

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5493907号
(P5493907)

(45) 発行日 平成26年5月14日(2014.5.14)

(24) 登録日 平成26年3月14日(2014.3.14)

(51) Int.Cl. F I
H O I S 3/081 (2006.01) H O I S 3/081

請求項の数 5 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2010-11337 (P2010-11337)	(73) 特許権者	000125369
(22) 出願日	平成22年1月21日 (2010.1.21)		学校法人東海大学
(65) 公開番号	特開2011-151213 (P2011-151213A)		東京都渋谷区富ヶ谷2丁目28番4号
(43) 公開日	平成23年8月4日 (2011.8.4)	(74) 代理人	100110722
審査請求日	平成25年1月18日 (2013.1.18)		弁理士 齊藤 誠一
		(72) 発明者	遠藤 雅守
			神奈川県平塚市北金目1117 東海大学 内
		審査官	古田 敦浩

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光共振器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第一、第二及び第三の光軸のそれぞれがレーザ媒質を通過すると共に全体としてZ形状を成すようにして光路が形成され、前記光路の折り返し位置には第一及び第二の中継ミラーがそれぞれ配設され、前記レーザ媒質を介して前記第一の中継ミラーと対向するようにしてハーフミラーが前記第一の光軸上に配置され、前記レーザ媒質を介して前記第二の中継ミラーと対向するようにして全反射ミラーが前記第三の光軸上に配置され、さらに、前記レーザ媒質を介して前記第一の中継ミラーと前記第二の中継ミラーとを結ぶ光路が前記第二の光軸とされた光共振器において、

前記全反射ミラーは、トリプルアクシコンミラーであり、

前記第一の中継ミラーは、反射面が凸面をした凸面鏡であり、

前記第二の中継ミラーは、反射面が凹面をした凹面鏡であり、

前記第一の中継ミラーの反射面と前記第二の中継ミラーの反射面とは絶対値が同じで符号が逆の曲率半径を有して形成されていることを特徴とする光共振器。

【請求項2】

第一、第二及び第三の光軸のそれぞれがレーザ媒質を通過すると共に全体としてZ形状を成すようにして光路が形成され、前記光路の折り返し位置には第一及び第二の中継ミラーがそれぞれ配設され、前記レーザ媒質を介して前記第一の中継ミラーと対向するようにしてハーフミラーが前記第一の光軸上に配置され、前記レーザ媒質を介して前記第二の中継ミラーと対向するようにして全反射ミラーが前記第三の光軸上に配置され、さらに、前

10

20

記レーザー媒質を介して前記第一の中継ミラーと前記第二の中継ミラーとを結ぶ光路が前記第二の光軸とされた光共振器において、

前記全反射ミラーは、トリプルアクシコンミラーであり、

前記第一の中継ミラーは、反射面が凹面をした凹面鏡であり、

前記第二の中継ミラーは、反射面が凸面をした凸面鏡であり、

前記第一の中継ミラーの反射面と前記第二の中継ミラーの反射面とは絶対値が同じで符号が逆の曲率半径を有して形成されていることを特徴とする光共振器。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の光共振器において、

前記トリプルアクシコンミラーは、

内面が 45° の角度を持った反射面とされた円錐形の第一の凹部を有するアクシコンミラーと、

前記第一の凹部に対向するようにして配置され、内面が 45° の角度を持った反射面とされた円錐形の第二の凹部及び 45° の反射面を有して前記第二の凹部の中心部に立設された円錐ミラーとを有するダブルアクシコンミラーとを備え、

前記アクシコンミラーと前記ダブルアクシコンミラーは、前記第一の凹部と前記第二の凹部を対向させた状態で一体化されていることを特徴とする光共振器。

【請求項 4】

請求項 2 又は 3 に記載の光共振器において、

前記トリプルアクシコンミラーは、前記第一の凹部、前記第二の凹部及び円錐ミラーの反射面が、s 偏光の反射率を R_s 、p 偏光の反射率を R_p とするとき、 $R_p > R_s$ となるコーティングが施されていることを特徴とする光共振器。

【請求項 5】

請求項 1、3 又は 4 のいずれか 1 項に記載の光共振器において、

共振長が 5.1 m で、前記トリプルアクシコンミラーの円錐形をした前記第一の凹部の曲率半径が無大で、前記トリプルアクシコンミラーの円錐形をした第二の凹部の曲率半径が -50 m であるとき、前記トリプルアクシコンミラーの円錐形をした前記第二の凹部の高さ $1/2$ に位置する反射面の中心位置からの当該第二の凹部の凸曲面の頂点(Vertex)の位置ズレに対しては、前記第二の凹部の凸曲面の頂点(Vertex)と前記反射面の中心位置との半径方向の距離 D_v とした場合、前記第一中継ミラーの曲率半径は $-240 / [D_v]\text{ m} \sim -200 / [D_v]\text{ m}$ であり、前記第二の中継ミラーの前記曲率半径は $240 / [D_v]\text{ m} \sim 200 / [D_v]\text{ m}$ であることを特徴とする光共振器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザー加工機等に用いられるレーザー光を発生させるためのレーザー発振器における光共振器、特に、s 偏光と p 偏光の反射率の違いを利用して光電場の振動方向が共振モードの重心から半径方向に平行な直線偏光（ラジアル偏光）または共振モード重心を中心に持つ同心円に平行な直線偏光（アジマス偏光）を選択的に発振するトリプルアクシコンミラーを用いた光共振器の回折損失の改善を図った光共振器に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザー加工機によるレーザー切断は、細く絞ったレーザービームを切断対象物に照射し、熔融・蒸発した材料をアシストガスで除去することで切り進むことによって行われる。このとき、必然的にレーザービームは材料に対して非常に浅い角度で当たる。光学ではこれは「入射角が 90° に近い」と定義される。一方、金属をはじめとする多くの材料に対しては、光吸収率は入射角の関数で、特に入射角が 90° に近いところで急峻に変化する。更に、その変化はレーザー光の光電場が切断フロントに平行な s 偏光と、フロントにほぼ垂直な p 偏光では全く異なる。入射角が 90° に近いところでは s 偏光はほとんど吸収されないのに対して p 偏光は固相で 40% 、液相に至っては 80% もの吸収を示す。したがって、レ

10

20

30

40

50

ーザビームが材料に対してs偏光であるか、p偏光であるかによりレーザー加工の性能は大きく異なることになる。

【0003】

一方、レーザーの偏光は切断方向に合わせて任意に変えられる様なものではなく、現在、市販されているほとんどのレーザー加工機は妥協策として「円偏光」のビームを利用している。円偏光の光とは、光電場が振動する代わりに回転するもので、電波領域では衛星放送の電波などに利用されている「偏光が無い電磁波」としての利用価値があるものである。円偏光は、直交した偏波の2つの直線偏光を互いに90°の位相差を与えて合成することにより得られるため、市販レーザー加工機の多くはレーザーを直線偏光で発振させ、その後 / 4 位相板と呼ばれる反射鏡で折り返すことにより円偏光を得る。

10

【0004】

しかし、こうして得られた円偏光のレーザーは、その代償として材料に対して常に半分の時間はs偏光、半分の時間はp偏光として当たっていることになり、レーザーパワーのうち半分しか有効に吸収されないことになる。ところが、最近、光電場がビーム重心から放射状に振動する「ラジアル偏光」、ビーム重心を中心とする同心円に沿った方向に振動する「アジマス偏光」のレーザー加工への利用が注目されている。これらの偏光はいずれも電場振動がビーム重心を軸に対称であるため「軸対称偏光」と呼ばれている。しかしながら、直線偏光のレーザーからラジアル偏光・アジマス偏光を得るには / 4 位相板の様な単純な素子では不可能で、従来は複雑かつ耐パワー強度の低い変換光学系を用いる必要があり、限られた分野でしか利用されていなかった。しかし、2000年にNiziev等が「ラジアル偏光をレーザー加工に利用すれば円偏光に比べ2倍の切断速度になる」という可能性を理論計算により示した後は、レーザー加工に使える大パワーでの軸対称偏光発生が盛んに研究されるようになった。ここで、レーザー加工機等に用いる光共振器(cavity)のレーザー光がラジアル偏光であれば、どの方向に掃引しても必ずp偏光で材料へあたることから材料の吸収は2倍になり、これによって加工性能を約2倍にし得ることは、例えば、非特許文献1にも示されている。

20

【0005】

このように、直感的にも、理論的にもそのレーザー加工への有用性が明らかなラジアル偏光・アジマス偏光ビームだが、レーザー加工に使われるほどの大パワーに耐える変換光学系は存在しなかったため、実験的研究はほとんど行われていなかったが、ドイツのIFSWのAhmedらにより、光共振器のミラーのうち1枚を同心円状に導波路を刻んだ特殊な構造とすることで、ラジアル偏光のみが選択的に発振することが報告された。

30

【0006】

上記報告に基づいてラジアル偏光で発振させるミラーを組み込んだレーザー加工機が開発中であると言われている。しかしながら、回折格子技術は多層構造のためハイパワー耐性が良くなく、干渉を使うためある特定の波長だけに効果があるという問題がある。

【0007】

これに対して、本発明者らは、それとは全く異なる原理により軸対称偏光を得る方法を開発した。すなわち、本発明者らはトリプルアクシコン(axicon:又は「コニカル」とも言われる。)ミラーを用いたアジマス偏光光共振器を開発した。この光共振器は、出力ミラー(Output Coupler)とトリプルアクシコンミラーとを平行に配置し、出力ミラーとトリプルアクシコンミラーとの間の光路をレーザー媒質(Gain medium)で覆うようにして構成されている。トリプルアクシコンミラーは、アクシコンミラーとWアクシコンミラーを互いに正確に嵌め合わせたものであり(図7参照)、6回反射のレトロリフレクタとして機能する。レトロリフレクタとは、どの方向から来た入射光も正確に同じ方向にはね返す反射構造を指す。このように、レトロリフレクタは無調整で光を180°方向に反射させるという優れた特徴がある。

40

【0008】

このように、本発明者らは、斜面に対するs偏光とp偏光の反射率の違いを利用して共振モード光電場の振動方向が共振モードの重心から半径方向に平行な直線偏光(ラジアル

50

偏光)または共振モード重心を中心に持つ同心円に平行な直線偏光(アジマス偏光)を選択的に得ることが可能なトリプルアクシコンミラーを開発した。このトリプルアクシコンミラーを用いた光共振器の構成を図6に示す。図示された光共振器100は、トリプルアクシコンミラー101と、平面鏡からなる中継ミラー103と、中継ミラー103と同様に平面鏡からなる中継ミラー104と、ハーフミラーからなる出力ミラー105とを備えて構成され、トリプルアクシコンミラー101, 中継ミラー103, 104、出力ミラー105の間を往復する光路にはレーザ媒質102(利得媒体)が配置されている。そして、中継ミラー103と及び中継ミラー104を斜めに傾斜するようにして配置することにより出力ミラー105と、中継ミラー103と、中継ミラー104と、トリプルアクシコンミラー101を結ぶ光路がZ形状となるように構成されている。

10

【0009】

トリプルアクシコンミラー101は、斜面に対するs偏光とp偏光の反射率の違いを利用して共振モードの光電場の振動方向が共振モード重心から半径方向に平行な直線偏光(ラジアル偏光)又は共振モード重心を中心に持つ同心円に平行な直線偏光(アジマス偏光)が得られるものである(例えば、非特許文献1, 2)。

【0010】

レーザ媒質102は、図示しない方法、たとえば放電により励起状態にさせられた誘導放出可能な気体(例えば、CO₂等)である。このレーザ媒質102は、例えば、対向配置された正電極及び負電極を有するガラス容器に循環するようにして供給される。

【0011】

図6に示す光共振器100の動作を説明すると、CO₂をレーザ媒質102に用いれば炭酸ガスレーザとなり、正電極と負電極との間に高電圧を印加することによりガラス容器内に生じた放電によってCO₂の分子が励起し、その分子の振動及び回転運動に伴うエネルギー準位によって、例えば波長10μm帯の発振が生じる。この発振による光は、トリプルアクシコンミラー101と出力ミラー105との間を往復することによって光の定在波が生じ、これにより光共振が生じる。この際、トリプルアクシコンミラー101は入射した光を6回反射(図7参照)して入射側に戻すように動作し、各反射面に施す誘電体多層膜コーティングを選ぶことによってラジアル偏光を生じさせることができる。上記光共振器100によって得られたレーザ光は出力ミラー105から出射し、図示しない偏光板、反射鏡、レンズ等を介して被加工物に照射される。この被加工物に照射されるレーザ光はラジアル偏光であるため、一般のレーザ加工機に用いられている円偏光に比べて被加工物への光吸収率が高められ、したがって、加工性能を高めることができる。

20

30

【0012】

ここで、出力ミラーである部分反射鏡と全反射鏡との間の光路をレーザ媒質を介挿した状態でZ形状に形成し、光路途中の2カ所の光路折り返し位置にミラーを置いた構成のレーザ発振装置にあって、光共振器内のミラーの角度を調整する調整部材、ミラーを冷却する熱絶縁部材、及び上記調整部材が取り付けられると共に上記熱絶縁部材が挿入される貫通孔部を有する光学基板を備え、レーザ光のポインティングの安定化を図ることを目的としたものが特許文献1に示されている。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0013】

【特許文献1】特許第2862032号公報

【非特許文献】

【0014】

【非特許文献1】「Laser Focus World Japan」2008.4 60~62頁

【非特許文献2】M.Endo, "Azimuthally polarized 1kW CO₂ laser with a triple-axis on Retroreflector optical resonator," Opt.Lett.33,pp.1771-1773,2008.

【非特許文献3】M.Endo, "Numerical simulation of an optical resonator for generation of a doughnut-like laser beam," Opt. Express 12pp.1959-1965(2004).

50

【非特許文献4】M.Endo, “Doughnut Like Beam generation by a W-Axicon resonator with Variable Geometry,” Jpn.J.App1.Phys.46、pp.593-596(2007)。

【非特許文献5】M. Endo, “Development of an optical resonator with conical retrorreflector for generation of radially polarized optical beam,” Photonics West 08 Laser Resonators and Beam Control X (San Jose, CA), Jan. 2008, Proc. SPIE 6872-07 (10pp)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

しかし、上記したトリプリアクシコンミラーを用いた光共振器は、ラジアル偏光は得られたものの、トリプリアクシコンミラーの表面切削の際の機械的歪みによって反射面に歪みが生じた場合、共振モードの光電場が広がり(すなわち回折損失が生じ)、レーザ出力が理論値よりもかなり低い値にとどまるといった問題があった。これは、切削装置によってトリプリアクシコンミラーの表面切削を行った場合、ミラー固定用のネジを締めて切削装置に固定した際に加わる荷重により表面に僅かに変形(1 μ m程度の歪み)するので、正確な切削が行われたとしても切削後におけるチャックからの取り外しによってトリプリアクシコンミラーに加わっていた荷重が開放されてミラー表面に歪みが残ってしまうのが原因である。その他にも、切削誤差によるミラーの歪みもある。トリプリアクシコンミラーのミラー形状は本来円対称であるため、歪みのあるトリプリアクシコンミラーを使用した光共振器では本来の性能を発揮することができない。また、歪みのないトリプリアクシコンミラーを得るための歩留まりが悪くなるという問題があった。

【0016】

そこで、本発明は、かかる問題点に鑑みなされたもので、トリプリアクシコンミラーの加工精度が低く、歪みや切削誤差があっても光共振器の回折損失を補正することによって、理論値に近いレーザ出力が得られるようにした光共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】

【0017】

上記課題を解決するために請求項1に記載の発明は、第一、第二及び第三の光軸のそれぞれがレーザ媒質を通過すると共に全体としてZ形状を成すようにして光路が形成され、光路の折り返し位置には第一及び第二の中継ミラーがそれぞれ配設され、レーザ媒質を介して第一の中継ミラーと対向するようにしてハーフミラーが第一の光軸上に配置され、レーザ媒質を介して第二の中継ミラーと対向するようにして全反射ミラーが第三の光軸上に配置され、さらに、レーザ媒質を介して第一の中継ミラーと第二の中継ミラーとを結ぶ光路が第二の光軸とされた光共振器において、全反射ミラーは、トリプリアクシコンミラーであり、第一の中継ミラーは、反射面が凸面をした凸面鏡であり、第二の中継ミラーは、反射面が凹面をした凹面鏡であり、第一の中継ミラーの反射面と第二の中継ミラーの反射面とは絶対値が同じで符号が逆の曲率半径を有して形成されていることを特徴とする。

【0018】

上記課題を解決するために請求項2に記載の本発明は、第一、第二及び第三の光軸のそれぞれがレーザ媒質を通過すると共に全体としてZ形状を成すようにして光路が形成され、光路の折り返し位置には第一及び第二の中継ミラーがそれぞれ配設され、レーザ媒質を介して第一の中継ミラーと対向するようにしてハーフミラーが第一の光軸上に配置され、レーザ媒質を介して第二の中継ミラーと対向するようにして全反射ミラーが第三の光軸上に配置され、さらに、レーザ媒質を介して第一の中継ミラーと第二の中継ミラーとを結ぶ光路が前記第二の光軸とされた光共振器において、全反射ミラーは、トリプリアクシコンミラーであり、第一の中継ミラーは、反射面が凹面をした凹面鏡であり、第二の中継ミラーは、反射面が凸面をした凸面鏡であり、第一の中継ミラーの反射面と第二の中継ミラーの反射面とは絶対値が同じで符号が逆の曲率半径を有して形成されていることを特徴とする。

【0019】

10

20

30

40

50

上記課題を解決するために請求項 3 に記載の本発明は、請求項 1 又は 2 に記載の光共振器において、トリプルアクシコンミラーは、内面が 45° の角度を持った反射面とされた円錐形の第一の凹部を有するアクシコンミラーと、第一の凹部に対向するようにして配置され、内面が 45° の角度を持った反射面とされた円錐形の第二の凹部及び 45° の反射面を有して第二の凹部の中心部に立設された円錐ミラーとを有するダブルアクシコンミラーとを備え、アクシコンミラーとダブルアクシコンミラーは、第一の凹部と第二の凹部を対向させた状態で一体化されていることを特徴とする。

【0020】

上記課題を解決するために請求項 4 に記載の本発明は、請求項 2 又は 3 に記載の光共振器において、トリプルアクシコンミラーは、第一の凹部、第二の凹部及び円錐ミラーの反射面が、s 偏光の反射率を R_s 、p 偏光の反射率を R_p とするとき、 $R_p > R_s$ となるコーティングが施されていることを特徴とする。

10

【0021】

上記課題を解決するために請求項 5 に記載の本発明は、請求項 1、3 又は 4 のいずれか 1 項に記載の光共振器において、共振長が 5.1 m で、トリプルアクシコンミラーの円錐形をした第一の凹部の曲率半径が無大で、トリプルアクシコンミラーの円錐形をした第二の凹部の曲率半径が -50 m であるとき、トリプルアクシコンミラーの円錐形をした第二の凹部の高さ $1/2$ に位置する反射面の中心位置からの第二の凹部の凸曲面の頂点(Vertex)の位置ズレに対しては、第二の凹部の凸曲面の頂点(Vertex)と反射面の中心位置との半径方向の距離 D_v とした場合、第一中継ミラーの曲率半径は $-240/[D_v]\text{ m} \sim -200/[D_v]\text{ m}$ であり、第二の中継ミラーの曲率半径は $240/[D_v]\text{ m} \sim 200/[D_v]\text{ m}$ であることを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0022】

本発明に係る光共振器によれば、トリプルアクシコンミラーに歪みや切削誤差があっても光共振器の回折損失を補正することによって理論値に近いレーザー出力を得ることができるので、歪みや切削誤差があるトリプルアクシコンミラーを再度修正したり廃棄することなく光共振器に使用することができ、トリプルアクシコンミラー製造の歩留まりを向上させることができるという効果がある。これにより、本発明に係る光共振器を用いたレーザー加工機のコストを抑えることができるので高機能なレーザー加工機を安価に提供することができるという効果がある。

30

また、トリプルアクシコンミラーの切削加工の精度が多少低くても回折損失が起こらない光共振器を提供することができるので切削コストの削減を図ることもできることからトリプルアクシコンミラーの製造コストの面からも高機能なレーザー加工機を安価に提供することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図 1】本発明に係る光共振器の好ましい一実施形態を示す構成図である。

【図 2】図 1 に示すトリプルアクシコンミラーを分解した状態で示した断面図である。

【図 3】本発明に係る光共振器の回折損失の低減を確認するために行った数値シミュレーションの結果を示す特性図である。

40

【図 4】市販のレーザー発生装置を無改造のまま測定したレーザー出力の特性図である。

【図 5】市販のレーザー発生装置に図 1 に示した構成の光共振器を取り付けて測定したレーザー出力の特性図である。

【図 6】トリプルアクシコンミラーを使用した従来の光共振器の構成図である。

【図 7】トリプルアクシコンミラーの説明図である。

【図 8】第二の凹部の凸曲面の位置ズレを示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、本発明に係る光共振器について、好ましい一実施形態に基づいて詳細に説明する

50

。図1は、本発明に係る光共振器の好ましい一実施形態を示す構成図である。なお、図1においては、ミラー類を断面図で示している。

【0025】

[光共振器の構成]

図示された光共振器10は、概略として、共振長の一端に配設されたトリプルアクシコンミラー1と、共振長の他端に配設されたハーフミラーによる出力ミラー2と、共振長の途中に介在するレーザ媒質3と、凸面鏡である第一の中継ミラー4と、凹面鏡である第二の中継ミラー5とを備えて構成されている。ここで、出力ミラー2と第一の中継ミラー4との間にはレーザ媒質3の図1における上部側を通過する第一の光軸6が形成され、第一の中継ミラー4と第二の中継ミラー5との間には図1に示されたレーザ媒質3の中央部を斜めに通過する第二の光軸7が形成され、第二の中継ミラー5とトリプルアクシコンミラー1との間にはレーザ媒質3の図1における下部を通過する第三の光軸8が形成されており、Z形状の光路が形成されている。そして、凸面鏡である第一の中継ミラー4と、凹面鏡である第二の中継ミラー5の曲面はそれぞれ同一の曲率半径を有して形成されている。例えば、トリプルアクシコンミラー1と出力ミラー2との間の距離が1.7m(共振長は5.1m)の場合に、第一の中継ミラー4の曲率半径が-30m(曲率半径の正負は凹面がプラス、凸面がマイナスとする。)で、第二の中継ミラー5の曲率半径は+30mのようにである。つまり、第一の中継ミラー4と第二の中継ミラー5は符号が互いに逆の同じ曲率半径を有している。尚、トリプルアクシコンミラー1の直前には熱対策のために20mmの径サイズを備えた円形の図示しないアパーチャが配置されているが、形状及びサイズ等はこれに限るものではなく適宜のものを採用することができる。

【0026】

図1に示す光共振器10は、具体的には、株式会社アマダ製のCO₂レーザ発生装置、型名「OLC-420H」に適用されている。「OLC-420H」の仕様は、設計上の最大レーザ出力が約2kW、共振長が5.1m、レーザビームの直径が20mmとなっている。ここで、光共振器10内で光ビームを何度も折り返しているのは、光ビームが何度もレーザ媒質3中を通過するように構成することによって光ビームがレーザ媒質3内をまんべんなく通過するようにし、それによって誘導放出による光ビームの増幅を図るためである。例えば、共振長が5.1mであると、出力ミラー2からトリプルアクシコンミラー1までの距離は5.1mとなり、出力ミラー2と第一の中継ミラー4との間の距離、及び第二の中継ミラー5とトリプルアクシコンミラー1との間の距離(第一、第三の光軸6, 8の長さ)は、共に約1.7m($5.1 \div 3 = 1.7$ m)となる。

【0027】

トリプルアクシコンミラー1は、どの方向から来た入射光も正確に同じ方向に反射させる構造を有するレトロリフレクタ(Retroreflector)であると共に、レーザ媒質3に対するリアミラーユニットともなっている。なお、レトロリフレクタとは、光が入射した方向へ出射光を戻す特性を有するものをいう。このトリプルアクシコンミラー1は、図2に示すように、アクシコン(axicon)ミラー11とダブルアクシコン(W-axicon)ミラー12の2つのミラーを組み合わせることで構成されており、入射した光を6回反射(図7参照)して入射側に戻すように動作する。

【0028】

アクシコンミラー11は、内面に45°の角度を持つ円錐形の凹部11aを有したミラーである。また、ダブルアクシコンミラー12は、第一の凹部11aに対向する45°の内面角度を持つ円錐形の第二の凹部12aと、45°の反射面12bを有して第二の凹部12aの中心部に立設された円錐ミラー12cとを有している。アクシコンミラー11とダブルアクシコンミラー12は、第一の凹部11aと第二の凹部12aを対向させた状態で図1に示すように嵌め合わせて一体化される。なお、上記「OLC-420H」の直径20mmのレーザビームが回折損失しないように、ここでは第一の凹部11a及び第二の凹部12aの最大径を約50mmにした。

【0029】

10

20

30

40

50

アクシコンミラー 11 及びダブルアクシコンミラー 12 は、例えば金属製、具体的には銅製又銅合金であり、第一の凹部 11a と第二の凹部 12a 並びに円錐ミラー 12c のそれぞれの表面には、多層膜コーティングが施されている。このコーティングは、ラジアル偏光を生じさせるためには s 偏光の反射率 R_s よりも p 偏光の反射率 R_p が大きくなる ($R_p > R_s$) ように施す必要がある。なお、 R_p と R_s の差は 1% 程度あれば完全なラジアル偏光が生じることが非特許文献 1 に示されている。

【0030】

また、トリプルアクシコンミラー 1 の第二の凹部 12a の反射面は平坦ではなく、それぞれが凸の曲率半径 (例えば、 -50 m) を有しており、これによって波面が設計意図になるようにしている。更に、凸曲面の頂点 (Vertex) の位置を反射面のどこに置くかによりトリプルアクシコンミラーの特性は大きく異なることが非特許文献 5 に示されており、最大のレーザ出力を得るためにはその位置を 1 mm 程度の精度で正確に決める必要がある。ここで、凸曲面の頂点 (Vertex) とはミラー表面をなす凸曲面のうち角度 45° とする基準平面の表面から最も離れた位置をいう。そして、第二の中継ミラー 5 に対し、その曲率半径 (例えば、 $+30\text{ m}$) とは逆の曲率半径 (例えば、 -30 m) を有する第一の中継ミラー 4 を設けることにより、光共振器 10 全体としての第一の中継ミラー 4 及び第二の中継ミラー 5 からなる組み合わせは、図 6 に示した従来の平面鏡による中継ミラー 103 と中継ミラー 104 からなる組み合わせと等価になる。

【0031】

本発明においては、光共振器 10 の主たる構成が工場出荷時のままであるので、共振モードの断面積 A は変化しない。また、出力ミラー 2 の透過率 T 及びレーザ媒質 3 の性質である小信号利得 G と飽和強度 I_s を変えずに計算を行ったので、レーザ出力の向上は主に光共振器 10 の回折損失の低減によって得られたことは、後述する数式 (1) から明らかである。

【0032】

[光共振器 10 の動作]

次に、上述した光共振器 10 の動作について説明する。ここではレーザ媒質 3 に CO_2 を主とした気体を用い、このレーザ媒質 3 を正電極と負電極が設けられた金属 (例えば、アルミ合金) 製容器 (図示せず) 内に導入した。正電極と負電極との間に高電圧が印加されることによってガラス容器内に放電が発生し、この放電によって CO_2 の分子が励起され、その分子の振動及び回転運動に伴うエネルギー準位によって例えば波長 $10\ \mu\text{m}$ 帯の発振が生じる。この発振による光が第一～第三の光軸 6～8 を経由してトリプルアクシコンミラー 1 と出力ミラー 2 との間を往復することにより、光の定在波が生じて光共振が生じる。また、光が出力ミラー 2 とトリプルアクシコンミラー 1 との間を第一～第三の光軸 6～8 を介して往復することにより光の増幅が行われる。

【0033】

仮に、トリプルアクシコンミラー 1 の反射面の波面が設計意図とは異なる方向に傾いている場合であっても、波面が第二の中継ミラー 5 の曲率半径によって補正される。第二の中継ミラー 5 によるトリプルアクシコンミラー 1 及び第一の中継ミラー 4 への反射光は、第二の中継ミラー 5 が凹面鏡であれば集光が期待できると共に共振モードの回折損失を低減することができる。この場合、第一の中継ミラー 4 は凸面鏡なので、第二の中継ミラー 5 からの光は光拡散となる。凸面鏡と凹面鏡による第一中継ミラー 4 及び第二の中継ミラー 5 は、図 6 に示した平面鏡による中継ミラー 103, 104 と等価の状態になる。したがって、光共振器 10 の共振モードは従来の光共振器 100 と同じになる。そして、光共振器 10 によって得られたレーザ光は、出力ミラー 2 から出射し、図示しない光学デバイスを介して被加工物に照射される。

【0034】

[光共振器 10 の数値シミュレーション]

ところで、本発明者らは、光共振器 10 の回折損失が低減できることを数値シミュレーションで確かめた。この数値シミュレーションは、Fresnel-Kirchhoff の回折積分により

10

20

30

40

50

光共振器内部の光電場形成を数値的に計算するものである。尚、この計算方法の詳細については非特許文献3に示されており、計算結果が実験と一致すること、すなわち、シミュレーションモデルは正しいことについては非特許文献4に示されている。計算条件は、出力ミラー2（又は、第二の中継ミラー5）とトリプルアクシコンミラー1との間の距離 = 1.7 mの条件で行った。

【0035】

図3は、数値シミュレーションによる曲率半径 - レーザ出力特性図である。図3において、横軸は第二の中継ミラー5の曲率半径を示し、縦軸は予想されるレーザ出力を示している。図3から明らかなように、第二の中継ミラー5の曲率半径が無限大の場合（すなわち平面鏡と等価なとき）が従来の光共振器100に相当する。そして、図3から明らかなように、第二の中継ミラー5の曲率半径が25 ~ 30 mのときに、光共振器10のレーザ出力は、従来の光共振器100の出力1.55 kW（= 曲率半径が∞のとき）から1.85 kW（= 曲率半径が30 mのとき）まで向上すると予測される。

10

【0036】

レーザ媒質3の小信号利得を G 、レーザ媒質3の飽和強度を I_s 、共振モードの断面積を A 、出力ミラー透過率を T 、光共振器10の回折損失を L とすれば、光共振器10のレーザ出力 P は以下の式で表される。

【0037】

【数1】

$$P = \frac{I_s A T}{2} \left(\frac{\gamma}{T + L} - 1 \right) \quad (1)$$

20

【0038】

発明者らが把握しているデータは、 $\gamma = 3.5 [m^{-1}]$ 、 $I_s = 5.0 \times 10^6 [W/m^2]$ 、 $A = 3.0 \times 10^{-4} [m^2]$ 、 $T = 0.65$ 、回折損失 $L = 0.10$ である。これらの値に基づいてレーザ出力 P を算出したところ、 $P = 1.8 (kW)$ であった。これにより、光共振器10の回折損失 L を低減することによってレーザ出力向上が達成できることがわかる。

30

【0039】

[実施形態の効果]

以上のように本実施形態に係る光共振器10によれば、凸面鏡である第一の中継ミラー4と凹面鏡である第二の中継ミラー5の曲面の曲率半径を等しく、且つ符号が互いに逆になるようにしたため、その光学的効果、すなわち集光効果及び拡散効果が相殺される。したがって、光共振器10の共振モードは従来の光共振器100と同一になる。その一方で、第二の中継ミラー5は凹面鏡であるため、トリプルアクシコンミラー1に向かう光ビームに集光効果が生じ、共振モードの回折損失を低減できるという効果がある。本発明者らの検討による一例をあげれば、レーザ出力を従来より38%向上させることができた。

40

【実施例】

【0040】

本発明者らは、本発明の効果を実証するため、実際に本発明を市販のレーザ発生装置に適用し、その性能を測定した。用いたレーザ発生装置は、株式会社アマダ製の炭酸ガスレーザ、「OLC-420H」である。まず、上記レーザ発生装置「OLC-420H」を工場出荷時の構成のまま、そのレーザ出力を測定した。次いで、「OLC-420H」の光共振器の全反射ミラーをトリプルアクシコンミラー1に交換した。この構成による光共振器は図6に示す従来の光共振器100に相当する。この状態で光共振器のレーザ出力を測定したところ、図4に示す結果が得られた。図4において、横軸は「OLC-420H」に付与した電気入力(任意単位)、縦軸はレーザ出力[W]である。なお、電気入力とは

50

、「OLC-420H」のレーザ出力を増減させる指示器の単なる数値であってレーザ出力の絶対値を示すものではない。

【0041】

図4を参照すると、従来の光共振器100は、メーカ出荷時の状態(original mirror)のレーザ出力に対して60~70%(出力比0.6~0.7)にとどまっている。なお、入力が増大につれてレーザ出力比が減っているのは、回折損失により失われるパワーが入力を増やすほど顕著になることを示している。また、レーザ媒質3の小信号利得及び飽和強度 I_s は、電気入力値が“2000”のときに図3に示された計算条件と一致した。このときに得られた実際のレーザ出力(Triple-axicon)は約1.3kWであり、計算で予測された値よりも若干低い値であった。

10

【0042】

次に、「OLC-420H」の光共振器に代えて図1に示した構成の光共振器10を取り付け、上記した光共振器100の場合と同様にしてレーザ出力を測定したところ、図5に示す結果が得られた。図5において、横軸は「OLC-420H」に与えた電気入力値(任意単位)、縦軸はレーザ出力[W]である。図5と図4を比べて明らかなように、図5のレーザ出力は図4の従来構成に比べて顕著に向上しており、得られた実際のレーザ出力は約1.8kWであり、計算で予測された値に一致した。

【0043】

ところで、本発明はトリプルアクシコンミラー1の歪みによる回折損失を是正するためになされたものであるが、第二の凹部12aの凸曲面の頂点(Vertex)が第二の凹部12aの高さHに対して1/2に位置する反射面の中心位置(第二の凹部12aの反射面の中央)にあるとき、ドーナツ状の反射ビームの中央に波面の変曲点(波面曲率)が来る。一方、第二の凹部12aの凸曲面の頂点(Vertex)が光軸に対して半径方向に外側(具体的にはアクシコンミラー11側)にあると波面の変曲点はドーナツの内側に移動する。これに対して第二の凹部12aの凸曲面の頂点(Vertex)が光軸に対して半径方向に内側(外側方向とは反対方向)にあると波面の変曲点はドーナツの外側に移動する。そして、上記実施例は、具体的には、共振長が5.1mで、トリプルアクシコンミラー10の円錐形をした第一の凹部11aの曲率半径が無量大で、トリプルアクシコンミラー10の円錐形をした第二の凹部12aの曲率半径が-50mであるとき、トリプルアクシコンミラー1の第二の凹部12aの凸曲面の頂点(Vertex)の外側方向の位置ズレを第一の中継ミラー103と第二の中継ミラー104の曲率によって補正したものである。そこで、上記結果からみて、トリプルアクシコンミラー1の円錐形をした第二の凹部12aの高さHに対して1/2に位置する反射面の中心位置からの第二の凹部12aの凸曲面の頂点(Vertex)の外側方向の位置ズレを正(プラス)、内側方向(外側方向と反対方向)の位置ズレを負(マイナス)として、第二の凹部12aの凸曲面の頂点と反射面の中心位置との半径方向の距離 D_v とすれば、第一中継ミラー103の曲率半径を $-240/[D_v]$ m~ $-200/[D_v]$ mとし、前記第二の中継ミラー104の曲率半径を $240/[D_v]$ m~ $200/[D_v]$ mとすることで第二の凹部12aの凸曲面の頂点の位置ズレによるトリプルアクシコンミラー1の回折損失の是正を図ることができると考えられる(図8参照)。

20

30

【0044】

[他の実施形態]

なお、本発明は、上記各実施例に限定されず、本発明の技術思想を逸脱あるいは変更しない範囲内で種々な変形が可能である。例えば、レーザ媒質3は CO_2 に限定されるものではなく、 CO_2 以外の他のレーザ媒体を用途等に応じて選択することができる。

40

【0045】

以上のように、好ましい実施形態について説明したが、本発明に係る光共振器10は、Z形状の光路を2つ以上の中継ミラーによって形成され、使用目的がレーザ加工用以外で且つラジアル偏光を必要とするレーザ発生装置に対しても採用可能である。

【0046】

また、上記実施形態においては、光共振器10の光路を3つの光軸6,7,8によって

50

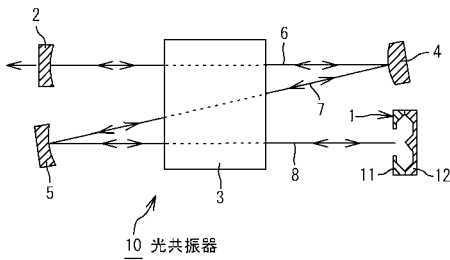
Z形状にしたが、更に多くの光軸を用いてジグザグ形等の光路を形成し、扁平な方形状レーザ媒質からラジアル偏光を取り出す光共振器に適用することも可能である。

【符号の説明】

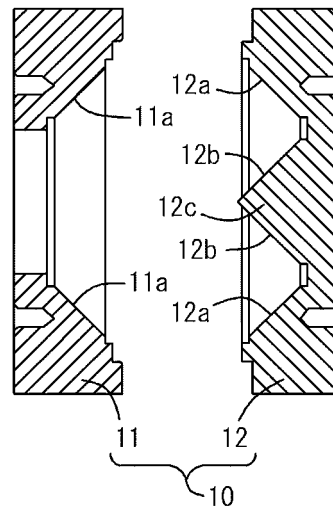
【 0 0 4 7 】

- 1 トリプルアクシコンミラー
- 2 出力ミラー
- 3 レーザ媒質
- 4 第一の中継ミラー
- 5 第二の中継ミラー
- 6 光軸
- 7 光軸
- 8 光軸
- 10 光共振器
- 11 アクシコンミラー
- 11 a 第一の凹部
- 12 ダブルアクシコンミラー
- 12 a 第二の凹部
- 12 b 反射面
- 12 c 円錐ミラー

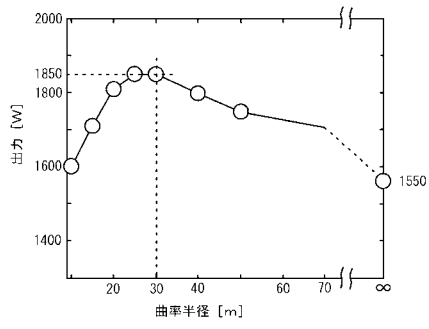
【 図 1 】



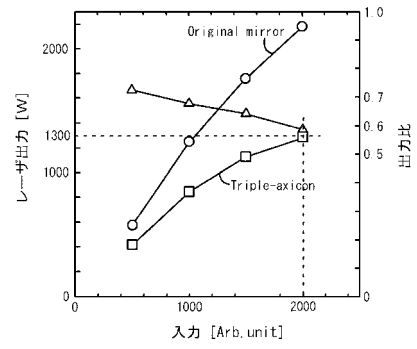
【 図 2 】



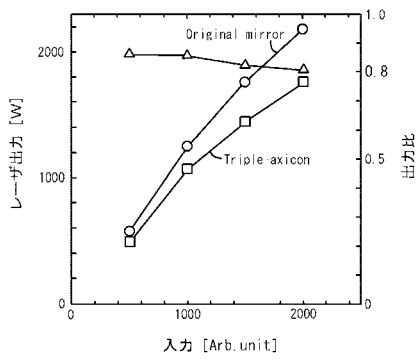
【 図 3 】



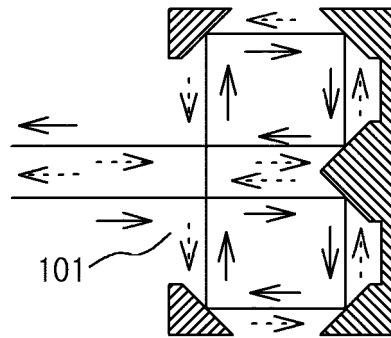
【 図 4 】



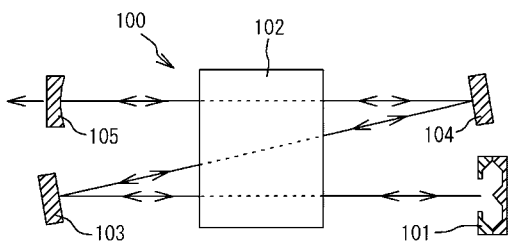
【 図 5 】



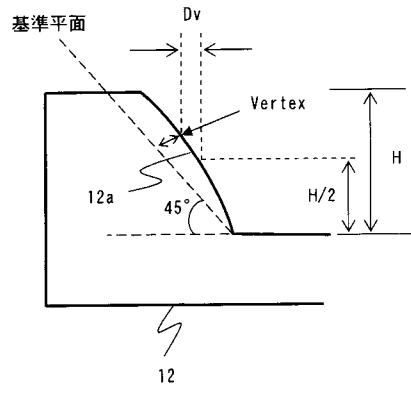
【 図 7 】



【 図 6 】



【 図 8 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 1 1 - 5 0 9 9 7 8 (J P , A)
特開昭 6 3 - 1 4 1 3 8 2 (J P , A)
特開平 0 3 - 0 6 2 5 7 9 (J P , A)
特表 2 0 0 0 - 5 0 6 3 1 9 (J P , A)
特表平 0 9 - 5 0 8 7 5 6 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 0 1 6 3 0 4 (J P , A)
特開平 0 6 - 0 6 9 5 6 5 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H 0 1 S 3 / 0 0 - 3 / 3 0