

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年7月28日(28.07.2016)



(10) 国際公開番号

WO 2016/117426 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/042 (2006.01) H01S 3/07 (2006.01)
H01S 3/06 (2006.01) H01S 3/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/050809
- (22) 国際出願日: 2016年1月13日(13.01.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-008808 2015年1月20日(20.01.2015) JP
- (71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社(HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: 関根 尊史(SEKINE Takashi); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 加藤 義則(KATO Yoshinori); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 玉置 善紀(TAMAOKI Yoshinori); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

Shizuoka (JP). 栗田 隆史(KURITA Takashi); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 川嶋 利幸(KAWASHIMA Toshiyuki); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 森田 宇亮(MORITA Takaaki); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

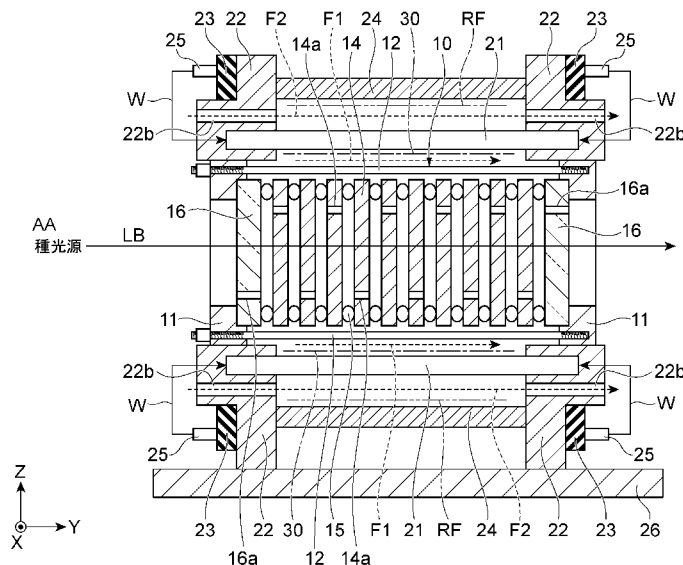
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,

[続葉有]

(54) Title: LASER MEDIUM, LASER MEDIUM UNIT, AND LASER BEAM AMPLIFICATION DEVICE

(54) 発明の名称: レーザ媒質、レーザ媒質ユニット及びレーザ光増幅装置

【図5】



AA Seed light source

(57) Abstract: This plate-like laser medium has a through-hole for circulating a cooling medium. This laser medium unit is provided with a plurality of laser mediums. This laser beam amplification device is provided with: a laser medium unit 10; an excitation light source 21 that emits an excitation light into the laser medium unit 10; a through-hole 16a that is made of a window material and acts as a means for supplying the cooling medium into a through-hole 14a in a laser medium 14; and a cooling medium passage F1 arranged around the laser medium unit 10.

(57) 要約: この板状のレーザ媒質は、冷却媒体を流通させるための貫通孔を有する。レーザ媒質ユニットは、レーザ媒質を複数備え、レーザ光増幅装置は、レーザ媒質ユニット10と、レーザ媒質ユニット10内に励起光を入射させる励起光源21と、レーザ媒質14の貫通孔14a内に冷却媒体を供給する手段としての窓材の貫通孔16aと、レーザ媒質ユニット10の周囲に配置された冷却媒体流路F1とを備えている。

WO 2016/117426 A1



ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,
UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

レーザ媒質、レーザ媒質ユニット及びレーザ光増幅装置

技術分野

[0001] 本発明は、レーザ媒質、レーザ媒質ユニット及びレーザ光増幅装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、大型レーザを用いた新しい産業開発に向け、基礎科学や材料開発、医療応用などの研究開発が盛んに行われている。大出力のレーザ光を得るためには、入力した種光を増幅するレーザ光増幅装置が必要となる。レーザ光増幅装置は、レーザ媒質ユニットと、レーザ媒質ユニット内に励起光を入射させる励起光源とを備えており、レーザ媒質ユニット内のレーザ媒質の主表面に接触するように冷却媒体を流すことで、これを冷却している（特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2009-49439号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、レーザ媒質は冷却の必要があるものの、主表面上を流れる冷却媒体内を増幅されたレーザ光が透過するため、冷却媒体の流速等に起因して、レーザ光の安定性や集束特性などの品質が劣化する。

[0005] 本発明は、このような課題に鑑みてなされたものであり、レーザ光を高品質に増幅可能なレーザ光増幅装置に用いることが可能なレーザ媒質、レーザ媒質ユニット及びレーザ光増幅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

- [0006] 上述の課題を解決するため、第1のレーザ媒質は、冷却媒体を流通させるための貫通孔を有する板状のレーザ媒質である。
- [0007] 板状のレーザ媒質に貫通孔を設けることで、設定する貫通孔の大きさに応じて、冷却媒体の流速を調整することができる。冷却媒体の流速調整により、レーザ光の安定性や集束特性の劣化を抑制することができる。
- [0008] 特に、第2のレーザ媒質では、前記貫通孔の数は、2以上であることを特徴とする。2以上の貫通孔を有することで、冷却媒体の流れる方向や流速をより精密に調整することができる。
- [0009] 第3のレーザ媒質においては、前記貫通孔の開口形状は、前記レーザ媒質の外周に沿った弧状であることを特徴とする。この場合、冷却媒体の流速や方向の安定性等の観点からは、一方向に低速で多くの冷却媒体を安定的に流すことができるという効果がある。
- [0010] 第4のレーザ媒質においては、前記貫通孔は、前記レーザ媒質の厚み方向に対して、斜めに延びていることを特徴とする。この場合、冷却媒体の流速や方向の安定性等の観点からは、流したい方向に指向性を持たせて冷却媒体を安定に流すことができるという効果がある。
- [0011] 第5のレーザ媒質においては、前記貫通孔は、先細り形状を有していることを特徴とする。冷却媒体の進行方向に対して、貫通孔が先細りしている場合、冷却媒体の流速や方向の安定性等の観点からは、積極的に乱流を起こすことで冷却性能を向上できるという効果がある。
- [0012] 第6のレーザ媒質においては、前記貫通孔は、前記レーザ媒質の外周に沿って、環状に並んでいることを特徴とする。この場合、冷却媒体の流速や方向の安定性等の観点からは、均一の方向に低速で多量に冷却媒体を安定的に流すことができるという効果がある。
- [0013] 上述のいずれかの前記レーザ媒質を複数備えるレーザ媒質ユニットにおいては、複数の前記レーザ媒質は、その厚み方向に沿って積層され、隣接する前記レーザ媒質間にはシール材が介在していることを特徴とする。
- [0014] レーザ媒質間にはシール材が介在しているので、冷却媒体は、レーザ媒質

の貫通孔内を通して流れる。複数のレーザ媒質を積層することで、大型のレーザロッドのように機能させることができるが、冷却媒体の流速は貫通孔により、制御できるため、レーザ光の特性劣化を抑制することができる。

[0015] また、本発明に係るレーザ媒質ユニットは、X Y Z三次元直交座標系を設定し、複数の前記レーザ媒質の積層方向をY軸とした場合、隣接する前記レーザ媒質の前記貫通孔のX Z平面内における位置は、異なっているものが存在することを特徴とする。

[0016] 貫通孔の位置、すなわち、隣接するレーザ媒質間の空間への冷却媒体の導入口と出力口位置が異なるため、これらの間を流れる冷却媒体の流路を制御することができる。

[0017] また、冷却媒体の流速や方向の安定性等の観点からは、隣接する上記空間を流れる冷却媒体の進行方向が、逆向きになるように、貫通孔の位置を設定し、冷却媒体の流れによるレーザ光の歪みを相殺することができる。例えば、X Z平面内において、Z軸の正方向の角度を0度とした場合、第1番目のレーザ媒質の貫通孔の位置が0度であり、第2番目のレーザ媒質の貫通孔の位置が180度である場合には、第3番目のレーザ媒質の貫通孔の位置を0度とすることができる。

[0018] また、上述のレーザ媒質ユニットを用いたレーザ光増幅装置は、このレーザ媒質ユニットと、前記レーザ媒質ユニット内に励起光を入射させる励起光源と前記レーザ媒質の前記貫通孔内に冷却媒体を供給する手段と、前記レーザ媒質ユニットの周囲に配置された冷却媒体流路とを備えることを特徴とする。

[0019] この装置によれば、レーザ媒質に励起光を入射させることで、レーザ媒質が励起し、これに種光としてのレーザ光を入射させると、増幅されたレーザ光がレーザ媒質から出力される。また、複数のレーザ媒質がある場合、増倍率も高くなる。

[0020] ここで、冷却媒体によるレーザ光の歪みを最小化するためには、貫通孔から出力され、冷却媒体間空間を流れる冷却媒体の流速は小さい方が好ましい

が、冷却性能は低下する。したがって、レーザ媒質ユニットの周囲にも、冷却媒体流路を設けることで、貫通孔のみによる冷却性能の低下を抑制しつつ、十分にレーザ媒質を冷却して、レーザ媒質自体の特性を安定化させることで、レーザ光の安定性や集束特性などの品質の劣化を更に抑制し、高品質なレーザ光を出力することができる。

発明の効果

[0021] 本発明のレーザ媒質及びレーザ媒質ユニットによれば、レーザ光の安定性や集束特性の劣化を抑制することができ、レーザ光増幅装置によれば、レーザ光の安定性や集束特性の劣化を抑制し、レーザ光を高品質に増幅することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]図1は、レーザ媒質ユニットの正面図である。

[図2]図2は、レーザ媒質ユニットのA-A矢印断面図である。

[図3]図3は、レーザ媒質ユニットのB-B矢印断面図である。

[図4]図4は、レーザ光増幅装置の正面図である。

[図5]図5は、レーザ光増幅装置のC-C矢印断面図である。

[図6]図6は、シール材（Oリング）の近傍に補助要素を設けた場合のレーザ媒質ユニットのA-A矢印断面図である。

[図7]図7は、レーザ媒質の正面図（図7-（A））及びD-D矢印断面図（図7-（B））である。

[図8]図8は、レーザ媒質の正面図（図8-（A））及びD-D矢印断面図（図8-（B））である。

[図9]図9は、レーザ媒質の正面図（図9-（A））及びD-D矢印断面図（図9-（B））である。

[図10]図10は、レーザ媒質の正面図（図10-（A））及びD-D矢印断面図（図10-（B））である。

[図11]図11は、レーザ媒質の正面図（図11-（A））及びD-D矢印断面図（図11-（B））である。

[図12]図12は、レーザ媒質の正面図（図12-（A））及びD-D矢印断面図（図12-（B））である。

[図13]図13は、レーザ媒質の正面図（図13-（A））及びD-D矢印断面図（図13-（B））である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、実施の形態に係るレーザ媒質、レーザ媒質ユニット及びレーザ光増幅装置について説明する。なお、同一要素には、同一符号を用いることとし、重複する説明は省略する。

[0024] 図1は、レーザ媒質ユニットの正面図である。なお、同図では、XYZ三次元直交座標系も示している。増幅される種光となるレーザ光の進行方向はY軸方向であり、Y軸に垂直な2方向をX軸方向及びZ軸方向とする。

[0025] 実施形態に係るレーザ光増幅装置は、種光が入射するレーザ媒質ユニット10を備えている。レーザ媒質ユニット10は、複数枚の平板状のレーザ媒質を含む柱状のユニットである。これらのレーザ媒質プレートは、種光の進行方向（Y軸の正方向）に沿って積層され、整列している。レーザ媒質ユニット10の外側からは、レーザ媒質内に励起光EXが照射される。複数の励起光EXは、複数の光源から、各レーザ媒質の中央部に向かって照射される。励起光EXの照射により、レーザ媒質の外周面から内部に励起光が入射し、レーザ媒質は励起され、励起された状態のレーザ媒質に種光が照射されると、レーザ光が増幅される。例えば、Yb（イッテルビウム）添加YAGからなるレーザ媒質を用いた場合、種光およびレーザ媒質からの自然放出光の波長 λ_1 は1030nm、励起光の波長 λ_2 は940nmである（ $\lambda_1 > \lambda_2$ ）。レーザ媒質内のYbの添加濃度は、好適には、0.1原子%～10原子%に設定することができる。

[0026] 図2は、図1に示したレーザ媒質ユニットのA-A矢印断面図、図3は、レーザ媒質ユニットのB-B矢印断面図である。

[0027] レーザ媒質ユニット10は、対向配置された一对の金属製のフランジ11と、フランジ11間を接続し、フランジ11間の距離を調整可能な複数の支

柱 1 2 とを備えている。図 1 では 4 本の支柱 1 2 を示しているが、支柱 1 2 の数は 3 本以上であれば、フランジ 1 1 の主表面（X Z 面）の位置を容易に固定することができる。すなわち、平面は 3 点により決定されるため、フランジ 1 1 間には 3 本以上の支柱が介在することで、フランジ 1 1 の主表面位置は、支柱位置によって一意的に決定される。

[0028] 支柱 1 2 の両端にはネジ部が設けられている。フランジ 1 1 は、開口 O P を有する円環を構成しており、一方のフランジ 1 1 には、支柱 1 2 のネジ部が貫通する開口（貫通孔）が設けられており、対向する他方のフランジ 1 1 には支柱 1 2 のネジ部を固定するためのネジ穴が設けられており、支柱 1 2 のネジ部がフランジ 1 1 のネジ穴に螺合している。一方のフランジ 1 1 を貫通した支柱 1 2 のネジ部に螺合したナット 1 3 を具備し、ナット 1 3 を回転させると、ナット 1 3 が一方のフランジ 1 1 を Y 軸方向に押して、一对のフランジ 1 1 間の距離が短くなる。

[0029] 一对のフランジ 1 1 間には、複数のレーザ媒質プレートが積層配置されている。すなわち、円板状で平板状のレーザ媒質 1 4 は、Y 軸方向に沿って複数枚配置されている。隣接するレーザ媒質 1 4 間にはシール材 1 5 が介在している。Y 軸方向の両端位置には、レーザ媒質 1 4 の代わりに石英ガラス等からなる窓材 1 6 が配置されており、レーザ媒質 1 4 と窓材 1 6 との間にもシール材 1 5 が介在している。シール材 1 5 の形状は円環であり、その材料は、レーザ媒質 1 4 間の空間への、貫通孔 1 4 a 以外からの媒体の流入を阻止できる気密性を保持できるものであれば、特に限定されるものではないが、シリコン製の O リングなどを採用することができる。シール材 1 5 として、樹脂、ゴム、ガラス、セラミックス、又は、Cu や Al などの金属なども用いることができ、レーザ媒質 1 4 とシール材 1 5 とを交互に積み重ねて、Y 軸方向に圧力をかけて、レーザ媒質 1 4 の表面上にシール材 1 5 を圧着してもよい。半田や接着剤で接着しても良い。

[0030] なお、図 7 - (A)、図 7 - (B) を参照すると、円板状で平板状のレーザ媒質 1 4 は、厚み方向（Y 軸方向）に沿って延びた貫通孔 1 4 a を備えてい

る。図2においては、1つのレーザ媒質14は、1つの貫通孔14aを有している。XZ平面内において、Z軸の正方向の角度（位置）を0度とした場合、第1番目のレーザ媒質14（図面の左端のレーザ媒体）の貫通孔14aの位置（重心位置）は、0度の位置にある。第2番目のレーザ媒質14（左から2番目のレーザ媒質）の貫通孔14aの位置（重心位置）は、180度の位置にあり、第3番目のレーザ媒質14（左から3番目のレーザ媒質）の貫通孔14aの位置（重心位置）は、0度の位置にある。一般式で説明すると、冷却媒体が最初に流入するレーザ媒質の順番を1番目とし、冷却媒体の流れる順番に沿って、n番目のレーザ媒質における貫通孔の角度は、 $n \times 180$ 度である。すなわち、隣接する一对のレーザ媒質14の貫通孔14aの位置は、Y軸方向から見た場合、レーザ媒質14の中心を通るY軸に対して、対称な位置にある。

[0031] また、円板状で平板状の窓材16も、厚み方向（Y軸方向）に沿って延びた貫通孔16aを備えている。図2では、窓材16の貫通孔16aの位置は、Y軸方向から見た場合、この窓材16に隣接するレーザ媒質の14の中心を通るY軸に対して、対称な位置にある。

[0032] このように、冷却媒体の流速や方向の安定性等の観点からは、隣接する上記空間を流れる冷却媒体の進行方向が、逆向きになるように、貫通孔14a及び貫通孔16aの位置が設定されている。この場合、冷却媒体の流れによるレーザ光の歪みを相殺することができる。

[0033] なお、隣接する貫通孔の位置は、Y軸方向からみて、同じ位置にある場合も、冷却効果はある。

[0034] レーザ媒質14の材料は、例えば全てセラミックレーザ媒質である。レーザ媒質としては、熱伝導率の低いガラスレーザ媒質を用いることも可能であるが、高いパルスエネルギーのレーザ光を高い繰り返し周波数で出力するには、冷却性能の観点から、レーザ媒質の熱伝導率が高い方が好ましい。セラミックレーザ媒質は、単結晶と同等の性質を有し、ガラスなどよりも熱伝導率が高いことで知られており、高いパルスエネルギーのレーザ光を高い繰り返し

返し周波数で出力することができる。ガラスレーザ媒質を用いることで、低い繰り返し周波数だが、セラミックレーザ媒質よりも高いパルスエネルギーを得ることができる。

[0035] セラミックレーザ媒質は、例えば、ドーパントとして希土類金属、特に、Nd、Yb、Er、Ce、Cr、Cr:Nd及びTmから選択される少なくとも1以上のドーパントを含有するYAGを用いることができる。また、セラミックレーザ媒質としては、ドーパントとして、上記希土類金属を含むイットリア(Y_2O_3)を用いることができる。また、YAG($Y_3Al_5O_{12}$)、 Lu_2O_3 や Sc_2O_3 なども用いることもできる。

[0036] なお、このような透明セラミック結晶は、現在の製法によって得られるレーザ媒質の厚みの上限値は10mm程度であるが、10mm以上のセラミックレーザ媒質を用いることも可能である。また、セラミックレーザ媒質が、1mm以上20mm以下の厚みの場合には、本発明の構造は剛性と冷却性能及びレーザ光の品質に特に優れた効果を発揮する。そして、本装置によれば、複数のレーザ媒質を用いているため、最終的に出力されるレーザ光の増幅率は高くすることができる。

[0037] 図1～図3に示すように、レーザ媒質ユニット10のY軸に垂直な径方向に沿って、複数の方向から励起光EXがレーザ媒質14に照射される。励起光EXにより、各レーザ媒質14は励起されている。種光としてのレーザ光LBは、Y軸に沿って、一方の窓材16を介して、レーザ媒質の主表面(XZ面)に垂直にレーザ媒質群内に入射し、これらのレーザ媒質14を透過し、増幅されて、他方の窓材16から出力される。

[0038] なお、隣接するレーザ媒質14を、平板状の第1のレーザ媒質及び平板状の第2のレーザ媒質とすると、これらのレーザ媒質14の整列方向は、支柱12の長手方向(Y軸)に一致しており、フランジ11間の距離を調整することで、シール材15にかかる圧力が調整可能である。第1のレーザ媒質と第2のレーザ媒質との間には、貫通孔を除く気密性を保持するためのシール材15が介在しているが、これらのレーザ媒質によるシール材15への圧力

が適当である場合には、貫通孔を除く気密性は十分に保持される。フランジ 11 間の長さは調整することができるため、レーザ媒質間のシール材 15 に印加される圧力を所望の値に設定することができ、レーザ媒質間の空間における貫通孔を除く気密性を十分に保持することができる。

[0039] すなわち、隣接するレーザ媒質 14（第 1 及び第 2 のレーザ媒質とする）間にはシール材 15 が配置され、第 1 のレーザ媒質と第 2 のレーザ媒質とは、これらの厚み方向に沿って整列して配置されており、第 1 のレーザ媒質と第 2 のレーザ媒質との間の空間は、貫通孔を除いて、気密性のある空間であり、冷却媒体が流通する。冷却媒体としては、気体（不活性ガス（空気、 N_2 、 CO_2 ）、希ガス（Ar, He））や液体（重水又はフッ素系不活性液体等）を用いることができる。フッ素系不活性液体としては、スリーエムジャパン社製のフロリナート™（フッ素系不活性液体）などを用いることができるが、充填する液体としては、フッ素系不活性液体の他、水、屈折率整合液、オイルなども用いることができる。

[0040] この装置によれば、レーザ媒質 14 に励起光 EX を入射させることで、レーザ媒質 14 が励起し、これに種光としてのレーザ光 LB を入射させると、増幅されたレーザ光 LB がレーザ媒質 14 を通って、窓材 16 から出力される。複数のレーザ媒質 14 があるので、増倍率も高くなる。

[0041] ここで、冷却媒体流路 F1 は、レーザ媒質ユニット 10 の周囲に設けられており、外側からレーザ媒質ユニットを冷却する。そして、第 1 のレーザ媒質と第 2 のレーザ媒質との間の空間は、貫通孔を除いて、気密性のある空間であり、上述の隣接する貫通孔間を、冷却媒体が流れる。貫通孔の大きさや方向により、冷却媒体が流速や方向を調整することができる。したがって、かかる空間内を通過するレーザ光 LB は、レーザ媒質 14 の主表面を流れる冷却媒体によって影響を受けるが、その影響を小さくするように、貫通孔の大きさを小さくするなどの調整をすることができる。したがって、増幅されたレーザ光 LB の揺らぎ等が抑制され、レーザ光の安定性や集束特性などの品質が向上する。

[0042] また、図1及び図3に示すように、フランジ11には、これをY軸方向に貫通する孔11bが設けられている。孔11bの外側には図示しないチューブが連通しており、孔11bからは、レーザ媒質ユニット10の外表面上に接触する冷却媒体が供給され、また、排出される。一方のフランジ11の孔11bから導入された冷却媒体は、レーザ媒質14のY軸回りの周囲の面に接触しながら、図3に示す点線矢印F1のように、Y軸方向に沿って流れ、他方のフランジ11の孔11bから排出される。

[0043] なお、冷却媒体流路F1は、レーザ媒質ユニット10と、これを囲む筒体との間に形成される。このような筒体は、レーザ媒質ユニット10からみて励起光源の外側に設けることとしてもよく（図5の筒体24）、更に加えて、レーザ媒質ユニット10と励起光源との間に設けることとしてもよい（図5の透明筒体30）。冷却媒体流路F1を画成するための筒体を、レーザ媒質ユニット10と励起光源との間に配置する場合には（図5の透明筒体30）、透明筒体30は励起光を透過する透明材料、例えば、石英ガラスからなる。

[0044] また、図2の左側の窓材16の貫通孔16aには、別途、冷却媒体を供給するチューブが連通するように設けられ、右側の窓材16の貫通孔16aには、別途、冷却媒体を排出するチューブが連通するように設けられるが、図面上はチューブの記載を省略している。また、図1及び図4においては、貫通孔16aの記載も省略している。なお、冷却媒体は、窓材16以外の経路からも導入可能である。例えば、図2において、窓材16と、これに隣接するレーザ媒質14との間に介在するシール材15に貫通孔を設けることもできる。これにより、冷却媒体流路F1を流れる冷却媒体の一部が、左側の窓材16とレーザ媒質14との間の空間内に流れ込み、右側においては空間内から冷却媒体流路F1へと排出される。

[0045] 図4はレーザ光増幅装置の正面図、図5はレーザ光増幅装置のC-C矢印断面図である。

[0046] レーザ光増幅装置は、前述のレーザ媒質ユニット10と、レーザ媒質ユニ

ット 10 内に励起光を入射させる複数の励起光源 21 と、レーザ媒質ユニット 10 の周囲に配置された冷却媒体流路 F1（図 5 参照）とを備えている。

[0047] レーザ光増幅装置は、半導体レーザ素子などの種光源からレーザ媒質ユニット 10 内に入力されたレーザ光 LB を増幅して出力する。レーザ媒質ユニット 10 の周囲には、必要に応じて、上述の透明筒体 30 が配置され、冷却媒体流路を構成する。励起光源 21 からは上述の励起光が出力される。励起光源 21 の数は、図中では 12 個を示すが、その数は 12 個以上であっても、12 個以下であってもよい。

[0048] 励起光源 21 は、レーザ媒質ユニット 10 の外側に設けられた一对の概略円環状で金属製の支持部材 22 に固定されている。なお、励起光源 21 の電極部と支持部材 22 とは絶縁されている。支持部材 22 は、フランジ状のリップ部を有しており、リップ部上には円環状の絶縁体 23 が固定されている。絶縁体 23 上には、複数の端子 25 が固定されており、端子 25 から配線 W を介して、励起光源 21 に電力が供給される。複数の励起光源 21 は、直列接続されていてもよいし、並列接続されていてもよい。支持部材 22 は、Y 軸方向にこれを貫通する孔 22b を有している。一方の支持部材 22 の孔 22b には、図示しないチューブが連通して、第 2 の冷却媒体流路 F2 内に冷却媒体が導入され、他方の支持部材 22 の孔 22b にも図示しないチューブが連通して、冷却媒体が排出される。励起光源 21 と筐体 24 の間には、励起光源 21 からの励起光が効率良くレーザ媒質ユニットに伝達されるように、反射材（リフレクタ）RF があっても良い。

[0049] 円形の開口を有する支持部材 22 の内側の円筒面は、レーザ媒質ユニット 10 のフランジ 11 の外周面に固定されている。一对の支持部材 22 は、筒体 24 によって接続されており、筒体 24 の内面と、励起光源 21 との間に、第 2 の冷却媒体流路 F2 が形成されている。なお、円形の開口を有する支持部材 22 の底面は、支持台 26 上に固定されている。

[0050] なお、図 2 に示したシール材 15 の構造は、上述のものに限定されない。

[0051] 図 6 は、シール材（Oリング）の近傍に補助要素を設けた場合のレーザ媒

質ユニットのA-A矢印断面図である。シール材15の径方向に両端には、補助要素15aが配置されており、シール材15によるシールを補助している。補助要素15aとしては、樹脂などの接着材料の他、シリコン製のOリングよりも剛性が高いスペーサを用いることができる。このようなスペーサは、Y軸の周囲に同心円状に配置された2つの円環状スペーサを採用することができ、円環状スペーサの間に、シール材15としてのOリングを配置することができる。スペーサ材料としては、CuやAlなどの金属の他、ガラス材、セラミックを用いることも可能である。

[0052] 上述のレーザ媒質ユニットを試作した。

[0053] この装置においては、Nd:YAGからなる各レーザ媒質の直径が100mm、厚みが10mm、枚数が10枚であり、レーザ媒質間の空間内は、重水が流れる。種光として波長1064nmのレーザ光を用い、励起光源としては、12本のフラッシュランプを用いた。この場合の場合、セラミックレーザ媒質が積層されることで、大型のレーザロッドのように機能し、一体構造であるため、大型のレーザロッドのように機能させることができるが、冷却媒体の流速は貫通孔により、制御できるため、レーザ光の特性劣化を抑制することができる。支柱12の直径は2mmである。また、全体の寸法も、30cm程度となり、非常に小型であるにも拘らず、50ジュール以上のレーザ出力を得ることができる。

[0054] なお、上述の窓材の主表面(XZ面)の光入射面には、種光に対する反射防止膜が設けられていてもよい。これにより、種光が前段の窓材に容易に入射し、後段の窓材から容易に出射することができる。これらの主面には反射防止膜以外の反射防止処理を行ってもよい。同様に、レーザ媒質の光入射面にも、種光に対する反射防止膜が設けられていてもよい。これらの主面には反射防止膜以外の反射防止処理を行ってもよい。反射防止膜或いは反射防止処理は、各光透過要素の光入射面のみならず、光出射面に設けることとしてもよい。反射防止膜としては、例えば、誘電体多層膜を用いることができる。誘電体多層膜としては、酸化チタンと酸化シリコンの積層物が知られてい

る。レーザ媒質と屈折率が同等の屈折率整合液も用いることができる。なお、レーザ媒質間の空間を希ガスが流れる場合には、希ガスによるレーザ媒質の劣化が抑制される。

[0055] また、自然放出光による寄生発振を抑制するため、上述のレーザ媒質の周囲をクラッド材料で囲んでもよい。自然放出光（1064 nm）を吸収するクラッド材料としては、サマリウム添加材料、クロム添加材料、銅添加材料などがある。具体的には、サマリウム添加YAG、サマリウム添加ガラス、クロム添加YAG、クロム添加ガラス、銅添加YAG、銅添加ガラスなどである。これらのクラッド材料をレーザ媒質に固定するためには、接着又は接合する。接着の場合には、これらの間に接着剤が介在している。接着剤を用いる場合、樹脂製屈折率整合接着剤、ガラス製屈折率整合接着剤などの接着剤を用いることができる。接着剤を用いない場合には、熱拡散接合、オプティカルコンタクト、イオンスパッタリング接合などの接合を用いることができ、レーザ媒質部品の外表面及びクラッド材料がセラミックスからなる場合には、セラミックス焼結接合を用いて、これらを固定することができる。なお、励起光（808 nm）に対する反射防止膜の材料や接着方法も、種光又は自然放出光に対するものと同様である。

[0056] また、レーザ媒質は、隣接して対向する主表面同士が平行にならないように、主表面がY軸に対して垂直な面から傾斜していてもよい。これにより、主表面による不要な反射に起因した寄生発振を低減させることができる。すなわち、各レーザ媒質は、板状であれば、平行平板である必要はなく、表面が多少傾斜してもよい。また、上述の冷却媒体としては、液体又は気体を用いることができる。液体としては、水を用いることができ、気体としては、ヘリウムガスなどを用いることができるが、冷却性能があるものであれば、これらに限定されるものではない。また、冷却媒体流路F1を流れる冷却媒体と、レーザ媒質間の空間を流れる冷却媒体の種類は、異ならせることができる。最も適当な組み合わせとしては、前者の冷却媒体として水を用い、後者の冷却媒体としてヘリウムを用いる。これにより、冷却媒体によるレーザ

光の歪の影響を更に好適に抑制することができる。

[0057] なお、上述のレーザ媒質の貫通孔形状は、様々な変形をすることができる。

[0058] 図8は、レーザ媒質の正面図（図8-（A））及びD-D矢印断面図（図8-（B））である。

[0059] このレーザ媒質14では、貫通孔14aの数は、2個であり、XZ平面内において、Z軸方向を0度とし、0度と180度の位置に存在している。2以上の貫通孔を有することで、冷却媒体の流れる方向や流速をより精密に調整することができる。

[0060] 図9は、レーザ媒質の正面図（図9-（A））及びD-D矢印断面図（図9-（B））である。

[0061] このレーザ媒質14では、貫通孔14aの数は、3個であり、XZ平面内において、Z軸方向を0度とし、0度と120度と240度の位置に存在している（同図の $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 120$ 度である）。2以上の貫通孔を有することで、冷却媒体の流れる方向や流速をより精密に調整することができる。また、3つの貫通孔を均等な角度位置に配置した場合、2つの貫通孔の場合よりも低速で多量の冷却媒質を流すことができるという効果がある。

[0062] 図10は、レーザ媒質の正面図（図10-（A））及びD-D矢印断面図（図10-（B））である。

[0063] このレーザ媒質14においては、貫通孔14aの開孔形状は、レーザ媒質14の外周に沿った弧状である。この円弧の開き角 θ_4 は10度～180度に設定することができる。この場合、冷却媒体の流速や方向の安定性等の観点からは、一方向に低速で多くの冷却媒体を安定的に流すことができるという効果がある。

[0064] 図11は、レーザ媒質の正面図（図11-（A））及びD-D矢印断面図（図11-（B））である。

[0065] このレーザ媒質14においては、貫通孔14aは、レーザ媒質14の厚み方向（Y軸）に対して、斜めに延びている。貫通孔14aの中心軸がY軸と

成す角度は、10度～80度、隣接するレーザ媒質への流体衝突による渦流を抑制するには、30度以上80度以下に設定することができる。この場合、冷却媒体の流速や方向の安定性等の観点からは、流したい方向に指向性を持たせて冷却媒体を安定に流すことができるという効果がある。

[0066] 図12は、レーザ媒質の正面図（図12-（A））及びD-D矢印断面図（図12-（B））である。

[0067] このレーザ媒質14においては、貫通孔14aは、先細り形状を有している。冷却媒体の進行方向に対して、貫通孔14aが先細りしている場合、冷却媒体の流速や方向の安定性等の観点からは、積極的に乱流を起こすことで冷却性能を向上できるという効果がある。

[0068] 図13は、レーザ媒質の正面図（図13-（A））及びD-D矢印断面図（図13-（B））である。

[0069] このレーザ媒質14においては、貫通孔14aは、レーザ媒質14の外周に沿って、環状に並んでいる。同図では、24個の貫通孔14aを示しているが、貫通孔14aの数は、これに限定されず、これよりも多くても、少なくてもよい。この場合、冷却媒体の流速や方向の安定性等の観点からは、均一の方向に低速で多量に冷却媒体を安定的に流すことができるという効果がある。

[0070] 以上、説明したように、上述の実施形態に係るレーザ媒質14を備えるレーザ媒質ユニットにおいては、複数のレーザ媒質14は、その厚み方向に沿って積層され、隣接するレーザ媒質間にはシール材が介在している。

[0071] レーザ媒質間にはシール材が介在しているので、冷却媒体は、レーザ媒質の貫通孔内を通して流れる。複数のレーザ媒質14を積層することで、大型のレーザロッドのように機能させることができるが、冷却媒体の流速は貫通孔により、制御できるため、レーザ光の特性劣化を抑制することができる。

[0072] また、レーザ媒質ユニットは、XYZ三次元直交座標系を設定し、複数のレーザ媒質14の積層方向をY軸とした場合、隣接するレーザ媒質の貫通孔14aのXZ平面内における位置は、異なっているものが存在する（図2参

照)。

[0073] 貫通孔 14 a の位置、すなわち、隣接するレーザ媒質 14 間の空間への冷却媒体の導入口と出力口位置が異なるため、これらの間を流れる冷却媒体の流路を制御することができる。

[0074] また、上述のレーザ媒質ユニット 10 を用いたレーザ光増幅装置 (図 5 参照) は、このレーザ媒質ユニット 10 と、レーザ媒質ユニット 10 内に励起光を入射させる励起光源 21 と、レーザ媒質 14 の貫通孔 14 a 内に冷却媒体を供給する手段 (窓材 16 の貫通孔 16 a 等) と、レーザ媒質ユニット 10 の周囲に配置された冷却媒体流路 F1 とを備える。

[0075] この装置によれば、レーザ媒質 14 に励起光を入射させることで、レーザ媒質 14 が励起し、これに種光としてのレーザ光を入射させると、増幅されたレーザ光がレーザ媒質 14 から出力される。また、複数のレーザ媒質 14 がある場合、増倍率も高くなる。

[0076] ここで、冷却媒体によるレーザ光の歪みを最小化するためには、貫通孔 14 a から出力され、冷却媒体間空間を流れる冷却媒体の流速は小さい方が好ましいが、冷却性能は低下する。したがって、レーザ媒質ユニット 10 の周囲にも、冷却媒体流路 F1 を設けることで、貫通孔 14 a のみによる冷却性能の低下を抑制しつつ、十分にレーザ媒質を冷却して、レーザ媒質自体の特性を安定化させることで、レーザ光の安定性や集束特性などの品質の劣化を更に抑制し、高品質なレーザ光を出力することができる。

[0077] なお、上述のレーザ媒質の位置は、Y 軸を中心に回転させることができる。例えば、例えば 180 度回転、90 度回転、又は 30 度回転をさせて、配置することができる。Z 軸の正方向を鉛直上方とした場合、加熱された冷却媒体は Z 軸正方向に力を受ける。Z 軸の正方向の上部に、加熱された冷却媒体が蓄積され続けられないためには、貫通孔 14 a の位置は、Z 軸の正方向を 0 度して、0 度に位置するものを含むように、回転角度を設定することが好ましい。

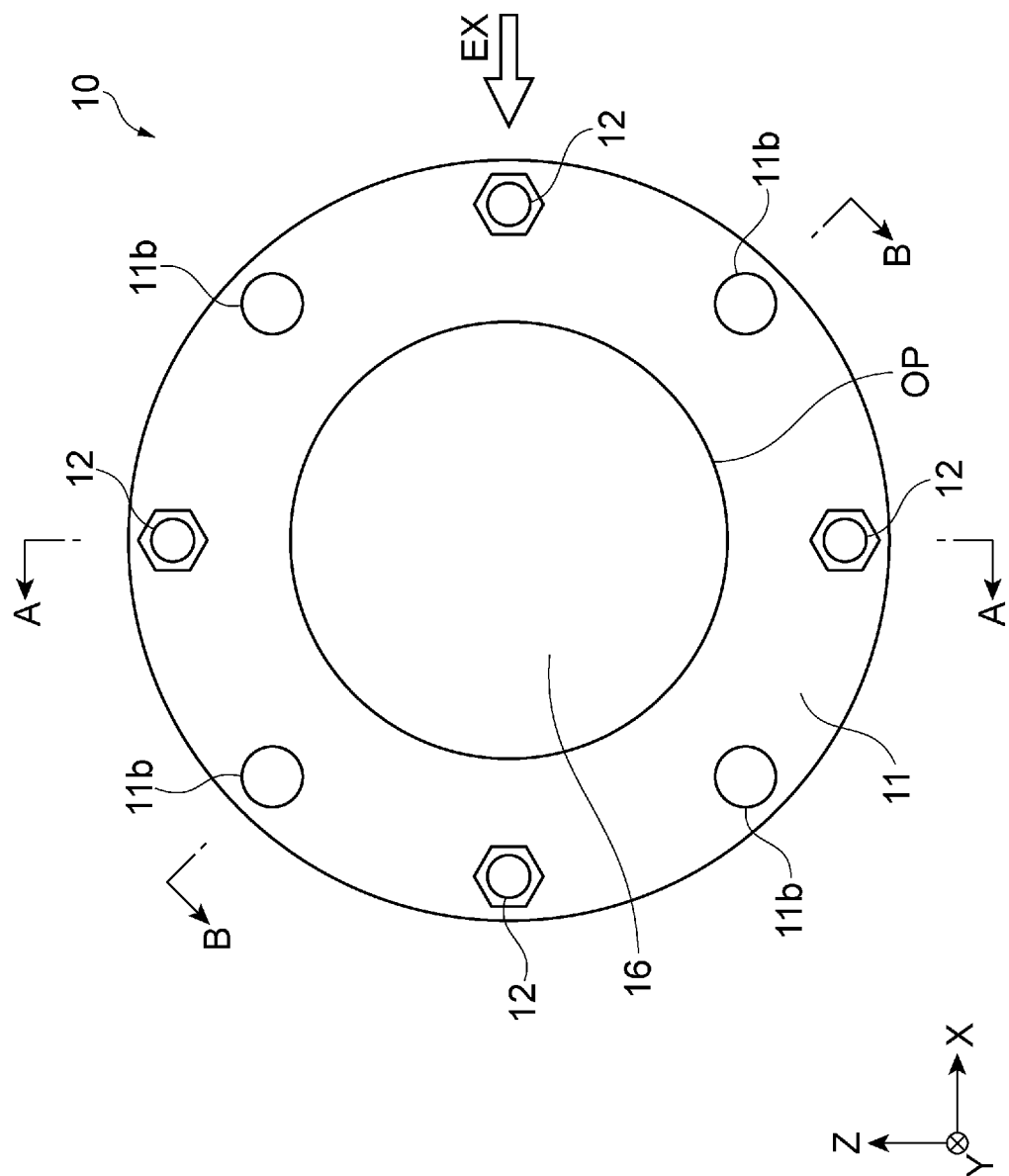
符号の説明

[0078] 1 4 …レーザ媒質、1 2 …支柱、1 5 …シール材、1 1 …フランジ。

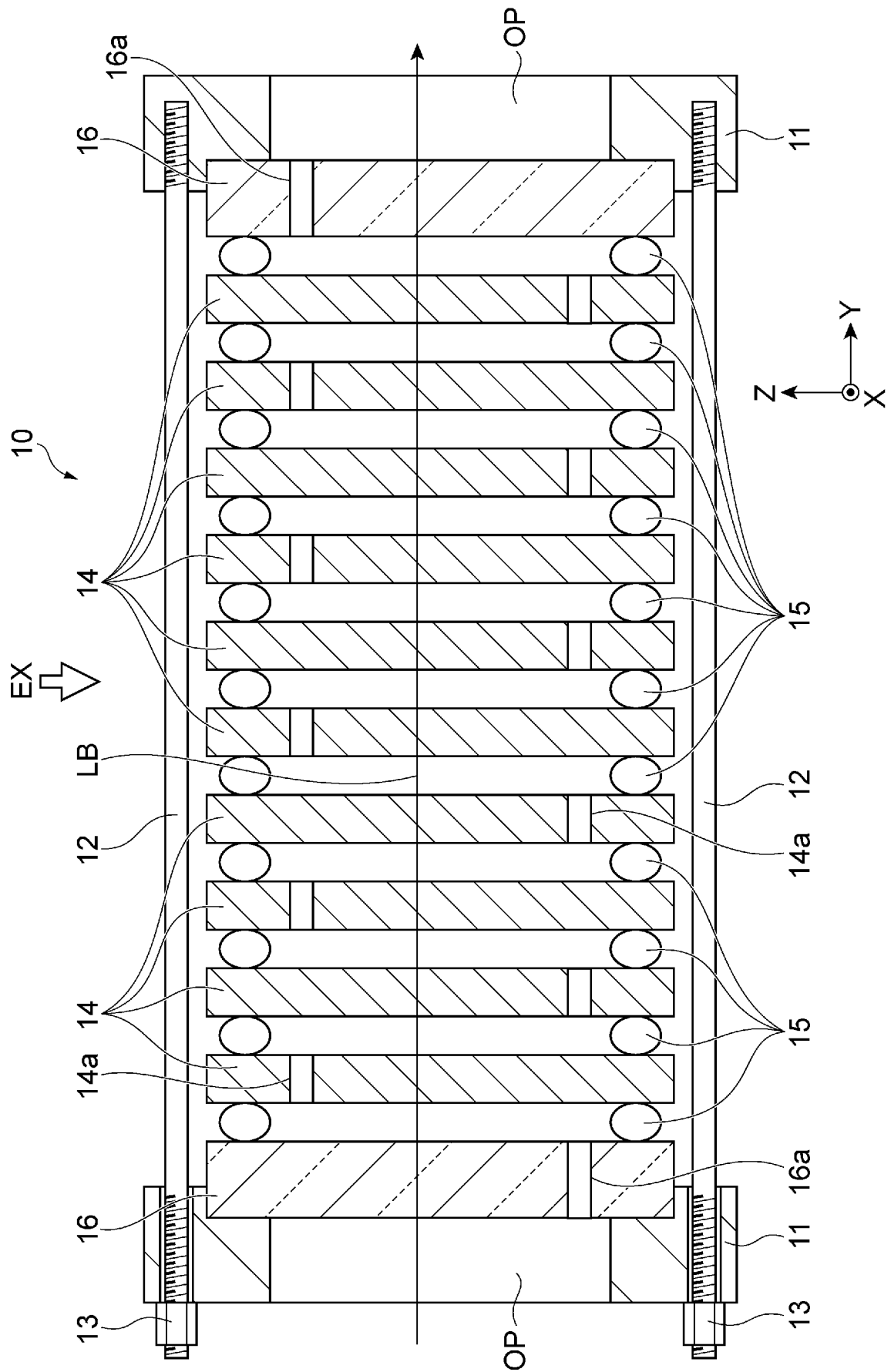
請求の範囲

- [請求項1] 冷却媒体を流通させるための貫通孔を有する板状のレーザ媒質。
- [請求項2] 前記貫通孔の数は、2以上であることを特徴とする請求項1に記載のレーザ媒質。
- [請求項3] 前記貫通孔の開口形状は、前記レーザ媒質の外周に沿った弧状である、ことを特徴とする請求項1に記載のレーザ媒質。
- [請求項4] 前記貫通孔は、前記レーザ媒質の厚み方向に対して、斜めに延びていることを特徴とする請求項1に記載のレーザ媒質。
- [請求項5] 前記貫通孔は、先細り形状を有していることを特徴とする請求項1に記載のレーザ媒質。
- [請求項6] 前記貫通孔は、前記レーザ媒質の外周に沿って、環状に並んでいる、ことを特徴とする請求項1に記載のレーザ媒質。
- [請求項7] 請求項1～6のいずれか一項に記載の前記レーザ媒質を複数備えるレーザ媒質ユニットであって、
複数の前記レーザ媒質は、その厚み方向に沿って積層され、
隣接する前記レーザ媒質間にはシール材が介在している、ことを特徴とするレーザ媒質ユニット。
- [請求項8] X Y Z三次元直交座標系を設定し、
複数の前記レーザ媒質の積層方向をY軸とした場合、
隣接する前記レーザ媒質の前記貫通孔のX Z平面内における位置は、異なっているものが存在する、ことを特徴とする請求項7に記載のレーザ媒質ユニット。
- [請求項9] 請求項7又は請求項8に記載のレーザ媒質ユニットと、
前記レーザ媒質ユニット内に励起光を入射させる励起光源と、
前記レーザ媒質の前記貫通孔内に冷却媒体を供給する手段と、
前記レーザ媒質ユニットの周囲に配置された冷却媒体流路と、
を備えることを特徴とするレーザ光増幅装置。

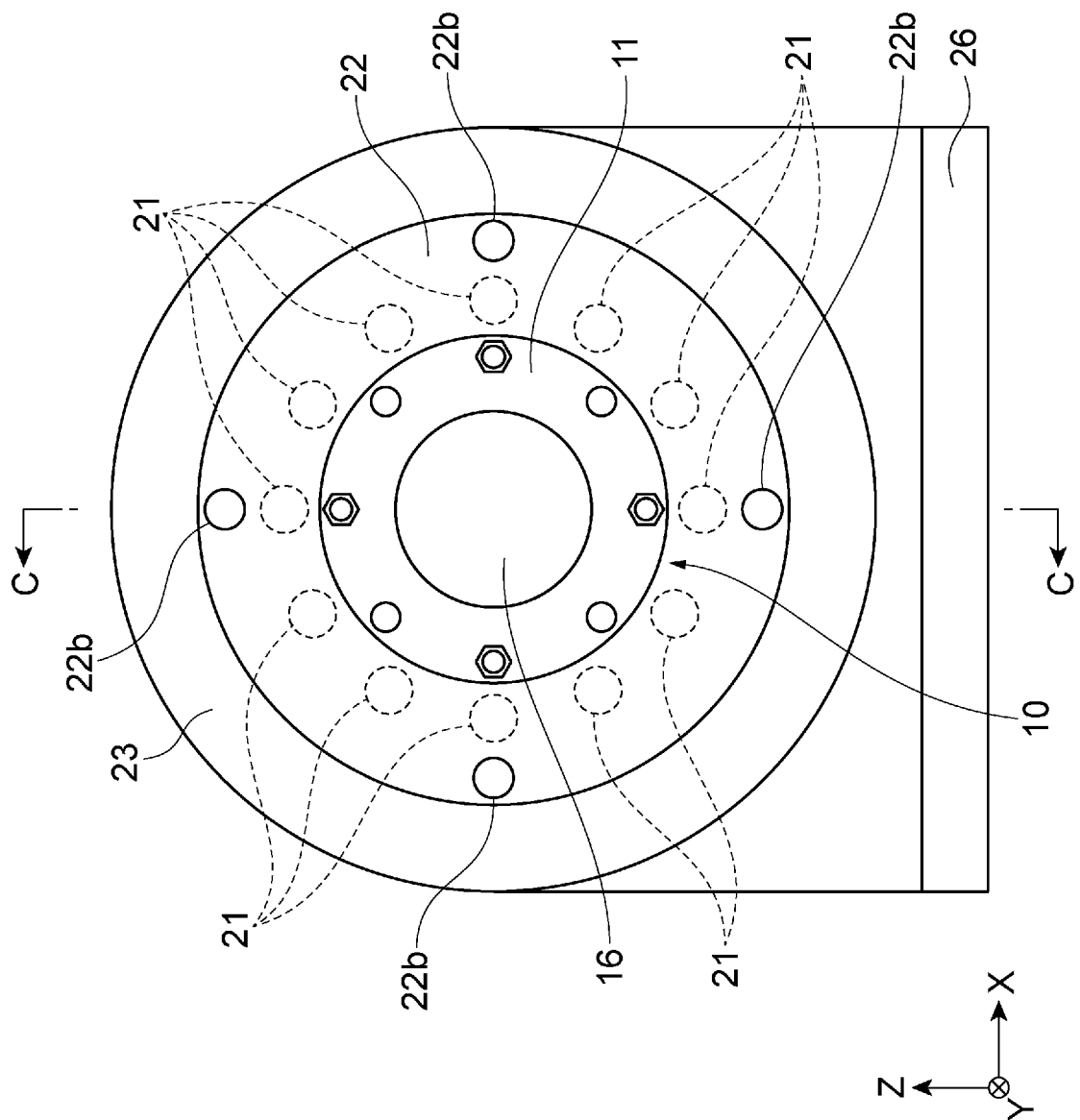
[図1]



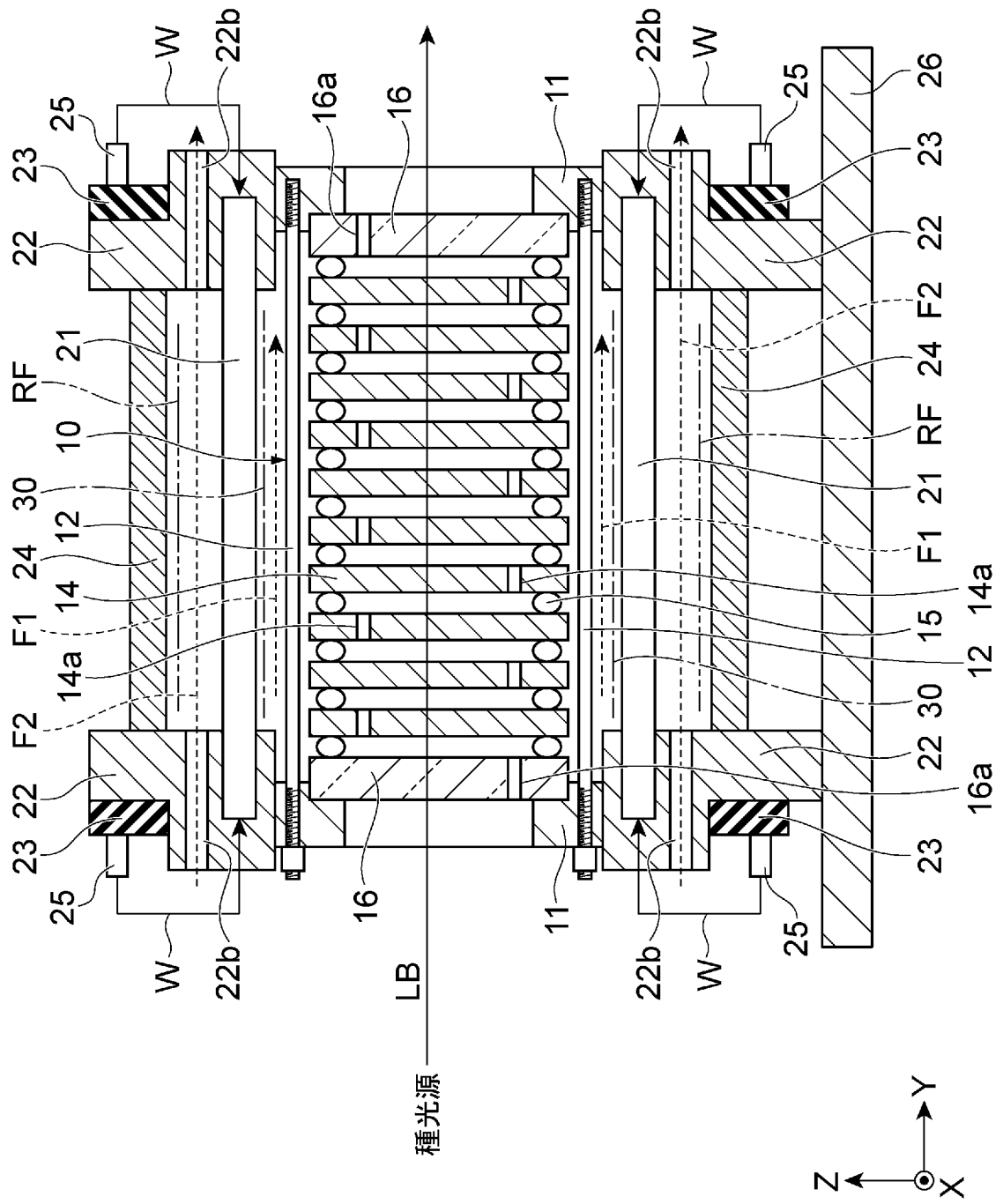
[図2]



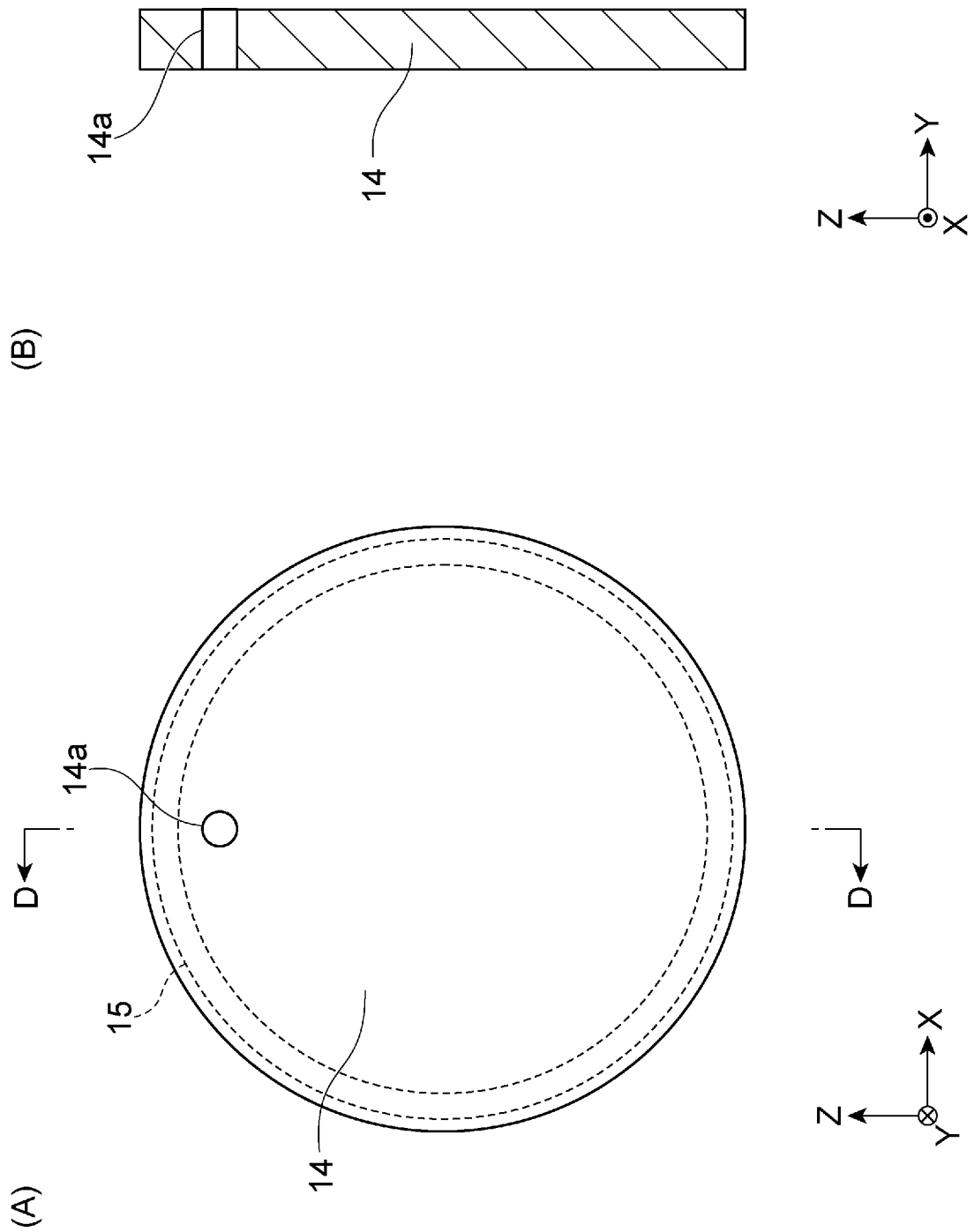
[図4]



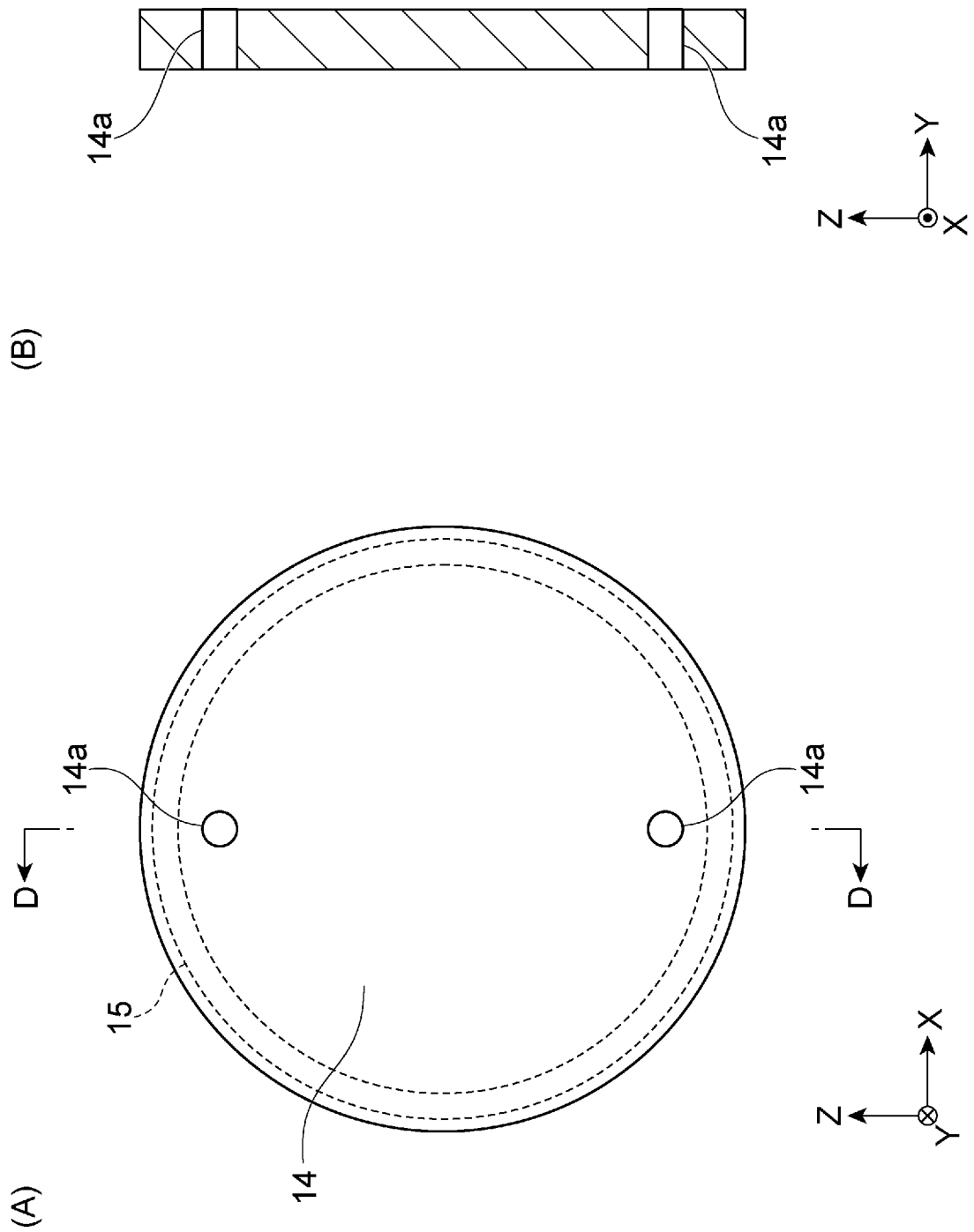
[図5]



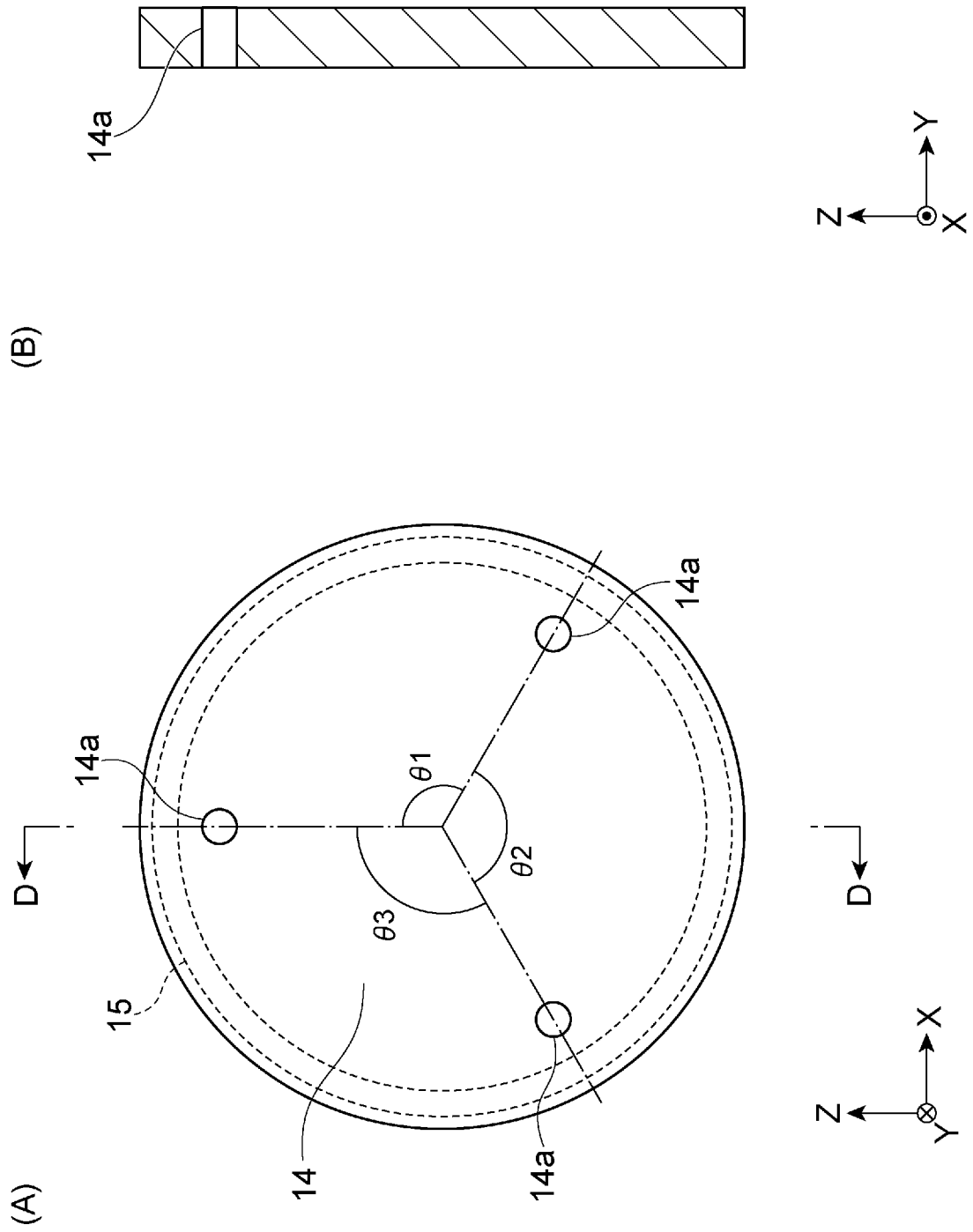
[図7]



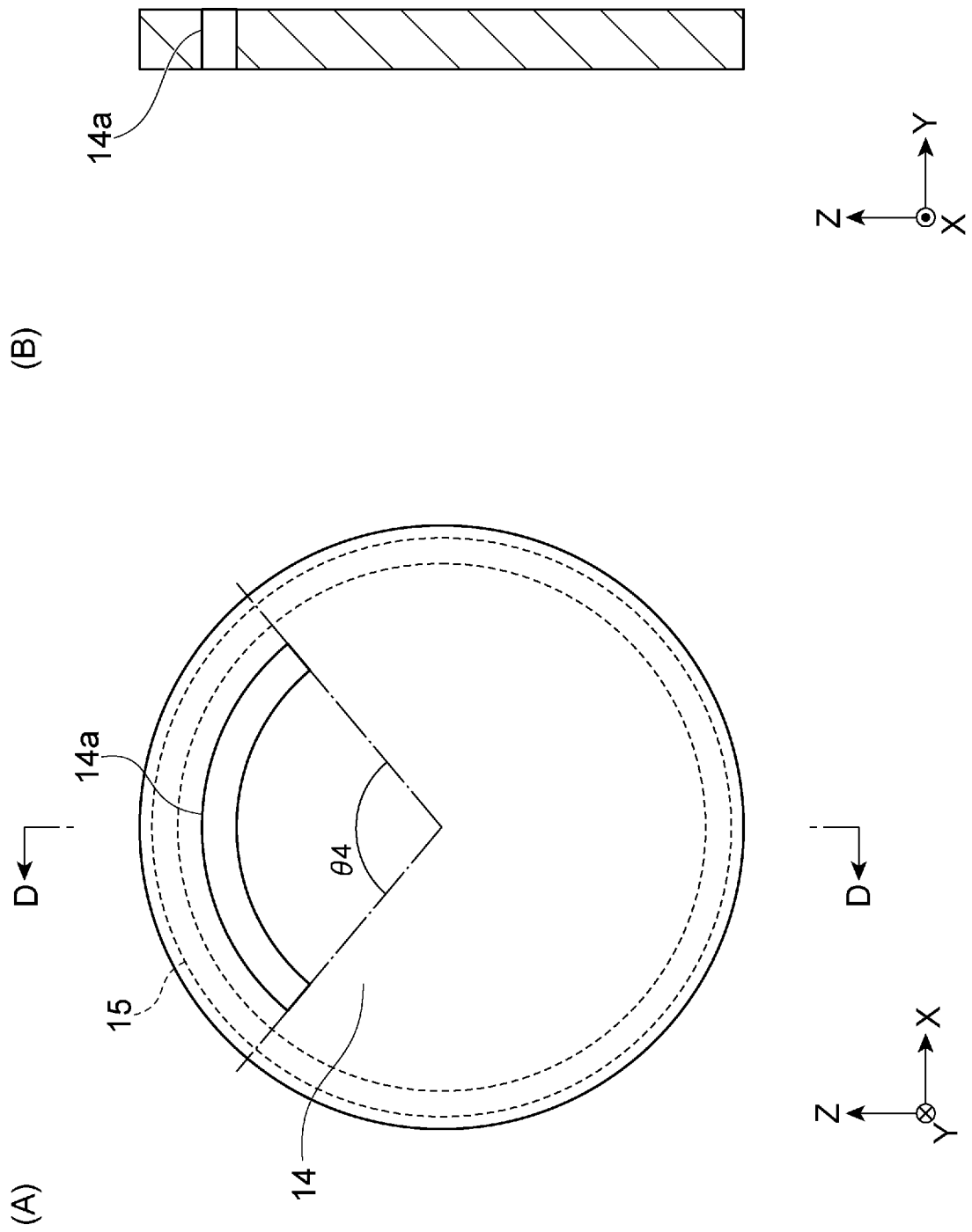
[図8]



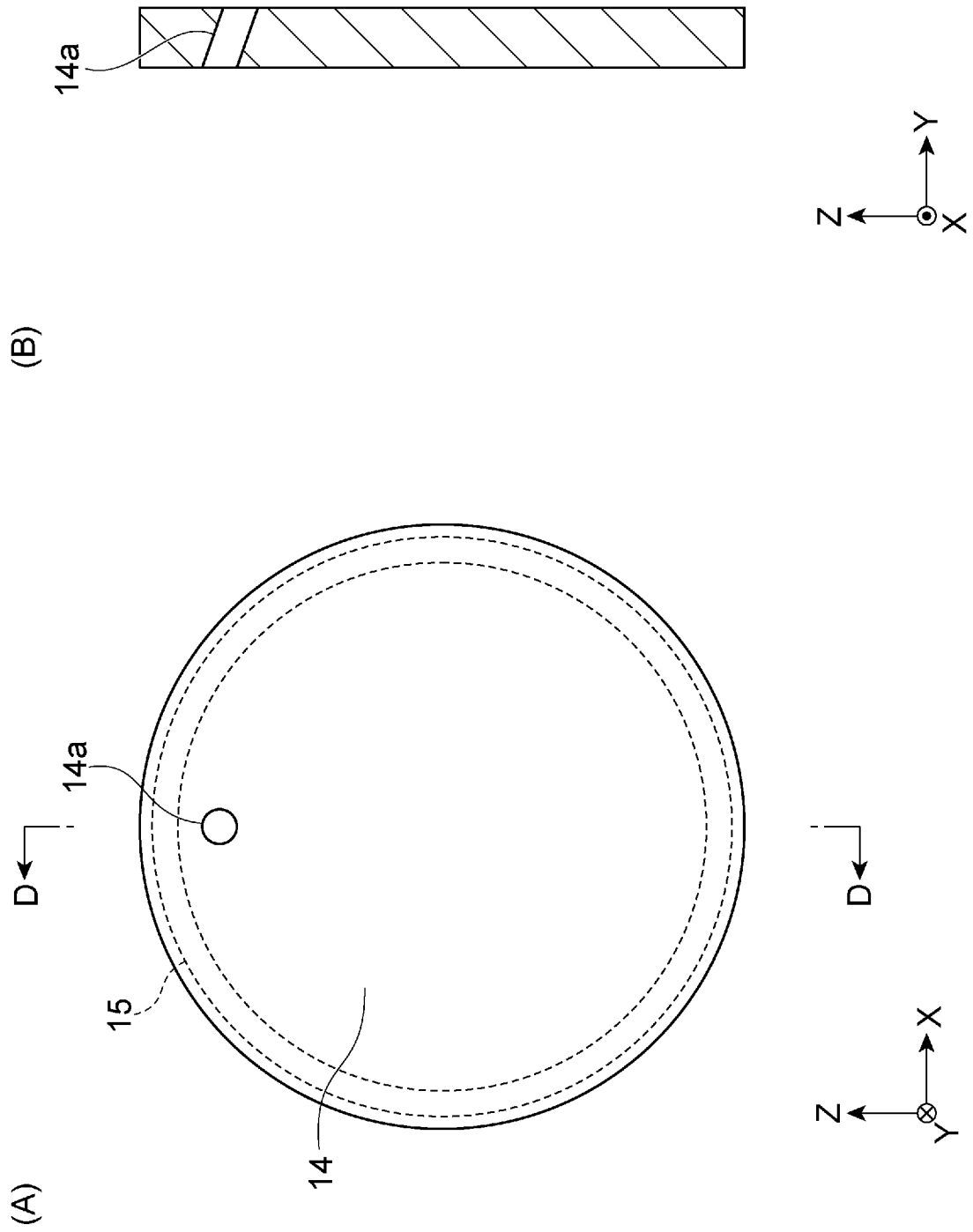
[図9]



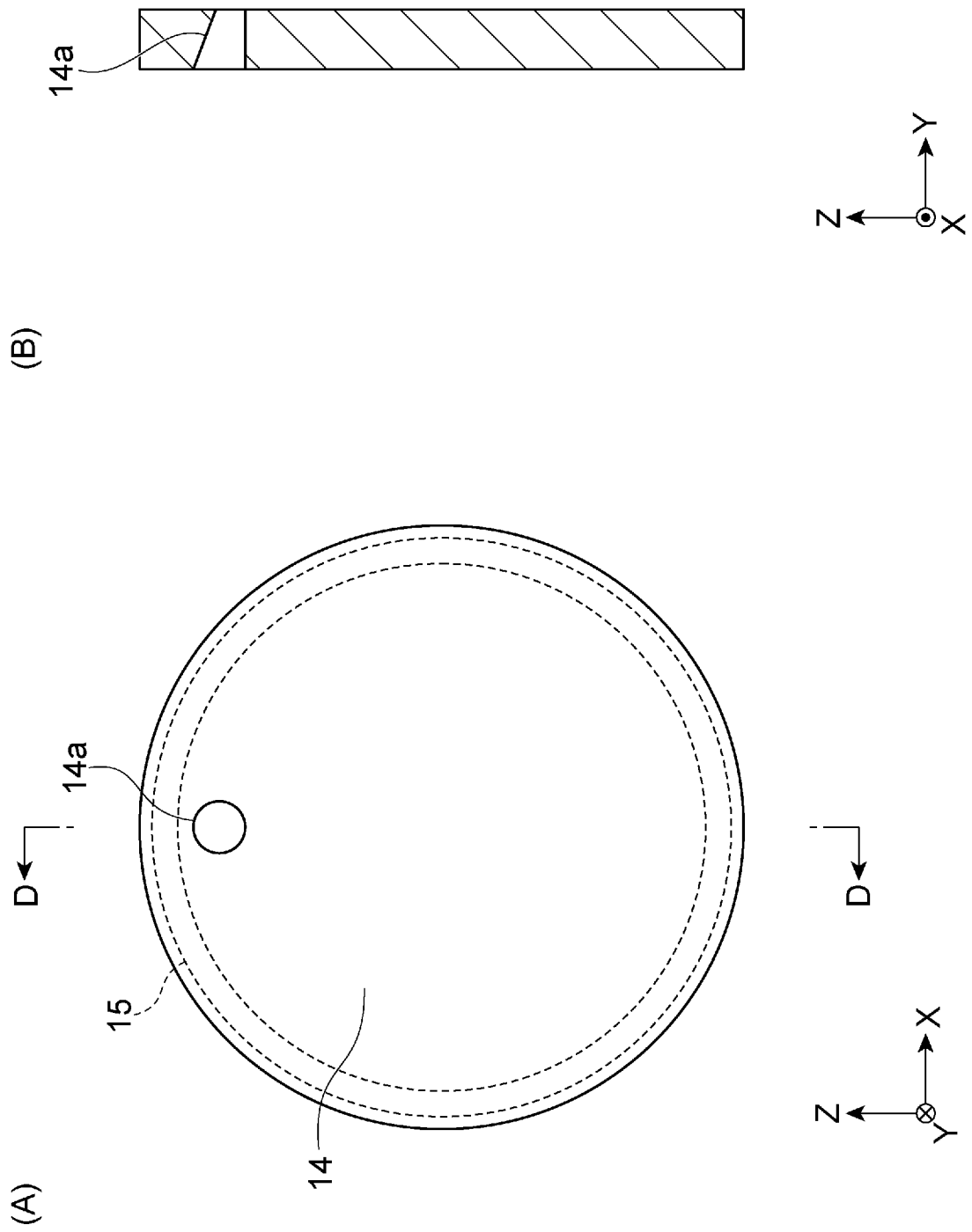
[図10]



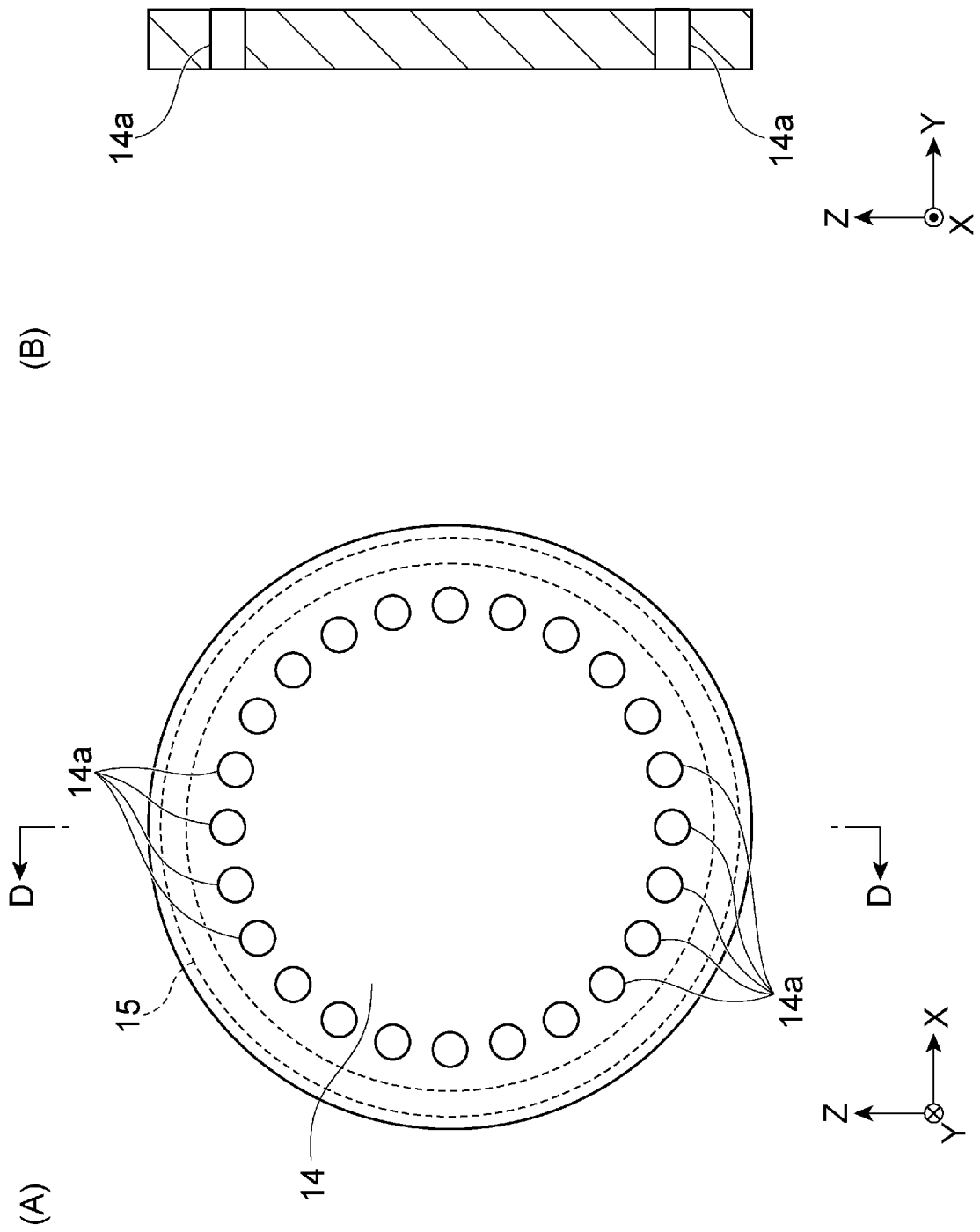
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/050809

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/042(2006.01)i, H01S3/06(2006.01)i, H01S3/07(2006.01)i, H01S3/10(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S3/00-3/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 62-234386 A (Carl-Zeiss-Stiftung), 14 October 1987 (14.10.1987), claim 1; fig. 4 & US 4845721 A claim 1; fig. 4 & GB 2186421 A & GB 2186421 B & DE 3546280 A1 & DE 3546280 C2 & FR 2592530 A1 & FR 2592530 B1	1-6 7-9
Y	US 3715682 A (American Optical Corp.), 06 February 1973 (06.02.1973), column 3, line 58 to column 5, line 28; fig. 1, 3 (Family: none)	7-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 March 2016 (16.03.16)

Date of mailing of the international search report
29 March 2016 (29.03.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/050809

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2-209778 A (Brother Industries, Ltd.), 21 August 1990 (21.08.1990), page 5, upper left column, line 12 to upper right column, line 3; fig. 2 (Family: none)	7-9
A	US 3611190 A (American Optical Corp.), 05 October 1971 (05.10.1971), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	US 3766493 A (US NAVY), 16 October 1973 (16.10.1973), entire text; all drawings (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S3/042(2006.01)i, H01S3/06(2006.01)i, H01S3/07(2006.01)i, H01S3/10(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S3/00-3/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 62-234386 A (カール・ツワイス・ステイフツング) 1987.10.14, 特許請求の範囲 (1), 第4図 & US 4845721 A claim1, Fig.4 & GB 2186421 A & GB 2186421 B & DE 3546280 A1 & DE 3546280 C2 & FR 2592530 A1 & FR 2592530 B1	1-6 7-9
Y	US 3715682 A (American Optical Corp.) 1973.02.06, 第3欄第58 行-第5欄第28行, FIG.1, FIG.3 (ファミリーなし)	7-9

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16.03.2016

国際調査報告の発送日

29.03.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

佐藤 宙子

2 X

9316

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2-209778 A (ブラザー工業株式会社) 1990.08.21, 第5頁左上欄 第12行ー右上欄第3行, 第2図 (ファミリーなし)	7-9
A	US 3611190 A (American Optical Corp.) 1971.10.05, 全文、全図 (フ ァミリーなし)	1-9
A	US 3766493 A (US NAVY) 1973.10.16, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-9