

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4018629号

(P4018629)

(45) 発行日 平成19年12月5日(2007.12.5)

(24) 登録日 平成19年9月28日(2007.9.28)

(51) Int. Cl.		F I	
HO 1 S	3/109	(2006.01)	HO 1 S 3/109
GO 2 F	1/35	(2006.01)	GO 2 F 1/35
GO 2 F	1/37	(2006.01)	GO 2 F 1/37

請求項の数 23 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2003-529585 (P2003-529585)	(73) 特許権者	506255441
(86) (22) 出願日	平成14年9月20日(2002.9.20)		クラステック-カールプシュコ レーザー
(65) 公表番号	特表2005-503676 (P2005-503676A)		テクノロジーズ ゲーエムペーハー
(43) 公表日	平成17年2月3日(2005.2.3)		K L A S T E C H - K a r p u s h k o
(86) 国際出願番号	PCT/GB2002/004307		L a s e r T e c h n o l o g i e s
(87) 国際公開番号	W02003/026081		G m b H
(87) 国際公開日	平成15年3月27日(2003.3.27)		ドイツ国 ドルトムント コンラート-ア
審査請求日	平成16年8月10日(2004.8.10)		デナウアー-アレー 11
(31) 優先権主張番号	0122670.3		K o n r a d - A d e n a u e r - A l l
(32) 優先日	平成13年9月20日(2001.9.20)		e e 11 D o r t m u n d G e r m
(33) 優先権主張国	英国 (GB)		a n y
		(74) 代理人	100075557
			弁理士 西教 圭一郎
		(74) 代理人	100072235
			弁理士 杉山 毅至

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ放射の共振器内周波数変換

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

周波数変換付きレーザ装置であって、基本周波数 のレーザ放射に対して低レベルの循環共振器内パワーを有する第1の共振器部分と、基本周波数 のレーザ放射に対して高レベルの循環共振器内パワーを有する第2の共振器部分とを含む複式光学共振器を備え、

第2の共振器部分が、共振条件において基本周波数 のレーザ放射に最高の反射率を提供する少なくとも3つのミラーで構成され、

第2の共振器部分のミラーが、基本周波数 のレーザ放射の共振反射を複式光学共振器の第1の共振器部分に戻す配置に設定され、

活性媒質が低レベルの循環共振器内パワーの第1の共振器部分内に置かれ、

少なくとも1つの非線形結晶が高レベルの循環共振器内パワーの第2の共振器部分内に置かれることを特徴とするレーザ装置。

【請求項 2】

第1の共振器部分 が第1段階のパワー増大をもたらし、かつ少なくともレーザ放射基本周波数 に関して高反射性のレーザ共振器後ろミラーと、活性媒質とを備えることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ装置。

【請求項 3】

前記第1の共振器部分が偏光および/または波長選択器も含むことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のレーザ装置。

【請求項 4】

10

20

前記第 1 の共振器部分が共振器損失変調器も含むことを特徴とする請求項 1、2 または 3 に記載のレーザ装置。

【請求項 5】

前記活性媒質に対する適当なポンピング手段が設けられることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載のレーザ装置。

【請求項 6】

前記活性媒質が適当なレーザ材料であることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載のレーザ装置。

【請求項 7】

前記レーザ材料が、適切にポンピングまたは励起されて一定の分光範囲内の放射を増幅および発光可能である固体レーザ材料であることを特徴とする請求項 6 に記載のレーザ装置。

10

【請求項 8】

前記複式共振器の共振反射器を構成する第 2 の共振器部分が少なくとも 3 つのミラーで構成され、

該ミラーのうちの 1 つのミラーが基本周波数において部分的に反射性であって、2 つの共振器部分間の共振器内結合器として働き、該ミラーのうちの他のミラーが基本周波数において高反射性であることによって、周波数変換のための少なくとも 1 つの非線形結晶が共振反射器内に置かれることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載のレーザ装置。

20

【請求項 9】

前記第 2 の共振器部分が前記レーザ基本周波数に対する非線形共振反射器として機能することを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項に記載のレーザ装置。

【請求項 10】

前記第 1 の共振器部分から前記非線形共振反射器に入射する放射に関して、非線形共振反射器の後方反射率が非線形結晶の存在により、前記第 1 の共振器部分内で循環する前記基本周波数パワーを外部結合する最適値に近くなるように自動調節されることを特徴とする請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載のレーザ装置。

【請求項 11】

前記非線形共振反射器である前記レーザ共振器の前記第 2 の共振器部分が共振器内周波数変換に対する第 2 段階のパワー増大をもたらし、それと同時に最適出力結合器として働き、したがってパワーの最大抽出を可能とすることを特徴とする請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載のレーザ装置。

30

【請求項 12】

前記複式光学共振器の前記第 2 の共振器部分が、前記基本レーザ放射周波数に関して高反射性の 2 つの端部ミラーと、前記基本レーザ放射周波数に関して部分的に透過/反射性のビームスプリッタミラーとによって形成され、3 つのミラー全てが、前記第 1 の共振器部分に対して後方の共振反射をもたらすような構造として配置され、前記ビームスプリッタと前記端部ミラーの一方との間の光路内に非線形素子を組込むことを特徴とする請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載のレーザ装置。

40

【請求項 13】

周波数変換が第 2、第 3 もしくは第 4 高調波発生、光パラメトリック発振、または共振器内ラマン周波数シフトの過程を含むことを特徴とする請求項 1 ~ 12 のいずれか 1 項に記載のレーザ装置。

【請求項 14】

前記複式光学共振器の前記非線形共振反射器を備える前記第 2 の共振器部分のミラーに対する前記レーザ放射基本周波数に関する反射率条件の他に、組み合わせられる周波数に関するこれらのミラーの反射率が、所望の方向に前記組み合わせられる周波数でレーザ放射パワーを出力するように選択されることを特徴とする請求項 1 ~ 13 のいずれか 1 項に記載のレーザ装置。

50

【請求項 15】

前記組み合わせられる周波数が第2高調波、またはOPO発生周波数、またはラマンシフト周波数であることを特徴とする請求項14に記載のレーザー装置。

【請求項 16】

単一方向出力の場合に、前記非線形共振反射器部分の端部ミラーの一方が前記組み合わせられる周波数に対して高反射性にされ、一方、前記ビームスプリッターと前記第2の端部ミラーの少なくとも一方が出力パワーの所望の方向に依存して前記組み合わせられる周波数に対して比較的透過性にされることを特徴とする請求項1～15のいずれか1項に記載のレーザー装置。

【請求項 17】

上記のレーザー共振器の前記第2の共振器部分が、1つはSHG()に対して位相整合され、もう1つは3倍化(+ 2)または4倍化(2 + 2)に対して位相整合された2つの非線形結晶を組み込み、前記レーザー放射基本周波数に関する反射条件の他に、前記レーザー共振器の前記第2の共振器部分の3つのミラー全てが前記非線形結晶内の第2高調波パワーを同様に増大するために周波数2 に関して高反射性であることを特徴とする、共振器内周波数3倍化または4倍化に適した請求項1～16のいずれか1項に記載のレーザー装置。

【請求項 18】

第3または第4高調波に対するミラーの反射率の選択が前記所望の出力方向に依存したままであることを特徴とする請求項17に記載のレーザー装置。

【請求項 19】

前記第1の共振器部分の前記後ろミラーが前記活性媒質の適切な端部に製作されることを特徴とする請求項1～18のいずれか1項に記載のレーザー装置。

【請求項 20】

前記複式共振器が、レーザー出力を最大にするように、したがって前記利得媒質に供給されるポンピングパワーに関するレーザー効率を最大にするように構成されることを特徴とする請求項1～19のいずれか1項に記載のレーザー装置。

【請求項 21】

前記複式共振器が、外乱により生じる共振器損失変動に対する出力パワーの感度を最小にするように構成されることを特徴とする請求項1～20のいずれか1項に記載のレーザー装置。

【請求項 22】

前記複式共振器内のレーザービームの横および縦モード構造をマッチングするように複式レーザー共振器の第1と第2の共振器部分のミラー曲率が選択されかつミラーがそのように構成されることを特徴とする請求項1～21のいずれか1項に記載のレーザー装置。

【請求項 23】

請求項1～22のいずれか1項に記載のレーザー装置によってレーザー放射の周波数を変換することを特徴とするレーザー放射周波数変換の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明はレーザー放射と適当な非線形光学材料との非線形な相互作用によるレーザー放射の周波数変換に関する。特に、発明は周波数逡倍(Frequency Doubling, FD)とも呼ばれる共振器内第2高調波発生(Second Harmonic Generation, SHG)と共振器内光パラメトリック発振(Optical Parametric Oscillation, OPO)に関する。発明は共振器内第3および第4高調波発生や共振器内ラマン周波数シフト(Raman Frequency Shifting, RFS)にも応用される。

【0002】

非線形周波数変換過程において、基本周波数に対するレーザーパワーを、組み合わせられる周波数(たとえば第2高調波周波数)に対するパワーへ変換する効率は非線形光学材料(非線形結晶)と相互作用する放射の強度に強く依存する。実際には、実用的に意味のある変

10

20

30

40

50

換効率を達成するためには、既知の最良の非線形結晶に対してさえ、 $10^6 \sim 10^8 \text{ W/cm}^2$ の範囲内の相互作用強度が必要である。相互作用強度を増加するには非線形結晶に入射する放射をフォーカスするのが一般的である。

【0003】

低および中パワーの連続波(CW)レーザの場合、フォーカスによる強度の増加は程々の変換効率を得るにはまだ十分でなく、非線形結晶内のレーザ光強度の更なる増大が必要である。これはレーザ共振器内に非線形結晶を置くことにより達成でき、その場合、放射パワーは同一レーザの共振器の外側から得られるパワーと比較して増加され、何十倍、あるいは何百倍もの結晶内のパワー増大がもたらされる。そのような方式はたとえばW. Koechner, "Solid-State Laser Engineering", Third Edition, Springer-Verlag, 1992

10

に議論されている。

【0004】

しかしながら、非線形結晶内の相互作用に対する十分な条件をもたらす(たとえばSHGまたはOPOのための)共振器内配置は一般的にレーザシステムの高効率性を全体として可能とはしていない。これはレーザ共振器内の基本周波数パワーの大きな増大に対する条件が、レーザに供給されるポンピングパワーの特定レベルでレーザから得られるパワーの最大抽出に対する条件と一致しないからである。

【0005】

レーザから発生されたパワーの最大外部結合に関して、有用な共振器損失はポンピングパワーの増加を伴って増加する一定の(最適な)値を持つ必要がある。共振器損失は2つの部分から成り、第1の部分はレーザ出力による有用な損失であり、第2の部分は共振器コンポーネントによる散乱、再吸収、残留反射および/または透過、およびその他の要因によるレーザ共振器からの不可避のパワー消失の結果としての内部(無用とも呼ばれる)共振器損失である。非線形結晶内の有効な相互作用のためにはパワー増大係数は常に高い必要がある。これは共振器損失を合理的に出来るだけ小さい値まで低下することにより達成出来るが、これはその最適値から外れたレーザパワーを外部結合する条件に帰着する。

20

【0006】

共振器内パワー増大とレーザ共振器からの最適パワー抽出の間のこの関係の結果、レーザに加えられるポンピングパワーに対する共振器内SHG(またはOPOのような他の共振器内周波数変換過程)の全体効率は低く、通常は10%よりずっと小さい。

30

【0007】

レーザ放射の周波数変換のための上記の共振器内配置のもう1つの欠点は、レーザ出力が熱効果、空気による散乱等の小さな環境変化に非常に敏感であることである。共振器損失は小さな値に維持されるので、小さな外乱はレーザ共振器の有用損失と内部損失の間のバランスを著しく変化させ、レーザ出力の大きな変動を招く。これはレーザ安定性を減じ、安定化手段と、用いられるレーザコンポーネントの厳しい許容誤差を必要にさせる。

【0008】

本発明の目的はレーザ放射の共振器内周波数変換、特に(排他的ではないが)共振器内SHGおよび共振器内OPOに対する上記の欠点の1つまたはそれ以上を除去または減少し、レーザシステム全体の効率と安定性の改善をもたらすことである。

40

【0009】

本願発明者は二重増大共振器内周波数変換(Double Enhanced IntraCavity Frequency Conversion, DENICAF C)と呼ばれる共振器内周波数変換、特に(排他的ではないが)二重増大共振器内周波数通倍(Double Enhanced IntraCavity Frequency Doubling)に関する新しい概念を確立したが、これはレーザ共振器の外部から得られるパワーに関して2段階で非線形結晶と相互作用するパワーを増大(二重増大)可能な複式共振器を用いることに基づいている。

【0010】

本発明の第1の局面に従えば、第1および第2の異なるレベルの循環共振器内パワーを有する2つの共振器部分から成る複式光学共振器を備える周波数変換付きレーザ装置であ

50

って、少なくとも1つの非線形結晶が循環パワーの大きい方の共振器部分内に配置され、活性媒質が循環パワーの小さい方の共振器部分内に配置されるレーザ装置が提供される。

【0011】

全体の増大係数が各段階の増大係数の積である2段階でのパワー増大を達成する利点は、共振器内非線形結晶内の相互作用するレーザパワーの大きな増大に対する条件とレーザからの出力される最大パワーに対する条件の両方が同時に満足されるように設計における更なる自由度をもたらすことである。これら2段階の増大をもっと詳細に説明する。

【0012】

前記複式光学共振器において、第1の共振器部分は第1段階のパワー増大をもたらし、レーザ放射の基本周波数 に関して高反射性のレーザ共振器後ろミラーと活性(利得)媒質とを少なくとも備える。

10

【0013】

第1の共振器部分はまた偏光および/または波長選択器を含んでもよい。第1の共振器部分はまた、たとえばQスイッチに使用されるような共振器損失変調器を含んでもよい。活性(利得)媒質に対する適当なポンピング手段が一般的に設けられる。

【0014】

「活性(利得)媒質」という用語は、適切にポンピングまたは励起されて一定の分光範囲内の放射を増幅および発光可能である適当なレーザ材料、特に固体(たとえば結晶質、ガラス質、半導体、面発光型半導体レーザ-VCSL構造のような半導体化合物等)レーザ材料を差すが、必ずしも固体レーザ材料でなくてもよい。

20

【0015】

複式共振器の第2の部分は少なくとも1つの非線形結晶を組み込んだ共振反射器を備える。光学的非線形体が内蔵される結果、この共振器部分はレーザ基本周波数 における非線形共振反射器として機能する。第1の共振器部分から非線形共振反射器に入射する放射に対するその後方反射率は非線形結晶の存在により、第1の共振器部分内で循環する基本周波数パワーを外結合するのに最適な値に近くなるように自動調節される。

【0016】

周波数変換用の非線形光学媒質を共振反射器配置内に置くことにより共振器部分のパワー増大特性を使用できる。これはまた共振反射器の更なる特徴、即ち、レーザ共振器の第1の部分から外部結合するパワーに関する最適値に近くなるように基本周波数 に対するその後方反射率を自動調節することを生じ、かつそれを使用する。

30

【0017】

こうして非線形共振反射器である上記のようなレーザ共振器の第2の部分は共振器内周波数変換に対して第2段階のパワー増大をもたらし、それと同時に最適出力結合器として働き、したがって、最大のパワー抽出を可能にする。自動調節特性は改善された安定性と共振器コンポーネントの製造および/またはアライメントにおけるより緩い許容誤差に帰結する。

【0018】

共振器内周波数変換に適した1つの好ましい実施形態において、前記複式光学共振器の前記第2の共振器部分は基本レーザ放射周波数 に関して高反射性の2つの端部ミラーと基本レーザ放射周波数 に関する部分的に透過/反射性のビームスプリッタミラーとにより形成され、3つのミラーは全て、第1の共振器部分に対して後方の共振反射をもたらすような構造として配置され、ビームスプリッタと前記端部ミラーの一方との間の光路中に非線形素子を組み入れる。

40

【0019】

周波数変換は第2、第3および第4高調波発生、光パラメトリック発振および共振器内ラマン周波数シフト等の過程を含む。

【0020】

複式光学共振器の非線形共振器反射器部分を備える第2の共振器部分のミラーに対するレーザ放射基本周波数 に関する上記の反射率条件の他に、組み合わせられる周波数(たと

50

えば第2高調波、またはOPOで発生された、あるいはラマンシフトされた周波数)に関するこれらのミラーの反射率は前記組み合わせられる周波数に対するレーザ放射を所望の方向に出力するように選択できる。

【0021】

単一方向出力の場合、非線形共振反射器部分の端部ミラーの一方は組み合わせられる周波数に対して高反射性にされ、一方、ビームスプリッタと他端のミラーの少なくとも一方は組み合わせられる周波数に対して出力パワーの所望の方向に依存して比較的透過性にされる。

【0022】

共振器内周波数3倍化および4倍化に適した別の好ましい実施形態において、上記のようなレーザ共振器の前記第2の共振器部分は、1つはSHG()に対して位相整合された、もう1つは3倍化(+ 2)または4倍化(2 + 2)に対して位相整合された2つの非線形結晶を組み込み、レーザ放射基本周波数 に関する反射条件の他に、レーザ共振器の第2の共振器部分の3つのミラーの全ては、非線形結晶内の第2高調波パワーを同様に増大するために周波数2 に関して高反射性であってもよい。第3および第4高調波に対するこれらのミラーの反射率の選択はやはり所望の出力方向に依存する。

【0023】

前記第1の共振器部分の後ろミラーは活性(利得)媒質の適当な端部に製作してもよい。

【0024】

複式共振器は好ましくはレーザ出力を最大にするように、したがって利得媒質に供給されるポンピングパワーに関するレーザ効率を最大にするように構成される。複式共振器は好ましくは外乱により生じる共振器損失変動に対して出力パワーの感度を最小にするように構成される。

【0025】

複式共振器内のレーザビームの横および縦モード構造をマッチングするように複式レーザ共振器の第1と第2の部分のミラー曲率が選択され、またそのようにミラーが構成される。

【0026】

さらに上記のような装置によるレーザ放射周波数変換の方法が提供される。

本発明の実施形態を添付図面を参照して例示のみを目的として説明する。

【0027】

図1は共振器内周波数通倍に対して前に提案されたレーザ共振器主要光学コンポーネントの配置を示し、共振器後ろミラー20、活性(利得)媒質21、非線形結晶30およびミラー31は、周波数2 (第2高調波)で発生されたパワーの単一方向抽出を可能にするように共振器折り曲げミラー32により折り曲げられた直線型(リング形状ではない)のレーザ共振器を備える。波状の矢印34は活性媒質21の適当なポンピングが行われることを示す。そのような配置において、3つのミラー20、32、および31は全てレーザ基本周波数に対し高反射性にされる。一般的に、これらのミラーの反射率はミラー製造者により技術的に可能な100%近くにされる。第2高調波パワーの単一方向抽出に対して、ミラー31もまた周波数2 に対して高反射性にされ、一方、折り曲げミラー32は周波数2 に対して出来るだけ透明にされる。こうして、共振器は共振し、基本周波数に対して循環レーザパワーを増大する。結晶30内の非線形相互作用により発生された組み合わせられる周波数である2 の組み合わせられる周波数におけるパワーは「前方 後方に」(往復して)非線形結晶30を通過する度に、光路36で示すように折り曲げミラー32を通過して射出される。

【0028】

この方式において、発生された基本周波数パワーの唯一の有用損失は非線形結晶30による第2高調波パワーへの非線形変換によるものであり、低または中パワー(数ミリワット乃至数ワットの範囲内)の連続波(CW)の場合に共振器一往復に付き通常は1%未満

10

20

30

40

50

である。非線形結晶および活性媒質の端面に反射防止（AR）膜を使用し、レーザ利得媒質 21 の裏面 38 に共振器ミラー 20 を形成することにより内部共振器損失を最小にする注意深い手段にも関わらず、基本周波数 に対する AR 膜面の残留反射率と共振器ミラーの残留透過率は共振器回折損失、活性媒質と非線形結晶内の散乱および再吸収と共に発生された基本パワーのかなりの無用損失を招き、これは共振器一往復に付き 1% 程度であり、それを越えることさえある。その結果、全体の共振器損失は内部（無用）の部分により支配され、したがって、ポンピングパワーに関して全体のレーザ効率をかなり小さくし、如何なる外乱に対しても非常に敏感にする。

【0029】

図 2 は本願発明者が名付けるところの二重増大共振器内周波数通倍（DENICAFD）の方法を実行する装置の実施形態を示す。複式共振器の第 1 の部分は、上述と同様に、レーザ基本周波数 に対して高反射率を有する共振器後ろミラー 20 と、活性（利得）媒質 21 を備える。それはまた偏光および/または波長選択器 40, 42, および共振器損失変調器 44 などの他の光学素子も含む。共振器後ろミラー 20 はまた活性媒質 21 の裏面 38 に付けてもよい。図面の波状の矢印 34 は活性媒質 21 の適当なポンピングが行われることを示す。

【0030】

レーザ共振器の第 2 の部分は非線形共振器反射器を構成し、周波数通倍に対して位相整合条件をもたらすように、レーザ基本周波数 に対して高反射性の 2 つの端部ミラー 45 および 46 と、周波数 に対して部分的に反射性のビームスプリッタミラー 48 と、適当な向きを有する非線形結晶 30 とを備える。レーザの最高効率を達成するために、ミラー 20, 45 および 46 の反射率は必要な基本レーザ周波数 に対して技術的に出来るだけ 100% に近くされるべきである。もし基本周波数に対してレーザから最大パワーを単純に抽出するために（非線形共振反射器ではなく）最適出力結合器を用いる場合は、ビームスプリッタミラー 48 の適切な部分反射率値は、最適出力結合器に対して選ばれたであろう反射率近辺の範囲内にある値である。当業者はそのような配置に対する最適反射率を達成するための基準を熟知している。

【0031】

図 2 の共振器配置において、例示のみを目的として、非線形結晶 30 をミラー 48 とミラー 45 との間の非線形共振反射器光路内に、即ち共振器の第 1 の部分の光軸に対して曲げて示す。非線形結晶はミラー 46 とミラー 48 との間の光路に置いてよい。第 1 の共振器部分の光軸に対するレーザ共振器の非線形共振反射器部分の折り曲げ角度（たとえば 90°）の選択、したがってビームスプリッタ 48 の傾斜角の選択には、設計とアライメントの都合により要求されるもの以外は特別な制約はない。

【0032】

レーザ共振器ミラーの上記の反射率では、図 2 の共振器内を循環する基本周波数パワーは 2 つの異なるレベル、即ち、共振器後ろミラー 20 とビームスプリッタミラー 48 の間の共振器光路内の低レベルと、ミラー 46, 48 および 45 の間の非線形共振反射器光路内の高レベルを有する。しかしながら、低レベルは、レーザ共振器外にあるとした場合のものに比較して既に増大されたレベルの基本周波数パワーである。したがって、レーザ共振器の非線形共振反射器部分内に置かれた非線形結晶に対して、基本周波数パワーの 2 段階の増大がある。共振反射器内に組み込まれた光学的非線形性のために、後方反射率（共振器後ろミラー 20 の方向の）はレーザ共振器の第 1 の部分内で循環している基本周波数パワーを外結合するための最適値に近くなるように自動調節される。これは活性（利得）媒質に供給されるポンピングパワーに関して最大の第 2 高調波出力、したがって最適レーザ効率に対する条件をもたらし、外乱とレーザ共振器コンポーネントの小さな許容誤差仕様によるレーザ共振器内部損失変動に対するレーザ出力の感度を最小にする。

【0033】

レーザからの第 2 高調波パワーの単一方向出力のために配置するには、周波数 2 に対するミラー 45, 48 および 46 の反射率は適切に選ばなければならない。たとえば図 2

10

20

30

40

50

に示すような場合、ミラー 45 は 2 に対して高反射性であり、ビームスプリッタ 48 は 2 に対して高透過性である。したがって、第 2 高調波出力パワーは光路 36 で示すように向けられる。あるいは、第 2 高調波パワーがミラー 46 を通って出力されるためには、後者は周波数 2 に対して高透過性でなければならず、一方、ミラー 45 とビームスプリッタ 48 は共に 2 に対して高反射性でなければならない。

【0034】

図 3 は二重増大共振器内周波数逡倍を実行するための代替のレーザ共振器配置を示す。レーザ基本周波数に対する共振器ミラーの反射率に対する要件はビームスプリッタミラー 48 の反射率値以外は図 2 の配置の場合と同じである。この場合、基本周波数に対するレーザの最適性能のためのミラー 48 の反射率は図 2 の配置のビームスプリッタ 48 の透過率に近似的に等しくなければならない。共振器の第 1 と第 2 の部分の光軸の間の角度の選択に関しても、共振器（共振反射器）の第 2 の部分のどの光路に非線形結晶を置くべきかに関しても特別な制約はない。やはり図 2 に示す配置の場合のように、第 2 高調波周波数 2 に対するミラー 45, 48 および 46 の反射率は単一方向第 2 高調波出力を所望の方向に与えるように適切に選択される。

10

【0035】

上記両方の場合、複式レーザ共振器を構成するミラーの曲率と、それらの間の距離は共振器内のレーザビームの横および縦モード構造をマッチングするように選択される。当業者はこの選択に対する基準を熟知している。

【0036】

図 4 は二重増大共振器内周波数 3 倍化に使用するための図 2 の共振器配置の拡張を示す。この場合、和周波過程 ($\omega + 2\omega$) を位相整合する向きにある第 2 の非線形結晶 50 がレーザ共振器の共振反射器内に置かれる。ミラー 45, 46, および 48 は第 2 高調波周波数 2 に対して高反射性であり、一方、基本周波数に関するそれらの反射率に対する条件は図 2 の場合と同じままである。したがって、光路 52 で示す第 3 高調波パワーの単一方向出力に関して、ミラー 45 は周波数 3 に対しても高反射性であり、一方、ビームスプリッタ 48 は周波数 3 に対して高透過性である。

20

【0037】

第 4 高調波周波数 4 に対する共振器反射器ミラーの適切な反射率を用いて第 2 高調波周波数 2 をさらに逡倍する図 4 の配置における第 2 の非線形結晶 50 の位相整合条件を選択することにより、二重増大共振器内周波数 4 倍化が達成できる。

30

【0038】

熟達した読者には、発明が上に詳述された具体的な実施と用途に限定されないことは言うまでもないであろう。上で議論された構造はまた二重増大共振器内周波数変換 (DENICAF) と呼ばれるものより一般的な意味における、たとえば共振器内光パラメトリック発振 (OPO) または共振器内ラマン周波数シフト (RFS) における本発明の実施に適している。そのような場合、非線形結晶に対する位相整合条件や共振反射器ミラーの反射率はアイドラー波およびシグナル波の周波数 (OPO)、あるいは対応するストック周波数 (RFS) に関して適宜選択しなければならない。

【図面の簡単な説明】

40

【0039】

【図 1】共振器内 SHG に広く使用される既知のレーザ共振器配置を示す。

【図 2】本発明の実施の一形態に従う二重増大共振器内周波数逡倍に適したレーザ共振器構造を示す。

【図 3】二重増大共振器内周波数逡倍に適した代替の共振器構造を示す。

【図 4】二重増大共振器内周波数 3 倍化または 4 倍化に適したレーザ共振器構造を示す。

【 図 1 】

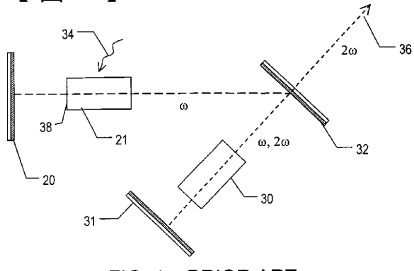


FIG. 1 - PRIOR ART

【 図 3 】

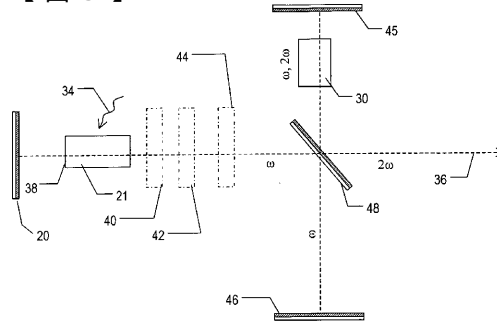


FIG. 3

【 図 2 】

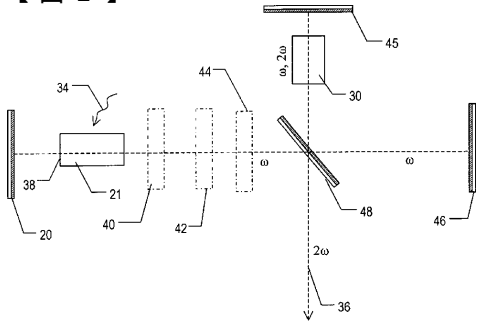


FIG. 2

【 図 4 】

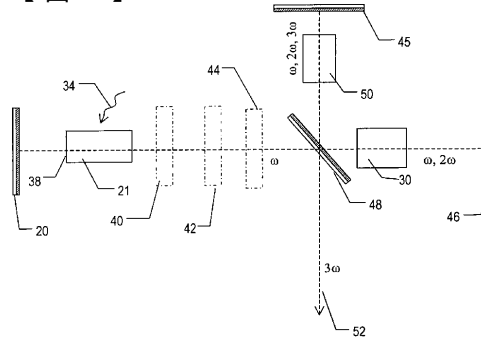


FIG. 4

フロントページの続き

(74)代理人 100135220

弁理士 石田 祥二

(72)発明者 カールプシュコ, フェドール ファウ.

ドイツ国 ドルトムント アムステルダマー ヴェーク 12 ベー

審査官 前川 慎喜

(56)参考文献 特開平03 - 145777 (JP, A)

特開平09 - 167868 (JP, A)

特開平11 - 068210 (JP, A)

特開平06 - 143437 (JP, A)

特開平05 - 243661 (JP, A)

特開平02 - 301178 (JP, A)

特開平03 - 248588 (JP, A)

特開平02 - 195332 (JP, A)

特開平02 - 156690 (JP, A)

特開平02 - 126242 (JP, A)

特開平01 - 274487 (JP, A)

特公昭49 - 008478 (JP, B1)

特公昭48 - 021797 (JP, B1)

特開昭47 - 022690 (JP, A)

特公昭46 - 032550 (JP, B1)

(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 -
3/30、4/00

G02F 1/29 - 7/00