) Large scale optical memories based on semiconductor ring lasers having nonreciprocal function

研究代表者

清水 大雅 (Shimizu, Hiromasa)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50345170

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は非相反機能をもつリングレーザを用いた光メモリの実現である。光メモリの実現に向けて、(1)曲げ導波路の曲げ損失の評価(2)リングレーザの発振方向制御に必要な光アイソレーションの見積、(3)受動型半導体光アイソレータの設計・作製と評価に取り組んだ。(1)～(3)により、光メモリの小型化を曲げ半径30 μm まで実現する見込みが付き、発振方向の制御に必要な光アイソレーションを見積もり、実証することができた。光メモリを小型化する過程においてリング共振器と入出力光導波路を接続する方向性結合器の深さを場所によって変える必要があり、研究期間終了後も改良を加え、小型の光メモリの実現を目指す。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to realize optical memories based on semiconductor ring lasers having nonreciprocal function. Toward this goal, we have done (1) Characterization of bend optical waveguides, (2) Estimation of optical isolation for optical memories, and (3) Design, fabrication, and characterization of passive semiconductor optical isolators. Owing to the above experiments and simulations, it was found that we can realize the bend optical waveguides having its radius of 30 μm . Also we theoretically estimated optical isolation for optical memories based on semiconductor ring lasers, and experimentally demonstrated the optical isolation. We are fabricating optical directional coupler to connect / separate the input/output waveguides and the ring cavity for optical memories having the radius of 30 μm .

研究分野：光エレクトロニクス

キーワード：光アイソレータ リング共振器 曲げ導波路 光集積回路 光メモリ

1. 研究開始当初の背景

「情報」の伝達・処理には、電子の電荷・スピン、光等、様々な担い手があり、その制御には電圧、電流、光励起、磁界等が用いられ、一長一短の性質をもっている。順序論理回路によって記憶(メモリ)動作が可能、かつ、長い実用化の歴史がある電子回路とは異なり、光信号の記憶(メモリ)を担う順序論理回路は10年来の研究が蓄積されているものの、大規模化の点で問題がある。光には伝搬経路が可逆である「相反性」と呼ばれる性質があり、隣接する光素子と相互干渉して誤動作を引き起こすため、光信号の円滑なやりとりや光集積回路の大規模化が困難である。

逆に「非相反性」が得られれば、光素子を用いた順序論理回路等、光エレクトロニクスの可能性は無限に広がる。本研究では強磁性体を光エレクトロニクスに導入する。「非相反性」は「不揮発性」と並ぶ強磁性体の特長である。しかしながら、半導体レーザ等と材料や構造の相性が悪く、「非相反性」を光エレクトロニクスに展開することは困難視されていた。これらの困難を克服し、磁性スピン材料を半導体光エレクトロニクスに導入することで、半導体レーザと一体集積化が可能な半導体強磁性金属ハイブリッド光アイソレータを世界で初めて実現した。さらに、磁化状態で強度や発振方向が制御可能な半導体レーザを実現した。

2. 研究の目的

本研究では、光信号の一時記憶メモリ(以下、光メモリと呼ぶ)に着目する。現在、光エレクトロニクスの分野で最も必要とされ、かつ、最も実現が困難な光メモリの研究にはこれまで国内外の研究者によって10年以上の研究が積み重ねられている。光メモリは、光-電気-光信号変換を伴わない円滑で電力消費の小さい経路制御装置の実現に必須とされているためである。複数の半導体マイクロリングレーザを組み合わせた光メモリ(M. Hill 他, Nature, 432, 206-209, (2004).)や、垂直共振器型半導体レーザの偏光双安定動作を用いた光メモリ(H. Kawaguchi 他, Jpn. J. Appl. Phys., 45, L894-L897, (2006).)等が報告されている。しかしながら、決定打となる光メモリはない。問題点は、主に以下の2点である。1点目は動作速度と、動作に必要な光強度の間にトレードオフの関係があり、高速動作には大きな光強度が必要になることである。2点目は、単体の光メモリ素子は実現されていても、光メモリ素子を直列接続して大規模化できない点である。これは光の相反性によって相互干渉を防ぐことができないためであり、電子回路のシフトレジスタと同等の機能は光メモリでは実現されていない。これまで、半導体強磁性金属ハイブリッド光アイソレータや磁化状態で制御可能な半導体レーザ等の光非相反素子の研究を展開してきた。磁性スピン材料の導入による光

非相反機能という従来の光エレクトロニクスにはない機能は、上記の2つの問題点を解決することができ、光メモリに応用することが可能である。本研究の目的は非相反機能をもつリングレーザを用いた光メモリの実現である。

3. 研究の方法

(1) 一方向発振リングレーザを用いた光メモリの基本動作の実現

非相反機能をもつリングレーザを実現し、その発振状態を外部信号光による注入同期によって制御し、光メモリのプロトタイプを実現する。小型のリングレーザを実現するためには曲げ導波路の曲げ半径をできるだけ小さくし、曲げによる放射損失を評価する必要がある。そこで曲げ導波路のみを作製し、放射損失の曲げ半径依存性を調べる。また、リングレーザの一方向発振化に必要な光アイソレーションを解析し、必要な光アイソレーションを実験的に明らかにする。

(2) 光メモリの小型化・低動作電流化、動特性・応答速度の評価

小型化による共振器長の低減によって低動作電流を実現する(閾値電流 10mA 以下)。本研究ではリング共振器導波路の設計によって直径 20, 50, 100 μm の一方向発振リングレーザを実現する。また、小型化によって共振器光子寿命を低減し、高速動作を実現する。

(3) リング共振器の共振特性の向上によるオン・オフ比(消光比)の増大

リング共振器の共振特性の向上、周回共振効果によって、一方向発振リングレーザのオン・オフ比(消光比)を増大する。消光比の増大によって(1)の光メモリ動作に必要なスイッチングパワーを低減する。光メモリを直列接続し、光シフトレジスタを実現する。

(1)~(3)で実現された項目を達成した後、光メモリを直列接続し、シフトレジスタ機能を実現する。本研究の最終的な目標は、従来困難であった光メモリの大規模化を実現することである。

4. 研究成果

(1) 曲げ導波路の曲げ損失の評価

曲げ導波路はアレイ導波路やリング共振器レーザに用いられ、波長分割多重通信や劈開端面を必要としない光集積回路用レーザ光源において基本となる光導波路である。リングレーザは、高速かつ小型・低消費電力の全光メモリを実現するための鍵である。我々は一方向発振リングレーザを用いた光メモリを提案し、半導体光アイソレータを集積したリングレーザの研究に取り組んでいる。リングレーザの作製に資するべく曲げ半径・形状の異なる曲げ導波路を作製しその伝搬損失と曲げ損失を評価した。

InGaAsP($n = 3.510$, $\lambda_g = 1450 \text{ nm}$)をコア層とする InP 基板上的のエピウエ八に導波路

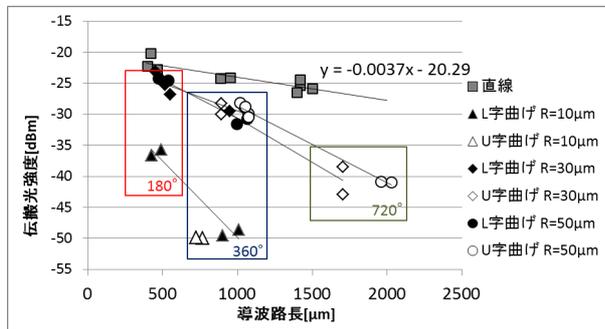


図 1. 直線導波路と曲げ導波路の伝搬光強度測定結果 (TE モード)

幅 $2 \mu\text{m}$ の直線導波路と、曲げ導波路を作製した。曲げ半径 R は $10, 30, 50 \mu\text{m}$ とした。Si 細線曲げ導波路の曲げ損失の解析に関する報告を参考に、曲げ導波路を作製した。電子線描画によるパターンニングの後、ドライエッチングによりハイメサ型導波路を形成し、保護層の Al_2O_3 を EB 蒸着により成膜した。SEM による観察で、導波路幅の実測値は $1.9 \mu\text{m}$ であることが分かった。

波長可変レーザを光源として用い、導波路に波長 1550 nm 、強度 0 dBm 、TE モード光をレンズファイバによって入射させ、伝搬光強度を測定した。結果を図 1 に示す。長さ $460, 920, 1380 \mu\text{m}$ の直線導波路の伝搬光強度から、カットバック法により伝搬損失を評価したところ、 3.7 dB/mm であった。曲げ損失の原因として曲げによる放射・散乱と、曲げ・直線の接続部におけるモードミスマッチを想定し、作製した 2 形状の曲げ導波路の曲げ損失を比較することでこれらの原因ごとの損失値を算出した。曲げ導波路は 180° 分の放射・散乱損失と 4 か所分の接続損失が生じる L 字曲げ導波路と、 360° 分の放射・散乱損失と 4 か所分の接続損失が生じる U 字曲げ導波路の 2 種類に分類される。従って 2 種類の曲げ導波路の曲げ損失の差から 180° 分の放射・散乱損失を抽出できる。測定結果より TE モードでの放射・散乱損失 (360° あたり) は半径 $50 \mu\text{m}$ で 5.8 dB 、 $30 \mu\text{m}$ で 6.7 dB 、 $10 \mu\text{m}$ で 27.2 dB となった。曲げ導波路と直線導波路の間の接続損失 (1 か所あたり) は半径 $50 \mu\text{m}$ で 0.0 dB 、 $30 \mu\text{m}$ で -0.1 dB 、 $10 \mu\text{m}$ で -0.1 dB と算出できた。劈開面や側壁荒れの個体差から値に誤差が生じていることが考えられるが、相対的に放射・散乱損失が大きく接続損失はほとんど見出すことができなかった。これは曲げ半径が大きくモード形状の差異が損失の主たる原因となるほど大きくなかったためと考えられる。以上の実験結果より、リングレーザの小型化に向けた曲げ損失を把握し、曲げ半径 $30 \mu\text{m}$ であれば、発振可能な曲げ損失であることが明らかになった。

(2) リングレーザの発振方向制御に必要な光アイソレーションの見積

リングレーザの発振方向制御に必要な光アイソレーションを解析した。出力導波路、リング共振器、方向性結合器は全て幅 $W=2 \mu\text{m}$ のリッジ型の半導体光増幅器導波路から成る。曲げ導波路の半径 R は曲げによる放射損失が無視できる $300 \mu\text{m}$ とした。結合長 L は $50 \sim 250 \mu\text{m}$ の 5 種類と変化させ、分岐比を $8:2 \sim 1:1$ の間に設定した。リング共振器の一部には TE モード光アイソレータを設けた。光アイソレーションの大きさを導波路側壁と Fe 間の Al_2O_3 バッファ層の膜厚 d によって制御した。アイソレータ部の長さ l_{iso} を $50 \mu\text{m}$ と一定として一方向発振に必要な光アイソレーションを求めた。Lamb 方程式にアイソレータを適用したモデルを構築し、キャリア密度を変化させたときのポンピングファクターと互いに逆方向に進行する電界 E_1 (CW), E_2 (CCW) の時間変化を計算し、CW 光、CCW 光に対する L-I 特性を求めた。(Lamb 方程式は互いに逆方向に進行する電界 E_1 (CW), E_2 (CCW) の時間変化を表している。実際の解析は規格化キャリア密度方程式と共に行う。 E_1, E_2 の時間平均値を求め、横軸を規格化キャリア密度方程式のポンピングファクター μ としてプロットしたものが L-I 特性となる)。光アイソレーション Δb_{iso} を変化させたときの L-I 特性を図 2 に示す。方向性結合器の分岐比が $8:2$ ($L=50 \mu\text{m}$)、 $\Delta b_{iso}=4.5 \text{ dB/mm}$ のとき CW, CCW 間に 20 dB 以上という最大値のアイソレーションが得られた。アイソレータ長が $50 \mu\text{m}$ であることから、一方向発振に必要な光アイソレーションはリング共振器 1 周あたり 0.225 dB であると結論付けた。 4.5 dB/mm の消光比はこれまでに報告している TE モード半導体光アイソレータの特性から達成可能である。

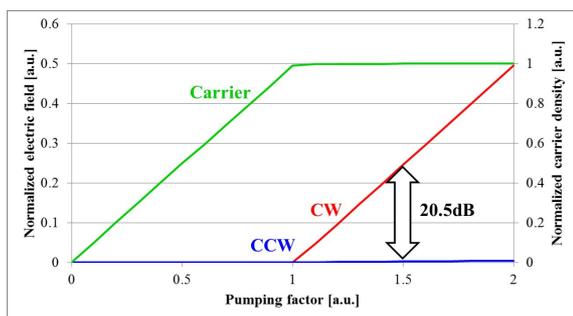


図 2: リングレーザの時計回り出力光 (CW)、反時計回り出力光 (CCW) の注入電流依存性の計算結果。分岐比は $8:2$ 、光アイソレーションは $\Delta b_{iso}=4.5 \text{ dB/mm}$ とした。

(3) 受動型半導体光アイソレータの設計・作製と評価

受動光導波路に TE モード半導体導波路光アイソレータを作製し、伝搬損失および消光比を測定した。素子の作製は InGaAsP ($n=3.510, \lambda_g=1450 \text{ nm}$) をコア層とする InP 基板上的エピウエハに、EB 描画装置を用いて導波路パターンを描画し、反応性イオンエッチ

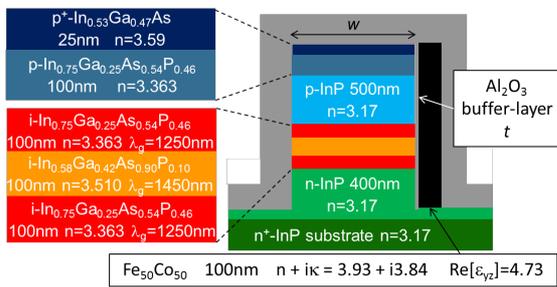


図3. TEモード半導体光アイソレータの模式図

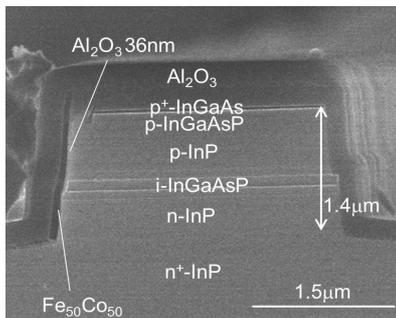


図4. TEモード半導体光アイソレータの断面SEM画像

ングによって導波路に加工した。その後、斜めEB蒸着によって導波路の片側の側壁に Al_2O_3 バッファ層と $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ 層、最後に素子全体に Al_2O_3 保護膜を成膜した。作製した導波路の幅は設計値 $w = 2.0\mu\text{m}$, $2.5\mu\text{m}$ に対して $w = 1.9\mu\text{m}$, $2.6\mu\text{m}$ となり、 Al_2O_3 バッファ層の厚さは $t = 41\text{nm}$ となった。作製したアイソレータの断面模式図を図3に、走査型電子顕微鏡(SEM)写真を図4に示す。

素子の下に永久磁石を置いて磁場0.22Tを印加し、波長1550nmの波長可変レーザー光を入力して透過光強度を測定した。光の伝搬方向は光スイッチで切り替え、伝搬方向による損失の差から消光比を求めた。

導波路幅 $1.9\mu\text{m}$ の素子において、TEモードで1.6dB/mmの消光比が得られ、前進光の伝搬損失は強磁性金属層のない参照用導波路と比べてTEモードで41.0dB/mm、TMモードで22.2dB/mm増加した。導波路幅 $2.6\mu\text{m}$ の素子においては、TEモードで0.5dB/mmの消光比が得られ、前進光の伝搬損失は強磁性金属層のない参照用導波路と比べてTEモードで17.8dB/mm、TMモードで9.8dB/mm増加した。

以上の(1)~(3)の研究成果により、光メモリの小型化を曲げ半径 $30\mu\text{m}$ まで実現する見込みが付き、発振方向の制御に必要な光アイソレーションを見積もったうえで、実験により実証することができた。光メモリを小型化する過程においてリング共振器と入出力光導波路を接続・分岐する方向性結合器の負荷さを場所によって変える必要があり、研究期

間終了後も、改良した方向性結合器によって小型の光メモリの実現に取り組んでいる。

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 7件)

D. A. Wahid, T. Hattori, J. Sato, and H. Shimizu, "Preparation and Characterization of Bi substituted gadolinium iron garnet Films by Metal Organic Decomposition and their Dependence on Annealing Gases", Journal of the Magnetics Society of Japan. 39(3):100-106 (2015). 査読付

Terunori Kaihara, Takeaki Ando, Hiromasa Shimizu, Vadym Zayets, Hidekazu Saito, Koji Ando, and Shinji Yuasa, "Enhancement of magneto-optical Kerr effect by surface plasmons in trilayer structure consisting of double-layer dielectrics and ferromagnetic metal", Optics Express, 23(9):11537-11555 (2015). DOI: 10.1364/OE.23.011537 査読付

梅津 沙緒里、貝原 輝則、安藤 健朗、矢後 佳貴、清水 大雅「Otto配置による強磁性金属/誘電体界面へのプラズモンの励起」電子情報通信学会技術研究報告114(281):189-194 (2014). 査読無

Hiromasa Shimizu, Shohei Sakanishi, Takahiro Bando, and Yuhi Yagi, "TE-mode nonreciprocal propagation in passive $\text{Fe}_{50}\text{Co}_{50}$ -InGaAsP / InP semiconductor optical isolators", Japanese Journal of Applied Physics, 53(7):072701-1 - 072701-5, (2014). DOI:10.7567/JJAP.53.072701 査読付

阪西 祥平、坂東 敬広、清水 大雅、「一方発振半導体リングレーザーの実現に向けたTEモード半導体光アイソレータの性能評価」電子情報通信学会技術研究報告113(262):81-84 (2013). 査読無

Terunori Kaihara, Masaki Mizuguchi, Koki Takanashi, Hiromasa Shimizu, "Magneto-Optical Properties and Size Effect of Ferromagnetic Metal Nanoparticles", Japanese Journal of Applied Physics, 52(7):073003-1 - 073003-6 (2013). DOI: 10.7567/JJAP.52.073003 査読付

Hiromasa Shimizu, Saori Umetsu, and Terunori Kaihara, "Characterization of Transverse Magneto-optic Kerr Effect in

Ferromagnetic Metals for Semiconductor Optical Isolators”, Japanese Journal of Applied Physics, 52(2):028006 (2013). DOI: 10.7567/JJAP.52.028006 査読付

〔学会発表〕(計 38 件)(代表的学会発表 30 件を以下に記す。)

- (1) 矢後 佳貴、安藤 健朗、森田 澗、清水 大雅、「強磁性金属と誘電体界面における Otto 配置下の表面プラズモン励起の評価」、2016 年春季 第 63 回 応用物理学関係連合講演会、2016/03/20 東京工業大学(東京都目黒区)
- (2) 細田 昌志、佐藤 謙、ダニシュ アブドゥルワヒド、清水 大雅、「有機金属堆積法によるガラスおよびシリコン基板上への $\text{Bi}_2\text{YFe}_5\text{O}_{12}$ 薄膜の作製と評価」、2016 年春季 第 63 回 応用物理学関係連合講演会、2016/03/20 東京工業大学(東京都目黒区)
- (3) 山本 悠介、貝原 輝則、清水 大雅、「積層型 Si 方向性結合器の設計と作製」、2016 年春季 第 63 回 応用物理学関係連合講演会、2016/03/20 東京工業大学(東京都目黒区)
- (4) 貝原 輝則、有馬 卓司、清水 大雅、「Mathematica による異方性・分散性 FDTD フログラミング」、2016 年春季 第 63 回 応用物理学関係連合講演会、2016/03/19 東京工業大学(東京都目黒区)
- (5) 矢後 佳貴、安藤 健朗、森田 澗、清水 大雅、「強磁性金属/誘電体界面への表面プラズモンの励起」、集積光デバイスと応用技術時限研究専門委員会(IPDA)第 3 回研究会、2016/03/03 東レ総合研修センター(静岡県三島市)
- (6) 山下 雄也、清水 大雅、鮫島 俊之、「電子ビーム蒸着と高圧水蒸気熱処理によるアモルファスシリコン薄膜の消光係数の低減」、集積光デバイスと応用技術時限研究専門委員会(IPDA)第 3 回研究会、2016/03/03 東レ総合研修センター(静岡県三島市)
- (7) 右田 温、八木友飛、新田 毅、清水 大雅、「InP 系曲げ導波路の作製と伝搬損失の評価」、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2015/09/09 東北大学(宮城県仙台市)
- (8) 安藤健朗、矢後佳貴、貝原輝則、清水 大雅、「強磁性金属・誘電体界面の Otto 配置における表面プラズモンの励起」、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2015/09/08 東北大学(宮城県仙台市)
- (9) 福田登、貝原輝則、山本悠介、清水 大雅、「非相反結合を利用したプラズモン光アイソレータの設計」、電子情報通信学会ソサイエティ大会、2015/09/08 東北大学(宮城県仙台市)
- (10) Masashi Hosoda, Jo Sato, Danish Wahid, Takaya Hattori, and Hiromasa Shimizu, “Design of Optical Isolators Utilizing Directional Coupling within Asymmetric Waveguides”, The 11th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim(CLEO-PR 2015), 2015/08/27 プサン国際会議場(プサン、韓国)
- (11) Terunori Kaihara, and Hiromasa Shimizu, “Dielectric-Loaded Magnetic and Nonmagnetic Plasmonic Waveguides on SOI Wafer”, The 11th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim(CLEO-PR 2015), 2015/08/27 プサン国際会議場(プサン、韓国)
- (12) Hiromasa Shimizu, Terunori Kaihara, Saori Umetsu, and Masashi Hosoda, “Integrated optical isolators using magnetic surface plasmon”, Invited presentation, SPIE 2015 Optics+Photonics. サンディエゴ国際会議場(サンディエゴ、米国)
- (13) 福田 登、梅津 沙緒里、貝原 輝則、清水 大雅、「非相反結合を利用した Si 導波路プラズモン光アイソレータの設計」、2015 年春季 第 62 回 応用物理学関係連合講演会、2015/03/11 東海大学(神奈川県平塚市)
- (14) 細田 昌志、佐藤 謙、ダニシュ アブドゥルワヒド、服部 貴也、清水 大雅、「非対称導波路の方向性結合を利用した導波路型光アイソレータの設計」、2015 年春季 第 62 回 応用物理学関係連合講演会、2015/03/11 東海大学(神奈川県平塚市)
- (15) 梅津 沙緒里、貝原 輝則、安藤 健朗、矢後 佳貴、清水 大雅、「Otto 配置による強磁性金属/誘電体界面へのプラズモンの励起」、電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会、2014/10/31 長崎歴史文化博物館(長崎県長崎市)
- (16) 八木友飛、阪西祥平、坂東敬広、清水 大雅、「TE モード導波路光アイソレータの作製と評価」、2014 年秋季 第 75 回 応用物理学学会学術講演会、2014/9/19 北海道大学(北海道札幌市)
- (17) 安藤健朗、貝原輝則、清水 大雅、「ATR 法を用いた 2 層誘電体プラズモン導波路型光アイソレータの設計」、2014 年秋季 第 75 回 応用物理学学会学術講演会、2014/9/19 北海道大学(北海道札幌市)
- (18) 坂東敬広、八木友飛、清水 大雅、「Lamb 方程式による TE モード一方向発振リングレーザの動作解析」、2014 年秋季 第 75 回 応用物理学学会学術講演会、2014/9/18 北海道大学(北海道札幌市)
- (19) 貝原輝則、安藤健朗、清水 大雅、「 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2/\text{Fe}$ 構造の表面プラズモンによる磁気光学効果の増強」、2014 年秋季

- 第 75 回応用物理学学会学術講演会、
2014/9/18 北海道大学(北海道札幌市)
- (20) T. Kaihara, T. Ando, H. Shimizu, V. Zayets, H. Saito, K. Ando, and S. Yuasa, “Double-Dielectric-Loaded Plasmonic Optical Isolator for Integration into Photonic Integrated Circuits” The 2014 International conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2014), 2014/9/10 つくば国際会議場(茨城県つくば市)
- (21) 八木友飛、阪西祥平、坂東敬広、清水大雅、「TE モード受動型導波路光アイソレータと曲げ導波路の作製と評価」、電子情報通信学会 光エレクトロニクス (OPE) 研究会 4 月研究会, 2014/04/24 リゾーピア熱海(静岡県 熱海市)
- (22) 坂東敬広、阪西祥平、八木友飛、清水大雅、「TE モード一方向発振リングレーザの理論とアイソレーションの予測」、電子情報通信学会 光エレクトロニクス (OPE) 研究会 4 月研究会, 2014/04/24 リゾーピア熱海(静岡県 熱海市)
- (23) T. Kaihara, H. Shimizu, V. Zayets, H. Saito, K. Ando, and S. Yuasa, “Optical Isolator Utilizing Surface Plasmons in Ferromagnetic Metal / Double-dielectric Layers for Integration into Photonic Integrated Circuits”, 第 18 回 半導体スピン工学の基礎と応用 PASPS-18, 2013/12/09 大阪大学(大阪府豊中市)
- (24) V. Zayets, H. Saito, K. Ando, S. Yuasa, T. Kaihara, H. Shimizu, A. Baryshev, T. Matsui, “NEW DESIGN OF OPTICAL ISOLATOR UTILIZING SURFACE PLASMONS”, MORIS (Magnetics and Optics Research International Symposium for New Storage Technology) 2013, 2013/12/05. 大宮ソニックシティ(埼玉県大宮市)
- (25) 阪西祥平、坂東敬広、清水大雅、「一方向発振半導体リングレーザの実現に向けた TE モード半導体光アイソレータの性能評価」、電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会、2013/10/25. 門司港・海峡口マンホール(福岡県門司市)
- (26) T. Kaihara, H. Shimizu, V. Zayets, H. Saito, K. Ando, and S. Yuasa, “A Design of Optical Isolator Utilizing Surface Plasmons in Co / Al₂O₃ / AlGaAs waveguides for Integration into Photonic Integrated Circuits”, International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2013), 2013/09/26. Hilton Fukuoka 福岡県福岡市
- (27) 貝原輝則, 清水大雅, V. Zayets, 齋藤秀和, 安藤功兒, 湯浅新治、

- 「Co/Al₂O₃/AlGaAs 界面における表面プラズモンを用いた導波路型光アイソレータの設計」、2013 年秋季 第 74 回応用物理学学会学術講演会、2013 年 9 月 19 日 同志社大学(京都府京都市)
- (28) 石坂大介、服部貴也、清水大雅、「半導体光アイソレータの消光比のデバイス構造依存性の評価」、2013 年秋季 第 74 回応用物理学学会学術講演会、2013 年 9 月 19 日 同志社大学(京都府京都市)
- (29) 坂東敬広、阪西祥平、清水大雅、「非相反損失に基づく TE モード一方向発振リングレーザの設計」、2013 年秋季 第 74 回応用物理学学会学術講演会、2013 年 9 月 19 日 同志社大学(京都府京都市)
- (30) H. Shimizu, “Semiconductor Optical Isolators for Integrated Optics” (招待講演) SPIE 2013 Optics+Photonics, Proceedings of SPIE Optics and Photonics 2013: nanoScience, Volume 8813: Spintronics VI, 2013 年 8 月 29 日 サンディエゴ国際会議場(サンディエゴ、米国)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)
名称: 光アイソレータ
発明者: 清水大雅
権利者: 国立大学法人東京農工大学
種類: 特許
番号: 特願 2013-267840
出願年月日: 2013 年 12 月 25 日
国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等
<http://kenkyu-web.tuat.ac.jp/Profiles/14/0001357/profile.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者
清水 大雅 (SHIMIZU, Hiromasa)
東京農工大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 50345170