

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-96510

(P2014-96510A)

(43) 公開日 平成26年5月22日(2014.5.22)

(51) Int.Cl.  
H01S 3/063 (2006.01)

F I  
H01S 3/06

テーマコード(参考)  
5F172

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2012-248061 (P2012-248061)  
(22) 出願日 平成24年11月12日(2012.11.12)

(71) 出願人 000006013  
三菱電機株式会社  
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号  
(74) 代理人 100113077  
弁理士 高橋 省吾  
(74) 代理人 100112210  
弁理士 稲葉 忠彦  
(74) 代理人 100108431  
弁理士 村上 加奈子  
(72) 発明者 渡辺 洋次郎  
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三  
菱電機株式会社内  
(72) 発明者 崎村 武司  
東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三  
菱電機株式会社内

最終頁に続く

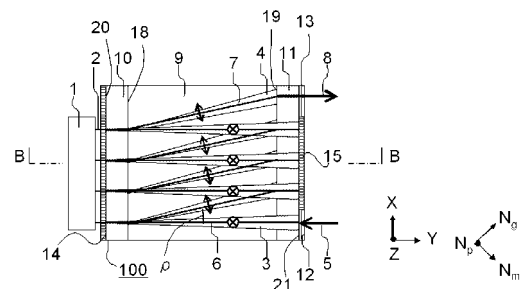
(54) 【発明の名称】 光増幅器

(57) 【要約】

【課題】 レーザ光と励起光のビームオーバーラップ効率を高めて、レーザ光の増幅利得を高める光増幅器を得る。

【解決手段】 複屈折性を有し、導入されるレーザ光の90度異なる偏光方向によって上記レーザ光の伝搬方向が異なるように、上記複屈折性による2つの異なる屈折率の主軸が共に上記異なるレーザ光の伝搬方向を含む平面内方向に設定されるとともに、導入された励起光を吸収することで上記レーザ光を増幅するレーザ媒質と、上記レーザ媒質における上記レーザ光の伝搬方向に対する上記レーザ媒質の端部の両側に接合され、上記レーザ光が往復伝搬することで上記レーザ光の偏光を90度回転させる複屈折材料と、上記複屈折材料の上記レーザ媒質と反対側に各々設けられ、上記レーザ光が上記複屈折材料中を往復伝搬するように上記レーザ光を反射させる全反射膜と、を備えたことを特徴とする。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

複屈折性を有し、導入されるレーザ光の90度異なる偏光方向によって上記レーザ光の伝搬方向が異なるように、上記複屈折性による2つの異なる屈折率の主軸が共に上記異なるレーザ光の伝搬方向を含む平面内方向に設定されるとともに、導入された励起光を吸収することで上記レーザ光を増幅するレーザ媒質と、

上記レーザ媒質における上記レーザ光の伝搬方向に対する上記レーザ媒質の端部の両側に接合され、上記レーザ光が往復伝搬することで上記レーザ光の偏光を90度回転させる複屈折材料と、

上記複屈折材料の上記レーザ媒質と反対側に各々設けられ、上記レーザ光が上記複屈折材料中を往復伝搬するように上記レーザ光を反射させる全反射膜と、

を備えたことを特徴とする光増幅器。

**【請求項 2】**

上記レーザ媒質と上記複屈折材料は、共に平板状であって、上記レーザ光を平面導波路型として伝搬させることを特徴とする請求項1記載の光増幅器。

**【請求項 3】**

平板状である上記レーザ媒質と上記複屈折材料の上面と下面のうち少なくとも片方の面にクラッドを接合させたことを特徴とする請求項2記載の光増幅器。

**【請求項 4】**

上記レーザ媒質の端面のうち上記レーザ光を入力する部分もしくは上記レーザ光を出力する部分の少なくとも一方には複屈折材料が接合されておらず、上記端面に反射防止膜が設けられていることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれかに記載の光増幅器。

**【請求項 5】**

上記レーザ媒質の端面の一部に複屈折材料が接合されておらず、上記端面に上記レーザ光を反射する全反射膜が設けられていることを特徴とする請求項1から請求項4のいずれかに記載の光増幅器。

**【請求項 6】**

上記励起光は、上記レーザ光の伝搬方向に対する上記レーザ媒質の端部の片側から上記レーザ媒質に導入されることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれかに記載の光増幅器。

**【請求項 7】**

上記励起光は、上記レーザ光の伝搬方向に対する上記レーザ媒質の端部の両側から上記レーザ媒質に導入されることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれかに記載の光増幅器。

**【請求項 8】**

上記励起光は、上記異なるレーザ光の伝搬方向を含む平面に垂直な方向の直線偏光となるように上記レーザ媒質に導入されることを特徴とする請求項1から請求項7のいずれかに記載の光増幅器。

**【請求項 9】**

上記励起光は、上記異なるレーザ光の伝搬方向を含む平面に平行な方向の直線偏光となるように上記レーザ媒質に導入されることを特徴とする請求項1から請求項7のいずれかに記載の光増幅器。

**【請求項 10】**

上記レーザ媒質および上記複屈折材料の端面のうち、上記レーザ光および上記励起光の光路とならない端面の少なくとも一部を光学的に荒らし面としたことを特徴とする請求項1から請求項9のいずれかに記載の光増幅器。

**【請求項 11】**

平板状である上記レーザ媒質と上記複屈折材料の上面と下面のうち少なくとも片方の面にヒートシンクが配置されていることを特徴とする請求項2または請求項3に記載の光増幅器。

10

20

30

40

50

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

この発明は、入射されたレーザ光を増幅する平面導波路型の光増幅器などの光増幅器に関するものである。

**【背景技術】****【0002】**

特許文献1には、平面導波路を使用している光増幅器である平面導波路型光増幅器が開示されている。この平面導波路型光増幅器では、レーザ媒質において、対向する一对の側面に全反射膜が施され、全反射膜の一部に反射防止膜が施されている。この平面導波路型光増幅器では、反射防止膜からレーザ光が導入されると、レーザ光がレーザ媒質の側面間で反射されながら伝搬され、レーザ媒質によって増幅されたレーザ光が反射防止膜から出力される。

10

**【0003】**

この平面導波路型光増幅器では、小型な構成でレーザ媒質内のレーザ光の光路長を長くすることができるため、レーザ光の高出力化が可能である。また、レーザ媒質が平面であるため、廃熱性に優れている。

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0004】**

【特許文献1】国際公開第2011/027731号公報

20

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

しかしながら、従来の光増幅器は、レーザ媒質中でレーザ光と励起光の光路が一致していない。このため、レーザ媒質内のレーザ光の光路ではない部分で、励起光が吸収されてしまうため、レーザ光と励起光のビームオーバーラップ効率が低下して、レーザ光の増幅利得の低下を招いてしまう課題があった。

**【0006】**

本発明は上記のような課題を解決するためになされたものであり、レーザ光と励起光のビームオーバーラップ効率を高めて、レーザ光の増幅利得を高めることができる光増幅器を得ることを目的とする。

30

**【課題を解決するための手段】****【0007】**

この発明に係る光増幅器は、

複屈折性を有し、導入されるレーザ光の90度異なる偏光方向によって上記レーザ光の伝搬方向が異なるように、上記複屈折性による2つの異なる屈折率の主軸が共に上記異なるレーザ光の伝搬方向を含む平面内方向に設定されるとともに、導入された励起光を吸収することで上記レーザ光を増幅するレーザ媒質と、

上記レーザ媒質における上記レーザ光の伝搬方向に対する上記レーザ媒質の端部の両側に接合され、上記レーザ光が往復伝搬することで上記レーザ光の偏光を90度回転させる複屈折材料と、

40

上記複屈折材料の上記レーザ媒質と反対側に各々設けられ、上記レーザ光が上記複屈折材料中を往復伝搬するように上記レーザ光を反射させる全反射膜と、

を備えたことを特徴とするものである。

**【発明の効果】****【0008】**

この発明によれば、固体レーザモジュール端面に励起光を垂直入射して、レーザ光と励起光の光路を一致させることができるので、レーザ光と励起光のビームオーバーラップ効率を高めて、レーザ光の増幅利得を高めることができる効果がある。

50

## 【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】この発明の実施の形態1による光増幅器を示す上面図である。

【図2】図1の光増幅器の紙面の下側から見た側面図である。

【図3】この発明の実施の形態2による光増幅器を示す上面図である。

【図4】この発明の実施の形態3による光増幅器を示す上面図である。

【図5】この発明の実施の形態4による光増幅器を示す上面図である。

【図6】この発明の実施の形態5による光増幅器を示す上面図である。

【図7】この発明の実施の形態6による光増幅器を示す上面図である。

【図8】この発明の実施の形態7による光増幅器を示す上面図である。

【図9】この発明の実施の形態8による光増幅器を示す上面図である。

【図10】この発明の実施の形態9による光増幅器を示す上面図である。

【図11】この発明の実施の形態10による光増幅器を示す上面図である。

【図12】この発明の実施の形態11による光増幅器を示す上面図である。

【図13】この発明の実施の形態12による光増幅器を示す上面図である。

## 【発明を実施するための形態】

【0010】

実施の形態1.

図1はこの発明の実施の形態1による光増幅器を示す上面図である。また、図2は図1の光増幅器を紙面の下側から見た側面図である。

ただし、図1及び図2において、固体レーザモジュール100については、図1では図2のA-A線に沿った断面図、図2では図1のB-B線に沿った断面図で示されている。

以降の図も含めて、各図において、同一符号は同一または相当部分を示している。

【0011】

図1では、説明の便宜上、固体レーザモジュール100に導入される前のレーザ光をレーザ光5、固体レーザモジュール100に導入されたレーザ光をレーザ光6、固体レーザモジュール100中でウォークオフにより伝搬方向が変わるレーザ光をレーザ光7、固体レーザモジュール100から出射されたレーザ光をレーザ光8で表している。また、固体レーザモジュール100に導入され、固体レーザモジュール100に導入される前と伝搬方向が変わらない励起光を励起光3、固体レーザモジュール100でウォークオフにより伝搬方向が変わる励起光を励起光4で表している。

【0012】

固体レーザモジュール100はレーザ媒質9及び複屈折材料10、11から構成されており、レーザ媒質9は励起光源1から出射され、レーザ媒質9に導入された励起光3、4を吸収することで、導入されたレーザ光6、7に対して利得を発生させる平板状の媒質である。

【0013】

レーザ媒質9としては、複屈折性を有する固体レーザ材料を使用することができる。

例えば、Nd:YLF、Nd:YVO<sub>4</sub>、Nd:GdVO<sub>4</sub>、Yb:YLF、Yb:KGW、Yb:KYW、Yb:YVO<sub>4</sub>、Er:YVO<sub>4</sub>、Er、Yb:YVO<sub>4</sub>、Tm:YLF、Ho:YLF、Tm、Ho:YLF、Cr:LiSAF、Cr:LiCAF、Ce:LiSAF、Ce:LiCAF、Pr:YLF等を用いることができる。また、上述せぬ母材に上述せぬ活性媒質が添加された固体レーザ材料であってもよい。また、複屈折性を有すれば一軸性の材料でも、二軸性の材料でも構わない。

【0014】

複屈折材料10はレーザ媒質9における図中左側の端面18に接合される平板状の媒質であり、少なくともレーザ光6、7に対して1/4波長板として機能する媒質である。複屈折材料11はレーザ媒質9における図中右側の端面19に接合される平板状の媒質であり、少なくともレーザ光6、7に対して1/4波長板として機能する媒質である。

なお、複屈折材料10、11において、レーザ媒質9の端面18、19と対向する端面

10

20

30

40

50

20、21は、励起光源1から出射された励起光2を導入する面である。

【0015】

レーザ媒質9及び複屈折材料10、11は平面導波路型であり、1軸方向に厚さの薄い平板の形状である。ここでは、説明の便宜上、レーザ媒質9と複屈折材料10、11の厚さ方向をz軸とし、図1に示すように、レーザ媒質9と複屈折材料10、11の平面内の2軸をx軸、y軸と称し、3軸が互いに直交している座標系を用いる。レーザ媒質9及び複屈折材料10、11は主面22、23に平行なxy面内の形状が4角形である。

なお、レーザ媒質9の端面18、19に対する複屈折材料10、11の接合は、例えば、光学材料を原料とした膜の蒸着によって行うことができる。また、光学材料をオプティカルコンタクトや拡散接合することによっても接合することができる。

10

【0016】

レーザ媒質9の2つの異なる屈折率の主軸、Nm軸及びNg軸の方向は、図1に示すように、x軸及びy軸の方向に対して傾いている。またNp軸は、Nm軸及びNg軸に直交する軸であり、図1ではz軸の方向に一致している。

【0017】

固体レーザモジュール100の端面21のうち一部に、レーザ光5を透過させる反射防止膜12、13が施されている。また、反射防止膜12、13が施されていない固体レーザモジュール100の端面20、21には、レーザ光6、7を反射させる全反射膜14、15が施されている。

例えば、反射防止膜12が施されている固体レーザモジュール100の端面21からレーザ光5が導入されると、レーザ光6、7が全反射膜14、15に反射されながらレーザ媒質9中を伝搬し、反射防止膜13が施されている固体レーザモジュール100の端面21からレーザ光8が出射される。

20

【0018】

クラッド16はレーザ媒質9及び複屈折材料10、11と比べて小さな屈折率を有し、固体レーザモジュール100における図2中上側の主面22(xy平面に平行な主面)に接合されている。クラッド17はレーザ媒質9及び複屈折材料10、11と比べて小さな屈折率を有し、固体レーザモジュール100における図2中下側の主面23(xy平面に平行な主面)に接合されている。

主面22、23に垂直な方向では、レーザ光6、7と励起光2がクラッド16、17の間の複屈折材料10、11及びレーザ媒質9中を伝搬する。

30

なお、レーザ光6、7がレーザ媒質9中を伝搬する構成であれば、クラッド16、17は必ずしも設ける必要はなく、また、図2の上下のうち片側に設けることもできる。

【0019】

固体レーザモジュール100の主面22、23に対するクラッド16、17の接合は、例えば、光学材料を原料とした膜の蒸着によって行うことができる。また、光学材料をオプティカルコンタクトや拡散接合することによっても接合することができる。

クラッド16、17の外側には、図示せぬ基板が接合されていてもよい。また、クラッド16、17又は図示せぬ基板の外側には、図示せぬヒートシンクが接合されていてもよい。このようにヒートシンクを配置すれば、レーザ媒質9の温度上昇を抑えることができるので、高出力励起が可能になり、高出力なレーザ光が得られる。

40

【0020】

また、レーザ媒質9が準3準位、準4準位及び3準位である場合には、温度上昇によって利得が低下するため、高効率化のために温度上昇の低減が重要であるが、クラッド16、17に直接ヒートシンクを接合して熱抵抗の低減を図り、レーザ媒質9の温度上昇を抑えることで、レーザ光6、7の増幅効率を高めることができる。

【0021】

また、ヒートシンクは、xy平面において、y方向にレーザ媒質9から複屈折材料10、11の部分まで延ばすことができるため、温度上昇が大きいレーザ媒質9の端面18、19をヒートシンクによって冷却することができる。このため、レーザ媒質9の端面18

50

、 19の温度上昇を低減することができ、レーザ媒質9の端面18、19の光学的歪みを低減することができる。

【0022】

なお、基板及びヒートシンクは、レーザ媒質9及び複屈折材料10、11のxy平面の片側であってもよいし、対向する2面の両側に接合されていてもよい。

レーザ媒質9、複屈折材料10、11、基板及びヒートシンクは、接合材（好ましくは、熱伝導率の良い接合材）で接合される。

【0023】

図1及び図2では、励起光源1が、複屈折材料10、11の端面20、21に近接して配置されているが、励起光源1に冷却用のヒートシンクが接合されていてもよい。

励起光源1は、x軸方向の大きさが、レーザ媒質9及び複屈折材料10、11のx軸方向の大きさとほぼ等しく、x軸方向に対して、ほぼ一様に励起光2を出射するものである。

ここで、励起光2を出射する励起光源1としては、一般の半導体レーザ等を使用することができる。

【0024】

また、励起光源1は、活性層をx軸方向に複数配置しているマルチエミッタ半導体レーザであってもよい。この場合、複数の活性層から複数のLD（レーザダイオード）光が出射されるので、x軸方向に複数並んだレーザ出力光（励起光）が得られる。このため、活性層のピッチとレーザ光6の光路間隔を一致させることで、レーザ光と励起光のオーバーラップをより高めることができる。

また、励起光源1は、ファイバ出力型LDであってもよい。この場合、ファイバアレイのファイバ間隔とレーザ光6の光路間隔を一致させることで、レーザ光と励起光のオーバーラップをより高めることができる。

また、活性層がx方向に幅の広いブロードエリアLDであってもよい。

【0025】

次に動作について説明する。

励起光源1から出射された励起光2は、複屈折材料10の端面20から入射し、偏光を回転させながらy方向に伝搬する。励起光2は、複屈折材料10とレーザ媒質9の境界面であるレーザ媒質9の端面18まで到達すると、その端面18からレーザ媒質9内に導入される。

【0026】

このとき励起光2はz軸方向の偏光成分とx軸方向の偏光成分を共に有している。レーザ媒質9中で、励起光2のz軸方向の偏光成分はy方向に伝搬され、x軸方向の偏光成分はレーザ媒質9の複屈折性に起因するウォークオフ効果により、x軸方向から若干異なるxy平面方向の偏光成分となり、y方向に対して角度傾射してxy平面内を伝搬する。一般的な複屈折性の材料におけるウォークオフ角は数度程度である。一般的に、ウォークオフ効果は、2つの異なる屈折率の主軸、Nm軸及びNg軸を、x軸及びy軸の方向に対して0度や90度など（ $90 \times k$ 度、kは整数）の角度以外の角度に傾けたときに生じる。

【0027】

なお、ウォークオフ効果については、以下の文献にも記載があり、参照することができる。

「分光測定入門シリーズ第4巻、分光測定のためのレーザー入門」、日本分光学会編、講談社、2009年7月10日発行、134～135頁。

【0028】

レーザ媒質9内に導入された励起光2のうち、z軸方向の偏光成分は励起光3としてy方向に伝搬されながら、レーザ媒質9に吸収される。レーザ媒質9内に導入された励起光2のうち、xy平面方向の偏光成分は励起光4としてy軸に対してウォークオフ角傾斜して伝搬されながら、レーザ媒質9に吸収される。

10

20

30

40

50

レーザ媒質 9 で励起光 3、4 が吸収されることで、レーザ媒質 9 の内部でレーザ光 6、7 に対する利得が発生する。レーザ媒質 9 の内部で発生した利得によって、レーザ光 6、7 は増幅作用を受けて、増幅後のレーザ光 8 が出力される。

このように、レーザ種光を準備し、レーザ光 5 としてレーザ媒質 9 内に導入して増幅を行わせ、増幅後のレーザ光 8 を得ることで、図 1 及び図 2 に示した構成において光増幅器になる。

#### 【0029】

この実施の形態 1 では、反射防止膜 12 が施されている固体レーザモジュール 100 の端面 21 からレーザ光 5 を複屈折材料 11 内に導入している。レーザ光 5 は、反射防止膜 12 に対して、垂直入射される。レーザ光 5 の偏光を円偏光にしておけば、複屈折材料 11 を伝搬し、レーザ媒質 9 に導入されるレーザ媒質の端面 19 で、偏光が z 軸方向の直線偏光となる。この直線偏光は図 1 中のレーザ光 6 となる。

レーザ媒質 9 に導入されたレーザ光 6 は、レーザ媒質 9 を伝搬し、複屈折材料 10 に導入される。複屈折材料 10 に導入されたレーザ光 6 は、複屈折材料 10 を伝搬し、全反射膜 14 で反射される。反射されたレーザ光 6 は複屈折材料 10 を伝搬し、レーザ媒質 9 の端面 18 から、レーザ媒質 9 に導入される。

#### 【0030】

このとき、レーザ媒質 9 の端面 18 におけるレーザ光 6 の偏光は、x 軸方向の直線偏光となる。これはレーザ光 6 が、1/4 波長板として機能する複屈折材料 10 を往復し、偏光方向がほぼ 90 度回転するためである。

レーザ媒質 9 に導入されたレーザ光 6 は、複屈折性を有するレーザ媒質 9 のウォークオフ効果により、レーザ光 7 として y 軸方向に対して角度 傾斜してレーザ媒質 9 内を伝搬する。

#### 【0031】

レーザ媒質 9 を伝搬したレーザ光 7 は、複屈折材料 11 に導入され、全反射膜 15 で反射される。反射されたレーザ光 7 は複屈折材料 11 を伝搬し、レーザ媒質 9 の端面 19 から、レーザ媒質 9 に導入される。このとき、レーザ媒質 9 の端面 19 におけるレーザ光 7 の偏光は、再び z 軸方向の直線偏光となる。レーザ媒質 9 に導入されたレーザ光 7 は、再びレーザ光 6 としてレーザ媒質 9 を y 軸方向に伝搬する。

このため、レーザ媒質 9 を伝搬するレーザ光 6、7 は、図 1 に示すように、端面 20、21 に施されている全反射膜 14、15 に反射されながらジグザグ状に伝搬する。

最終的には、複屈折材料の 11 の端面 21 に施されている反射防止膜 13 から、レーザ光 8 として出力される。

#### 【0032】

ここで、固体レーザモジュール 100 を含む光増幅器を図 1 の下側から見ると、図 2 に示すように、励起光源 1 から出射された励起光 2 は、複屈折材料 10 の端面 20 から導入されて、y 方向に伝搬される。

このとき、励起光 2 は、z 方向に広がりながら伝搬されるが、複屈折材料 10 よりも低屈折率のクラッド 16、17 で反射されるため、z 方向で互いに対向するクラッド 16、17 に閉じ込められて、y 方向に伝搬されながらレーザ媒質 9 に吸収される。

#### 【0033】

以上で明らかのように、この実施の形態 1 によれば、複屈折性を有するレーザ媒質 9 の端面 18、19 にレーザ光 6、7 に対して 1/4 波長板として機能する複屈折材料 10、11 が接合されており、固体レーザモジュール 100 の端面 21 の一部に対して、レーザ光 5 を透過させる反射防止膜 12、13 が施され、その反射防止膜 12、13 が施されていない端面 20、21 に対して、レーザ光 6、7 を反射させる全反射膜 14、15 が施されており、反射防止膜 12 が施されている固体レーザモジュール 100 の端面 21 から導入されるレーザ光 5 が、レーザ媒質 9 に導入される端面 19 で偏光方向が z 軸方向となるように導入されると、レーザ媒質 9 を y 方向に伝搬し、もう一方の複屈折材料 10 に導入され、全反射膜 14 に反射され、複屈折材料 10 を往復伝搬し、レーザ光の偏光が 90 度

10

20

30

40

50

回転され、複屈折性を有するレーザ媒質 9 でウォークオフにより往路と異なる光路でレーザ媒質 9 を伝搬されるように構成したので、固体レーザモジュール 100 の端面 20 に励起光 2 を垂直入射して、レーザ光 6、7 と励起光 3、4 の光路を一致させることができるので、レーザ光 6、7 と励起光 3、4 のビームオーバーラップ効率を高めて、レーザ光 6、7 の増幅利得を高めることができる効果がある。

【0034】

即ち、従来は、レーザ媒質 9 において、レーザ光と励起光の光路が一致せず、レーザ光の光路ではないレーザ媒質 9 の部分で、励起光を吸収することになり、レーザ光と励起光のビームオーバーラップ効率が低下して、レーザ光の増幅効率の低下を招いてしまうことがあった。

10

【0035】

これに対して、この実施の形態 1 では、レーザ媒質 9 の端面 18、19 に複屈折材料 10、11 が接合されており、複屈折材料 10、11 におけるレーザ光の偏光回転と、レーザ媒質 9 の複屈折性によって起こるウォークオフにより、固体レーザモジュール 100 中を伝搬するレーザ光 6、7 と励起光 3、4 の伝搬方向を一致させることができる。

このため、レーザ光 6、7 と励起光 3、4 のビームオーバーラップ効率を高めて、レーザ光 6、7 の増幅効率を高めることができる。

【0036】

この実施の形態 1 では、反射防止膜 12、13 が施されていない端面 20、21 に対して、レーザ光 6、7 を反射させる全反射膜 14、15 が施されているものを示したが、全反射膜 14、15 は、増幅対象の波長帯域に対して全反射特性を有し、他の波長帯域に対しては透過特性を有するものであってもよい。

20

このように構成することで、レーザ媒質 9 が利得を持つ所望の波長を増幅させることができる。このため、他の波長での寄生増幅によるエネルギー抽出がなくなり、高効率な光増幅器が得られるようになる。

【0037】

実施の形態 2 .

上記実施の形態 1 では、レーザ光 5 が複屈折材料 11 を伝搬し、レーザ媒質 9 に導入されるレーザ媒質の端面 19 で、偏光が z 軸方向の直線偏光となるものを示したが、図 3 に示すように、レーザ光 5 が複屈折材料 11 を伝搬し、レーザ媒質 9 に導入されるレーザ媒質の端面 19 で、偏光が x y 平面方向の直線偏光となるようにレーザ光 5 を導入してもよい。この場合も実施の形態 1 とほぼ同様の動作を行うことができることは明らかであり、実施の形態 1 と同様の効果が得られる。

30

【0038】

実施の形態 3 .

上記実施の形態 1 では、固体レーザモジュール 100 のレーザ媒質 9 の端面 19 に複屈折材料 11 が接合しているものを示したが、図 4 に示すように、レーザ光 7 を出力する部分の複屈折材料を取り除き、レーザ媒質 9 の端面 19 のうち複屈折材料が接合されていない部分に反射防止膜 13 を施してもよい。

この場合、レーザ光 8 を直線偏光で出力することができるという効果を奏する。

40

【0039】

実施の形態 4 .

上記実施の形態 2 では、固体レーザモジュール 100 のレーザ媒質 9 の端面 19 のうち、レーザ光 7 を出力する部分に反射防止膜 13 を施しているものを示したが、図 5 に示すように、反射防止膜 13 の代わりに全反射膜 24 を施してもよい。

この場合、レーザ光 7 は全反射膜 24 で反射され、固体レーザモジュール 100 を折り返し伝搬し、レーザ光 8 として反射防止膜 12 から出力される。

この場合、光路長を長くすることができ、さらにレーザ光 6、7 の光子密度が高くなるため、レーザ媒質 9 に蓄積されたエネルギーの抽出効率を高めることが可能であり、レーザ光 6、7 を高効率に増幅することが可能である。

50



## 【 0 0 4 0 】

実施の形態 5 .

上記実施の形態 4 では、固体レーザモジュール 1 0 0 のレーザ媒質 9 の端面 1 9 のうち、レーザ光 5、8 を入出力する部分に複屈折材料 1 1 を接合しているものを示したが、図 6 に示すように、レーザ光 5、8 を入出力する部分の複屈折材料を取り除き、代わりに反射防止膜 1 2 を施してもよい。

この場合、レーザ光 5、8 の偏光を直線偏光で入出力することができる。

## 【 0 0 4 1 】

実施の形態 6 .

上記実施の形態 1 では、固体レーザモジュール 1 0 0 の端面のうち、端面 2 0 から励起光 2 を導入しているものを示したが、図 7 に示すように、励起光源 2 5 を用い、端面 2 1 から励起光 2 6 を導入してもよい。励起光 2 6 は複屈折材料 1 1 を透過し、励起光 2 7 および励起光 2 8 としてレーザ媒質 9 を伝搬する。したがって、励起光 2 7、2 8 を励起光 3、4 とほぼ同じ伝搬路に重畳させることができる。

この場合、より多くの励起光をレーザ媒質 9 に導入することができ、レーザ媒質 9 の高励起が可能であるため、レーザ光 6、7 の増幅率をより高めることができ、光増幅器を高出力化することができる。

## 【 0 0 4 2 】

実施の形態 7 .

上記実施の形態 6 では、固体レーザモジュール 1 0 0 のレーザ媒質 9 の端面 1 8 に複屈折材料 1 0 が接合しているものを示したが、図 8 に示すように、レーザ光 6 を出力する部分の複屈折材料 1 0 を取り除き、レーザ媒質 9 の端面 1 8 のうち複屈折材料 1 0 が接合されてない部分に反射防止膜 1 3 を施してもよい。

この場合、レーザ光 8 を直線偏光で出力することができる。

## 【 0 0 4 3 】

実施の形態 8 .

上記実施の形態 7 では、固体レーザモジュール 1 0 0 のレーザ媒質 9 の端面 1 8 のうち、レーザ光 6 を出力する部分に反射防止膜 1 3 を施しているものを示したが、図 9 に示すように、反射防止膜 1 3 の代わりに全反射膜 2 4 を施してもよい。

この場合、レーザ光 6 は全反射膜 2 4 で反射され、固体レーザモジュール 1 0 0 を折り返し伝搬し、反射防止膜 1 2 からレーザ光 8 として出力される。

よって、光路長を長くすることができ、さらにレーザ光 6、7 の光子密度が高くなるため、レーザ媒質 9 に蓄積されたエネルギーの抽出を高めることが可能であり、レーザ光 6、7 をより高効率に増幅することが可能である。

## 【 0 0 4 4 】

実施の形態 9 .

上記実施の形態 8 では、固体レーザモジュール 1 0 0 のレーザ媒質 9 の端面 1 9 のうち、レーザ光 5、8 を入出力する部分に複屈折材料 1 1 を接合しているものを示したが、図 1 0 に示すように、レーザ光 5、8 を入出力する部分の複屈折材料を取り除き、代わりに反射防止膜 1 2 を施してもよい。

この場合、レーザ光 5、8 の偏光を直線偏光で入出力することができる。

## 【 0 0 4 5 】

実施の形態 1 0 .

上記実施の形態 1 では、固体レーザモジュール 1 0 0 のレーザ媒質 9 中で、励起光 2 が z 軸方向及び x 軸方向の偏光成分を持ち、y 軸方向に伝搬する成分と、ウォークオフにより y 軸に対して傾斜して伝搬する成分のあるものを示したが、図 1 1 に示すように、レーザ媒質 9 中の励起光を z 軸方向の直線偏光にしてもよい。

例えば、励起光源 1 から出力される励起光 2 の偏光が x 軸方向の直線偏光である場合、複屈折材料 1 0 として、励起光に対する遅軸成分と速軸成分の位相差  $\phi_{\text{pump}}$  と、レーザ光に対する遅軸成分と速軸成分の位相差  $\phi_{\text{Laser}}$  とが各々

10

20

30

40

50

$$P_{\text{ump}} = (2m + 1)$$

$$L_{\text{aser}} = (2n + 1) / 2$$

となるような複屈折材料を使用すればよい。ここで  $m$ 、 $n$  は任意の整数である。

【0046】

この実施の形態10に係る光増幅器では、レーザ媒質9の、 $z$ 軸方向の偏光に対する励起光の吸収率及びレーザ光の増幅利得が高く、かつ $xy$ 平面方向の偏光に対する励起光及びレーザ光の吸収率が低い場合、励起光を高効率に吸収させることができるため、レーザ光を高効率に増幅することが可能である。

【0047】

また、レーザ媒質9の、 $z$ 軸方向の偏光に対する励起光の吸収率及びレーザ光の増幅利得が高く、 $xy$ 平面方向の偏光に対するレーザ光の吸収率及び増幅利得が低い場合、利得の高い偏光方向で増幅させることができるため、レーザ光を高効率に増幅することが可能である。

【0048】

実施の形態11.

上記実施の形態1では、固体レーザモジュール100のレーザ媒質9中で、励起光2が $z$ 軸方向及び $x$ 軸方向の偏光成分を持ち、 $y$ 軸方向に伝搬する成分と、ウォークオフにより $y$ 軸に対して傾斜して伝搬する成分のあるものを示したが、図12に示すように、レーザ媒質9中の励起光を $xy$ 平面方向の直線偏光にしてもよい。

例えば、励起光源1から出力される励起光2の偏光が $x$ 軸方向の直線偏光である場合、複屈折材料10として、励起光とレーザ光に対する遅軸成分と速軸成分の位相差が各々

$$P_{\text{ump}} = 2m$$

$$L_{\text{aser}} = (2n + 1) / 2$$

( $m$ 、 $n$  は任意の整数)となるような複屈折材料を使用すればよい。

【0049】

この実施の形態11に係る光増幅器では、レーザ媒質9の、 $z$ 軸方向の偏光に対する励起光及びレーザ光の吸収率が低く、かつ $xy$ 平面方向の偏光に対する励起光の吸収率及びレーザ光の増幅利得が高い場合、励起光を高効率に吸収させることができるため、レーザ光を高効率に増幅することが可能である。

【0050】

また、レーザ媒質9の、 $z$ 軸方向の偏光に対するレーザ光の吸収率及び増幅利得が低く、かつ $xy$ 平面方向の偏光に対する励起光の吸収率及びレーザ光の増幅利得が高い場合、利得の高い偏光方向で増幅させることができるため、レーザ光を高効率に増幅することが可能である。

【0051】

実施の形態12.

図13はこの発明の実施の形態12による光増幅器を示す上面図である。

図13に示すように、固体レーザモジュール100の側面32、33、端面20におけるレーザ光の光路とならない部分を荒らし面29、30、31とすることで、寄生発振や寄生増幅を起し難くすることができる。

また、荒らし面は、固体レーザモジュール100のレーザ光の光路とならない上述せぬ端面に設けてもよい。

【0052】

なお、以上の各実施の形態では、レーザ媒質9と複屈折材料10、11とが、共に平板状である、いわゆる平面導波路型光増幅器について示したが、本発明はこれに限らず、いわゆるバルク型光増幅器に適用しても良い。この場合、励起光3、4、27、28及びレーザ光6、7は平面導波路内を伝搬しないこととなるが、それ以外については同様の動作が得られ、本発明の同様の効果が得られる。

【0053】

また、本願発明はその発明の範囲内において、各実施の形態の自由な組み合わせ、ある

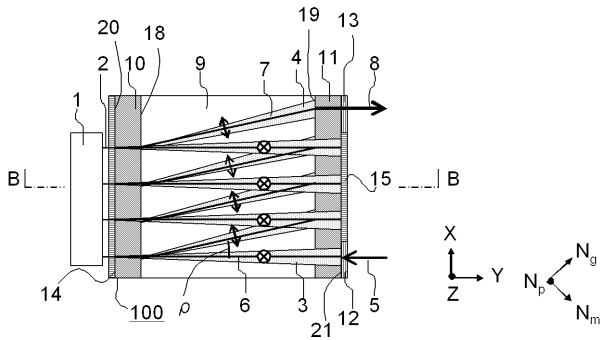
いは各実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは各実施の形態において任意の構成要素の省略が可能である。

【符号の説明】

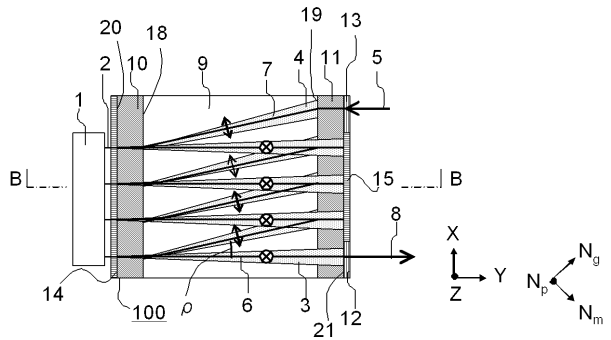
【0054】

- 1 励起光源、2、3、4 励起光、5、6、7、8 レーザ光、9 レーザ媒質、10
- 、11 複屈折材料、12、13 反射防止膜、14、15 全反射膜、16、17 クラッド
- 、18、19、20、21 端面、22、23 主面、24 全反射膜、25 励起光源
- 、26、27、28 励起光、29、30、31 荒らし面、32、33 側面、100 固体レーザーモジュール

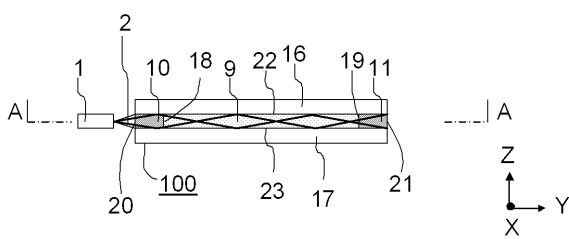
【図1】



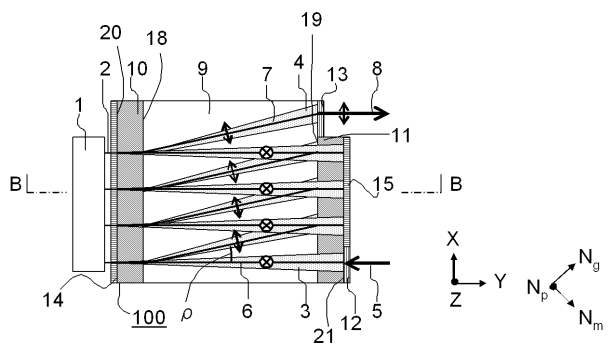
【図3】



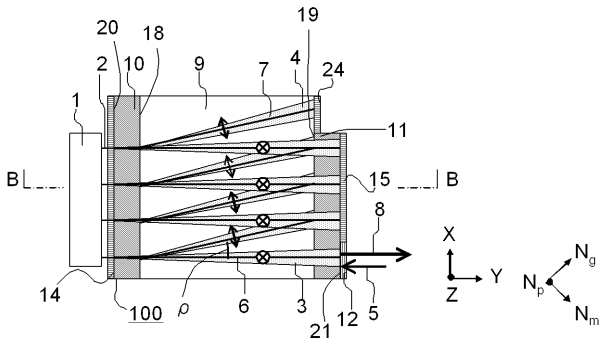
【図2】



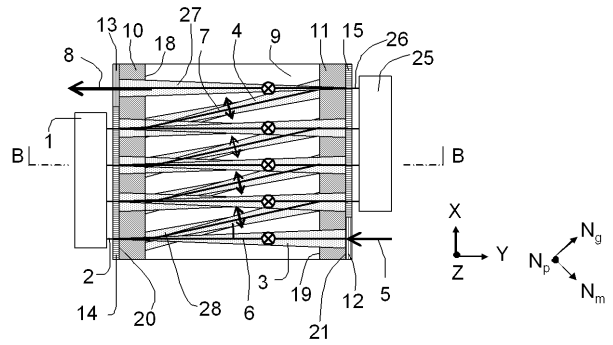
【図4】



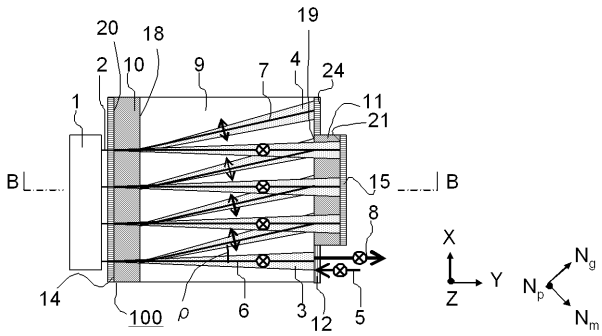
【図 5】



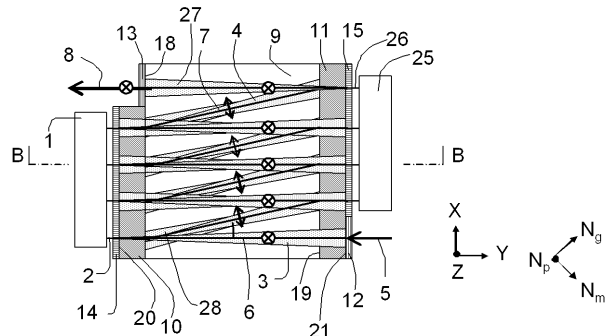
【図 7】



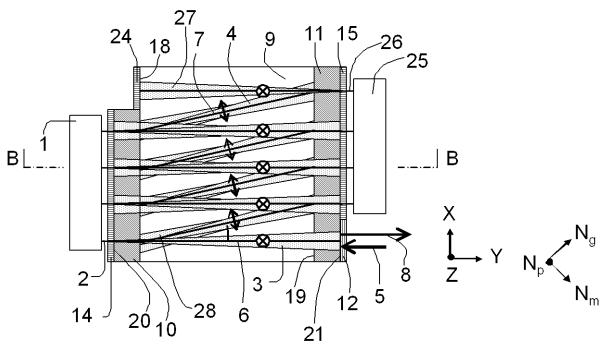
【図 6】



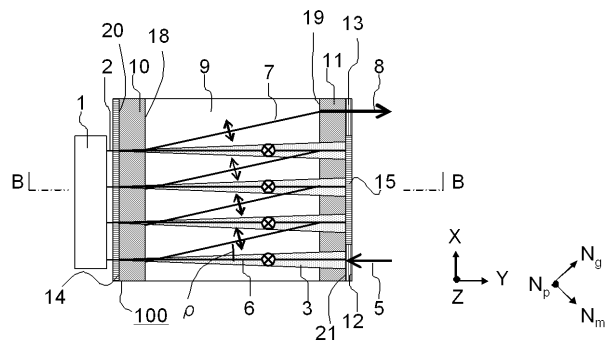
【図 8】



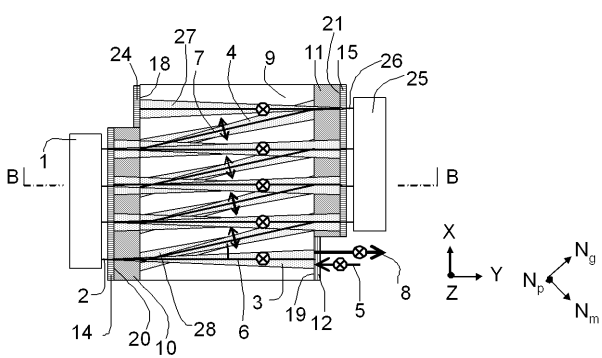
【図 9】



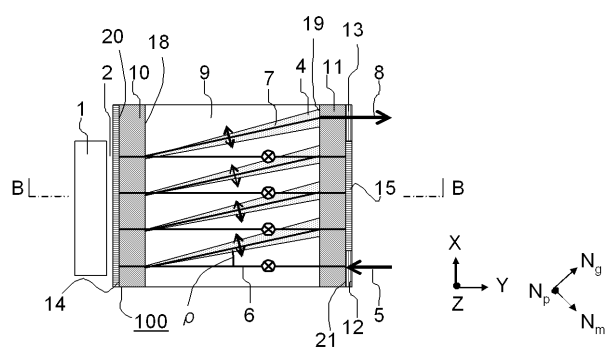
【図 11】



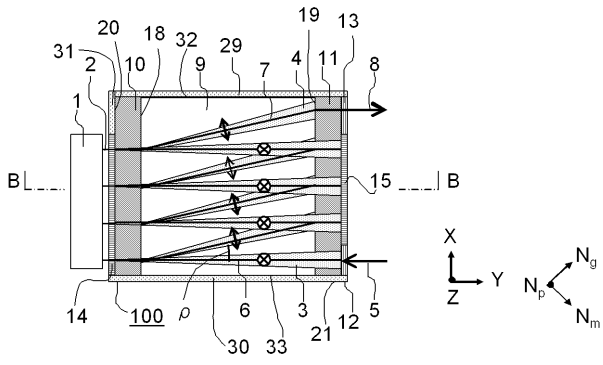
【図 10】



【図 12】



【 図 1 3 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 高崎 拓哉

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

(72)発明者 柳澤 隆行

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

Fターム(参考) 5F172 AE01 AE08 AE09 AF01 AF02 AF03 AF04 AF05 AF06 AL05  
AM06 AM09 EE14 EE15 EE16 EE17 NS04 NS19