

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560429

研究課題名(和文)大容量光伝送・光情報処理における出射ビーム制御低発振しきい値半導体レーザー

研究課題名(英文) Output-Laser-Beams Controlled Semiconductor Lasers with Low-Threshold-Current for Large Capacity Lightwave Transmission and Optical Information Processing

研究代表者

沼居 貴陽 (NUMAI, Takahiro)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：60261351

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：結合光導波路を備えたリッジ型半導体レーザーにおいて結合光導波路の材質を半導体から誘電体に変更することで結合光導波路へのリーク電流を低減した。さらに結合光導波路とメサとの距離をゼロにしたリッジ型半導体レーザーを提案した。この結果、単峰出射ビーム、高光出力を維持した状態で通常のリッジ型半導体レーザーよりも発振しきい電流を低減できた。

横方向回折格子をもつリッジ型半導体レーザーを提案し、さらに横方向回折格子の上部を絶縁体にする事で、横方向回折格子へのリーク電流を低減した。この結果、単峰出射ビーム、高光出力を維持した状態で通常のリッジ型半導体レーザーよりも発振しきい電流を低減することができた。

研究成果の概要(英文)：Semiconductor lasers with an oscillation wavelength of 0.98 micron, which are used as pumping sources of Er-doped optical fiber amplifiers, have ridge structures, because they use Al contained semiconductor layers. In ridge structure semiconductor lasers, with an increase in injected current, higher-order horizontal transverse modes lase; kinks appear in their current versus light-output curves. Below the kink level, the fundamental horizontal transverse mode is obtained; above the kink level, higher order horizontal transverse modes oscillate. To increase the kink levels and lower the threshold current, we have proposed and analyzed ridge structures with coupled waveguides, selective insulating cladding layers, and partially insulated transverse diffraction gratings. It was found that stable fundamental horizontal transverse mode is obtained and threshold current is lower than that of conventional ridge structure semiconductor lasers.

研究分野：光エレクトロニクス、量子エレクトロニクス

キーワード：半導体レーザー 横モード

1. 研究開始当初の背景

1980年代後半から本格的に実用化が始まった光ファイバー伝送システムは、長距離大容量伝送が可能であり、当時の電話需要の急増に伴って頻繁に発生していた電話回線のパンクを救ったばかりか、伝送容量の余裕を生み出し、1990年ごろから普及をはじめたインターネットを支えるインフラストラクチャーとなった。インターネットが普及し、一般家庭でのインターネット利用者のうち約40%がADSL、約30%がFiber to the Home (FTTH)を利用するまでになり、高画質の静止画や動画など、音声に比べて極めて情報量が大きいデータがインターネットを通じて、やり取りされるようになってきている。したがって、情報伝送路における伝送容量の増大が、またしても急務となってきている。情報伝送路における伝送容量を増大するには、光ファイバー伝送システムにおいて、伝送容量を拡大することが必要であるが、光ファイバーの敷設費用が莫大であることを考慮すると、すでに敷設してある光ファイバーを用いて、伝送容量を増大することが望ましいと考えられる。このための一つの方法が、1本の光ファイバーの中を、発振波長の異なる複数の光信号を伝送する波長多重(wavelength-division-multiplexing, WDM)光ファイバー伝送システムである。しかし、多重化にともなう合波・分波によって光ファイバーに結合されたレーザー光のパワーは小さくなる。さらに、光ファイバー中をレーザー光が伝搬すると、レーザー光のパワーが減衰するので、レーザー光を増幅するためにエルビウム添加光ファイバー増幅器が用いられている。

低消費電力で光増幅効率を向上することを目的とし、エルビウム添加光ファイバー増幅器の励起用光源である半導体レーザーに要求される性能について検討した。この結果、励起用半導体レーザーの射出ビームを単峰化した状態で高出力化することで半導体レーザーの射出ビームを効率よく光ファイバー増幅器に結合するとともに、半導体レーザーの発振しきい電流を低減することが大切であるという結論にいたった。さて、前述の位相シフトDFBレーザーの動作原理は、縦モードとよばれる共振器軸方向のモード(光強度分布)を制御することであったのに対し、射出ビームの単峰化は、横モードとよばれる共振器軸に垂直な方向のモードの制御と結びついている。そこで、応募者は、半導体レーザーの横モードの研究に着手し、単峰性の基本横モードのみを光導波路に閉じ込め、多峰性の高次横モードは光導波路から放射される反導波構造を提案し、解析をおこなった。その結果、単峰性の基本横モードを安定かつ低発振しきい電流で実現できる見通しを得ることができた。

2. 研究の目的

光ファイバー通信用半導体レーザーおよび光記録・読み出し用半導体レーザーにおいて、横モードを制御することが、本研究の目的である。光ファイバー通信用半導体レーザーとしては、エルビウム添加光ファイバー増幅器の励起用光源において、安定な単峰性ビームを維持した状態で光出力を向上させることで、レーザー光の光ファイバー増幅器への結合効率を増し、低消費電力で高い光増幅率を得ることを目指す。

3. 研究の方法

安定な単峰性射出ビームが得られる半導体レーザーを創出するために、結合光導波路を備えたリッジ型半導体レーザーおよび共振器の軸方向と垂直な方向に周期的な屈折率分布をもつリッジ型半導体レーザーについて、有限要素法を用いた解析をおこなう。この研究を通して、屈折率分布とビーム形状の安定性、発振しきい電流との関係を明らかにする。

4. 研究成果

結合光導波路を備えたリッジ型半導体レーザーにおいて結合光導波路の材質を半導体から誘電体に変更することで結合光導波路へのリーク電流を低減した。さらに結合光導波路とメサとの距離をゼロにしたリッジ型半導体レーザーを提案した。この結果、単峰射出ビーム、高光出力を維持した状態で通常のリッジ型半導体レーザーよりも発振しきい電流を低減することができた。横方向回折格子をもつリッジ型半導体レーザーを提案し、さらに横方向回折格子の上部を絶縁体にするすることで、横方向回折格子へのリーク電流を低減した。この結果、単峰射出ビーム、高光出力を維持した状態で通常のリッジ型半導体レーザーよりも発振しきい電流を低減することができた。

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 4件)

[1] D. Katsuragawa and T. Numai, "Simulation of a Ridge-Type Semiconductor Laser with Selective Double-sided Anti-guiding and Partially Undoped Cladding Layers," Opt. Quantum Electron., vol.47 査読有、印刷中(2015) DOI 10.1007/s11082-014-0084-z

[2] D. Katsuragawa and T. Numai, "Simulation of a Ridge-Type Semiconductor Laser with Partially Formed Anti-guiding Cladding Layers," Opt. Quantum Electron., vol.47 査読有、印刷中(2015) DOI 10.1007/s11082-014-0090-1

[3] G. Chai and T. Numai, "Simulation of a Ridge-Type Semiconductor Laser with Horizontal Coupling of Lateral Modes," *Opt. Quantum Electron.*, vol.46 査読有 pp. 1217-1223 (2014) DOI 10.1007/s11082-013-9821-y

[4] H. Kato, H. Yoshida, and T. Numai, "Simulation of a Ridge-Type Semiconductor Laser for Separate Confinement of Horizontal Transverse Modes and Carriers," *Opt. Quantum Electron.*, vol.45 査読有 pp. 573-579 (2013) DOI 10.1007/s11082-012-9620-x

〔学会発表〕(計 17 件)

[1] T. Numai, "Control of Longitudinal and Transverse Modes in Semiconductor Lasers," 2015 EMN Optoelectronics Meeting, A-13 (Invited), Beijing, China (2015 年 4 月 24 日).

[2] 大島光則, 沼居貴陽「選択的絶縁体クラッド層を有するリッジ型半導体レーザー」第 75 回応用物理学学会学術講演会(2014 年 9 月 18 日)北海道大学(北海道・札幌市).

[3] 平崎琢也, 沼居貴陽「横方向回折格子と選択的絶縁体クラッド層を有するリッジ型半導体レーザー クラッド層厚依存性」第 75 回応用物理学学会学術講演会(2014 年 9 月 18 日)北海道大学(北海道・札幌市).

[4] D. Katsuragawa and T. Numai, "Simulation of a Ridge-type Semiconductor Laser with Selective Double-Sided Anti-guiding and Partially Undoped Cladding Layers," 14th International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD 2014), Palma de Mallorca, Spain, (2014 年 9 月 1 日).

[5] 大島光則, 沼居貴陽「選択的絶縁体クラッド層を有する非対称リッジ型半導体レーザー」第 61 回応用物理学学会春季学術講演会(2014 年 3 月 18 日)青山学院大学相模原キャンパス(神奈川県・相模原市).

[6] 平崎琢也, 沼居貴陽「横方向回折格子と選択的絶縁体クラッド層を有するリッジ型半導体レーザー 回折格子次数依存性」第 61 回応用物理学学会春季学術講演会(2014 年 3 月 18 日)青山学院大学相模原キャンパス(神奈川県・相模原市).

[7] 大島光則, 沼居貴陽「選択的絶縁体反導波クラッド層を設けた非対称リッジ型半導体レーザーにおける低しきい値・キンクフリー発振」第 74 回応用物理学学会学術講演会(2013 年 9 月 16 日)同志社大学京田辺キャンパス(京都府・京田辺市).

[8] 平崎琢也, 沼居貴陽「横方向回折格子を設けたリッジ型半導体レーザーにおけるレーザー特性と横方向回折格子の次数との関係低しきい値・キンクフリー発振」第 74 回応用物理学学会学術講演会(2013 年 9 月 16 日)同志社大学京田辺キャンパス(京都府・京田辺市).

[9] G. Chai and T. Numai, "Simulation of a Ridge-Type Semiconductor Laser with Horizontal Coupling of Lateral Modes," 13th International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD 2013), University of British Columbia, Vancouver, Canada, (2013 年 8 月 19 日).

[10] D. Katsuragawa and T. Numai, "Symmetric Ridge-type Semiconductor Laser with Selectively Formed Double-Sided Antiguiding Cladding Layers," Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2013 in Stockholm), Stockholm, Sweden (2013 年 8 月 15 日).

[11] 檜垣将広, 沼居貴陽「選択的反導波クラッド層を設けた非対称リッジ型半導体レーザーにおけるメサ幅依存性」第 60 回応用物理学学会春季学術講演会(2013 年 3 月 29 日)神奈川工科大学(神奈川県・厚木市).

[12] 福屋準, 沼居貴陽「横方向回折格子を設けたリッジ型半導体レーザーにおけるメサ幅依存性」第 60 回応用物理学学会春季学術講演会(2013 年 3 月 29 日)神奈川工科大学(神奈川県・厚木市).

[13] 檜垣将広, 沼居貴陽「選択的反導波クラッド層を設けた非対称リッジ型半導体レーザー」第 73 回応用物理学学会学術講演会(2012 年 9 月 12 日)愛媛大学(愛媛県・松山市).

[14] 福屋準, 沼居貴陽「横方向回折格子を設けたリッジ型半導体レーザー」第 73 回応用物理学学会学術講演会(2012 年 9 月 12 日)愛媛大学(愛媛県・松山市).

[15] M. Higaki and T. Numai, "Asymmetric Ridge-type Semiconductor Laser with a Selectively Formed Single-Sided Antiguiding Cladding Layer," IEICE Technical Meeting (2012 年 12 月 15 日)機械振興会館(東京都).

[16] G. Chai and T. Numai, "Ridge-Type Semiconductor Laser with a Partially Undoped Antiguiding Cladding Layer for Horizontal Transverse Modes," Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS 2013 in Taipei), Taipei, Taiwan (2013 年 3 月 26 日).

[17] H. Kato, H. Yoshida, and T. Numai, "Simulation of a Ridge-Type Semiconductor Laser for Separate Confinement of Horizontal Transverse Modes and Carriers," 12th International Conference on Numerical Simulation of Optoelectronic Devices (NUSOD 2012), Shanghai, China, (2012 年 8 月 30 日).

〔図書〕(計 4 件)

[1] Takahiro Numai, "Fundamentals of Semiconductor Lasers" Second Edition, 289 ページ (Springer, 2014).

- [2] 沼居貴陽『大学生のための量子力学演習』243 ページ(共立出版, 2013).
- [3] 沼居貴陽編著『OHM 大学テキスト 固体物性工学』pp.1-35(オーム社, 2012).
- [4] 沼居貴陽『OHM 大学テキスト 半導体デバイス工学』(大村泰久編著) pp.157-168(オーム社, 2012).

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ritsumei.ac.jp/se/re/numailab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沼居 貴陽 (NUMAI, Takahiro)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号: 60261351