

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4747841号
(P4747841)

(45) 発行日 平成23年8月17日 (2011.8.17)

(24) 登録日 平成23年5月27日 (2011.5.27)

(51) Int. Cl. F I
GO 2 F 1/37 (2006.01) GO 2 F 1/37
HO 1 S 3/109 (2006.01) HO 1 S 3/109

請求項の数 18 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2005-509305 (P2005-509305)
 (86) (22) 出願日 平成15年10月1日 (2003.10.1)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2003/012601
 (87) 国際公開番号 W02005/033791
 (87) 国際公開日 平成17年4月14日 (2005.4.14)
 審査請求日 平成18年8月30日 (2006.8.30)

前置審査

(73) 特許権者 000006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 (74) 代理人 100113077
 弁理士 高橋 省吾
 (74) 代理人 100112210
 弁理士 稲葉 忠彦
 (74) 代理人 100108431
 弁理士 村上 加奈子
 (74) 代理人 100128060
 弁理士 中鶴 一隆
 (72) 発明者 小矢田 康晴
 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三
 菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長変換レーザ装置および画像表示装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

活性層で発光したレーザ光を短波長化して出力する波長変換レーザ装置であって、
前記レーザ光を発振させる一対の対向する反射器と、
前記一対の対向する反射器の間に配置され前記レーザ光が高調波に波長変換される波長
変換器とを備え、
前記波長変換器は、前記レーザ光および前記高調波の垂直横モードを制御するとともに
前記レーザ光および前記高調波のビーム径を水平方向に広げるためのスラブ形状の光導波
路構造を有し、
前記一対の対向する反射器は、前記レーザ光の所要の水平横モードに対する光共振器損
失が他の水平横モードに対する光共振器損失よりも低くなるような形状の反射面をもち、
前記波長変換器を伝搬する前記レーザ光の水平横モードを制御することを特徴とする波長
変換レーザ装置。

【請求項 2】

前記一対の対向する反射器における前記反射面の形状が、前記レーザ光の波面とほぼ平
行であることを特徴とする請求項 1 に記載の波長変換レーザ装置。

【請求項 3】

前記一対の対向する反射器の 1 つが、前記活性層に一体形成された分布ブラッググレー
ティング反射器であることを特徴とする請求項 1 に記載の波長変換レーザ装置。

【請求項 4】

10

20

前記一対の対向する反射器の１つが、前記波長変換器における前記一対の対向する反射器の外側に凸の曲面形状をもつ片端面に一体形成されているコーティング膜であることを特徴とする請求項１に記載の波長変換レーザ装置。

【請求項５】

前記一対の対向する反射器の１つが、前記波長変換器に一体形成されている分布ブラッググレーティング反射器であることを特徴とする請求項１に記載の波長変換レーザ装置。

【請求項６】

前記活性層は、前記レーザ光の垂直横モードを制御するとともに前記レーザ光のビーム径を水平方向に広げるためのスラブ形状の光導波路構造を構成することを特徴とする請求項１に記載の波長変換レーザ装置。

10

【請求項７】

前記波長変換器は、周期分極反転構造を有することを特徴とする請求項１に記載の波長変換レーザ装置。

【請求項８】

前記波長変換器は、前記レーザ光の偏光方向にＺ軸の結晶軸がほぼ一致している $\text{MgO}:\text{LiNbO}_3$ 結晶からなることを特徴とする請求項１に記載の波長変換レーザ装置。

【請求項９】

前記活性層、前記一対の対向する反射器、および前記波長変換器が一体化されていることを特徴とする請求項１に記載の波長変換レーザ装置。

【請求項１０】

20

前記活性層と前記波長変換器の間に前記高調波を反射する反射器を備えたことを特徴とする請求項１に記載の波長変換レーザ装置。

【請求項１１】

前記活性層におけるレーザ光の垂直横モードと前記波長変換器におけるレーザ光の垂直横モードとのモード不整合を低減させる横モード変換手段を備えたことを特徴とする請求項１に記載の波長変換レーザ装置。

【請求項１２】

前記活性層の温度および前記波長変換器の温度を制御する温度制御手段を備えたことを特徴とする請求項１に記載の波長変換レーザ装置。

【請求項１３】

30

前記活性層が発光する前記レーザ光の発振波長における温度変化に対する波長シフト割合と、前記波長変換器の前記レーザ光の位相整合波長における温度変化に対する波長シフト割合とがほぼ一致していることを特徴とする請求項１に記載の波長変換レーザ装置。

【請求項１４】

活性層で発光したレーザ光を短波長化して出力する波長変換レーザ装置であって、前記レーザ光を発振させる一対の対向する反射器と、前記一対の対向する反射器の間に配置され前記レーザ光が高調波に波長変換される波長変換器とを備え、

前記波長変換器は、前記レーザ光および前記高調波の垂直横モードを制御するとともに前記レーザ光および前記高調波のビーム径を水平方向に広げるためのスラブ形状の光導波路構造を有し、

40

前記一対の対向する反射器は、前記レーザ光の所要の水平横モードに対する光共振器損失が他の水平横モードに対する光共振器損失よりも低くなるような形状の反射面をもち、前記波長変換器を伝搬する前記レーザ光の水平横モードを制御する波長変換レーザ装置を、

画像を生成するための光源として用いることを特徴とする画像表示装置。

【請求項１５】

前記画像を生成するための光源が、３原色のうち緑色の光源であることを特徴とする請求項１４に記載の画像表示装置。

【請求項１６】

50

前記画像を生成するための光源が、3原色のうち青色の光源であることを特徴とする請求項14に記載の画像表示装置。

【請求項17】

画像を生成するための光変調手段として液晶を用いることを特徴とする請求項14に記載の画像表示装置。

【請求項18】

画像を生成するための光変調手段としてデジタル反射素子を用いることを特徴とする請求項14に記載の画像表示装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

この発明は、レーザ装置に係るものであり、特にレーザ光を短波長化する波長変換技術に関するものである。

【背景技術】

近年、例えば光情報処理分野等の光源として、緑色、青色といった可視光レーザの研究開発が進められている。可視光レーザの一種として、波長変換技術を適用して近赤外レーザ光を短波長化する波長変換レーザ装置が知られている。

一般に波長変換レーザ装置では、非線形光学材料からなる波長変換器が半導体レーザあるいは固体レーザの光共振器の内部あるいは外部に設置され、光共振器により発生したレーザ光（基本波）が非線形光学材料を伝搬することにより、基本波に対して半分の波長（2倍の周波数）に波長変換された第2高調波が出力される。

このような波長変換レーザ装置としては、例えば日本特許公開昭63-121829号公報に開示されているものがある。特に実施例3および第3図に開示された波長変換レーザ装置においては、半導体レーザと波長変換器が接合され、それらの片端面に反射器が一体形成されて光共振器が構成されている。半導体レーザの如く小型で低出力、連続発振の励起光を使用する場合にも、波長変換器を光共振器内に挿入して光強度を高めることによって、高周波への高い変換効率を得られるものである。

しかしながら、このような従来の波長変換レーザ装置では、半導体レーザおよび波長変換器により構成されており、発光面積の小さな狭ストライプ型半導体レーザではワット級の高出力なレーザ光（基本波）が得られないため、波長変換レーザ装置の高出力化には限界がある。一方、発光面積が大きくワット級に高出力化されたブロードエリア型半導体レーザでは、活性層に対して水平方向の横モード（水平横モード）についてモード制御されておらず、ビーム品質の低いマルチ横モードで発振する。このようなブロードエリア型半導体レーザを用いる場合には、ビーム品質の低いレーザ光（基本波）は、波長変換器との結合効率あるいは角度位相整合が十分でなく、高効率な波長変換レーザ装置が得られないという問題がある。

以上のように、従来の波長変換レーザ装置では、ワット級の高出力でかつ高効率なものが得られないという点で問題があった。

この発明は、従来の波長変換レーザ装置の有する上記のような問題を解決することを目的とするものである。

【発明の開示】

この発明に係る波長変換レーザ装置は、活性層で発光したレーザ光を短波長化して出力する波長変換レーザ装置であって、前記レーザ光を発振させる一対の対向する反射器と、前記一対の対向する反射器の間に配置され前記レーザ光が高調波に波長変換される波長変換器とを備え、前記波長変換器は、前記レーザ光および前記高調波の垂直横モードを制御するとともに前記レーザ光および前記高調波のビーム径を水平方向に広げるためのスラブ形状の光導波路構造を有し、前記一対の対向する反射器は、前記レーザ光の所要の水平横モードに対する光共振器損失が他の水平横モードに対する光共振器損失よりも低くなるような形状の反射面をもち、前記波長変換器を伝搬する前記レーザ光の水平横モードを制御するものである。

このように、この波長変換レーザ装置では、波長変換器がビーム径を水平方向に広げる

10

20

30

40

50

ための光導波路構造を有していることにより、活性層と波長変換器の間を伝搬するレーザー光（基本波）の結合損失を低減し、波長変換器における波長変換を高効率化することが可能である。さらに、波長変換器内において水平方向にビーム径を広げてレーザー光（基本波）および高調波のパワー密度を低減しているため、光吸収による発熱が減るとともに放熱面積も広くなり温度上昇を防ぐことができる。このため、温度上昇による位相整合波長のずれが減り、このことから、波長変換器における波長変換を高効率化することが可能である。

【図面の簡単な説明】

図 1 (a) はこの発明の実施の形態 1 による波長変換レーザー装置の構成を示す垂直方向断面図、

10

図 1 (b) はこの発明の実施の形態 1 による波長変換レーザー装置の構成を示す水平方向断面図、

図 2 (a) はこの発明の実施の形態 1 による波長変換レーザー装置の構成を示す垂直方向断面図、

図 2 (b) はこの発明の実施の形態 1 による波長変換レーザー装置の構成を示す水平方向断面図、

図 3 (a) はこの発明の実施の形態 2 による波長変換レーザー装置の構成を示す垂直方向断面図、

図 3 (b) はこの発明の実施の形態 2 による波長変換レーザー装置の構成を示す水平方向断面図、

20

図 4 (a) はこの発明の実施の形態 3 による波長変換レーザー装置の構成を示す垂直方向断面図、

図 4 (b) はこの発明の実施の形態 3 による波長変換レーザー装置の構成を示す水平方向断面図、

図 5 (a) はこの発明の実施の形態 3 による波長変換レーザー装置の構成を示す垂直方向断面図、

図 5 (b) はこの発明の実施の形態 3 による波長変換レーザー装置の構成を示す水平方向断面図、

図 6 (a) はこの発明の実施の形態 4 による波長変換レーザー装置の構成を示す垂直方向断面図、

30

図 6 (b) はこの発明の実施の形態 4 による波長変換レーザー装置の構成を示す水平方向断面図、

図 7 (a) はこの発明の実施の形態 5 による波長変換レーザー装置の構成を示す垂直方向断面図、

図 7 (b) はこの発明の実施の形態 5 による波長変換レーザー装置の構成を示す水平方向断面図、

図 8 (a) はこの発明の実施の形態 5 による波長変換レーザー装置の構成を示す垂直方向断面図、

図 8 (b) はこの発明の実施の形態 5 による波長変換レーザー装置の構成を示す水平方向断面図、

40

図 9 (a) はこの発明の実施の形態 6 による波長変換レーザー装置の構成を示す垂直方向断面図、

図 9 (b) はこの発明の実施の形態 6 による波長変換レーザー装置の構成を示す水平方向断面図、

図 10 (a) はこの発明の実施の形態 6 による波長変換レーザー装置の構成を示す垂直方向断面図、

図 10 (b) はこの発明の実施の形態 6 による波長変換レーザー装置の構成を示す水平方向断面図、

図 11 (a) はこの発明の実施の形態 6 による波長変換レーザー装置の構成を示す垂直方向断面図、

50

図 1 1 (b) はこの発明の実施の形態 6 による波長変換レーザ装置の構成を示す水平方向断面図、

図 1 2 (a) はこの発明の実施の形態 6 による波長変換レーザ装置の構成を示す垂直方向断面図、

図 1 2 (b) はこの発明の実施の形態 6 による波長変換レーザ装置の構成を示す水平方向断面図、

図 1 3 (a) はこの発明の実施の形態 7 による波長変換レーザ装置の構成を示す垂直方向断面図、

図 1 3 (b) はこの発明の実施の形態 7 による波長変換レーザ装置の構成を示す水平方向断面図、

図 1 4 (a) はこの発明の実施の形態 7 による波長変換レーザ装置の構成を示す垂直方向断面図、

図 1 4 (b) はこの発明の実施の形態 7 による波長変換レーザ装置の構成を示す水平方向断面図、

図 1 5 (a) はこの発明の実施の形態 8 による波長変換レーザ装置の構成を示す垂直方向断面図、

図 1 5 (b) はこの発明の実施の形態 8 による波長変換レーザ装置の構成を示す水平方向断面図、
である。

【発明を実施するための最良の形態】

実施の形態 1 .

この発明の実施の形態 1 に係る波長変換レーザ装置は、半導体レーザおよび光共振器内に配置された波長変換器を備えるものである。光共振器によりレーザ発振したレーザ光（基本波）は、波長変換器で高調波に波長変換されて出力される。レーザ光（基本波）および高調波の垂直横モードは光導波路構造により制御され、レーザ光（基本波）の水平横モードは光共振器により制御される。

図 1 および図 2 は、この発明の実施の形態 1 による波長変換レーザ装置を示す構成図である。なお、半導体レーザの活性層に対して（ a ）垂直方向および（ b ）水平方向について、波長変換レーザ装置の断面構造を図示している。

図 1 において、半導体レーザ 1 において、例えば InGaAs 系化合物半導体混晶からなる活性層 1 a が形成されている。活性層 1 a は、層厚が 1 μm 程度であり、レーザ光（基本波）の垂直横モードを制御するスラブ光導波路を構成する。活性層 1 a の境界面には pn 接合が形成されている。活性層幅は 200 μm で、いわゆるプロ - ドエリア型であり、出力 5 W 以上の高出力特性を有する。また、光共振器の縦軸方向における半導体レーザ 1 の長さは 4 mm であり、半導体レーザ 1 は波長 946 nm を中心に 3 nm 程度の利得帯域をもつ。波長変換器 2 は、例えば周期分極反転構造を有する MgO : LiNbO₃ 結晶からなり、活性層 1 a の水平方向に対して z 軸方向の結晶軸が一致している。波長変換器 2 は、半導体レーザ 1 の活性層 1 a と同程度の厚さで幅の広いスラブ光導波路 2 a を有しており、レーザ光（基本波）および高調波の垂直横モードが制御される。また、光共振器の縦軸方向における波長変換器の長さは 10 mm で、図において縞状に図示している周期分極反転構造は、縦軸方向に 4.6 μm の分極反転周期を持つ。なお、半導体レーザ 1 の活性層 1 a と波長変換器 2 のスラブ光導波路 2 a は、端面で接合されている。3 は第 1 の反射器、4 は第 2 の反射器であり、これらが半導体レーザの光共振器を構成しており、光共振器内に波長変換器 2 を配置している。第 1 の反射器 3 は半導体レーザ 1 の片端面に一体形成され、波長 946 nm に対してほぼ全反射するコーティング膜である。第 2 の反射器 4 は波長変換器 2 に一体形成され、波長 946 nm に対してはほぼ全反射するとともに波長 473 nm に対しては高い透過率を有する分布反射ブラッググレーティング反射器（以下、グレーティングと略称する）である。また、第 2 の反射器 4 は半導体レーザ 1 の水平横モードを制御するため、水平方向に 180 mm の曲率半径を有している。さらに、第 1 の反射器 3 および第 2 の反射器 4 は、発振波長の選択のため、波長 946 nm を中心に 0.02 nm 程度の波長幅で反射スペクトルを有している。 5

10

20

30

40

50

は光共振器内を往復する基本波ビームの水平方向断面を模式的に表わしたものである。

次に動作について説明する。

図示を省略している電極から半導体レーザ 1 に順方向電流を流すと、活性層 1 a に電子と正孔が注入され、電子と正孔が再結合して発光する。第 1 の反射器 3 と第 2 の反射器 4 が対向して配置され、光共振器が構成される。ここで、注入電流を増加して反転分布を形成すると誘導放出が生じ、第 1 の反射器 3 および第 2 の反射器 4 における反射スペクトルに対応して、波長 946 nm のレーザ光が増幅される。半導体レーザ 1 における吸収損失、第 1 の反射器 3 および第 2 の反射器 4 における透過損失、ならびに波長変換器における波長変換や散乱による損失等からなる光共振器損失を、レーザ光の増幅利得が上回るとレーザ発振に至る。

10

このとき、半導体レーザ 1 では、レーザ光（基本波）の垂直横モードが活性層 1 a により制御されている。波長変換器 2 では、レーザ光（基本波）および高調波の垂直横モードがスラブ光導波路 2 a により制御されている。一方、レーザ光（基本波）および高調波の水平横モードは、活性層 1 a やスラブ光導波路 2 a では制御されない。レーザ光（基本波）の水平横モードは、第 1 の反射器 3 および 180 mm の曲率半径を有している第 2 の反射器 4 により制御されている。ここで、光共振器の空間モードは活性層幅および第 2 の反射器 4 の曲率半径で規定され、光共振器損失の低い水平横モードをもつレーザ光（基本波）がレーザ発振し、第 2 の反射器 4 におけるレーザ光（基本波）の波面は反射面にほぼ平行となる。

ここで、ブロードエリア型半導体レーザ 1 は高出力特性を有しており、水平方向にビーム径を広げてレーザ光（基本波）のパワー密度を低減し、波長変換器 2 における光損傷および温度上昇を防ぐことができるため、高調波を高出力化することが可能である。半導体レーザ 1 と波長変換器 2 はともに光導波路構造を有しており、垂直方向に半導体レーザ 1 と波長変換器 2 で成り立つ光導波路の導波モードを整合させ、水平方向に一对の反射器による光共振器で成り立つ空間モードとして半導体レーザ 1 と波長変換器 2 の間を伝搬するレーザ光（基本波）の結合損失を低減し、波長変換器 2 における波長変換を高効率化することが可能である。

20

特に波長変換器 2 がスラブ光導波路 2 a を有していることにより、波長変換器 2 において水平方向にビーム径を広げてレーザ光（基本波）および高調波のパワー密度を低減しているため、光吸収による発熱が減るとともに放熱面積も広くなり上昇を防ぐことができる。このため、温度上昇による位相整合波長のずれが減り、このことから、波長変換器 2 における波長変換を高効率化することが可能である。

30

また、波長変換器 2 は周期分極反転構造を有しており、伝搬する高調波は擬似位相整合し、波長変換器 2 における波長変換を高効率化することが可能である。

ところで、非線形光学材料の屈折率は波長分散があるため、基本波と第 2 高調波の位相速度が異なり、各点で発生した第 2 高調波は各高調波間で位相がずれて伝搬する。位相差が π となる距離であるコヒーレント長 l_c を超えて伝搬すると合成した高調波の強度は減少し、コヒーレント長の周期で増減を繰り返すことになる。そこで、周期分極反転構造においては、非線形光学材料の非線形光学定数の符号、すなわち強誘電体の自発分極の向きをコヒーレント長の周期で反転させている。ここで、基本波の波長を λ_1 、第 2 高調波の波長を λ_2 、非線形光学材料の基本波に対する屈折率を n_1 、第 2 高調波に対する屈折率を n_2 とすると、基本波の波数ベクトル $k_1 = (2\pi n_1 / \lambda_1)$ および第 2 高調波の波数ベクトル $k_2 = (2\pi n_2 / \lambda_2)$ 、位相不整合量 $k = 2k_1 - k_2$ として、コヒーレント長 l_c は次の数式 1 で表される。

40

$$l_c = \pi / k = \lambda_1 / 4 / (n_1 - n_2) \quad (1)$$

このようなコヒーレント長の周期で第 2 高調波の位相が反転し、合成した高調波の位相を補償する擬似位相整合となり、その強度は加算的に増大して効率良く第 2 高調波を発生させることができる。

周期分極反転構造では、非線形光学材料の基板表面に周期パターン電極を形成し、電界印可法により強誘電体の保持電界を超える高電圧を加えて分極を反転させており、半導体

50

プロセス技術を応用することによりミクロンオーダーであるコヒーレント長の間隔で製作している。

非線形光学材料に非線形光学定数の大きいLiNbO₃結晶を用いた場合、擬似位相整合では非線形光学定数の最大成分であるd₃₃による高効率な波長変換が実現される。ところが、LiNbO₃結晶は光損傷が生じやすいため、基本波のパワー密度は制限されて高出力化には限界がある。MgOをドープしたMgO : LiNbO₃結晶を用いた場合、光損傷に対する耐性が増大し、高出力化が可能となる。

また、光共振器内を往復するレーザ光（基本波）は水平方向に偏光が規定されるため、レーザ光（基本波）の偏光方向に対してMgO : LiNbO₃結晶の非線形光学定数が最大であるz軸方向の結晶軸を一致させ、波長変換器2における波長変換を高効率化することが可能である。

10

レーザ光（基本波）の縦モード間隔は光共振器の長さに依存し、0.013 nmと十分に小さくなっている。レーザ光（基本波）の発振波長としては、第1の反射器3および第2の反射器4の反射スペクトルの波長幅内で波長946 nm付近の縦モードが選択される。縦モード選択のために第2の反射器4はグレーティングから構成しており、波長変換器2の位相整合波長とレーザ光（基本波）の発振波長を一致させて高調波の位相不整合量を低減し、波長変換器2における波長変換を高効率化することが可能である。ここで、縦モード間隔が十分に小さいので、レーザ光（基本波）の発振波長を位相整合波長の十分近くに制御することができるのである。

第1の反射器3および第2の反射器4は、半導体レーザ1および波長変換器2の光導波路に一体形成されているため、第1の反射器3および第2の反射器3により光導波路に反射されて光共振器内を往復するレーザ光（基本波）の回折損失を低減し、高出力で発振したレーザ光（基本波）により高調波を高出力化することが可能である。

20

ここで、レーザ光（基本波）は第1の反射器3および第2の反射器4の全反射により光共振器の外部には出力されず光共振器の内部に閉じ込められ、第2の反射器4の高い透過率のために波長変換された高調波のみが外部に出力される。高出力なレーザ光（基本波）が閉じ込められた光共振器の内部に波長変換器2を配置しているため、高効率で波長変換された高調波が高出力で出射されるのである。

このように、波長変換器2において波長946 nmのレーザ光（基本波）が高効率に波長変換され、波長473 nmの高調波が3 Wの高出力で出射される。

30

また、図2に示すように、第1の反射器3および第2の反射器4において、コーティング膜とグレーティングを入れ替えても良い。図2において、第1の反射器3は半導体レーザ1に一体形成され、波長946 nmに対してほぼ全反射するグレーティング、第2の反射器4は波長変換器2の端面に一体形成され、波長946 nmに対してほぼ全反射するとともに波長473 nmに対して高い透過率を有するコーティング膜である。また、第2の反射器4であるコーティング膜は波長変換器2の曲面形状の端面に形成され、レーザ光（基本波）の水平横モードを制御するため、水平方向に180 mmの曲率半径を有している。さらに、第1の反射器3のコーティング膜および第2の反射器4のグレーティングはレーザ光（基本波）の縦モード選択のため、波長946 nmを中心に0.02 nm程度の波長幅で反射スペクトルを有している。このような図2に示した構成においても、図1の場合と同様の効果が得られる。

40

以上のように、この発明の実施の形態1による波長変換レーザ装置では、発光面積が大きくワット級に高出力化されたブロードエリア型半導体レーザにおいて、光共振器によって水平横モードについてモード制御することにより、ビーム品質の高い横モードで発振するようにした。これにより、ワット級の高出力でかつビーム品質の高いレーザ光（基本波）は、波長変換器との結合効率が十分となり、高効率な波長変換が得られるので、ワット級の高出力でかつ高効率な波長変換レーザ装置の実現できる効果がある。

実施の形態2.

この発明の実施の形態2に係る波長変換レーザ装置は、実施の形態1による波長変換レーザ装置とほぼ同様の構成および動作をもつが、光共振器について実施の形態が異なるも

50

のである。

図3は、この発明の実施の形態2による波長変換レーザ装置を示す構成図である。なお、半導体レーザの活性層に対して(a)垂直方向および(b)水平方向について、波長変換レーザ装置の断面構造を図示している。また、図中、同一符号は同一または相当部分を示す。

図3において、第1の反射器3は半導体レーザ1に一体形成され、波長946 nmに対してほぼ全反射のグレーティング、第2の反射器4は波長変換器2の片端面に一体形成され、波長946 nmに対してほぼ全反射するとともに波長473 nmに対して高い透過率を有するコーティング膜である。また、第1の反射器3のグレーティングは水平方向の横モードを制御するため、水平方向に170 mmの曲率半径を有している。

10

実施の形態1と同様に、レーザ光(基本波)の垂直横モードは半導体レーザ1および波長変換器2の光導波路構造により制御されている。一方、水平横モードは170 mmの曲率半径を有している第1の反射器3および第2の反射器4により制御されている。ここで、光共振器の空間モードは活性層幅および第1の反射器3の曲率半径で規定され、光共振器損失の低い水平横モードをもつレーザ光(基本波)がレーザ発振し、第1の反射器3におけるレーザ光(基本波)の波面は反射面にほぼ平行となる。

さらに、図示は省略するが、第1の反射器3を170 mmの曲率半径を有するコーティング膜とし、第2の反射器4をグレーティングとして構成しても良い。

以上のような実施の形態2による波長変換レーザ装置の動作は、実施の形態1によるものと同様であり、かつそれと同様の効果が得られる。

20

実施の形態3

この発明の実施の形態3に係る波長変換レーザ装置は、実施の形態1および実施の形態2の波長変換レーザ装置とほぼ同様の構成および動作をもつが、波長変換器において角度位相整合の調整手段を備えるものである。

図4および図5は、この発明の実施の形態3による波長変換レーザ装置を示す構成図である。なお、半導体レーザの活性層に対して(a)垂直方向および(b)水平方向について、波長変換レーザ装置の断面構造を図示している。また、図中、同一符号は同一または相当部分を示す。

図4において、図1と異なる実施の形態として、半導体レーザ1は、活性層幅100 μm のプロードエリア型で高出力特性を有する。また、第2の反射器4のグレーティングは水平横モードを制御するため、水平方向に16 mmの曲率半径を有している。さらに、波長変換器2の周期分極反転構造は約4.6 μm の分極反転周期を持つが、角度位相整合の調整のため、水平方向でレーザ光(基本波)の波面にほぼ平行となる曲面形状に形成されている。

30

ところで、角度位相整合の問題は、高調波を位相整合させて波長変換器に基本波を伝搬させる場合、伝搬角度の許容量が制限されることであり、小さなビーム拡がりでもビーム品質の良い基本波のレーザ光が必要となる。例えば実施の形態1における図1に示したような平面形状の周期分極反転構造では、基本波のビームが水平方向において曲面状に拡がってビームの中心部と周辺部で伝搬角度が異なるため分極反転周期 Λ が $\Lambda/\cos\delta$ に変化し、ビームの周辺部で波長変換効率が低下してしまう。

40

ここで、図4に示す実施の形態3による波長変換器2では、レーザ光(基本波)のビームは水平方向に拡がり、最大0.1 deg傾斜する。しかし、周期分極反転構造が水平方向でレーザ光(基本波)の波面にほぼ平行となる曲面形状に形成されているので、基本波のビーム拡がりに対して分極反転周期はほぼ一致して高調波が十分に擬似位相整合し、波長変換器における波長変換を高効率化することが可能である。

また、図5に示すように、図3と異なる実施の形態として、半導体レーザ1は、活性層幅120 μm のプロードエリア型で高出力特性を有する。第2の反射器4のグレーティングは水平方向の横モードを制御するため、水平方向に14 mmの曲率半径を有している。さらに、波長変換器2の周期分極反転構造は約4.6 μm の分極反転周期を持つが、角度位相整合の調整のため、水平方向でレーザ光(基本波)の波面にほぼ平行となる曲面形状に形成

50

されている。波長変換器 2 では、レーザ光（基本波）のビームは水平方向に拡がり、最大 0.06 deg 傾斜する。しかし、このような図 5 の構成においても、図 4 の場合と同様の動作および効果が得られる。

以上のように、この発明の実施の形態 3 による波長変換レーザ装置では、角度位相整合の調整のため、レーザ光（基本波）の波面にほぼ平行な曲面形状に周期分極反転構造が形成されているので、角度位相整合が十分となり、高効率な波長変換の得られる効果がある。

実施の形態 4 .

この発明の実施の形態 4 に係る波長変換レーザ装置は、実施の形態 3 の波長変換レーザ装置とほぼ同様の構成および動作をもつが、光共振器の反射器を形成した光導波路素子を

10

備えるものである。図 6 は、この発明の実施の形態 4 による波長変換レーザ装置を示す構成図である。なお、半導体レーザの活性層に対して (a) 垂直方向および (b) 水平方向について、波長変換レーザ装置の断面構造を図示している。また、図中、同一符号は同一または相当部分を

示す。図 6 において、6 は光導波路素子であり、波長変換器 2 のスラブ光導波路 2 a とほぼ同じの厚さのスラブ光導波路 6 a を備えている。また、波長変換器 6 の長さは 5 mm で、さらに、第 2 の反射器 4 は光導波路素子に一体形成されたグレーティングであり、水平方向に 130 mm の曲率半径を有している。

以上のような実施の形態 4 による波長変換レーザ装置の動作は、実施の形態 3 によるものと同様であり、かつそれと同様の効果が得られる。それに加えて、第 2 の反射器 4 を独立した光導波路素子に形成し、異なる設計の第 2 の反射器 4 を選択あるいは交換できるようにしたので、波長変換レーザ装置における設計の自由度の高くなる効果がある。

20

さらに、図示は省略するが、第 1 の反射器 3 を、半導体レーザ 1 の活性層 1 a とほぼ同じの厚さのスラブ光導波路を備える光導波路素子に一体形成されたグレーティングとして構成しても良く、上記のものと同様の効果が得られる。

実施の形態 5 .

この発明の実施の形態 5 に係る波長変換レーザ装置は、実施の形態 3 の波長変換レーザ装置とほぼ同様の構成および動作をもつが、半導体レーザと波長変換器の間に高調波を反射させる反射器を備えるものである。

30

図 7 および図 8 は、この発明の実施の形態 5 による波長変換レーザ装置を示す構成図である。なお、半導体レーザの活性層に対して (a) 垂直方向および (b) 水平方向について、波長変換レーザ装置の断面構造を図示している。また、図中、同一符号は同一または相当部分を

示す。図 7 において、7 は第 3 の反射器であり、半導体レーザ 1 と波長変換器 2 の間に形成され、波長 473 nm に対してほぼ全反射するコーティング膜である。また、図 8 において、第 3 の反射器 7 は半導体レーザ 1 と波長変換器 2 の間に設置した光導路素子 6 に形成され、波長 473 nm に対してほぼ全反射するグレーティングである。

光共振器内に波長変換器 2 を配置した構成では、レーザ光（基本波）が光共振器内を往復するため、波長変換器 2 から半導体レーザ 1 の方向に伝搬するレーザ光（基本波）も波長変換器 2 により高調波に波長変換される。そこで、波長変換器から半導体レーザの方向に伝搬する高調波を第 3 の反射器 7 で折り返し、第 2 の反射器から出射させることにより、高調波をさらに高出力化することが可能である。さらに、半導体レーザ 1 への高調波の入射を第 3 の反射器 7 で遮断して、高調波が半導体レーザ 1 の活性層 1 a に吸収されることに起因する温度上昇や光損傷を防ぐことが可能である。

40

実施の形態 6 .

この発明の実施の形態 6 に係る波長変換レーザ装置は、実施の形態 5 の波長変換レーザ装置とほぼ同様の構成および動作をもつが、半導体レーザと波長変換器の間に垂直横モード変換手段を備えるものである。

図 9、図 10、図 11 および図 12 は、この発明の実施の形態 6 による波長変換レーザ

50

装置を示す構成図である。なお、半導体レーザの活性層に対して (a) 垂直方向および (b) 水平方向について、波長変換レーザ装置の断面構造を図示している。また、図中、同一符号は同一または相当部分を示す。

図 9 において、半導体レーザ 1 と波長変換器 2 のスラブ光導波路の厚さが異なっており、8 は横モード変換手段であり、光導波路素子に形成されているスラブ光導波路の厚さが徐々に変化している。図 10 においては、横モード変換手段 8 として、垂直方向にのみ曲面を有している円柱レンズを備えている。図 11 においては、横モード変換手段 8 として、垂直方向に徐々に減少する屈折率分布を有しているグレーテッドインデックス型のレンズを備えている。図 12 においては、横モード変換手段 8 として、半導体レーザ 1 の活性層 1a の厚さが徐々に変化している。

10

半導体レーザ 1 と波長変換器 2 のスラブ光導波路の厚さおよび屈折率分布が異なると、半導体レーザ 1 におけるレーザ光の垂直横モードと波長変換器 2 におけるレーザ光の垂直横モードとのモード不整合が生じる。そこで、横モード変換手段 8 により、半導体レーザ 1 と波長変換器 2 のスラブ光導波路に入射するレーザ光 (基本波) のビーム径、拡がり角および波面をそれぞれ調整して半導体レーザ 1 と波長変換器 2 の間を伝搬するレーザ光 (基本波) の結合損失を低減し、波長変換器における波長変換を高効率化することが可能である。

実施の形態 7 .

この発明の実施の形態 7 に係る波長変換レーザ装置は、実施の形態 5 の波長変換レーザ装置とほぼ同様の構成および動作をもつが、半導体レーザと波長変換器の温度制御手段を

20

備えるものである。図 13、図 14 は、この発明の実施の形態 7 による波長変換レーザ装置を示す構成図である。なお、半導体レーザの活性層に対して (a) 垂直方向および (b) 水平方向について、波長変換レーザ装置の断面構造を図示している。また、図中、同一符号は同一または相当部分を示す。

図 13 において、9 は温度制御手段であり、波長変換器 2 に接して設置され、波長変換器 2 の温度を変化させるとともに一定に保つペルチェ素子 (熱電素子) である。

温度制御手段 9 が波長変換器 2 の温度を変化させると、屈折率の変化および熱膨張により位相整合波長が波長シフトする。一方、波長変換器 2 に一体形成された第 2 の反射器 4 の温度も変化し、グレーティングにおける屈折率の変化および熱膨張により反射スペクトルが波長シフトする。そして、この反射スペクトルに依存するレーザ光 (基本波) の発振波長が波長シフトする。ここで、位相整合波長と発振波長における温度変化に対する波長シフト割合が異なるので、波長変換器 2 の温度制御により、位相整合波長と発振波長がほぼ一致するように調整することが可能である。このような調整により、高調波の位相不整合量を低減し、波長変換器 2 における波長変換を高効率化することが可能である。なお、レーザ光 (基本波) の縦モードは離散的であるが、この実施の形態における縦モード間隔は十分に小さいので、発振波長が位相整合波長とほぼ一致するように調整することができるのである。

30

さらに、図 14 において、温度制御手段 9 は、半導体レーザ 1、波長変換器 2、光導波路素子 6 に接して設置され、これらの温度を変化させるとともに一定に保つペルチェ素子 (熱電素子) である。

40

図 14 に示した構成によれば、周囲温度が変動する場合にも、温度制御手段 9 により半導体レーザ 1、波長変換器 2 および光導波路素子 6 の温度を一定に保つことで、これらの屈折率の変化および熱膨張を抑え、波長変換レーザ装置としての高出力・高効率特性を安定化することが可能である。

ところで、位相整合波長と発振波長における温度変化に対する波長シフト割合をほぼ等しく設定すれば、温度制御しなくても波長変換効率がほぼ一定に保たれる。このために、図 14 に示した構成において、光導波路素子 6 の材料を適切に選択し、各素子における温度変化による屈折率の変化および熱膨張の影響が相殺されるようにすることが可能である。これにより、周囲温度が変動する場合にも、温度制御しなくても波長変換器の 2 位相整

50

合波長とレーザ光（基本波）の発振波長を一致させて高調波の位相不整合量を低減し、波長変換器 2 における波長変換を高効率化することが可能である。

実施の形態 8 .

この発明の実施の形態 8 に係る波長変換レーザ装置は、半導体レーザおよび光共振器外に配置された波長変換器を備えるものである。光共振器によりレーザ発振したレーザ光（基本波）は、波長変換器で高調波に波長変換されて出力される。レーザ光（基本波）および高調波の垂直横モードは光導波路構造により制御され、レーザ光（基本波）の水平横モードは光共振器により制御される。

図 15 は、この発明の実施の形態 8 による波長変換レーザ装置を示す構成図である。なお、半導体レーザの活性層に対して（a）垂直方向および（b）水平方向について、波長変換レーザ装置の断面構造を図示している。また、図中、同一符号は同一または相当部分を示す。

10

図 15 において、第 1 の反射器 3 は半導体レーザ 1 の片端面に一体形成され、波長 946 nm に対してほぼ全反射するコーティング膜、第 2 の反射器 4 は半導体レーザ 1 に一体形成され、波長 946nm に対して部分反射するグレーティングである。また、第 2 の反射器 4 のグレーティングは水平方向の横モードを制御するため、水平方向に曲率半径を有している。波長変換器 2 は、半導体レーザ 1 の片端面に接して、光共振器外に配置している。

次に動作について説明する。

実施の形態 1 と同様に、半導体レーザ 1 における吸収、第 1 の反射器 3 および第 2 の反射器 4 における透過損失等からなる光共振器損失を、レーザ光の増幅利得が上回るとレーザ発振に至る。

20

このとき、半導体レーザ 1 では、レーザ光（基本波）の垂直横モードが活性層 1 a により制御されている。波長変換器 2 では、レーザ光（基本波）および高調波の垂直横モードがスラブ光導波路 2 a により制御されている。一方、レーザ光（基本波）および高調波の水平横モードは、活性層 1 a やスラブ光導波路 2 a では制御されない。レーザ光（基本波）の水平横モードは、第 1 の反射器 3 および曲率半径を有している第 2 の反射器 4 により制御されている。ここで、光共振器の空間モードは第 2 の反射器 4 の曲率半径で規定され、光共振器損失の低い水平横モードをもつレーザ光（基本波）がレーザ発振し、第 2 の反射器 4 におけるレーザ光（基本波）の波面は反射面にほぼ平行となる。

ここで、ブロードエリア型半導体レーザ 1 は高出力特性を有しており、水平方向にビーム径を広げてレーザ光（基本波）のパワー密度を低減し、波長変換器 2 における光損傷および温度上昇を防ぐことができるため、高調波を高出力化することが可能である。また、半導体レーザ 1 と波長変換器 2 はともに光導波路構造を有しており、垂直方向に半導体レーザ 1 と波長変換器 2 で成り立つ光導波路の導波モードを整合させ、水平方向に一对の反射器による光共振器で成り立つ空間モードとして半導体レーザ 1 と波長変換器 2 の間を伝搬するレーザ光（基本波）の結合損失を低減し、波長変換器 2 における波長変換を高効率化することが可能である。

30

光共振器内を往復するレーザ光（基本波）は水平方向に偏光が規定される。このため、レーザ光（基本波）の偏光方向に対して波長変換器 2 の非線形光学定数が最大である z 軸方向の結晶軸を一致させ、波長変換器 2 における波長変換を高効率化することが可能である。また、波長変換器 2 は周期分極反転構造を有しており、伝搬する高調波は擬似位相整合し、波長変換器 2 における波長変換を高効率化することが可能である。さらに、周期分極反転構造は光伝搬方向に沿って水平方向でレーザ光（基本波）の波面にほぼ平行に形成されており、角度位相整合が十分となり、波長変換器 2 における波長変換を高効率化することが可能である。

40

レーザ光（基本波）の縦モード間隔は光共振器の長さに依存し、0.13 nm である。レーザ光（基本波）の発振波長としては、第 1 の反射器 3 および第 2 の反射器 4 の反射スペクトルの波長幅内で波長 946 nm 付近の縦モードが選択される。縦モード選択のために第 2 の反射器 4 はグレーティングから構成しており、波長変換器 2 の位相整合波長とレーザ光（基本波）の発振波長を一致させて高調波の位相不整合量を低減し、波長変換器 2 における

50

波長変換を高効率化することが可能である。

実施の形態 9 .

この発明の実施の形態 9 に係る画像表示装置は、実施の形態 1 ～ 実施の形態 8 の波長変換レーザ装置を、画像を生成するための光源として用いるものである。

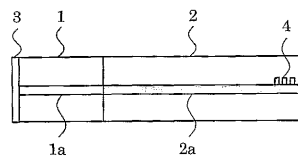
この発明の画像表示装置では、高輝度の光源からのレーザ光を光変調手段で変調し、投射してスクリーン上に画像を生成する。ここで、例えば 3 原色のうち青色の光源として波長 473 nm で 3 W を出力する波長変換レーザ装置を、緑色の光源として波長 532 nm で 2 W を出力する波長変換レーザ装置を用いる。なお、3 原色のうち赤色の光源として半導体レーザ装置を用いる。

また、光変調手段として液晶またはデジタル反射素子 DMD (Digital Micromirror Device) を用いる。光変調手段に液晶を用いた液晶方式のディスプレイ装置では、液晶材料をガラス基板などで挟んで素子とし、外部から電界を加えて液晶の分子配列の変化とともに引き起こされる素子の光学的性質の変化を利用して画像を生成する。また、光変調手段に DMD を用いたマイクロミラー方式の画像表示装置では、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術により製造したマイクロミラーを 2 次元状に並べ、各ミラーを振ることにより ON / OFF 駆動して画像を生成する。

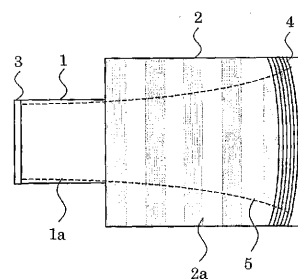
画像を生成するための光源として波長変換レーザ装置を用いると、従来のランプ装置に比べてレーザ光の単色性および高輝度といった利点があり、光変調手段による画像の生成において光エネルギーの利用効率を向上させることが可能である。また、波長変換レーザ装置には従来のランプ装置に比べて高効率および長寿命といった利点があり、画像表示装置における省エネルギー化および長寿命化が可能である。

【図 1】

図 1
(a)

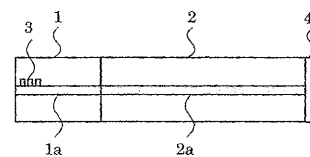


(b)

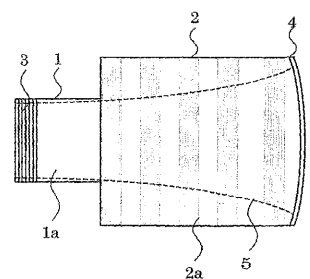


【図 2】

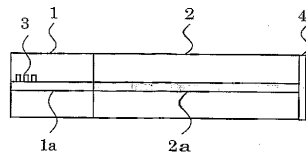
図 2
(a)



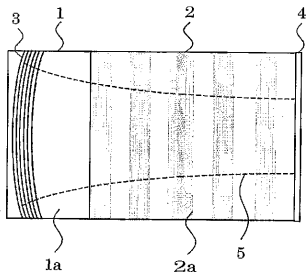
(b)



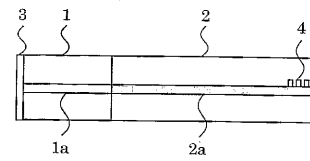
【図 3】

図 3
(a)

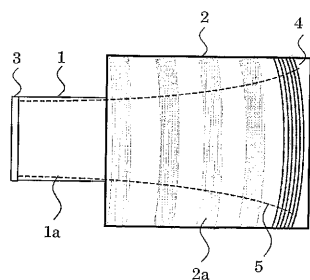
(b)



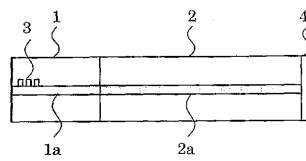
【図 4】

図 4
(a)

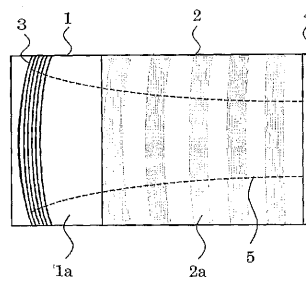
(b)



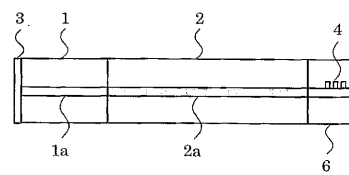
【図 5】

図 5
(a)

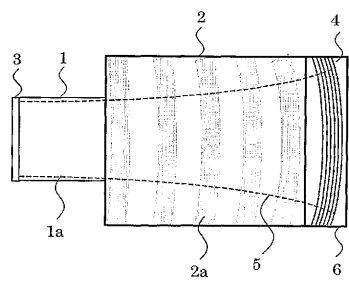
(b)



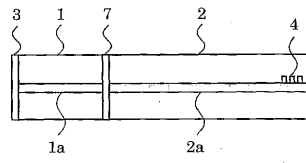
【図 6】

図 6
(a)

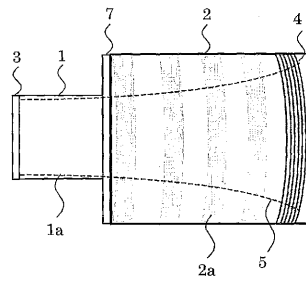
(b)



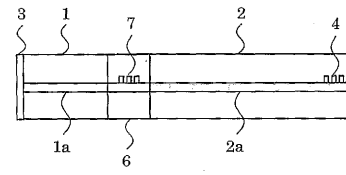
【図 7】

図 7
(a)

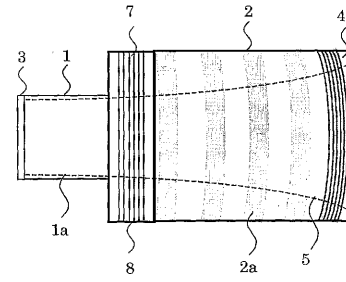
(b)



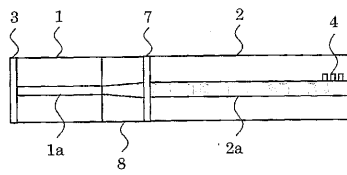
【図 8】

図 8
(a)

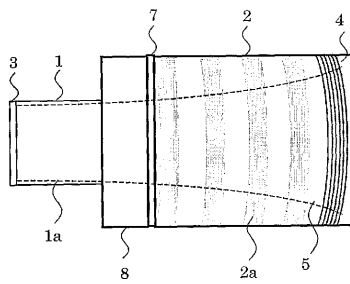
(b)



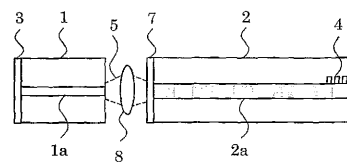
【図 9】

図 9
(a)

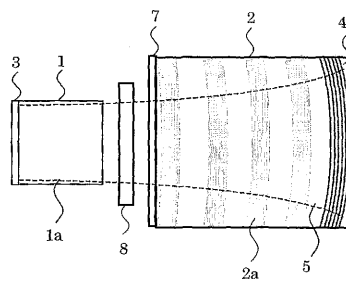
(b)



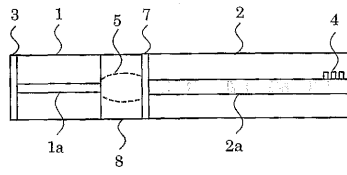
【図 10】

図 10
(a)

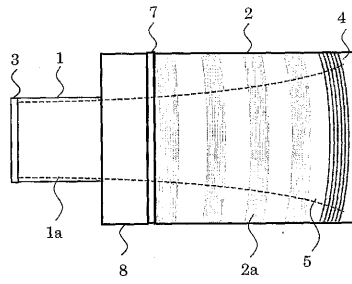
(b)



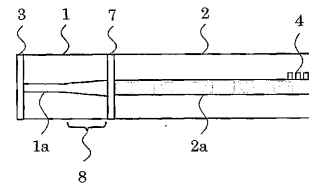
【図 1 1】

図 1 1
(a)

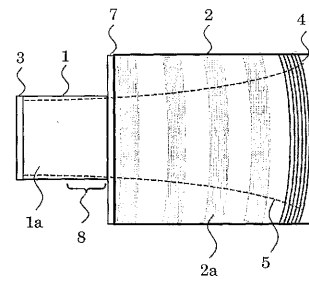
(b)



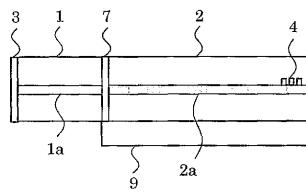
【図 1 2】

図 1 2
(a)

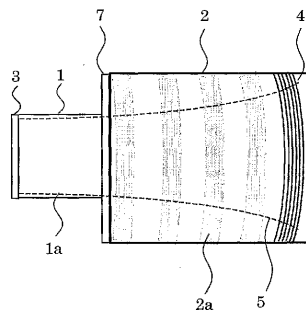
(b)



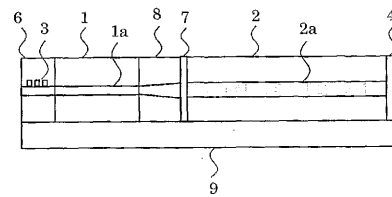
【図 1 3】

図 1 3
(a)

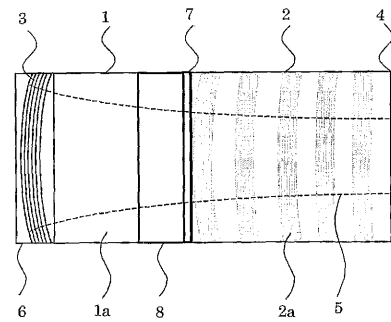
(b)



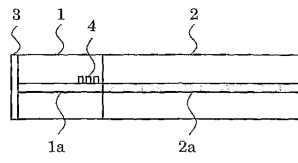
【図 1 4】

図 1 4
(a)

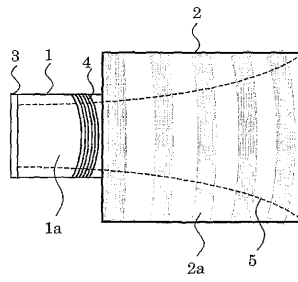
(b)



【図 15】

図 15
(a)

(b)



フロントページの続き

- (72)発明者 平野 嘉仁
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 今城 正雄
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 寺本 浩平
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内
- (72)発明者 渋谷 重教
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

審査官 佐藤 宙子

- (56)参考文献 米国特許第05321718(US, A)
米国特許出願公開第2003/0147445(US, A1)
特開平04-287389(JP, A)
特開平07-270632(JP, A)
特開2005-055528(JP, A)
特開平05-267772(JP, A)
Appl. Opt., 1996年10月20日, Vol.35, No.30, 5955-5959
Opt. Lett., 2000年 1月15日, Vol.25, No.2, 108-110

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02F 1/37
H01S 3/00-5/00
JSTPlus(JDreamII)