

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5614569号
(P5614569)

(45) 発行日 平成26年10月29日 (2014. 10. 29)

(24) 登録日 平成26年9月19日 (2014. 9. 19)

(51) Int. Cl. F 1
HO 1 S 5/50 (2006. 01) HO 1 S 5/50 6 1 0
GO 2 B 6/42 (2006. 01) GO 2 B 6/42

請求項の数 12 (全 18 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2009-6776 (P2009-6776) (22) 出願日 平成21年1月15日 (2009. 1. 15) (65) 公開番号 特開2010-166317 (P2010-166317A) (43) 公開日 平成22年7月29日 (2010. 7. 29) 審査請求日 平成24年1月14日 (2012. 1. 14)</p>	<p>(73) 特許権者 000125347 学校法人近畿大学 大阪府東大阪市小若江3丁目4番1号 (74) 代理人 100085361 弁理士 池田 治幸 (74) 代理人 100147669 弁理士 池田 光治郎 (72) 発明者 前田 佳伸 三重県四日市市河原田町2220番地 審査官 百瀬 正之</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光信号増幅装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1波長の入力信号光が入力されると、該入力信号光の強度に応じて該第1波長の周囲光の光強度増幅特性を変調し、該入力信号光を増幅した光と該入力信号光の強度に対して強度反転した該第1波長を含まない第1周囲光とを出力する第1半導体光増幅器と、第2波長の第2入力信号光が入力されると、該第2入力信号光の強度に応じて該第2波長以外の光の光強度増幅特性が変調され、該第2入力信号光を増幅した出力光と該第2入力信号光の強度に対して強度反転した該第2波長を含まない第2周囲光とを出力する第2半導体光増幅器と、前記第1半導体光増幅器から出力された光のうち前記第1周囲光を選択して前記第2半導体光増幅器へ入力させる第1波長選択素子と、前記第2半導体光増幅器から出力された光のうち前記第2周囲光を反射し、該第2周囲光を該第2半導体光増幅器へ再入力して負帰還増幅させる第2波長選択素子とを、含み、前記第1周囲光とは異なる波長の制御光が前記第2入力信号光として前記第2半導体光増幅器へ入力させられることにより該制御光と同じ波長の前記出力光を出力する光信号増幅装置であって、

前記第1波長選択素子および第2波長選択素子は、相互に重複しない反射波長帯を有することを特徴とする光信号増幅装置。

【請求項2】

共通ファイバ部と、該共通ファイバ部の一端から分岐された一対の第1分岐ファイバ部および第2分岐ファイバ部とを備え、該第1分岐ファイバ部に前記第1半導体光増幅器から出力される光が入力され、該共通ファイバ部に前記制御光が入力され、該第2分岐フ

イバ部から前記第2半導体光増幅器へ入力される第1光カプラと、
前記第2半導体光増幅器から出力される光を導く出力用光ファイバと
を、含み、

前記第1波長選択素子は、前記共通ファイバ部に設けられ、前記第1半導体光増幅器から出力された第1周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうち一方の波長帯に属する第1部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、該第1部分周囲光を前記第2半導体光増幅器へ入力させる第1ブラッグ反射格子から構成されたものであり、

前記第2波長選択素子は、前記出力用光ファイバに設けられ、前記第2半導体光増幅器から出力された第2周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうち他方の波長帯に属する第2部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、該第2部分周囲光を該第2半導体光増幅器へ再入力させる第2ブラッグ反射格子から構成されたものであることを特徴とする請求項1の光信号増幅装置。

10

【請求項3】

前記入力信号光を前記第1半導体光増幅器へ導く第1入力用光ファイバと、
該第1入力用光ファイバに設けられ、該第1半導体光増幅器から出力された前記第1周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうち一方の波長帯に属する前記第1部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、該第1部分周囲光を該第1半導体光増幅器へ再入力して負帰還増幅させる第3ブラッグ反射格子と
を、含むことを特徴とする請求項1または2の光信号増幅装置。

【請求項4】

前記第1波長の入力信号光が入力されると、該入力信号光の強度に応じて該第1波長の周囲光の光強度増幅特性を変調し、該入力信号光を増幅した光と該入力信号光の強度に対して強度反転した該第1波長の周囲の第3周囲光とを、前記第1半導体光増幅器へ出力する第3半導体光増幅器を、含むことを特徴とする請求項1または2の光信号増幅装置。

20

【請求項5】

前記第3半導体光増幅器からの前記入力信号光の増幅光である前記第1波長の出力光を反射するための第4ブラッグ反射格子が設けられた共通ファイバ部と、該共通ファイバ部の一端から分岐する一対の前記第1分岐ファイバ部および第2分岐ファイバ部とを有し、該第1分岐ファイバ部に該第3半導体光増幅器からの該第1波長の出力光が入力され、該第4ブラッグ反射格子により反射された該第1波長の出力光が該第2分岐ファイバ部を介して前記第1半導体光増幅器へ入力される第2光カプラを、含むことを特徴とする請求項4の光信号増幅装置。

30

【請求項6】

前記入力信号光を前記第3半導体光増幅器へ導く第2入力用光ファイバと、
該第2入力用光ファイバに設けられ、前記第3半導体光増幅器から出力された前記第3周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうち一方の波長帯に属する第5部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、該第5部分周囲光を該第3半導体光増幅器へ再入力して負帰還増幅させる第5ブラッグ反射格子と
を、含むことを特徴とする請求項4または5の光信号増幅装置。

【請求項7】

前記第2光カプラの第2分岐部の第1半導体光増幅器側の端部に、該第1半導体光増幅器からの第1周囲光のうち前記第1波長を挟む一対の波長帯のうち一方の波長帯に属する第1部分周囲光を該第1半導体光増幅器へ反射する反射波長帯を有する第6ブラッグ反射格子を備えることを特徴とする請求項5の光信号増幅装置。

40

【請求項8】

前記第1波長の入力信号光が入力されると、該入力信号光の強度に応じて該第1波長の周囲光の光強度増幅特性を変調し、該入力信号光を増幅した光と該入力信号光の強度に対して強度反転した該第1波長の周囲の第3周囲光とを、前記第1半導体光増幅器へ出力する第3半導体光増幅器と、

前記第3半導体光増幅器からの前記入力信号光の増幅光である前記第1波長の出力光を

50

反射するための第4ブラッグ反射格子が設けられた共通ファイバ部と、該共通ファイバ部の一端から分岐する一対の前記第1分岐ファイバ部および第2分岐ファイバ部とを有し、該第1分岐ファイバ部に該第3半導体光増幅器からの該第1波長の出力光が入力され、該第4ブラッグ反射格子により反射された該第1波長の出力光が該第2分岐ファイバ部を介して前記第1半導体光増幅器に入力される第2光カプラとを、含み、

前記第1ブラッグ反射格子は、前記第2光カプラの共通ファイバ部の他端部から入力され且つ前記第1半導体光増幅器により増幅された前記第1波長とは異なる第3波長のパイアス光を、該第1半導体光増幅器から出力された第1周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうち他方の波長帯に属する第1部分周囲光と共に、前記第2半導体光増幅器へ反射するものであることを特徴とする請求項2の光信号増幅装置。

10

【請求項9】

前記第1ブラッグ反射格子は、前記第2ブラッグ反射格子の反射波長帯よりも広い反射波長帯を有するものであることを特徴とする請求項2の光信号増幅装置。

【請求項10】

前記第1光カプラを構成する光ファイバおよび前記出力用光ファイバは、偏波面無依存性光ファイバから構成されていることを特徴とする請求項2の光信号増幅装置。

【請求項11】

前記第2光カプラを構成する光ファイバは、偏波面無依存性光ファイバから構成されていることを特徴とする請求項5の光信号増幅装置。

20

【請求項12】

前記制御光の波長は前記第1波長であることを特徴とする請求項1乃至11のいずれか1の光信号増幅装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光信号を低歪み、高変調度で増幅するための光信号増幅装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

電気信号を光信号に変換して増幅し、伝送する分野においては、半導体レーザや発光ダイオード等の電気/光変換素子の変換特性に基づいて、変換された光信号が電気信号に比較して大きく歪むことが知られている。特に、パルス的な電気信号を半導体レーザに入力した場合には、出力される光信号のパルスの立ち上がり時に光信号強度が急激に増加してヒゲのようにオーバーシュートした光信号波形が得られる。一般的には、これらの光信号波形を光増幅器で増幅した場合、その歪みが増幅して伝達され、光学的にその歪みを低減する技術は得られていない。また、エレクトロニクス分野において負帰還増幅制御は低歪み増幅器を構成する重要な技術であるが、光増幅器にはそれに相当する技術が得られていない。さらに、エレクトロニクス分野においては、トランジスタのように信号増幅作用を有する3端子の増幅器が存在するが、光エレクトロニクスの分野では得られていない。

30

【0003】

これに対し、本発明者は、半導体光増幅器(SOA)の相互利得変調現象を利用して、所定波長1の入力信号光に対して半導体光増幅器を通過後の周囲光(1を中心とする1以外の波長帯の光)を入力側に帰還させることによりその入力信号光を低歪みに増幅可能であることを示し、負帰還光増幅効果(Negative feedback optical amplification effect)と名付けた(非特許文献1)。本効果は、周囲光がXGM(相互利得変調)によって入力信号光に対して強度反転を示すことから、この周囲光をフィードバックさせることにより半導体光増幅器の利得を入力信号光に応じて変調して負帰還光増幅効果が得られ、光学的に信号波形の歪みが低減されるとともに、高い変調度を得られる。

40

【先行技術文献】

【非特許文献】

50

【 0 0 0 4 】

【非特許文献1】「Negative feedback optical amplification effect based on cross-gain modulation in semiconductor optical amplifiers」(Applied Physics Letters, Volume 88, published 8 March 2006)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

ところで、本発明者は、上記従来の負帰還光増幅効果を利用して、光学部品を保持する構造を不要とし且つ装置を小型、安価に構成できる3端子型の光増幅装置を着想した。この光増幅装置は、未公知であるが、(a)第1波長の入力信号光が入力されると、該入力信号光の強度に応じて該第1波長の周囲光の光強度増幅特性を変調し、該入力信号光を増幅した光と該入力信号光の強度に対して強度反転した該第1波長を含まない第1周囲光とを出力する第1半導体光増幅器と、(b)第2波長の第2入力信号光が入力されると、該第2入力信号光の強度に応じて該第2波長以外の光の光強度増幅特性が変調され、該第2入力信号光を増幅した出力光と該第2入力信号光の強度に対して強度反転した該第2波長を含まない第2周囲光とを出力する第2半導体光増幅器と、(c)前記第1半導体光増幅器から出力された光のうち前記第1周囲光を選択して前記第2半導体光増幅器へ入力させる第1波長選択素子と、(d)前記第2半導体光増幅器から出力された光のうち前記第2周囲光を反射し、該第2周囲光を該第2半導体光増幅器へ再入力して負帰還増幅させる第2波長選択素子とを、含むものである。

【 0 0 0 6 】

しかしながら、上記光信号増幅装置によれば、第1半導体光増幅器から出力された第1周囲光を反射する第1ブラッグ反射格子は前記第1波長の両側の反射波長帯を有するとともに、負帰還増幅のために第2半導体光増幅器から出力された第2周囲光を再入力させるために反射する第2ブラッグ反射格子も前記第1波長帯の両側の反射波長帯を有することから、第1ブラッグ反射格子の反射波長帯と第2ブラッグ反射格子の反射波長帯とが相互に重複する部分を有することになるので、光共振による発振が発生して光信号増幅動作が不安定となるおそれがあった。

【 0 0 0 7 】

本発明は以上の事情を背景としてなされたものであり、その目的とするところは、光共振による発振が発生せず、光信号増幅動作が安定した光信号増幅装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

本発明者は以上の事情を背景として種々検討を重ねた結果、第1半導体光増幅器から出力された第1周囲光を反射する第1ブラッグ反射格子の反射波長帯と、負帰還増幅のために第2半導体光増幅器から出力された第2周囲光を再入力させるために反射する第2ブラッグ反射格子の反射波長帯とが相互に重ならないようにすると、負帰還増幅を利用した光信号増幅作用が安定して得られるという点を見いだした。本発明はこのような知見に基づいてなされたものである。

【 0 0 0 9 】

すなわち、前記目的を達成するための請求項1に係る発明は、(a)第1波長の入力信号光が入力されると、該入力信号光の強度に応じて該第1波長の周囲光の光強度増幅特性を変調し、該入力信号光を増幅した光と該入力信号光の強度に対して強度反転した該第1波長を含まない第1周囲光とを出力する第1半導体光増幅器と、(b)第2波長の第2入力信号光が入力されると、該第2入力信号光の強度に応じて該第2波長以外の光の光強度増幅特性が変調され、該第2入力信号光を増幅した出力光と該第2入力信号光の強度に対して強度反転した該第2波長を含まない第2周囲光とを出力する第2半導体光増幅器と、(c)前記第1半導体光増幅器から出力された光のうち前記第1周囲光を選択して前記第2半導体光増幅器へ入力させる第1波長選択素子と、(d)前記第2半導体光増幅器から出力され

た光のうち前記第2周囲光を反射し、該第2周囲光を該第2半導体光増幅器へ再入力して負帰還増幅させる第2波長選択素子とを、含み、(e)前記第1周囲光とは異なる波長の制御光が前記第2入力信号光として前記第2半導体光増幅器へ入力させられることにより該制御光と同じ波長の前記出力光を出力する光信号増幅装置であって、(f)前記第1波長選択素子および第2波長選択素子は、相互に重複しない反射波長帯を有することを特徴とする。

【0010】

また、請求項2に係る発明は、請求項1に係る発明において、(g)共通ファイバ部と、該共通ファイバ部の一端から分岐された一对の第1分岐ファイバ部および第2分岐ファイバ部とを備え、該第1分岐ファイバ部に前記第1半導体光増幅器から出力される光が入力され、該共通ファイバ部に前記制御光が入力され、該第2分岐ファイバ部から前記第2半導体光増幅器へ入力される第1光カプラと、(h)前記第2半導体光増幅器から出力される光を導く出力用光ファイバとを、含み、(i)前記第1波長選択素子は、前記共通ファイバ部に設けられ、前記第1半導体光増幅器から出力された第1周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうち一方の波長帯に属する第1部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、該第1部分周囲光を前記第2半導体光増幅器へ入力させる第1ブラッグ反射格子から構成されたものであり、(j)前記第2波長選択素子は、前記出力用光ファイバに設けられ、前記第2半導体光増幅器から出力された第2周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうち他方の波長帯に属する第2部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、該第2部分周囲光を該第2半導体光増幅器へ再入力させる第2ブラッグ反射格子から構成されたものであることを特徴とする。

【0011】

また、請求項3に係る発明は、請求項1または2に係る発明において、(k)前記入力信号光を前記第1半導体光増幅器へ導く第1入力用光ファイバと、(l)該第1入力用光ファイバに設けられ、該第1半導体光増幅器から出力された前記第1周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうち一方の波長帯に属する前記第1部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、該第1部分周囲光を該第1半導体光増幅器へ再入力して負帰還増幅させる第3ブラッグ反射格子とを、含むことを特徴とする。

【0012】

また、請求項4に係る発明は、請求項1または2に係る発明において、(m)前記第1波長の入力信号光が入力されると、該入力信号光の強度に応じて該第1波長の周囲光の光強度増幅特性を変調し、該入力信号光を増幅した光と該入力信号光の強度に対して強度反転した該第1波長の周囲の第3周囲光とを前記第1半導体光増幅器へ出力する第3半導体光増幅器を、含むことを特徴とする。

【0013】

また、請求項5に係る発明は、請求項4に係る発明において、(n)前記第3半導体光増幅器からの前記入力信号光の増幅光である前記第1波長の出力光を反射するための第4ブラッグ反射格子が設けられた共通ファイバ部と、該共通ファイバ部の一端から分岐する一对の前記第1分岐ファイバ部および第2分岐ファイバ部とを有し、該第1分岐ファイバ部に該第3半導体光増幅器からの該第1波長の出力光が入力され、該第4ブラッグ反射格子により反射された該第1波長の出力光が該第2分岐ファイバ部を介して前記第1半導体光増幅器へ入力させる第2光カプラを、含むことを特徴とする。

【0014】

また、請求項6に係る発明は、請求項4または5に係る発明において、(o)前記入力信号光を前記第3半導体光増幅器へ導く第2入力用光ファイバと、(p)該第2入力用光ファイバに設けられ、前記第3半導体光増幅器から出力された前記第3周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうち一方の波長帯に属する第5部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、該第5部分周囲光を該第3半導体光増幅器へ再入力して負帰還増幅させる第5ブラッグ反射格子とを、含むことを特徴とする。

【0015】

また、請求項 7 に係る発明は、請求項 5 に係る発明において、(q)前記第 2 光カプラの第 2 分岐部の第 1 半導体光増幅器側の端部に、該第 1 半導体光増幅器からの第 1 周囲光のうち前記第 1 波長を挟む一对の波長帯の一方の波長帯に属する第 1 部分周囲光を該第 1 半導体光増幅器へ反射する反射波長帯を有する第 6 ブラッグ反射格子を備えることを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

また、請求項 8 に係る発明は、請求項 2 に係る発明において、(m)前記第 1 波長の入力信号光が入力されると、該入力信号光の強度に応じて該第 1 波長の周囲光の光強度増幅特性を変調し、該入力信号光を増幅した光と該入力信号光の強度に対して強度反転した該第 1 波長の周囲の第 3 周囲光とを前記第 1 半導体光増幅器へ出力する第 3 半導体光増幅器と、(n)前記第 3 半導体光増幅器からの前記入力信号光の増幅光である前記第 1 波長の出力光を反射するための第 4 ブラッグ反射格子が設けられた共通ファイバ部と、該共通ファイバ部の一端から分岐する一对の前記第 1 分岐ファイバ部および第 2 分岐ファイバ部とを有し、該第 1 分岐ファイバ部に該第 3 半導体光増幅器からの該第 1 波長の出力光が入力され、該第 4 ブラッグ反射格子により反射された該第 1 波長の出力光が該第 2 分岐ファイバ部を介して前記第 1 半導体光増幅器に入力させる第 2 光カプラとを、含み、(r)前記第 1 ブラッグ反射格子は、前記第 2 光カプラの共通ファイバ部の他端部から入力され且つ前記第 1 半導体光増幅器により増幅された前記第 1 波長とは異なる第 3 波長のバイアス光を、前記第 1 半導体光増幅器から出力された第 1 周囲光のうち前記第 1 波長を挟む波長帯のうちの他方の波長帯に属する第 1 部分周囲光と共に、前記第 2 半導体光増幅器へ反射するものであることを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

また、請求項 9 に係る発明は、請求項 2 の発明において、(s)前記第 1 ブラッグ反射格子は、前記第 2 ブラッグ反射格子の反射波長帯よりも広い反射波長帯を有するものであることを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

また、請求項 10 に係る発明は、請求項 2 の発明において、(t)前記第 1 光カプラを構成する光ファイバおよび前記出力用光ファイバは、偏波面無依存性光ファイバから構成されていることを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

また、請求項 11 に係る発明は、請求項 5 の発明において、(u)前記第 2 光カプラを構成する光ファイバは、偏波面無依存性光ファイバから構成されていることを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

また、請求項 12 に係る発明は、請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 の発明において、(v)前記制御光の波長は前記第 1 波長であることを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 2 1 】

請求項 1 にかかる発明の光信号増幅装置によれば、(a)第 1 波長の入力信号光が入力されると、該入力信号光の強度に応じて該第 1 波長の周囲光の光強度増幅特性を変調し、該入力信号光を増幅した光と該入力信号光の強度に対して強度反転した該第 1 波長を含まない第 1 周囲光とを出力する第 1 半導体光増幅器と、(b)第 2 波長の第 2 入力信号光が入力されると、該第 2 入力信号光の強度に応じて該第 2 波長以外の光の光強度増幅特性が変調され、該第 2 入力信号光を増幅した出力光と該第 2 入力信号光の強度に対して強度反転した該第 2 波長を含まない第 2 周囲光とを出力する第 2 半導体光増幅器と、(c)前記第 1 半導体光増幅器から出力された光のうち前記第 1 周囲光を選択して前記第 2 半導体光増幅器へ入力させる第 1 波長選択素子と、(d)前記第 2 半導体光増幅器から出力された光のうち前記第 2 周囲光を反射し、該第 2 周囲光を該第 2 半導体光増幅器へ再入力して負帰還増幅させる第 2 波長選択素子とを、含み、(e)前記第 1 周囲光とは異なる波長の制御光が前記第 2 入力信号光として前記第 2 半導体光増幅器へ入力させられることにより該制御光と同じ波長の前記出力光を出力する光信号増幅装置において、(f)前記第 1 波長選択素子およ

び第2波長選択素子は、相互に重複しない反射波長帯を有することから、それらの間の発振或いは光共振が抑制されるので、安定した光信号増幅動作が得られる。

【0022】

また、請求項2に係る発明によれば、(g)共通ファイバ部と、該共通ファイバ部の一端から分岐された一对の第1分岐ファイバ部および第2分岐ファイバ部とを備え、該第1分岐ファイバ部に前記第1半導体光増幅器から出力される光が入力され、該共通ファイバ部に前記制御光が入力され、該第2分岐ファイバ部から前記第2半導体光増幅器へ入力される第1光カプラと、(h)前記第2半導体光増幅器から出力される光を導く出力用光ファイバとを、含み、(i)前記第1波長選択素子は、前記共通ファイバ部に設けられ、前記第1半導体光増幅器から出力された第1周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうちの一
10
方の波長帯に属する第1部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、該第1部分周囲光を前記第2半導体光増幅器へ入力させる第1ブラッグ反射格子から構成されたものであり、(j)前記第2波長選択素子は、前記出力用光ファイバに設けられ、前記第2半導体光増幅器から出力された第2周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうち他方の波長帯に属する第2部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、該第2部分周囲光を該第2半導体光増幅器へ再入力させる第2ブラッグ反射格子から構成されたものであることから、第1ブラッグ反射格子と第2ブラッグ反射格子との間の発振或いは光共振が抑制されるので、安定した光信号増幅動作が得られる。また、第1ブラッグ反射格子は制御光入力用光ファイバに設けられ、第2ブラッグ反射格子は出力用光ファイバに設けられていることから、光カプラ
20
の分岐部に設けられる場合に比較して容易且つ安定に形成されるので、安定した精度の高い反射波長帯が得られる。

【0023】

また、請求項3に係る発明によれば、(k)前記入力信号光を前記第1半導体光増幅器へ導く第1入力用光ファイバと、(l)該第1入力用光ファイバに設けられ、該第1半導体光増幅器から出力された前記第1周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうち一方の波長帯に属する前記第1部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、該第1部分周囲光を該第1半導体光増幅器へ再入力して負帰還増幅させる第3ブラッグ反射格子とを、含むことから、第1半導体光増幅器を負帰還増幅させることによりS/N比の高い安定した入力信号光の光信号増幅が得られる。

【0024】

また、請求項4に係る発明によれば、(m)前記第1波長の入力信号光が入力されると、該入力信号光の強度に応じて該第1波長の周囲光の光強度増幅特性を変調し、該入力信号光を増幅した光と該入力信号光の強度に対して強度反転した該第1波長の周囲の第3周囲光とを前記第1半導体光増幅器へ出力する第3半導体光増幅器を、含むことから、第1半導体光増幅器へ入力される入力信号光強度が高められ、比較的小さな強度の入力信号光によって、負帰還増幅を伴う光信号増幅が得られる。

【0025】

また、請求項5に係る発明によれば、(n)前記第3半導体光増幅器からの前記入力信号光の増幅光である前記第1波長の出力光を反射するための第4ブラッグ反射格子が設けられた共通ファイバ部と、該共通ファイバ部の一端から分岐する一对の前記第1分岐ファイ
40
バ部および第2分岐ファイバ部とを有し、該第1分岐ファイバ部に該第3半導体光増幅器からの該第1波長の出力光が入力され、該第4ブラッグ反射格子により反射された該第1波長の出力光が該第2分岐ファイバ部を介して前記第1半導体光増幅器へ入力させる第2光カプラを、含むことから、第1半導体光増幅器へ入力される入力信号光強度が高められ、比較的小さな強度の入力信号光によって、負帰還増幅を伴う光信号増幅が得られる。また、第4ブラッグ反射格子は共通ファイバ部に設けられることから、光カプラの分岐部に設けられる場合に比較して容易且つ安定に形成されるので、安定した精度の高い反射波長帯が得られる。

【0026】

また、請求項6に係る発明によれば、(o)前記入力信号光を前記第3半導体光増幅器へ

10

20

30

40

50

導く第2入力用光ファイバと、(p)該第2入力用光ファイバに設けられ、前記第3半導体光増幅器から出力された前記第3周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうち一方の波長帯に属する第5部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、該第5部分周囲光を該第3半導体光増幅器へ再入力して負帰還増幅させる第5ブラッグ反射格子とを、含むことから、第3半導体光増幅器の負帰還増幅作用によって安定した入力信号光の増幅が得られる。

【0027】

また、請求項7に係る発明によれば、(q)前記第2光カブラの第2分岐部の第1半導体光増幅器側の端部に、該第1半導体光増幅器からの第1周囲光のうち前記第1波長を挟む一方の波長帯に属する第1部分周囲光を該第1半導体光増幅器へ反射する反射波長帯を有する第6ブラッグ反射格子を備えることから、第1半導体光増幅器に負帰還増幅を発生させることができる。

10

【0028】

また、請求項8に係る発明によれば、(r)前記第1ブラッグ反射格子は、前記第2光カブラの共通ファイバ部の他端部から入力され且つ前記第1半導体光増幅器により増幅された前記第1波長とは異なる第3波長のバイアス光を、その第1半導体光増幅器から出力された第1周囲光のうち前記第1波長を挟む波長帯のうち他方の波長帯に属する第1部分周囲光と共に、前記第2半導体光増幅器へ反射するものであることから、相互利得変調されたバイアス光と制御光とが重畳されて第2半導体光増幅器へ供給されるので、一層安定した高い強度の光信号増幅出力が得られる。

【0029】

20

また、請求項9に係る発明によれば、(s)前記第1ブラッグ反射格子は、前記第2ブラッグ反射格子の反射波長帯よりも広い反射波長帯を有するものであることから、第1半導体光増幅器14から出力される周囲光のうち第2半導体光増幅器16へ供給される割合が高められ、反転した入力信号が確実に第2半導体光増幅器16に伝達される利点がある。

【0030】

また、請求項10に係る発明によれば、(t)前記第1光カブラを構成する光ファイバおよび前記出力用光ファイバは、偏波面無依存性光ファイバから構成されていることから、振動や温度に対して安定な光信号増幅出力が得られる。

【0031】

また、請求項11に係る発明によれば、(u)前記第2光カブラを構成する光ファイバは、偏波面無依存性光ファイバから構成されていることから、振動や温度に対して安定な光信号増幅出力が得られる。

30

【0032】

また、請求項12に係る発明によれば、(v)前記制御光の波長は前記第1波長であることから、第1波長の出力光を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】本発明の一実施例の光信号増幅装置の要部構成を説明する略図である。

【図2】図1の実施例において、半導体光増幅器を構成する半導体チップを説明する斜視図である。

40

【図3】図1の実施例において、第1ブラッグ反射格子の要部を拡大して説明する図である。

【図4】図1の実施例において、第1波長 λ_1 が1551nmである場合の出力光 I_{out} のパワースペクトルを示す図である。

【図5】図1の実施例において、第1ブラッグ反射格子の反射波長帯を実線にて示し、第2ブラッグ反射格子の反射波長帯を破線にて示す反射特性図である。

【図6】図1の実施例において、光信号増幅装置の作動に際して用いた入力信号光を示す図である。

【図7】図1の実施例において、光信号増幅装置の作動に際して用いた制御光を示す図である。

50

【図 8】図 1 の実施例において、図 6 に示す入力信号光と図 7 に示す制御光とがそれぞれ入力された場合の出力信号を示す図である。

【図 9】本発明の他の実施例における光信号増幅装置の要部構成を説明する図であって、図 1 に相当する図である。

【図 10】本発明の他の実施例における光信号増幅装置の要部構成を説明する図であって、図 1 に相当する図である。

【図 11】図 10 の実施例において、第 4 ブラッグ反射格子の反射波長帯を示す図である。

【図 12】本発明の他の実施例における光信号増幅装置の要部構成を説明する図であって、図 1 に相当する図である。

【図 13】図 12 の実施例において、第 5 ブラッグ反射格子の反射波長帯を示す図である。

【図 14】本発明の他の実施例における光信号増幅装置の要部構成を説明する図であって、図 1 に相当する図である。

【図 15】本発明の他の実施例における光信号増幅装置の要部構成を説明する図であって、図 1 に相当する図である。

【発明を実施するための形態】

【0034】

以下、本発明の一実施例を図面を参照して説明する。尚、以下の説明に用いる図面において各部の寸法比等は必ずしも正確に描かれていない。

【実施例 1】

【0035】

図 1 は、本発明の一実施例の光信号増幅装置 10 の構成を示す図である。図 1 において、光信号増幅装置 10 は、第 1 入力用光ファイバ 12、第 1 半導体光増幅器 14、第 2 半導体光増幅器 16、第 1 光カプラ 18、第 1 ブラッグ反射格子 20、出力用光ファイバ 22、第 2 ブラッグ反射格子 24 等を備え、第 1 波長 λ_1 の入力信号光 I_{in} を制御光 I_c を用いて変調した出力光 I_{out} を出力する。図 4 は、第 1 波長 λ_1 が 1551 nm である場合の出力光 I_{out} のパワー(強度)を例示するスペクトルである。

【0036】

上記第 1 半導体光増幅器 14 は、たとえば図 2 に示すチップ状の素子から構成されており、化合物半導体たとえばインジウム燐 InP から構成される半導体基板 14a と、その上にエピタキシャル成長させられた III-V 族混晶半導体から成り、ホトリソグラフィにより所定幅に形成された相対的に屈折率の高い多層膜から成る光導波路 14b と、その光導波路 14b 内の多層膜の一部を構成する pn 接合であって、バルク、多重量子井戸、歪み超格子、量子ドットのいずれかから構成された活性層 14c と、光導波路 14b の上面に固着された上部電極 14e と、半導体基板 14a の下面に固着された下部電極 14f とを、備えている。上部電極 14e と下部電極 14f との間に注入電流が流される状態では、所定波長 λ_1 の入力信号光 I_{in} が入射されて上記光導波路 14b 内を伝播させられる過程で活性層 14c を通過させられるとき、誘導放射作用による光増幅を受け、出力される。同時に、所謂相互利得変調作用により、波長 λ_1 を中心とするその波長 λ_1 以外の周囲波長を有してその入力信号光 L_1 の強度変調に反比例して強度が増減(強度反転)する第 1 周囲光(自然発生光)が発生させられて、これも出力される。

【0037】

上記第 2 半導体光増幅器 16 は、図 2 に示す第 1 半導体光増幅器 14 と同様に、化合物半導体たとえばインジウム燐 (InP) から構成される半導体基板 16a と、その上にエピタキシャル成長させられた III-V 族混晶半導体から成り、ホトリソグラフィにより所定幅に形成された相対的に屈折率の高い多層膜から成る光導波路 16b と、その光導波路 16b 内の多層膜の一部を構成する pn 接合であって、バルク、多重量子井戸、歪み超格子、量子ドットのいずれかから構成された活性層 16c と、光導波路 16b の上面に固着された上部電極 16e と、半導体基板 16a の下面に固着された下部電極 16f とを、備

10

20

30

40

50

えている。上部電極 16e と下部電極 16f との間に注入電流が流される状態では、所定波長 1 の制御光 I_c および上記第 1 周囲光が入射されて上記光導波路 16b 内を伝播させられる過程で活性層 16c を通過させられるとき、誘導放射作用による光増幅を受け、所謂相互利得変調作用により、入力信号光 I_{in} が制御光 I_c の変調を受けた波長 1 の出力光 I_{out} と、第 1 波長 1 を中心とするその第 1 波長 1 以外の周囲波長を有してその出力光 I_{out} の強度変調に反比例して強度が増減(強度反転)する第 2 周囲光(自然発光)とが発生させられて、これも出力される。

【0038】

第 1 入力用光ファイバ 12 は、光の偏波面を保存して光を伝送する偏波無依存性を有する良く知られたクラッド型、セルホック型等の光ファイバであり、図示しない信号源から出力された第 1 波長 1 の入力信号光 I_{in} を導いて第 1 半導体光増幅器 14 へ入射させる。この第 1 入力用光ファイバ 12 の第 1 半導体光増幅器 14 側の端面には先球レンズ 12z が形成されており、第 1 半導体光増幅器 14 の入力側と光学的に結合されている。

10

【0039】

第 1 光カプラ 18 は、偏波無依存性の光ファイバから構成されており、共通ファイバ部 18c と、その共通ファイバ部 18c の一端から分岐する一对の第 1 半導体光増幅器 14 へ向かう分岐ファイバ部 18a と第 2 半導体光増幅器 16 へ向かう分岐ファイバ部 18b とを有し、共通ファイバ部 18c からの第 1 波長 1 の制御光 I_c や第 1 ブラッグ反射格子 20 により反射された第 1 周囲光をたとえば 1 対 5 の分岐比で、第 2 半導体光増幅器 16 側へ多く分配する。この第 1 光カプラ 18 は、たとえば一对の光ファイバの端部が溶融延伸されることにより構成される。上記一对の分岐ファイバ部 18a および分岐ファイバ部 18b の先端面にはそれぞれ先球レンズ 18az および 18bz が形成されており、第 1 半導体光増幅器 14 の出力側および第 2 半導体光増幅器 16 の入力側と光学的に結合されている。

20

【0040】

第 1 ブラッグ反射格子 20 は、上記第 1 光カプラ 18 の分岐点から所定距離離れた共通ファイバ部 18c またはそれに結合された光ファイバに設けられている。この第 1 ブラッグ反射格子 20 は、たとえば図 3 に示すように、たとえば、ゲルマニウム Ge を添加した石英 SiO₂ から成る略円柱形状のコア 30 と、そのコア 30 よりも屈折率が低く且つその外周面を覆う略円筒形状の石英 SiO₂ であるクラッド 32 とによって構成された光ファイバ(共通ファイバ部 18c)において、コア 20 に対して位相マスクなどを利用した紫外線照射による光誘起屈折率変化による、代表的には 10000 層乃至 20000 層程度の周期的な屈折率変化が、そのコア 20 の伝搬方向に 1 群または複数群で光伝播方向に形成された光ファイバグレーティングから構成されている。上記屈折率変化は等周期とされる場合もあるが、チャープ状に周期が順次変化させられるものであってもよい。この第 1 ブラッグ反射格子 20 は、その屈折率の周期と実効屈折率に対応した波長の光を選択的に反射する特性を有し、たとえば第 1 波長 1 が 1551nm であるとする、その 1551nm を中心とする第 1 波長 1 を含まない前記第 1 周囲光のうちの第 1 波長 1 に対して一方の側を反射し且つ他方の側を透過させるために、その第 1 周囲光の波長帯のうち、第 1 波長 1 に対して片側の波長帯、たとえば第 1 波長 1 よりも短波長側の光を反射する、少なくとも 5nm 以上たとえば 8.5nm 程度の反射波長帯域幅を有する反射特性を有しており、波長選択性フィルタとして機能している。図 5 の実線は、上記ブラッグ反射格子 20 の反射波長帯域を例示する図である。第 1 ブラッグ反射格子 20 の反射波長帯域幅は広いほど、反転した入力信号を第 2 半導体光増幅器 16 に確実に伝達する効果が得られる。

30

40

【0041】

出力用光ファイバ 22 は、偏波無依存性光ファイバから構成されており、第 2 半導体光増幅器 16 から出力された出力光 I_{out} を受けて図示しない所定位置へ導く。この出力用光ファイバ 22 の第 2 半導体光増幅器 16 側の端面にも先球レンズ 22z が形成されており、第 2 半導体光増幅器 16 の出力側と光学的に結合されている。

50

【 0 0 4 2 】

第2ブラッグ反射格子24は、上記出力用光ファイバ22の第2半導体光増幅器16側の端部に設けられている。この第2ブラッグ反射格子24は、第1ブラッグ反射格子20と同様に、光伝播方向において多数層の屈折率変化を設けることにより形成された光ファイバグレーティングから構成されている。この第2ブラッグ反射格子24は、第2半導体光増幅器16から出力された、第1波長 λ_1 を中心とするその第1波長 λ_1 以外の周囲波長を有する第2周囲光を第2半導体光増幅器16へ再入射させることにより、その第2半導体光増幅器16において負帰還増幅を発生させて変調度およびS/N比を高めるためのものである。この第2ブラッグ反射格子24は、上記第2周囲光を反射するとともに、第1ブラッグ反射格子20との間で共振(発振)を発生することを防止するために、その第1ブラッグ反射格子20の反射波長帯とは周波数帯が重ならないように相互に相違する反射波長帯を備えている。たとえば、図5の実線に示すように第1ブラッグ反射格子20の反射波長帯が第1波長 λ_1 に対して短波長側の光を反射する反射波長帯を有する場合には、第2ブラッグ反射格子24は、図5の破線に示すように、第1波長 λ_1 に対して長波長側の光を反射する反射波長帯を有する。この第2ブラッグ反射格子24の反射波長帯域は、5nm程度が好適である。広すぎると負帰還増幅効果が大きくなって出力光I_{out}の強度が低下し、狭すぎると負帰還増幅効果が小さくなって変調度が十分に得られない。

10

【 0 0 4 3 】

本発明者が行った上記光信号増幅装置10の光信号増幅作動の実験結果を、図6、図7、図8を用いて説明する。図6に示す第1波長 λ_1 の入力信号光I_{in}が第1入力用光ファイバ12を経て第1半導体光増幅器14へ入力されると、この第1半導体光増幅器14では、その第1波長 λ_1 の入力信号光I_{in}が増幅されるとともに、それに強度反転した第1波長 λ_1 以外の第1周囲光が発生させられて、それぞれが合波されて出力される。第1光カプラ18の共通ファイバ部18cに設けられた第1ブラッグ反射格子20において、その出力された光のうちの第1波長 λ_1 の増幅光は通過するが第1周囲光のうちの第1波長 λ_1 よりも短波長側の部分周囲光が反射される。このため、その短波長側の部分周囲光は、図7に示す第1光カプラ18の共通ファイバ部18cに入力された第1波長 λ_1 の制御光I_cと共に、第2半導体光増幅器16に入射される。

20

【 0 0 4 4 】

この第2半導体光増幅器16においては、上記第1波長 λ_1 の制御光I_cおよび第1波長 λ_1 以外の光である短波長側の部分周囲光が入力されると、第1波長 λ_1 の制御光I_cは増幅されつつ相互利得変調による上記部分周囲光の変調を受けた第1波長 λ_1 の出力光I_{out}が出力されると同時に、自然発生光すなわち出力光I_{out}と強度反転した第1波長 λ_1 以外の第2周囲光も出力される。図8は、上記出力光I_{out}を示している。図8において、出力光I_{out}の破線、1点鎖線、2点鎖線、3点鎖線に示す波形は、制御光I_cの破線、1点鎖線、2点鎖線、3点鎖線に示す波形に対応している。このことから、入力信号光I_{in}は制御光I_cにより変調されて出力光I_{out}が出力用光ファイバ22を介して出力されるので、光信号増幅装置10は、光のみを用いてトランジスタと同様の3端子制御特性を持つこと、すなわち光3端子制御装置として機能している。

30

【 0 0 4 5 】

上記出力用光ファイバ22の第2半導体光増幅器16側に設けられた第2ブラッグ反射格子24は、図5の破線に示す反射波長帯域を有することから、上記第1波長 λ_1 の出力光I_{out}を通過させるが、上記第2周囲光のうちの第1波長 λ_1 よりも長波長側の部分第2周囲光を反射して第2半導体光増幅器16へ再入力させ、第2半導体光増幅器16に負帰還増幅作動させる。この負帰還増幅作動により、上記出力光I_{out}の変調度が高められるとともに、低雑音化されてS/N比が高められる。図8において、出力光I_{out}の下ピーク値すなわち最小極値(ローカルミニマム)の強度が零値(基線)に近い値を示していることは、そのような効果を示している。

40

【 0 0 4 6 】

上述のように、本実施例において、第1波長 λ_1 の入力信号光I_{in}が入力されると、そ

50

の入力信号光 I_{in} の強度に応じてその第1波長 λ_1 の周囲光の光強度増幅特性を変調し、その入力信号光 I_{in} を増幅した光とその入力信号光 I_{in} の強度に対して強度反転したその第1波長 λ_1 を含まない第1周囲光とを出力する第1半導体光増幅器14と、その第1波長 λ_1 を含まない第1周囲光が入力されると、その第1周囲光の強度に応じて該第1周囲光の波長以外の光の光強度増幅特性が変調され、その第1周囲光が増幅され且つ制御光 I_c の波長 λ_1 に波長変換された出力光 I_{out} と該出力光 I_{out} の強度に対して強度反転した該制御光 I_c の波長 λ_1 を含まない第2周囲光とを出力する第2半導体光増幅器16と、制御光入力用光ファイバ(共通ファイバ部18c)を通して入力された第1波長 λ_1 の制御光 I_c を分岐して、第1半導体光増幅器14および第2半導体光増幅器16へそれぞれ入力させる第1光カプラ18と、第1半導体光増幅器14から出力された第1周囲光を反射し、その第1周囲光を第2半導体光増幅器16へ入力させる第1ブラッグ反射格子20と、前記第2半導体光増幅器16から出力される光を導く出力用光ファイバ22と、第2半導体光増幅器16から出力された第2周囲光を反射し、その第2周囲光を第2半導体光増幅器16へ再入力して負帰還増幅させる第2ブラッグ反射格子24とを、含み、第2ブラッグ反射格子24を透過した第1波長 λ_1 の出力光 I_{out} を出力する光信号増幅装置10によれば、第1ブラッグ反射格子20および第2ブラッグ反射格子24は、実質的に相互に重複しない反射波長帯を有することから、それらの間の発振或いは光共振が抑制されるので、安定した光信号増幅動作が得られる。

10

【0047】

また、本実施例によれば、第1ブラッグ反射格子20は、制御光入力用光ファイバ(共通ファイバ部18c)に設けられ、第1半導体光増幅器14から出力された第1周囲光のうち第1波長 λ_1 を挟む一对の波長帯のうち一方の波長帯に属する第1部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、その第1部分周囲光を第2半導体光増幅器16へ入力させるものであり、第2ブラッグ反射格子24は、出力用光ファイバ22に設けられ、第2半導体光増幅器16から出力された第2周囲光のうち第1波長 λ_1 を挟む波長帯のうち他方の波長帯に属する第2部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、その第2部分周囲光を第2半導体光増幅器16へ再入力させるものであることから、第1ブラッグ反射格子20と第2ブラッグ反射格子24との間の発振或いは光共振が抑制されるので、安定した光信号増幅動作が得られる。また、第1ブラッグ反射格子20は制御光入力用光ファイバ(共通ファイバ部18c)に設けられ、第2ブラッグ反射格子16は出力用光ファイバ22に設けられていて、光カプラ18の分岐部に設けられる場合に比較して容易且つ安定に形成されるので、安定した精度の高い反射波長帯が得られる。

20

30

【0048】

また、本実施例によれば、第1ブラッグ反射格子20は、第2ブラッグ反射格子24の反射波長帯よりも広い反射波長帯を有するものであることから、第1半導体光増幅器14から出力される周囲光のうち第2半導体光増幅器16へ供給される割合が高められ、反転した入力信号が確実に第2半導体光増幅器16に伝達される利点がある。

【0049】

また、本実施例によれば、入力信号光および制御光入力用光ファイバ(共通ファイバ部18c)および出力用光ファイバ22は、偏波面無依存性光ファイバから構成されていることから、振動や温度に安定な光信号増幅出力が得られる。

40

【0050】

次に、本発明の他の実施例を説明する。なお、以下の説明において、実施例相互に共通する部分には同一の符号を付して説明を省略する。

【実施例2】

【0051】

図9に示す実施例の光信号増幅装置40は、光信号増幅装置10に対して、第1入力用光ファイバ12の第1半導体光増幅器14側の端部に、その第1半導体光増幅器14から出力された第1周囲光のうち前記第1波長 λ_1 を挟む一对の波長帯のうち一方の波長帯に属する第1部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、その第1部分周囲光を第1半導体

50

光増幅器 14 へ再入力して負帰還増幅させる第 3 ブラッグ反射格子 42 を備えている点で相違し、他の部分は同様に構成されている。上記第 3 ブラッグ反射格子 42 は、たとえば図 5 の破線に示す反射波長帯を有している。この反射波長帯の帯域は 5 nm 程度が好適である。広すぎると負帰還増幅効果が大きくなって出力光 I_{out} の強度が低下し、狭すぎると負帰還増幅効果が小さくなって変調度が十分に得られない。

【0052】

本実施例の光信号増幅装置 40 によれば、第 1 半導体光増幅器 14 から出力された第 1 周囲光のうち前記第 1 波長 λ_1 を挟む一对の波長帯のうち一方の波長帯に属する第 1 部分周囲光を反射する反射波長帯を有する第 3 ブラッグ反射格子 42 が備えられていることから、その第 3 ブラッグ反射格子 42 に反射されることによって第 1 部分周囲光が第 1 半導体光増幅器 14 へ再入力されてその第 1 半導体光増幅器 14 が負帰還増幅させられるので、S/N 比の高い安定した第 1 半導体光増幅器 14 の光信号増幅が得られる。また、上記第 3 ブラッグ反射格子 42 は、第 1 ブラッグ反射格子 20 の反射波長帯とは周波数上で重ならないような反射波長帯を備えているので、それらの間で光信号の共振或いは発振が好適に防止される利点がある。

【実施例 3】

【0053】

図 10 に示す実施例の光信号増幅装置 50 は、光信号増幅装置 10 に対して、第 2 入力用光ファイバ 51 を介して第 1 波長 λ_1 の入力信号光 I_{in} が入力されると、その入力信号光 I_{in} の強度に応じてその第 1 波長 λ_1 の周囲光の光強度増幅特性を変調し、その入力信号光 I_{in} を増幅した光とその入力信号光 I_{in} の強度に対して強度反転した第 1 波長 λ_1 の周囲の第 3 周囲光とを出力する第 3 半導体光増幅器 52 と、その第 3 半導体光増幅器 52 からの入力信号光 I_{in} の増幅光である第 1 波長 λ_1 の出力光 I_{in}' を第 1 半導体光増幅器 14 へ入力させる導波器 54 とを含む点で、相違し、他の部分は同様に構成されている。

【0054】

上記導波器 54 は、第 3 半導体光増幅器 52 からの第 1 波長 λ_1 の出力光 I_{in}' を反射するための第 4 ブラッグ反射格子 56 が設けられた共通ファイバ部 58c と、その共通ファイバ部 58c の一端から分岐する一对の第 1 分岐ファイバ部 58a および第 2 分岐ファイバ部 58b とを有し、その第 1 分岐ファイバ部 58a に第 3 半導体光増幅器 52 からの第 1 波長 λ_1 の出力光 I_{in}' が入力され、第 4 ブラッグ反射格子 56 により反射されたその第 1 波長 λ_1 の出力光 I_{in}' が第 2 分岐ファイバ部 58b を介して第 1 半導体光増幅器 14 に入力される第 2 光カプラ 58 から構成される。上記第 2 入力用光ファイバ 51、一对の第 1 分岐ファイバ部 58a および第 2 分岐ファイバ部 58b の先端面には、先球レンズ 51z、先球レンズ 58az および先球レンズ 58bz がそれぞれ設けられており、第 3 半導体光増幅器 52 および第 1 半導体光増幅器 14 と光学的にそれぞれ結合されている。

【0055】

図 11 は、その第 4 ブラッグ反射格子 56 の反射波長帯を示している。第 4 ブラッグ反射格子 56 は、第 3 半導体光増幅器 52 からの第 1 波長 λ_1 の出力光 I_{in}' を反射するためのものであって、周囲光を反射させないようにするものであるから、その反射波長帯は第 1 波長 λ_1 を中心とした比較的狭い帯域たとえば 1 nm 程度に設定されている。

【0056】

本実施例の光信号増幅装置 50 によれば、第 3 半導体光増幅器 52 からの第 1 波長 λ_1 の入力信号光 I_{in} が増幅されて第 1 半導体光増幅器 14 へ入力されるものであるから、入力信号光 I_{in} の強度が低くても高強度の出力信号 I_{out} を得ることができる。一般に、相互利得変調を発生させるためには mW オーダの入力信号強度が必要である一方で、半導体光増幅器の出力は最大で 1 ~ 数 mW 程度しか得られないことから、強度比 (増幅率) I_{out} / I_{in} は 1 ~ 数倍程度以下しか得られなかったため、出力光 I_{out} を次段の半導体光増幅器の入力信号として使用しがたい場合があった。しかし、本実施例によれば、入力光 I_{in} の強度を小さく設定してそれを増幅することにより、上記の問題が解決される。たとえば、 I_{in} の強度を $1/10$ とすることが可能であるとすれば、少なくとも 10 個の光信号

10

20

30

40

50

増幅装置を駆動することが可能となる。また、本実施例によれば、第4ブラッグ反射格子56は共通ファイバ部58cに設けられることから、光カプラ58の分岐部に設けられる場合に比較して容易且つ安定に形成されるので、安定した精度の高い反射波長帯が得られる。

【0057】

また、本実施例の光信号増幅装置50は、光信号増幅装置10に対して、入力信号光および制御光入力用光ファイバ(共通ファイバ部18c)および出力用光ファイバ22以外の光ファイバすなわち、第2入力用光ファイバ51および第2光カプラ58も偏波面無依存性光ファイバから構成されている。

【実施例4】

【0058】

図12に示す実施例の光信号増幅装置60は、光信号増幅装置50に対して、入力信号光I_{in}を第3半導体光増幅器52へ導く第2入力用光ファイバ51の第3半導体光増幅器52側端部に設けられ、その第3半導体光増幅器52から出力された第3周囲光のうち第1波長λ₁を挟む一対の波長帯のうち一方の波長帯に属する第5部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、その第5部分周囲光を該第3半導体光増幅素子52へ再入力して負帰還増幅させる第5ブラッグ反射格子62を、備えている。第5ブラッグ反射格子62は、たとえば図13に示す反射波長帯を備え、第4ブラッグ反射格子56に対して、周波数が相互に重ならないように反射波長帯が設定されている。フィルタ64は、第1波長λ₁付近の比較的狭い帯域のみの光を透過させるものであり、出力光I_{out}に含まれる第1波長λ₁以外のノイズ光を除去するために設けられている。

【0059】

本実施例によれば、第3半導体光増幅器52の負帰還増幅作用によって安定した入力信号光I_{in}の増幅が得られ、増幅後の入力信号光I_{in}'の変調度が高められる。

【実施例5】

【0060】

図14に示す実施例の光信号増幅装置70は、光信号増幅装置60に対して、第2光カプラ58の第2分岐ファイバ部58bの第1半導体光増幅器14側の端部に、第6ブラッグ反射格子59を備えている点で相違し、他の部分は同様に構成されている。第6ブラッグ反射格子59は、実施例2の第3ブラッグ反射格子42と同様に構成され、第1半導体光増幅器14から出力された第1周囲光のうち前記第1波長λ₁を挟む一対の波長帯のうち一方の波長帯に属する第1部分周囲光を反射する反射波長帯を有し、その第1部分周囲光を第1半導体光増幅器14へ再入力して負帰還増幅させる。

【実施例6】

【0061】

図15に示す実施例の光信号増幅装置80は、光信号増幅装置50に対して、第2光カプラ58の共通ファイバ部58cによって、図示しないレーザ光源からの第3波長λ₃のバイアス光(連続光)I_bが第4ブラッグ反射格子56を通過して第1半導体光増幅器14へ供給される点で相違し、他の部分は同様に構成されている。第1ブラッグ反射格子20は、図5の実線に示す反射波長帯を備えていることから、第2光カプラ58の共通ファイバ部58cの他端部から入力され且つ第1半導体光増幅器14により増幅された第1波長λ₁とは異なる第3波長λ₃のバイアス光I_bを、その第1半導体光増幅器14から出力された第1周囲光のうち前記第1波長λ₁を挟む他方の波長帯に属する第1部分周囲光と共に反射し、第2半導体光増幅器16に入力させる。これにより、第2半導体光増幅器16において相互利得変調された波長λ₃の光強度が増強される。これにより、一層高い強度の光信号増幅された出力光I_{out}が得られる。

【0062】

以上、本発明の一実施例を図面に基づいて説明したが、本発明はその他の態様においても適用される。

【0063】

10

20

30

40

50

たとえば、前述の実施例において、制御光 I_c は入力信号光 I_{in} と同じ第 1 波長 λ_1 を有するものであったが、必ずしも第 1 波長 λ_1 でなくてもよく、その第 1 波長 λ_1 と異なる第 2 波長 λ_2 を有するものであってもよい。この場合には、第 2 波長 λ_2 の出力光 I_{out} が出力される。

【0064】

また、前述の実施例において、第 1 ブラッグ反射格子 20 は図 5 の実線に示すように第 1 波長 λ_1 に対して短波長側の反射波長帯を有し、第 2 ブラッグ反射格子 24 は図 5 の破線に示すように第 1 波長 λ_1 に対して長波長側の反射波長帯を有することにより、相互の反射波長帯が重ならないように設定されていたが、反対に、第 1 ブラッグ反射格子 20 の反射波長帯が第 1 波長 λ_1 に対して長波長側に設定され、第 2 ブラッグ反射格子 24 の反射波長帯が第 1 波長 λ_1 に対して短波長側に設定されてもよい。また、第 1 ブラッグ反射格子 20 の反射波長帯と第 2 ブラッグ反射格子 24 の反射波長帯とは、第 1 波長 λ_1 に対して同じ側の波長帯に設定されてもよい。要するに、周波数帯が相互に重ならないように設定されていけばよい。この周波数帯の重なりは、発振が発生しない範囲で実質的に重ならない状態であればよく、周波数帯のうちのたとえば -3 dB の範囲が重ならないのであればよいのである。

10

【0065】

また、前述の図 12、図 14、図 15 の実施例では、出力光 I_{out} を透過させるために第 1 波長 λ_1 を中心とした比較的狭帯域の透過波長特性を備えたフィルタ 64 が出力用光ファイバ 22 に設けられていたが、必ずしも設けられていなくてもよい。また、図 1、図 9、図 10 の実施例において必要に応じて設けられてもよい。

20

【0066】

前述の実施例に設けられた、第 1 光カプラ 18、第 2 光カプラ 58 の一部または全部は、それと同じ機能であれば、他の光学素子またはその光学素子の結合体により置き換えられてもよい。

【0067】

また、前述の実施例の第 1 ブラッグ反射格子 20 および第 2 ブラッグ反射格子 24 は、多層膜フィルタ、波長選択ミラーなど、同様の機能を有する他の光学素子により置換されてもよい。

【0068】

その他一々例示はしないが、本発明は当業者の知識に基づいて種々の変更、改良を加えた態様で実施することができる。

30

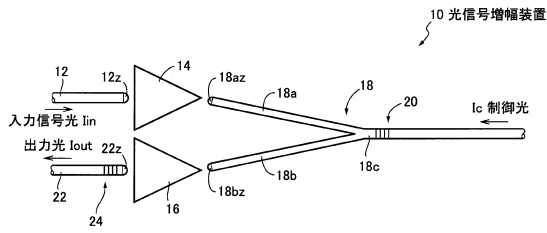
【符号の説明】

【0069】

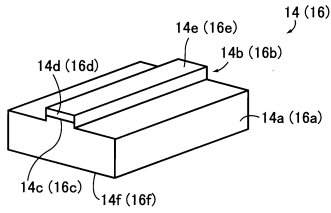
- 10、40、50、60、70、80：光信号増幅装置
- 12：第 1 入力用光ファイバ
- 14：第 1 半導体光増幅器
- 16：第 2 半導体光増幅器
- 18：第 1 光カプラ
- 18c：共通ファイバ部(制御光入力用光ファイバ)
- 20：第 1 ブラッグ反射格子
- 22：出力用光ファイバ
- 24：第 2 ブラッグ反射格子
- 42：第 3 ブラッグ反射格子
- 51：第 2 入力用光ファイバ
- 56：第 4 ブラッグ反射格子
- 58：第 2 光カプラ
- 59：第 6 ブラッグ反射格子
- 62：第 5 ブラッグ反射格子

40

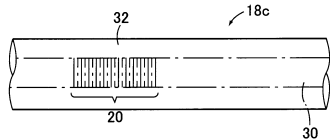
【図1】



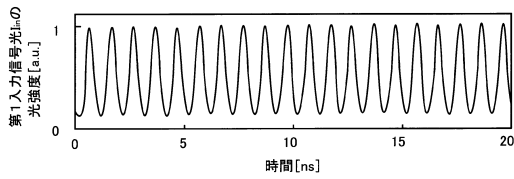
【図2】



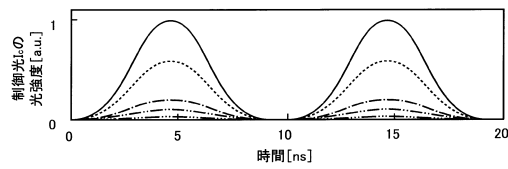
【図3】



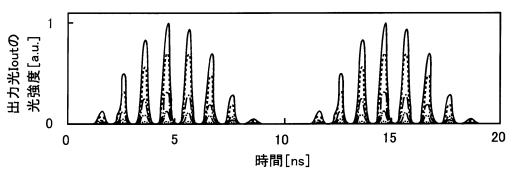
【図6】



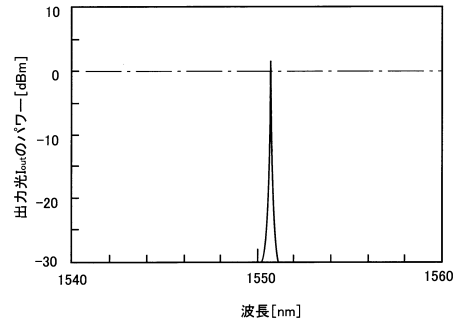
【図7】



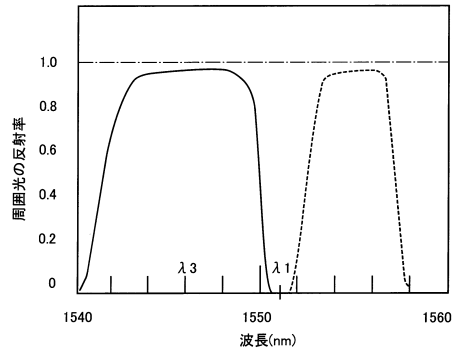
【図8】



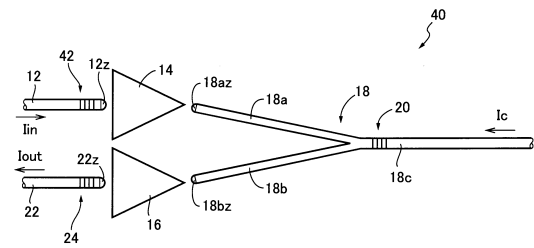
【図4】



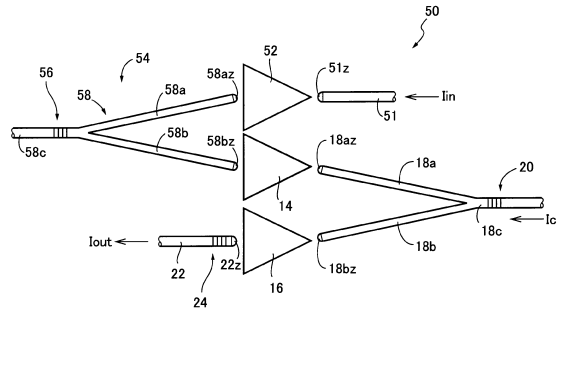
【図5】



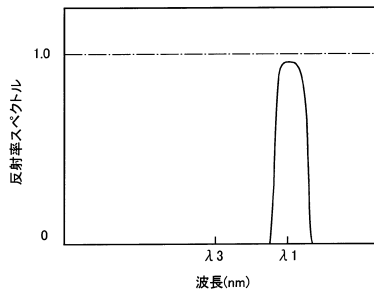
【図9】



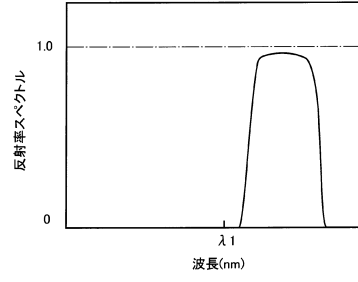
【図10】



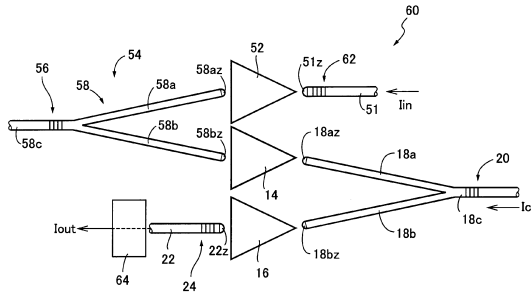
【図11】



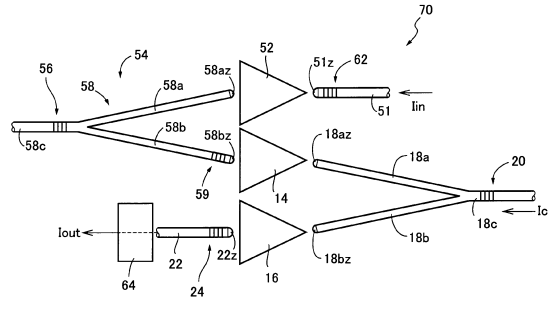
【図13】



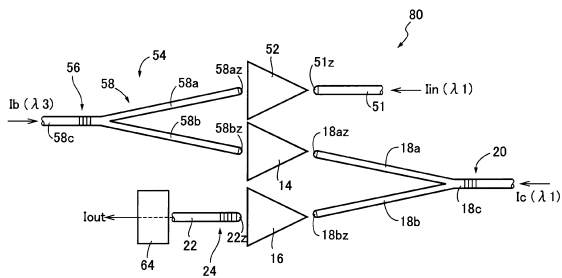
【図12】



【図14】



【図15】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-064852(JP,A)
国際公開第2004/038492(WO,A1)
米国特許出願公開第2002/0181831(US,A1)
特開2002-057393(JP,A)
特開平05-029686(JP,A)
特開平11-133467(JP,A)
IEEE Photonics Technology Letters, 2003年 2月, Vol.15, No.2, 257-259
Jpn. Journal of Applied Physics, 2002年, Vol.41, Part 1, No.7B, 4828-4830

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00-5/50
G02B 6/42
IEEE Explore