

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3833882号
(P3833882)

(45) 発行日 平成18年10月18日(2006.10.18)

(24) 登録日 平成18年7月28日(2006.7.28)

(51) Int. Cl.		F I	
HO 1 S	5/14	(2006.01)	HO 1 S 5/14
GO 2 B	6/42	(2006.01)	GO 2 B 6/42
HO 1 S	5/022	(2006.01)	HO 1 S 5/022
HO 1 S	5/0683	(2006.01)	HO 1 S 5/0683

請求項の数 51 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2000-246773 (P2000-246773)	(73) 特許権者	000005290
(22) 出願日	平成12年8月16日(2000.8.16)		古河電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2001-160652 (P2001-160652A)		東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(43) 公開日	平成13年6月12日(2001.6.12)	(74) 代理人	100090022
審査請求日	平成15年4月11日(2003.4.11)		弁理士 長門 侃二
(31) 優先権主張番号	特願平11-270937	(72) 発明者	大木 泰
(32) 優先日	平成11年9月24日(1999.9.24)		東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	山口 武治
前置審査			東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内
		(72) 発明者	入江 雄一郎
			東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザモジュール

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

出力光が出射される前端面を有する半導体レーザと、
 前記半導体レーザを収容するパッケージと、
 前記出力光が入射する端部を有する光ファイバと、
 前記半導体レーザから前記光ファイバを通過して延びる前記出力光の光路に配置され、
 所定の反射中心波長を有し、前記出力光の一部を前記半導体レーザに向かって帰還させる
 第1の光帰還部と、

前記光路に前記第1の光帰還部から離間して配置され、前記第1の光帰還部の反射中心
 波長において反射率を有し、前記出力光の一部を前記半導体レーザに向かって帰還させる
 少なくとも1つの第2の光帰還部と
 を備え、

前記第1及び第2の光帰還部は前記パッケージの外部に配置され、かつ、前記半導体レ
 ーザの後端面から、前記第1及び第2の光帰還部のうちいずれかの中心位置までの前記出
 力光の光路に沿ってみた距離が10cm以上であるとともに前記第1の光帰還部と前記第
 2の光帰還部のうち隣接する光帰還部間の中心位置の間隔が5mm以上であることを特徴
 とする半導体レーザモジュール。

【請求項2】

前記第2の光帰還部が、所定の反射中心波長を有することを特徴とする請求項1に記載
 の半導体レーザモジュール。

10

20

【請求項 3】

前記第 1 及び第 2 の光帰還部は、前記光ファイバに設けられていることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 4】

前記第 2 の光帰還部は、前記第 1 の光帰還部の反射特性における半値全幅の波長範囲内では前記第 1 の光帰還部の最大反射率以下となる反射率を有することを特徴とする請求項 3 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 5】

前記第 1 の光帰還部は、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の半導体レーザモジュール。

10

【請求項 6】

前記第 2 の光帰還部は、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴とする請求項 5 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 7】

2 つ以上の前記第 2 の光帰還部を備え、

前記第 2 の光帰還部のそれぞれは、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴とする請求項 5 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 8】

前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザから前記第 1 の光帰還部よりも離れて配置されていることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体レーザモジュール。

20

【請求項 9】

前記第 2 の光帰還部の反射特性における半値全幅は、前記第 1 の光帰還部の反射特性における半値全幅以上であることを特徴とする請求項 8 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 10】

2 つ以上の前記第 2 の光帰還部を備え、

前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザからみて前記第 1 の光帰還部よりも離れた前記光路の領域に互いに離れて配列され、

前記第 2 の光帰還部の配列では、前記第 1 の光帰還部からみて相対的に遠くに位置する第 2 の光帰還部の最大反射率は、近くに位置する第 2 の光帰還部の最大反射率以下であることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体レーザモジュール。

30

【請求項 11】

2 つ以上の前記第 2 の光帰還部を備え、

前記第 2 の光帰還部における反射特性の半値全幅は、前記第 1 の光帰還部における反射特性の半値全幅以上であり、

前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザからみて前記第 1 の光帰還部よりも離れた前記光路の領域に互いに離れて配列され、

前記第 2 の光帰還部の配列では、前記第 1 の光帰還部からみて相対的に遠くに位置する第 2 の光帰還部における反射特性の半値全幅は、近くに位置する第 2 の光帰還部における反射特性の半値全幅以上であることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体レーザモジュール。

40

【請求項 12】

前記第 1 の光帰還部の反射中心波長と前記第 2 の光帰還部の反射中心波長との差が 2 nm 以内であることを特徴とする請求項 2 乃至 11 に記載の何れかの半導体レーザモジュール。

【請求項 13】

前記第 1 の光帰還部の反射中心波長と前記第 2 の光帰還部の反射中心波長との差が 0 . 5 nm 以内であることを特徴とする請求項 12 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 14】

前記光ファイバには、前記半導体レーザと前記第 1 の光帰還部又は前記第 2 の光帰還部との間に前記出力光の偏波変動を防止する偏波変動防止手段が設けられていることを特徴

50

とする請求項 1 乃至 1 3 に記載の何れかの半導体レーザモジュール。

【請求項 1 5】

前記偏波変動防止手段は複屈折ファイバであることを特徴とする請求項 1 4 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 1 6】

前記半導体レーザの発振波長は 980 nm 帯であることを特徴とする請求項 1 乃至 1 5 に記載の何れかの半導体レーザモジュール。

【請求項 1 7】

前記半導体レーザの発振波長は、前記第 1 の光帰還部の反射中心波長で決まることを特徴とする請求項 1 乃至 1 6 に記載の何れかの半導体レーザモジュール。

10

【請求項 1 8】

前記第 1 の光帰還部は、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであり、

前記第 2 の光帰還部は、前記光ファイバに設けられた誘電体多層膜からなることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 1 9】

前記第 2 の光帰還部は、前記第 1 の光帰還部の反射特性における半値全幅の波長範囲内では前記第 1 の光帰還部の最大反射率以下となる反射率を有することを特徴とする請求項 1 8 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 2 0】

20

前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザから前記第 1 の光帰還部よりも離れて配置されていることを特徴とする請求項 1 9 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 2 1】

前記光ファイバには、前記半導体レーザと前記第 1 の光帰還部又は前記第 2 の光帰還部との間に前記出力光の偏波変動を防止する偏波変動防止手段が設けられていることを特徴とする請求項 1 8 乃至 2 0 に記載の何れかの半導体レーザモジュール。

【請求項 2 2】

前記偏波変動防止手段は複屈折ファイバであることを特徴とする請求項 2 1 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 2 3】

30

前記半導体レーザの発振波長は 980 nm 帯であることを特徴とする請求項 1 8 乃至 2 2 に記載の何れかの半導体レーザモジュール。

【請求項 2 4】

パッケージ内に収容され、出力光が出射される前端面を有する半導体レーザと、
前記パッケージの一側壁に取り付けられ、前記出力光が入射する一端部を有し、前記出力光を前記パッケージの外部に導出する光ファイバと、

前記パッケージの外部にて前記半導体レーザから前記光ファイバを通過して延びる前記出力光の光路に配置され、所定の反射中心波長を有し、前記出力光の一部を前記半導体レーザに向かって帰還させる第 1 の光帰還部と、

前記パッケージの外部にて前記光路に前記第 1 の光帰還部から離間して配置され、前記第 1 の光帰還部の反射中心波長において反射率を有し、前記半導体レーザの出力光が安定化されるように前記半導体レーザに前記出力光の一部を帰還させる少なくとも 1 つの第 2 の光帰還部とを備え、

40

前記半導体レーザの後端面から、前記第 1 及び第 2 の光帰還部のうちいずれかの中心位置までの前記出力光の光路に沿ってみた距離が 10 cm 以上であるとともに、前記第 1 の光帰還部と前記第 2 の光帰還部のうち隣接する光帰還部間の中心位置の間隔が 5 mm 以上であることを特徴とする半導体レーザモジュール。

【請求項 2 5】

前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザの出力光のコヒーレンシーを低下させるように前記半導体レーザに出力光を帰還させることを特徴とする請求項 2 4 に記載の半導体レ

50

ーザモジュール。

【請求項 2 6】

前記第 2 の光帰還部は、前記第 1 の光帰還部の反射特性における半値全幅の波長範囲内では前記第 1 の光帰還部の最大反射率以下の反射率を有することを特徴とする請求項 2 4 又は 2 5 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 2 7】

前記第 1 の光帰還部は、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴とする請求項 2 4 乃至 2 6 に記載の何れかの半導体レーザモジュール。

【請求項 2 8】

前記第 2 の光帰還部は、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティング 10
であることを特徴とする請求項 2 7 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 2 9】

2 つ以上の前記第 2 の光帰還部を備え、
前記第 2 の光帰還部のそれぞれは、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴とする請求項 2 7 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 3 0】

前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザから前記第 1 の光帰還部よりも離れて配置されていることを特徴とする請求項 2 6 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 3 1】

前記第 2 の光帰還部は所定の反射中心波長を有し、 20
前記第 2 の光帰還部の反射特性における半値全幅は、前記第 1 の光帰還部の反射特性における半値全幅以上であることを特徴とする請求項 3 0 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 3 2】

2 つ以上の前記第 2 の光帰還部を備え、
前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザからみて前記第 1 の光帰還部よりも離れた前記光路の領域に互いに離れて配列され、
前記第 2 の光帰還部の配列では、前記第 1 の光帰還部からみて相対的に遠くに位置する第 2 の光帰還部の最大反射率は、近くに位置する第 2 の光帰還部の最大反射率以下であることを特徴とする請求項 2 6 に記載の半導体レーザモジュール。 30

【請求項 3 3】

2 つ以上の前記第 2 の光帰還部を備え、
前記第 2 の光帰還部は所定の反射中心波長を有し、
前記第 2 の光帰還部における反射特性の半値全幅は、前記第 1 の光帰還部における反射特性の半値全幅以上であり、
前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザからみて前記第 1 の光帰還部よりも離れた前記光路の領域に互いに離れて配列され、
前記第 2 の光帰還部の配列では、前記第 1 の光帰還部からみて相対的に遠くに位置する第 2 の光帰還部における反射特性の半値全幅は、近くに位置する第 2 の光帰還部における反射特性の半値全幅以上であることを特徴とする請求項 2 6 に記載の半導体レーザモジュール。 40

【請求項 3 4】

前記光ファイバには、前記半導体レーザと前記第 1 の光帰還部又は前記第 2 の光帰還部との間に前記出力光の偏波変動を防止する偏波変動防止手段が設けられていることを特徴とする請求項 2 4 乃至 3 3 に記載の何れかの半導体レーザモジュール。

【請求項 3 5】

前記偏波変動防止手段は複屈折ファイバであることを特徴とする請求項 3 4 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 3 6】

前記半導体レーザの発振波長は 9 8 0 n m 帯であることを特徴とする請求項 2 4 乃至 3 5 50

5 に記載の何れかの半導体レーザモジュール。

【請求項 3 7】

前記半導体レーザの発振波長は、前記第 1 の光帰還部の反射中心波長で決まることを特徴とする請求項 2 4 乃至 3 6 に記載の何れかの半導体レーザモジュール。

【請求項 3 8】

出力光が射出される前端面を有する半導体レーザと、
前記半導体レーザを収容するパッケージと、
前記出力光が入射する端部を有する光ファイバと、
前記半導体レーザから前記光ファイバを通過して延びる前記出力光の光路に配置され、
所定の反射中心波長を有し、前記出力光の一部を前記半導体レーザに向かって帰還させる
第 1 の光帰還部と、 10

前記光路に前記第 1 の光帰還部から離間して配置され、前記第 1 の光帰還部の反射中心
波長と同一の反射中心波長を有し、前記出力光の一部を前記半導体レーザに向かって帰還
させる少なくとも 1 つの第 2 の光帰還部と
を備え、

前記第 1 及び第 2 の光帰還部は前記パッケージの外部に配置され、かつ、前記半導体レ
ーザの後端面から、前記第 1 及び第 2 の光帰還部のうちいずれかの中心位置までの前記出
力光の光路に沿ってみた距離が 1 0 c m 以上である とともに前記第 1 の光帰還部と前記第
2 の光帰還部のうち隣接する光帰還部間の中心位置の間隔が 5 m m 以上であること
を特徴とする半導体レーザモジュール。 20

【請求項 3 9】

前記第 1 及び第 2 の光帰還部は、前記光ファイバに設けられていることを特徴とする請
求項 3 8 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 4 0】

前記第 2 の光帰還部は、前記第 1 の光帰還部の反射特性における半値全幅の波長範囲内
では前記第 1 の光帰還部の最大反射率以下となる反射率を有することを特徴とする請求項
3 9 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 4 1】

前記第 1 の光帰還部は、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティング
であることを特徴とする請求項 3 9 又は 4 0 に記載の半導体レーザモジュール。 30

【請求項 4 2】

前記第 2 の光帰還部は、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティング
であることを特徴とする請求項 4 1 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 4 3】

2 つ以上の前記第 2 の光帰還部を備え、
前記第 2 の光帰還部のそれぞれは、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレ
ーティングであることを特徴とする請求項 4 1 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 4 4】

前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザから前記第 1 の光帰還部よりも離れて配置さ
れていることを特徴とする請求項 4 0 に記載の半導体レーザモジュール。 40

【請求項 4 5】

前記第 2 の光帰還部の反射特性における半値全幅は、前記第 1 の光帰還部の反射特性に
おける半値全幅以上であることを特徴とする請求項 4 4 に記載の半導体レーザモジュール
。

【請求項 4 6】

2 つ以上の前記第 2 の光帰還部を備え、
前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザからみて前記第 1 の光帰還部よりも離れた前
記光路の領域に互いに離れて配列され、

前記第 2 の光帰還部の配列では、前記第 1 の光帰還部からみて相対的に遠くに位置する
第 2 の光帰還部の最大反射率は、近くに位置する第 2 の光帰還部の最大反射率以下である 50

ことを特徴とする請求項 4 0 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 4 7】

2 つ以上の前記第 2 の光帰還部を備え、

前記第 2 の光帰還部における反射特性の半値全幅は、前記第 1 の光帰還部における反射特性の半値全幅以上であり、

前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザからみて前記第 1 の光帰還部よりも離れた前記光路の領域に互いに離れて配列され、

前記第 2 の光帰還部の配列では、前記第 1 の光帰還部からみて相対的に遠くに位置する第 2 の光帰還部における反射特性の半値全幅は、近くに位置する第 2 の光帰還部における反射特性の半値全幅以上であることを特徴とする請求項 4 0 に記載の半導体レーザモジュール。 10

【請求項 4 8】

前記光ファイバには、前記半導体レーザと前記第 1 の光帰還部又は前記第 2 の光帰還部との間に前記出力光の偏波変動を防止する偏波変動防止手段が設けられていることを特徴とする請求項 3 8 乃至 4 7 に記載の何れかの半導体レーザモジュール。

【請求項 4 9】

前記偏波変動防止手段は複屈折ファイバであることを特徴とする請求項 4 8 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 5 0】

前記半導体レーザの発振波長は 980 nm 帯であることを特徴とする請求項 3 8 乃至 4 9 に記載の何れかの半導体レーザモジュール。 20

【請求項 5 1】

前記半導体レーザの発振波長は、前記第 1 の光帰還部の反射中心波長で決まることを特徴とする請求項 3 8 乃至 5 0 に記載の何れかの半導体レーザモジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体レーザモジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】

光通信の分野においては、伝送する情報の大容量化を目指して波長分割多重伝送方式(WDM : wavelength division multiplexing)による光伝送方式が発展しており、特に北米を中心として加速的に伸びている。

このWDM方式で用いる光ファイバアンプの励起光源として、 1480 , 980 nm 帯域のポンプ半導体レーザの需要が高まっている。特に、 1480 nm 帯域では波長合成、 980 nm 帯域ではゲインプロファイルの平坦化、をそれぞれ図るため、ファイバブラッググレーティング(以下、単に「FBG」という)を用いて半導体レーザモジュールにおける出射光の波長を安定させるの必要性が高まっている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、上記半導体レーザモジュールでは、例えば光ファイバアンプの出力制御を図るうえで、半導体レーザにおけるレーザ出力、例えば前方からの出力光、もしくは後方のモニタ光の不安定性が問題となっている。特に、上記半導体レーザモジュールでは、FBGを用いて波長の安定化を図ると、レーザ出力が一層不安定になるという問題がある。

【0004】

本発明は上記の点に鑑みてなされたもので、レーザ出力を安定させることができる半導体レーザモジュールを提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため本願発明においては、出力光が出射される前端面を有する半導 50

体レーザと、前記半導体レーザを収容するパッケージと、前記出力光が入射する端部を有する光ファイバと、前記半導体レーザから前記光ファイバを通過して延びる前記出力光の光路に配置され、所定の反射中心波長を有し、前記出力光の一部を前記半導体レーザに向かって帰還させる第1の光帰還部と、前記光路に前記第1の光帰還部から離間して配置され、前記第1の光帰還部の反射中心波長において反射率を有し、前記出力光の一部を前記半導体レーザに向かって帰還させる少なくとも1つの第2の光帰還部とを備え、前記第1及び第2の光帰還部は前記パッケージの外部に配置され、かつ、前記半導体レーザの後端面から、前記第1及び第2の光帰還部のうちいずれかの中心位置までの前記出力光の光路に沿ってみた距離が10cm以上であるとともに、前記第1の光帰還部と前記第2の光帰還部のうち隣接する光帰還部間の中心位置の間隔が5mm以上である構成としたのである（請求項1）。

10

請求項2の本願発明は、前記第2の光帰還部が、所定の反射中心波長を有することを特徴としている。

請求項3の本願発明は、前記第1及び第2の光帰還部は、前記光ファイバに設けられていることを特徴としている。

請求項4の本願発明は、前記第2の光帰還部が、前記第1の光帰還部の反射特性における半値全幅の波長範囲内では前記第1の光帰還部の最大反射率以下となる反射率を有することを特徴としている。

請求項5の本願発明は、前記第1の光帰還部が、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴としている。

20

請求項6の本願発明は、前記第2の光帰還部が、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴としている。

請求項7の本願発明は、2つ以上の前記第2の光帰還部を備え、前記第2の光帰還部のそれぞれは、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴としている。

請求項8の本願発明は、前記第2の光帰還部は、前記半導体レーザから前記第1の光帰還部よりも離れて配置されていることを特徴としている。

請求項9の本願発明は、前記第2の光帰還部の反射特性における半値全幅は、前記第1の光帰還部の反射特性における半値全幅以上であることを特徴としている。

請求項10の本願発明は、2つ以上の前記第2の光帰還部を備え、前記第2の光帰還部は、前記半導体レーザからみて前記第1の光帰還部よりも離れた前記光路の領域に互いに離れて配列され、前記第2の光帰還部の配列では、前記第1の光帰還部からみて相対的に遠くに位置する第2の光帰還部の最大反射率は、近くに位置する第2の光帰還部の最大反射率以下であることを特徴としている。

30

請求項11の本願発明は、2つ以上の前記第2の光帰還部を備え、前記第2の光帰還部における反射特性の半値全幅は、前記第1の光帰還部における反射特性の半値全幅以上であり、前記第2の光帰還部は、前記半導体レーザからみて前記第1の光帰還部よりも離れた前記光路の領域に互いに離れて配列され、前記第2の光帰還部の配列では、前記第1の光帰還部からみて相対的に遠くに位置する第2の光帰還部における反射特性の半値全幅は、近くに位置する第2の光帰還部における反射特性の半値全幅以上であることを特徴とし

40

ている。

請求項12の本願発明は、前記第1の光帰還部の反射中心波長と前記第2の光帰還部の反射中心波長との差が2nm以内であることを特徴としている。

請求項13の本願発明は、前記第1の光帰還部の反射中心波長と前記第2の光帰還部の反射中心波長との差が0.5nm以内であることを特徴としている。

請求項14の本願発明は、前記光ファイバには、前記半導体レーザと前記第1の光帰還部又は前記第2の光帰還部との間に前記出力光の偏波変動を防止する偏波変動防止手段が設けられていることを特徴としている。

請求項15の本願発明は、前記偏波変動防止手段は複屈折ファイバであることを特徴としている。

50

請求項 1 6 の本願発明は、前記半導体レーザの発振波長は 9 8 0 n m 帯であることを特徴としている。

請求項 1 7 の本願発明は、前記半導体レーザの発振波長は、前記第 1 の光帰還部の反射中心波長で決まることを特徴としている。

請求項 1 8 の本願発明は、前記第 1 及び第 2 の光帰還部は、前記光ファイバに設けられていることを特徴としている。

請求項 1 9 の本願発明は、前記第 2 の光帰還部は、前記第 1 の光帰還部の反射特性における半値全幅の波長範囲内では前記第 1 の光帰還部の最大反射率以下となる反射率を有することを特徴としている。

請求項 2 0 の本願発明は、前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザから前記第 1 の光帰還部よりも離れて配置されていることを特徴としている。 10

請求項 2 1 の本願発明は、前記光ファイバには、前記半導体レーザと前記第 1 の光帰還部又は前記第 2 の光帰還部との間に前記出力光の偏波変動を防止する偏波変動防止手段が設けられていることを特徴としている。

請求項 2 2 の本願発明は、前記偏波変動防止手段は複屈折ファイバであることを特徴としている。

請求項 2 3 の本願発明は、前記半導体レーザの発振波長は 9 8 0 n m 帯であることを特徴としている。

また、上記目的を達成するため本願発明においては、パッケージ内に収容され、出力光が出射される前端面を有する半導体レーザと、前記パッケージの一側壁に取り付けられ、前記出力光が入射する一端部を有し、前記出力光を前記パッケージの外部に導出する光ファイバと、前記パッケージの外部にて前記半導体レーザから前記光ファイバを通過して延びる前記出力光の光路に配置され、所定の反射中心波長を有し、前記出力光の一部を前記半導体レーザに向かって帰還させる第 1 の光帰還部と、前記パッケージの外部にて前記光路に前記第 1 の光帰還部から離間して配置され、前記第 1 の光帰還部の反射中心波長において反射率を有し、前記半導体レーザの出力光が安定化されるように前記半導体レーザに前記出力光の一部を帰還させる少なくとも 1 つの第 2 の光帰還部とを備え、前記半導体レーザの後端面から、前記第 1 及び第 2 の光帰還部のうちいずれかの中心位置までの前記出力光の光路に沿ってみた距離が 1 0 c m 以上であるとともに、前記第 1 の光帰還部と前記第 2 の光帰還部のうち隣接する光帰還部間の中心位置の間隔が 5 m m 以上である構成としたのである（請求項 2 4）。 20 30

請求項 2 5 の本願発明は、前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザの出力光のコヒーレンシーを低下させるように前記半導体レーザに出力光を帰還させることを特徴としている。

請求項 2 6 の本願発明は、前記第 2 の光帰還部は、前記第 1 の光帰還部の反射特性における半値全幅の波長範囲内では前記第 1 の光帰還部の最大反射率以下の反射率を有することを特徴としている。

請求項 2 7 の本願発明は、前記第 1 の光帰還部は、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴としている。

請求項 2 8 の本願発明は、前記第 2 の光帰還部は、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴としている。 40

請求項 2 9 の本願発明は、2 つ以上の前記第 2 の光帰還部を備え、前記第 2 の光帰還部のそれぞれは、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴としている。

請求項 3 0 の本願発明は、前記第 2 の光帰還部は、前記半導体レーザから前記第 1 の光帰還部よりも離れて配置されていることを特徴としている。

請求項 3 1 の本願発明は、前記第 2 の光帰還部は所定の反射中心波長を有し、前記第 2 の光帰還部の反射特性における半値全幅は、前記第 1 の光帰還部の反射特性における半値全幅以上であることを特徴としている。

請求項 3 2 の本願発明は、2 つ以上の前記第 2 の光帰還部を備え、前記第 2 の光帰還部 50

は、前記半導体レーザからみて前記第1の光帰還部よりも離れた前記光路の領域に互いに離れて配列され、前記第2の光帰還部の配列では、前記第1の光帰還部からみて相対的に遠くに位置する第2の光帰還部の最大反射率は、近くに位置する第2の光帰還部の最大反射率以下であることを特徴としている。

請求項33の本願発明は、2つ以上の前記第2の光帰還部を備え、前記第2の光帰還部は所定の反射中心波長を有し、前記第2の光帰還部における反射特性の半値全幅は、前記第1の光帰還部における反射特性の半値全幅以上であり、前記第2の光帰還部は、前記半導体レーザからみて前記第1の光帰還部よりも離れた前記光路の領域に互いに離れて配列され、前記第2の光帰還部の配列では、前記第1の光帰還部からみて相対的に遠くに位置する第2の光帰還部における反射特性の半値全幅は、近くに位置する第2の光帰還部における反射特性の半値全幅以上であることを特徴としている。

10

請求項34の本願発明は、前記光ファイバには、前記半導体レーザと前記第1の光帰還部又は前記第2の光帰還部との間に前記出力光の偏波変動を防止する偏波変動防止手段が設けられていることを特徴としている。

請求項35の本願発明は、前記偏波変動防止手段は複屈折ファイバであることを特徴としている。

請求項36の本願発明は、前記半導体レーザの発振波長は980nm帯であることを特徴としている。

請求項37の本願発明は、前記半導体レーザの発振波長は、前記第1の光帰還部の反射中心波長で決まることを特徴としている。

20

また、上記目的を達成するため本願発明においては、出力光が出射される前端面を有する半導体レーザと、前記半導体レーザを収容するパッケージと、前記出力光が入射する端面を有する光ファイバと、前記半導体レーザから前記光ファイバを通過して延びる前記出力光の光路に配置され、所定の反射中心波長を有し、前記出力光の一部を前記半導体レーザに向かって帰還させる第1の光帰還部と、前記光路に前記第1の光帰還部から離間して配置され、前記第1の光帰還部の反射中心波長と同一の反射中心波長を有し、前記出力光の一部を前記半導体レーザに向かって帰還させる少なくとも1つの第2の光帰還部とを備え、前記第1及び第2の光帰還部は前記パッケージの外部に配置され、かつ、前記半導体レーザの後端面から、前記第1及び第2の光帰還部のうちいずれかの中心位置までの前記出力光の光路に沿ってみた距離が10cm以上であるとともに、前記第1の光帰還部と前記第2の光帰還部のうち隣接する光帰還部間の中心位置の間隔が5mm以上である構成としたのである（請求項38）。

30

請求項39の本願発明は、前記第1及び第2の光帰還部は、前記光ファイバに設けられていることを特徴としている。

請求項40の本願発明は、前記第2の光帰還部は、前記第1の光帰還部の反射特性における半値全幅の波長範囲内では前記第1の光帰還部の最大反射率以下となる反射率を有することを特徴としている。

請求項41の本願発明は、前記第1の光帰還部は、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴としている。

請求項42の本願発明は、前記第2の光帰還部は、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴としている。

40

請求項43の本願発明は、2つ以上の前記第2の光帰還部を備え、前記第2の光帰還部のそれぞれは、前記光ファイバに形成されたファイバブラッググレーティングであることを特徴としている。

請求項44の本願発明は、前記第2の光帰還部は、前記半導体レーザから前記第1の光帰還部よりも離れて配置されていることを特徴としている。

請求項45の本願発明は、前記第2の光帰還部の反射特性における半値全幅は、前記第1の光帰還部の反射特性における半値全幅以上であることを特徴としている。

請求項46の本願発明は、2つ以上の前記第2の光帰還部を備え、前記第2の光帰還部は、前記半導体レーザからみて前記第1の光帰還部よりも離れた前記光路の領域に互いに

50

離れて配列され、前記第2の光帰還部の配列では、前記第1の光帰還部からみて相対的に遠くに位置する第2の光帰還部の最大反射率は、近くに位置する第2の光帰還部の最大反射率以下であることを特徴としている。

請求項47の本願発明は、2つ以上の前記第2の光帰還部を備え、前記第2の光帰還部における反射特性の半値全幅は、前記第1の光帰還部における反射特性の半値全幅以上であり、前記第2の光帰還部は、前記半導体レーザからみて前記第1の光帰還部よりも離れた前記光路の領域に互いに離れて配列され、前記第2の光帰還部の配列では、前記第1の光帰還部からみて相対的に遠くに位置する第2の光帰還部における反射特性の半値全幅は、近くに位置する第2の光帰還部における反射特性の半値全幅以上であることを特徴としている。

10

請求項48の本願発明は、前記光ファイバには、前記半導体レーザと前記第1の光帰還部又は前記第2の光帰還部との間に前記出力光の偏波変動を防止する偏波変動防止手段が設けられていることを特徴としている。

請求項49の本願発明は、前記偏波変動防止手段は複屈折ファイバであることを特徴としている。

請求項50の本願発明は、前記半導体レーザの発振波長は980nm帯であることを特徴としている。

請求項51の本願発明は、前記半導体レーザの発振波長は、前記第1の光帰還部の反射中心波長で決まることを特徴としている。

【0006】

20

好ましくは、前記第2の光帰還部は、少なくとも第1の光帰還部における半値全幅の波長範囲内では第1の光帰還部の最大反射率以下となる反射率を有するものを用いる。

また好ましくは、前記第1の光帰還部と前記第2の光帰還部との反射中心波長を略同一とする。

【0007】

更に好ましくは、前記第1の光帰還部と前記第2の光帰還部との反射中心波長の差を0.5nm以内に設定する。

好ましくは、前記第1の光帰還部と前記第2の光帰還部は、反射中心波長が異なるものとする。

また好ましくは、前記第2の光帰還部は、実質的に波長依存性のないフラットな反射レベル特性を有し、反射率が前記第1の光帰還部の最大反射率よりも小さいものとする。

30

【0008】

更に好ましくは、前記第1及び第2の光帰還部のいずれかをファイバブラッググレーティングで構成する。

好ましくは、前記第1及び第2の光帰還部は、隣接する光帰還部間の長手方向中心位置の距離を少なくとも5mm以上に設定する。

また好ましくは、前記第1の光帰還部および前記少なくとも1つの第2の光帰還部のうち、いずれか2つ以上のものが、それぞれの反射特性を重ねあわせた反射特性を有するチャープトブラッググレーティングとする。

【0009】

40

更に好ましくは、前記光帰還部を前記パッケージの外部に配置する。

好ましくは、前記光ファイバは、前記半導体レーザと前記光帰還部との間に光の偏波変動を防止する偏波変動防止手段を設ける。

また好ましくは、前記偏波変動防止手段を複屈折ファイバとする。

更に好ましくは、前記複屈折ファイバを、コアに非軸対称性の応力が付与され、応力付与部の断面形状が円形であるPANDAファイバ、断面扇状のボウタイファイバ、断面楕円形状の楕円ジャケットファイバ、あるいはコアの導波構造が非軸対称に設定され、コアの断面形状が楕円形の楕円コアファイバのいずれかとする。

【0010】

好ましくは、前記半導体レーザの後端面から前記第1及び第2の光帰還部のいずれかの光

50

帰還部の長手方向中心位置までの距離を10cm以上とする。

また好ましくは、前記半導体レーザの発振波長を980nm帯とする。

【0011】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の半導体レーザモジュールに係る実施形態例を図1乃至図12に基づいて詳細に説明する。

ここで、以下に説明する各実施形態においては、同一の構成要素に同一の符号を付すことで、重複した説明を省略する。

【0012】

先ず、第1の実施形態に係る半導体レーザモジュール1は、図1(a)、(b)に示すように、パッケージ2、ペルチェ素子3、ベース4、光ファイバ5、半導体レーザ6及びフォトダイオード7を備えている。

10

パッケージ2は、ペルチェ素子3、ベース4、光ファイバ5の一端側、半導体レーザ6及びフォトダイオード7等を収納する。パッケージ2は、底板2a、周壁2b及びカバー2cを有し、周壁2bの上部にカバー2cが被着されている。また、パッケージ2は、周壁2bにスリーブ2dが設けられ、スリーブ2dに光ファイバ5の後述する第2フェルール5bが挿着されている。パッケージ2は、内部が、例えば窒素ガス等の不活性ガス雰囲気とされている。

【0013】

ペルチェ素子3は、底板2a上に設置され、半導体レーザ6の駆動に伴う発熱を冷却して所定温度に制御する温度制御素子である。ペルチェ素子3の上にベース4が載置されている。ペルチェ素子3は、リード線3aによって駆動電流がパッケージ2の外部から供給される。

20

ベース4は、図1に示すように、第1キャリア8、ヒートシンク9を介して半導体レーザ6が載置されている。また、ベース4は、半導体レーザ6の後端面6b側に第2キャリア10が、前端面6a側に光ファイバ5の一端に取り付けた第1フェルール5aが、それぞれ配置されている。

【0014】

光ファイバ5は、シングルモードファイバの他、種々の光ファイバが用いられ、レンズドファイバと、FBGを形成した光ファイバとが融着接続されている。前記レンズドファイバは、半導体レーザ6と対向配置される光結合手段としての楔型のレンズ部が一端に形成されている。また、光ファイバ5は、一端側に第1フェルール5aと第2フェルール5bが取り付けられている。光ファイバ5は、第2フェルール5bを介してスリーブ2dからパッケージ2の外へ延出している。第1フェルール5aは、支持部品5c、5dによってベース4に設置されている。

30

【0015】

更に、光ファイバ5は、図1(b)に示すように、第1あるいは第2の光帰還部となるFBG1、FBG2、...、FBGi、...、FBGnが形成されている。FBG1~FBGnは、どのような並び順で配置しても構わないし、半値全幅の大きさの大小関係も問わない。

40

ここで、FBG1は本発明の第1の光帰還部として機能し、それ以外のFBG2~FBGnは、それぞれ第2の光帰還部として機能する。第1の光帰還部(FBG1)は、半導体レーザ6の発振波長を決める所定の反射中心波長に設定されている。一方、第2の光帰還部(FBG2~FBGn)は、レーザ出力を安定化させるための構成部分であり、1つだけでもよいし複数あってもよい。

【0016】

本実施形態の半導体レーザモジュール1は、FBG1~FBGnをパッケージ2の外部に配置している。これは、半導体レーザモジュール1に特性不良が生じた場合、高価なFBG1~FBGnの部分のみを取り外せば、FBG1~FBGnの部分を他のモジュールに転用できる、という理由からである。

50

また、波長 980 nm 帯の半導体レーザモジュールの場合、パッケージ 2 内において半導体レーザ 6 を前記レンズドファイバと光結合させている。これは、前記レンズドファイバと F B G 1 ~ F B G n とを光ファイバの短い長さの中に作り込むことが困難であるという理由による。

【0017】

ここで、図 2 (a) ~ (d) には、縦軸を反射率 R (%)、横軸を波長 λ (nm) として、例えば、F B G 1, F B G 2, F B G i, F B G n の反射特性の一例を示す。このとき、本実施形態の半導体レーザモジュール 1 においては、F B G 1 ~ F B G n は、それぞれ反射中心波長 $\lambda_{c1} \sim \lambda_{cn}$ をそれぞれ略同一 (例えば波長差 2 nm 以内) とした。

【0018】

即ち、F B G 1 ~ F B G n は、それぞれ反射中心波長 $\lambda_{c1} \sim \lambda_{cn}$ が略同一 (例えば波長差 2 nm 以内) で、半導体レーザ 6 から最も近い第 1 番目の F B G 1 の半値全幅を $\Delta \lambda_1$ 、第 2 番目に近い F B G 2 の半値全幅を $\Delta \lambda_2$ 、.....、第 i 番目に近い F B G i の半値全幅を $\Delta \lambda_i$ 、.....、第 n 番目に近い F B G n の半値全幅を $\Delta \lambda_n$ とすると、 $\Delta \lambda_1 \sim \Delta \lambda_2 \sim \Delta \lambda_i \sim \Delta \lambda_n$ の関係が同時に成立するように設定した。

【0019】

このとき、F B G 1 ~ F B G n 相互間における反射中心波長の差は、好ましくは 2 nm 以内、より好ましくは 0.5 nm 以内、さらに好ましくは 0.2 nm 以内とする。反射中心波長をこのように設定すると、半導体レーザを所望の波長で安定して発振させ易く好ましい。

また、F B G 2 ~ F B G n は、少なくとも F B G 1 における半値全幅の波長範囲内では F B G 1 の最大反射率以下の反射率を有するものを使用することが望ましい。

【0020】

更に、他の態様として、図 3 (a) ~ (d) に示すように、F B G 1 ~ F B G n は、縦軸を反射率 R (%)、横軸を波長 λ (nm) としたときに、それぞれ反射中心波長 $\lambda_{c1} \sim \lambda_{cn}$ が同一で、半導体レーザ 6 から最も近い第 1 番目の F B G 1 の最大反射率を R1、第 2 番目に近い F B G 2 の最大反射率を R2、.....、第 i 番目に近い F B G i の最大反射率を R i、.....、第 n 番目に近い F B G n の最大反射率を R n とすると、 $R_1 \sim R_2 \sim \dots \sim R_i \sim \dots \sim R_n$ の関係が同時に成立するように設定してもよい。

【0021】

半導体レーザ 6 は、例えば、波長 980 nm 帯のレーザ光を前端面 6 a から光ファイバ 5 に出射すると共に、後端面 6 b からフォトダイオード 7 にモニタ光を出射する。このとき、半導体レーザ 6 は、例えば活性層と光ファイバ 5 の光軸との高さ方向の差ができるだけ小さく、好ましくは数 μm 以内となるように、第 1 フェルル 5 a に対して位置決めされる。このとき、第 1 フェルル 5 a は、半導体レーザ 6 から出射される光と光結合効率が略最大になる位置に配置されている。

【0022】

フォトダイオード 7 は、図 1 (a) に示すように、受光面を傾けて第 2 キャリア 10 上に設けられ、半導体レーザ 6 の後端面 6 b から出射されるモニタ光を受光するモニタである。ここで、前方から出力される光を分岐してモニタする構成もあるので、半導体レーザモジュール 1 ではフォトダイオード 7 は必須の構成要素ではない。

【0023】

本実施形態の半導体レーザモジュール 1 は以上のように構成され、以下、半導体レーザモジュール 1 の動作について説明する。

まず、半導体レーザ 6 から出射された光は、光ファイバ 5 に入射され、F B G 1 ~ F B G n によって元の半導体レーザ 6 側に帰還される。この帰還動作が繰り返されることで、半導体レーザ 6 は F B G 1 の反射中心波長 λ_{c1} においてレーザ発振する。このレーザ発振によって、半導体レーザ 6 は、前端面 6 a から出力光となるレーザ光を、後端面 6 b からモニタ光となるレーザ光を、それぞれ出射する。

【0024】

10

20

30

40

50

このとき、半導体レーザ 6 からの距離の異なる F B G 1 ~ F B G n からの光帰還によって、半導体レーザ 6 の発振状態のコヒーレンシーが下がるため、レーザ出力が安定し、フォトダイオード 7 におけるモニタ電流も安定化する。

図 4 (a) , (b) に、半導体レーザモジュール 1 について、横軸を時間 (秒) 、縦軸をモニター電流の変動率 (%) としたグラフを示す。ここで、モニター電流の変動率は、600 秒測定した間のモニター電流の平均値 (= 変動率 0 %) からのずれとして定義される。

【 0 0 2 5 】

図 4 (a) は、本実施形態において、第 1 の光帰還部が反射中心波長 979 nm、反射率 7 %、半値全幅 1 nm の 1 つの F B G 1 であり、第 2 の光帰還部が反射中心波長 979 nm、反射率 2 %、半値全幅 2 nm の F B G 2 (すなわちこの例では第 2 の光帰還部となる F B G が 1 つのみ) である場合の結果を示す。一方、図 4 (b) は本実施形態の比較例として、光帰還部が反射中心波長 979 nm、反射率 12 %、半値全幅 1.5 nm の F B G 1 つのみである場合の結果を示す。

【 0 0 2 6 】

図 4 (b) では、モニター電流の変動率が非常に大きく変動しているのに対し、図 4 (a) では、モニター電流の変動率が非常に安定していることが分かる。このことから、本実施形態の構成とすることによって、半導体レーザモジュール 1 は、半導体レーザ 6 のレーザ出力が安定化することが確認された。

一方、簡単のため第 2 の光帰還部が 1 つのときを考え、図 5 に示す半導体レーザモジュール 15 のように、光ファイバ 5 において第 1 の光帰還部となる F B G 1 と第 2 の光帰還部となる F B G 2 とを距離 L (5 mm) をおいて隣接させて形成する。

【 0 0 2 7 】

半導体レーザモジュール 15 は、上記のように光帰還部がモジュール構成全体で 2 つあると、発振波長 λ 、光ファイバの屈折率 n で決定される波長間隔 $\lambda^2 / 2 n L$ 程度の反射率の変動が反射波形に形成される。このとき、半導体レーザモジュール 15 は、距離 L が短すぎると波長間隔が長くなり過ぎ、第 1 の光帰還部の中心波長近傍で形成される反射特性内で反射率の大きい部分があらわれる回数が少なくなってしまう。このため、半導体レーザモジュール 15 は、発振状態が不安定となるものと推定される。このような状況を回避するため、距離 L を 5 mm 以上に設定すると、半導体レーザモジュール 15 は、更に半導体レーザ 6 の発振状態のコヒーレンシーを有効に下げることができ、レーザ出力を安定化することができるので好ましい。

【 0 0 2 8 】

次に、本発明の第 2 の実施形態を図 6 乃至図 8 に基づいて説明する。

半導体レーザモジュール 20 は、図 6 に示すように、光ファイバ 5 に光帰還部となる F B G 5 e が形成されている。縦軸を反射率 R (%) 、横軸を波長 λ (nm) としたときに、第 1 の光帰還部と第 2 の光帰還部の反射特性を重ねあわせてなる全体として図 7 に示す反射特性を有するチャープトグレーティングとして形成されている。

【 0 0 2 9 】

F B G 5 e は、第 1 の光帰還部と第 2 の光帰還部の反射特性を示す複数のガウシアン関数、例えば、図 8 (a) ~ (d) に示すように、反射中心波長 $\lambda_{c1} \sim \lambda_{c4}$ がそれぞれ等しく ($\lambda_{c1} = \lambda_{c2} = \lambda_{c3} = \lambda_{c4}$) 、最大反射率がそれぞれ R_1, R_2, R_3, R_4 の 4 つのガウシアン関数 F G 1, F G 2, F G 3, F G 4 の重ね合わせで表される反射特性を有し、屈折率変化の周期が光ファイバ 5 の光軸方向に変化するチャープトグレーティングを使用した。

【 0 0 3 0 】

なお、チャープトグレーティングは、任意の光帰還部相互を組み合わせた反射波長特性を有するように形成することができる。

以上のように、半導体レーザモジュール 20 は、複数の F B G の反射特性を重ね合わせたチャープトグレーティングとして形成された F B G 5 e を有する光ファイバ 5 を用いても、半導体レーザ 6 の発振状態のコヒーレンシーを下げ、モニタ電流を安定させることがで

10

20

30

40

50

きた。

【 0 0 3 1 】

このように、本発明の半導体レーザモジュールは、第 1 の光帰還部と第 2 の光帰還部とを備える構成であるが、これら複数の光帰還部のそれぞれの反射特性を重ねあわせた単一の光帰還部も使用可能である。

次いで、本発明の第 3 の実施形態を図 1 (b) 及び図 9 に基づいて説明する。

本実施形態の半導体レーザモジュールは、図 1 (b) に示す半導体レーザモジュール 1 において、光ファイバ 5 の第 1 の光帰還部を構成する F B G 1 と第 2 の光帰還部 F B G 2 , . . . , F B G n に関し、その反射中心波長及びこれらの反射中心波長における反射レベルが相違している点に特徴がある。

10

【 0 0 3 2 】

図 9 は、光ファイバ 5 の第 1 の光帰還部と第 2 の光帰還部に関する反射率 (%) の分布の一例を示す。

図 9 に示すように、第 1 の光帰還部である F B G 1 は、反射中心波長 9 7 9 n m 、反射率 $R = 7 \%$ 、半値全幅 1 n m である。第 2 の光帰還部である F B G 2 は、反射中心波長 9 8 3 n m 、反射率 $R = 1 0 \%$ 、半値全幅 5 n m である。第 2 の光帰還部 (F B G 2) は、反射中心波長における反射率が第 1 の光帰還部 (F B G 1) の反射中心波長における反射率より大きい。しかし、第 2 の光帰還部 (F B G 2) は、第 1 の光帰還部 (F B G 1) における半値全幅の波長範囲内では第 1 の光帰還部の最大反射率よりも反射率が小さくなる反射特性を有している。

20

【 0 0 3 3 】

一般に、半導体レーザ 6 が、第 1 の光帰還部 (F B G 1) と第 2 の光帰還部 (F B G 2 ~ F B G n) のどちらからの光によって発振するかは損失と利得の関係によって決まる。従って、半導体レーザモジュール 1 は、波長に対する利得の形状が適切である半導体レーザ 6 を用いて構成する。

すなわち、半導体レーザ 6 における活性層の利得係数を g 、光の閉じ込め係数を Γ とすると、半導体レーザ 6 の導波構造における実効的な利得は Γg と表すことができる。

【 0 0 3 4 】

ここで、半導体レーザ 6 の共振器長を L_{re} 、散乱などによる半導体レーザ内の損失を α_{in} 、半導体レーザ 6 の後端面 6 b における振幅反射率を r_b とおく。また、半導体レーザ 6 の前端面反射率、半導体レーザ 6 - 光ファイバ 5 間のパワー結合効率、F B G 1 ~ F B G n の反射率等から計算される出射方向の実効反射率 (一般に複素数) を r_f とおく。

30

【 0 0 3 5 】

このとき、ミラー損失 α_m は

$$\alpha_m = (1/L_{re}) \ln(1/r_b |r_f|) \dots \dots \dots \text{式 (1)}$$

と表すことができる。

これらを用いて電界振幅のレーザ発振条件は、損失と利得がつり合う条件で

$$\Gamma g(\lambda) = \alpha_{in} + \alpha_m(\lambda) \dots \dots \dots \text{式 (2)}$$

と表すことができる。上式の括弧はレーザ発振条件に波長依存性があることを表している。

40

【 0 0 3 6 】

また、位相のレーザ発振条件は活性層の屈折率 n_1 を用いて

$$4\pi n_1 L_{re} / \lambda - 2m\pi = \arg(r_f) \dots \dots \dots \text{式 (3)}$$

と表すことができる。 m は整数である。

一般的には、上記式 (2) と式 (3) によって半導体レーザ 6 の発振波長が決定される。式 (2) をグラフに表すと、左辺は上に凸であり、右辺は下に凸である。よって、両辺の波長依存性のグラフを描いた時にその交点が半導体レーザ 6 の発振波長となり得る。

【 0 0 3 7 】

よって、半導体レーザ 6 の特性によって決まる式 (2) の左辺の波長依存性に対して、F B G 1 ~ F B G n で決定される右辺の波長依存性が第 1 の光帰還部 (F B G 1) でのみ交点

50

を持つように、半導体レーザ 6 と F B G を、選択すれば良い。

このように、半導体レーザ 6 と F B G 1 ~ F B G n を適切に選定することにより、図 9 のように、第 1 の光帰還部 (F B G 1) よりも第 2 の光帰還部 (F B G 2) の方が反射中心波長における反射率が大きい関係になっていたとしても、第 1 の光帰還部の中心波長のみで発振させることができる。

【 0 0 3 8 】

また、図 9 に示すように、第 2 の光帰還部は、第 1 の光帰還部 (F B G 1) の反射中心波長においては、第 1 の光帰還部 (F B G 1) よりも反射率は小さいが反射を生じている。この第 2 の光帰還部 (F B G 2) からの光帰還によって、本実施形態の半導体レーザモジュール 1 は、半導体レーザ 6 におけるレーザ発振のコヒーレンシーが下がり、モニター電流を安定させることができる。

10

【 0 0 3 9 】

更に、本発明の第 4 の実施形態例を図 1 0 乃至図 1 2 に基づいて説明する。

本実施形態の半導体レーザモジュール 2 5 は、図 1 0 に示すように、第 1 の光帰還部として、例えば F B G 5 f を用い、第 2 の光帰還部として、波長依存性のほとんどないフラットな反射率特性を有し、前記第 2 の光帰還部の反射率が前記第 1 の光帰還部の最大反射率よりも小さい光帰還部 1 6 を用いる。ここで、第 1 の光帰還部である F B G 5 f 及び第 2 の光帰還部である光帰還部 1 6 の反射率 (%) の分布を図 1 1 に示す。

【 0 0 4 0 】

このような光帰還部 1 6 としては、例えば F B G 5 f の反射中心波長を含んだ広い波長帯域内でフラットな反射レベル特性を有する誘電体多層膜、F B G その他の光フィルタ、もしくは所定の反射率に設定された光ファイバの出射端面を用いることができる。

20

本実施形態では、ファイバ長手方向に対して先端を球面状に研磨、もしくは垂直に切断した光ファイバの出射端面を光帰還部 1 6 として有する、例えば P C (Physical Contact) コネクタを用いた場合について説明する。

【 0 0 4 1 】

図 1 2 (a) , (b) には、半導体レーザモジュール 2 5 にかかる光出力 P_o (mW) 及びスロープ効率 S_e (W / A) の注入電流 (mA) に対する電流依存性を示す。ここで、第 1 の光帰還部となる F B G 5 f としては反射中心波長 9 7 9 nm、反射率 7 %、半値全幅 1 nm のものを用いた。

30

図 1 2 (a) は、本実施形態例の半導体レーザモジュールについて、例えば光帰還部 1 6 の反射率が 3 % である上記 P C コネクタの場合の結果を示している。一方、図 1 2 (b) は、本実施形態の比較例として、光ファイバの出射端面を第 2 の光帰還部として有する A P C (Angled Physical Contact) コネクタを用いた場合の結果を示している。A P C コネクタは、反射光をファイバに再び結合させないように、突合せ端面に斜め研磨加工が施された光コネクタである。

【 0 0 4 2 】

従って、この場合の第 2 の光帰還部は、光ファイバの出射端面が斜め研磨されているので、反射率が 10^{-6} % と非常に小さくなる。

図 1 2 (b) の A P C コネクタを用いた半導体レーザモジュールでは、スロープ効率がなだらかではなく、不安定になっていることが分かる。これに対して、図 1 2 (a) の P C コネクタを用いた半導体レーザモジュール 2 0 では、スロープ効率がなだらかであり、図 1 2 (b) のような不安定性が解消されているのが分かる。

40

【 0 0 4 3 】

このように、波長依存性のほとんどないフラットな反射レベル特性を有し、反射率が第 1 の光帰還部である F B G 5 f の最大反射率よりも小さい光帰還部 1 6 を用いた場合でも、半導体レーザモジュール 2 5 は、発振状態が安定することが確認できた。

ここで、光帰還部 1 6 として、誘電体多層膜、F B G その他の光フィルタを用い、これらの光フィルタを通過した光を他のモジュールその他に接続する光コネクタとして A P C コネクタを用いると、光コネクタでの反射が低く抑えられる。従って、A P C コネクタを用

50

いた半導体レーザモジュールは、光フィルタにより所望の反射率で光を半導体レーザ側に反射させることができるという点で好ましい。

【0044】

ここで、上記各実施形態の半導体レーザモジュールは、波長980nm帯の光を出力する半導体レーザ6を使用している。

この種の半導体レーザ6は、一般的に、他の波長帯の光を出力するものに比べて、モニタ光の出力強度の時間的安定性が低いことが知られている。

よって、本発明は、どのような波長の半導体レーザ6にも適用できるものであるが、本発明を波長980nm帯の半導体レーザ6を用いた半導体レーザモジュールに適用することは非常に効果大きい。

10

【0045】

また、FBGをパッケージ2の外部に配置することは、共振器長を長くすることも意味する。これにより、半導体レーザモジュールは、レーザ発振のコヒーレンシーをより効果的に下げることができるので、好ましい。本実施形態では、例えば半導体レーザ6の後端面6bから第1の光帰還部の光ファイバ5に沿った長手方向中心位置までの距離を10cm以上とした。

【0046】

更に、上記各実施形態のように、FBGをパッケージ2の外部に配置すると、半導体レーザ6とFBGとの間における光ファイバ5の屈折率の変動等により、半導体レーザモジュールは、レーザ発振が不安定になることが懸念される。

20

よって、半導体レーザモジュールは、少なくとも半導体レーザ6とFBGの間では、光ファイバ5として、コアに非軸対称性の応力が付与され、応力付与部の断面形状が円形であるPANDA (polarization-maintaining and absorption-reducing)ファイバ、断面扇状のボウタイファイバ、断面楕円形状の楕円ジャケットファイバ、あるいはコアの導波構造が非軸対称に設定され、コアの断面形状が楕円形の楕円コアファイバ等の複屈折ファイバを使用し、光の偏波変動を抑制する構成とした方が好ましい。

【0047】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明の半導体レーザモジュールは、上記構成に限定されるものではない。一例として、光結合手段については、光ファイバ5に対し、半導体レーザ6の前端面6aから出射されるレーザ光を、大きな接続損失を伴うことなく入射できれば、レンズドファイバの楔型レンズ部に限定されるものでない。例えば、先球ファイバの先球部や単体レンズを用いたレンズ系等、適当な光学系による光結合手段を使用することができる。

30

【0048】

【発明の効果】

請求項1乃至15の発明によれば、レーザ出力を安定させることができる半導体レーザモジュールを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る半導体レーザモジュールの全体構成を示す断面正面図(a)と、半導体レーザモジュール及び光ファイバに形成される複数のFBGを示す概略構成図(b)である。

40

【図2】図1の半導体レーザモジュールで使用する光ファイバに形成される複数のFBG1~FBGnに関し、横軸に波長、縦軸に反射率をとった、反射レベルの波長依存性を示す特性図の一例である。

【図3】図1の半導体レーザモジュールで使用する光ファイバに形成される複数のFBG1~FBGnに関し、横軸に波長、縦軸に反射率をとった、反射レベルの波長依存性を示す特性図の他の例である。

【図4】図1の半導体レーザモジュールについて、横軸に時間、縦軸にモニタ電流の変動率をとった、モニタ電流の変動率の経時変化を測定した結果を示す計測図で、第1の光帰還部と第2の光帰還部を設けた本実施形態の結果(a)と、第1の光帰還部のみの比較例

50

の結果（ｂ）である。

【図５】本発明の第１の実施形態に係る半導体レーザモジュールの変形例を示す概略構成図である。

【図６】本発明の第２の実施形態に係る半導体レーザモジュール及び光ファイバに形成される光帰還部を示す概略構成図である。

【図７】図６の光ファイバに形成されるＦＢＧに関し、横軸に波長、縦軸に反射率をとった、反射レベルの波長依存性を示す特性図である。

【図８】図６のＦＢＧが有する波長特性を形成する複数のガウシアン関数のそれぞれを反射率と波長との関係で個々に示した、反射レベルの波長依存性を示す特性図である。

【図９】本発明の第３の実施形態に係る半導体レーザモジュールに形成される第１、第２の光帰還部となるＦＢＧに関し、横軸に波長、縦軸に反射率をとった、反射レベルの波長依存性を示す特性図である。

10

【図１０】本発明の第４の実施形態に係る半導体レーザモジュール及び光ファイバに形成される光帰還部を示す概略構成図である。

【図１１】半導体レーザモジュールに形成される第１、第２の光帰還部となるＦＢＧに関し、横軸に波長、縦軸に反射率をとった、反射レベルの波長依存性を示す特性図である。

【図１２】本発明の第４の実施形態に係る半導体レーザモジュールに関し、横軸に注入電流を取り、縦軸に出力光の電流値とスロープ効率をとった特性図で、第２の光帰還部としてＰＣコネクタを用いた本実施形態の場合（ａ）と、第２の光帰還部としてＡＰＣコネクタを用いた比較例の場合である（ｂ）。

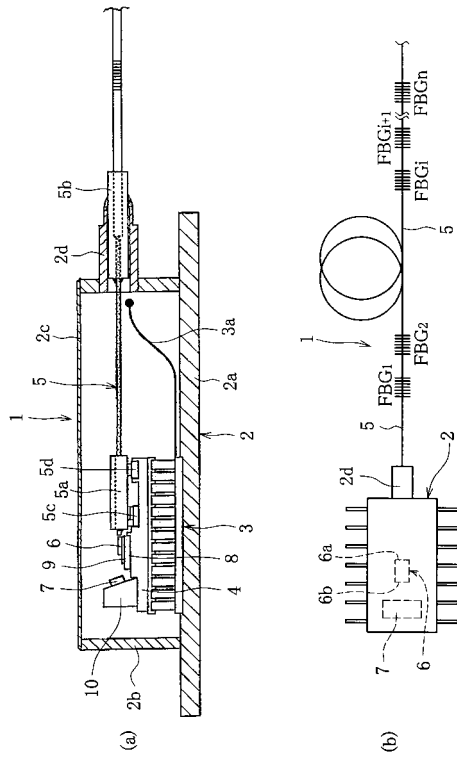
20

【符号の説明】

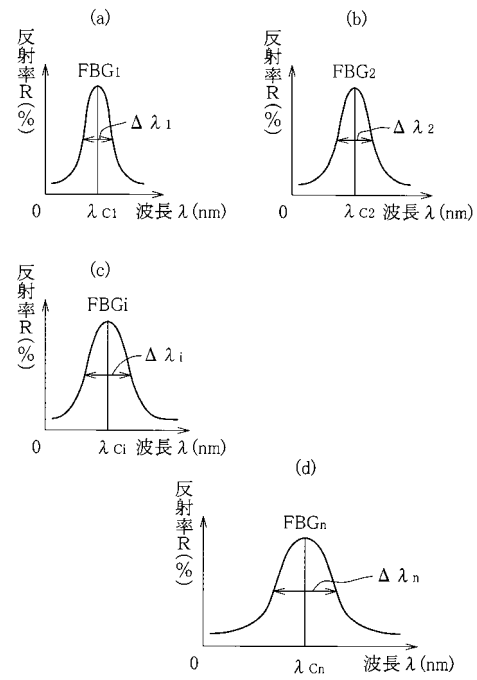
１	半導体レーザモジュール
２	パッケージ
３	ペルチェ素子
４	ベース
５	光ファイバ
５ e , ５ f	ファイバブラッググレーティング（光帰還部）
６	半導体レーザ
７	フォトダイオード
８	第１キャリア
９	ヒートシンク
１ ０	第２キャリア
１ ５ , ２ ０ , ２ ５	半導体レーザモジュール
ＦＢＧ１～ＦＢＧｎ	ファイバブラッググレーティング（光帰還部）

30

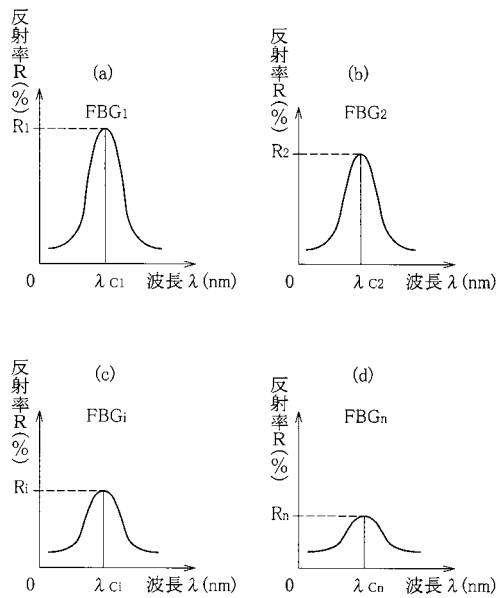
【図 1】



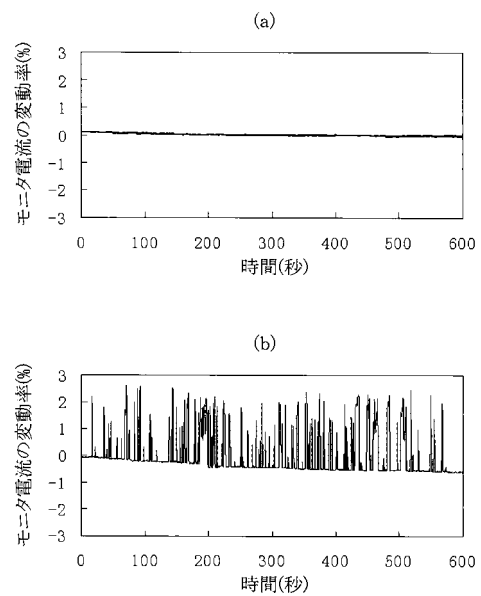
【図 2】



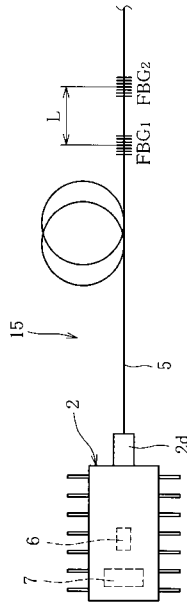
【図 3】



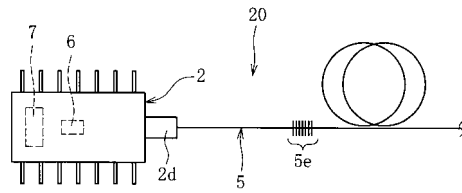
【図 4】



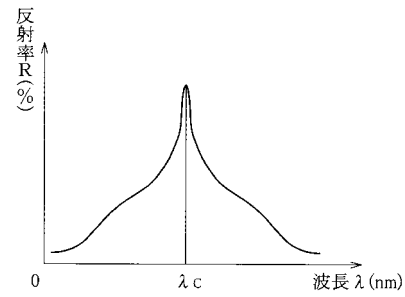
【図 5】



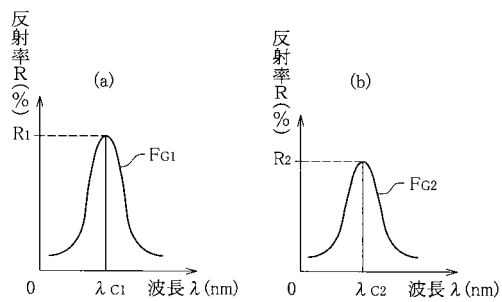
【図 6】



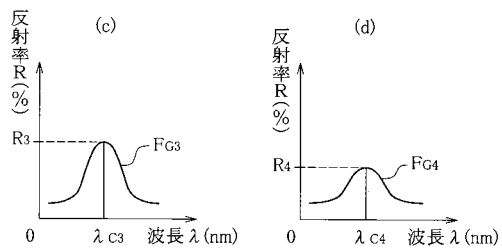
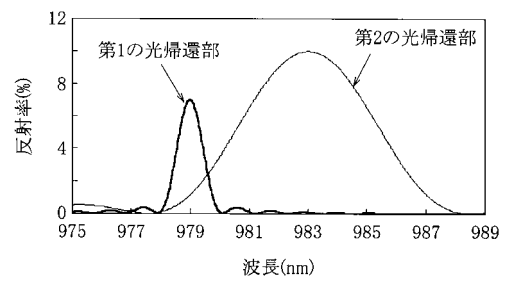
【図 7】



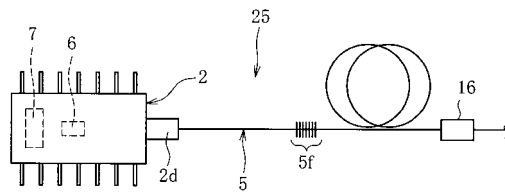
【図 8】



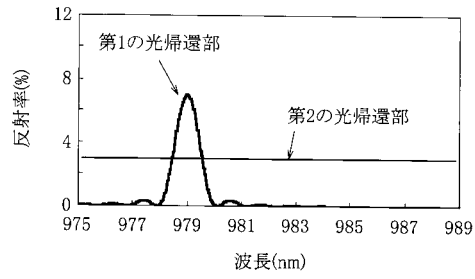
【図 9】



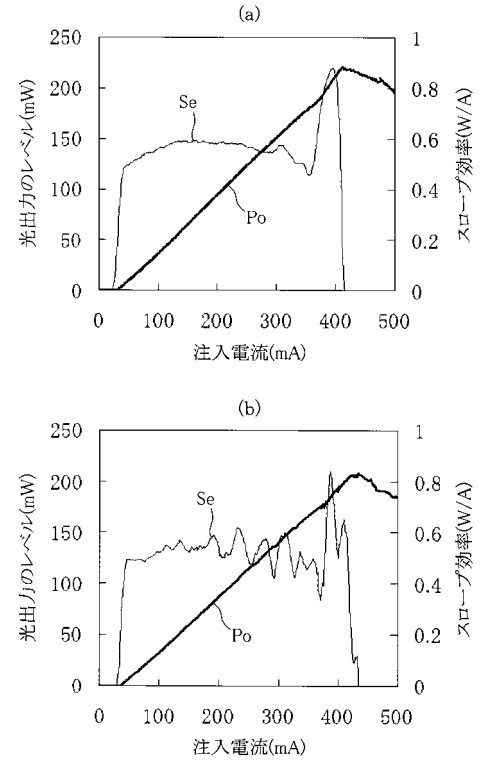
【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】



フロントページの続き

審査官 松崎 義邦

- (56)参考文献 特開平10-293234(JP,A)
特開平09-162490(JP,A)
特開平06-291423(JP,A)
特開平06-005961(JP,A)
特開2000-194023(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S5/00-5/50