(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7564014号
(P7564014)

(45)発行日　令和6年10月8日(2024.10.8)

(24)登録日　令和6年9月30日(2024.9.30)

(51)国際特許分類

		FI	
Ｈ０１Ｓ	*5/0239(2021.01)*	Ｈ０１Ｓ	5/0239
Ｈ０１Ｓ	*5/34 (2006.01)*	Ｈ０１Ｓ	5/34
Ｈ０１Ｓ	*5/14 (2006.01)*	Ｈ０１Ｓ	5/14

請求項の数　4　（全21頁）

(21)出願番号　特願2021-27509(P2021-27509)
(22)出願日　令和3年2月24日(2021.2.24)
(65)公開番号　特開2022-128998(P2022-128998A)
(43)公開日　令和4年9月5日(2022.9.5)
審査請求日　令和6年1月24日(2024.1.24)
（出願人による申告）２０２０年度 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 ＩｏＴ社会実現のための革新的センシング技術開発 革新的センシング技術開発 波長掃引中赤外レーザによる次世代火山ガス防災技術の研究開発 産業技術力強化法第１７条の適用を受ける特許出願

(73)特許権者　000236436
浜松ホトニクス株式会社
静岡県浜松市中央区市野町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　100183081
弁理士　岡▲崎▼ 大志
(72)発明者　杉山 厚志
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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　外部共振型レーザモジュール

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
量子カスケードレーザ素子と、
前記量子カスケードレーザ素子の外部共振器を構成するＭＥＭＳ回折格子と、
前記量子カスケードレーザ素子と前記ＭＥＭＳ回折格子との間に配置され、前記量子カスケードレーザ素子からの出射光及び前記ＭＥＭＳ回折格子から前記量子カスケードレーザ素子へと帰還する光とを通過させるレンズを保持するレンズホルダと、
前記量子カスケードレーザ素子、前記ＭＥＭＳ回折格子、及び前記レンズホルダを収容するパッケージと、を備え、
前記パッケージは、底壁と、前記底壁上に立設され、前記底壁に垂直な方向から見た場合に前記量子カスケードレーザ素子が収容される領域を包囲するように環状に形成された側壁と、前記側壁の前記底壁側とは反対側の開口を塞ぐ天壁と、を有し、
前記天壁は、前記レンズの光軸方向に直交する方向に前記底壁と対向しており、
前記天壁と前記レンズホルダの前記天壁側の面との距離は、前記レンズの光軸方向に沿った前記レンズホルダの厚さよりも小さい、外部共振型レーザモジュール。
【請求項２】
前記パッケージ内において、前記側壁に沿って配置された電極端子と、
前記電極端子と前記量子カスケードレーザ素子とを電気的に接続するためのワイヤと、を更に備え、
前記ワイヤは、前記光軸方向に直交する方向から見た場合に、前記レンズホルダに対し

て前記量子カスケードレーザ素子が配置される側の領域において、前記電極端子と接続されており、
前記電極端子は、前記量子カスケードレーザ素子よりも前記天壁に近い位置に配置されており、
前記レンズホルダの前記天壁側の前記面は、前記電極端子よりも前記天壁に近い位置にある、請求項１に記載の外部共振型レーザモジュール。
【請求項３】
前記量子カスケードレーザ素子における活性層及びクラッド層を含む積層構造の積層方向は、前記底壁と前記天壁とが対向する方向と一致している、請求項１又は２に記載の外部共振型レーザモジュール。
【請求項４】
前記レンズホルダの表面は、黒色加工されている、請求項１～３のいずれか一項に記載の外部共振型レーザモジュール。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、外部共振型レーザモジュールに関する。
【背景技術】
【０００２】
外部共振型レーザモジュールとして、量子カスケードレーザ素子と、揺動可能な回折格子と、量子カスケードレーザ素子と回折格子との間に配置されたレンズと、を備えるものが知られている（例えば特許文献１参照）。このような外部共振型レーザモジュールでは、量子カスケードレーザ素子からの光が回折格子によって回折及び反射され、当該光のうち特定波長の光が量子カスケードレーザ素子に帰還する。これにより、量子カスケードレーザ素子の端面と回折格子とによって外部共振器が構成され、特定波長の光が増幅されて外部に出力される。回折格子を揺動させて出力光の波長を変化させることで、所定の波長範囲において波長掃引を行うことができる。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【文献】米国特許出願公開２００９／０２２５８０２号明細書
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
上述したような外部共振型レーザモジュールは、パッケージ（筐体）に収容される場合がある。このような構成において、回折格子において反射した光のうちレンズを介して量子カスケードレーザ素子に帰還しない光（すなわち、レンズから外れてしまう迷光成分）が発生した場合、量子カスケードレーザ素子から外部に出射されるレーザ光に当該迷光成分が混入し、レーザ品質を損なうおそれがある。
【０００５】
そこで、本開示の一側面は、レーザ品質を適切に確保することができる外部共振型レーザモジュール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】
本開示の一側面に係る外部共振型レーザモジュールは、量子カスケードレーザ素子と、量子カスケードレーザ素子の外部共振器を構成するＭＥＭＳ回折格子と、量子カスケードレーザ素子とＭＥＭＳ回折格子との間に配置され、量子カスケードレーザ素子からの出射光及びＭＥＭＳ回折格子から量子カスケードレーザ素子へと帰還する光とを通過させるレンズを保持するレンズホルダと、量子カスケードレーザ素子、ＭＥＭＳ回折格子、及びレンズホルダを収容するパッケージと、を備え、パッケージは、底壁と、底壁上に立設され

、底壁に垂直な方向から見た場合に量子カスケードレーザ素子が収容される領域を包囲するように環状に形成された側壁と、側壁の底壁側とは反対側の開口を塞ぐ天壁と、を有し、天壁は、レンズの光軸方向に直交する方向に底壁と対向しており、天壁とレンズホルダの天壁側の面との距離は、レンズの光軸方向に沿ったレンズホルダの厚さよりも小さい。

【０００７】

上記外部共振型レーザモジュールでは、パッケージ内において、天壁とレンズホルダとの距離（ギャップ）がレンズホルダの厚さよりも小さくなるように、レンズホルダが配置されている。これにより、ＭＥＭＳ回折格子において反射した光のうちレンズから外れて天壁側へと向かう迷光が天壁とレンズホルダとの間に侵入したとしても、当該迷光が天壁とレンズホルダとの間の空間を通過し難くなっている。すなわち、レンズホルダに対してＭＥＭＳ回折格子が配置される側の空間から、レンズホルダに対して量子カスケードレーザ素子が配置される側の空間への迷光の侵入を、効果的に抑制することができる。以上により、量子カスケードレーザ素子から外部に出射されるレーザ光に迷光成分が混入することを抑制し、レーザ品質を適切に確保することができる。

【０００８】

上記外部共振型レーザモジュールは、パッケージ内において、側壁に沿って配置された電極端子と、電極端子と量子カスケードレーザ素子とを電気的に接続するためのワイヤと、を更に備えてもよく、ワイヤは、光軸方向に直交する方向から見た場合に、レンズホルダに対して量子カスケードレーザ素子が配置される側の領域において、電極端子と接続されていてもよく、電極端子は、量子カスケードレーザ素子よりも天壁に近い位置に配置されていてもよく、レンズホルダの天壁側の面は、電極端子よりも天壁に近い位置にあってもよい。上記構成によれば、光軸方向に直交する方向から見た場合にレンズホルダよりも量子カスケードレーザ素子側の空間において電極端子とワイヤとを接続することにより、ワイヤとレンズホルダとの干渉を抑制しつつ、レンズホルダの天壁側の面を電極端子よりも天壁に近づけることが可能とされている。これにより、天壁とレンズホルダとのギャップがなるべく小さくなるようにレンズホルダを配置することができる。その結果、レンズホルダに対してＭＥＭＳ回折格子が配置される空間において生じた迷光が、天壁とレンズホルダとの間を通過して、レンズホルダに対して量子カスケードレーザ素子が配置される空間へと侵入することを、より一層効果的に抑制することができる。

【０００９】

量子カスケードレーザ素子における活性層及びクラッド層を含む積層構造の積層方向は、底壁と天壁とが対向する方向と一致していてもよい。上記構成においては、量子カスケードレーザ素子の端面から出射される光のビーム形状は、積層方向に沿った長径を有する楕円形状となる。この場合、ＭＥＭＳ回折格子において反射されて天壁側へと向かう迷光が生じ易いが、上述した天壁とレンズホルダとの位置関係により、当該迷光がレンズホルダに対して量子カスケードレーザ素子が配置される空間へと侵入することを抑制することができる。すなわち、上述した天壁とレンズホルダとの位置関係を設定することにより、迷光によるレーザ品質の低下を好適に抑制しつつ、量子カスケードレーザ素子の積層方向が底壁と天壁とが対向する方向と一致するように、量子カスケードレーザ素子を配置することができる。

【００１０】

レンズホルダの表面は、黒色加工されていてもよい。上記構成によれば、ＭＥＭＳ回折格子で反射されてレンズから外れた迷光の一部を黒色に加工されたレンズホルダの表面で吸収することが可能となるため、レンズホルダに対して量子カスケードレーザ素子が配置される側の空間への迷光の侵入をより一層効果的に抑制することができる。

【発明の効果】

【００１１】

本開示の一側面によれば、レーザ品質を適切に確保することができる外部共振型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】

【００１２】
【図１】図１は、一実施形態の外部共振型レーザモジュールの斜視図である。
【図２】図２は、外部共振型レーザモジュールの内部構成を示す斜視図である。
【図３】図３は、図２のIII-III線に沿った外部共振型レーザモジュールの断面図である。
【図４】図４は、図３のIV-IV線に沿った外部共振型レーザモジュールの断面図である。
【図５】図５は、マウント部材及び回折格子ユニットの関係を示す図である。
【図６】図６は、ＭＥＭＳ回折格子の正面図である。
【図７】図７は、量子カスケードレーザ素子と電極端子との電気的接続構成を示す図である。
【図８】図８は、外部共振型レーザモジュールの製造工程を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００１３】
以下、本発明の一実施形態について、図面を参照しつつ詳細に説明する。なお、以下の説明において、同一又は相当要素には同一符号を用い、重複する説明を省略する。また、「上」、「下」等の語は図面に示される状態に基づく便宜的なものである。
【００１４】
図１～図４に示されるように、外部共振型レーザモジュール１（以下、「レーザモジュール１」という。）は、量子カスケードレーザ素子（以下「ＱＣＬ素子）２と、ＱＣＬ素子２を気密に収容するパッケージ３と、を備えている。外部共振型レーザモジュール１は、出力光（レーザ光Ｌ）の波長が可変とされた波長可変光源である。外部共振型レーザモジュール１は、例えば、グルコース等の生体計測、ＶＯＣガス（揮発性有機化合物）等の光吸収バンドを有する分析対象の吸収スペクトルの計測等に用いられ得る。例えば、このような吸収スペクトルの測定時には、光透過性の容器内に収容された分析対象が、外部共振型レーザモジュール１と光検出器（不図示）との間に配置される。そして、外部共振型レーザモジュール１は、出力光（レーザ光Ｌ）の波長を高速に変化させることにより、所定の波長範囲（例えば、中赤外領域）において波長掃引を行う。これにより、光検出器の検出結果に基づいて、吸収スペクトルが算出される。なお、分析対象は、気体、液体及び固体のいずれであってもよい。
【００１５】
パッケージ３は、ＱＣＬ素子２と、マウント部材４と、回折格子ユニット５と、レンズ６Ａ（第１レンズ）を保持するレンズホルダ７Ａ（第１レンズホルダ）と、レンズ６Ｂ（第２レンズ）を保持するレンズホルダ７Ｂ（第２レンズホルダ）と、を収容する筐体である。本実施形態では一例として、パッケージ３は、バタフライパッケージとして構成されている。パッケージ３は、底壁３１と、側壁３２と、天壁３３と、を有している。図２においては、パッケージ３の天壁３３の図示が省略されると共に、リード端子１０のうち突出壁３４よりも外側に突出する部分の図示が省略されている。
【００１６】
底壁３１は、矩形板状の部材である。底壁３１は、例えば銅タングステン等の金属材料によって形成されている。底壁３１は、マウント部材４が搭載されるベース部材である。本明細書では便宜上、底壁３１の長手方向をＸ軸方向と表し、底壁３１の短手方向をＹ軸方向と表し、底壁３１に垂直な方向（すなわち、Ｘ軸方向及びＹ軸方向に直交する方向）をＺ軸方向と表す。Ｘ軸方向は、ＱＣＬ素子２から出射されるレーザ光Ｌの光軸に沿った方向（光軸方向）でもある。
【００１７】
側壁３２は、底壁３１上に立設されている。側壁３２は、Ｚ軸方向から見た場合に、ＱＣＬ素子２等が収容される内部空間を包囲するように環状に形成されている。本実施形態では、側壁３２は、矩形筒状の部材である。側壁３２は、コバール等の金属材料によって形成されている。側壁３２は、例えば、Ｎｉ／Ａｕメッキが施されたコバールフレームである。本実施形態では、側壁３２は、底壁３１の長手方向（Ｘ軸方向）における中央部に設けられている。側壁３２の短手方向（Ｙ軸方向）に沿った幅は底壁３１の短手方向の幅

と一致しており、側壁３２の長手方向（Ｘ軸方向）に沿った幅は底壁３１の長手方向の幅よりも短い。すなわち、底壁３１の長手方向における両側には、側壁３２よりも外側に突出して延在する突出部３１ａが形成されている。突出部３１ａにおける底壁３１の四隅に対応する部分には、パッケージ３（底壁３１）を他の部材に取り付けるためのネジ孔３１ｂが設けられている。

【００１８】

天壁３３は、側壁３２の底壁３１側とは反対側の開口を塞ぐ部材である。天壁３３は、矩形板状を呈している。Ｚ軸方向から見た天壁３３の外形（長手方向及び短手方向の幅）は、側壁３２の外形と略一致している。天壁３３は、例えば、側壁３２と同じ金属材料（例えばコバール等）によって形成されている。天壁３３は、例えばシーム溶接等によって、側壁３２の底壁３１側とは反対側の端部に接合されている。

【００１９】

側壁３２のうち長手方向（Ｘ軸方向）に沿って延在する一対の第１側壁３２１（すなわち、短手方向（Ｙ軸方向）に交差する部分）には、パッケージ３内に収容されるＱＣＬ素子２等の部材に電流を流すための複数（本実施形態では、短手方向の両側それぞれに７本ずつの計１４本）のリード端子１０が挿通されている。各リード端子１０は、Ｙ軸方向に延在する平板状の導電部材である。

【００２０】

また、一対の第１側壁３２１の各々には、第１側壁３２１の外面（パッケージ３の外側の面）側及び内面（パッケージ３の内側の面）側の両方に張り出した突出壁３４が設けられている（図４参照）。突出壁３４は、Ｚ軸方向における第１側壁３２１の中央位置よりも上方（天壁３３側）において、Ｘ軸方向に沿って延在するように設けられた庇状の部材である。各リード端子１０は、Ｘ軸方向に沿って略等間隔で、突出壁３４の上面３４ａに配置されている。リード端子１０のうちパッケージ３の内壁面（第１側壁３２１の内面）に沿った部分（すなわち、パッケージ３の内部に位置する部分）は、パッケージ３内の各部材（例えば、ＱＣＬ素子２、ＭＥＭＳ回折格子５１、後述する温度センサ９等）に給電するための電極端子１０ａとして機能する。すなわち、電極端子１０ａと各部材とが導電性を有するワイヤＷを介して電気的に接続されることにより、外部電源から各部材へと給電される。

【００２１】

側壁３２のうち短手方向（Ｙ軸方向）に沿って延在する第２側壁３２２（すなわち、長手方向（Ｘ軸方向）に交差する部分）の一方には、ＱＣＬ素子２の一方の端面（第１端面２ａ）から出射されるレーザ光Ｌを通過させる光出射窓３２ａが設けられている。光出射窓３２ａは、例えば、中赤外領域の波長のレーザ光Ｌを透過させる材料（例えば、ゲルマニウム等）によって形成されている。本実施形態では一例として、光出射窓３２ａは、円板状に形成されている。光出射窓３２ａは、一方の第２側壁３２２に形成された円形状の開口部に固着されている。

【００２２】

次に、パッケージ３に収容される各部材について説明する。図３に示されるように、ＱＣＬ素子２、回折格子ユニット５、及びレンズホルダ７Ａ，７Ｂは、マウント部材４を介して、底壁３１上に配置されている。マウント部材４は、上述したような光学素子を搭載する光学ステージである。図３においては、ワイヤＷの図示が省略されている。マウント部材４は、例えば、接合又はネジ留め等によって、底壁３１に固定されている。マウント部材４は、例えば銅等の熱伝導性に優れた材料によって形成されている。なお、本実施形態では、マウント部材４は底壁３１上に直接配置されているが、マウント部材４は、例えばペルチェモジュール等の冷却素子を介して、底壁３１上に配置されてもよい。また、本実施形態では、マウント部材４は単一の部材であるが、マウント部材４は、複数の部材（部品）を組み合わせたものであってもよい。

【００２３】

図３及び図５に示されるように、マウント部材４は、Ｘ軸方向に長尺な部材である。マ

ウント部材４は、光出射窓３２ａに近い側から順に、レンズホルダ７Ａが搭載される第１搭載部４１と、ＱＣＬ素子２が搭載される第２搭載部４２と、レンズホルダ７Ｂが搭載される第３搭載部４３と、回折格子ユニット５が搭載される第４搭載部４４と、を有している。すなわち、光出射窓３２ａ、レンズ６Ａ（レンズホルダ７Ａ）、ＱＣＬ素子２、レンズ６Ｂ（レンズホルダ７Ｂ）、及び回折格子ユニット５は、Ｘ軸方向に沿ってこの順に配置されている。

【００２４】

第１搭載部４１及び第３搭載部４３は、同一の厚さを有している。すなわち、底壁３１を基準として、第１搭載部４１の上面４１ａの高さ位置は、第３搭載部４３の上面４３ａの高さ位置と一致している。レンズホルダ７Ａは、樹脂接着剤Ｂ（例えば光硬化樹脂等）を介して、第１搭載部４１の上面４１ａに接着固定されている。同様に、レンズホルダ７Ｂは、樹脂接着剤Ｂ（例えば光硬化樹脂等）を介して、第３搭載部４３の上面４３ａに接着固定されている。

【００２５】

第２搭載部４２は、第１搭載部４１と第３搭載部４３との間に設けられている。第２搭載部４２は、第１搭載部４１及び第３搭載部４３よりも厚くされており、第１搭載部４１及び第３搭載部４３に対して突出している。すなわち、第２搭載部４２の上面４２ａは、第１搭載部４１及び第３搭載部４３の上面４１ａ，４３ａよりも高い位置にある。ＱＣＬ素子２は、サブマウント８を介して、第２搭載部４２の上面４２ａに固定されている。サブマウント８は、ＱＣＬ素子２が載置される矩形板状の部材である。サブマウント８は、上面４２ａのＹ軸方向における中央位置に配置されている。サブマウント８は、ＱＣＬ素子２と近い熱膨張係数を有する材料（例えば、窒化アルミニウム等）によって形成されている。ＱＣＬ素子２は、例えばＡｕＳｎ系の半田材料を介して、サブマウント８に接合されている。また、サブマウント８は、例えばＩｎ系（ＩｎＳｎ、ＩｎＡｇ等）の半田材料を介して、マウント部材４（上面４２ａ）に接合されている。上述したように、ＱＣＬ素子２はサブマウント８と一体化されているため、ＱＣＬ素子２及びサブマウント８の両方を合わせたものを「ＱＣＬ素子」と見做し得る。

【００２６】

第２搭載部４２の上面４２ａには、サブマウント８以外に、温度センサ９と電極パッド１１とが配置されている。温度センサ９及び電極パッド１１は、例えば樹脂接着剤等を介して、マウント部材４（上面４２ａ）に接合されている。本実施形態では、温度センサ９と電極パッド１１は、サブマウント８を挟んで互いに反対側に配置されている。温度センサ９は、例えばサーミスタである。電極パッド１１は、電極端子１０ａとＱＣＬ素子２との電気的接続を中継する。本実施形態では、２つの電極パッド１１が、第２搭載部４２の上面４２ａに設けられている。具体的には、ＱＣＬ素子２のカソード（本実施形態では、ＱＣＬ素子２の上面（メサ上面））と電気的に接続される電極パッド１１ａと、ＱＣＬ素子２のアノード（本実施形態では、サブマウント８）と電気的に接続される電極パッド１１ｂとが、第２搭載部４２の上面４２ａに設けられている。各電極パッド１１ａ，１１ｂは、略矩形状の接続領域（上面）を有している。各電極パッド１１ａ，１１ｂは、Ｘ軸方向に沿って並んでいる。電極パッド１１ａは、電極パッド１１ｂよりも光出射窓３２ａ側に位置している。底壁３１を基準として、各電極パッド１１ａ，１１ｂの高さ位置は、電極端子１０ａの高さ位置（すなわち、突出壁３４の上面３４ａの高さ位置）よりも低く、且つ、ＱＣＬ素子２の高さ位置よりも高い。

【００２７】

第４搭載部４４は、第１搭載部４１及び第３搭載部４３よりも薄くされている。すなわち、第４搭載部４４の上面４４ａは、第１搭載部４１及び第３搭載部４３の上面４１ａ，４３ａよりも低い位置にある。第４搭載部４４には、配置孔４４ｂが形成されている。図５に示されるように、回折格子ユニット５は、後述するヨーク５３の一部が配置孔４４ｂに配置された状態で、樹脂接着剤等を用いて第４搭載部４４に固定されている。

【００２８】

ＱＣＬ素子２は、第１端面２ａと、第１端面２ａとは反対側の第２端面２ｂと、を有している。ＱＣＬ素子２は、第１端面２ａ及び第２端面２ｂの各々から、中赤外領域（例えば４μｍ～１２μｍ）の光を出射する。第１端面２ａ及び第２端面２ｂは、例えばＸ軸方向に垂直な平坦面であり、ＱＣＬ素子２から出射されるレーザ光Ｌの光軸は、Ｘ軸方向に沿っている。ＱＣＬ素子２は、複数の量子井戸層（例えばＩｎＧａＡｓ）及び複数の量子障壁層（例えばＩｎＡｌＡｓ）からなる活性層と、活性層を挟む一対のクラッド層（例えばＩｎＰ）を含んでおり、上記のような広帯域の光を出射することができる。本実施形態では、ＱＣＬ素子２における活性層及びクラッド層を含む積層構造の積層方向は、底壁３１と天壁３３とが対向する方向（Ｚ軸方向）と一致している。なお、ＱＣＬ素子２は、互いに異なる中心波長を有する複数の活性層と一対のクラッド層とを含んでいてもよく、この場合でも上記のような広帯域の光を出射することができる。第１端面２ａには低反射コーティングが施されており、第２端面２ｂには無反射コーティングが施されている。

【００２９】

レンズ６Ａ，６Ｂは、例えば、セレン化亜鉛（ＺｎＳｅ）からなる非球面レンズである。レンズ６Ａ，６Ｂの表面には無反射コーティングが施されている。

【００３０】

レンズ６Ａは、ＱＣＬ素子２に対してＭＥＭＳ回折格子５１（回折格子ユニット５）が位置する側とは反対側に配置されている。すなわち、レンズ６Ａは、ＱＣＬ素子２の第１端面２ａと対向する位置に配置されている。レンズ６Ａは、ＱＣＬ素子２からの出射光（第１端面２ａからの出射光）を通過させる。レンズ６Ａは、第１端面２ａから出射される光をコリメートする。レンズ６Ａによりコリメートされた光は、パッケージ３の光出射窓３２ａを通り、出力光（レーザ光Ｌ）として外部に出力される。

【００３１】

レンズ６Ｂは、ＱＣＬ素子２とＭＥＭＳ回折格子５１（回折格子ユニット５）との間に配置されている。すなわち、レンズ６Ｂは、ＱＣＬ素子２の第２端面２ｂと対向する位置に配置されている。レンズ６Ｂは、ＱＣＬ素子２からの出射光（第２端面２ｂからの出射光）及びＭＥＭＳ回折格子５１からＱＣＬ素子２へと帰還する光を通過させる。レンズ６Ｂは、第２端面２ｂからＭＥＭＳ回折格子５１へと出射される光をコリメートする。

【００３２】

レンズホルダ７Ａ，７Ｂは、略直方体状の外形を有している。レンズ６Ａ，６Ｂは、樹脂接着剤等によって、レンズホルダ７Ａ，７Ｂに対して固定されている。レンズホルダ７Ａ，７Ｂの表面は、例えばアルマイト処理等によって、黒色加工されている。

【００３３】

回折格子ユニット５は、ＭＥＭＳ回折格子５１と、磁石５２と、ヨーク５３と、を備えている。ＭＥＭＳ回折格子５１は、略板状に形成されている。磁石５２は、ＭＥＭＳ回折格子５１に対してＱＣＬ素子２とは反対側に配置されている。ＭＥＭＳ回折格子５１はヨーク５３に固定されており、磁石５２はヨーク５３内に収容されている。これによりＭＥＭＳ回折格子５１、磁石５２及びヨーク５３は一体化されており、１つのユニットを構成している。

【００３４】

レンズ６Ｂによりコリメートされた光は、回折格子ユニット５のＭＥＭＳ回折格子５１に入射する。ＭＥＭＳ回折格子５１は、この入射光を回折及び反射させることにより、当該入射光のうち特定波長の光を、レンズ６Ｂを介して、ＱＣＬ素子２の第２端面２ｂに帰還させる。ＭＥＭＳ回折格子５１は、ＱＣＬ素子２の外部共振器を構成している。本実施形態では、ＭＥＭＳ回折格子５１と第１端面２ａとによって、リトロー型の外部共振器が構成されている。これにより、レーザモジュール１は、特定波長の光を増幅させて外部に出力することができる。

【００３５】

また、ＭＥＭＳ回折格子５１では、入射光を回折及び反射させる回折格子部６４の向きを高速に変化させることができる。これにより、ＭＥＭＳ回折格子５１からＱＣＬ素子２

の第２端面２ｂに帰還する光の波長が可変となっており、ひいてはレーザモジュール１の出力光（レーザ光Ｌ）の波長が可変となっている。レーザ光Ｌの波長を変化させることで、例えば、ＱＣＬ素子２のゲインバンドの範囲内において波長掃引を行うことができる。

【００３６】

図６に示されるように、ＭＥＭＳ回折格子５１は、支持部６１と、一対の連結部６２と、可動部６３と、回折格子部６４と、一対のコイル６５，６６と、を備えている。ＭＥＭＳ回折格子５１は、軸線Ａ周りに可動部６３を揺動させるＭＥＭＳデバイスとして構成されている。ＭＥＭＳ回折格子５１は、ＭＥＭＳ技術（パターニング、エッチング等）を用いて半導体基板を加工することにより形成される。

【００３７】

支持部６１は、平面視において矩形状を呈する平板状の枠体である。支持部６１は、一対の連結部６２を介して可動部６３を支持している。各連結部６２は、平面視において矩形棒状を呈する平板状の部材であり、軸線Ａに沿って真っ直ぐに延在している。各連結部６２は、可動部６３が軸線Ａ周りに揺動自在となるように、軸線Ａ上において可動部６３を支持部６１に連結している。

【００３８】

可動部６３は、支持部６１の内側に位置している。可動部６３は、上述したように軸線Ａ周りに揺動可能となっている。可動部６３は、平面視において略矩形状を呈する平板状の部材である。本実施形態では一例として、可動部６３の四隅は、Ｒ状に面取りされている。すなわち、可動部６３の四隅は、平面視において円弧状に湾曲している。これにより、可動部６３の慣性モーメントを低減することができ、可動部６３の揺動を高速化することができる。この例では、可動部６３は、長辺が第１方向Ｄ１（軸線Ａと直交する方向）に平行な略長方形状に形成されており、第１方向Ｄ１における可動部６３の長さは、第２方向Ｄ２（軸線Ａと平行な方向）における可動部６３の長さよりも長くなっている。一例として、第１方向Ｄ１における支持部６１の長さは６～７ｍｍ程度、第２方向Ｄ２における支持部６１の長さは６ｍｍ程度である。また、第１方向Ｄ１における可動部６３の長さは４ｍｍ程度、第２方向Ｄ２における可動部６３の長さは３ｍｍ程度、厚さは３０μｍ程度である。支持部６１、連結部６２及び可動部６３は、例えば１つのＳＯＩ（Silicon on Insulator）基板に作り込まれることにより、一体に形成されている。

【００３９】

可動部６３におけるＱＣＬ素子２の側の表面には、回折格子部６４が設けられている。回折格子部６４は、複数の格子溝（不図示）を有し、ＱＣＬ素子２から出射された光を回折及び反射させる。回折格子部６４は、例えば、可動部６３の表面上に設けられ、回折格子パターンが形成された樹脂層と、当該回折格子パターンに沿うように樹脂層の表面上にわたって設けられた金属層と、を含んでいる。或いは、回折格子部６４は、可動部６３上に設けられると共に回折格子パターンが形成された金属層のみにより構成されてもよい。回折格子パターンとしては、例えば、鋸歯状断面のブレーズドグレーティング、矩形状断面のバイナリグレーティング、正弦波状断面のホログラフィックグレーティング等を用いることができる。回折格子パターンは、例えばナノインプリントリソグラフィ法により樹脂層に形成される。金属層は、例えば、金からなる金属反射膜であり、蒸着により形成される。

【００４０】

コイル６５，６６は、例えば、銅等の金属材料からなり、可動部６３の表面に形成された溝内に埋め込まれたダマシン構造を有している。平面視において、コイル６５は軸線Ａに対して一方側（図６中の上側）に配置されており、コイル６６は軸線Ａに対して他方側（図６中の下側）に配置されている。コイル６５，６６は、ＭＥＭＳ回折格子５１を駆動させる（すなわち、可動部６３を揺動させる）ための電流を流す駆動コイルである。

【００４１】

コイル６５，６６の各々は、平面視において渦巻き状に複数回巻回されている。コイル６５の外側端部は、支持部６１上に設けられた電極パッド７１に配線７２を介して電気的

に接続されている。配線７２は、支持部６１、一方の連結部６２及び可動部６３にわたって延在している。コイル６６の外側端部は、支持部６１上に設けられた電極パッド７３に配線７４を介して電気的に接続されている。配線７４は、支持部６１、他方の連結部６２及び可動部６３にわたって延在している。なお、本実施形態では、可動部６３の表面には、コイル６５，６６と共に、図示しない検出用コイル（第１コイル）が設けられている。このため、支持部６１には、コイル６５，６６と電気的に接続される電極パッド７１，７３の他に、検出用コイルで検出された電流を外部に取り出すために検出用コイルの両端部と図示しない配線（配線７２，７４と同様の配線）を介して電気的に接続される電極パッド７５，７６（第１電極パッド）が設けられている。

【００４２】

コイル６５の内側端部は、コイル６６の内側の端部と電気的に接続されている。この例では、コイル６５，６６が互いに一体に形成されていることで、コイル６５，６６の内側端部同士が電気的に接続されている。言い換えると、ＭＥＭＳ回折格子５１では、１本のコイル配線（多層配線）が平面視において８の字状に折り返されるように延在していることで、一対のコイル６５，６６が構成されている。なお、コイル６５，６６は互いに別体に形成されてもよい。この場合、コイル６５の内側端部とコイル６６の内側端部とは配線を介して電気的に接続されてもよい。

【００４３】

磁石５２は、コイル６５，６６に作用する磁界（磁力）を発生させる。図３に示されるように、磁石５２は、略直方体状に形成されたネオジウム磁石（永久磁石）である。例えば、磁石５２は、ＭＥＭＳ回折格子５１の側にＮ極を有し、ＭＥＭＳ回折格子５１とは反対側にＳ極を有している。

【００４４】

ヨーク５３は、磁石５２の磁力を増幅させ、磁石５２と共に磁気回路を形成する。ヨーク５３の表面は、例えば亜鉛メッキ処理によって、黒色加工されている。図３に示されるように、ヨーク５３は、傾斜面５３ａを有している。傾斜面５３ａは、ＱＣＬ素子２の第２端面２ｂに対して傾斜している。このような傾斜面５３ａ上にＭＥＭＳ回折格子５１が固定されることにより、ＭＥＭＳ回折格子５１の回折格子部６４の法線Ｎを第２端面２ｂに対して傾斜させることができる。この例ではＺ軸方向の一方側（天壁３３側）を向くように回折格子部６４が傾斜しているが、Ｚ軸方向の他方側（底壁３１側）を向くように回折格子部６４が傾斜していてもよい。傾斜面５３ａの傾斜角度（ＱＣＬ素子２の第２端面２ｂに対する角度）は、ＱＣＬ素子２の発振波長、並びに回折格子部６４における格子溝の溝本数及びブレーズド角等に応じて設定される。例えば、発振波長が７μｍ帯、溝本数が１５０本／ｍｍである場合、傾斜面５３ａの傾斜角度は６０度程度に設定される。

【００４５】

ヨーク５３は、Ｙ軸方向から見た場合に略コ字状（逆Ｃ字状）に形成されており、傾斜面５３ａに開口した配置空間ＳＰを画定している。この配置空間ＳＰ内に磁石５２が配置されて、磁石５２がヨーク５３内に収容されている。ヨーク５３は、Ｙ軸方向から見た場合に、磁石５２を包囲している。ＭＥＭＳ回折格子５１は、配置空間ＳＰの開口を覆うように、支持部６１の縁部において傾斜面５３ａに固定されている。

【００４６】

ＭＥＭＳ回折格子５１では、コイル６５，６６に電流が流れると、磁石５２及びヨーク５３により形成される磁界により、コイル６５，６６内を流れる電子に所定の方向にローレンツ力が生じる。これにより、コイル６５は所定の方向に力を受ける。このため、コイル６５に流れる電流の向き又は大きさ等を制御することで、可動部６３（回折格子部６４）を軸線Ａ周りに揺動させることができる。また、可動部６３の共振周波数に対応する周波数の電流をコイル６５，６６に流すことで、可動部６３を共振周波数レベルで（例えば１ｋＨｚ以上の周波数で）高速に揺動させることができる。このように、コイル６５，６６、磁石５２及びヨーク５３は、可動部６３を揺動させるアクチュエータ部として機能する。

【００４７】
次に、図２及び図７を参照して、ＱＣＬ素子２と電極端子１０ａとの電気的接続構成について説明する。図２及び図７に示されるように、電極端子１０ａとＱＣＬ素子２（本実施形態では、ＱＣＬ素子２のカソード及びアノードの各々）とは、ワイヤWを介して電気的に接続されてる。ワイヤWは、例えばワイヤボンディングによって形成される。ワイヤWにおけるＱＣＬ素子２側の端部は、レンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとが対向する対向方向（本実施形態では、Ｘ軸方向）に直交する方向（本実施形態では、Ｘ軸方向に直交する平面に平行な方向であり、例えばＹ軸方向及びＺ軸方向等）から見た場合に、レンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとの間の位置に配置されている。本実施形態では一例として、ワイヤWのＱＣＬ素子２側の端部は、ＱＣＬ素子２又はサブマウント８に接続されている。また、ワイヤWは、上記対向方向に直交する方向から見た場合に、レンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとの間の位置において、電極端子１０ａと接続されている。言い換えると、上記対向方向に直交する方向から見た場合にレンズホルダ７Ａ又はレンズホルダ７Ｂと重ならない位置において、ワイヤWが電極端子１０ａと接続されている。本実施形態では、上記対向方向に直交する方向から見た場合にレンズホルダ７Ａ又はレンズホルダ７Ｂと重ならない位置に、２つの電極端子１０ａ１，１０ａ２が設けられている。この２つの電極端子１０ａ１，１０ａ２が用いられることにより、上記の配置構成が実現されている。電極端子１０ａ１，１０ａ２は、ＱＣＬ素子２に対して電極パッド１１が設けられた側の突出壁３４において、光出射窓３２ａ側から数えて２番目及び３番目に位置する電極端子１０ａである。

【００４８】
電極端子１０ａ１は、ＱＣＬ素子２のカソード（本実施形態では、ＱＣＬ素子２の上面）と電気的に接続される。電極端子１０ａ１は、電極パッド１１ａを介して、ＱＣＬ素子２の上面に接続されている。より具体的には、電極端子１０ａ１は、複数（本実施形態では６本）のワイヤW１（第１ワイヤ）を介して、電極パッド１１ａに接続されている。また、電極パッド１１ａは、複数（本実施形態では６本）のワイヤW２（第２ワイヤ）を介して、ＱＣＬ素子２の上面に接続されている。各ワイヤW１，W２の本数は１本ずつでもよいが、それぞれ複数本のワイヤW１，W２を用いることにより、電極端子１０ａ１とＱＣＬ素子２のカソード（ＱＣＬ素子２の上面）との間の電気的接続を確実に図ることができる。また、図７に示されるように、複数本のワイヤW２をＱＣＬ素子２の上面（メサ上面）において、光軸方向（Ｘ軸方向）に沿って略均等に配置することにより、ＱＣＬ素子２に対する電流注入量を光軸方向に沿って略均一にすることができるため、ＱＣＬ素子２の動作安定性を向上させることができる。

【００４９】
電極端子１０ａ２は、ＱＣＬ素子２のアノード（本実施形態では、サブマウント８）と電気的に接続される。電極端子１０ａ２は、電極パッド１１ｂを介して、サブマウント８に接続されている。より具体的には、電極端子１０ａ２は、複数（本実施形態では６本）のワイヤW３（第１ワイヤ）を介して、電極パッド１１ｂに接続されている。また、電極パッド１１ｂは、複数（本実施形態では６本）のワイヤW４（第２ワイヤ）を介して、サブマウント８に接続されている。各ワイヤW３，W４の本数は１本ずつでもよいが、それぞれ複数本のワイヤW３，W４を用いることにより、電極端子１０ａ２とＱＣＬ素子２のアノード（サブマウント８）との間の電気的接続を確実に図ることができる。

【００５０】
以上のように、レーザモジュール１では、電極端子１０ａとＱＣＬ素子２（アノード又はカソード）とを電気的に接続するために結線されるワイヤW（ワイヤW１～W４）の全体が、対向方向（Ｘ軸方向）に直交する方向（Ｙ軸方向、Ｚ軸方向等）から見た場合に、レンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとの間の空間を通過するように構成されている。

【００５１】
また、本実施形態では、温度センサ９も、ワイヤW５ａ，W５ｂを介して、電極端子１０ａと電気的に接続されている。具体的には、ワイヤW５は、温度センサ９自体に結線さ

れるワイヤＷ５ａと、マウント部材４に結線されるワイヤＷ５ｂと、を有している。ワイヤＷ５ａ及びＷ５ｂは、ＱＣＬ素子２に対して温度センサ９が設けられた側の突出壁３４において光出射窓３２ａ側から数えて２番目及び３番目に位置する電極端子１０ａ（すなわち、上記対向方向に直交する方向から見た場合にレンズホルダ７Ａ又はレンズホルダ７Ｂと重ならない位置に配置された電極端子１０ａ）に接続されている。これにより、温度センサ９と電極端子１０ａとを電気的に接続するワイヤＷ５ａ，Ｗ５ｂも、対向方向（Ｘ軸方向）に直交する方向（Ｙ軸方向、Ｚ軸方向等）から見た場合に、レンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとの間の空間を通過するように構成されている。

【００５２】

次に、図２を参照して、電極端子１０ａとＭＥＭＳ回折格子５１との電気的接続構成について説明する。上述したように、ＭＥＭＳ回折格子５１は、コイル６５，６６と電気的に接続される２つの電極パッド７１，７３を有している。より具体的には、図２及び図６に示されるように、電極パッド７１，７３は、支持部６１における天壁３３側の一方の隅部（ＭＥＭＳ回折格子５１を正面から見た場合の左上の隅部）に設けられている。各電極パッド７１，７３は、それぞれに対応するワイヤＷ（ワイヤＷ６，Ｗ７）を介して、それぞれに対応する電極端子１０ａ（電極端子１０ａ３，１０ａ４）に接続されている。電極端子１０ａ３，１０ａ４は、ＱＣＬ素子２に対して電極パッド１１が設けられた側の突出壁３４において、光出射窓３２ａが設けられた側とは反対側から数えて３番目及び２番目に位置する電極端子１０ａである。

【００５３】

電極端子１０ａ３は、複数（本実施形態では２本）のワイヤＷ６を介して、電極パッド７１に接続されている。また、電極端子１０ａ４は、複数（本実施形態では２本）のワイヤＷ７を介して、電極パッド７３に接続されている。各ワイヤＷ６，Ｗ７の本数は１本ずつでもよいが、それぞれ複数本のワイヤＷ６，Ｗ７を用いることにより、各電極端子１０ａ３，１０ａ４と各電極パッド７１，７３との間の電気的接続を確実に図ることができる。

【００５４】

ここで、底壁３１に対する電極パッド７１，７３の高さ位置は、底壁３１に対する電極端子１０ａ３，１０ａ４の高さ位置と同等以上である。すなわち、電極パッド７１，７３は、対応する電極端子１０ａ３，１０ａ４に対して、パッケージ３の奥側（底壁３１側）に入り込んでいない。このため、ワイヤボンディングによってワイヤＷ６，Ｗ７を結線する際において、ワイヤボンディング装置のキャピラリーをパッケージ３の奥側に侵入させる必要がない。これにより、キャピラリーがパッケージ３内の他の部材（例えばレンズホルダ７Ｂ等）に接触すること、及び当該接触に起因して部材が破損することを、適切に抑制することができる。

【００５５】

また、本実施形態では、Ｙ軸方向において電極パッド７１，７３とは反対側に設けられた電極パッド７５，７６についても、電極パッド７１，７３と同様の電気的接続構成を有している。すなわち、電極パッド７５，７６は、支持部６１における天壁３３側の他方の隅部（ＭＥＭＳ回折格子５１を正面から見た場合の右上の隅部）に設けられている。各電極パッド７５，７６は、それぞれに対応するワイヤＷ（ワイヤＷ８，Ｗ９）を介して、それぞれに対応する電極端子１０ａ（電極端子１０ａ５，１０ａ６）に接続されている。電極端子１０ａ５，１０ａ６は、ＱＣＬ素子２に対して温度センサ９が設けられた側の突出壁３４において、光出射窓３２ａが設けられた側とは反対側から数えて２番目及び３番目に位置する電極端子１０ａである。底壁３１に対する電極パッド７５，７６の高さ位置は、底壁３１に対する電極端子１０ａ５，１０ａ６の高さ位置と同等以上である。電極端子１０ａ５は、複数（本実施形態では２本）のワイヤＷ８を介して、電極パッド７５に接続されている。また、電極端子１０ａ６は、複数（本実施形態では２本）のワイヤＷ８を介して、電極パッド７６に接続されている。各ワイヤＷ８，Ｗ９の本数は１本でもよいが、それぞれ複数本のワイヤＷ８，Ｗ９を用いることにより、各電極端子１０ａ５，１０ａ６と各電極パッド７５，７６との間の電気的接続を確実に図ることができる。

【００５６】
次に、図３及び図４を参照して、レンズホルダ７Ｂの配置構成について説明する。天壁３３とレンズホルダ７Ｂの天壁側の面７ａとの距離ｄ（図４参照）は、レンズ６Ｂの光軸方向（Ｘ軸方向）に沿ったレンズホルダ７Ｂの厚さｔ（図３参照）よりも小さい。距離ｄは、例えば、０．６４ｍｍ程度である。厚さｔは、例えば２．５ｍｍ程度である。また、レンズホルダ７Ｂの面７ａは、ワイヤＷ１，Ｗ３が接続される電極端子１０ａ１，１０ａ２よりも高い位置（天壁３３に近い位置）にある。
【００５７】
次に、レーザモジュール１の製造方法について説明する。まず、ＱＣＬ素子２及びＭＥＭＳ回折格子５１（回折格子ユニット５）をパッケージ３内に配置する（第１工程）。本実施形態では、以下のような処理が実行される。ＱＣＬ素子２が、例えばＡｕＳｎ系の半田材料によって、サブマウント８に半田接合される。続いて、ＱＣＬ素子２を搭載したサブマウント８が、例えばＡｕＳｎ系の半田材料によって、マウント部材４の第２搭載部４２の上面４２ａに接合される。また、温度センサ９及び電極パッド１１が、例えば樹脂接着剤等を介して、マウント部材４の上面４２ａに接合される。また、予め組み立てられた回折格子ユニット５が、ヨーク５３の一部がマウント部材４の第４搭載部４４の配置孔４４ｂに配置された状態で、樹脂接着剤等を用いて第４搭載部４４に固定される。これにより、マウント部材４は、レンズホルダ７Ａ，７Ｂ以外の各部材を搭載した状態となる。このような状態のマウント部材４を、天壁３３が取り付けられていない状態のパッケージ３の底壁３１上に固定することにより、第１工程が完了する。なお、マウント部材４は、上述した各部材が搭載されていない状態で、最初に底壁３１上に固定されてもよい。この場合、上述した各部材は、側壁３２における天壁３３側の開口を介して、底壁３１に固定されたマウント部材４に対して搭載される。
【００５８】
続いて、ワイヤボンディングによって、パッケージ３内に配置されたＱＣＬ素子２（アノード及びカソード）と電極端子１０ａ１，１０ａ２とを電気的に接続するワイヤＷ１～Ｗ４を形成する（第２工程）。本実施形態では、ＱＣＬ素子２と各電極端子１０ａ１，１０ａ２とは、各電極パッド１１ａ，１１ｂを介して電気的に接続されるため、一例として以下のような処理が実施される。まず、ワイヤボンディングによって、ＱＣＬ素子２の上面（ＱＣＬ素子２のカソード）から電極パッド１１ａへと複数（本実施形態では６本）のワイヤＷ２が形成されると共に、サブマウント８（ＱＣＬ素子２のアノード）から電極パッド１１ｂへと複数（本実施形態では６本）のワイヤＷ４が形成される。続いて、電極パッド１１ａから電極端子１０ａ１へと複数（本実施形態では６本）のワイヤＷ１が形成されると共に、電極パッド１１ｂから電極端子１０ａ２へと複数（本実施形態では６本）のワイヤＷ３が形成される。ここで、ワイヤＷにおけるＱＣＬ素子２側の端部（本実施形態では、ワイヤＷ２におけるＱＣＬ素子２の上面に接続される端部、及び、ワイヤＷ４におけるサブマウント８に接続される端部）は、Ｘ軸方向に直交する方向（Ｙ軸方向及びＺ軸方向等）から見た場合に、レンズホルダ７Ａが配置される予定の位置とレンズホルダ７Ｂが配置される予定の位置との間に配置される。また、ワイヤＷ１，Ｗ３と電極端子１０ａ１，１０ａ２とは、Ｘ軸方向に直交する方向（Ｙ軸方向及びＺ軸方向等）から見た場合に、レンズホルダ７Ａが配置される予定の位置とレンズホルダ７Ｂが配置される予定の位置との間の位置で接続される。
【００５９】
第２工程では、温度センサ９と電極端子１０ａとを電気的に接続するワイヤＷ５ａ，Ｗ５ｂについても、ワイヤボンディングによって形成される。また、ＭＥＭＳ回折格子５１の電極パッド７１，７３，７５，７６と電極端子１０ａ３～１０ａ６とを電気的に接続するワイヤＷ６～Ｗ９についても、ワイヤボンディングによって形成される。上述した通り、各電極パッド７１，７３，７５，７６の高さ位置は、電極端子１０ａ３～１０ａ６の高さ位置と同等以上とされている。これにより、各電極パッド７１，７３，７５，７６の高さ位置が電極端子１０ａ３～１０ａ６の高さ位置よりも低い場合（すなわち、各電極パッ

ド７１，７３，７５，７６がパッケージ３の奥側（底壁３１側）に位置する場合）と比較して、各電極パッド７１，７３，７５，７６に対するワイヤボンディングの作業性が格段に向上している。第２工程が実施されることにより、図８に示されるように、天壁３３が取り付けられる前のパッケージ３内にレンズホルダ７Ａ，７Ｂ以外の部材が配置された状態の中間物１Ａが得られる。

【００６０】

続いて、レンズ６Ａが保持されたレンズホルダ７Ａ及びレンズ６Ｂが保持されたレンズホルダ７Ｂをパッケージ３内に配置する（第３工程）。本実施形態では、レンズホルダ７Ａは、樹脂接着剤Ｂを介して、マウント部材４の第１搭載部４１の上面４１ａに接合される。また、レンズホルダ７Ｂは、樹脂接着剤Ｂを介して、マウント部材４の第３搭載部４３の上面４３ａに接合される。

【００６１】

第３工程においては、電極端子１０ａ１，１０ａ２及びワイヤＷ１～Ｗ４を介してＱＣＬ素子２に駆動電圧を印加してレーザ発振させた状態で、レンズ６Ａ，６Ｂを調芯することによって、レンズホルダ７Ａ，７Ｂをパッケージ３内に固定する。すなわち、レーザ発振させた状態で、レンズ６Ａ，６Ｂの光軸がＱＣＬ素子２の出射光の光軸と一致するように、レンズホルダ７Ａ，７Ｂの位置決めを行う。

【００６２】

第３工程の完了後、シーム溶接等によって天壁３３を側壁３２の上端部に接合することにより、図１に示されるレーザモジュール１が得られる。

【００６３】

［作用効果］

以上説明したレーザモジュール１では、ＱＣＬ素子２を挟んだ両側にレンズホルダ７Ａ，７Ｂが配置されている。また、パッケージ３の内壁面に沿って配置された電極端子１０ａとＱＣＬ素子２（本実施形態では、ＱＣＬ素子２のアノード及びカソードの両方）とがワイヤＷによって電気的に接続される。ここで、ワイヤＷにおけるＱＣＬ素子２側の端部は、レンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとが対向する対向方向（Ｘ軸方向）に直交する方向（例えば、Ｙ軸方向及びＺ軸方向等）から見た場合に、レンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとの間の位置に配置されている。これにより、図７に示されるように、電極端子１０ａからＱＣＬ素子２（本実施形態では、カソードとしてのＱＣＬ素子２の上面、及びアノードとしてのサブマウント８の各々）までの間において、ワイヤＷの少なくとも一部（ＱＣＬ素子２側の端部を含む部分）をレンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとの間の空間に配置する構成を実現することができる。その結果、ＱＣＬ素子２に給電するためのワイヤＷとパッケージ３内の部材（特に、ＱＣＬ素子２の両側に配置されるレンズホルダ７Ａ，７Ｂ）との干渉を好適に抑制できる。以上により、レーザモジュール１の信頼性及び組立時の作業性の向上が図られる。

【００６４】

また、ワイヤＷは、対向方向（Ｘ軸方向）に直交する方向（例えば、Ｙ軸方向及びＺ軸方向等）から見た場合に、レンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとの間の位置において、電極端子１０ａと接続されている。これにより、電極端子１０ａからＱＣＬ素子２（本実施形態では、カソードとしてのＱＣＬ素子２の上面、及びアノードとしてのサブマウント８の各々）までの間において、ワイヤＷの全体をレンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとの間の空間に配置する構成を実現することができる。これにより、ワイヤＷとパッケージ３内の部材（特に、レンズホルダ７Ａ，７Ｂ）との干渉をより好適に抑制できる。

【００６５】

また、底壁３１に対する電極端子１０ａの高さ位置は、底壁３１に対するＱＣＬ素子２の高さ位置よりも高い。上記構成によれば、ＱＣＬ素子２から電極端子１０ａへと、適度な張りを持たせたワイヤＷを結線することが容易となる。その結果、ワイヤＷの弛みを好適に抑制し、ワイヤＷとパッケージ３内の部材との干渉をより好適に抑制できる。なお、本実施形態では、ＱＣＬ素子２と電極端子１０ａとは、電極パッド１１を中継することに

より、２つのワイヤ（ワイヤＷ１，Ｗ２の組み合わせ、又はワイヤＷ３，Ｗ４の組み合わせ）によって接続されているが、後述するように電極パッド１１をＱＣＬ素子２と電極端子１０ａとの中間の高さ位置に配置することにより、上述した効果が得られる。また、電極パッド１１を中継させることなく、ＱＣＬ素子２と電極端子１０ａとを直接１つのワイヤで接続する場合においては、当然に上述した効果が得られる。

【００６６】

また、本実施形態では、ワイヤＷは、電極端子１０ａ１と電極パッド１１ａとを接続するワイヤＷ１と、電極パッド１１ａとＱＣＬ素子（カソードとしてのＱＣＬ素子２の上面）とを接続するワイヤＷ２と、を有する。同様に、ワイヤＷは、電極端子１０ａ２と電極パッド１１ｂとを接続するワイヤＷ３と、電極パッド１１ｂとＱＣＬ素子（アノードとしてのサブマウント８）とを接続するワイヤＷ４と、を有する。上記構成によれば、電極端子１０ａ１，１０ａ２とＱＣＬ素子（ＱＣＬ素子２の上面又はサブマウント８）とを直接ワイヤ接続する場合と比較して、各ワイヤＷ１～Ｗ４の長さを短くすることができる。これにより、ワイヤＷ１～Ｗ４の弛みを好適に抑制し、ワイヤＷ１～Ｗ４とパッケージ３内の部材との干渉を好適に抑制できる。

【００６７】

また、電極パッド１１ａ，１１ｂは、対向方向（Ｘ軸方向）に直交する方向（例えば、Ｙ軸方向及びＺ軸方向等）から見た場合に、レンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとの間の位置に設けられている。上記構成によれば、ワイヤＷ１～Ｗ４の全体がレンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとの間の空間を通過する構成を実現することができると共に、電極端子１０ａ１，１０ａ２から電極パッド１１ａ，１１ｂを介してＱＣＬ素子（ＱＣＬ素子２の上面又はサブマウント８）へと至る経路をなるべく短くすることで、各ワイヤＷ１～Ｗ４の長さを短くすることができる。これにより、ワイヤＷ１～Ｗ４とパッケージ３内の部材との干渉を好適に抑制できる。

【００６８】

また、底壁３１に対する電極パッド１１ａ，１１ｂの高さ位置は、底壁３１に対する電極端子１０ａ１，１０ａ２の高さ位置よりも低く、且つ、底壁３１に対するＱＣＬ素子２の高さ位置よりも高い。上記構成によれば、パッケージ３側の電極端子１０ａ１，１０ａ２、電極パッド１１ａ，１１ｂ、及びＱＣＬ素子２の高さ位置が、段階的に低くなるように設定される。これにより、ＱＣＬ素子２から電極パッド１１ａ，１１ｂへと適度な張りを持たせたワイヤＷ２，Ｗ４を結線することが容易となると共に、電極パッド１１ａ，１１ｂから電極端子１０ａ１，１０ａ２へと適度な張りを持たせたワイヤＷ１，Ｗ３を結線することが容易となる。その結果、ワイヤＷ１～Ｗ４の弛みを好適に抑制し、ワイヤＷ１～Ｗ４とパッケージ３内の部材との干渉を好適に抑制できる。

【００６９】

また、上記製造方法（第１工程～第３工程）では、第２工程において、ワイヤＷにおけるＱＣＬ素子２側の端部は、レンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとが対向する対向方向（Ｘ軸方向）に直交する方向（例えば、Ｙ軸方向及びＺ軸方向等）から見た場合に、レンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとの間の位置に配置される。これにより、電極端子１０ａ１，１０ａ２からＱＣＬ素子２（本実施形態では、カソードとしてのＱＣＬ素子２の上面、及びアノードとしてのサブマウント８の各々）までの間において、ワイヤＷの少なくとも一部（ＱＣＬ素子２側の端部を含む部分）をレンズホルダ７Ａとレンズホルダ７Ｂとの間の空間に配置する構成を実現することができる。その結果、第３工程においてレンズホルダ７Ａ，７Ｂを配置する際に、ワイヤＷとレンズホルダ７Ａ，７Ｂとの干渉を好適に抑制できる。以上により、レーザモジュール１の信頼性及び組立時の作業性の向上が図られる。

【００７０】

また、上記第３工程において、電極端子１０ａ１，１０ａ２及びワイヤＷを介してＱＣＬ素子２に駆動電圧を印加してレーザ発振させた状態でレンズ６Ａ，６Ｂを調芯することによって、レンズホルダ７Ａ，７Ｂがパッケージ３内に固定される。上記製造方法によれ

ば、第３工程において、レーザ発振させた状態で調芯を行うことにより、レンズホルダ７Ａ，７Ｂをパッケージ３内に適切に位置決めすることができる。さらに、第２工程でワイヤＷとレンズホルダ７Ａ，７Ｂとが干渉しないようにワイヤボンディングが実施されていることによって、第３工程における調芯（すなわち、レンズホルダ７Ａ，７Ｂの位置の調整）を容易に行うことができる。

【００７１】

また、レーザモジュール１では、天壁３３とレンズホルダ７Ｂの天壁３３側の面７ａとの距離ｄ（図４参照）は、レンズ６Ｂの光軸方向（Ｘ軸方向）に沿ったレンズホルダ７Ｂの厚さｔ（図３参照）よりも小さい。すなわち、パッケージ３内において、天壁３３とレンズホルダ７Ｂとの距離ｄ（ギャップ）がレンズホルダ７Ｂの厚さｔよりも小さくなるように、レンズホルダ７Ｂが配置されている。これにより、ＭＥＭＳ回折格子５１において反射した光のうちレンズ６Ｂから外れて天壁３３側へと向かう迷光が天壁３３とレンズホルダ７Ｂとの間に侵入したとしても、当該迷光が天壁３３とレンズホルダ７Ｂとの間の空間を通過し難くなっている。すなわち、レンズホルダ７Ｂに対してＭＥＭＳ回折格子５１が配置される側の空間Ｓ２（図３参照）から、レンズホルダ７Ｂに対してＱＣＬ素子２が配置される側の空間Ｓ１（図３参照）への迷光の侵入を、効果的に抑制することができる。以上により、ＱＣＬ素子２から外部に出射されるレーザ光Ｌに迷光成分が混入することを抑制し、レーザ品質を適切に確保することができる。

【００７２】

なお、天壁３３とレンズホルダ７Ｂの面７ａとは、面同士で対向する（対面する）ように配置されることが好ましい。より好ましくは、天壁３３とレンズホルダ７Ｂの面７ａとは、互いに平行に対面するように配置される。また、図４に示されるように、ＹＺ平面におけるレンズ６Ｂの外形が円形で、レンズホルダ７Ｂの外形が矩形であることが好ましい。また、レンズホルダ７Ｂの厚さｔは、Ｘ軸方向におけるレンズホルダ７Ｂの全体の長さである。レンズホルダ７Ｂの外形が直方体状である場合、レンズホルダ７Ｂの厚さｔは、レンズホルダ７Ｂの面７ａのＸ軸方向に沿った長さである。また、レンズホルダ７Ｂの厚さｔは、レンズ６Ｂの安定性を向上させる観点から、レンズ６Ｂの光軸方向（Ｘ軸方向）に沿った厚さ以上であることが好ましい。また、距離ｄは、レンズ６Ｂの厚さ以下であることが好ましい。

【００７３】

また、Ｘ軸方向から見た場合に天壁３３と面７ａとが平行ではなく（例えば、Ｘ軸方向から見た場合に面７ａが天壁３３に対して傾斜しており）、Ｙ軸方向に沿った各位置における天壁３３と面７ａとの距離にばらつきがある場合もあり得る。この場合、Ｙ軸方向に沿った各位置における天壁３３と面７ａとの距離（Ｚ軸方向に沿った距離）の統計値（例えば、最小値、最大値、平均値等）を、上述した天壁３３とレンズホルダ７Ｂの面７ａとの距離ｄとしてもよい。

【００７４】

また、Ｙ軸方向から見た場合に天壁３３と面７ａとが平行ではなく（例えば、Ｙ軸方向から見た場合に面７ａが天壁３３に対して傾斜しており）、Ｘ軸方向に沿った各位置における天壁３３と面７ａとの距離にばらつきがある場合もあり得る。この場合、Ｘ軸方向に沿った各位置における天壁３３と面７ａとの距離の統計値（例えば、最小値、最大値、平均値等）を、上述した天壁３３とレンズホルダ７Ｂの面７ａとの距離ｄとしてもよい。

【００７５】

また、Ｘ軸方向及びＹ軸方向のいずれかから見た場合にも天壁３３と面７ａとが平行ではない場合には、ＸＹ平面における面７ａの各位置と天壁３３との距離の統計値（例えば、最小値、最大値、平均値等）を、上述した天壁３３とレンズホルダ７Ｂの面７ａとの距離ｄとしてもよい。また、天壁３３とレンズホルダ７Ａとの間についても上述した天壁３３とレンズホルダ７Ｂとの関係と同様の関係が成り立つことが好ましい。

【００７６】

また、ワイヤＷ（ワイヤＷ１，Ｗ３）は、光軸方向（Ｘ軸方向）に直交する方向（例え

ば、Ｙ軸方向及びＺ軸方向等）から見た場合に、レンズホルダ７Ｂに対してＱＣＬ素子２が配置される側の領域において、電極端子１０ａ１，１０ａ２と接続されている。電極端子１０ａ１，１０ａ２は、ＱＣＬ素子２よりも天壁３３に近い位置に配置されており、レンズホルダ７Ｂの天壁３３側の面７ａは、電極端子１０ａ１，１０ａ２よりも天壁３３に近い位置にある。上記構成によれば、光軸方向（Ｘ軸方向）に直交する方向（例えば、Ｙ軸方向及びＺ軸方向等）から見た場合にレンズホルダ７ＢよりもＱＣＬ素子２側の空間において電極端子１０ａ１，１０ａ２とワイヤＷ（本実施形態では、ワイヤＷ１，Ｗ３）とを接続することにより、ワイヤＷとレンズホルダ７Ｂとの干渉を抑制しつつ、レンズホルダ７Ｂの天壁３３側の面７ａを電極端子１０ａ１，１０ａ２よりも天壁３３に近づけることが可能とされている。これにより、天壁３３とレンズホルダ７Ｂとのギャップ（距離ｄ）がなるべく小さくなるようにレンズホルダ７Ｂを配置することができる。その結果、上記空間Ｓ２において生じた迷光が天壁３３とレンズホルダ７Ｂとの間を通過して上記空間Ｓ１へと侵入することを、より一層効果的に抑制することができる。

【００７７】

また、ＱＣＬ素子２における活性層及びクラッド層を含む積層構造の積層方向は、底壁３１と天壁３３とが対向する方向（Ｚ軸方向）と一致している。上記構成においては、ＱＣＬ素子２の端面（第１端面２ａ及び第２端面２ｂ）から出射される光のビーム形状は、積層方向（Ｚ軸方向）に沿った長径を有する楕円形状となる。この場合、ＱＣＬ素子２の端面から出射される光が上下方向（Ｚ軸方向）に拡がりやすいことから、ＭＥＭＳ回折格子５１において反射されて天壁３３側へと向かう迷光が生じ易い。一方、上述した天壁３３とレンズホルダ７Ｂとの位置関係（距離ｄと厚さｔとの関係）により、当該迷光が上記空間Ｓ１へと侵入することが抑制される。すなわち、上述した天壁３３とレンズホルダ７Ｂとの位置関係を設定することにより、迷光によるレーザ品質の低下を好適に抑制しつつ、ＱＣＬ素子２の積層方向がＺ軸方向と一致するように、ＱＣＬ素子２を配置することができる。

【００７８】

また、レンズホルダ７Ｂの表面は、黒色加工されている。本実施形態では、アルマイト処理等によって、レンズホルダ７Ｂの表面が黒色にされている。上記構成によれば、ＭＥＭＳ回折格子５１で反射されてレンズ６Ｂから外れた迷光の一部が黒色に加工されたレンズホルダ７Ｂの表面で吸収されるため、上記空間Ｓ１への迷光の侵入をより一層効果的に抑制することができる。また、本実施形態では、上記迷光の低減効果を高めるために、ヨーク５３の表面についても、亜鉛メッキ処理等によって黒色に加工されている。

【００７９】

また、底壁３１に対するＭＥＭＳ回折格子５１の電極パッド７１，７３の高さ位置は、底壁３１に対する電極端子１０ａ３，１０ａ４の高さ位置と同等以上である（図２及び図３参照）。すなわち、レーザモジュール１では、ＭＥＭＳ回折格子５１の電極パッド７１，７３が、パッケージ３内において、パッケージ３の側壁３２（第１側壁３２１）に沿って配置された電極端子１０ａ３，１０ａ４と同等以上の高さ位置に配置されている。本実施形態では、２つの電極パッド７１，７３のうち上側（天壁３３側）の電極パッド７３は、電極端子１０ａ３，１０ａ４の高さ位置よりも若干高い位置に配置されており、下側（底壁３１側）の電極パッド７１は、電極端子１０ａ３，１０ａ４の高さ位置とほぼ同一の位置に配置されている。このように電極パッド７１，７３の位置を設定することにより、電極パッド７１，７３の高さ位置をパッケージ３側の電極端子１０ａ３，１０ａ４の高さ位置よりも低い位置（すなわち、パッケージ３の奥側（底壁３１側））に配置する場合と比較して、ワイヤボンディングによるワイヤＷ６，Ｗ７の形成が容易となると共に、必要なワイヤ長を短くできる。ワイヤ長を短くできることにより、ワイヤＷ６，Ｗ７に適切な張りを持たせることができると共にワイヤＷ６，Ｗ７とパッケージ３内の部材（例えば、回折格子ユニット５に含まれる各部材等）との干渉を適切に抑制できる。以上により、レーザモジュール１の信頼性及び組立時の作業性の向上が図られる。

【００８０】

また、パッケージ３の収容空間の幅（Ｙ軸方向における幅）に対して光学面（可動部６３）の幅の割合が比較的大きいＭＥＭＳ回折格子５１を採用した場合にも、電極端子１０ａ３，１０ａ４と電極パッド７１，７３とのワイヤボンディングを容易に行なうことが可能となる。これにより、光学面の幅の割合が比較的小さいＭＥＭＳ回折格子５１を採用する場合に比べて、レンズ６ＢとＭＥＭＳ回折格子５１との距離を大きくとることが可能となるため、組立の難易度を大幅に低減することができる。以下、上記について詳細に説明する。本実施形態では、可動部６３とワイヤＷ６～Ｗ９との干渉を抑制するために、支持部６１において、電極パッド７１，７３，７５，７６が、可動部６３の両側に配置されている。このような構成において、可動部６３の幅を大きくしていくと、電極パッド７１，７３，７５，７６は、Ｙ軸方向において、第１側壁３２１に近接した位置に配置されることになる。このような場合において、仮に電極パッド７１，７３，７５，７６の高さ位置をパッケージ３の奥側の深い位置に配置してしまうと、ワイヤボンディングの実施が困難になる。すなわち、ワイヤボンディングにおいて、キャピラリーを電極パッド７１，７３，７５，７６にアクセスさせることが非常に困難となる。これに対し、本実施形態のように電極パッド７１，７３，７５，７６をパッケージ３側の電極端子１０ａと同等以上の高さ位置に配置することにより、容易にワイヤボンディングを行うことができるというメリットがある。特に可動部６３の幅を大きくした場合において、上記メリットは大きい。また、レンズ６Ｂは、必ずしも、ＱＣＬ素子２の第２端面２ｂから可動部６３へと出射される光を完全にコリメートできるわけではない。このため、レンズ６Ｂを透過した光が、わずかな発散角を有する場合がある。従って、可動部６３の幅が小さい場合には、レンズ６Ｂに対して、ＭＥＭＳ回折格子５１をなるべく近づける必要が生じる。これに対し、本実施形態では、上述したように、なるべく幅が大きい可動部６３を有するＭＥＭＳ回折格子５１を採用することができるため、レンズ６ＢとＭＥＭＳ回折格子５１との距離を大きくとることが可能となる。また、パッケージ３内の収容空間に対して、なるべく大きいＭＥＭＳ回折格子５１（すなわち、可動部６３の幅をなるべくパッケージ３の横幅（Ｙ軸方向に沿った幅）に近づけたＭＥＭＳ回折格子５１）を用いることで、ＱＣＬ素子２にフィードバックされる光のロスを低減でき、レーザモジュール１の高出力化を図ることができる。

【００８１】

また、ＭＥＭＳ回折格子５１は、回折格子部６４を支持する矩形枠状の支持部６１を有しており、電極パッド７１，７３は、支持部６１における天壁３３側の一方の隅部に設けられている。本実施形態では、電極パッド７１，７３は、ＭＥＭＳ回折格子５１を正面から見た場合の左上隅部（図６参照）に設けられている。上記構成によれば、回折格子部６４の中心から比較的離れた位置である支持部６１の隅部において、電気的接続が図られる。これにより、ワイヤＷ６，Ｗ７及び電極パッド７１，７３に起因した迷光の発生を低減することができるため、レーザモジュール１の信頼性を効果的に向上させることができる。以下、上記について詳細に説明する。通常、ＱＣＬ素子２の第２端面２ｂから出射されるビーム光の全体を回折格子部６４で受けられるように、可動部６３は可能な限り大きくされている。しかし、ＱＣＬ素子２に高電流が注入される場合、ＱＣＬ素子２からのビーム光の拡がり角が大きくなり、必ずしも回折格子部６４でビーム光の全体（全光束）を受けられるとは限らない。このような場合、可動部６３（回折格子部６４）と支持部６１との隙間を抜けた光が、可動部６３の裏面側に配置された磁石５２の表面で乱反射し、電極パッド７１，７３及びワイヤＷ等に当たって迷光を生じるおそれがある。上述したように、回折格子部６４の中心から比較的離れた位置である支持部６１の隅部に電極パッド７１，７３を配置することにより、上記のように乱反射した光が電極パッド７１，７３及びワイヤＷ等に当たることを抑制することができる。これにより、上述した迷光の発生を効果的に低減することができる。

【００８２】

また、ＭＥＭＳ回折格子５１は、コイル６５，６６（駆動用コイル）とは異なるコイル（図示しない検出用コイル、第１コイル）と電気的に接続される電極パッド７５，７６（第１電極パッド）を更に有している。電極パッド７５，７６は、支持部６１における天壁

３３側の他方の隅部（すなわち、電極パッド７１，７３が設けられた側とは反対側の隅部）に設けられている。上記構成によれば、ＭＥＭＳ回折格子５１に２種類のコイル（本実施形態では、駆動用のコイル６５，６６と検出用のコイル）を設ける場合においても、矩形枠状の支持部６１の天壁３３側の一対の隅部（すなわち、天壁３３側を上方向として支持部６１を正面側から見た場合の左上隅部及び右上隅部）にそれぞれのコイルに対応する電極パッド７１，７３，７５，７６を設けることによって、上述した効果（すなわち、レーザモジュール１の信頼性及び組立時の作業性の向上）を得ることができる。

【００８３】

また、ＭＥＭＳ回折格子５１は、コイル６５，６６に作用する磁界を発生させる磁石５２と共に回折格子ユニット５を構成している。磁石５２は、ＭＥＭＳ回折格子５１に対してＱＣＬ素子２が設けられた側とは反対側に配置されている。上記構成によれば、電極パッド７１，７３，７５，７６の配置自由度を向上させることができる。より具体的には、磁石５２をＭＥＭＳ回折格子５１の裏面側に設けることにより、磁石５２と電極パッド７１，７３，７５，７６（及び電極パッド７１，７３，７５，７６に接続されるワイヤW）との干渉を気にする必要がなく、支持部６１の表面（ＱＣＬ素子２側を向く面）に自由に電極パッド７１，７３，７５，７６を配置することができる。

【００８４】

[変形例]

以上、本開示の一実施形態について説明したが、本開示は、上記実施形態に限られない。各構成の材料及び形状には、上述した材料及び形状に限らず、様々な材料及び形状を採用することができる。また、上記実施形態に係るレーザモジュール１に含まれる一部の構成は、適宜省略又は変更されてもよい。例えば、電極パッド１１は省略されてもよい。この場合、電極端子１０ａとＱＣＬ素子（ＱＣＬ素子２の上面及びサブマウント８の各々）とが、１つのワイヤによって直接接続されてもよい。また、ＭＥＭＳ回折格子５１において検出用コイルが省略される場合には、電極パッド７５，７６は省略されてもよい。

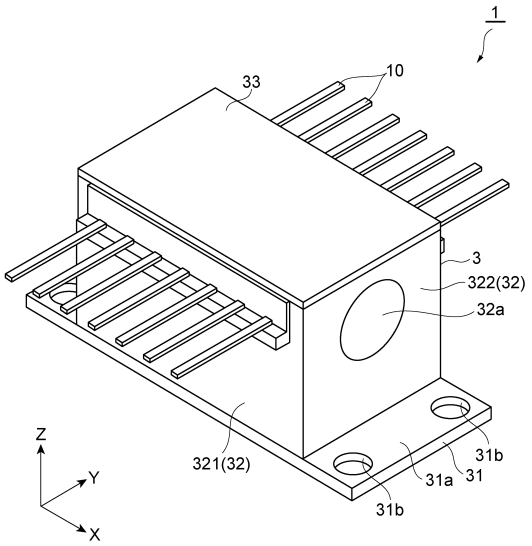
【符号の説明】

【００８５】

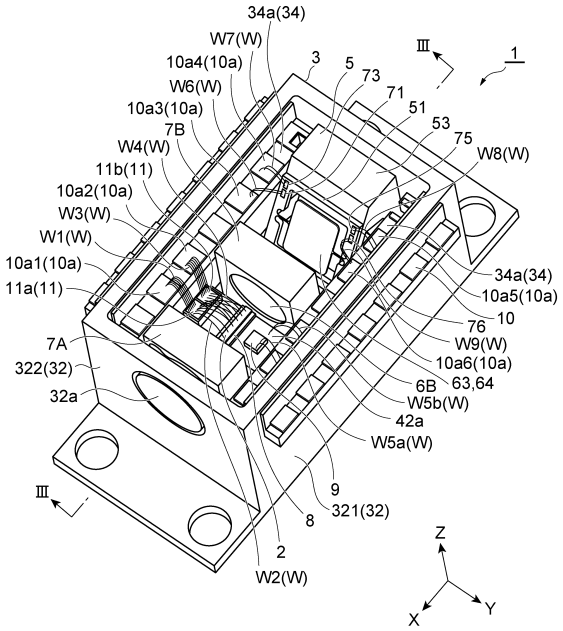
１…外部共振型レーザモジュール、２…量子カスケードレーザ素子、３…パッケージ、６Ｂ…レンズ、７ａ…面、７Ｂ…レンズホルダ、１０ａ，１０ａ１～１０ａ６…電極端子、１１，１１ａ，１１ｂ…電極パッド、３１…底壁、３２…側壁、３３…天壁、５１…ＭＥＭＳ回折格子。

【図面】

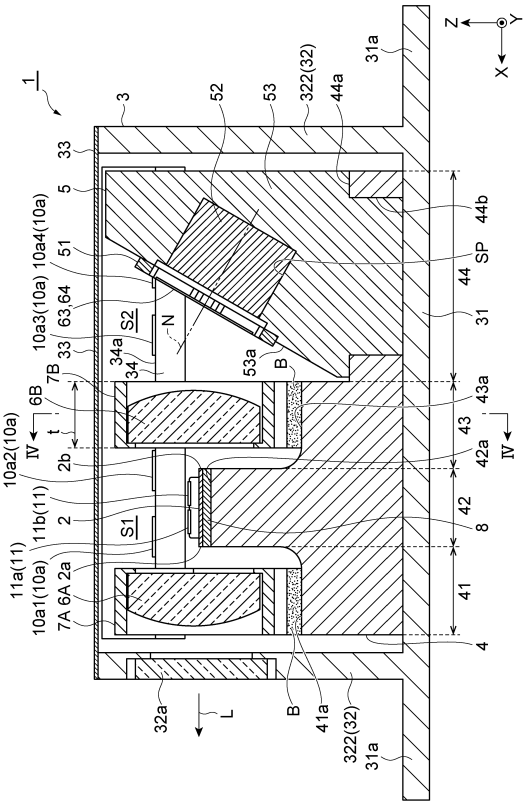
【図１】


1
33
10
3
322(32)
32a
321(32)
31b
31a
31
Z
Y
X

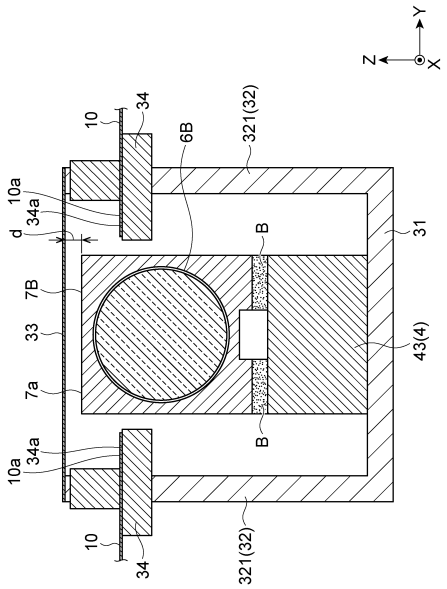
【図２】


34a(34)
W7(W)
10a4(10a)
W6(W)
10a3(10a)
7B
W4(W)
11b(11)
10a2(10a)
W3(W)
W1(W)
10a1(10a)
11a(11)
7A
322(32)
32a
W2(W)
Ⅲ
1
3
5
73
71
51
53
75
W8(W)
34a(34)
10a5(10a)
10
76
W9(W)
10a6(10a)
6B
63,64
W5b(W)
42a
W5a(W)
9
8
321(32)
Z
Y
X

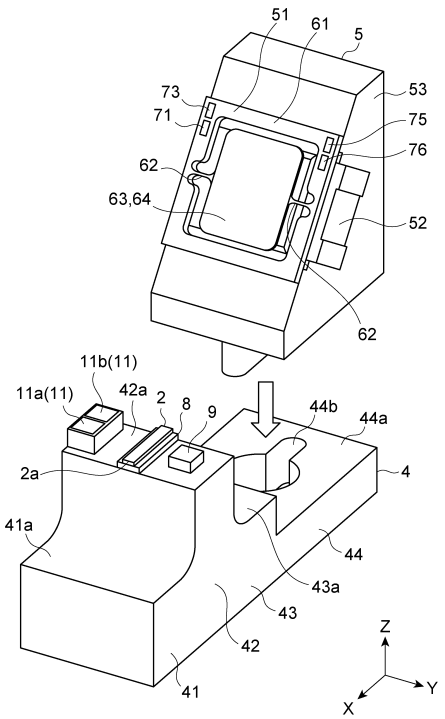
【図３】


1
3
52
53
322(32)
44a
31a
33
5
10a4(10a)
51
10a3(10a)
63,64
33
34a
34
7B
6B
t
10a2(10a)
Ⅳ
2b
11b(11)
2
11a(11)
10a1(10a)
7A
6A
2a
S1
S2
N
53a
B
44b
SP
44
31
43a
43
42a
42
8
41
4
32a
L
41a
Z
Y
X

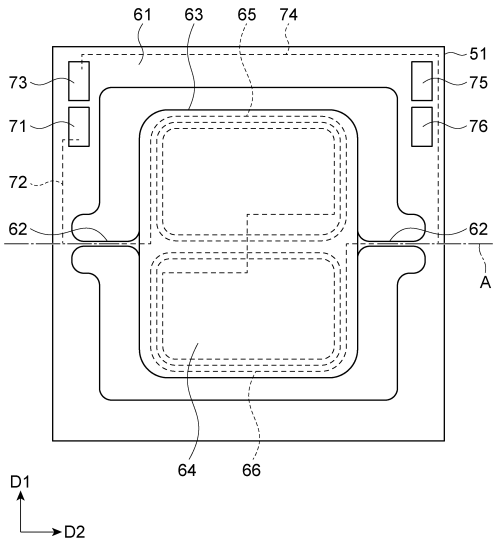
【図４】


10
34
6B
321(32)
10a
34a
d
7B
33
7a
B
31
43(4)
Z
Y
X

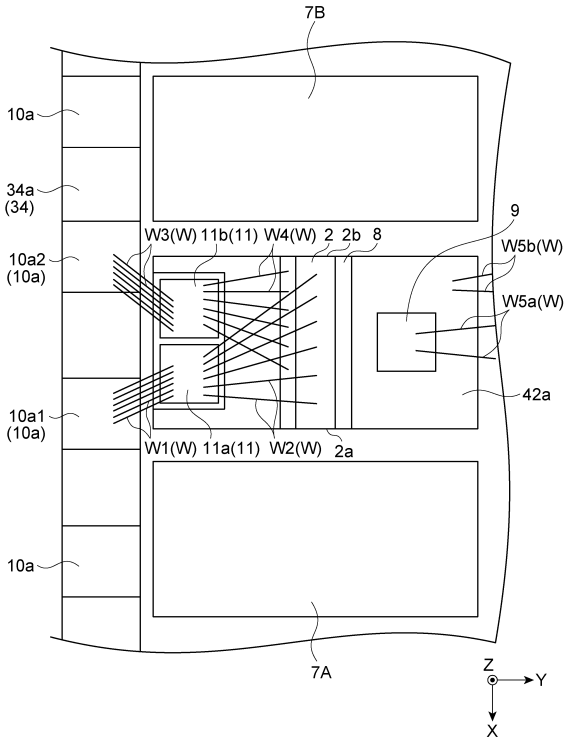
【図５】


51
61
5
73
71
53
75
76
62
63,64
52
62
11b(11)
11a(11)
42a
2
8
9
44b
44a
2a
4
41a
44
43a
43
42
41
Z
Y
X

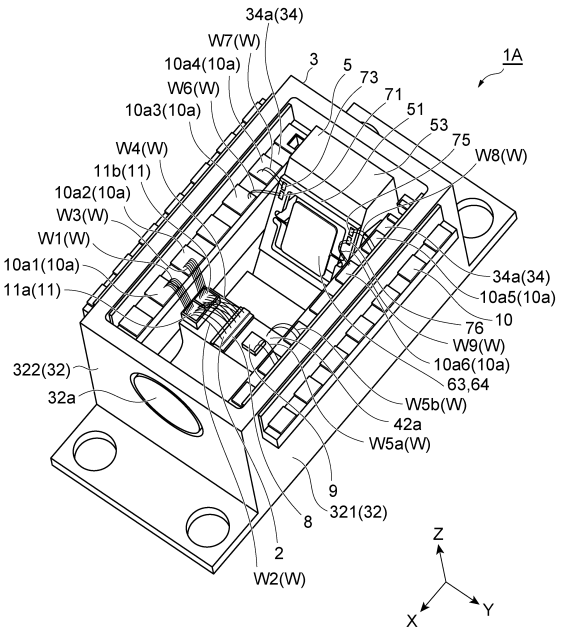
【図６】


61
63
65
74
51
73
75
71
76
72
62
62
A
64
66
D1
D2

【図７】


7B
10a
34a
(34)
10a2
(10a)
10a1
(10a)
10a
7A
W3(W)
11b(11)
W4(W)
2
2b
8
9
W5b(W)
W5a(W)
42a
W1(W)
11a(11)
W2(W)
2a
Z
Y
X

【図８】


34a(34)
W7(W)
10a4(10a)
W6(W)
10a3(10a)
W4(W)
11b(11)
10a2(10a)
W3(W)
W1(W)
10a1(10a)
11a(11)
322(32)
32a
1A
3
5
73
71
51
53
75
W8(W)
34a(34)
10a5(10a)
10
76
W9(W)
10a6(10a)
63,64
W5b(W)
42a
W5a(W)
9
321(32)
8
2
W2(W)
Z
Y
X

フロントページの続き

(72)発明者　落合 隆英
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　枝村 忠孝
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　秋草 直大
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２０１９－０３６５７７（ＪＰ，Ａ）
特開２０００－０１９４７３（ＪＰ，Ａ）
特表２０１８－５１２７４５（ＪＰ，Ａ）
特開２０１９－０１５５６３（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－１９６２０８（ＪＰ，Ａ）
特開２０２０－０９１３７９（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－２８９９６０（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２００９／００２８１９７（ＵＳ，Ａ１）
特表２００７－５１５７７１（ＪＰ，Ａ）
(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｓ　５／００－５／５０