

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-166317

(P2010-166317A)

(43) 公開日 平成22年7月29日(2010.7.29)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO3F 3/08 (2006.01)	HO3F 3/08	5F173
HO3F 3/68 (2006.01)	HO3F 3/68 B	5J500
HO4B 10/02 (2006.01)	HO4B 9/00 W	5K102
HO4B 10/28 (2006.01)	HO1S 5/50 610	
HO1S 5/50 (2006.01)		

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 18 頁)

(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)

(71) 出願人 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  
 Fターム(参考) 5F173 SA12 SA16 SA27 SA34 SC03  
 SE02 SG12 SJ10  
 5J500 AA01 AA21 AA56 AC54 AF00  
 AK00 AQ04 AS13 AT01  
 5K102 PH15 PH46 PH49

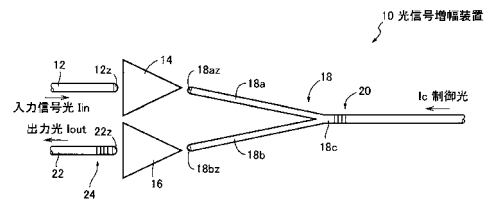
(54) 【発明の名称】 光信号増幅装置

(57) 【要約】

【課題】 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。

【解決手段】 第1波長 1 の入力信号光 I<sub>in</sub> が入力される第1半導体光増幅器 14 と、第1波長 1 を含まない第1周囲光と第1波長 1 の制御光 I<sub>c</sub> とが入力される第2半導体光増幅器 16 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、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、含む光信号増幅装置 10 において、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。

【選択図】 図 1



## 【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、

10

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 光ケーブルと、

20

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の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の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。

30

## 【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の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】

40

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。

## 【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

50

して前記第 1 半導体光増幅器に入力される第 2 光カプラを、含むことを特徴とする請求項 4 の光信号増幅装置。

【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。

【請求項 8】

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、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 5 の光信号増幅装置。

【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 乃至 8 のいずれか 1 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 乃至 9 のいずれか 1 の光信号増幅装置。

【請求項 11】

前記第 1 および第 2 光カプラを構成する光ファイバまたは / および前記第 1 または第 2 入力用光ファイバまたは / および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、5 乃至 9 のいずれか 1 の光信号増幅装置。

【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

10

20

30

40

50

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。

【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 $\lambda_1$ 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( $\lambda_1$ を中心とする $\lambda_1$ 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。

10

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【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】

【0005】

ところで、本発明者は、上記従来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。

20

30

【0006】

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。

40

【0007】

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】

【0008】

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

50

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。

【0009】

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。

10

【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の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。

20

30

【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の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。

40

【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

50

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せる第2光カブラを、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。

10

【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。

【0016】

また、請求項8に係る発明は、請求項5に係る発明において、(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、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。

20

【0017】

また、請求項9に係る発明は、請求項2乃至8のいずれか1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。

【0018】

また、請求項10に係る発明は、請求項2乃至9のいずれか1の発明において、(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を特徴とする。

30

【0019】

また、請求項11に係る発明は、請求項2、5乃至9のいずれか1の発明において、(u)前記第1および第2光カブラを構成する光ファイバまたは/および前記第1または第2入力用光ファイバまたは/および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。

【0020】

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。

40

【発明の効果】

【0021】

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

50

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の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の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

10

20

30

40

50

、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の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。

10

【0027】

また、請求項7に係る発明によれば、(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。

【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、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。

20

【0029】

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。

30

【0030】

また、請求項10に係る発明によれば、(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1および第2光カプラを構成する光ファイバまたは/および前記第1または第2入力用光ファイバまたは/および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。

【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。

40

【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。

【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  $\lambda_1$  が 1551 nm である場合の出力光  $I_{out}$  の

50



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。

【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 光カップラ 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  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  が 1551nm 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  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  を中心とするその波長  $\lambda_1$  以外の周囲波長を有してその入力信号光  $I_{in}$  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】

10

20

30

40

50

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、ホトリソグラフィー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 $\lambda$ の制御光Ic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Iinが制御光Icの変調を受けた波長 $\lambda$ の出力光Ioutと、第1波長 $\lambda$ を中心とするその第1波長 $\lambda$ 以外の周囲波長を有してその出力光Iout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。

10

#### 【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 $\lambda$ の入力信号光Iin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。

20

#### 【0039】

第1光カブラ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 $\lambda$ の制御光Ic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光カブラ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。

30

#### 【0040】

第1ブラッグ反射格子20は、上記第1光カブラ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SiO<sub>2</sub>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SiO<sub>2</sub>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 $\lambda$ が1551nmであるとすると、その1551nmを中心とする第1波長 $\lambda$ を含まない前記第1周囲光のうちの第1波長 $\lambda$ 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 $\lambda$ に対して片側の波長帯、たとえば第1波長 $\lambda$ 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

40

50

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。

【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<sub>out</sub> 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。

【0042】

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  $\lambda_1$  を中心とするその第 1 波長  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  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、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<sub>out</sub> 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。

【0043】

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  $\lambda_1$  の入力信号光 I<sub>in</sub> 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  $\lambda_1$  の入力信号光 I<sub>in</sub> が増幅されるとともに、それに強度反転した第 1 波長  $\lambda_1$  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第 1 波長  $\lambda_1$  の増幅光は通過するが第 1 周囲光のうち第 1 波長  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  の制御光 I<sub>c</sub> と共に、第 2 半導体光増幅器 16 に入射される。

【0044】

この第 2 半導体光増幅器 16 においては、上記第 1 波長  $\lambda_1$  の制御光 I<sub>c</sub> および第 1 波長  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  の制御光 I<sub>c</sub> 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  $\lambda_1$  の出力光 I<sub>out</sub> が出力されると同時に、自然発生光すなわち出力光 I<sub>out</sub> と強度反転した第 1 波長  $\lambda_1$  以外の第 2 周囲光も出力される。図 8 は、上記出力光 I<sub>out</sub> を示している。図 8 において、出力光 I<sub>out</sub> 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<sub>c</sub> 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<sub>in</sub> は制御光 I<sub>c</sub> により変調されて出力光 I<sub>out</sub> 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。

【0045】

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  $\lambda_1$  の出力光 I<sub>out</sub> を通過させるが、上記第 2 周囲光のうち第 1 波長  $\lambda_1$  よりも長波長側の部分第

10

20

30

40

50

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<sub>out</sub> 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<sub>out</sub> 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。

#### 【0046】

上述のように、本実施例において、第 1 波長 1 の入力信号光 I<sub>in</sub>が入力されると、その入力信号光 I<sub>in</sub>の強度に応じてその第 1 波長 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<sub>in</sub>を増幅した光とその入力信号光 I<sub>in</sub>の強度に対して強度反転したその第 1 波長 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 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<sub>c</sub> の波長 1 に波長変換された出力光 I<sub>out</sub> と該出力光 I<sub>out</sub> の強度に対して強度反転した該制御光 I<sub>c</sub> の波長 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 1 の制御光 I<sub>c</sub> 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 1 の出力光 I<sub>out</sub> 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。

#### 【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 1 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 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 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 に設けられていることから、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。

#### 【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。

#### 【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  $\lambda_1$  を挟む一对の波長帯のうちの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。

10

【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  $\lambda_1$  を挟む一对の波長帯のうちの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。

20

【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  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  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。

30

【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  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  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。

40

【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  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  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

50

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  $1 \sim$  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  $1 \sim$  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。

10

## 【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  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  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  $\lambda_1$  以外のノイズ光を除去するために設けられている。

20

## 【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。

30

## 【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  $\lambda_1$  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。

40

## 【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  $\lambda_3$  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  $\lambda_1$  とは異なる第  $3$  波長  $\lambda_3$  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  $\lambda_1$  を挟む他方の波長帯に属する第  $1$  部分周囲光

50

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3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<sub>out</sub>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】

たとえば、前述の実施例において、制御光I<sub>c</sub>は入力信号光I<sub>in</sub>と同じ第1波長1を有するものであったが、必ずしも第1波長1でなくてもよく、その第1波長1と異なる第2波長2を有するものであってもよい。この場合には、第2波長2の出力光I<sub>out</sub>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ればよい。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-3dBの範囲が重ならないければよいのである。

【0065】

また、前述の図12、図14、図15の実施例では、出力光I<sub>out</sub>を透過させるために第1波長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。

【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。

【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

10

20

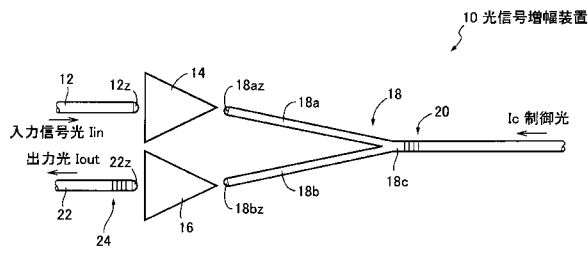
30

40

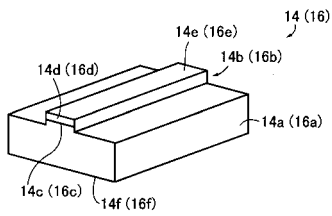
50

- 4 2 : 第 3 ブラッグ反射格子
- 5 1 : 第 2 入力用光ファイバ
- 5 6 : 第 4 ブラッグ反射格子
- 5 8 : 第 2 光カプラ
- 5 9 : 第 6 ブラッグ反射格子
- 6 2 : 第 5 ブラッグ反射格子

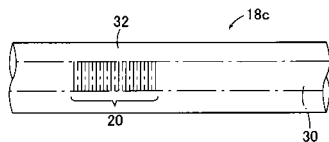
【 図 1 】



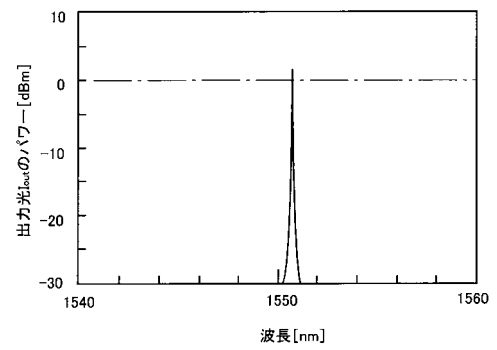
【 図 2 】



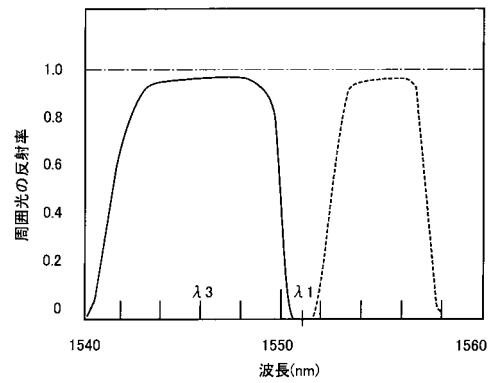
【 図 3 】



【 図 4 】

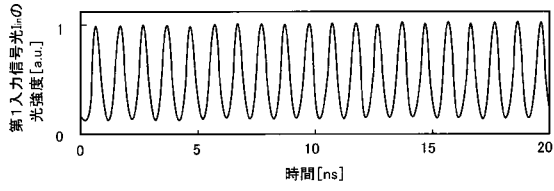


【 図 5 】

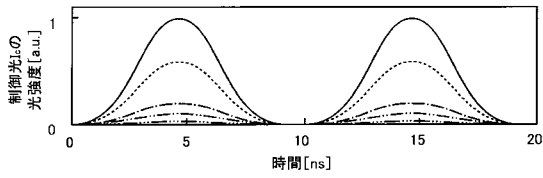




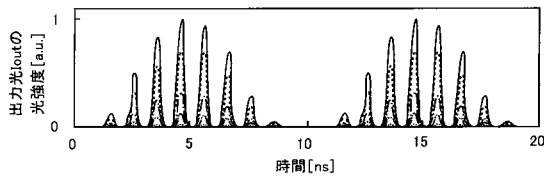
【 図 6 】



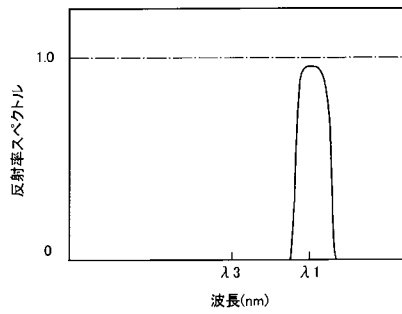
【 図 7 】



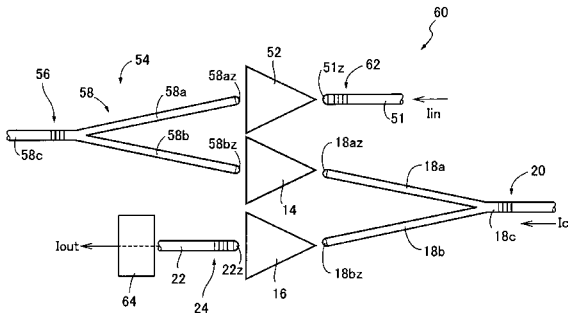
【 図 8 】



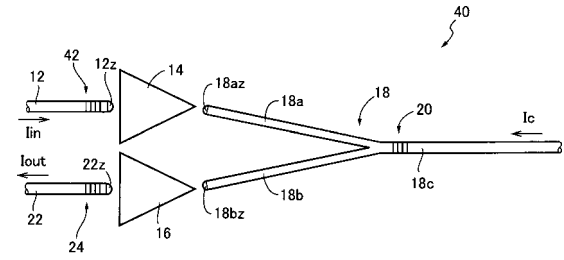
【 図 1 1 】



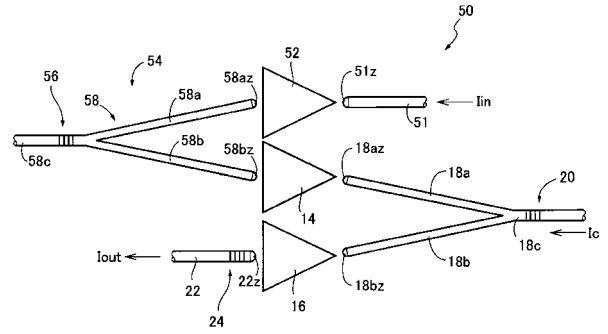
【 図 1 2 】



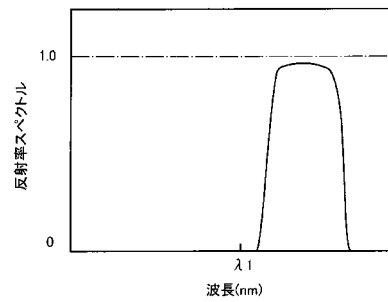
【 図 9 】



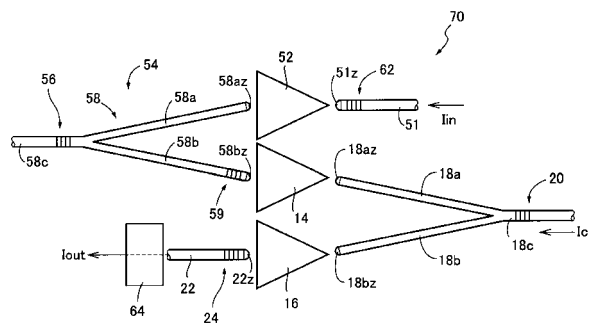
【 図 1 0 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 15 】

