

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5164151号  
(P5164151)

(45) 発行日 平成25年3月13日(2013.3.13)

(24) 登録日 平成24年12月28日(2012.12.28)

(51) Int. Cl.	F I	
HO 1 S 3/08 (2006.01)	HO 1 S 3/08	
HO 1 S 3/042 (2006.01)	HO 1 S 3/04	L
HO 1 S 3/0941 (2006.01)	HO 1 S 3/094	S
HO 1 S 3/106 (2006.01)	HO 1 S 3/106	
GO 2 B 5/18 (2006.01)	GO 2 B 5/18	

請求項の数 5 (全 8 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2008-29784 (P2008-29784)	(73) 特許権者	304021831 国立大学法人 千葉大学 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号
(22) 出願日	平成20年2月8日(2008.2.8)	(73) 特許権者	504173471 国立大学法人北海道大学 北海道札幌市北区北8条西5丁目
(65) 公開番号	特開2009-188361 (P2009-188361A)	(72) 発明者	尾松 孝茂 千葉県千葉市稲毛区弥生町1番33号 国立大学法人 千葉大学 工学部内
(43) 公開日	平成21年8月20日(2009.8.20)	(72) 発明者	森田 隆二 北海道札幌市北区北13条西8丁目 国立大学法人 北海道大学 大学院工学研究科内
審査請求日	平成23年2月4日(2011.2.4)	審査官	傍島 正朗

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 軸対称偏光レーザー発振装置及び軸対称偏光レーザー発振方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

励起光を発するレーザーダイオードと、  
Ndイオンドープバナデート結晶を含み、前記励起光により直線偏光成分を有する光を発するレーザー増幅器と、

前記レーザー増幅器を挟んで配置される全反射ミラー及び偏光選択性回折格子ミラーを備え、レーザー光を発振する共振器と、

前記共振器内における前記偏光選択性回折格子ミラーと前記レーザー増幅器の間に配置される1/4板を有し、

前記1/4板は、前記レーザー増幅器側から入射される光の直線偏光成分を円偏光成分に変更して前記偏光選択性回折格子ミラーに入射させる一方、前記偏光選択性回折格子ミラー側から反射して入射される光の円偏光成分を直線偏光成分に変更する軸対称偏光レーザー発振装置。

【請求項2】

前記共振器内であって、前記レーザー増幅器を挟むように配置される一对のシリンダリカルレンズと、を有する請求項1記載の軸対称偏光レーザー発振装置。

【請求項3】

前記レーザー増幅器は、Nd:YVO<sub>4</sub>を含む、請求項1記載の軸対称偏光レーザー発振装置。

【請求項4】

レーザーダイオードによりNdイオンドープバナデート結晶を含むレーザー増幅器を励起して直線偏光成分を有する光を発生し、

前記光の前記直線偏光成分を1/4板に入射して円偏光成分に変更し、

前記1/4板から透過した光を偏光選択性回折格子ミラーに入射する一方、前記偏光選択性回折格子ミラー側から反射して入射される光の円偏光成分を前記1/4板で直線偏光成分に変更するとともに、

前記レーザー増幅器及び前記1/4板を挟みつつ、前記偏光選択性回折格子ミラーと全反射ミラーにより共振器を形成してレーザー発振を行う、軸対称偏光レーザーの発振方法。

【請求項5】

前記レーザー増幅器は、Nd:YVO<sub>4</sub>を含む請求項4記載の軸対称偏光レーザーの発振方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、軸対称偏光レーザー発振装置及び軸対称偏光レーザー発振方法に関する。

【背景技術】

【0002】

軸対称偏光レーザーは、光軸に対して偏光が対称となっているベクトルビームであり、光軸上で偏光の特異点を有しているためドーナツ状の強度分布を有する。また、特に、径方向軸対称偏光レーザーは強く集光した際に焦点付近に光軸に平行な強い電場分布が生じるため、光マニピュレーション、レーザー顕微鏡、プラズマ制御等への応用が期待されている。

【0003】

軸対称偏光レーザーの発振に関する従来技術として、例えば下記非特許文献1に、CO<sub>2</sub>レーザーに偏光選択性回折格子ミラーを適用することにより軸対称偏光レーザーを発振する技術が開示されている。

【0004】

【非特許文献1】Tobias Moserら, APPLIED OPTICS, Vol. 45, No. 33, 2006

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、上記非特許文献1に記載の技術は、CO<sub>2</sub>をレーザー結晶として用いているが、CO<sub>2</sub>は熱光学特性が良好ではなく、安定した軸対称偏光モードの発生に向かない。

【0006】

そこで、本発明は、上記課題をかんがみ、より安定的かつ容易に軸対称偏光レーザーが発振可能な方法及びそのための装置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】

【0007】

本発明者らは上記課題を鑑み、鋭意検討を行なったところ、発振される光に含まれる直線偏光を円偏光に変化させて偏光選択性回折格子ミラーに入射させることで容易に軸対称偏光レーザーを発振できることを発見し、本発明を完成させるに至った。

【0008】

すなわち、本発明の一つの切り口である軸対称偏光レーザー発振装置は、励起光を発生するレーザーダイオードと、励起光を増幅するレーザー増幅器と、レーザー増幅器を挟んで配置される全反射ミラー及び偏光選択性回折格子ミラーを備え、レーザー光を発振する共振器と、共振器内に配置される1/4板と、を有する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 9 】

また、本発明の他の切り口である軸対称偏光レーザーの発振方法は、レーザーダイオードにより光を励起し、励起した光を1/4板に入射し、1/4板から透過した光を偏光選択性回折格子ミラーに入射する。

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 1 0 】

以上、本発明により、より安定な軸対称偏光レーザーが発振可能な方法及びそのための装置を提供することができる。

## 【 発明を実施するための最良の形態 】

## 【 0 0 1 1 】

以下、本発明の実施形態について図面を参照しつつ説明する。ただし、本発明は多くの異なる態様で実施することが可能であり、以下に示す実施形態に限定されるものではない。

## 【 0 0 1 2 】

## (実施形態1)

図1に、本実施形態に係る軸対称偏光レーザー発振装置(以下「本装置」という。)の概略図を示す。本図で示すように、本実施形態に係る軸対称偏光レーザー発振装置1は、励起光2を発するレーザーダイオード11と、レーザーダイオード11から発せられた光を増幅するレーザー増幅器12と、レーザー増幅器12を挟んで配置される全反射ミラー131及び偏光選択性回折格子ミラー132を備え、レーザー光を発振する共振器と、共振器内に配置される1/4板14と、を有する。

## 【 0 0 1 3 】

また、本装置は、上記構成のほか、1/4板14とレーザー増幅器12の間、レーザー増幅器12と全反射ミラー131の間のそれぞれに、レーザー光を円形状にするためのシリンドリカルレンズ151、152がそれぞれ配置され、更に本装置は1/4板14に入射される光の径を拡大するためのビームエキスパンダー16が1/4板14を挟んで配置されている。

## 【 0 0 1 4 】

本実施形態において、レーザーダイオード11は、所望の波長を含む光を励起できる限りにおいて限定されるわけではなく、種々のレーザーダイオードを採用することができる。

## 【 0 0 1 5 】

本実施形態において、レーザー増幅器12は、レーザーダイオード11から発せられた光を増幅するためのものである。本実施形態においてレーザー増幅器12は、1/4板14により直線偏光を円偏光に変換することが容易にできるよう、直線偏光を発するレーザーダイオードであることが好ましく、例えばNd:YVO<sub>4</sub>、Nd:GdVO<sub>4</sub>などのNdイオンドープバナデート結晶を含むものであることが好ましい。特にNd:YVO<sub>4</sub>を用いると高強度な直線偏光を得ることができる点において好ましい。

## 【 0 0 1 6 】

本実施形態において、1/4板14は、直線偏光を円偏光に変換するための素子であり、この機能を有する限りにおいて限定されず公知のものを適宜採用することができる。配置としては、共振器内であれば効果を奏することができるが、直線偏光を確実に円偏光にしてから偏光選択性回折格子132に入射させるためにレーザー増幅器12と偏光選択性回折格子132との間に配置しておくことが好ましい。

## 【 0 0 1 7 】

本実施形態において偏光選択性回折格子ミラー132は、一方の面に同心円状に凹凸が形成されたミラーであり、凹凸の周期は出射させる光の波長にあわせてある。概略図を図2に示しておく。本実施形態において、この偏光選択性回折格子ミラー13は円偏光が入射されることでTE-モードを励起し、この結果、周回偏光モードでレーザー発振を起こすことができる。なお、本実施形態に係る偏光選択性回折格子ミラーにおいて、大きさ、

10

20

30

40

50

凹凸の数や材質等は所望の波長等により適宜調整可能である。

【0018】

本実施形態において、全反射ミラー131は、レーザー増幅器から発振されるレーザー光2のうち、1/4板14の側に入射されない方向の光、及び、偏光選択性回折格子ミラー132から反射した励起光の一部を反射させ、1/4及び前記偏光選択性回折格子ミラーに再び入射させる機能を有する。このようにすることで本装置は、全反射ミラー131と偏光選択性回折格子ミラー132との間で共振器を形成する。

【0019】

本実施形態において、シリンダカルレンズ151、152は、上記のとおりレーザーダイオードからの励起光を円形状にするためのものであり、特に限定はされず公知のものを適宜採用、調製することで実現できる。またビームエキスパンダー16は、偏光選択性回折格子ミラー13のアーチャを有効に利用するためにレーザーモードサイズを調整することができるものであり、この機能を有する限りにおいて限定されるわけではないが、例えば対物レンズと平凸レンズとを組み合わせることで容易に実現可能である。

【0020】

次に、上記の記載から明らかとなっているが、本装置を用いて軸対称偏光レーザーの発振方法について説明する。

【0021】

まずレーザーダイオード11により励起された光はレーザー増幅器12で増幅され、一部が1/4板14側に進み、他の一部が1/4板14とは反対側に進む。1/4板14に入射された光は、直線偏光成分が円偏光成分に変換され円偏光となる。そしてこの円偏光は更に偏光選択性回折格子ミラー13に入射され、この光の一部がレーザー増幅器12とは反対側の面から装置外に放出され、他の一部は再びレーザー増幅器12側に反射される。なおこの反射された光は再び1/4板14を通過して直線偏光となり、レーザー増幅器12及び全反射ミラー131により反射され再び1/4板14に入射され、更にその一部が装置外に、その他の一部が再びレーザー増幅器12側に反射されこれが繰り返される。1/4板14側の反対側に進む光は、全反射ミラー131により反射された後、上記した1/4板14側に進む光と同様の経路をたどる。

【0022】

以上の通り、本実施形態によると、レーザーダイオード、レーザー増幅器、1/4板、偏光選択性回折格子ミラー、全反射ミラーといった非常に簡易な構成によって軸対称偏光レーザー光を得ることができる。特に、本実施形態では強い直線偏光を用いて安定かつ容易に軸対称偏光レーザー光を得ることができるため、レーザーダイオードの選択の余地が広がり、例えば高強度のNd:YVO<sub>4</sub>レーザー光を得ることができる。

【実施例】

【0023】

以下、上記実施形態に係る軸対称偏光レーザー発振装置を実際に作製し、その効果を確認した。以下に示す。なおもちろん、上記実施形態に係る軸対称偏光レーザー発振装置は一例に過ぎず、以下に具体的に示す実施例に限定されるわけではない。

【0024】

(実施例1)

図3に、本実施例に係る軸対称偏光レーザー発振装置の概略図について示す。本図に示すように、本実施例に係る軸対称偏光レーザー発振装置は、励起用半導体レーザーLDと、レーザー増幅器(1.0at%、Nd:YVO<sub>4</sub>、20mm×5mm×2mm)Aと、レーザー増幅器Aから所定位置に配置された全反射ミラーHRMと、全反射ミラーHRMとレーザー増幅器Aとの間に配置されるシリンダカルレンズ(f=50mm)CL1、レーザー増幅器と所定位置に配置され、下記表1に示される特性を有する偏光選択性回折格子ミラーPCM、偏光選択性回折格子ミラーPCMと増幅器Aとの間に配置されるシリンダカルレンズ(f=50mm)CL2、1/4板QWP、更に1/4板QWPを挟んで配置されるビームエキスパンダー(×4.5)BEを有して構成されている。なお、本

10

20

30

40

50

実施例において、レーザー増幅器 A の中心部と全反射ミラー HRM の距離は 320 mm とし、偏光選択性回折格子ミラー PCM とレーザー増幅器の中心部との距離は 585 mm とした。なおこの軸対称偏光レーザー発振装置から発振されるレーザーの波長は 1064 nm となっている。

【表 1】

反射特性	反射方向 $>90 \pm 5\%$
	周方向 $<20\%$
スクラッチーディグ	80-50
素子寸法	$\phi 5\text{mm}$

10

【0025】

そして、この軸対称偏光レーザー発振装置により出力される光の強度、形状について評価を行なった。この結果を図 4、図 5 に示す。

【0026】

図 4 は、本実施形態に係る軸対称偏光レーザー発振装置から出力される光の出力特性を示す図である。横軸は入力 (Pump Power (W)) を、縦軸は出力 (Output Power (W)) をそれぞれ示している。本図で示すように、本実施例に係る軸対称偏光レーザー発振装置においてレーザー発振が確実に行なわれていることを確認した。

【0027】

また図 5 は、軸対称偏光レーザーの形状を示す図であり、図 5 (A) は全強度分布 (偏光板配置せず) を、図 5 (B) は紙面縦方向の偏光を遮断した場合 (縦方向の偏光成分を反射させる偏光板を配置した場合) におけるレーザーの形状を、図 5 (C) は紙面横方向の偏光を遮断した場合 (紙面横方向の偏光成分を反射させる偏光板を配置した場合) におけるレーザーの形状を、図 5 (D) は、紙面縦方向から時計回りに  $45^\circ$  傾いた方向の偏光を遮断した場合 (縦方向から時計回りに  $45^\circ$  傾いた偏光成分を反射させる偏光板を配置した場合) におけるレーザーの形状をそれぞれ示す。この結果、本図で示すように、軸対称偏光レーザーとなっていることが確認できた。

20

【産業上の利用可能性】

【0028】

本発明は、軸対称偏光レーザー発振装置として産業上の利用可能性がある。

30

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図 1】実施形態におけるレーザー発振装置の概略を示す図である。

【図 2】実施形態における偏光選択性回折格子ミラーの概略を示す図である。

【図 3】実施例におけるレーザー発振装置の光学系を示す図である。

【図 4】実施例におけるレーザーの出力特性を示す図である。

【図 5】実施例における軸対称偏光レーザーの形状を示す図である。

【符号の説明】

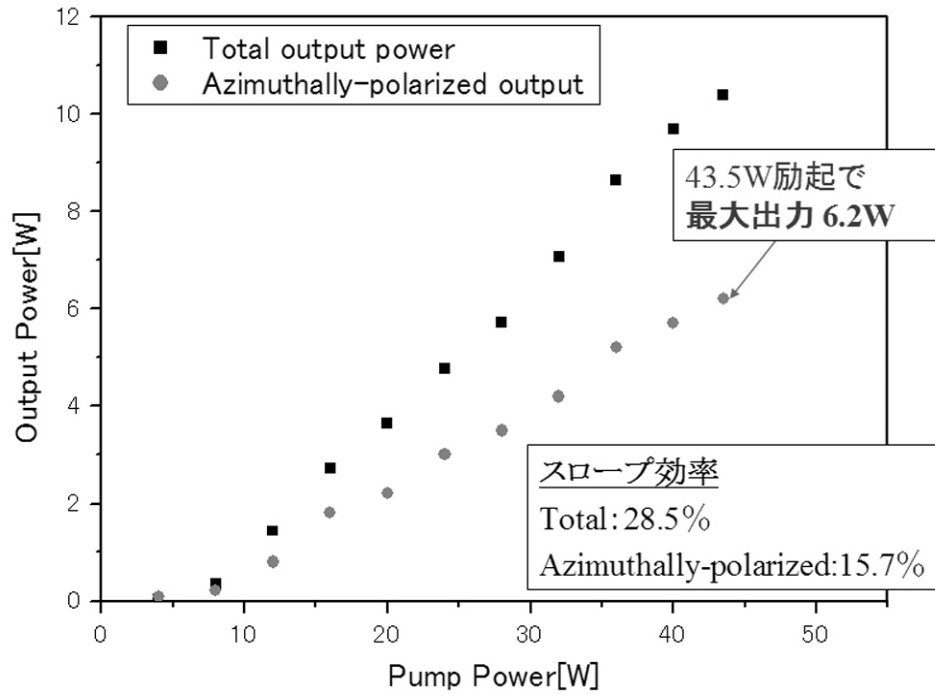
【0030】

11 ... レーザーダイオード、12 ... 増幅器、131 ... 全反射ミラー、132 ... 偏光選択性回折格子ミラー、14 ...  $1/4$  板、151, 152 ... シリンドリカルレンズ、16 ... ビームエキスパンダー

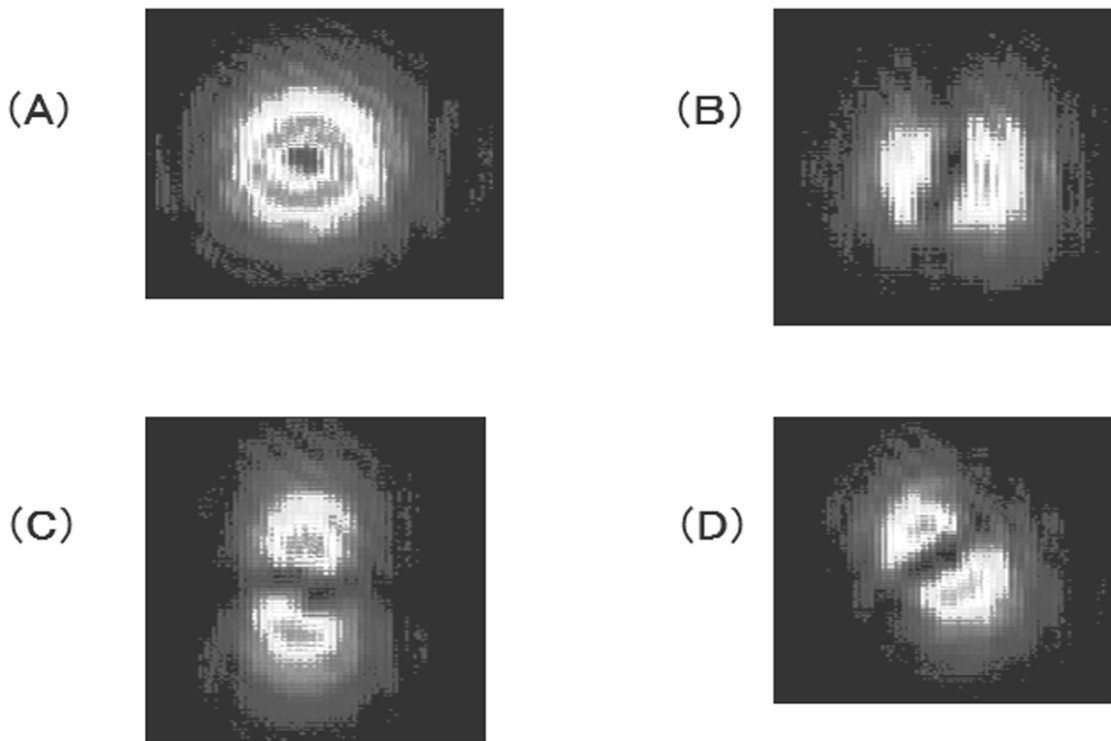
40



【 図 4 】



【 図 5 】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 0 2 B 5/30 (2006.01) G 0 2 B 5/30

- (56)参考文献 特開平01-189972(JP,A)  
特開2007-227853(JP,A)  
特開2002-134816(JP,A)  
特開2008-010316(JP,A)  
国際公開第08/117528(WO,A1)  
特開平06-037372(JP,A)  
特開2005-070108(JP,A)  
特表平11-509978(JP,A)  
T. Moser, et al., Generation of radially polarised beams in Nd:YAG lasers, Conference on Lasers and Electro-Optics Europe, 2003. CLEO/Europe. 2003, 2003年, p.102  
T. Moser, et al., Intracavity generation of radially polarized CO2 laser beams based on a simple binary dielectric diffraction grating, Applied Optics, 2006年11月20日, Vol.45, No.33, pp.8517-8522

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 S 3 / 0 0 - 5 / 5 0  
C i N i i  
W P I  
J S T P l u s ( J D r e a m I I )