

(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2014-42016

(P2014-42016A)

(43) 公開日 平成26年3月6日(2014.3.6)

(51) Int.Cl.

HO1S 3/06 (2006.01)

F 1

HO1S 3/06

テーマコード(参考)

5F172

審査請求 未請求 請求項の数 76 O L 外国語出願 (全 39 頁)

(21) 出願番号 特願2013-158700 (P2013-158700)
 (22) 出願日 平成25年7月31日 (2013.7.31)
 (31) 優先権主張番号 13/592,021
 (32) 優先日 平成24年8月22日 (2012.8.22)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 513193934
 リー レーザー、インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 32809 フロリダ州
 、オーランド、プレジデンツ ドライブ
 7605
 (74) 代理人 100111372
 弁理士 津野 孝
 (74) 代理人 100112298
 弁理士 小田 光春
 (74) 代理人 100168538
 弁理士 加藤 来
 (74) 代理人 100186495
 弁理士 平林 岳治

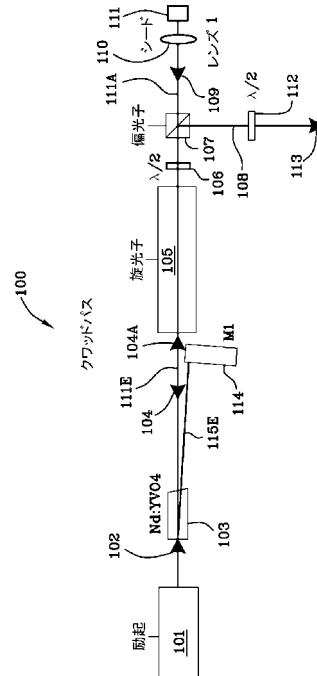
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】レーザ增幅装置およびその方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】より高い光パワーを持つ出力信号を生成するシードレーザ形式の入力信号を含む光増幅器を提供する。
 【解決手段】光増幅器100は波長1064nmのシードレーザ111を受ける。増幅は、励起源101によって励起された、セグメント化されたNd:YVO₄利得媒質103で発生する。利得媒質の各セグメントは、特定の長さとドーパント濃度とを有し、それらのセグメントの組み合わせにより利得媒質でのパワー吸収を増大して、より高パワーの端面励起を使用することを可能にし、レーザのパルスエネルギーと平均パワーとを向上させる。利得媒質の第1端は、クワッドパス光増幅器を配置して高い抽出効率を実現する楔面を含む。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

シードレーザと、増幅器と、偏光変換手段とを含み、
 前記シードレーザが、波長 1 0 6 4 nm で動作し、
 前記シードレーザが、パルス出力を含み、
 前記パルス出力が、前記シードレーザから繰り返し率とパルス幅と平均パワーと第 1 偏光とを伴って放射されるパルスを含み、
 前記増幅器が、Nd : YVO₄ 利得媒質と励起光源とを含み、
 前記Nd : YVO₄ 利得媒質が、Nd ドープされ、
 前記励起光源が、光子を提供して前記Nd : YVO₄ 利得媒質を刺激し、前記Nd : YVO₄ 利得媒質が、前記シードレーザの光子をより高いエネルギーレベルへと刺激し、
 前記増幅器の前記Nd : YVO₄ 利得媒質が、第 2 偏光を含み、
 前記偏光変換手段が、前記シードレーザの前記パルス出力の前記パルスの偏光を、前記増幅器の前記Nd : YVO₄ 利得媒質の前記第 2 偏光と揃えて整合し、
 前記Nd : YVO₄ 利得媒質が、第 1 端と第 2 端とを備え、
 前記Nd : YVO₄ 利得媒質の前記第 2 端が、前記励起光源に近接する第 2 端面を含み、
 前記Nd : YVO₄ 利得媒質の前記第 1 端が、楔角 1 の楔面を含み、
 前記シードレーザが、第 1 外部バスに沿って前記Nd : YVO₄ 利得媒質の前記楔面に入射角 2 で進入し、前記入射角 2 が、前記Nd : YVO₄ 利得媒質の前記第 1 端の前記楔面に垂直な線に対して計測され、
 前記シードレーザが、前記Nd : YVO₄ 利得媒質の内部を通過する第 1 内部バスに沿って屈折角 2' で屈折および増幅されて前記Nd : YVO₄ 利得媒質の前記第 2 端面に向かって移動し、前記屈折角 2' が、前記Nd : YVO₄ 利得媒質の前記第 1 端の前記楔面に垂直な線に対して計測され、
 前記励起光源に近接する前記Nd : YVO₄ 利得媒質の前記第 2 端面が、高反射性コーティングを含み、前記高反射性コーティングが、波長 1 0 6 4 nm の前記シードレーザの前記パルス出力の前記パルスに対して高反射性を有するとともに前記励起光源からの光に対して高透過性を有し、
 前記Nd : YVO₄ 利得媒質の前記第 2 端面の前記高反射性コーティングが、前記励起光源からの光が前記Nd : YVO₄ 利得媒質を活性化するのを許容し、
 前記増幅されたシードレーザが、前記Nd : YVO₄ 利得媒質の前記第 2 端面の前記高反射性コーティングによって、前記Nd : YVO₄ 利得媒質の内部を通過する第 2 内部バスに沿って内部反射角 3 で反射および増幅されて前記Nd : YVO₄ 利得媒質の前記楔面に向かって移動し、前記内部反射角 3 が、前記Nd : YVO₄ 利得媒質の中心線に対して計測され、
 前記シードレーザが、前記Nd : YVO₄ 利得媒質の前記楔面から第 2 外部バスに沿って屈折角 5 で退出し、
 前記屈折角 5 が、前記Nd : YVO₄ 利得媒質の前記第 1 端の前記楔面に垂直な線に対して計測されていることを特徴とするレーザ増幅装置。

【請求項 2】

前記シードレーザが、15 ミリ秒から 15 フェムト秒までの範囲のパルス幅を有し、
 前記Nd のドーパントが、0.05% a t . から 3.00% a t . までの範囲であり、
 前記シードレーザの前記パルス出力の前記繰り返し率が、10 ~ 30, 000 kHz の範囲であって前記パルス幅に依存し、
 前記シードレーザの前記パルス出力の前記平均パワーが、1 mW 未満から 5 W までの範囲であり、
 前記Nd : YVO₄ 利得媒質が、1 mm² から 36 mm² までの断面を有することを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 3】

第1高反射鏡をさらに含み、

前記第1高反射鏡が、前記Nd:YVO₄利得媒質から前記第2外部バスに沿って退出する前記増幅されたシードレーザの前記第2外部バスに対して垂直に配置され、

前記シードレーザが、前記第1高反射鏡によって前記第2外部バスに沿って前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第1端の前記楔面に向かって反射し、

前記増幅されたシードレーザが、前記Nd:YVO₄利得媒質の内部を通過する前記第2内部バスに沿って屈折および増幅されて前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第2端面の前記高反射性コーティングに向かって移動し、

前記増幅されたシードレーザが、前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第2端の前記第2端面の前記高反射性コーティングに当たり、前記Nd:YVO₄利得媒質の内部を通過する前記第1内部バスに沿って増幅されて前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第1端の前記楔面に向かって移動し、

前記増幅されたシードレーザが、前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第1端の前記楔面から前記第1外部バスに沿って屈折して退出することを特徴とする請求項1に記載のレーザ増幅装置。

【請求項4】

前記偏光変換手段が、前記増幅器の前記Nd:YVO₄利得媒質から退出する前記シードレーザの偏光を、さらなる使用および/または増幅のために、前記第2偏光から第3偏光に変更することを特徴とする請求項1に記載のレーザ増幅装置。

【請求項5】

前記Nd:YVO₄利得媒質が、長さ5~30mmであり、長方形の断面を有することを特徴とする請求項1に記載のレーザ増幅装置。

【請求項6】

長さ5~30mmの前記Nd:YVO₄利得媒質が、中心波長が808nm+/~-3nmで帯域幅が5nm未満の励起パワーの99%を吸収することを特徴とする請求項4に記載のレーザ増幅装置。

【請求項7】

前記偏光変換手段が、旋光子と、半波長板と、偏光子とを含むことを特徴とする請求項1に記載のレーザ増幅装置。

【請求項8】

前記Ndのドーパントが、0.05%at.から3.00%at.までの範囲であることを特徴とする請求項1に記載のレーザ増幅装置。

【請求項9】

前記Nd:YVO₄利得媒質のNdのドーパントが、0.05%at.から3.00%at.までの範囲であることを特徴とする請求項3に記載のレーザ増幅装置。

【請求項10】

シードレーザと、増幅器とを含み、

前記シードレーザが、第1波長で動作し、

前記シードレーザが、パルス出力を含み、

前記パルス出力が、前記シードレーザから繰り返し率とパルス幅と平均パワーと偏光とを伴って放射されるパルスを含み、

前記増幅器が、Nd:YVO₄利得媒質と、ダイオード励起光源とを含み、

前記ダイオード励起光源が、第2波長で動作し、

前記シードレーザの前記第1波長が、前記第2波長と異なり、

前記増幅器の前記Nd:YVO₄利得媒質が、偏光され、

前記Nd:YVO₄利得媒質が、第1端と、第2端とを備え、

前記増幅器の前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第2端が、前記シードレーザの入力に近接するとともに前記第2波長で動作する前記ダイオード励起光源に近接する第2端面を含むレーザ増幅装置。

【請求項11】

10

20

30

40

50

前記 N_d : YVO_4 利得媒質が、相互に拡散接合された複数のセグメントを含み、前記ダイオード励起光源に最も近い第1セグメントの N_d 濃度が、前記ダイオード励起光源から遠ざかる次の隣接セグメントの N_d 濃度よりも低いことを特徴とする請求項10に記載のレーザ增幅装置。

【請求項12】

前記 N_d : YVO_4 利得媒質が、相互に固定された複数のセグメントを含み、前記複数のセグメントのそれぞれが、 N_d 濃度を有し、各セグメントの N_d 濃度が、 0.00% a t . 以上であり、前記 N_d 濃度の最も低いセグメントが、前記ダイオード励起光源に最も近くなるように、前記複数のセグメントが、前記 N_d 濃度の低い順に並べられていることを特徴とする請求項10に記載のレーザ增幅装置。 10

【請求項13】

前記 N_d : YVO_4 利得媒質が、相互に固定された第1セグメントと第2セグメントと第3セグメントとを含み、

前記第1セグメントが、第1 N_d 濃度を有し、前記第2セグメントが、前記第1 N_d 濃度よりも高い第2 N_d 濃度を有し、前記第3セグメントが、前記第2 N_d 濃度よりも高い第3 N_d 濃度を有することを特徴とする請求項10に記載のレーザ增幅装置。 20

【請求項14】

前記第1 N_d 濃度と前記第2 N_d 濃度と前記第3 N_d 濃度とが、 2 % a t . 未満であることを特徴とする請求項13に記載のレーザ增幅装置。 20

【請求項15】

前記 N_d : YVO_4 利得媒質が、 2 mm × 2 mm の断面を有することを特徴とする請求項14に記載のレーザ增幅装置。 30

【請求項16】

前記 N_d : YVO_4 利得媒質が、相互に固定された複数のセグメントを含み、前記複数のセグメントのそれぞれが、 N_d 濃度を有し、前記 N_d 濃度の最も低いセグメントが、前記励起光源に最も近くなるように、前記複数のセグメントが、前記 N_d 濃度の低い順に並べられていることを特徴とする請求項1に記載のレーザ增幅装置。 30

【請求項17】

前記 N_d : YVO_4 利得媒質が、相互に固定された複数のセグメントを含み、前記複数のセグメントのそれぞれが、 N_d 濃度を有し、前記 N_d 濃度の最も低いセグメントが、前記励起光源に最も近くなるように、前記複数のセグメントが、前記 N_d 濃度の低い順に並べられていることを特徴とする請求項3に記載のレーザ增幅装置。 40

【請求項18】

シードレーザと、増幅器と、第1高反射鏡とを含み、前記シードレーザが、第1波長 1064 nm で動作し、前記シードレーザが、パルス出力を含み、前記パルス出力が、前記シードレーザから繰り返し率とパルス幅と平均パワーと偏光とを伴って放射されるパルスを含み、前記増幅器が、 N_d : YVO_4 利得媒質と光励起とを含み、前記 N_d : YVO_4 利得媒質が、 N_d ドープされ、前記光励起が、第2波長で動作するダイオード励起光源であり、前記増幅器の前記 N_d : YVO_4 利得媒質が、偏光を含み、前記入射シードレーザの前記偏光が、前記 N_d : YVO_4 利得媒質の前記偏光と整合し、前記 N_d : YVO_4 利得媒質が、第1端と第2端とを備え、前記増幅器の前記 N_d : YVO_4 利得媒質の前記第2端が、前記ダイオード励起光源に近接する第2端面を含み、

10

30

40

50

前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記第1端が、楔面を含み、前記楔面が、前記 N d : YVO₄ 利得媒質の垂直面に対して楔角 1で傾斜した平坦面であり、

前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記第1端の前記楔面が、反射防止第1コーティングを含み、

前記シードレーザが、第1外部パスに沿って前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記楔面の前記反射防止第1コーティングに進入し、

前記シードレーザが、前記 N d : YVO₄ 利得媒質の内部を通過する第1内部パスに沿って屈折および増幅されて前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記第2端面に向かって移動し、

前記ダイオード励起光源に近接する前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記第2端面が、高反射性第2コーティングを含み、前記高反射性第2コーティングが、波長 1064 nm の前記シードレーザに対して高反射性を有するとともに前記ダイオード励起光源からの光に対して高透過性を有し、

前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記第2端面の前記高反射性第2コーティングが、前記ダイオード励起光源からの光が前記 N d : YVO₄ 利得媒質を活性化するのを許容し、

前記シードレーザが、前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記第2端面の前記高反射性第2コーティングによって反射し、前記 N d : YVO₄ 利得媒質の内部を通過する第2内部パスに沿って増幅されて前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記楔面に向かって移動し、

前記増幅されたシードレーザが、前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記楔面から第2外部パスに沿って退出し、

前記第1高反射鏡が、前記 N d : YVO₄ 利得媒質から前記第2外部パスに沿って退出する前記シードレーザの前記第2外部パスに対して垂直に配置され、

前記シードレーザが、前記第1高反射鏡によって前記第2外部パスに沿って前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記第1端の前記楔面に向かって反射し、

前記増幅されたシードレーザが、前記 N d : YVO₄ 利得媒質の内部を通過する前記第2内部パスに沿って屈折および増幅されて前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記第2端面の前記高反射性第2コーティングに向かって移動し、

前記増幅されたシードレーザが、前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記第2端の前記第2端面の前記高反射性第2コーティングに当たり、前記 N d : YVO₄ 利得媒質の内部を通過する前記第1内部パスに沿って反射および増幅されて前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記第1端の前記楔面に向かって移動し、

前記増幅されたシードレーザが、前記 N d : YVO₄ 利得媒質の前記第1端の前記楔面から前記第1外部パスに沿って屈折するレーザ増幅装置。

【請求項 19】

前記シードレーザの前記パルス出力の前記パルスが、約 10 ピコ秒プラスまたはマイナス 5 ピコ秒の幅を有し、

前記 N d のドーパントが、0.05% a t . から 3.00% a t . までの範囲であり、

前記シードレーザの前記パルス出力の前記繰り返し率が、10 kHz ~ 30,000 kHz の範囲であり、

前記シードレーザの前記パルス出力の前記平均パワーが、1 mW 未満から 5 W までの範囲であり、

前記 N d : YVO₄ 利得媒質が、1 mm² から 36 mm² までの断面サイズを有することを特徴とする請求項 18 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 20】

前記シードレーザが、15 ミリ秒から 15 フェムト秒までの範囲のパルス幅を有し、

前記 N d のドーパントが、0.05% a t . から 3.00% a t . までの範囲であり、

前記シードレーザの前記パルス出力の前記繰り返し率が、10 Hz ~ 30,000 kHz の範囲であって前記パルス幅に依存し、

前記シードレーザの前記パルス出力の前記平均パワーが、1 mW 未満から 5 W までの範囲であり、

10

20

30

40

50

前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質が、 1 mm^2 から 36 mm^2 までの断面積を有し、前記シードレーザの平均出力パワーが、 1 W 以上であることを特徴とする請求項 18 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 21】

前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質が、相互に固定された複数のセグメントを含み、前記複数のセグメントのそれぞれが、 N_d 濃度を有し、前記 N_d 濃度が、 $0.00\% a_t$ 以上であり、前記 N_d 濃度の最も低いセグメントが、前記ダイオード励起光源に最も近くなるように、前記複数のセグメントが、前記 N_d 濃度の低い順に並べられていることを特徴とする請求項 18 に記載のレーザ增幅装置。

10

【請求項 22】

シードレーザと、増幅器と、第 1 高反射鏡とを含み、前記シードレーザが、第 1 波長 1064 nm で動作し、前記シードレーザが、パルス出力を含み、前記パルス出力が、前記シードレーザから繰り返し率とパルス幅と平均パワーと偏光とを伴って放射されるパルスを含み、前記増幅器が、 $N_d : YVO_4$ 利得媒質と光励起とを含み、前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質が、 N_d ドープされ、前記光励起が、第 2 波長で動作するダイオード励起光源であり、前記増幅器の前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質が、偏光を含み、前記入射シードレーザの前記偏光が、前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の前記偏光と整合し

20

、前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質が、第 1 端と第 2 端とを備え、前記増幅器の前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の前記第 2 端が、前記ダイオード励起光源に近接する第 2 端面を含み、前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の前記第 1 端が、楔面を含み、前記楔面が、前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の垂直面に対して楔角 α で傾斜した平坦面であり、前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の前記第 1 端の前記楔面が、反射防止第 1 コーティングを含み、

前記シードレーザが、第 1 外部パスに沿って前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の前記楔面の前記反射防止第 1 コーティングに進入し、

30

前記シードレーザが、前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の内部を通過する第 1 内部パスに沿って屈折して前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の前記第 2 端面に向かって移動し、1 回目に増幅され、

前記ダイオード励起光源に近接する前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の前記第 2 端面が、高反射性第 2 コーティングを含み、前記高反射性第 2 コーティングが、波長 1064 nm の前記シードレーザの前記パルス出力の前記パルスに対して高反射性を有するとともに前記ダイオード励起光源からの光に対して高透過性を有し、

前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の前記第 2 端面の前記高反射性第 2 コーティングが、前記ダイオード励起光源からの光が前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質を活性化するのを許容し、

40

前記 1 回目に増幅されたシードレーザが、前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の前記第 2 端面の前記高反射性第 2 コーティングによって前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の内部を通過する第 2 内部パスに沿って反射して前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の前記楔面に向かって移動し、反射後に 2 回目に増幅され、

前記 2 回目に増幅されたシードレーザが、前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の前記楔面から第 2 外部パスに沿って退出し、

前記第 1 高反射鏡が、前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質から前記第 2 外部パスに沿って退出する前記シードレーザの前記第 2 外部パスに対して垂直に配置され、

前記 2 回目に増幅されたシードレーザが、前記第 1 高反射鏡によって前記第 2 外部パスに沿って前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の前記第 1 端の前記楔面に向かって反射し、

前記 2 回目に増幅されたシードレーザが、前記 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の内部を通過す

50

る前記第2内部バスに沿って屈折して前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第2端面の前記高反射性第2コーティングに向かって移動し、屈折後に前記第2内部バス上で3回目に増幅され、

前記3回目に増幅されたレーザが、前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第2端の前記第2端面の前記高反射性第2コーティングに当たり、前記Nd:YVO₄利得媒質の内部を通過する前記第1内部バスに沿って反射して前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第1端の前記楔面に向かって移動し、反射後に4回に増幅され、

前記4回目に増幅されたレーザが、前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第1端の前記楔面から前記第1外部バスに沿って伝送されるレーザ増幅装置。

【請求項23】

前記励起光源が、808nm+/-10nmの波長で動作することを特徴とする請求項1に記載のレーザ増幅装置。

【請求項24】

前記励起光源が、820nm+/-10nmの波長で動作することを特徴とする請求項1に記載のレーザ増幅装置。

【請求項25】

前記励起光源が、880nm+/-10nmの波長で動作することを特徴とする請求項1に記載のレーザ増幅装置。

【請求項26】

前記励起光源が、888nm+/-10nmの波長で動作することを特徴とする請求項1に記載のレーザ増幅装置。

【請求項27】

前記励起光源が、915nm+/-10nmの波長で動作することを特徴とする請求項1に記載のレーザ増幅装置。

【請求項28】

前記ダイオード励起光源の前記第2波長が、808nm+/-10nmであることを特徴とする請求項10に記載のレーザ増幅装置。

【請求項29】

前記ダイオード励起光源の前記第2波長が、820nm+/-10nmであることを特徴とする請求項10に記載のレーザ増幅装置。

【請求項30】

前記ダイオード励起光源の前記第2波長が、880nm+/-10nmであることを特徴とする請求項10に記載のレーザ増幅装置。

【請求項31】

前記ダイオード励起光源の前記第2波長が、888nm+/-10nmであることを特徴とする請求項10に記載のレーザ増幅装置。

【請求項32】

前記ダイオード励起光源の前記第2波長が、915nm+/-10nmであることを特徴とする請求項10に記載のレーザ増幅装置。

【請求項33】

前記ダイオード励起光源の前記第2波長が、808nm+/-10nmであることを特徴とする請求項18に記載のレーザ増幅装置。

【請求項34】

前記ダイオード励起光源の前記第2波長が、820nm+/-10nmであることを特徴とする請求項18に記載のレーザ増幅装置。

【請求項35】

前記ダイオード励起光源の前記第2波長が、880nm+/-10nmであることを特徴とする請求項18に記載のレーザ増幅装置。

【請求項36】

前記ダイオード励起光源の前記第2波長が、888nm+/-10nmであることを特

10

20

30

40

50

徴とする請求項 1 8 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 3 7】

前記ダイオード励起光源の前記第 2 波長が、915 nm + / - 10 nm であることを特徴とする請求項 1 8 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 3 8】

前記ダイオード励起光源の前記第 2 波長が、808 nm + / - 10 nm であることを特徴とする請求項 2 2 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 3 9】

前記ダイオード励起光源の前記第 2 波長が、820 nm + / - 10 nm であることを特徴とする請求項 2 2 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 4 0】

前記ダイオード励起光源の前記第 2 波長が、880 nm + / - 10 nm であることを特徴とする請求項 2 2 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 4 1】

前記ダイオード励起光源の前記第 2 波長が、888 nm + / - 10 nm であることを特徴とする請求項 2 2 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 4 2】

前記ダイオード励起光源の前記第 2 波長が、915 nm + / - 10 nm であることを特徴とする請求項 2 2 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 4 3】

前記Nd : YVO₄ 利得媒質が、長さ 5 ~ 30 mm であり、正方形の断面を有することを特徴とする請求項 5 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 4 4】

前記Nd : YVO₄ 利得媒質が、1 ~ 36 mm² の断面積を有することを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 4 5】

前記Nd : YVO₄ 利得媒質が、1 ~ 36 mm² の断面積を有することを特徴とする請求項 1 0 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 4 6】

前記Nd : YVO₄ 利得媒質が、1 ~ 36 mm² の断面積を有することを特徴とする請求項 1 8 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 4 7】

前記Nd : YVO₄ 利得媒質が、1 ~ 36 mm² の断面積を有することを特徴とする請求項 2 2 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 4 8】

前記Nd : YVO₄ 利得媒質が、相互に固定された複数のセグメントを含み、

前記複数のセグメントのそれぞれが、Nd 濃度を有することを特徴とする請求項 1 0 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 4 9】

前記励起光源が、端面励起であることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 5 0】

前記励起光源が、側面励起であることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 5 1】

前記励起光源が、複数の側面励起であることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 5 2】

前記ダイオード励起光源が、端面励起であることを特徴とする請求項 1 0 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 5 3】

前記ダイオード励起光源が、側面励起であることを特徴とする請求項 1 0 に記載のレー

10

20

30

40

50

ザ増幅装置。

【請求項 5 4】

前記ダイオード励起光源が、複数の側面励起であることを特徴とする請求項 1 0 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 5 5】

前記ダイオード励起光源が、端面励起であることを特徴とする請求項 1 8 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 5 6】

前記ダイオード励起光源が、側面励起であることを特徴とする請求項 1 8 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 5 7】

前記ダイオード励起光源が、複数の側面励起であることを特徴とする請求項 1 8 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 5 8】

前記ダイオード励起光源が、端面励起であることを特徴とする請求項 2 2 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 5 9】

前記ダイオード励起光源が、側面励起であることを特徴とする請求項 2 2 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 6 0】

前記ダイオード励起光源が、複数の側面励起であることを特徴とする請求項 2 2 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 6 1】

前記 N d : Y V O₄ 利得媒質が、断面正方形を含む断面長方形に形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 6 2】

前記 N d : Y V O₄ 利得媒質が、断面正方形を含む断面長方形に形成されていることを特徴とする請求項 1 0 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 6 3】

前記 N d : Y V O₄ 利得媒質が、断面正方形を含む断面長方形に形成されていることを特徴とする請求項 1 8 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 6 4】

前記 N d : Y V O₄ 利得媒質が、断面正方形を含む断面長方形に形成されていることを特徴とする請求項 2 2 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 6 5】

前記 N d : Y V O₄ 利得媒質が、断面円形に形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 6 6】

前記 N d : Y V O₄ 利得媒質が、断面円形に形成されていることを特徴とする請求項 1 0 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 6 7】

前記 N d : Y V O₄ 利得媒質が、断面円形に形成されていることを特徴とする請求項 1 8 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 6 8】

前記 N d : Y V O₄ 利得媒質が、断面円形に形成されていることを特徴とする請求項 2 2 に記載のレーザ増幅装置。

【請求項 6 9】

前記シードレーザの前記パルス出力の前記パルスが、15ミリ秒から15フェムト秒までの範囲の幅を有し、

前記シードレーザの前記パルス出力の前記繰り返し率が、10Hz～100MHzの範

10

20

30

40

50

囲であって前記パルス幅に依存することを特徴とする請求項 10 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 7 0】

前記シードレーザの前記パルス出力の前記パルスが、15ミリ秒から15フェムト秒までの範囲の幅を有し、

前記シードレーザの前記パルス出力の前記繰り返し率が、10Hz～100MHzの範

囲であって前記パルス幅に依存することを特徴とする請求項 18 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 7 1】

前記シードレーザの前記パルス出力の前記パルスが、15ミリ秒から15フェムト秒までの範囲の幅を有し、

前記シードレーザの前記パルス出力の前記繰り返し率が、10Hz～100MHzの範

囲であって前記パルス幅に依存することを特徴とする請求項 22 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 7 2】

前記シードレーザの前記パルス出力の前記パルスが、約10ピコ秒の幅を有し、

前記シードレーザの前記パルス出力の前記繰り返し率が、10Hz～100MHzの範

囲であることを特徴とする請求項 10 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 7 3】

前記シードレーザの前記パルス出力の前記パルスが、約10ピコ秒の幅を有し、

前記シードレーザの前記パルス出力の前記繰り返し率が、10Hz～100MHzの範

囲であることを特徴とする請求項 18 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 7 4】

前記シードレーザの前記パルス出力の前記パルスが、約10ピコ秒の幅を有し、

前記シードレーザの前記パルス出力の前記繰り返し率が、10Hz～100MHzの範

囲であることを特徴とする請求項 22 に記載のレーザ增幅装置。

【請求項 7 5】

シードレーザから繰り返し率とパルス幅と平均パワーと偏光とを伴って放射されるパルスを有するパルス出力を含むシードレーザを第1波長で動作させるステップと、

前記シードレーザの前記偏光を、Nd:YVO₄利得媒質の偏光と整合するステップと、

光励起を使用して前記Nd:YVO₄利得媒質を第2波長で光学的に励起するステップと、

前記シードレーザを、第1外部パスに沿って前記Nd:YVO₄利得媒質の楔面に施された反射防止第1コーティングに案内するステップと、

前記第1波で動作する前記シードレーザに対して高反射性を有するとともに前記光励起からの光に対して高透過性を有する高反射性第2コーティングを含む前記Nd:YVO₄利得媒質の第2端面に向けて、前記シードレーザを、前記Nd:YVO₄利得媒質の内部を通過する第1内部パスに沿って屈折させ、1回目に増幅するステップと、

前記1回目に増幅したシードレーザを、前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第2端面の前記高反射性第2コーティングによって、前記Nd:YVO₄利得媒質の内部を通過する第2内部パスに沿って反射して前記Nd:YVO₄利得媒質の前記楔面に向けて移動し、反射後に前記レーザを2回目に増幅するステップと、

前記2回目に増幅したシードレーザを、前記Nd:YVO₄利得媒質の前記楔面から第2外部パスに沿って屈折させるステップと、

前記2回目に増幅したシードレーザを、前記Nd:YVO₄利得媒質から退出する前記シードレーザの前記第2外部パスに対して垂直に配置された高反射鏡によって、前記第2外部パスに沿って前記楔面に向けて反射するステップと、

前記2回目に増幅したシードレーザを、前記Nd:YVO₄利得媒質の内部を通過する前記第2内部パスに沿って屈折させて前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第2端面の前記

10

20

30

40

50

高反射性第2コーティングに向けて移動し、前記シードレーザを前記第2内部バス上で3回目に増幅するステップと、

前記3回目に増幅したシードレーザを、前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第2端の前記第2端面の前記高反射性第2コーティングによって、前記Nd:YVO₄利得媒質の内部を通過する前記第1内部バスに沿って反射して前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第1端の前記楔面に向けて移動し、反射後に前記シードレーザを4回目に増幅するステップと、

前記4回目に増幅したシードレーザを、前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第1端の前記楔面から前記第1外部バスに沿って屈折させるステップとを含むレーザ増幅方法。

【請求項76】

前記Nd:YVO₄利得媒質の前記第2端面の前記高反射性第2コーティングが、前記ダイオード励起光源からの光が前記Nd:YVO₄利得媒質を活性化するのを許容することを特徴とする請求項75に記載のレーザ増幅方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ主発振器電力増幅装置(MOPA)に関する。

主発振器電力増幅装置(MOPA)の構成には、シードレーザと、有益な作業を行わせるためにシードレーザのパワー出力を増大させる増幅器とが含まれる。

20

【背景技術】

【0002】

Pengらの特許文献1では、その要約書で以下のように述べている。

「マイクロマニシング、集積回路のビア穴あけ及び紫外線(UV)変換等の用途には、高パワーのダイオード励起固体(DPSS)パルスレーザが好ましい。

Nd:YVO₄(バナデート)レーザは、広い帯域幅の励起波長に亘って高いエネルギー吸収係数を有するので、高パワー用途のための良い候補である。

しかしながら、バナデートは、硬く、熱応力が加わると破損しやすいという点で、熱力学的性質が劣っている。

レーザパラメータを最適化し、励起波長及び利得媒質のドーピング濃度を選択して、吸収係数を2cm⁻¹未満、例えば、約910nmと約920nmとの間の励起波長に制御することによって、ドーピングされたバナデートレーザは、熱レンジングを40%低減しながら、結晶マテリアルを破碎することなく、最大100Wの出力パワーを生成するように改善できる」。

30

【0003】

Butterworthの特許文献2では、以下を開示している。

「少なくとも5mmの長さを有するNd:YVO₄の利得素子を有するレーザ共振器を含むレーザであって、前記利得素子が端面励起され、励起光が、熱応力と前記利得素子の破損とを減らすために、前記利得素子の最大吸収波長と異なり且つ814~825ナノメートルの間に收まるように選択された波長を有し、それによって励起光源が22ワットを超えるパワーを利得媒質に提供するように動作可能であるレーザ」。

40

【0004】

非特許文献1をここに引用によりその全体を援用する。

この記事は、Ndドーピング濃度に関する情報を含み、さらに利得媒質の断面積のサイズと対処可能な励起パワーレベルに関する情報も含んでいる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】米国特許第7,720,121号

【特許文献2】米国特許第7,203,214A号

50

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】Power Scaling of Diode-Pumped Nd:YVO₄ Lasers, IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 38, NO. 9, SEPTEMBER 2002, Xiao yuan Peng, Lei Xu, Anand Asundi

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

主発振器電力増幅器(MOPA)レーザが開示される。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

この増幅器は、より高い光パワーを持つ出力信号を生成するシードレーザ形式の入力信号を含む光増幅器である。

増幅は、外部源からエネルギーが提供される利得媒質で発生する。

利得媒質は、外部エネルギー源から「励起」または「活性化」される。

通常、外部エネルギー源は光である。

励起は、光励起またはその他の適切なエネルギー源でよい。

励起は、ダイオード励起光源でよい。

【0009】

シードレーザは、発振器と、一定長の光ファイバ(または自由空間キャビティ)と、1つまたは2つの鏡と、反射コーティングを具備する/または具備しないQスイッチと、オプティクスとを含み得る。

シードレーザは、1064 nm(1064ナノメートル)の波長で動作するのが好ましいが、他の波長も具体的に意図される。

Qスイッチは、電気光学変調器または音響光学変調器でよい。

どちらのタイプのQスイッチも、電子ドライバによって制御および駆動される。

きわめて高いパルスエネルギーを提供する、繰り返し率が高いモード同期レーザの場合は、繰り返しを低減するパルスピッカが必要である。

電気光学パルスピッカを使用する場合、ポッケルスセルおよび偏光オプティクスを利用できる。

ポッケルスセルが偏光状態を操作し、その後偏光子がパルスの偏光に基づいてパルスを伝送またはブロックする。

【0010】

音響光学パルスピッカを使用する場合、短RFパルスが音響光学変調器に適用され、所望のパルスを使用のために若干変更された方向に偏向しつつ、他の偏向されていないパルスをブロックする。

音響光学変調器(AOM)は、レーザビームのパワー、周波数、または空間方向を電気的な駆動信号で制御するために使用できる。

AOMは、音波の振動機械圧力を適用することにより結晶の屈折率を変更する音響光学効果に基づいている。

屈折率を変更すると、所望のパルスの方向が変更され、偏向されたパルスが使用可能になる。

【0011】

光ファイバの長さは、有効なキャビティ寸法を変更するために変更できる。

モード同期レーザなどのシードレーザは、パルス幅が約5~30ピコ秒のパルスを有するパルス出力を、繰り返し率10 kHz~100 MHzで生成する。

他のパルス幅を使用することも具体的に意図される。

詳細には、ここに開示する発明によってさまざまなパルス幅を生成できることが意図される。

20

30

40

50

すなわち、ここに開示する発明により、所望の特性を備えた 15 ミリ秒から 15 フェムト秒までの間のパルス幅を作成できる。

15 ミリ秒などの長いパルス幅の場合、繰り返し率を適切に減少させることが必要であり、また実現可能である。

繰り返し率は、10 Hz 未満から 100 MHz までにすることができる。

シードレーザは第 1 偏光を含む。

この第 1 偏光は、Nd : YVO₄ 利得媒質の偏光に一致する偏光に変換される。

シードレーザのパルス出力のパルスは、光励起によって光学的に励起される Nd : YVO₄ 利得媒質によって増幅される。

高反射鏡を使用して、シードレーザのパルス出力のパルスが、断面がほぼ長方形の Nd : YVO₄ 利得媒質を通過する回数（パス）を制御する。

Nd : YVO₄ 利得媒質は、断面が正方形、円形、またはその他の形状でよい。

利得媒質の第 1 端は、楔角 1 で傾斜した平坦な楔面である。

【0012】

Nd : YVO₄ 利得媒質は、第 1 端と、第 2 端とを含む。

利得媒質は、長さが 5 ~ 30 mm、断面積が 1 mm² ~ 36 mm² でよい。

5 ~ 30 mm の結晶は、Nd ドーピング濃度を十分かつ許容可能な高さにした状態で、808 nm で 40 W の励起電力の 99 % を吸収するのに十分な長さである。

結晶が長いほど、熱除去の点で好ましい。

また、長方形以外の断面構成を有する Nd : YVO₄ 利得媒質を使用してもよい。

たとえば、断面が円形の Nd : YVO₄ 利得媒質を使用できる。

小径で長く、吸収係数が低い円形の Nd : YVO₄ 利得媒質は、熱をうまく放散し、結晶を破碎から保護する。

ロッド形状の Nd : YVO₄ 利得媒質を使用してもよい。

【0013】

各セグメントの Nd 濃度は、濃度の低い順に光励起の近傍から並べる必要はない。

各セグメントの長さにより、利得のための Nd 濃度を調整する吸収長が決まる。

【0014】

その他の励起波長も使用できる。

たとえば、励起の中心波長は、808 nm、880 nm、888 nm、または 915 nm (+/- 10 nm) でよい。

励起は、端面励起でも、1つ以上の側面励起でよい。

複数の側面励起を使用する場合、それらの励起はパワー出力レベルが異なっていてよい。

必要に応じて、それぞれに所望の Nd ドーピングを施したセグメントからなるセグメント化された利得媒質の各セグメントに、異なるパワー出力レベルを適用してもよい。

励起は、ダイオード励起光源またはその他の適切な光源でよい。

光励起以外の励起の使用は、ここに開示する本発明によって意図される。

【0015】

増幅器の Nd : YVO₄ 利得媒質は第 2 偏光を含む。

シードレーザの第 1 偏光を増幅器の Nd : YVO₄ 利得媒質の第 2 偏光と一致させる偏光変換手段が、シードレーザの出力レンズと、増幅器の Nd : YVO₄ 利得媒質の第 1 端の入力楔面との間に存在する。

【0016】

増幅器の Nd : YVO₄ 利得媒質の第 2 端は、808 nm で動作するダイオード励起光源に近接する第 2 端面を含む。

より詳細には、40 ワットのダイオード励起光源（端面励起）が 808 nm で動作し、Nd : YVO₄ 利得媒質の第 2 端の近傍に存在する。

30 ~ 60 ワットのその他のダイオード励起も意図される。

【0017】

10

20

30

40

50

$N_d : YVO_4$ 利得媒質の第1端は、反射防止コーティングが施された楔面を含む。シードレーザのパルス出力のパルスは、第1外部パスに沿って入射角 $\angle 2$ で $N_d : YVO_4$ 利得媒質の楔面の反射防止コーティングに進入する。

入射角 $\angle 2$ は、 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の楔面に垂直な線に対して計測される。

この楔面が平坦な面であり、楔角 $\angle 1$ で形成されていることがわかるであろう。

楔角 $\angle 1$ は、楔面の1点を通過する垂直面に対して計測される。

さらに、入力シードレーザが、利得媒質の中心線に平行な線に対して角度 $\angle 6$ で楔面に進入することがわかるであろう。

$\angle 6 = \angle 2 - \angle 1$ である。

楔角 $\angle 1$ は $3 \sim 10^\circ$ に設計されており、 $5 \sim 7^\circ$ であることが好ましい。

10

シードレーザの入射角 $\angle 2$ は、 15° 以下である。

角度 $\angle 2$ は、後述するように、クワッドパスの例におけるパルスの第4パスの屈折角でもある。

$5 \sim 7^\circ$ の楔角 $\angle 1$ は、約 0.78° の好ましい反射角 $\angle 3$ を生む。

【0018】

屈折角 $\angle 2'$ は、第1パス上で楔面に向かうシードレーザが成す屈折の角度である。

屈折角 $\angle 2'$ は、楔面に垂直な線に対して計測される。

【0019】

シードレーザは、 $N_d : YVO_4$ 利得媒質内で内部反射角 $\angle 3$ で反射する。

20

内部反射角 $\angle 3$ は、 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の中心線に対して定義される。

上述したように、好ましい反射角 $\angle 3$ は約 0.78° である。

利得媒質内のシードレーザの反射角 $\angle 3$ を最小化して、シードレーザのパルスが利得媒質を通る軸の中心線に対して相対的に中央にとどまるようにし、それによってレーザが利得媒質を通過するときにできるだけ多くのエネルギーをレーザに効率的に伝達できるようになることが望ましい。

シードレーザのパルスのエネルギーは、パルスが利得媒質を通過するときに増加する。

さらに、 0.78° の好ましい反射角 $\angle 3$ は、利得媒質の楔面に入力されるシードレーザと、利得媒質から出力されるシードレーザとが、確実に分離されるだけの大きさでなければならない。

【0020】

30

0.78° の内部反射角 $\angle 3$ は、長さ約 20 mm の利得媒質の場合、利得媒質の軸に対して約 0.27 mm のシフトを生む。

さらに、利得媒質が長さ約 10 mm の場合、 0.78° の好ましい内部反射角 $\angle 3$ は、利得媒質の軸に対して約 0.135 mm のシフトを生む。

【0021】

シードレーザは、 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の内部を通過する第1パス上で第1内部パスに沿って角度 $\angle 2'$ で屈折して、 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の第2端面に向かって移動する。

励起に近接する $N_d : YVO_4$ 利得媒質の第2端面は、波長 1064 nm のシードレーザに対して高反射性を有する第2コーティングを含む。

40

第2コーティングは、端面励起からの波長 808 nm の光に対しては高透過性を有する。

【0022】

シードレーザは、 $N_d : YVO_4$ 利得媒質の第2端面の高反射性を有する第2コーティングによって内部反射角 $\angle 3$ で反射し、それによって波長 1064 nm のレーザパルスが $N_d : YVO_4$ 利得媒質の内部を通過する第2パス上で $N_d : YVO_4$ 利得媒質の楔面に向かって移動する。

シードレーザのパスは、入射角 $\angle 4$ で楔面に近づく。

レーザパルスは、第2外部パスに沿って屈折角 $\angle 5$ で $N_d : YVO_4$ 利得媒質の楔面から退出する。

50

屈折角 5 と入射角 4 は、Nd : YVO₄ 利得媒質の第1端に直交する（垂直な）線に対して計測される。

【0023】

本発明では、パルス幅 10 ピコ秒 + / - 5 ピコ秒のパルスレーザを繰り返し率 10 kHz ~ 100 MHz で生成する。

100 kHz を超える 100 μJ のパルスエネルギーは、平均パワー 10 J / s または 10 W 超を生成する。

出力パワーは、入力シードレーザの平均パワーにも依存する。

入力シードレーザの平均パワーは、1 mW 未満（たとえば、1 ワット未満）から数ワットまでの間であり得る。

本発明では、入力シードレーザの平均パワーが高いため、10 W を大幅に上回る平均出力パワーを生成できる。

【0024】

本発明の他の例は、セグメントごとに Nd ドーパント濃度が異なるセグメント化された利得媒質を含む。

この利得媒質のセグメントは、ドーピング濃度に応じて所望の配置にすることができる。

たとえば、Nd 濃度が最も低いセグメントを励起光源に隣接させることができる。

次に、Nd 濃度が 2 番目に低いセグメントを、Nd 濃度が最も低いセグメントに隣接させることができる。

最後に、Nd 濃度が最も高い 3 番目のセグメントを末尾に配置することができる。

これらのセグメントは、Nd 濃度の任意の順序で配置できる。

1 つ以上のセグメントの Nd 濃度がゼロであってもよい。

【0025】

端面励起される利得媒質を通過するシードレーザパルスの複数のパスにより、きわめて高い利得が実現する。

1 つ以上の光励起による利得媒質の側面励起が開示され、特許請求の範囲に記載される。

利得媒質は、拡散接合された 3 つのセグメントを含む。

これらのセグメントは、長さとドーパント濃度とが異なり、結果として利得と分布とが異なる。

または、拡散接合の代わりに、セグメント間で反射防止コーティングを使用してセグメントを相互に固定してもよい。

ドーピングのパーセンテージを 3 倍に拡大すると、吸収係数 = 0.15 が得られる。

吸収効率は次のとおりである。

【数1】

$$\eta = (1 - e^{-\alpha L})$$

【0026】

したがって、Nd : YVO₄ 結晶の詳細がわからなくても、より長い結晶を使用する、および / または吸収係数を増やすことによって効率を向上させることができる。

ただし、吸収係数 は、それだけでは、熱レンズ効果が存在すること、および係数 と適用されるパワーとに物理的な限度があることを示していない。

Nd : YVO₄ 結晶に適用されるパワーが増加すると、Nd ドーピングの濃度が減少し、結晶の断面（長方形、円形、またはその他の形状の断面）が減少する。

ドーピング濃度が低いほど、高い励起パワーを使用できる。

非特許文献 1 をここに引用によりその全体を援用する。

この記事は、Nd ドーピング濃度に関する情報を含み、さらに利得媒質の断面積と対処可能なパワー レベルに関する情報を含んでいる。

【0027】

セグメントごとの Pabs は、以下の方程式で求められる。

10

20

30

40

50

【数2】

$$P_{a b s} = P_{i n p u t} (1 - e^{-a L})$$

【0028】

後続のセグメントが利用できる、または後続のセグメントに伝達されるパワーは、以下の方程式で求められる。

【数3】

$$P_{i n p u t} = P_{p u m p} - (\sum P_{a b s})$$

【0029】

このように励起パワーをセグメントで吸収することによって励起パワーを拡大する方法を適用すると、より高い励起パワーを使用し、Nd:YVO₄結晶へのエネルギー伝達を高めることができる。

Nd:YVO₄結晶へのエネルギー伝達が高まると、シードレーザが利得媒質内を移動する際の利得が増える。

【0030】

ドーピング濃度が徐々に増加するセグメントを使用すると、セグメントの破碎が防止される。

高パワーの光端面励起を使用することが望ましい場合は、セグメントの断面積を減らし、Nd濃度を下げる。

断面積を減らし、Ndドーパント濃度を下げることで、Nd:YVO₄結晶に大きなエネルギー/パワーを伝達できる高パワーの励起を使用し、Nd:YVO₄結晶からシードレーザのパルス出力のパルスにエネルギーを伝達することが可能となる。

各セグメントに適用されるパワーを計算し、そのセグメントの断面積およびドーパント濃度で許容される限度内に收めれば、結晶の破碎が防止される。

【0031】

各セグメントは、特定の利得を備えた増幅器の1つの段階として扱うこともできる。

多段階の増幅によって多重の利得が与えられるため、各セグメントの利得を最適に設計することで、特定の励起パワーから最大の抽出効率を実現することが期待できる。

【0032】

本発明の目的は、高利得媒質を含むレーザを提供することである。

【0033】

本発明の目的は、Nd:YVO₄利得媒質に大量のパワーを伝達するレーザを提供することである。

【0034】

本発明の目的は、Nd:YVO₄利得媒質によって大量のパワーを吸収することを可能にする適切なNdドーパント濃度と適切な断面積とを備えたセグメントで構成される高利得媒質を含むレーザを提供することである。

【0035】

本発明の目的は、きわめて低い(小さい)シード信号でも励起からレーザへの抽出効率が高いレーザを提供することである。

【0036】

本発明の目的は、自己レーザ放射を防ぐために一端に楔面を備えた高利得媒質を含むレーザを提供することである。

【0037】

本発明の目的は、入射パルスと出射パルスとを十分に分離するために一端に楔面を備えた高利得媒質を含むレーザを提供することである。

【0038】

本発明の目的は、シードレーザ出力の利得を増やすために内部を通過する複数のパスを備えた高利得媒質を含むレーザを提供することである。

【0039】

本発明の目的は、シードレーザ出力の利得を増やすために内部を通過する複数のパスを

10

20

30

40

50

備えた、セグメント化された高利得媒質を含むレーザを提供することである。

【0040】

本発明の目的は、楔面を備えた高利得媒質を含むレーザであって、シードレーザのパルス出力の入射パルスの入射角が、該パルスが楔面に当たり、高利得媒質内の第1内部パス上で角度をなして屈折し、利得媒質内を移動する際に励起スポットサイズ内に存在することで最大限のエネルギーがパルスに伝達されるように選択されているレーザを提供することである。

【0041】

本発明の目的は、利得媒質の励起スポットサイズ内にシードレーザを維持することである。

10

【0042】

以上の目的とその他の目的は、図面および以下の説明を参照することで、よりよく理解されるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0043】

【図1】シードレーザ入力と、偏光子と、2つの半波長板と、旋光子と、クワドルブルパス（クワッドパス）Nd : YVO₄利得媒質とを含み、第1増幅器が光端面励起と、該クワドルブルパス（クワッドパス）Nd : YVO₄利得媒質と、高反射鏡とを含むレーザの概略図。

【図1A】シードレーザ入力と、偏光子と、2つの半波長板と、旋光子と、ダブルパス（デュアルパス）Nd : YVO₄利得媒質とを含み、第2増幅器が光端面励起と、該ダブルパス（デュアルパス）Nd : YVO₄利得媒質とを含むレーザの概略図。

20

【図1B】図1の概略図の斜視図。

【図1C】光側面励起されたNd : YVO₄利得媒質を含むレーザの概略図。

【図1D】光側面励起されたNd : YVO₄利得媒質を含むレーザの他の例の概略図。

【図1E】光側面励起されたNd : YVO₄利得媒質を含むレーザの他の例の概略図。

【図2】クワドルブルパス（クワッドパス）Nd : YVO₄利得媒質を含む第1増幅器と、ダブルパス（デュアルパス）利得媒質を含む第2増幅器との組み合わせであって、第1増幅器が光端面励起を含み、第2増幅器が光端面励起を含み、4つの鏡を利用する組み合わせの概略図。

30

【図3】図1のクワッドパス構成でのさまざまなmWの平均シードパワー入力信号のパワー増幅を示すグラフ。

【図4】図1Aのデュアルパス構成でのさまざまなmWの平均シードパワー入力信号のパワー増幅を示すグラフ。

【図5】第1端に楔面を備え、第2端に第2端面を備えるNd : YVO₄利得媒質を、シードレーザの第1外部パス、増幅されたシードレーザの第1内部パス、増幅されたシードレーザの第2内部パス、および増幅されたシードレーザの第2外部パスとともに示す概略図。

【図5A】図5の5A - 5A線に沿った端面図。

【図5B】断面円形のNd : YVO₄利得媒質の端面図。

40

【図6】Nd : YVO₄利得媒質の楔角とシードレーザの入射角との関係、およびNd : YVO₄利得媒質の楔角と該利得媒質内でのシードレーザの内部反射角との関係を示すグラフ。

【図7】楔角に応じた利得媒質の第1端面におけるレーザの入力パスのレーザの出力パスからの分離距離と、鏡M1から入射シードレーザまでの間の距離とを示すグラフ。

【図8】利得媒質と、第1鏡と、第2鏡とを含むクワッドパス増幅器の使用の概略図。

【図8A】図8の構成の移動距離に応じたスポットサイズのグラフであって、第1パスと、第2パスと、第3パスと、第4パスと、第1鏡および第2鏡の位置とを示すグラフ。

【図9】波長1064nm、繰り返し率100kHzのシードレーザの概略図。

【図9A】利得媒質の第2端の近傍に存在する光励起とシードレーザパルス出力との概略

50

図。

【図10】波長1064nm、繰り返し率100kHzのシードレーザの概略図。

【図10A】長さとドーパント濃度とがそれぞれ異なり、結果として利得と励起パワー吸収とがそれぞれ異なる3つの拡散接合されたセグメントを含む利得媒質の第2端の近傍に存在する光励起ヒードレーザの概略図。

【図10B】ドーパント濃度(C%at.)、セグメント長、アルファ(拡大されたドーパント濃度)、およびセグメントごとのPabs(吸収されるパワー)を示す表。

【図11】Nd:YVO₄利得媒質がセグメントごとにドーパント濃度が異なる3つのセグメントを含む、図5に類似する概略図。

【発明を実施するための形態】

10

【0044】

図1は、シードレーザ111と、レンズ110と、偏光子107と、2つの半波長板106、112と、旋光子105と、クワドルブルパス(クワッドパス)Nd:YVO₄利得媒質103との概略図100である。

增幅器は、光端面励起101と、利得媒質103と、高反射性鏡114とを含む。

シードレーザ111のスポットサイズは、レンズ110の選択によって実質的に決まる。

利得媒質103内で必要なレーザのスポットサイズは、所望の利得に基づいて決定される。

Nd:YVO₄利得媒質103内の利得量は、光端面励起101のスポットサイズと、Ndのドーピング濃度とに依存する。

シードレーザ111のスポットサイズを適切に設定し、光端面励起101のスポットサイズを適切に設定するのが望ましい。

【0045】

光端面励起101は、好ましくはダイオード端面励起である。

利得媒質103は、反射防止コーティングが施された楔形の端面(103A)を備える。

楔型の端面(103A)は、利得媒質103の第1端520Fにある。

利得媒質103の第2端面101Cは、平坦であり、808nmの波長に対して高透過性を有するコーティングが施されている。

30

このコーティングは、1064nmの波長に対して高反射性を有する。

【0046】

シードレーザ111は、パルス幅が約10ピコ秒(+/-5ピコ秒)のパルスを有するパルス出力111Aを繰り返し率10kHz~100MHz、波長1064nmで生成する。

これらのパルスは、波長1064nmの光を含む。

利得媒質103に進入して通過したパルスは、第2端面101Cに当たり、その高反射コーティングによって反射する。

【0047】

図1を参照すると、Nd:YVO₄利得媒質103は、波長808nmで動作するレーザダイオードによって端面励起される。

40

その他の励起波長も使用できる。

たとえば、励起の中心波長は、808nm、820nm、880nm、888nm、または915nm(+/-10nm)でよい。

励起は、端面励起でも、1つ以上の側面励起でもよい。

図1C、図1D、および図1Eを参照されたい。

励起は、ダイオード励起光源またはその他の適切な光源でよい。

矢印102は、利得媒質103へのパワーの流れを示す。

利得媒質103の結晶の楔面(103A)は、1064nmの波長に対するARコーティング(反射防止コーティング)が施されている。

50

利得媒質 103 の第 2 端面 101C は、1064 nm の波長に対する HR コーティング（高反射コーティング）が施されており、励起面に 808 nm の波長に対する HT コーティング（高透過コーティング）が施されている。

820 nm、880 nm、888 nm、915 nm などのその他の波長での励起に対しても高透過コーティングが使用される。

つまり、第 2 端面 101C は、旋光子 105 から送られる増幅されたシードレーザ（104）を反射する。

波長 1064 nm の偏光されたシードレーザ 111 は、偏光子 107、半波長板 106、および旋光子 105 を通過して利得媒質 103 に至る。

符号 104 / 104A は、パルス / レーザの異なるタイミングでの双方向の流れを示す。

【0048】

引き続き図 1 を参照すると、シードレーザ 111 は、利得媒質 103 内を 4 回移動する。

増幅されたレーザ出力 104A は、シードレーザ（111A）の出力パルスの偏光に対して偏光を 90° シフトする偏光子 107 によって分離される。

【0049】

利得媒質 103 は、円形、長方形、正方形、またはその他の断面形状を持ち得る。

利得媒質 103 は任意の断面形状でよい。

断面形状が長方形の場合、長方形の辺は長さがほぼ等しく、断面が正方形になる。

長方形の各辺は 1 ~ 6 mm であり、利得媒質 103 の長さは 5 ~ 30 mm である。

通常は、長方形の利得媒質 103 が使用される。

断面が円筒形のロッドを使用してもよい。

直径が小さいロッドは熱伝達に優れている。

【0050】

引き続き図 1 を参照すると、シードレーザ 111 は、パス（111A）に沿ってパルスを放射して偏光子 107、半波長板 106、および旋光子 105 を通過させる。

旋光子 105 において、偏光が利得媒質 103 の偏光に変換される。

図 1A は、鏡 M1 を削除することにより作成されたデュアルパス増幅器の例の概略図 100A である。

図 1B は、図 1 の概略図の斜視図 100B であって、シードレーザ 111 と、レンズ 110 と、偏光子 107 と、旋光子 105 と、冷却室に収容された利得媒質 103 と、光励起（101）とを示している。

【0051】

図 1C は、光側面励起された Nd : YVO₄ 利得媒質 103 を含むレーザの概略図 100C である。

側面励起 199 は、必要に応じて利得媒質 103 を部分的または完全に囲むものとして図示されている。

図 1D は、光側面励起された Nd : YVO₄ 利得媒質 103 を含むレーザの別の例を示す概略図 100D である。

このレーザは、必要に応じて利得媒質 103 を部分的または完全に囲む第 1 光側面励起 199A と第 2 光側面励起 199B とを含む。

図 1E は、光側面励起された Nd : YVO₄ 利得媒質 103R を含むレーザの別の例を示す概略図 100E である。

このレーザは、必要に応じて利得媒質 103R を部分的または完全に囲む 3 つの光側面励起 199C、199D、199E を含む。

【0052】

図 2 は、クワドルブルパス（クワッドパス）Nd : YVO₄ 利得媒質 103 を含む第 1 増幅器と、ダブルパス（デュアルパス）利得媒質 203 を含む第 2 増幅器の組み合わせの概略図 200 である。

10

20

30

40

50

第1増幅器は光端面励起101を含み、第2増幅器は光端面励起201を含む。

図2の例では、鏡M1(114)、M2(221)、M3(214)、M4(217)を利用している。

また図2に示す発明の例では、アイソレータ219を利用している。

偏光子107は、高い偏光消光比を備え、クワッドパス増幅器ヒードレーザ111との間の自然な分離を実現する。

旋光子105は、デュアルパス増幅器からのフィードバックパワーをブロックする働きをする。

【0053】

図3は、図1のクワッドパス302でのさまざまなmWの平均シードパワー・パルスのパワー増幅を示すグラフ300である。
10

クワッドパス302は、図4に示すデュアルパス301よりも増幅利得に優れる。

1~2mWのシード出力を、30Wの励起で約1.5Wに増幅できる。

励起パワーを35W、シードレーザ111の平均パワーを20mWに上げると、単段階のクワッドパス増幅器で5Wを超える出力パワーが得られる。

【0054】

図4は、図1Aのデュアルパス構成でのさまざまなmWの平均シードパワー入力信号のパワー増幅を示すグラフ400である。

【0055】

図5は、第1端520Fに楔面(103A)を備え、第2端530Sに第2端面101Cを備えるNd:YVO₄利得媒質103を示す概略図500である。
20

図5は、シードレーザ111の第1外部パス111Eと、1回目に増幅されたシードレーザ111の第1内部パス111Iと、2回目に増幅されたシードレーザ111の第2内部パス115Iと、2回目に増幅されたシードレーザ111の第2外部パス115Eとを示している。

【0056】

図1Aのデュアルパス増幅器の場合、入射レーザは利得媒質103を2回通過する。

入射パルスは、第1外部パス111Eに沿って入射角2で楔面(103A)に当たり、第1内部パス111Iに沿って屈折角2'で屈折して第2端面101Cに当たる。

ここでは、第1内部パス111Iに沿ったレーザを、1回目に増幅されたレーザとも呼ぶ。
30

その後、レーザは、2回目の通過で第2内部パス115Iに沿って屈折角3で屈折して楔面(103A)に向かう。

ここでは、第2内部パス115Iに沿ったレーザを、2回目に増幅されたレーザとも呼ぶ。

その後、レーザは入射角4で楔面(103A)に到達し、第2外部パス115Eに沿って屈折角5で屈折する。

図1Aに示すデュアルパスの例では、M1は示されていない。

【0057】

図4は、図1Aのデュアルパス概略図でのさまざまなmWの平均シードパワー入力信号のパワー増幅を示すグラフである。
40

【0058】

図1および図5を参照すると、クワッドパス増幅器では、鏡114(M1)を使用してレーザを利得媒質103に戻している。

図5を参照すると、図1および図2に示すクワッドパス増幅器の考え方では、高反射鏡114によってレーザを第2外部パス115Eに沿って楔面(103A)の位置502に對して入射角5で反射させる。

この位置で、レーザは3回目に増幅されたレーザとして第2内部パス115Iに沿って屈折角4で屈折する。

ここでは、この第2内部パス115Iに沿って屈折角4で屈折するレーザを、3回目

50

に増幅されたレーザとも呼ぶ。

3回目に増幅されたレーザは、第2内部バス115Iに沿って進み、高反射性の面101Cに当たる。

そして4回目に増幅されたレーザとして第1内部バス111Iに沿って内部反射角3で楔面(103A)に向けて反射する。

ここでは、第1内部バス111Iに沿って入射角2'で移動するレーザを、4回目に増幅されたレーザとも呼ぶ。

第1内部バス111Iは、楔面(103A)に垂直な線に対して入射角2'で位置する。

4回目に増幅されたレーザが楔面(103A)に当たると、第1外部バス111Eに沿って屈折角2で屈折し、旋光子105、半波長板106、偏光子107、半波長板112を通って矢印113の方向で進む。 10

【0059】

図1は、4段階の増幅を含むクワッドパス増幅器を示している。

レーザは、利得媒質103を通過するたびに増幅され、さらなるエネルギーを得る。

図1Aは、2段階の増幅を含むデュアルパス増幅器を示している。

図2は、クワッドパス(クワッド増幅、図1)とデュアルパス(ダブル増幅、図1A)とを組み合わせた6段階の増幅を示している。 20

【0060】

図5Aは、図5の5A-5A線に沿った端面図500Aである。

図5Aは、第1外部バス111Eに沿った入射パルスの楔面(103A)における進入位置501を示している。

また図5Aは、第2外部バス115Eに沿った出力パルスの楔面(103A)における退出位置502を示している。

利得媒質103をクワッドパス増幅器として使用した例では、位置502が第3パスの進入位置となり、位置501が第4パスの退出位置となる。 30

【0061】

引き続き図5および図5Aを参照すると、ダイオード励起(101)が第2端面101Cの近傍に図示されている。

第2端面101Cは、波長808nmで高透過性を有し、波長1064nmで高反射性を有する。 30

その他の励起波長(820nm、880nm、888nm、915nm)を使用した場合、第2端面101Cはそれらの波長で高透過性を有する。

第2端面101Cはコーティングされており、そのコーティングがそれぞれの波長で上述した特性を有する。

符号103B、103C、103D、103Eは、Nd:YVO₄利得媒質103の領域を示す。

領域103Bは、比較的高いエネルギー/パワーが伝達される第2端面101Cの近傍に位置する。

点(ドット)の密度/量は、利得媒質103に伝達されるエネルギー/パワーの相対的な量を表している。 40

また図5からわかるように、エネルギーは利得媒質103の円筒状コアに伝達され、エネルギー伝達は利得媒質103に進入する励起エネルギーのスポットサイズによって画定される。

領域103Cは、ドットの数/量が少ない。

これは、伝達されるエネルギー/パワーの相対的な量が領域103Bよりも少ないことを示している。

同様に、領域103Dと領域103Eとでは、ドットの数/量が徐々に少なくなる。

これは、808nmの励起からの距離に応じて、利得媒質103に伝達されるエネルギー/パワーの相対的な量が減ることを示している。 50

符号 599 は、ダイオード端面励起の波長 808 nm での放射パワーの径方向範囲を概略的に表している。

その他の励起波長も使用可能である。

たとえば、励起の中心波長は、808 nm、820 nm、880 nm、888 nm、または 915 nm (+/- 10 nm) でよい。

励起は、端面励起または 1 つ以上の側面励起でよい。

励起は、ダイオード励起光源またはその他の適切な光源でよい。

その他の種類の励起も使用できる。

【0062】

引き続き図 5 および図 5A を参照すると、クワッドパス増幅器およびデュアルパス増幅器の構造の重要な部分は、利得媒質 103 である。

利得媒質 103 は、利得物質、ドーピング濃度、断面領域、長さ、構造、およびコーティングを有する。

利得媒質 103 の物質は、Nd : YVO₄ である。

Nd : YVO₄ は、高放射断面と、10 ピコ秒のパルス幅を許容するだけの十分な帯域幅とを備える。

Nd : YVO₄ は、自然偏光された結晶 (103) であり、a 軸カットである。

生成されたレーザの偏光は、結晶の c 軸に沿って行われる。

図 5 に示す Nd : YVO₄ 利得媒質 103 は、均一にドープされている。

均一なドーピングは、均等ドーピングとも呼ばれる。

自然偏光された Nd : YVO₄ 結晶 (103) で、0.05 ~ 3.0% at. (原子重量パーセント) のドーピング濃度が使用されている。

Nd : YVO₄ 利得媒質 103 の例は、0.05 ~ 3.0% at. の濃度で均一にドープされている。

Nd : YVO₄ は、Neodymium-doped Yttrium Vanadate (ネオジウムをドープしたイットリウムバナデード) の略であり、これを意味する。

【0063】

適切なドーピング濃度の設計は、多くの要因に依存する。

利得効果および熱レンズ効果のほかに重要な要因は、適用される最大励起パワー (通常は 30 ~ 60 W) と、Nd : YVO₄ 結晶 (103) の断面の寸法である。

最適な励起スポットサイズは、通常は直径 0.3 ~ 2 mm である。

励起パワーが増大すると、ドーパントの濃度は低くなると予想される。

ドーピング濃度が低いほど、高い励起パワーを使用できる。

端面励起によって Nd : YVO₄ 結晶 (103) に適用されるパワーは、結晶自体の構造によって制限される。

特定のドーパント濃度の結晶に過剰なパワーを適用すると、熱的に誘発された引張応力に起因して結晶が破損する。

断面が 1 mm² 等の小さい Nd : YVO₄ 結晶利得媒質 103 には、断面が 36 mm² 等の大きい利得媒質に比べて、相対的に多くのパワーを適用できる。

さらに、Nd 濃度が 0.05% at. 等の低い Nd : YVO₄ 結晶には、相対的に多くの励起パワーを適用できる。

さらに、励起スポットの半径を大きくすると、相対的に多くの励起パワーを適用できる。

したがって、均一ドープされた結晶のサイズは、上述したすべての事項を考慮して決定する必要がある。

図 10 ~ 図 11 は、セグメント分けされた利得媒質を図示および開示している。

励起スポットのサイズは、利得媒質を通過するシードレーザを完全に包含するだけの大きさを備えている必要がある。

したがって、セグメント分けしてドープされた結晶のサイズは、上述したすべての事項を考慮して決定する必要がある。

10

20

30

40

50

【0064】

$Nd:YVO_4$ は、自然偏光された結晶であり、適切なドーピング濃度で 808 nm および 3 nm の帯域幅 (FWHM) の励起パワーの 99% 以上を吸収できる 5 ~ 33 mm の長さであることが好ましい。

さらに、結晶が長くなるほど、熱除去のための表面積が大きくなる。

励起スポットサイズは、通常は直径 0.3 ~ 2 mm である。

結晶の断面は、結晶内でのシードレーザのスポットサイズが直径 0.4 ~ 0.6 mm なので、4 mm² あればよい。

したがって、結晶の好ましいサイズは、レーザに十分な口径を提供する断面 4 mm² を有する。

10

【0065】

$Nd:YVO_4$ の断面寸法は、1 ~ 36 mm² でよい。

0.05 ~ 3.00% at. のドーピング濃度は、適用される最大励起パワー (通常 30 ~ 50 W) と、励起ビームのスポットサイズとから決定できる。

【0066】

上述したように、 $Nd:YVO_4$ 利得媒質 103 の第 1 端面 103A は、図 5 に示す平坦な楔面 (103A) である。

利得媒質 103 の楔面 (103A) の設計は、增幅器の重要な側面である。

この楔面 (103A) により、2 つの平行する面によって引き起こされるエタロン効果が除去される。

20

利得媒質 103 の 2 つの平行な面は、光キャビティを実質的に形成する。

エタロン効果は、パルス幅を広げ、励起された利得媒質 103 内に自己レーザ放射を形成する。

自己レーザ放射は、レーザの出力の制御を損なうため、望ましくない。

楔面 (103A) は、利得媒質 103 の面 103A、101C の間の自己レーザ放射を除去する。

AR (反射防止) コーティングが結晶 (103) の両側に施されていたとしても、利得媒質 103 の平行な第 1 面と第 2 面との間で潜在的なレーザ放射が起こる可能性がある。

楔面 (103A) の使用は、利得媒質 103 の面と增幅器で使用されている他の光学面との間で自己レーザ放射を減少させるのにも役立つ。

30

【0067】

引き続き図 5 を参照すると、利得媒質 103 の楔面 (103A) は、パルス出力の第 1 外部パス 111E に沿った入射パルスと、第 2 外部パス 115E に沿った出射パルスとの間の分離角を広げる。

楔面 (103A) は、 $Nd:YVO_4$ の a - c 面に対して垂直である。

ここで、増幅されたレーザの偏光は a - c 面に含まれる。

楔面 (103A) は、波長 1064 nm で AR コーティングされている。

第 2 面 101C は、波長 808 nm で HT コーティングされ、波長 1064 nm で HR コーティングされている。

動作波長に関連して適切なコーティングが使用される。

40

【0068】

引き続き図 5 を参照すると、略長方形の $Nd:YVO_4$ 利得媒質 103 の第 1 端 520F は、反射防止コーディングが施された楔面 (103A) を含む。

シードレーザ 111 は、 $Nd:YVO_4$ 利得媒質 103 の楔面 (103A) の反射防止コーディングに入射角 2 で進入する。

入射角 2 は、 $Nd:YVO_4$ 利得媒質 103 の楔面 (103A) に垂直な線 505P に対して計測される。

楔面 (103A) が平坦な面であり、楔角 1 で形成されていることがわかる。

楔角 1 は、楔面 (103A) の 1 点を通過する垂直面に対して計測される。

さらに、入力シードレーザ 111 が、利得媒質 103 の中心線に平行な線に対して角度

50

6で線 1 1 1 E に沿って楔面 (1 0 3 A) に進入することがわかる。

図 5 を参照すると、6 = 2 - 1 であることがわかる。

楔角 1 は、5 ~ 7 ° の範囲でよい。

これは、シードレーザ 1 1 1 の入射角 2 を 15 ° 以下に維持するのが望ましく、また好ましいからである。

5 ~ 7 ° の楔角は、約 0 . 78 ° の好ましい内部反射角 3 を生む。

【0 0 6 9】

本発明の目的は、楔面 (1 0 3 A) を備えた高利得媒質 1 0 3 を含むレーザを提供することである。

図 5 から、利得媒質 1 0 3 の中心線 5 0 5 C と一直線ではないパス (1 1 1 E) 上でレーザが到達することがわかる。 10

入射角 2 は、シードレーザ 1 1 1 が楔面 (1 0 3 A) に当たり、高利得媒質 1 0 3 内の第 1 内部パス 1 1 1 I 上で角度 2' をなして屈折し、利得媒質 1 0 3 内を移動する際に励起スポットサイズ内に存在することでレーザへのエネルギー伝達が最大化されるように選択される。

符号 5 9 9 は、励起スポットサイズの径方向の範囲を表している。

レーザを利得媒質 1 0 3 内で励起スポットサイズの内部に合わせることが望ましい。

励起のエネルギーのほとんどは、利得媒質 1 0 3 の中心線 5 0 5 C に沿って集中する傾向がある。

【0 0 7 0】

シードレーザ 1 1 1 は、楔面 (1 0 3 A) に当たると角度 2' で屈折する。

シードレーザ 1 1 1 は、Nd : YVO₄ 利得媒質 1 0 3 内の第 2 内部パス 1 1 5 I に沿って、第 2 端面 1 0 1 C から内部反射角 3 で反射する。

内部反射角 3 は、Nd : YVO₄ 利得媒質 1 0 3 の中心線 5 0 5 C に対して定義される。

さらに、好ましい内部反射角 3 は、約 0 . 78 ° である。

利得媒質 1 0 3 内のシードレーザ 1 1 1 の反射角 3 を最小化して、シードレーザ 1 1 1 が利得媒質 1 0 3 を通る軸の中心線に対して相対的に中央にとどまるようにし、それによってシードレーザ 1 1 1 が利得媒質 1 0 3 内を通過するときに励起エネルギーを効果的に抽出できることが望ましい。 30

利得媒質 1 0 3 に励起されるエネルギーは、端面励起 1 0 1 のスポットサイズ内に集中する。

シードレーザ 1 1 1 の入射パルスが Nd : YVO₄ 利得媒質 1 0 3 内の励起スポットサイズの内部に合わせられている場合、励起スポットサイズは第 1 内部パス 1 1 1 I および第 2 内部パス 1 1 5 I 上でシードレーザ 1 1 1 と重複し、エネルギーがレーザに効率的に伝達される。

【0 0 7 1】

さらに、0 . 78 ° の好ましい内部反射角 3 は、Nd : YVO₄ 利得媒質 1 0 3 の楔面 (1 0 3 A) を形成する平坦面に進入するシードレーザ 1 1 1 と、利得媒質 1 0 3 の平坦面から退出する増幅レーザとが、確実に分離されるだけの大きさでなければならない。 40

【0 0 7 2】

0 . 78 ° の内部反射角 3 は、長さ約 2 0 mm の利得媒質 1 0 3 の場合、利得媒質 1 0 3 の軸に対して約 0 . 27 mm のシフトを生む。

さらに、利得媒質 1 0 3 が長さ約 1 0 mm の場合、0 . 78 ° の好ましい反射角 3 は、利得媒質 1 0 3 の軸に対して約 0 . 135 mm のシフトを生む。

【0 0 7 3】

シードレーザ 1 1 1 は、第 1 パス (1 回目の増幅) 上で Nd : YVO₄ 利得媒質 1 0 3 の内部を通過する第 1 内部パス 1 1 1 I に沿って屈折して、Nd : YVO₄ 利得媒質 1 0 3 の第 2 端面 1 0 1 C に向かって移動する。

励起に近接する Nd : YVO₄ 利得媒質の第 2 端面 1 0 1 C は、波長 1 0 6 4 nm のシ 50

ードレーザ 111 に対して高反射性を有する第 2 コーティングを含む。

第 2 コーティングは、端面励起 101 からの波長 808 nm の光に対しては高透過性を有する。

【0074】

シードレーザ 111 は、Nd : YVO₄ 利得媒質 103 の第 2 端面 101C の高反射性を有する第 2 コーティングによって内部反射角 3 で反射し、それによって波長 1064 nm のレーザが第 2 パス（2 回目の増幅）上で Nd : YVO₄ 利得媒質 103 の内部を通過する第 2 内部パス 115I に沿って Nd : YVO₄ 利得媒質 103 の楔面（103A）に向かって移動する。

レーザパルスは、Nd : YVO₄ 利得媒質 103 の楔面（103A）から屈折角 5 で退出する。 10

屈折角 5 は、Nd : YVO₄ 利得媒質 103 の第 1 端に直交する（垂直な）線に対して計測される。

【0075】

図 5A は、図 5 の 5A - 5A 線に沿った端面図 500A であり、断面正方形の利得媒質 103 を示している。

符号 599 は、利得媒質 103 内の励起スポットサイズの径方向範囲である。

符号 501、502 は、それぞれレーザの進入位置と退出位置とを示す。

図 5B は、断面円形の Nd : YVO₄ 利得媒質 503 の端面図 500B である。 20

【0076】

図 6 は、Nd : YVO₄ 利得媒質 103 の楔角 1 とシードレーザ 111 のパルス出力のパルスの入射角 2 との関係 601、Nd : YVO₄ 利得媒質 103 の楔角 1 と利得媒質 103 の内部反射角 3 との関係 602、および Nd : YVO₄ 利得媒質 103 の楔角 1 と垂直入射コーティング限度との関係 603 を示すグラフ 600 である。

したがって、垂直入射 AR コーティングを基準とした場合、5 ~ 7° の楔角は約 15° の入射角に対応し、内部反射角は約 0.78° である。 20

【0077】

図 7 は、楔角 1 に応じた第 1 端面 103A における入射レーザの入力パス（111E）の退出パルスの出力パス（115E）からの分離距離のプロット 701 と、楔角 1 に応じた入射シードレーザ（111E）のプロット 702 とを示すグラフである。 30

【0078】

図 8 は、Nd : YVO₄ 利得媒質 805 と、第 1 鏡 806 と、第 2 鏡 807 とを含むクワッドパス増幅器の概略図 800 である。

図 8A は、図 8 の構成の移動距離に応じたシードレーザのスポットサイズを示すグラフ 800A である。

このグラフは、第 1 パス 801 と、第 2 パス 802 と、第 3 パス 803 と、第 4 パス 804 と、平坦な鏡 806 および第 2 の湾曲した鏡 807 の位置とを示している。

第 1 パス 801 は長さ約 64 mm、第 2 パス 802 は長さ約 161 mm、第 3 パス 803 は長さ約 161 mm、第 4 パス 804 は長さ約 64 mm である。

図 8A の符号 810 は、利得媒質 805 における第 1 パス 801 の開始点を表す。 40

図 8 の符号 811 はシードビームウエストである。

シードビームウエストは、光励起のウエスト（図 8 では図示なし）と一致するように位置決めするのが望ましい。

シードビームウエスト 811 は、利得媒質 805 の内部に励起面（図 8 では図示なし）から約 2 mm 離れて位置している。

【0079】

クワッドパス増幅器では、レーザと励起モードとのモード整合が各パスにとってきわめて重要である。

通常、レーザと励起スポットとの間のモード整合率、すなわち（レーザのスポット直径）/（励起のスポット直径）は 0.6 ~ 1.2 である。 50

図 8 A は、クワッドパス増幅器のレーザビームの伝搬を示している。

高パワーの励起における利得媒質 805 の熱レンズ効果を考慮して、図 8 A に示す M1 および M2 の適切な設計では、第 2 のパス 802、第 3 のパス 803、および第 4 のパス 804 のレーザモードのスポットサイズを励起モードに整合するように制御する。

【0080】

図 9 は、波長 1064 nm、繰り返し率 100 kHz、パルス幅 10 ピコ秒のシードレーザの概略図 900 である。

図 9 に示すパルスストリームについて、平均パワーは指定されていない。

図 9 A は、Nd : YVO₄ 利得媒質 903 の第 2 端 904 の近傍に存在する光励起 902 およびシードレーザ (901) の概略図 900 A である。

この例で、シード入力 901 は励起 902 と一致しており、シード入力 901 は利得媒質 903 の第 2 端 9305 の第 2 端面 904 に進入する。

第 2 端面 904 は、808 nm のダイオード励起放射と、1064 nm のシードレーザ (901) との伝達を許可する。

増幅されたレーザは、矢印 930 が示すように、利得媒質 903 の第 2 端 920F の第 2 端面 905 から退出する。

【0081】

引き続き図 9 A を参照すると、矢印 930S は利得媒質 903 の第 2 端 920F を示し、矢印 920F は利得媒質 903 の第 1 端を示している。

符号 903B、903C、903D、903E は、Nd : YVO₄ 利得媒質 903 の領域を図示している。

領域 903B は、比較的高いエネルギー / パワーが吸収される端面 904 の近傍にある。

点 (ドット) の密度 / 量は、利得媒質 903 で吸収されるエネルギー / パワーの相対的な量を示す。

また図 9 A から、パワーが利得媒質 903 で吸収されることがわかる。

抽出効率は、シードレーザ (901) のパワーと、利得とに関連する。

領域 903B から 903E にかけて、各セグメントで吸収されるパワーは、励起軸に沿って急激に低下する。

【0082】

図 10 は、シードレーザ (1001) の波長 1064 nm、繰り返し率 100 kHz、パルス幅 10 ピコ秒、平均パワー約 1 mW のパルス出力 1001 のパルスの概略図 1000 である。

【0083】

図 10 A は、波長 808 nm で動作する光励起 1002 の概略図 1000 A である。

シードレーザ (1001) は、利得媒質 1003 の第 2 端の近傍に存在している。

利得媒質 1003 は、3 つの拡散接合セグメント 1010、1011、1012 を含んでいる。

これらのセグメント 1010、1011、1012 は、長さとドーパント濃度とが異なり、結果として各セグメントで利得分布が異なる。

より詳細には、図 10 A は、端面励起型のセグメント化された媒質の概略図 1000 A であり、3 つのセグメント 1010、1011、1012 を含む拡散接合された利得媒質 1003 (Nd : YVO₄) を示している。

セグメントごとに、原子重量パーセント (% a t .) 単位の Nd のドーパント濃度、吸収されるパワー (P_{abs})、伝達されるパワー P_T、光学利得 G、および吸収係数 が決まっている。

図 10 B は、セグメントごとのドーパント濃度 C % a t .、mm 単位のセグメント長、(拡大されたドーパント濃度)、および P_{abs} (吸収されたパワー) を表す表 100 B である。

セグメント 1010、1011、1012 は、拡散接続する代わりに、セグメント間で

10

20

30

40

50

反射防止コーティングを使用して相互に固定してもよい。

【0084】

図10Aおよび図10Bを参照すると、第1セグメント1010は、Ndドーピング濃度が最低の0.05%であり、長さが2mmである。

ドーピングのパーセントを3倍に拡大すると、吸収係数 = 0.15が求められる。

吸収効率は以下のとおりである。

【数4】

$$\eta = (1 - e^{-aL})$$

【0085】

したがって、Nd:YVO₄結晶(1003)の詳細がわからなくても、より長い結晶を使用する、および/または吸収係数を増やすことによって効率を向上させることができる。

ただし、吸収係数は、それだけでは、係数と適用されるパワーとに物理的な限度があることを示していない。

Nd:YVO₄結晶(1003)に適用されるパワーが増加すると、Ndドーピングの濃度が減少し、結晶の断面が減少する。

ドーピング濃度が低いほど、高い励起パワーを使用できる。

【0086】

再び図10Aおよび図10Bを参照すると、mWの範囲のシードレーザ(1001)が、断面積4mm²のセグメント化された媒質に適用される。

この例では、励起パワーは40Wであり、励起スポットサイズは直径0.5mmである。

セグメントごとのPabsは、以下の方程式で求められる。

【数5】

$$P_{abs} = Pinput (1 - e^{-aL})$$

【0087】

40Wの端面励起パワーを第1セグメント1010に適用するので、Pabs = 40 (1 - e^{-(0.15)(2)}) W = 10.36ワットとなり、29.64Wが第2セグメント1011用に残る。

後続のセグメントが利用できる、または後続のセグメントに伝達されるパワーは、以下の方程式で求められる。

【数6】

$$Pinput = Ppump - (\sum P_{abs})$$

【0088】

第2セグメント1011へのPinputは、40W - (10.36W) = 29.64Wである。

【0089】

したがって、29.64Wが第2セグメント1011に伝達され、または使用可能となる。

Ndドーピング濃度が0.05%と小さいため、破碎のリスクを冒さずに第1セグメント1010に40Wを安全に適用できることに注目されたい。

【0090】

次に、残りの吸収されていない29.64Wが第2セグメント1011に適用される。

第2セグメント1011は、Nd濃度が0.13%at.、長さが1mmであり、Pabs = 29.64 (1 - e^{-(0.39)(1)}) W = 9.57Wである。

第3セグメント1012に対して利用可能となる/転送されるパワーは以下のとおりである。

第3セグメント1012へのPinput = 40W - (10.36 + 9.57) W = 20.07W

【0091】

10

20

30

40

50

第3セグメント1012に対して利用可能となるノット送されるパワーは20.07Wである。

第3セグメント1012はNdドーピングが0.25%、長さが12mmなので、以下のようになる。

$$P_{abs} = 20.07 (1 - e^{(-0.75)(12)}) W = 20.07 W$$

【0092】

このように励起パワーをセグメント1010、1011、1012で吸収することによって励起パワーを拡大する方法を適用すると、より高い励起パワーを使用し、Nd:YVO₄結晶(1003)へのエネルギー伝達を高めることができる。

Nd:YVO₄結晶(1003)へのエネルギー伝達が高まると、シードレーザ(1001)が利得媒質1003内を移動する際の利得が増える。 10

【0093】

各セグメントは、増幅の1段階として扱うことができる。

この概念を、例を用いて示す。

第1セグメント1010は10.9dBの利得を生成する。

したがって、たとえば約1mWが入力される小信号シードレーザで約10Wの励起パワーが吸収される場合、第1セグメント1010で増幅される平均パワーは12.5mWである。

利得は以下のように計算する。

【数7】

$$Gain = 10 \left(\log_{10} \frac{P_{out}}{P_{in}} \right) dB$$

【0094】

第2セグメント1011は8.2dBの利得を生成する。

したがってシード入力の平均パワーが12.5mW、吸収される励起パワーが10Wの場合、第2セグメント1011から退出する増幅された平均パワーは83mWである。

同様に、第3セグメント1012は10.8dBの利得を生成する。 30

したがってシードレーザ(1001)のパワーが83mW、吸収される励起パワーが約20Wの場合、第3セグメント1012から退出する増幅された平均パワーは1Wである。

3つのセグメント1010、1011、1012の総合利得(全体の利得)は30dBである。

【0095】

単一結晶設計の場合、1mWのシードレーザ(1001)と40Wの励起パワーで利得は28.7dBとなる。

出力パワーは743mWである。

1000mW / 743mW = 1.34なので、マルチセグメントの利得は34%以上向上している。 40

【0096】

ドーピング濃度を徐々に増加させたセグメントを使用すると、セグメントの破碎を防ぐことができる。

これは、各セグメントに入力されるパワーが、液晶が破碎せずに吸収できる許容レベルに抑えられるためである。

【0097】

ドーピング濃度の異なるセグメントを使用すると、利得分布を最適化して高い抽出効率を実現できる。

【0098】

非特許文献 1 をここに引用によりその全体を援用する。

【0099】

図 11 は、図 5 に似た概略図 1100 であるが、ここで Nd : YVO₄ 利得媒質 1103 は、セグメントごとにドーピング濃度が異なる 3 つのセグメント 1010、1011、1012 を含んでいる。

図 11 は、図 10A の例に似た例である。

ただし、図 11 はデュアルパス増幅器を示している。

シードレーザ (111) は、第 1 内部パス 111I と第 2 内部パス 115I の両方を移動する際に増幅される。

したがって利得はデュアルパス構成で向上し、クワッドパス構成ではさらに向上する。

10

【0100】

本発明は例を用いて示されている。

当業者には、添付する特許請求の範囲の精神および範囲から逸脱することなく、これらの例に変更を加え得ることがわかるであろう。

【符号の説明】

【0101】

100 . . . クワッドパス増幅器の概略図

100A . . . デュアルパス増幅器の概略図

100B . . . 図 1 の例の概略斜視図

100C . . . 光側面励起配置の概略図

20

100D . . . 光側面励起された Nd : YVO₄ 利得媒質を含むレーザの他の例の概略図

100E . . . 光側面励起された Nd : YVO₄ 利得媒質を含むレーザの他の例の概略図

101 . . . 808 nm、820 nm、880 nm、888 nm、または 915 nm (+/- 10 nm) の端面励起

101C . . . 端面励起 101 からの 808 nm の励起に対して高透過性を有し、ピコ秒のパルスに埋め込まれた 1064 nm の入射シード信号に対して高反射性を有するコーティングが施された、結晶の端面

30

102 . . . 808 nm 端面励起の方向を示す矢印

103 . . . Nd : YVO₄ 結晶、利得媒質

103A . . . 第 1 端面、反射防止コーティングが施された、結晶の平坦な楔面

103B、103C、103D、103E . . . 利得媒質内の励起の強度変化

103R . . . Nd : YVO₄ 結晶、利得媒質

104 . . . シードレーザ入力の方向を示す矢印

104A . . . 結晶 103 から旋光子 105 への増幅された出力信号の方向を示す矢印

40

105 . . . 旋光子

106、112 . . . 半波長板

40

107 . . . 偏光子

108 . . . 半波長板 112 の方向の偏光子の出力

109 . . . シードレーザの方向を示す矢印

110 . . . レンズ

111 . . . シードレーザ

111A . . . レンズ出力

111E . . . レーザの第 1 外部パス

111I . . . 利得媒質 103 内のレーザの第 1 内部パス

113 . . . 増幅されたレーザ信号の出力を示す矢印

114 . . . 増幅された信号をさらに増幅するためにクワッドパス増幅器に反射する鏡

50

| | | | |
|-----------------|-----|--|----|
| 1 1 5 E | ・・・ | レーザの第2外部パス | |
| 1 1 5 I | ・・・ | 利得媒質103内のレーザの第2内部パス | |
| 1 9 9 | ・・・ | 光側面励起、808nm、820nm、880nm、888nm、または915nm (+/-10nm) | |
| 1 9 9 A | ・・・ | 光側面励起、808nm、820nm、880nm、888nm、または915nm (+/-10nm) | 10 |
| 1 9 9 B | ・・・ | 光側面励起、808nm、820nm、880nm、888nm、または915nm (+/-10nm) | |
| 1 9 9 C | ・・・ | 光側面励起、808nm、820nm、880nm、888nm、または915nm (+/-10nm) | |
| 1 9 9 D | ・・・ | 光側面励起、808nm、820nm、880nm、888nm、または915nm (+/-10nm) | |
| 1 9 9 E | ・・・ | 光側面励起、808nm、820nm、880nm、888nm、または915nm (+/-10nm) | |
| 2 0 0 | ・・・ | デュアルパスパワー増幅器とクワッドパス増幅器の組み合わせ | |
| 2 0 1 | ・・・ | 第2のNd:YVO ₄ 結晶(利得媒質)を励起する第2の808nm励起 | |
| 2 0 3 | ・・・ | 第2のNd:YVO ₄ 結晶、利得媒質 | |
| 2 1 4 | ・・・ | 鏡M3 | |
| 2 1 5 E | ・・・ | 利得媒質203から鏡M3(符号214)への信号 | 20 |
| 2 1 6 | ・・・ | 鏡214と鏡217との間の信号 | |
| 2 1 7 | ・・・ | 鏡M4 | |
| 2 1 8 | ・・・ | アイソレータ219に向かうレーザ信号のパス | |
| 2 1 9 | ・・・ | アイソレータ | |
| 2 2 1 | ・・・ | 光をデュアルパス増幅器に案内する第2鏡 | |
| 2 2 2 | ・・・ | レンズ | |
| 2 2 3 | ・・・ | デュアルパス増幅器への増幅されたレーザ信号のパス | |
| 2 2 4 | ・・・ | デュアルパス増幅器への増幅されたレーザ信号の方向を示す矢印 | |
| 3 0 0 | ・・・ | 低シードパワー(1~25mW)と増幅されたパワー(ワット単位)のグラフ | 30 |
| 3 0 1 | ・・・ | デュアルパスで増幅されたパワー | |
| 3 0 2 | ・・・ | クワッドパスで増幅されたパワー | |
| 4 0 0 | ・・・ | 図1Aのデュアルパス概略図のさまざまなmWの平均シードパワー入力信号のパワー増幅を示すグラフ | |
| 5 0 0 | ・・・ | 利得媒質103の概略図 | |
| 5 0 0 A | ・・・ | 利得媒質103の端面図 | |
| 5 0 0 B | ・・・ | 断面円形の利得媒質の端面図 | |
| 5 0 1 | ・・・ | 利得媒質への入射パルスの進入位置 | |
| 5 0 2 | ・・・ | 利得媒質からのパルスの退出位置 | |
| 5 0 3 | ・・・ | 断面円形の利得媒質 | 40 |
| 5 0 5 C | ・・・ | 利得媒質103の中心線 | |
| 5 0 5 P、5 0 5 X | ・・・ | 楔面(103A)に対する垂直線 | |
| 5 2 0 F | ・・・ | 利得媒質103の第1端を示す矢印 | |
| 5 3 0 S | ・・・ | 利得媒質103の第2端を示す矢印 | |
| 5 9 9 | ・・・ | 利得媒質における励起スポットサイズの径方向範囲 | |
| 6 0 0 | ・・・ | 楔角1と入射角2との関係、および楔角1と反射角3との関係とを示すグラフ | |
| 6 0 1 | ・・・ | 楔角1と入射角2との関係を示すプロット | |
| 6 0 2 | ・・・ | 楔角1と反射角3との関係を示すプロット | |
| 7 0 0 | ・・・ | 楔角1に応じた鏡M1から中心線までの間の距離702と、楔角1 | 50 |

に応じた入力ビームの出力ビームからの分離距離 701とを示すグラフ

701 . . . 楔角 1に応じた第1端面 103Aにおける入力ビームの出力ビームからの分離距離のプロット

702 . . . 楔角 1に応じた鏡 M1から入射シードレーザ 111Eまでの間の距離のプロット

800 . . . M1(鏡 806)と、M2(鏡 807)と、利得媒質 805とを使用したクワッドパス増幅器の設計

801 . . . 第1パス、長さ約 64mm

802 . . . 第2パス、長さ約 161mm

803 . . . 第3パス、長さ約 161mm

804 . . . 第4パス、長さ約 64mm

805 . . . 利得媒質、Nd:YVO₄

806 . . . 鏡、M1

807 . . . 鏡、M2

810 . . . 利得媒質内での第1パスの開始

900 . . . 波長 1064nm、パルス幅 10ps、繰り返し率 100kHz、平均パワー約 1mW のシード入力のパルス列 / 信号

900A . . . 端面励起利得媒質 903 の概略図

901 . . . シード入力

902 . . . 808nm の励起

903 . . . 利得媒質、Nd:YVO₄

903B、903C、903D、903E . . . 利得媒質内での励起の強度変化

904 . . . 808nm と 1064nm の両方で高透過性を有するコーティングが施された第2端面

920F . . . 利得媒質の第1端

930 . . . レーザ出力を示す矢印

930S . . . 利得媒質の第2端

1000 . . . 波長 1064nm、パルス幅 10ps、繰り返し率 100kHz、平均パワー約 1mW のシード入力の概略図

1000A . . . それぞれに Nd のドーパント濃度(原子重量パーセント単位)と、吸収されるパワー P_{abs} と、伝達されるパワー P_T と、セグメント利得 G と、吸収係数とを有する 3 つのセグメントからなる拡散結合された利得媒質 Nd:YVO₄ を示す、端面励起型のセグメント化された媒質の概略図

1000B . . . 3 つのセグメントからなる利得媒質 Nd:YVO₄ についての、ドーパント濃度と、長さと、吸収係数と、吸収されるパワー P_{abs} とを、吸収されるパワーの方程式と共に示す表

1001 . . . 波長 1064nm、パルス幅 10ps、繰り返し率 100kHz、平均パワー約 1mW のシード入力

1002 . . . 808nm の励起

1003 . . . 利得媒質、Nd:YVO₄

1004 . . . 利得媒質 1003 からのレーザ出力を示す矢印

1005 . . . 808nm および 1064nm の波長に対して高透過性を有するコーティングが施された、利得媒質 1003 の第2端の第2端面

1006 . . . 808nm および 1064nm の波長に対して高透過性を有する反射防止コーティングが施された、利得媒質 1003 の第1端面

1010 . . . 長さ 2mm、Nd 濃度 0.05% at.、P_{abs} = 10.4W、G_{ain} = 10.9dB、P_T = 29.6W、= 0.15 の第1セグメント

1011 . . . 長さ 1mm、Nd 濃度 0.13% at.、P_{abs} = 9.6W、G_{ain} = 8.2dB、P_T = 20.1W、= 0.30 の第2セグメント

1012 . . . 長さ 12mm、Nd 濃度 0.25% at.、P_{abs} = 20.1W、

10

20

30

40

50

Gain = 1.0, 8dB, Port = 0, 1W, = 0.75 の第3セグメント

1 0 2 0 F . . . 利得媒質 1 0 0 3 の第 1 端を示す矢印

1 0 3 0 5 . . . 利得媒質 1 0 0 3 の第 2 端を示す矢印

1100 . . . シード入力信号と組み合わせて使用するセグメント化された利得媒質の概略図

1110 . . . 長さ 2 mm、Nd 濃度 0.05% at.、Pabs = 10.4 W、Gain = 10.9 dB、Pt = 29.6 W、= 0.15 の第 1 セグメント

1 1 1 1 1 . . . 長さ 1 mm、Nd 濃度 0.13% at.、Pabs = 9.6 W、Gain = 8.2 dB、Pt = 20.1 W、= 0.30 の第 2 セグメント

1 1 1 2 . . . 長さ 12 mm、Nd 濃度 0.25% at.、Pabs = 20.1 W、Gain = 10.8 dB、Pt = 0 W、= 0.75 の第 3 セグメント

1. 椒角

候用

2 . . . ハス 111E に沿ったシードレーザの第 1 パスの入射角 (最大 15°)、
パス 111E に沿ったシードレーザの第 4 パスの屈折角

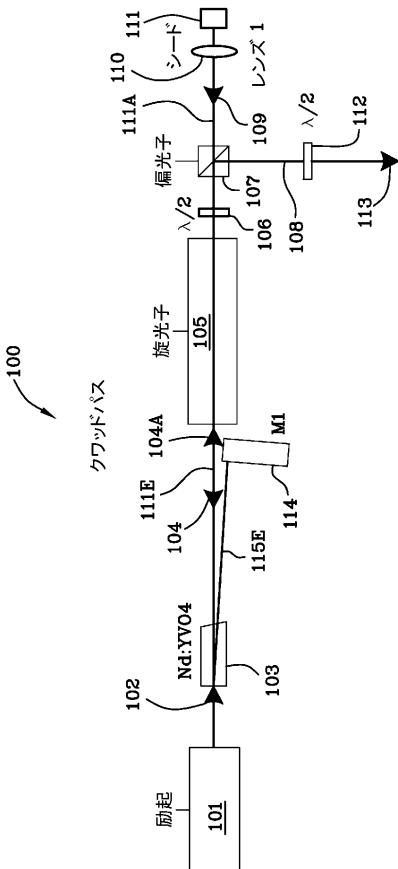
2, . . . バス 1111I に沿ったシードレーザの第 1 パスの屈折角、クワッドバスの例のバス 1111I に沿ったシードレーザの第 4 パスの入射角

3 . . . 1 0 6 4 nmで高反射性を有する面101Cに当たる内部反射角(0.78°)

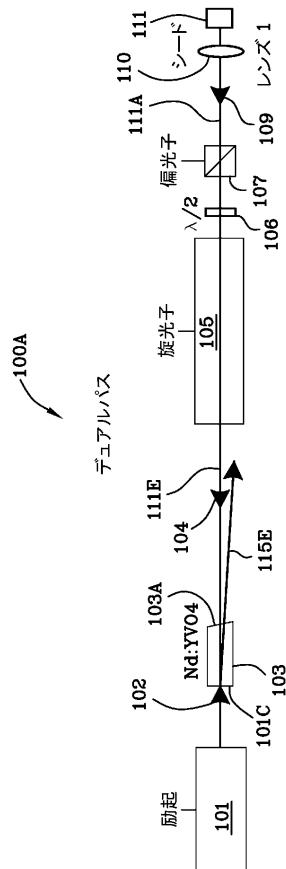
4 . . . パス 1 1 5 I に沿ったシードレーザの第 2 パスの入射角、クワッドパスの例のパス 1 1 5 I に沿った第 3 パスの屈折角

5 . . . パス 115E に沿ったシードレーザの第 2 パスの屈折角、クワッドパスの
パス 115E に沿った第 3 パスの入射角

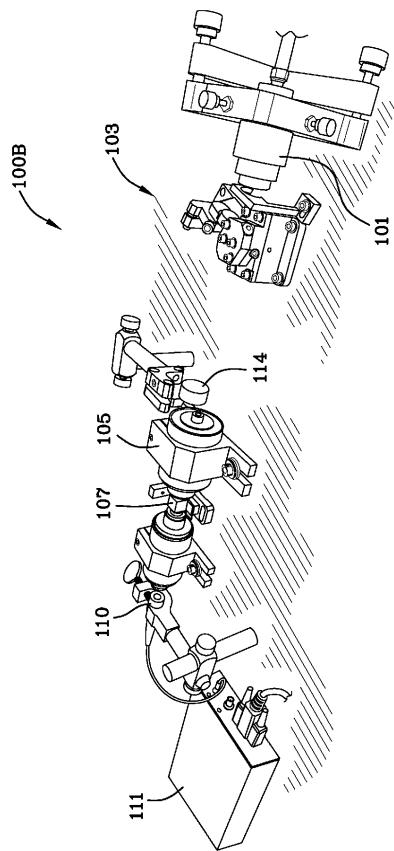
【 図 1 】



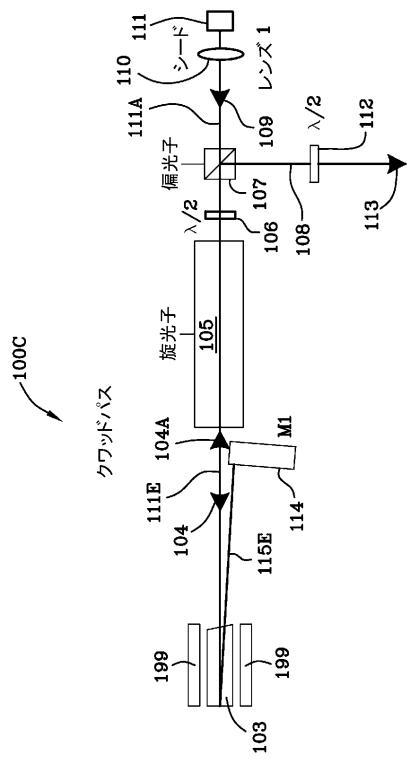
【 図 1 A 】



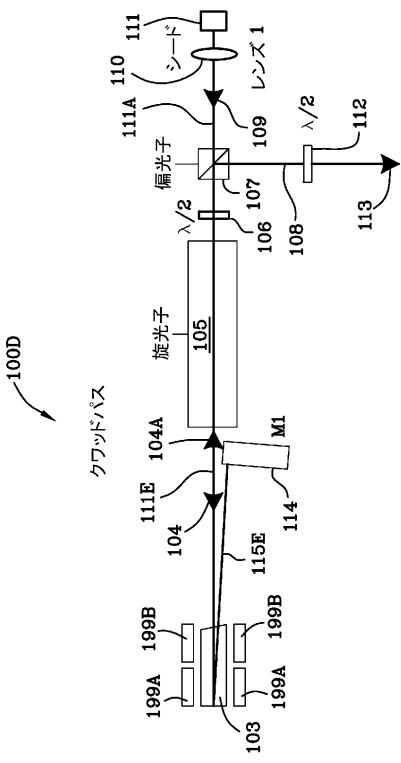
【図 1 B】



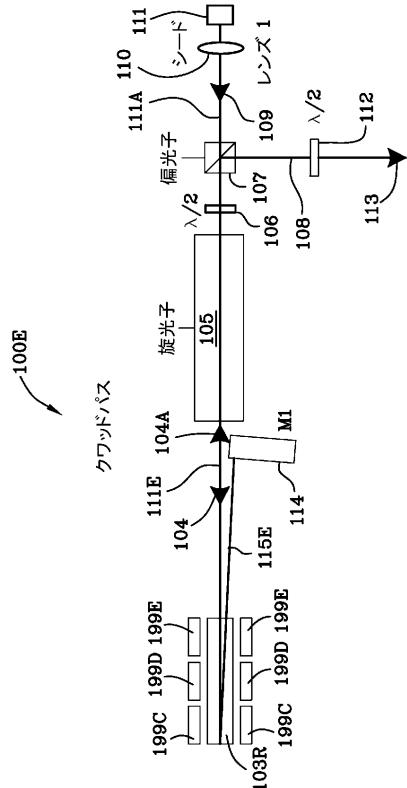
【図 1 C】



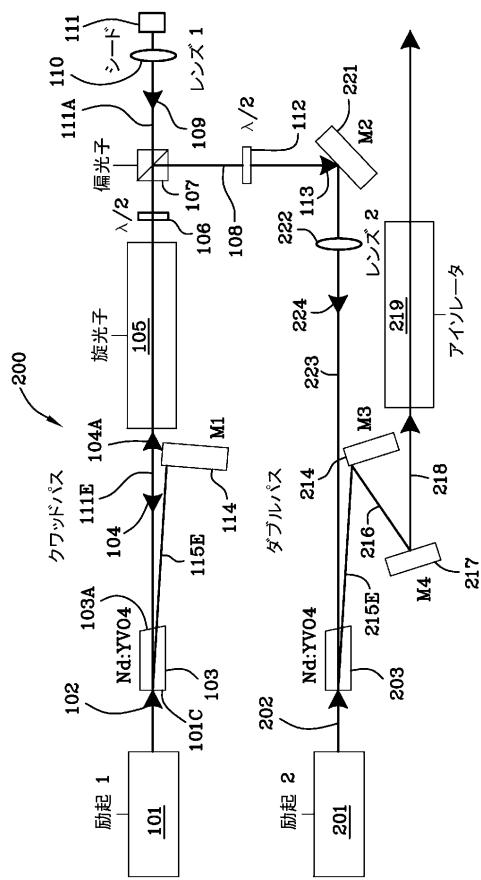
【図 1 D】



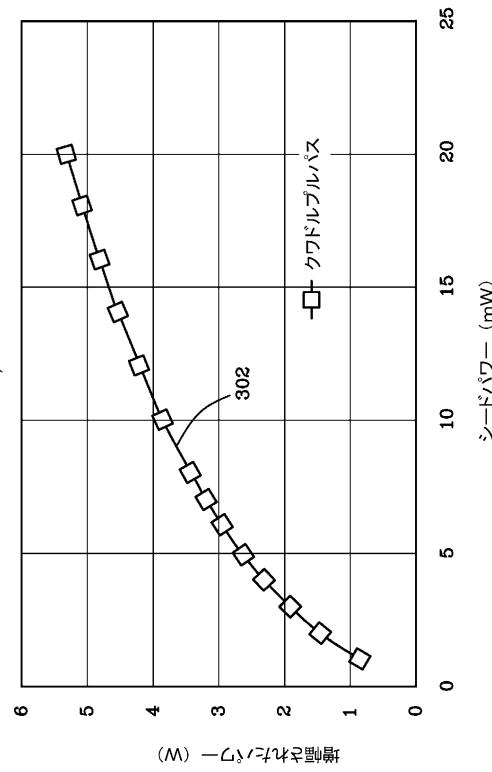
【図 1 E】



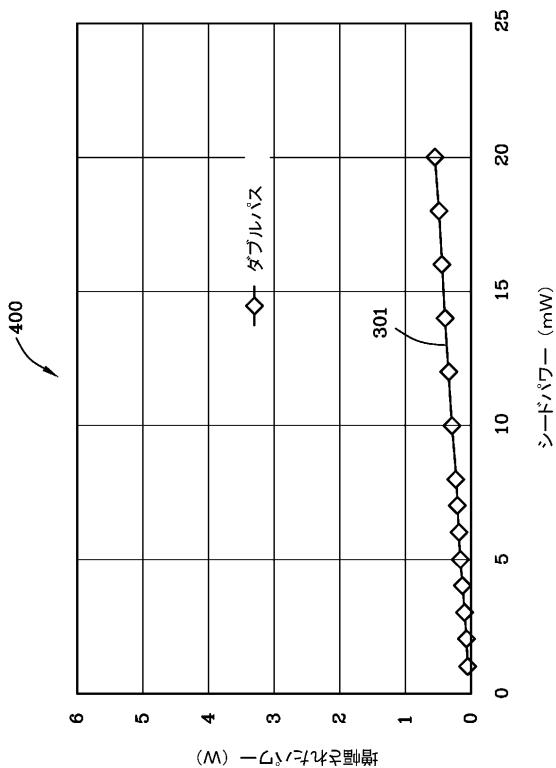
【 四 2 】



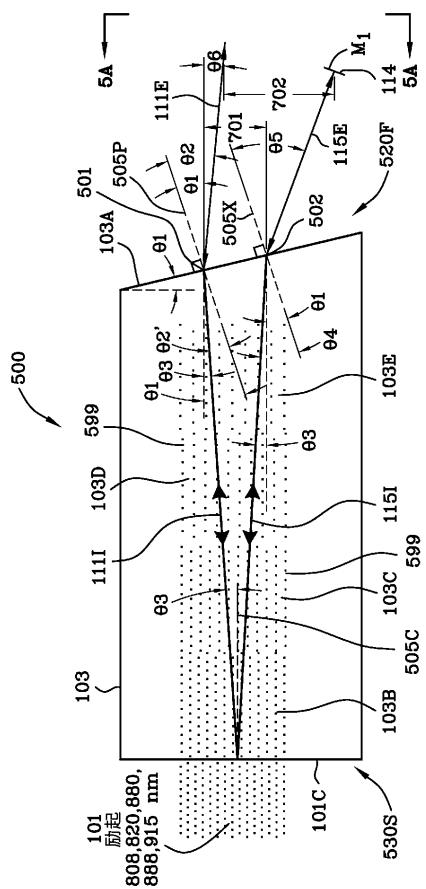
【 四 3 】



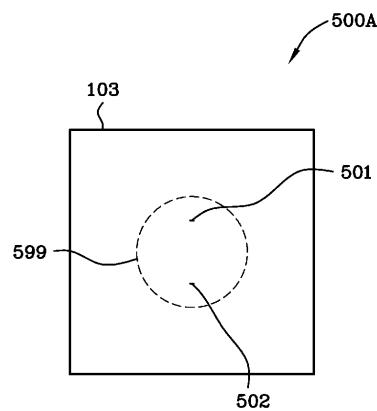
【 図 4 】



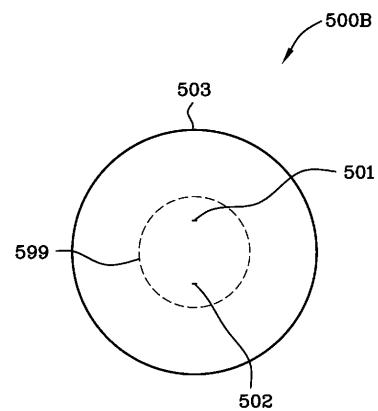
〔 図 5 〕



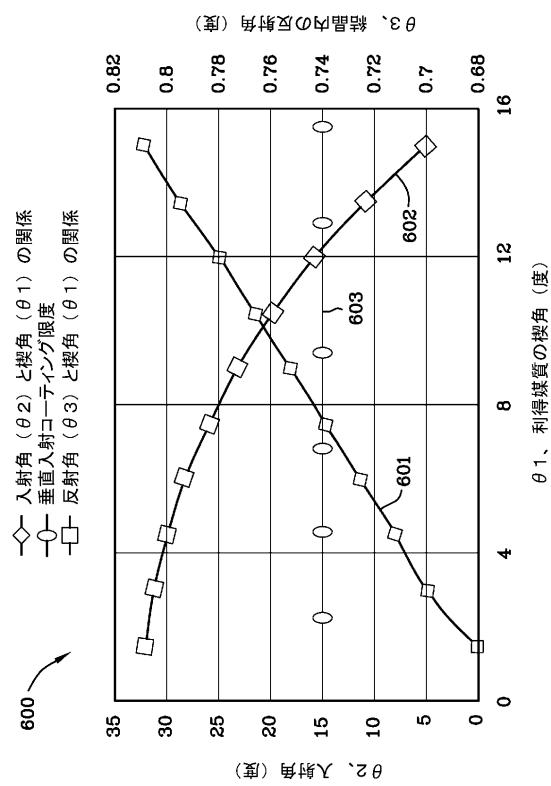
【図 5 A】



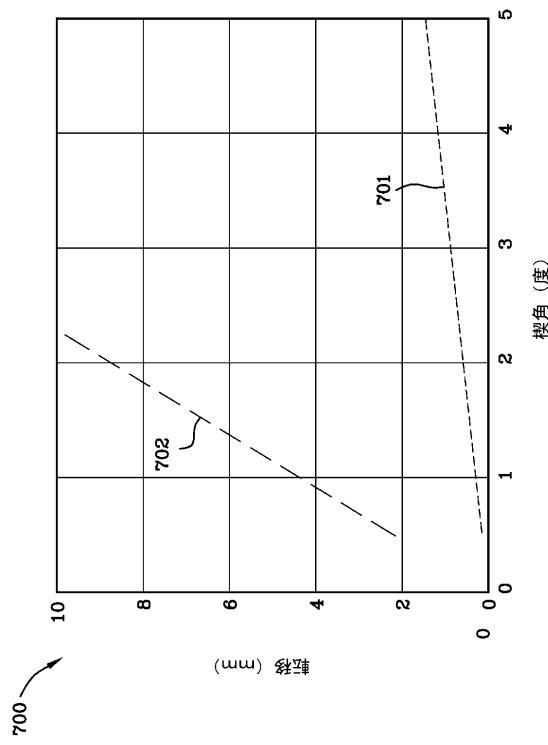
【図 5 B】



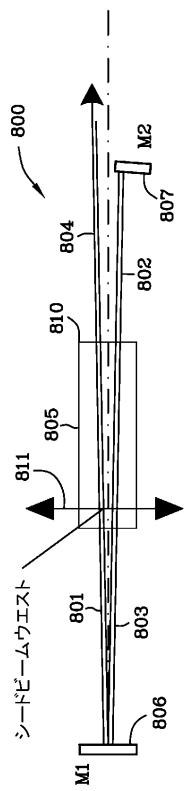
【図 6】



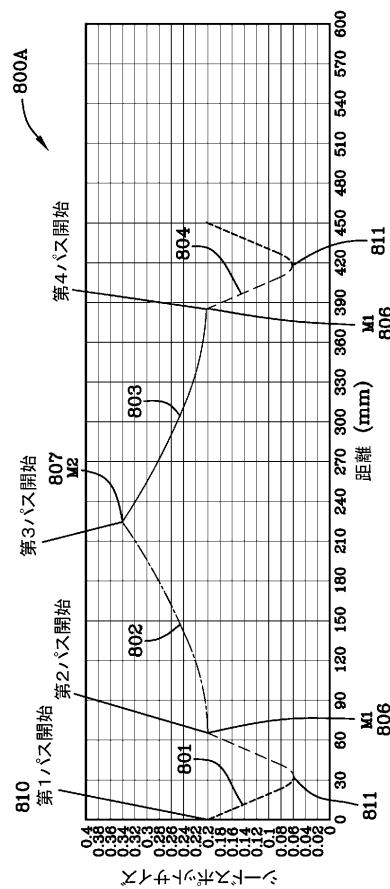
【図 7】



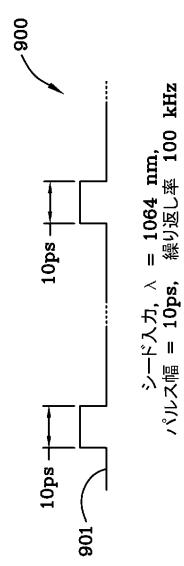
【図 8】



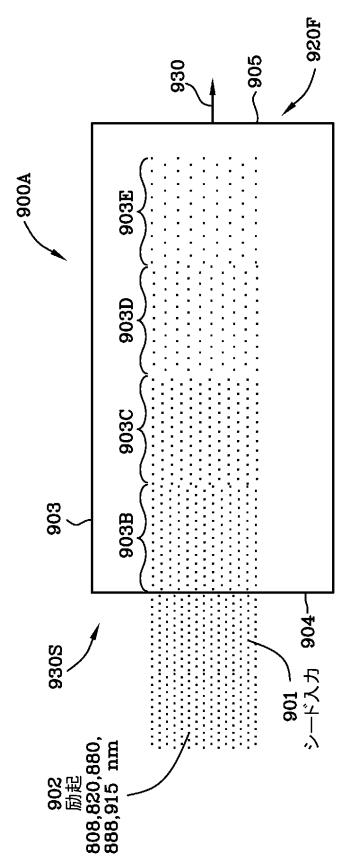
【図 8 A】



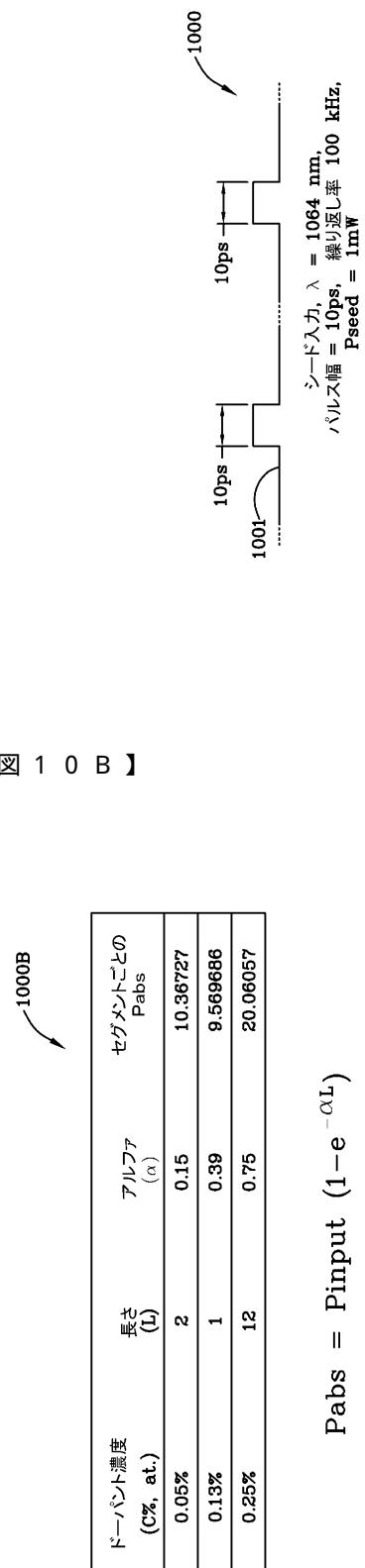
【図 9】



【図 9 A】



【図 10】



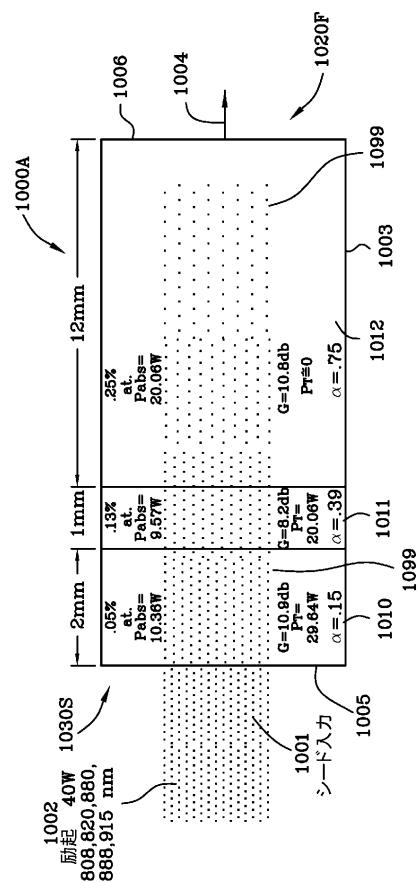
$$P_{abs} = P_{input} (1 - e^{-\alpha L})$$

$$P_{input} = P_{pump} - (\sum P_{abs})$$

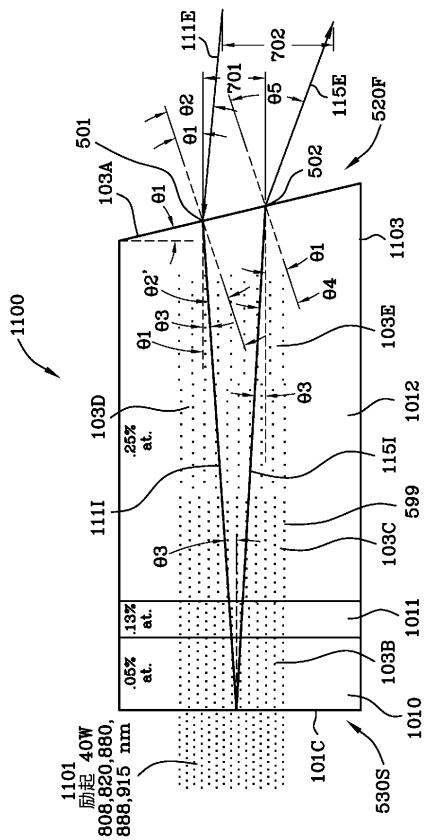
$$P_{pump} = 40 \text{ W} \times$$

$$\text{Alpha} = 3\text{C}$$

【図 10 A】



【図 11】



フロントページの続き

(72)発明者 シャオユアン ペン

アメリカ合衆国 97229 オレゴン州、ポートランド、ノースウェスト ヘイゼルティン ス
トリート 8105

F ターム(参考) 5F172 AE09 AF02 AL10 DD03 EE13 NN06 NR13

【外國語明細書】

2014042016000001.pdf