

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6678956号
(P6678956)

(45) 発行日 令和2年4月15日(2020.4.15)

(24) 登録日 令和2年3月23日(2020.3.23)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 S 3/042 (2006.01) HO 1 S 3/042
 HO 1 S 3/10 (2006.01) HO 1 S 3/10 D

請求項の数 7 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2016-109963 (P2016-109963)	(73) 特許権者	504176911
(22) 出願日	平成28年6月1日(2016.6.1)		国立大学法人大阪大学
(65) 公開番号	特開2017-216387 (P2017-216387A)		大阪府吹田市山田丘1番1号
(43) 公開日	平成29年12月7日(2017.12.7)	(73) 特許権者	000236436
審査請求日	平成31年2月22日(2019.2.22)		浜松ホトニクス株式会社
			静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(74) 代理人	100140442
			弁理士 柴山 健一
		(74) 代理人	100170818
			弁理士 小松 秀輝

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ装置、レーザ増幅器及びレーザ発振器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の基板と、

励起光が照射されることにより励起状態とされるレーザ媒質体と、

前記第1の基板に固定されると共に、前記第1の基板に対する前記レーザ媒質体を保持する媒質体保持部材と、を備え、

前記媒質体保持部材は、前記第1の基板に固定される固定部と、前記レーザ媒質体に当接されると共に弾性変形が可能な変形部と、を有すると共に、前記レーザ媒質体において発生した熱を前記変形部及び前記固定部を介して前記第1の基板に伝えるように構成されている、レーザ装置。

【請求項2】

前記第1の基板に固定されると共に、前記レーザ媒質体に当接される位置決め部材をさらに備え、

前記レーザ媒質体は、前記励起光が照射されることにより励起状態とされるレーザ利得媒質と、前記第1の基板に載置されると共に前記励起光を透過させる光学媒質であって、前記第1の基板に当接される第1の主面、前記第1の主面に対向する第2の主面、前記レーザ利得媒質が接合される第1の側面、及び、前記励起光を通過させる第2の側面を有する前記光学媒質と、を有し、

前記第1の側面の法線方向を含む方向への前記レーザ利得媒質の移動が生じたとき、前記変形部は、前記第1の側面の法線方向に沿って弾性変形する、請求項1に記載のレーザ

装置。

【請求項 3】

前記第 2 の主面に当接される第 2 の基板と、

前記第 1 の基板と前記第 2 の基板とのそれぞれに接続され、前記第 1 の基板を前記第 2 の基板に熱的に接続する第 1 の導熱部と、をさらに備える、請求項 2 に記載のレーザ装置。

【請求項 4】

前記第 1 の基板に連結された一端と、前記第 2 の基板に連結された他端と、を含み、前記第 1 の基板を前記レーザ媒質体に押し当てると共に前記第 2 の基板を前記レーザ媒質体に押し当てる引張力を発生させる弾性部材をさらに備える、請求項 3 に記載のレーザ装置。

10

【請求項 5】

前記光学媒質及び前記レーザ利得媒質を冷却する冷却部と、

前記冷却部に接続された第 2 の導熱部と、

前記第 2 の導熱部に接続された一端及び前記第 2 の基板に接続された他端を有する第 3 の導熱部と、をさらに備え、

前記第 3 の導熱部は、前記冷却部が発生させる振動の周波数よりも低い固有周波数を有する、請求項 3 又は 4 に記載のレーザ装置。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載のレーザ装置と、

光増幅されるべきレーザ光を前記レーザ装置が有する光学媒質に励起光と同軸の光路で入射させる入射光学系と、

前記レーザ装置が有するレーザ媒質体によって増幅され前記励起光と同軸の光路で前記レーザ媒質体から出射された前記レーザ光を前記励起光の光路とは異なる方向に出力する出力光学系と、を備える、レーザ増幅器。

20

【請求項 7】

請求項 1 ~ 5 の何れか一項に記載のレーザ装置と、

前記レーザ装置が有するレーザ媒質体を共振光路上に配置された光共振器と、を備えるレーザ発振器。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ装置、レーザ増幅器及びレーザ発振器に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、レーザ利得媒質の発熱の影響を低減可能なレーザ媒質ユニットが開示されている。このレーザ媒質ユニットは、レーザ利得媒質を冷却する冷却媒質を流す冷却媒質流路を有する。この冷却媒質流路は、レーザ利得媒質に対する励起光の照射領域内の強度分布のうち強度の高い領域から低い領域に向けて冷却媒質が流れるように配置されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2014 - 22568 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

レーザ媒質は、光路に対する位置や姿勢が予め設定されている。この位置及び姿勢は、所望のレーザ特性が得られるように設定されている。従って、光路に対するレーザ媒質の位置及び姿勢がずれると、所望のレーザ特性が得られなくなる虞がある。

50

【0005】

そこで、本発明は、所望のレーザ特性を安定して得ることが可能なレーザ装置、レーザ増幅器及びレーザ発振器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一形態であるレーザ装置は、第1の基板と、励起光が照射されることにより励起状態とされるレーザ媒質体と、第1の基板に固定されると共に、第1の基板に対するレーザ媒質体を保持する媒質体保持部材と、を備え、媒質体保持部材は、第1の基板に固定される固定部と、レーザ媒質体に当接されると共に弾性変形が可能な変形部と、を有すると共に、レーザ媒質体において発生した熱を変形部及び固定部を介して第1の基板に伝えるように構成されている。

10

【0007】

レーザ装置では、レーザ媒質体において生じた熱が媒質体保持部材によって第1の基板に伝達される。従って、レーザ媒質体の温度を均一化し、レーザ媒質体の特性を安定化することが可能になる。また、レーザ装置は、弾性変形が可能な媒質体保持部材によってレーザ媒質体を保持する。従って、第1の基板とレーザ媒質体との間において相対的な位置関係を維持しつつ、レーザ媒質体に対する応力の負荷が抑制されるので、レーザ媒質体を物理的に安定した状態で保持することができる。これにより、光路に対するレーザ媒質体の位置ずれが低減されるので、所望のレーザ特性を安定して得ることができる。

【0008】

20

上記のレーザ装置は、第1の基板に固定されると共に、レーザ媒質体に当接される位置決め部材をさらに備え、レーザ媒質体は、励起光が照射されることにより励起状態とされるレーザ利得媒質と、第1の基板に載置されると共に励起光を透過させる光学媒質であって、第1の基板に当接される第1の主面、第1の主面に対向する第2の主面、レーザ利得媒質が接合される第1の側面、及び、励起光を通過させる第2の側面を有する光学媒質と、を有し、第1の側面の法線方向を含む方向へのレーザ利得媒質の移動が生じたとき、変形部は、第1の側面の法線方向に沿って弾性変形してもよい。この構成によれば、レーザ利得媒質で発生した熱が、レーザ利得媒質に当接する変形部を介して第1の基板に排出される。従って、レーザ利得媒質の過度な加熱が抑制されるので、レーザ利得媒質の温度を所定の温度に安定化させることができる。さらに、レーザ利得媒質に当接する変形部は、弾性変形することによって固定部とレーザ利得媒質との間の距離の変化を許容するので、レーザ媒質体を構造的に安定した状態で保持することができる。これにより、所望のレーザ特性を好適に得ることができる。

30

【0009】

上記のレーザ装置は、第2の主面に当接される第2の基板と、第1の基板と第2の基板とのそれぞれに接続され、第1の基板を第2の基板に熱的に接続する第1の導熱部と、をさらに備えてもよい。この構成によれば、第1の基板と第2の基板とが互いに熱的に接続されるので、第1の基板と第2の基板との間において温度差を小さくすることが可能になる。従って、部品間において生じる温度差に起因する応力の発生を抑制することができる。

40

【0010】

上記のレーザ装置は、第1の基板に連結された一端と、第2の基板に連結された他端と、を含み、第1の基板をレーザ媒質体に押し当てると共に第2の基板をレーザ媒質体に押し当てる引張力を発生させる弾性部材をさらに備えてもよい。この構成によれば、レーザ媒質体と第1及び第2の基板との接触圧力が高まるので、レーザ媒質体で発生した熱を第1及び第2の基板に好適に伝達することができる。また、レーザ媒質体の温度上昇に起因してレーザ媒質体の厚みが増加したとき、第1及び第2の基板の間隔は、弾性部材の引張力によって、厚みの増加に対応するように拡張又は縮小することができる。従って、レーザ媒質体に作用する応力の発生を抑制することができる。

【0011】

50

上記のレーザ装置は、光学媒質及びレーザ利得媒質を冷却する冷却部と、冷却部に接続された第2の導熱部と、第2の導熱部に接続された一端及び第2の基板に接続された他端を有する第3の導熱部と、をさらに備え、第3の導熱部は、冷却部が発生させる振動の周波数よりも低い固有周波数を有してもよい。この構成によれば、第3の導熱部の固有周波数は冷却部において発生した振動の周波数よりも低いので、この振動は第3の導熱部において減衰される。従って、レーザ媒質体への振動の影響を抑制できるので、所望のレーザ特性を安定して得ることができる。

【0012】

本発明の別の形態であるレーザ増幅器は、上記の何れかのレーザ装置と、光増幅されるべきレーザ光をレーザ装置が有する光学媒質に励起光と同軸の光路で入射させる入射光学系と、レーザ装置が有するレーザ媒質体によって増幅され励起光と同軸の光路でレーザ媒質体から出射されたレーザ光を励起光の光路とは異なる方向に出力する出力光学系と、を備える。レーザ増幅器は上記のレーザ媒質ユニットを備えているので、光路に対するレーザ媒質体の位置ずれが低減される。従って、所望のレーザ増幅特性を安定して得ることができる。

10

【0013】

本発明のさらに別の形態であるレーザ発振器は、上記の何れかのレーザ装置と、レーザ装置が有するレーザ媒質体を共振光路上に配置された光共振器と、を備える。レーザ発振器は、上記のレーザ媒質ユニットを備えているので、光路に対するレーザ媒質体の位置ずれが低減される。従って、所望のレーザ特性を安定して得ることができる。

20

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、所望のレーザ特性を安定して得ることが可能なレーザ装置、レーザ増幅器及びレーザ発振器が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】図1は、一形態に係るレーザ増幅器の構成を示す図である。

【図2】図2は、図1に示されたレーザ装置の構成を示す断面斜視図である。

【図3】図3は、図2に示されたレーザ媒質ユニットの構成を示す分解斜視図である。

【図4】図4は、図3に示されたレーザ媒質体の構成を示す分解斜視図である。

30

【図5】図5は、媒質体保持ブロックが変形する様子を示す図である。

【図6】図6は、別の形態に係るレーザ共振器の構成を示す図である。

【図7】図7の(a)部及び図7の(b)部は、変形例に係る媒質体保持部を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

<第1実施形態>

以下、添付図面を参照しながら本発明を実施するための形態を詳細に説明する。図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0017】

図1は、本発明の一形態に係るレーザ装置を備えたレーザ増幅器の構成を概略的に示す図である。レーザ増幅器1は、シード光源部100から提供される増幅されるべきレーザ光L2(種光)を増幅する。レーザ増幅器1は、励起光源部2と、ミラー部3と、レーザ装置4と、を有する。励起光源部2は、励起光L1a, L2aを出射する。ミラー部3は、励起光L1a, L1bを透過すると共にレーザ光L2を反射する。レーザ装置4は、励起光源部2から提供された励起光L1a, L1bによって励起され、シード光源部100から提供されたレーザ光L2を増幅する。

40

【0018】

励起光源部2は、励起光L1aを提供する光源2aと、励起光L1bを提供する光源2bと、を有する。励起光L1aの光路は、シード光源部100から提供されるレーザ光L

50

2の光路と交差する。光源2a, 2bは、レーザ装置4のレーザ媒質ユニット8を励起し得る波長の光を出力する。励起光L1a, L1bの波長は、レーザ光L2の波長とは異なる。光源2a, 2bとして、例えば、半導体レーザを採用し得る。なお、励起光源部2は、励起光L1a, L1bを集光する集光光学系(不図示)を備えていてもよい。

【0019】

ミラー部3は、励起光源部2とレーザ装置4との間における励起光L1a, L1bの光路上に配置される。ミラー部3は、入射光学系として機能するミラー3aと、出力光学系として機能するミラー3bとを有する。ミラー3a, 3bは、所定の波長を有する光を透過すると共に、所定の波長とは別の波長を有する光を反射するダイクロイックミラーを用いることができる。また、ミラー3a, 3bは、レーザ増幅器1を平面視したとき、左右対称となる位置に配置される。このような対称配置によれば、レーザ媒質ユニット8に対して均等に、より多くのパワーを供給することができる。なお、励起光L1a, L1bは、レーザ媒質ユニット8においてほとんど吸収されるため、レーザ媒質ユニット8を透過して外部に出射される励起光L1a, L1bはほとんどない。

10

【0020】

ミラー3aは、励起光L1aの光路とレーザ光L2の光路との交点に配置される。ミラー部3は、光源2aからの励起光L1aを透過して励起光L1aをレーザ装置4に入射させる。また、ミラー3aは、シード光源部100からのレーザ光L2を反射してレーザ光L2をレーザ装置4に入射させる。ミラー3aを透過した後の励起光L1aの光路とミラー部3で反射された後のレーザ光L2の光路とは、同軸である。図1において、互いに並列するように示された励起光L1aとレーザ光L2とは、それらが同軸であることを意味する。

20

【0021】

ミラー3bは、レーザ装置4から出射された増幅後のレーザ光L2を励起光L1bの光路と交差する方向へ反射する。また、ミラー3bは、光源2bからの励起光L1bを透過して励起光L1bをレーザ装置4に入射させる。

【0022】

続いて、レーザ装置4について説明する。図2は、レーザ装置4の構成を示す断面斜視図である。レーザ装置4は、フレーム6と、チャンバ7と、レーザ媒質ユニット8と、冷却ユニット9と、を有する。

30

【0023】

フレーム6は、チャンバ7及び冷却ユニット9を所定の位置に保持する。フレーム6は、底板11と、中間板12と、天板13と、スペーサ14と、除振部16と、を有する。底板11は、円板状を呈し、主面11a上には、チャンバ7が載置される。また、底板11の主面11a上には、複数のスペーサ14が配置される。底板11の主面11a上において、複数のスペーサ14は、チャンバ7を囲むように等間隔をもって配置される。

【0024】

スペーサ14の上端側には、中間板12が配置される。すなわち、底板11と中間板12との間には、チャンバ7とスペーサ14とが配置される。スペーサ14の長さは、チャンバ7の高さより長い。従って、チャンバ7と中間板12との間には、隙間が形成される。

40

【0025】

中間板12は、リング状を呈し、冷却ユニット9の一部が挿通される貫通穴12bを有する。中間板12の上面12aには、複数の除振部16が配置される。除振部16は、中間板12の中心軸のまわりに等間隔に配置される。除振部16の上端側には、天板13が配置される。

【0026】

天板13は、冷却ヘッド17を支持する。天板13の主面13aの中央には、冷却ヘッド17が配置される。冷却ヘッド17は、例えば、ギフォードマクホンサイクルに基づいて駆動するGM冷凍機であり得る。冷却ヘッド17は、その運転時に振動を発生させる。

50

この振動は、天板 1 3 と中間板 1 2 との間に配置された除振部 1 6 によって減衰される。天板 1 3 とチャンバ 7 との間には、ペロー 1 8 が配置される。

【 0 0 2 7 】

チャンバ 7 は、レーザ媒質ユニット 8 を収容する容器であり、底板 1 1 上に配置される。チャンバ 7 には、レーザ媒質ユニット 8 と冷却ユニット 9 の一端とが配置される。また、チャンバ 7 は、第 1 の窓 7 a 及び第 2 の窓 7 b を有する。チャンバ 7 の側壁に設けられた第 1 の窓 7 a は、励起光 L 1 a 及びレーザ光 L 2 を通過させる。第 1 の窓 7 a は、光源 2 a からレーザ媒質ユニット 8 に至る光路上に形成される。また、チャンバ 7 の別の場所の側壁に設けられた第 2 の窓 7 b は、励起光 L 1 b 及びレーザ光 L 2 を通過させる。第 2 の窓 7 b は、レーザ媒質ユニット 8 から光源 2 b に至る光路上に形成される。

10

【 0 0 2 8 】

レーザ媒質ユニット 8 は、励起光源部 2 から提供された励起光 L 1 a , L 1 b によって励起され、シード光源部 1 0 0 から提供されたレーザ光 L 2 を増幅する。レーザ媒質ユニット 8 は、チャンバ 7 の底面上に載置される。レーザ媒質ユニット 8 の詳細な構造については、後述する。

【 0 0 2 9 】

冷却ユニット 9 は、レーザ媒質ユニット 8 を冷却する。冷却ユニット 9 は、冷却ヘッド 1 7 (冷却部) と、クライオ吸熱部 1 9 (第 2 の導熱部) と、複数の導熱ユニット 2 1 A (第 3 の導熱部) と、を有する。冷却ユニット 9 は、一例として、レーザ媒質ユニット 8 を 1 0 0 K ~ 2 0 0 K 程度に冷却する。

20

【 0 0 3 0 】

クライオ吸熱部 1 9 は、円柱状の部材であり、上端が冷却ヘッド 1 7 に接続され、下端が導熱ユニット 2 1 A に接続される。

【 0 0 3 1 】

導熱ユニット 2 1 A は、上端がクライオ吸熱部 1 9 に接続され、下端がレーザ媒質ユニット 8 に接続される。導熱ユニット 2 1 A は、銅網 2 1 a と、固定板 2 1 b とを有する。銅網 2 1 a の上端は、クライオ吸熱部 1 9 の下端と固定板 2 1 b との間に挟持されて、物理的及び熱的に接続される。銅網 2 1 a の下端は、レーザ媒質ユニット 8 と固定板 2 1 b との間に挟持されて、物理的及び熱的に接続される。銅網 2 1 a は、良好な熱伝導性を有する銅又は銅合金により形成される。銅網 2 1 a は、細かい銅線が編み込まれて形成され、板状の銅板と比較して低い剛性を有する。換言すると、銅網 2 1 a は、レーザ媒質ユニット 8 とクライオ吸熱部 1 9 とを熱的に接続する部材であり、機械的な支持力が期待されない部材である。従って、排熱部 3 1 と上部ヒートシンク 2 6 (第 2 の基板) は、構造的にはクライオ吸熱部 1 9 を介してフレーム 6 に吊下げられた構成を有する。

30

【 0 0 3 2 】

この構成によれば、冷却ヘッド 1 7 において発生した振動は、クライオ吸熱部 1 9 に伝達されるが、銅網 2 1 a を有する導熱ユニット 2 1 A において減衰される。具体的には、銅網 2 1 a の剛性が低い(即ち、銅網 2 1 a の固有周波数が小さい)ので、機械振動の周波数応答曲線に基づけば、固有周波数より大きい周波数を有する冷却ヘッド 1 7 において発生した振動は減衰される。

40

【 0 0 3 3 】

続いて、レーザ媒質ユニット 8 について詳細に説明する。図 3 に示されるように、レーザ媒質ユニット 8 は、レーザ媒質体 2 2 と、断熱シート 2 3 と、下部ヒートシンク 2 4 (第 1 の基板) と、上部ヒートシンク 2 6 (第 2 の基板) と、位置決めブロック 2 7 (位置決め部材) と、媒質体保持ブロック 2 8 A , 2 8 B , 2 8 C (媒質体保持部材) と、引張バネ 2 9 (弾性部材) と、導熱ユニット 2 1 B (第 1 の導熱部) と、を有する。

【 0 0 3 4 】

下部ヒートシンク 2 4 は、平面視して矩形状を呈する板状部材であり、セラミックなどにより形成された断熱シート 2 3 を介してチャンバ 7 の底面上に載置される。従って、チャンバ 7 から下部ヒートシンク 2 4 への熱の移動が抑制されるので、レーザ媒質ユニット

50

8の温度を好適に制御し得る。下部ヒートシンク24は、熱伝導性のよい金属材料であり、例えば銅或いは銅合金により形成される。なお、以下の説明において、「熱伝導性がよい」とは、当該部材の熱伝導性が、レーザ媒質体22、即ちレーザ利得媒質33A, 33B, 33C及び光学媒質32の熱伝導性よりも高いことを意味する。

【0035】

レーザ媒質体22は、下部ヒートシンク24に載置される。具体的には、レーザ媒質体22の下面は、下部ヒートシンク24の主面24aに物理的に接触する。主面24a上におけるレーザ媒質体22の位置は、位置決めブロック27と、媒質体保持ブロック28A, 28B, 28Cとにより維持される。レーザ媒質体22と、位置決めブロック27及び媒質体保持ブロック28A, 28B, 28Cとの詳細な関係は、後述する。

10

【0036】

レーザ媒質体22の上には、上部ヒートシンク26が載置される。具体的には、レーザ媒質体22の上面は、上部ヒートシンク26の下面26aに物理的に接触する。上部ヒートシンク26は、平面視して矩形状を呈する板状部材であり、下部ヒートシンク24と同形状を呈する。上部ヒートシンク26の主面26bには、円板状の排熱部31が設けられる。排熱部31には、導熱ユニット21Aの下端が接続される。上部ヒートシンク26は、熱伝導性のよい金属材料であり、例えば銅或いは銅合金により形成される。

【0037】

引張バネ29は、下部ヒートシンク24及び上部ヒートシンク26の背面に設けられる。引張バネ29の下端(一端)は下部ヒートシンク24に連結されると共に上端(他端)は上部ヒートシンク26に連結される。引張バネ29は、上部ヒートシンク26を下部ヒートシンク24側に引っ張る力を生じさせる。レーザ媒質体22は、これらの引張バネ29により下部ヒートシンク24と上部ヒートシンク26とに挟持される。

20

【0038】

また、下部ヒートシンク24及び上部ヒートシンク26の背面には、3個の導熱ユニット21Bが設けられる。導熱ユニット21Bは、導熱ユニット21Aと同様の構成を有する。導熱ユニット21Bの下端は下部ヒートシンク24の背面に接続され、上端は上部ヒートシンク26の背面に接続される。これら導熱ユニット21Bにより、下部ヒートシンク24と上部ヒートシンク26とは互いに熱的に接続される。

【0039】

図4に示されるように、レーザ媒質体22は、固体レーザ媒質体であり、光学媒質32と、レーザ利得媒質33A, 33B, 33Cと、を有する。

30

【0040】

光学媒質32は、イットリウム・アルミニウム・ガーネット(YAG)からなる透明部材であり、光学媒質32は、励起光L1a, L1bとレーザ光L2とを透過する。光学媒質32は、平面視して台形状を呈する薄い平板である。光学媒質32は、4枚の側面32a, 32b, 32c, 32dを有する。側面32a, 32b, 32c, 32dは平坦面である。光学媒質32を平面視したとき、側面32c(第1の側面)と側面32d(第2の側面)とは互いに平行であり、例えば、側面32dを下底とし、側面32cを上底と呼ぶこともできる。側面32a(第1の側面)と側面32b(第1の側面)とは、台形の脚と呼ぶこともできる。さらに、光学媒質32は、第1の主面32eと、第2の主面32fとを有する。第1の主面32eは、下部ヒートシンク24の主面24aと当接する。第1の主面32eと対向する第2の主面32fは、上部ヒートシンク26の下面26aと当接する。

40

【0041】

側面32aにはレーザ利得媒質33Aが接続され、側面32bにはレーザ利得媒質33Bが接続され、側面32cにはレーザ利得媒質33Cが接続される。一方、側面32dは、励起光L1a, L1bが入射されると共に増幅されたレーザ光L2が出射される光入射面である。すなわち、側面32dには、レーザ利得媒質が接続されていない。

【0042】

50

レーザ利得媒質 33A, 33B, 33C は、例えば、セラミックコンポジット技術によって、光学媒質 32 に接合される。レーザ利得媒質 33A, 33B, 33C の大きさ及び平面視形状は、側面 32a, 32b, 32c の形状及び大きさ並びにレーザ利得媒質 33A, 33B, 33C に入射される励起光 L1a, L1b の径などに応じて設定され得る。レーザ利得媒質 33A, 33B, 33C は、そこに入射される励起光 L1a, L1b の照射領域より大きければよい。レーザ利得媒質 33A, 33B, 33C の大きさ及び平面視形状の例は、矩形及び正方形を含む。レーザ利得媒質 33A, 33B, 33C は、YAG に活性元素として Yb がドープされたものである。レーザ利得媒質 33A, 33B, 33C は、励起光 L1a, L1b により励起状態とされる。励起状態とされたレーザ利得媒質 33A, 33B, 33C は、放出光を出力することができる。放出光の一例は、誘導放出光である。この誘導放出光が、レーザ光 L2 の光増幅に寄与する。

10

【0043】

位置決めブロック 27 は、下部ヒートシンク 24 (図 3 参照) に対して物理的に固定される。位置決めブロック 27 は、その側面 27a が光学媒質 32 の側面 32d に当接する。従って、光学媒質 32 は、側面 27a, 32d の法線 N1 の方向への移動は規制される。位置決めブロック 27 の高さは、光学媒質 32 の高さよりも低い。すなわち、位置決めブロック 27 と上部ヒートシンク 26 との間には、隙間が形成される。位置決めブロック 27 は、熱伝導性のよい金属材料であり、例えば銅或いは銅合金により形成される。

【0044】

媒質体保持ブロック 28A, 28B, 28C は、配置される位置が異なるだけであり、単体としてはそれぞれ同じ形状を有する。以下、媒質体保持ブロック 28C について詳細に説明し、媒質体保持ブロック 28A, 28B の説明を省略する。

20

【0045】

媒質体保持ブロック 28C は、良好な熱伝導性を有する熱伝導部材であり、一例として銅により形成される。媒質体保持ブロック 28C は、固定部 34 と変形部 36 とを有する。固定部 34 は、直方体状を呈し、下部ヒートシンク 24 に対して物理的に接触した状態で固定される。従って、媒質体保持ブロック 28C は、下部ヒートシンク 24 に対して熱的に接続される。媒質体保持ブロック 28C の高さは、光学媒質 32 の高さよりも低い。すなわち、媒質体保持ブロック 28C と上部ヒートシンク 26 との間には、隙間が形成される。

30

【0046】

レーザ利得媒質 33C に対面する固定部 34 の側面には、変形部 36 が設けられる。変形部 36 は、固定部 34 と一体に形成される。従って、変形部 36 は、固定部 34 と熱的に接続される。変形部 36 は、固定部 34 の側面からレーザ利得媒質 33C に向けて延在する複数の櫛歯 36a を有する。変形部 36 の先端 (すなわち櫛歯 36a の先端) は、レーザ利得媒質 33C に当接する。従って、変形部 36 は、レーザ利得媒質 33C に対して熱的に接続される。従って、レーザ利得媒質 33C は、媒質体保持ブロック 28C の変形部 36 及び固定部 34 を介して、下部ヒートシンク 24 に熱的に接続される。

【0047】

固定部 34 の側面は、レーザ利得媒質 33C の主面 33a と対面する。より具体的には、固定部 34 の側面は、レーザ利得媒質 33C の主面 33a に対して平行である。櫛歯 36a は、固定部 34 の側面に対して傾いた方向に延びる。換言すると、櫛歯 36a の延在方向 A1 は、固定部 34 の側面の法線方向 N2a に対して傾く。従って、櫛歯 36a の延在方向 A1 は、固定部 34 の側面に対して平行なレーザ利得媒質 33C の主面 33a に対しても傾く。すなわち、櫛歯 36a の延在方向 A1 はレーザ利得媒質 33C の主面 33a の法線方向 N2b に対しても傾く。

40

【0048】

ここで、図 5 に示されるように、固定部 34 の法線方向 N2a (又はレーザ利得媒質 33C の法線方向 N2b) に沿った力 F が、櫛歯 36a の先端 36b のそれぞれに作用した場合を想定する。櫛歯 36a の一本に注目すると、力 F の方向 FA は、櫛歯 36a の延在

50

方向 A 1 に対して傾いている。そうすると、櫛歯 3 6 a には、固定部 3 4 側の基端部 3 6 c を固定端とし、レーザ利得媒質 3 3 C 側の先端 3 6 b を自由端とする片持ち梁構造を有する板バネであるとみなせる。片持ち梁構造によれば、自由端（先端 3 6 b）に作用する力に対して櫛歯 3 6 a が柔軟に弾性変形することが可能になる。複数の櫛歯 3 6 a を有する変形部 3 6 の全体を見たときには、複数の櫛歯 3 6 a の先端がレーザ利得媒質 3 3 C に当接する。レーザ利得媒質 3 3 C が、レーザ利得媒質 3 3 C の主面 3 3 a の法線方向 N 2 b に移動した時には、櫛歯 3 6 a のそれぞれに曲げ変形が生じる。すなわち、変形部 3 6 は、レーザ利得媒質 3 3 C の法線方向 N 2 b への移動を許容する。

【 0 0 4 9 】

従って、媒質体保持ブロック 2 8 は、レーザ媒質体 2 2 において生じた熱を下部ヒートシンク 2 4 に伝達する伝熱経路として機能すると共に、レーザ媒質体 2 2 の変形を許容する物理的なバッファとして機能する。

10

【 0 0 5 0 】

ところで、レーザ増幅器 1 に用いられるレーザ媒質ユニット 8 は、レーザ利得媒質として用いる Y b : Y A G 結晶を、その稼働時において 1 0 0 K 程度にまで冷却する必要がある。このため、レーザ増幅器 1 のレーザ媒質ユニット 8 は、その稼働時には 1 0 0 K 程度の冷却が行われる一方で、例えば保守時には室温程度の環境に曝される。このように、極低温環境と室温環境とに曝されるレーザ媒質ユニット 8 では、構成部品の熱膨張及び熱収縮が生じる。この構成部品の熱膨張及び熱収縮が繰り返されると、レーザ媒質ユニット 8 のアライメントずれが生じることがあった。

20

【 0 0 5 1 】

そこで、熱膨張及び熱収縮が生じたときであってもレーザ媒質のずれが生じないように、レーザ媒質ユニット 8 の保持部材を構成することが考えられる。しかし、このような構成によれば、レーザ媒質ユニット 8 が室温環境に曝されたとき、すなわち、レーザ媒質ユニット 8 が熱膨張を生じた時に熱膨張に伴う変形が許容されない。従って、レーザ媒質ユニット 8 に応力が生じる可能性も生じる。

【 0 0 5 2 】

そこで、レーザ媒質ユニット 8 では、位置決めブロック 2 7 が下部ヒートシンク 2 4 に固定されている。従って、位置決めブロック 2 7 は、光学媒質 3 2 の移動を規制可能であるので、位置決めブロック 2 7 によって光学媒質 3 2 及び光学媒質 3 2 に接続されたレーザ利得媒質 3 3 A , 3 3 B , 3 3 C の光軸ずれを抑制できる。一方、媒質体保持ブロック 2 8 A , 2 8 B , 2 8 C は変形部 3 6 を有するので、レーザ媒質ユニット 8 を構成する部品同士の熱膨張率の差と、温度変化と、に起因して生じる熱変形を許容する。従って、レーザ媒質ユニット 8 を構成する部品に生じる熱応力の発生を抑制できる。その上、媒質体保持ブロック 2 8 A , 2 8 B , 2 8 C は熱伝導性のよい銅により形成されるので、レーザ利得媒質 3 3 A , 3 3 B , 3 3 C において発生した熱を変形部 3 6 及び固定部 3 4 を介して下部ヒートシンク 2 4 に伝えることができる。従って、レーザ媒質ユニット 8 の動作時に生じる熱が好適に排出されるので、光学媒質 3 2 及びレーザ利得媒質 3 3 A , 3 3 B , 3 3 C の内部における熱分布を均一化することができる。これにより、レーザ媒質ユニット 8 は、レーザ利得媒質 3 3 A , 3 3 B , 3 3 C の光学的なアライメントずれの発生を抑制し、内部応力の発生を抑制すると共に、光学媒質 3 2 及びレーザ利得媒質 3 3 A , 3 3 B , 3 3 C における熱分布を均一化するので、光学媒質 3 2 及びレーザ利得媒質 3 3 A , 3 3 B , 3 3 C の状態を熱的及び構造的に安定化させることが可能になる。従って、所望のレーザ特性を安定して得ることができる。

30

40

【 0 0 5 3 】

また、レーザ媒質体 2 2 は、下部ヒートシンク 2 4 と上部ヒートシンク 2 6 とに挟持される。下部ヒートシンク 2 4 と上部ヒートシンク 2 6 とは、導熱ユニット 2 1 B により熱的に互い接続される。従って、レーザ媒質体 2 2 において発生し、下部ヒートシンク 2 4 に排出された熱は、導熱ユニット 2 1 B を介して上部ヒートシンク 2 6 に伝達される。そして、上部ヒートシンク 2 6 の排熱部 3 1 から、導熱ユニット 2 1 A , 2 1 B 及びクライ

50

オ吸熱部 19 を介して冷却ユニット 9 に向けて排出される。従って、レーザ媒質体 22 において発生した熱を効率よく排出することができる。

【 0 0 5 4 】

また、下部ヒートシンク 24 と上部ヒートシンク 26 とは、引張バネ 29 によって互いに引き付けられて、レーザ媒質体 22 を挟持する。この構成によれば、レーザ媒質体 22 の厚み方向の変形が引張バネ 29 の伸びによって許容される。従って、レーザ媒質体 22 の保持状態をより安定化することができる。

【 0 0 5 5 】

また、レーザ媒質ユニット 8 は、導熱ユニット 21 B を介してクライオ吸熱部 19 に接続される。この導熱ユニット 21 B は、冷却ヘッド 17 が発生させる振動の周波数よりも低い固有周波数を有する。従って、冷却ヘッド 17 において発生した振動は、導熱ユニット 21 B において減衰される。すなわち、冷却ヘッド 17 において発生した振動は、レーザ媒質ユニット 8 に影響を与えることがない。従って、光学媒質 32 及びレーザ利得媒質 33 A, 33 B, 33 C の状態をさらに安定化させることが可能になる。従って、安定したレーザ特性を好適に得ることができる。

【 0 0 5 6 】

< 第 2 実施形態 >

図 6 は、第 2 実施形態に係るレーザ発振器の構成を概略的に示す図である。図 6 に示されたレーザ発振器 1 A は、励起光 L 1 a, L 2 a が供給されることにより、レーザ光 L 3 を生成する。レーザ発振器 1 A は、励起光源部 2 と、ミラー部 3 A と、レーザ装置 4 と、を有する。励起光源部 2 及びレーザ装置 4 は、第 1 実施形態の励起光源部 2 及びレーザ装置 4 と同様の構成を有するので、詳細な説明は省略する。

【 0 0 5 7 】

ミラー部 3 A は、励起光源部 2 とレーザ装置 4 との間における励起光 L 1 a, L 1 b の光路上に配置される。ミラー部 3 A は、ミラー 3 c, 3 d, 3 e を有する。ミラー 3 c は、光源 2 a から出射される励起光 L 1 a の光路上に配置される。ミラー 3 c は、励起光 L 1 a を透過すると共に、レーザ装置 4 が発生する放出光としてのレーザ光 L 3 を反射する。

【 0 0 5 8 】

ミラー 3 d は、光源 2 b から出射される励起光 L 1 b の光路上に配置される。ミラー 3 d は、励起光 L 1 b を透過し、レーザ光 L 3 の一部を反射する。ミラー 3 c, 3 d は、光共振器を構成する。換言すると、ミラー 3 c, 3 d の間でレーザ光 L 3 が繰り返し反射するように、ミラー 3 c, 3 d が配置される。このミラー 3 c, 3 d の間の共振光路内にレーザ媒質ユニット 8 が配置される。

【 0 0 5 9 】

ミラー 3 e は、ミラー 3 d と光源 2 b との間に配置される。ミラー 3 e は、光源 2 b から出射された励起光 L 1 b を透過し、ミラー 3 d を透過した一部のレーザ光 L 3 を励起光 L 1 b の光路とは異なる方向へ反射する。従って、ミラー 3 e により反射されたレーザ光 L 3 が出力光である。

【 0 0 6 0 】

レーザ発振器 1 A は、レーザ装置 4 を備えているので、レーザ媒質体 51 を物理的に安定した状態で保持することができる。これにより、光路に対するレーザ媒質体 51 の位置ずれが低減されるので、所望のレーザ特性を安定して得ることができる。

【 0 0 6 1 】

以上、本発明をその実施形態に基づいて詳細に説明した。しかし、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。本発明は、その要旨を逸脱しない範囲で様々な変形が可能である。

【 0 0 6 2 】

例えば、図 7 の (a) 部に示されるように、レーザ媒質ユニット 8 B は、円柱状のレーザ媒質体 51 を備えていてもよい。円柱状のレーザ媒質体 51 は、一端を媒質体保持部 52 A によって支持され、他端を媒質体保持部 52 B によって支持される。媒質体保持部 5

10

20

30

40

50

2 A , 5 2 B は、それぞれヒートシンク 5 3 A , 5 3 B に固定される。図 7 の (b) 部に示されるように、媒質体保持部 5 2 A は、ヒートシンク 5 3 A に固定される固定部 5 4 と、弾性変形が可能な変形部 5 6 とを有する。変形部 5 6 は、円筒状の固定部 5 4 の内周面から中心に向かって円弧状に伸びる複数の櫛歯 5 6 a を有する。櫛歯 5 6 a は、固定部 5 4 の中心軸線まわりに等間隔に設けられる。櫛歯 5 6 a の外周側は、固定部 5 4 に対して固定された固定端である。櫛歯 5 6 a の内周側は、レーザ媒質体 5 1 に当接される自由端である。変形部 5 6 は、固定部 5 4 の直径方向（即ちレーザ媒質体 5 1 の直径方向）に弾性変形が可能である。従って、レーザ媒質体 5 1 が発熱し、レーザ媒質体 5 1 の直径が大きくなったときには、変形部 5 6 がその直径の変化を許容する。従って、レーザ媒質体 5 1 を構造的に安定した状態で保持することができる。これにより、所望のレーザ特性を安定して得ることができる。

10

【 0 0 6 3 】

また、レーザ媒質ユニット 8 の冷却には、例えば、液体窒素を用いる構成であってもよい。

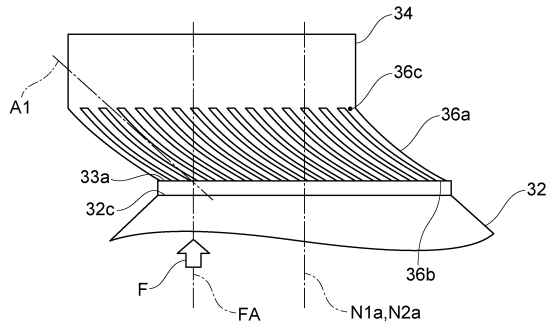
【 符号の説明 】

【 0 0 6 4 】

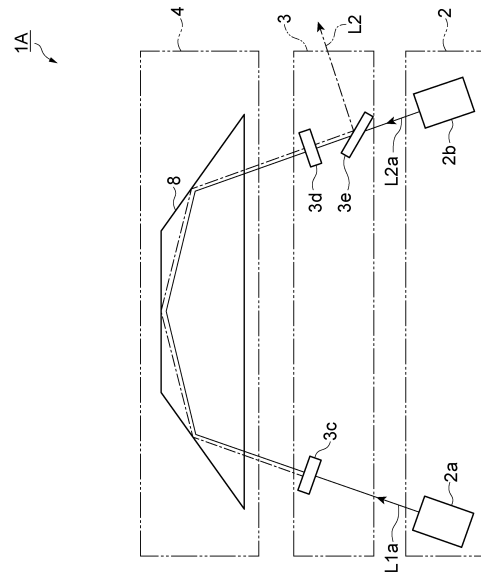
1 ...レーザ増幅器、1 A ...レーザ発振器、2 ...励起光源部、3 ...ミラー部、4 ...レーザ装置、6 ...フレーム、7 ...チャンバ、8 ...レーザ媒質ユニット、9 ...冷却ユニット、1 1 ...底板、1 2 ...中間板、1 3 ...天板、1 4 ...スペーサ、1 6 ...除振部、1 7 ...冷却ヘッド（冷却部）、1 8 ...ベロー、1 9 ...クライオ吸熱部（第 2 の導熱部）、2 1 A ...導熱ユニット（第 3 の導熱部）、2 1 B ...導熱ユニット（第 1 の導熱部）、2 1 a ...銅網、2 1 b ...固定板、2 2 ...レーザ媒質体、2 3 ...断熱シート、2 4 ...下部ヒートシンク（第 1 の基板）、2 6 ...上部ヒートシンク（第 2 の基板）、2 7 ...位置決めブロック（位置決め部材）、2 8 A , 2 8 B , 2 8 C ...媒質体保持ブロック（媒質体保持部）、2 9 ...引張バネ（弾性部材）、3 1 ...排熱部、3 2 ...光学媒質、3 3 A , 3 3 B , 3 3 C ...レーザ利得媒質、3 4 ...固定部、3 6 ...変形部、3 6 a , 5 6 a ...櫛歯、5 1 ...レーザ媒質体、5 2 A , 5 2 B ...媒質体保持部、5 3 A , 5 3 B ...ヒートシンク、L 1 a , L 1 b ...励起光、L 2 ...レーザ光。

20

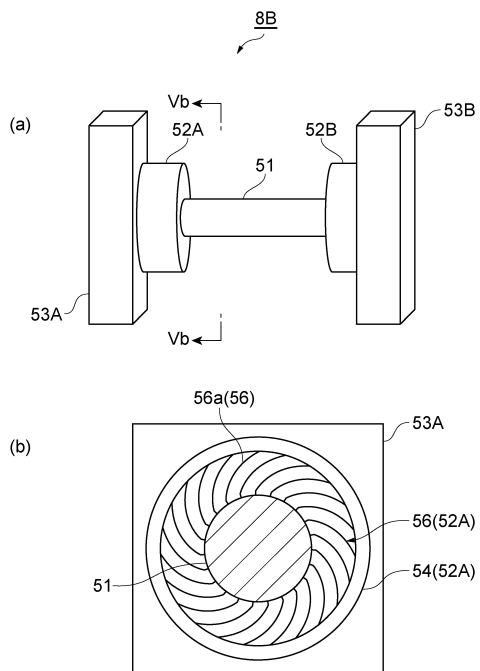
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

- (72)発明者 時田 茂樹
大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内
- (72)発明者 河仲 準二
大阪府吹田市山田丘1番1号 国立大学法人大阪大学内
- (72)発明者 伊山 功一
静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 川嶋 利幸
静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 高椋 健司

- (56)参考文献 特開2008-153462(JP,A)
特開2014-022568(JP,A)
特開2015-167216(JP,A)
特開2010-114162(JP,A)
特開2000-022244(JP,A)
特開2006-303141(JP,A)
特開平07-094808(JP,A)
特開2006-237170(JP,A)
米国特許第06167069(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 3/00 - 3/02, 3/04 - 3/0959,
3/098 - 3/102, 3/105 - 3/131,
3/136 - 3/213, 3/23 - 4/00