

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2013

課題番号：21560048

研究課題名(和文)量子ドット光トライオードを用いた光集積回路の研究

研究課題名(英文)Study on optical integrated circuits using quantum dot optical triode

研究代表者

前田 佳伸 (Maeda, Yoshinobu)

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：30219282

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本提案者が提唱する半導体光増幅器の相互利得変調を利用した「光トライオード」は、光信号を同一波長の光信号で制御可能な光信号増幅3端子素子である。量子構造の半導体光増幅器を集積化した光トライオードモジュールを試作した。また、本光トライオードモジュールを負帰還光増幅器として動作可能であることを証明した。エレクトロニクスにおいては負帰還増幅技術は最重要技術の一つであり、本研究において負帰還光増幅器として動作することを確認した学術的意義は大きい。さらに、光トライオードの波長変換特性を応用し、単一波長の入力光信号を複数の異なる波長に波長変換をして伝送する全光マルチキャスト特性を示した。

研究成果の概要(英文)：We demonstrated noise suppression characteristics of negative feedback optical amplifier using an optical triode. Optical triode was constituted by two semiconductor optical amplifiers. Noise suppression characteristic was evaluated by investigating the relationship of negative feedback light intensity with bit error rate. The BER curves obtained from measurement results showed reduction in BER as negative feedback light intensity increases. Further analysis revealed that although the signal gain decreases by 2.4 dB, power penalty was improved remarkably by 15 dB. This will result an output signal whose gain, waveform, and baseline, which stabilized automatically. Because of these experimental findings, it was shown possible to reduce optical amplification noise to a low level using optical triode. We also demonstrated an all-optical wavelength conversion and multicasting characteristics based on an all-optical triode using two negative feedback semiconductor optical amplifiers.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用光学・量子光工学

キーワード：光トライオード 半導体光増幅器 相互利得変調 負帰還光増幅効果 マルチキャスト

1. 研究開始当初の背景

将来のフォトニックネットワークでは、より広い帯域での波長分割多重(Wavelength Division Multiplex: WDM)伝送の需要が進み、WDMネットワークノードにおけるコスト・消費電力増大の原因とされる光/電気/光の波長変換器を不用とする全光型の波長変換デバイスが必要不可欠となっている。全光マルチキャストを行う方式としては、電界吸収型光変調器(Electro absorption modulator: EAM)半導体光増幅器(Semiconductor optical amplifier: SOA)の非線形効果である相互位相変調(Cross phase modulation: XPM)や相互利得変調(Cross gain modulation: XGM)、XPMとXGMを組み合わせた方式が報告されている。XPMを利用した方式では高い消光比を得ることができるがダイナミックレンジが小さい。一般的にXGMを利用した波長変換器は、SOAに対して信号光とプローブ光を入力してフィルタで波長選択する簡易な構成で実現できるが、高い消光比を得ることが難しい。また、1段のXGMを利用した波長変換方式では信号強度が反転しているため、受信側で電氣的に反転する必要がある。XGMを2段用いて再度信号を反転して元の信号に戻すことも可能であるが、1段目で劣化した消光比が2段目で更に劣化する欠点があった。

2. 研究の目的

我々は、反射型半導体光増幅器(Reflect SOA:RSOA)におけるXGMを2段用いたタンデム波長変換型の3端子増幅素子である光トライオード(Optical triode)を実現した。本光トライオードは、小さなパワーの制御光で光入出力特性を大きく制御することが可能であり、同時に入力信号を制御光の波長に変換する波長変換機能を有している。また、反射型のSOAには、信号光に対して強度反転した自然放出光(Amplified spontaneous emission: ASEをフィードバックすることによって起こる負帰還光増幅効果(Negative feedback optical amplification effect)^{6,7})が生じていることを見出した。本効果は強度反転したASE光によってSOA内部の利得が変調され、その利得の変調されたところに入力信号が入射することによって出力信号の変調が高められ、SN比を改善し、低ノイズおよび低歪み増幅を実現するものである。さらに、SOAの一端に特殊な反射波長特性を有する光ファイバ型フィルタ(Fiber Bragg grating: FBG)を用いることにより、ASE光の一部をSOAに帰還させた負帰還半導体光増幅器(Negative feedback semiconductor optical amplifier: NF-SOA)を2段用いることで光トライオードを構成するのが目

的である。

また、光トライオードの波長変換特性を応用し、単一波長の入力光信号を複数の異なる波長に波長変換をして伝送する全光マルチキャスト特性を示すのが目的である。

3. 研究の方法

負帰還半導体光増幅器を用いた光トライオードを構成する。Fig.1は光トライオードの構成を示す。実験で使用した2つのSOAは、InGaAsP-InPリッジタイプの量子ドット半導体光増幅器を用いた。多重量子井戸で構成されたInGaAsPの活性層(素子長: 700 μm)の中心波長は約1520 nmであり、200 mAの注入電流でファイバ端の利得が約18dBが得られた。実験で使用したFBG-1およびFBG-2は、反射中心波長のわずかに異なる二種類のチャープグレーティング(反射中心波長 1548 nmおよび1554 nmを光ファイバの近接した二箇所へそれぞれ書き込んだ。反射スペクトルを持つFBG-1およびFBG-2の先端をレンズ化して、SOAの一端に取り付けることによってNF-SOAを構成した。本FBGを用いてASE光をSOAにフィードバックさせることによってNF-SOAを実現しているが、入力光の信号と負帰還光ASE光の信号が時間的に重ならないと効果を発揮しない。

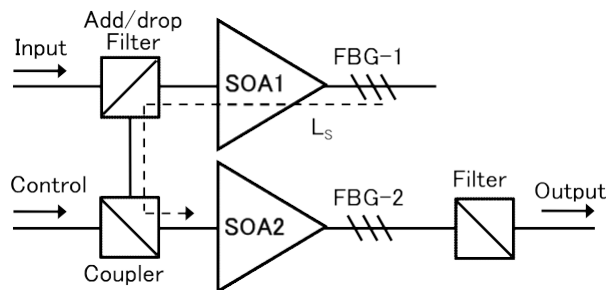


Fig. 1 Block diagram of all-optical triode. SOA-1 and SOA-2: Semiconductor optical amplifier, FBG-1 and FBG-2: Fiber Bragg grating.

今回の試作においてはSOAとFBGの間隔は1 mm以下であり、信号の90%が重なりと仮定して計算を行えば10 Gbps程度までは負帰還光増幅効果が得られることになる。波長可変レーザー光源から得られた波長1551 nmのレーザー光を光変調器で強度変調を行い、エルビウム添加光ファイバ増幅器(Erbium-doped fiber amplifier: EDFA)で信号増幅した後にバンド幅1 nmのフィルタを透過させて入力光とした。その入力光を200 GHzアド・ドロップフィルタ(中心波長: 1551 nm, バンド幅: 0.8 nm)の透過ポートから入力ポートに接続され

た1段目の半導体光増幅器 SOA-1 に入力した .SOA-1 内部では,1551 nm の入力光が増幅されると同時に,その周囲波長の ASE 光は XGM によって入力信号のビットパターンに対して強度反転した信号に強度変調され,他端から放出される.その ASE 光の一部が FBG-1 によって反射され,アド・ドロップフィルタの反射ポート から2段目の SOA-2 に送られる.ここでアド・ドロップフィルタを用いた理由は,透過ポートから波長 1551 nm の入力信号を入力し,反射ポートにその波長 1551 nm の光が出力されるのを防ぐためである.FBG-1 で反射された周囲光 L_S は光カプラによって SOA-2 に入力される.一方,光カプラの他端から波長可変レーザー光源より得られた制御光が SOA-2 に入力される.SOA-2 内では入力信号の反転した信号を有する周囲光 L_S によって XGM が生じ,その信号を制御光の重畳によって増幅させる構成となっている.

4. 研究成果

光トライオードを用いたマルチキャストイングを代表的に示す.入力光には,波長 1551 nm を使用し,外部光変調器にて伝送速度 2.5 Gbps,擬似ランダムビット列 Pseudo random bit sequence: PRBS のビット長 $2^{31}-1$ の NRZ Non return-to-zero 信号に強度変調を行い,平均パワー 8 dBm とした.マルチキャストイングを行うための制御光 (CW 光)として,波長 1530 nm,1533 nm,1536 nm,および 1539 nm の4チャンネルで実験を行い,平均パワーはそれぞれ -5 dBm とした.マルチキャストを行うため複数の制御光を用いているため,出力端において波長分離する必要がある.本実験では,波長可変バンドパスフィルタを用いて,透過波長を制御光と同じ波長となるように調整した. Fig.2 にビットエラー (BER) 測定結果を示す.消光比はそれぞれ 8.3dB,9.1dB,8.7dB,および 6.4dB が得られた.1530 nm ~ 1536 nm の波長帯域では同等の結果が得られた.

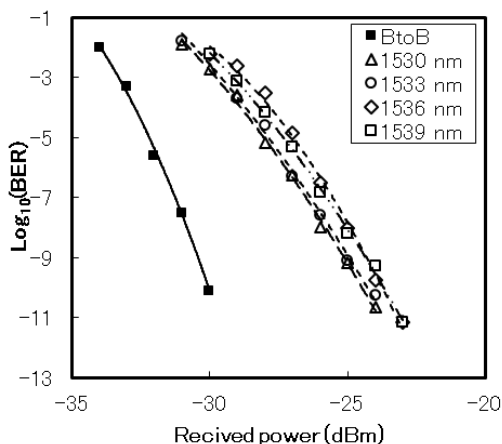


Fig. 2 BER results of 1530, 1535, 1540 and 1560 nm, respectively.

マルチキャストイングでは,四光波混合などのチャンネル間相互作用の影響を回避するため,チャンネル間隔は100 GHz以上に設定する必要がある.我々が試作した光トライオードの動作可能なチャンネル間隔の検証を行う.チャンネル間隔を100 GHz(波長間隔:0.8 nm)とし,制御光として波長1550.91 nm(ch.1および1551.72 nm(ch.2を用いた.光トライオードより得られた出力光をバンドパスフィルタにより波長分離を行い,1550.91 nm(ch.1の BERの測定を行った.消光比はそれぞれ4.6dBおよび4.2dBとなった.パワー・ペナルティはそれぞれ5.1dBおよび5.6dBとなり,ch.2を増やすことによって約0.4dB増加した.これはチャンネル数とパワー・ペナルティの関係(波長間隔:3 nm)と同等の結果となり,チャンネル間隔が100 GHzでの動作が可能であると考えられる.

我々が試作した光トライオードは,同一の波長の入力光,制御光および出力光でも動作可能な信号増幅作用を有する三端子素子である.さらに,本研究において,本光トライオードで同時に複数の波長変換を行うことを示し,波長変換素子としても有用であることがわかった.これは,光信号を電気に変換し信号処理を行い再度光に変換する過程を,1つの光デバイスのみで光信号のまま信号処理が可能であることを示す.また,今回は制御光としてCW光を用いたが,変調させた制御光を用いた場合には,入力信号の一部を取り出す光スイッチング機能を有することから,今後の波長多重通信や光制御における光エレクトロニクス分野のキーデバイスとして発展が期待できる.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7件)

Syafiq Azmi, Yuma Fujikawa, Siti Aisyah, Yoshinobu Maeda, Bit Error Rate Reduction Characteristic of Negative Feedback Optical Amplifier Using an Optical Triode, IEICE Trans. Electronics., 査読有, Vol.E-97-C, 2014, pp.300-305.

岡嶋亮輔, 藤川祐馬, 前田佳伸, 負帰還半導体光増幅器を用いた光トライオードのマルチキャスト特性, レーザー研究, 査読有, 40巻, 2012, pp.703-708. 前田佳伸, 近藤研人, 谷本浩一, 中山秀樹, 波長可変 Add/drop フィルタを用いたレーザー発振制御による光ファイバループ増幅器のリングダウンパルス特性, レーザー研究, 査読有, 39巻, 2011, pp.41-45.

谷本浩一, 松尾, 前田佳伸, 反射型半導

体光増幅器を用いたキャビティリング
ダウン分光分析、電気学会論文誌 E、査
読有、131 巻、2011、pp.292-295.

前田佳伸、河嶋信吾、松尾、邊、中山秀
樹、Er ドープ光ファイバ増幅器における
負帰還光増幅効果、レーザー研究、査読
有、39 巻、2011、pp.440-444.

Y. Maeda, M. Matsuo, K. Tanimoto, M.
Takagi, H. Nakayama, Negative feedback
semiconductor optical amplifier using
fiber Bragg grating, Integrated
Photonics Research Silicon and Nano
Photonics, 査読有、2010、JTUB4.

前田佳伸、谷本浩一、松尾、高木、中山
秀樹、位相マスク干渉法によるファイバ
ブラッググレーティングを用いた負帰還
半導体増幅器の雑音抑制効果、レーザー
研究、査読有、38 巻、2010、pp.219-224.

[学会発表](計 7 件)

S. Aisya Azizan, M. Syafiq Azmi, Y.
Maeda, Multicasting characteristics
of all-optical triode based on two
semiconductor optical amplifiers and
laser modules, 2nd Annual International
Conference Optoelectronics, Photonics
& Applied Physics, Hotel Fort Canning,
Singapore, 2014.

アズミ モハマドシャフィック、シティ
アイシャ、前田佳伸、光トライオードを
用いた負帰還光増幅効果の雑音抑制特性、
レーザー学会、小倉国際会議場、2014.

S. Aisya Azizan, M. Syafiq Azmi, Y.
Maeda, Multicasting characteristics
of all-optical triode based on two
semiconductor optical amplifiers and
laser modules, 電子情報通信学会、福岡
工業大学、2013.

Azmi M. Syafiq, Y. Fujikawa, Azizan S.
Aisya, Y. Maeda, Noise suppression
characteristics of negative feedback
optical amplifier using an optical
triode, 18th OptoElectronics and
Communications Conference, Kyoto
International Conference Center,
2013.

Y. Fujikawa, H. Tanimoto, Y. Maeda,
Optical fiber loop memory based on
semiconductor optical amplifier using
isolator and filter, 17th Microoptics
Conference, Sendai International
Center, 2011.

岡嶋、ルビダヤティアス、前田佳伸、負帰還
半導体光増幅器を用いた光トライオード
のマルチキャスト特性、レーザー
学会学術講演会第31回年次大会、電気通
信大学、2011.

前田佳伸、高木、中山、ファイバブラッ
ググレーティングを用いた負帰還半導体

光増幅器、第 70 回応用物理学学会学術講演
会、富山大学、2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前田 佳伸 (MAEDA, Yoshinobu)

近畿大学・理工学部・教授

研究者番号：30219282