

(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  
2017年4月20日(20.04.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/064880 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01S 3/042 (2006.01) H01S 3/10 (2006.01)  
H01S 3/063 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/067059
- (22) 国際出願日: 2016年6月8日(08.06.2016)
- (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 2015-204803 2015年10月16日(16.10.2015) JP
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 近藤 喜之 (KONDO, Yoshiyuki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 大谷 雄一 (OTANI, Yuichi); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 小室 吉輝 (KOMURO, Yoshiteru); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 児玉 敦司 (KODAMA, Atsushi); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号

三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 濱本 浩一 (HAMAMOTO, Koichi); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 醍醐 浩之 (DAIGO, Hiroyuki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 井上 直樹 (INOUE, Naoki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 森岡 朋也 (MORIOKA, Tomoya); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 加藤 昌浩 (KATO, Masahiro); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 西方 伸吾 (NISHIKATA, Shingo); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

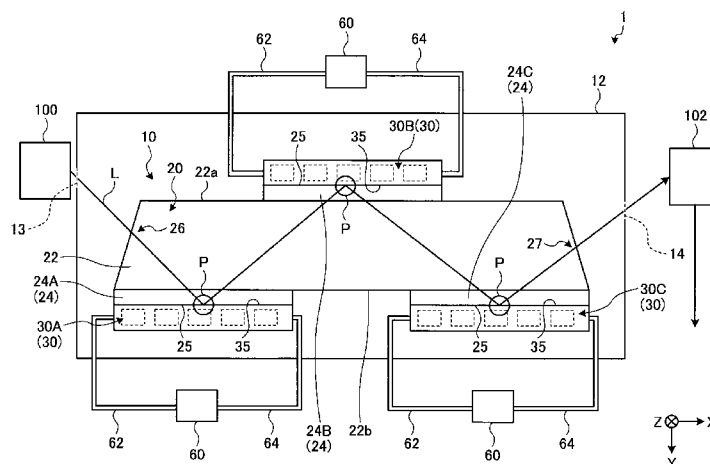
(74) 代理人: 特許業務法人酒井国際特許事務所 (SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング Tokyo (JP).

(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,

[続葉有]

(54) Title: SOLID LASER AMPLIFICATION DEVICE

(54) 発明の名称: 固体レーザ増幅装置



(57) Abstract: This solid laser amplification device (10) has: a laser medium part (20) that has a solid medium (22), into which a laser light (L) enters from an entrance part (26) and from which the laser light (L) is emitted to the outside from an exit part (27), and an amplification layer (24), which is provided on the surface of the medium (22), receives the laser light (L) in the medium (22), and amplifies and reflects said light toward the exit part (27); and a microchannel cooling part (30) that has a plurality of cooling pipelines, into which a cooling solvent is conducted and which are arranged in a direction that is parallel to the surface (25) of the amplification layer (24), and a cooling surface (35), which is provided at the outer periphery of the cooling pipelines and is attached to the surface (25) of the amplification layer (24), said microchannel cooling part (30) cooling the amplification layer (24). The closer the position at which the cooling pipeline is provided is to a position facing a section of the amplification layer (24) that receives the laser light (L), the greater the cooling force exhibited by the cooling part (30).

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2017/064880 A1



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, 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

ロシア (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))

固体レーザー増幅装置 (10) は、入射部 (26) よりレーザー光 (L) が内部に入射され、出射部 (27) よりレーザー光 (L) が外部に出射される固体状の媒質 (22) と、媒質 (22) の表面に設けられて、媒質 (22) 内のレーザー光 (L) を受光して出射部 (27) に向けて増幅しつつ反射する増幅層 (24) と、を有するレーザー媒質部 (20) と、内部に冷却溶媒を導通し、増幅層 (24) の表面 (25) に平行な方向に配列する複数の冷却管路と、複数の冷却管路の外周に設けられ、増幅層 (24) の表面 (25) に取付けられる冷却面 (35) とを有して増幅層 (24) を冷却するマイクロチャネル型の冷却部 (30) と、を有する。冷却部 (30) は、増幅層 (24) のレーザー光 (L) を受光する箇所に対向する位置と近い位置に設けられた冷却管路ほど、冷却力を大きくする。

## 明 細 書

発明の名称： 固体レーザ増幅装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、固体レーザ増幅装置に関する。

### 背景技術

[0002] 固体レーザは、レーザ媒質に固体を用いたレーザである。固体レーザ増幅装置は、レーザ媒質内にレーザ光を透過させることによりレーザ光の出力を向上（増幅）させる装置である。例えば、スラブ型固体レーザ増幅装置の場合、レーザ媒質内部に入射させたレーザ光を、レーザ媒質の対向する両表面で反射させつつ、レーザ媒質内をジグザグに進行させて増幅を行う。

[0003] ここで、レーザ媒質は、内部を透過するレーザ光によって加熱されてしまうため、冷却が必要となる。従来、このレーザ媒質の冷却には、直接冷却が用いられていた。直接冷却においては、例えば、レーザ媒質の表面を覆うように設けられた冷却室の内部を加圧し、冷却室内において液体窒素をレーザ媒質表面に向けて噴射することにより、冷却を行っていた。

### 先行技術文献

### 特許文献

[0004] 特許文献1：特許第5 1 3 5 2 0 7 号公報

### 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0005] レーザ媒質は、レーザ光が反射する箇所においてより高温となるため、レーザ媒質の温度分布が不均一になる。レーザ媒質の温度分布が不均一となった場合、レーザ光の性能が低下するため、レーザ媒質の温度分布が均一になるよう冷却する必要がある。しかし、液体窒素等による直接噴射では、レーザ媒質の温度分布が均一になるように冷却するなどの制御が困難であり、レーザ媒質の温度分布の不均一を適切に抑制することはできないという問題がある。

[0006] 上記課題を解決するため、本発明はレーザ媒質の温度分布の不均一を適切に抑制する固体レーザ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

[0007] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示の固体レーザ増幅装置は、入射部よりレーザ光が内部に入射され、出射部より前記レーザ光が外部に出射される固体状の媒質と、前記媒質の表面に設けられて、前記媒質内のレーザ光を受光して前記出射部に向けて増幅しつつ反射する増幅層と、を有するレーザ媒質部と、内部に冷却溶媒を導通し、前記増幅層の表面に平行な方向に配列する複数の冷却管路と、複数の前記冷却管路の外周に設けられ、前記増幅層の表面に取付けられる冷却面とを有して前記増幅層を冷却するマイクロチャネル型の冷却部と、を有し、前記冷却部は、前記増幅層の前記レーザ光を受光する箇所に対向する位置と近い位置に設けられた前記冷却管路ほど、冷却力を大きくする。

[0008] この固体レーザ増幅装置によると、増幅層のレーザ光を受光する箇所をより高い冷却力で冷却することができるため、増幅層の温度分布の不均一を適切に抑制することができる。

[0009] 前記固体レーザ増幅装置において、前記冷却部は、前記増幅層の前記レーザ光を受光する箇所に対向する位置と近い位置に設けられた前記冷却管路ほど、流れる冷却溶媒の流速を高くし、又は、前記増幅層の前記レーザ光を受光する箇所に対向する位置と近い位置に設けられた冷却管路ほど、流入する冷却溶媒の温度を低くすることが好ましい。この固体レーザ増幅装置によると、増幅層のレーザ光を受光する箇所を冷却する冷却力を適切に大きくすることができるため、増幅層の温度分布の不均一を適切に抑制することができる。

[0010] 前記固体レーザ増幅装置において、前記冷却部は、一部の前記冷却管路内において前記冷却溶媒の流れる方向を、他の前記冷却管路内において前記冷却溶媒の流れる方向と反対方向とすることが好ましい。この固体レーザ増幅装置によると、冷却管路毎に温度勾配が互い違いとなるため、増幅層の温度

分布の不均一を適切に抑制することができる。

[0011] 前記固体レーザ増幅装置において、複数の前記冷却管路は、前記冷却面に近づく方向に延在する第1管路と、前記第1管路に接続されて前記冷却面から遠ざかる方向に延在し、前記第1管路からの前記冷却溶媒が流れる第2管路と、を有することが好ましい。この固体レーザ増幅装置によると、冷却面垂直な方向に沿って流れる冷却溶媒によって増幅層の冷却を行う。従って、この固体レーザ増幅装置によると、冷却溶媒の温度勾配の影響が増幅層に伝わることを抑制することができ、増幅層の温度分布の不均一を適切に抑制することができる。

[0012] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示の固体レーザ増幅装置は、入射部よりレーザ光が内部に入射され、出射部より前記レーザ光が外部に出射される固体状の媒質と、前記媒質の表面に設けられて、前記媒質内のレーザ光を受光して前記出射部に向けて増幅しつつ反射する増幅層と、を有するレーザ媒質部と、内部に冷却溶媒を導通し、前記増幅層の表面に平行な方向に配列する複数の冷却管路と、複数の前記冷却管路の外周に設けられ、前記増幅層の表面に取付けられる冷却面とを有して前記増幅層を冷却するマイクロチャネル型の冷却部と、を有し、前記冷却部は、一部の前記冷却管路内において前記冷却溶媒の流れる方向を、他の前記冷却管路内において前記冷却溶媒の流れる方向と反対方向とする。この固体レーザ増幅装置によると、冷却管路毎に温度勾配が互い違いとなるため、増幅層の温度分布の不均一を適切に抑制することができる。

[0013] 前記固体レーザ増幅装置において、前記冷却部は、隣接する前記冷却管路同士の前記冷却溶媒の流れる方向を、互いに反対方向とすることが好ましい。この固体レーザ増幅装置によると、増幅層の温度分布の不均一をより適切に抑制することができる。

[0014] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本開示の固体レーザ増幅装置は、入射部よりレーザ光が内部に入射され、出射部より前記レーザ光が外部に出射される固体状の媒質と、前記媒質の表面に設けられて、前記媒質

内のレーザ光を受光して前記出射部に向けて増幅しつつ反射する増幅層と、を有するレーザ媒質部と、内部に冷却溶媒を導通し、前記増幅層の表面に平行な方向に配列する複数の冷却管路と、複数の前記冷却管路の外周に設けられ、前記増幅層の表面に取付けられる冷却面とを有して前記増幅層を冷却するマイクロチャネル型の冷却部と、を有し、複数の前記冷却管路は、前記冷却面に近づく方向に延在する第1管路と、前記第1管路に接続されて前記冷却面から遠ざかる方向に延在し、前記第1管路からの前記冷却溶媒が流れる第2管路と、を有する。この固体レーザ増幅装置によると、冷却面垂直な方向に沿って流れる冷却溶媒によって増幅層の冷却を行う。従って、この固体レーザ増幅装置によると、冷却溶媒の温度勾配の影響が増幅層に伝わることを抑制することができ、増幅層の温度分布の不均一を適切に抑制することができる。

[0015] 前記固体レーザ増幅装置は、前記増幅層と前記冷却面との間に接触して設けられ、前記増幅層の熱を前記冷却部に伝熱する熱伝導部を有することが好ましい。この固体レーザ増幅装置によると、熱伝導部により増幅層の熱を効率よく冷却部に伝えることができるため、適切に増幅層を冷却することができる。

### 発明の効果

[0016] 本発明によれば、レーザ媒質の温度分布の不均一を適切に抑制することができる。

### 図面の簡単な説明

[0017] [図1]図1は、第1実施形態における固体レーザ装置の構成を示す模式図である。

[図2]図2は、第1実施形態における冷却部の模式図である。

[図3]図3は、第1実施形態における固体レーザ増幅装置を上面から見た模式図である。

[図4]図4は、増幅層の温度分布の一例を示すグラフである。

[図5A]図5Aは、第2実施形態に係る冷却部の模式図である。

[図5B]図 5 B は、第 2 実施形態に係る冷却部の模式図である。

[図6]図 6 は、比較例に係る冷却部の冷却を説明する説明図である。

[図7]図 7 は、第 2 実施形態に係る冷却部の冷却を説明する説明図である。

[図8]図 8 は、第 3 実施形態に係る冷却部の模式図である。

[図9A]図 9 A は、第 3 実施形態に係る冷却部の冷却を説明する説明図である。  
。

[図9B]図 9 B は、第 3 実施形態に係る冷却部の冷却を説明する説明図である。  
。

[図9C]図 9 C は、第 3 実施形態に係る冷却部の冷却を説明する説明図である。  
。

[図10]図 1 0 は、第 3 実施形態の他の例に係る冷却部の構成を示す模式図である。

[図11]図 1 1 は、変形例における固体レーザ装置の構成を示す模式図である。  
。

[図12]図 1 2 は、熱伝導部の形状を示す模式図である。

### 発明を実施するための形態

[0018] 以下に添付図面を参照して、本発明の好適な実施形態を詳細に説明する。

なお、この実施形態により本発明が限定されるものではなく、また、実施形態が複数ある場合には、各実施例を組み合わせるものも含むものである。

[0019] (第 1 実施形態)

図 1 は、第 1 実施形態における固体レーザ装置の構成を示す模式図である。  
第 1 実施形態に係る固体レーザ装置 1 は、媒質に固体を用いた固体レーザを照射する装置である。具体的には、第 1 実施形態における固体レーザ装置 1 は、スラブ型固体レーザ照射装置である。図 1 に示すように、固体レーザ装置 1 は、固体レーザ増幅装置 1 0 と、収納室 1 2 と、発光部 1 0 0 と、照射部 1 0 2 とを有する。発光部 1 0 0 は、レーザ光 L の励起光源であり、例えばレーザダイオードである。照射部 1 0 2 は、例えばレーザ照射ヘッドで

ある。固体レーザ装置 1 は、発光部 100 で励起させたレーザ光 L を、収納室 12 に設けられた固体レーザ増幅装置 10 内に透過させて増幅し、増幅させたレーザ光 L を照射部 102 から照射する。固体レーザ装置 1 は、照射部 102 からレーザ光 L を照射して、機械加工等を行う。なお、固体レーザ装置 1 が照射するレーザ光 L は、例えば熱流束が  $100\text{ W/cm}^2$  以上の高出力のものである。

[0020] 図 1 に示すように、収納室 12 は、内部に固体レーザ増幅装置 10 を収納する部屋である。収納室 12 は、外部から密閉された部屋であり、使用時にはポンプ等で内部の気体が排出されて、真空状態となる。収納室 12 には、入射窓 13、出射窓 14 が設けられており、発光部 100 からのレーザ光 L を入射窓 12a から内部に透過させ、内部のレーザ光 L を出射窓から照射部 102 に出射させる。

[0021] 固体レーザ増幅装置 10 は、いわゆるスラブ型固体レーザの増幅装置である。固体レーザ増幅装置 10 は、レーザ媒質部 20 と、冷却部 30A、30B、30C と、を有する。

[0022] レーザ媒質部 20 は、レーザ光 L を増幅するためのスラブ型のレーザ媒質である。レーザ媒質部 20 は、本実施形態では Nd:YAG セラミックスである。Nd:YAG セラミックスは、YAG (Yttrium Aluminum Garnet; イットリウムアルミニウムガーネット) の結晶を製造する過程でイットリウムの一部をネオジムでドーブしたものである。レーザ媒質部 20 は、媒質 22 と増幅層 24A、24B、24C とを有する。媒質 22 は、例えば YAG などの透光性を有する結晶 (固体) である。増幅層 24A、24B、24C は、媒質 22 の表面に設けられた層であり、媒質 22 と同じ材料の板にイットリウム等のイオンをドーブして生成される。増幅層 24A、24B、24C は、レーザ光 L を増幅する利得媒質である。

[0023] 媒質 22 は、六面体 (本実施形態では錐台) である。媒質 22 は、方向 X に沿った長さが、方向 Y に沿った長さよりも長くなっている。方向 Y は、方向 X と交差する方向であり、本実施形態では方向 X に直交する方向である。

また、後述する方向Zは、方向X及び方向Yと交差する方向であり、本実施形態では方向X及び方向Yに直交する方向である。媒質22は、方向Yに沿った一方の面が、面積の小さい側の上底面22aであり、他方の面が、面積の大きい側の下底面22bである。ただし、媒質22の形状は、これに限られない。

[0024] 増幅層24A、24Cは、下底面22bに、方向Xに沿って所定の間隔をおいて取付けられている。増幅層24Bは、上底面22aに取付けられている。増幅層24Bは、方向Xに沿って、増幅層24Aと増幅層24Cとの間に位置している。なお、上底面22aは、増幅層22Bが1つだけ取付けられているが、下底面22bと同様に、所定の間隔をおいて複数の増幅層が取り付けられていてもよい。

[0025] 以下、増幅層24A、24B、24Cを区別しない場合は、増幅層24と記載する。増幅層24は、この媒質22の方向Yに沿って対向する表面（上底面22a、下底面24b）のそれぞれに設けられているといえることができる。また、増幅層24は、媒質22の表面に、方向Xに沿って所定の間隔をおいて複数設けられているといえることができる。ただし、増幅層24は、方向Xに沿って所定の間隔をおいて設けられていなくてもよく、上底面22a及び下底面24bの全体にわたって設けられていてもよい。

[0026] レーザ光Lは、媒質22の側面の入射部26から、媒質22の内部に入射される。媒質22の内部に入射したレーザ光Lは、増幅層24内に入射する。増幅層24内に入射されたレーザ光Lは、増幅されて、増幅層24の媒質22と反対側の表面である表面25で反射される。表面25で反射されたレーザ光Lは、増幅層24から媒質22内に再度入射され、入射部26とは方向Xに沿って反対側の側面の出射部27から出射される。なお、表面25には、レーザ光Lを全反射する反射層が設けられていてもよい。

[0027] 第1実施形態の例では、収納室12内の入射されたレーザ光Lは、入射部26から媒質22を経て増幅層24A内に入射する。増幅層24A内に入射したレーザ光Lは、増幅及び反射されて、媒質22を経て増幅層24B内に

入射する。増幅層 2 4 B 内に入射したレーザ光 L は、増幅及び反射されて、媒質 2 2 を経て増幅層 2 4 C 内に入射する。増幅層 2 4 C 内に入射したレーザ光 L は、増幅及び反射されて、媒質 2 2 内に入射し、出射部 2 7 から外部（収納室 1 2）に向けて出射される。このように、本実施形態におけるレーザ光 L は、レーザ媒質部 2 0 において、方向 X に向かってジグザグに進行する。従って、方向 X は、レーザ光 L の進行方向ということもできる。

[0028] 次に、冷却部 3 0 A、3 0 B、3 0 C について説明する。以下、冷却部 3 0 A、3 0 B、3 0 C を互いに区別しない場合は、冷却部 3 0 と記載する。図 2 は、第 1 実施形態における冷却部の模式図である。冷却部 3 0 は、マイクロチャネル型の熱交換器である。図 2 に示すように、冷却部 3 0 は、マイクロチャネル部 3 1 と、入口ヘッダ部 3 2 と、出口ヘッダ部 3 4 とを有する。

[0029] マイクロチャネル部 3 1 は、内部に複数の冷却管路 3 6 A、3 6 B、3 6 C、3 6 D、3 6 E が開口している板状の部材である。以下、冷却管路 3 6 A、3 6 B、3 6 C、3 6 D、3 6 E を互いに区別しない場合は、冷却管路 3 6 と記載する。冷却管路 3 6 は、マイクロチャネル部 3 1 の表面である冷却面 3 5 に平行な方向 A に沿って延在している。冷却管路 3 6 は、方向 A に沿ったマイクロチャネル部 3 1 の一方の側面 3 7 と他方の側面 3 8 とに開口しており、一方の側面 3 7 から他方の側面 3 8 まで導通している。言い換えれば、冷却面 3 5 は、複数の冷却管路 3 6 の外周に設けられているということが出来る。本実施形態では、マイクロチャネル部 3 1 は、アルミニウムや SUS（ステンレス）などの熱伝導率の比較的高い金属部材であるが、材質はこれに限られない。

[0030] 冷却管路 3 6 A、3 6 B、3 6 C、3 6 D、3 6 E は、マイクロチャネル部 3 1 の冷却面 3 5 に平行な方向であって方向 A と交差する方向である方向 B に沿って配列している。本実施形態の例では、冷却管路 3 6 A、3 6 B、3 6 C、3 6 D、3 6 E は、方向 B に沿って等間隔で配列しており、方向 B に沿った中央部に冷却管路 3 6 C が位置している。ただし、冷却管路 3 6 A

、３６Ｂ、３６Ｃ、３６Ｄ、３６Ｅは等間隔に配列していなくてもよく、数も複数であれば任意である。

[0031] 入口ヘッダ部３２は、内部が空洞の筒状部材である。入口ヘッダ部３２は、マイクロチャネル部３１の一方の側面３７に取付けられている。入口ヘッダ部３２は、内部の空間を複数の冷却管路３６のそれぞれと導通するための図示しない開口部と、冷却溶媒Ｗを内部の空間に導入するための導入開口部３２Ｈとを有している。

[0032] 出口ヘッダ部３４は、内部が空洞の筒状部材である。出口ヘッダ部３４は、マイクロチャネル部３１の他方の側面３８に取付けられている。出口ヘッダ部３４は、内部の空間を複数の冷却管路３６のそれぞれと導通するための図示しない開口部と、冷却溶媒Ｗを内部の空間から外部に導出するための導出開口部３４Ｈとを有している。

[0033] 冷却部３０は、導入開口部３２Ｈから入口ヘッダ部３２内に冷却溶媒Ｗを導入し、その冷却溶媒Ｗを各冷却管路３６に分配して、各冷却管路３６内に流通させる。マイクロチャネル部３１は、被冷却体に接触しており、各冷却管路３６を流れる冷却溶媒Ｗにより、被冷却体を冷却する。各冷却管路３６内を流れる冷却溶媒Ｗは、出口ヘッダ部３４に向けて流れる。出口ヘッダ部３４内に流入した冷却溶媒Ｗは、導出開口部３４Ｈから外部に導出され、外部で冷却されて、再度入口ヘッダ部３２内に導入される。なお、本実施形態における冷却溶媒Ｗは、入口ヘッダ部３２に導入される状態においては液体であり、例えば液体窒素、水等である。

[0034] 図３は、第１実施形態における固体レーザ増幅装置を上面から見た模式図である。図１及び図３に示すように、冷却部３０は、冷却面３５が、増幅層２４の表面２５に接触して取付けられており、増幅層２４を冷却する。冷却部３０Ａは、増幅層２４Ａに取付けられている。冷却部３０Ｂは、増幅層２４Ｂに取付けられている。冷却部３０Ｃは、増幅層２４Ｃに取付けられている。従って、冷却部３０は、レーザ媒質部２０の方向Ｙに沿って対向する表面（上底面２２ａ側の表面、下底面２４ｂ側の表面）のそれぞれに設けられ

ているということができる。また、冷却部 30 は、レーザ媒質部 20 の表面に、方向 X に沿って所定の間隔をおいて複数設けられているということができる。すなわち、冷却部 30 は、レーザ媒質部 20 において、増幅層 24 のみに設けられている。なお、冷却部 30 は、冷却管路 36 が延在する方向 A が方向 Z に沿い、複数の冷却管路 36 が配列する方向 B が方向 X に沿い、かつ、方向 A 及び方向 B に直交する方向 C（冷却面 35 に直交する方向）が方向 Y に沿うように、各増幅層 24 に取付けられている。ただし、冷却部 30 の取付け方向は、冷却面 35 が増幅層 24 の表面 25 に取付けられていれば、これに限られず、例えば、冷却管路 36 が延在する方向 A が方向 X に沿っていてもよい。

[0035] また、図 1 に示すように、冷却部 30 は、冷却溶媒冷却部 60 に接続されている。具体的には、冷却溶媒冷却部 60 は、収納室 12 の外部に設けられており、導入管 62 を介して入口ヘッダ部 32 の導入開口部 32 H に冷却溶媒 W を導入する。また、冷却溶媒冷却部 60 は、導出管 64 を介して出口ヘッダ部 34 の導出開口部 34 H から冷却溶媒 W を導出する。冷却溶媒冷却部 60 は、出口ヘッダ部 34 からの冷却溶媒 W を冷却し、再度入口ヘッダ部 32 に供給するものである。冷却溶媒冷却部 60 は、冷却溶媒 W を冷却するものであればその構成は任意であり、例えば冷却溶媒 W を導通する複数の管の間にフィンを設けて自然冷却するものであってもよく、強制冷却するものであってもよい。

[0036] 図 1 及び図 3 に示すように、レーザ光 L は、レーザ媒質部 20 内において、方向 Z における中央の位置を、方向 X に向かってジグザグに進行する。そして、レーザ光 L は、増幅層 24 A、24 B、24 C の方向 X における中央位置である受光箇所 P で反射されている。すなわち、受光箇所 P は、増幅層 24 の表面 25 において、レーザ光 L を受光（反射）している箇所であるということができる。増幅層 24 は、レーザ光 L によって加熱され、特に受光箇所 P において最も高熱となる。そして、増幅層 24 は、受光箇所 P から遠ざかるに従って加熱される度合いが小さくなる。言い換えれば、増幅層 24

は、表面 25 に平行な方向（方向 X 及び方向 Z）に沿って、受光箇所 P に近づくに従って温度が高くなるということができる。すなわち、増幅層 24 は、例えば方向 X に沿って、温度分布に偏りが生じる。温度分布に偏りが生じた場合、レーザ光 L の性能が低下するおそれがある。

[0037] ここで、冷却部 30 は、複数の冷却管路 36 が配列する方向 B が方向 X に沿うように取付けられている。すなわち、冷却部 30 は、増幅層 24 の方向 X における中央位置である受光箇所 P と対向する箇所に、冷却管路 36 C が位置している。そして、冷却部 30 は、方向 X に沿って受光箇所 P と遠ざかる一方の方向に向けて、冷却管路 36 D、36 E がこの順で配列しており、方向 X に沿って受光箇所 P と遠ざかる他方の方向に向けて、冷却管路 36 B、36 A がこの順で配列している。

[0038] 第 1 実施形態において、冷却部 30 は、受光箇所 P と近い位置に設けられた冷却管路 36 ほど、冷却力を大きくしている。すなわち、第 1 実施形態において、冷却部 30 は、受光箇所 P に対向する（最も近い位置）に設けられた冷却管路 36 C の冷却力を、冷却管路 36 C よりも受光箇所 P から遠い位置に設けられた冷却管路 36 A、36 B、36 D、36 E の冷却力よりも大きくしている。また、冷却部 30 は、冷却管路 36 B の冷却力を、冷却管路 36 B よりも受光箇所 P から遠い位置に設けられた冷却管路 36 A よりも大きくしている。同様に、冷却部 30 は、冷却管路 36 D の冷却力を、冷却管路 36 D よりも受光箇所 P から遠い位置に設けられた冷却管路 36 E よりも大きくしている。なお、ここで、冷却力とは、熱交換において被冷却体から奪うことができる熱量の大きさを示しており、冷却力が高い場合は、被冷却体から奪うことができる熱量が大きくなる。

[0039] 冷却部 30 は、受光箇所 P と近い位置に設けられた冷却管路 36 ほど冷却力を大きくすることにより、増幅層 24 の温度が高い箇所をより高い冷却力で冷却することができるため、増幅層 24 の方向 X に沿った温度分布が偏ることを抑制することができる。

[0040] 具体的には、第 1 実施形態における冷却部 30 は、受光箇所 P と近い位置

に設けられた冷却管路 36 ほど、内部を流れる冷却溶媒 W の流速を高くすることにより、冷却力を高くしている。例えば、冷却部 30 は、冷却管路 36 C の流路断面積を他よりも小さくすることにより、流速を大きくすることができる。この場合、冷却管路 36 C の増幅層 24 への伝熱面積を他の冷却管路 36 と同じに保つことが好ましい。例えば、これは、冷却管路 36 C の方向 C に沿った幅を他の冷却管路 36 よりも小さくして流路面積を小さくしつつ、方向 C から見た場合の冷却管路 36 C の断面積を同じに保つことにより実現できる。

[0041] なお、冷却部 30 は、冷却力を高くすることができるものであれば、流速を高くすることに限られず任意の構成を採用することができる。例えば、冷却部 30 は、受光箇所 P と近い位置に設けられた冷却管路 36 ほど、流入する冷却溶媒 W の温度を低くすることによっても、冷却力を高くすることができる。この場合、冷却部 30 は、例えば次のような構造となる。すなわち、入口ヘッダ部 32 内に仕切りを設けて、冷却管路 36 C に冷却溶媒 W を供給するための空間と、他の冷却管路 36 に冷却溶媒 W を供給するための空間とを区切り、冷却管路 36 C に冷却溶媒 W を供給するための空間にのみ、より温度が低い冷却溶媒 W を供給する。また、冷却部 30 は、受光箇所 P と近い位置に設けられた冷却管路 36 ほど、増幅層 24 への伝熱面積を大きくすることによっても、冷却力を高くすることができる。

[0042] ここで、冷却部 30 の冷却力は、増幅層の温度分布の計測結果に基づき決定してもよい。図 4 は、増幅層の温度分布の一例を示すグラフである。図 4 の横軸は方向 X に沿った増幅層 24 の位置を示しており、増幅層 24 の温度を示している。図 4 の曲線 S1 は、方向 X に沿った位置毎の増幅層 24 の温度分布の計測結果の例を示している。曲線 S1 に示すように、図 4 の例では、増幅層 24 は、方向 X に沿って中央の位置（受光箇所 P）において温度が最も高く、中央の位置から離れるに従って、曲線状に温度が低下している。冷却部 30 の冷却力（冷却管路 36 毎の冷却力）は、この曲線 S1 に基づき決定してもよい。この場合、冷却部 30 の冷却力（冷却管路 36 毎の冷却力

）の分布が、図４の曲線Ｓ２となるように、冷却力を決定する。曲線Ｓ２は、図４の縦軸を冷却部３０の冷却力とした場合の曲線であり、方向Ｘに沿った位置毎の冷却部３０（冷却管路３６）の温度分布の例を示している。曲線Ｓ２の冷却力の勾配は、曲線Ｓ１の温度の勾配と同じものとなっている。このように実際の増幅層の温度分布の計測結果に基づき冷却力を決定することにより、温度分布が偏ることをより適切に抑制することができる。

[0043] 以上説明したように、第１実施形態に係る固体レーザ増幅装置１０は、媒質２２と増幅層２４とを有するレーザ媒質部２０と、複数の冷却管路３６と冷却面３５とを有する。媒質２２は、入射部２６よりレーザ光Ｌが内部に入射され、出射部２７よりレーザ光Ｌが外部に出射される固体状の媒質である。増幅層２４は、媒質２２の表面に設けられて、媒質２２内のレーザ光Ｌを受光して出射部２７に向けて増幅しつつ反射する。また、複数の冷却管路３６は、内部に冷却溶媒Ｗを導通し、増幅層２４の表面２５に平行な方向に配列する。また、冷却面３５は、冷却管路３６の外周に設けられ、増幅層２４の表面２５に取付けられる。そして、冷却部３０は、増幅層２４のレーザ光Ｌを受光する箇所（受光箇所Ｐ）に対向する位置と近い位置に設けられた冷却管路３６ほど、冷却力を大きくする。

[0044] この固体レーザ増幅装置１０は、増幅層２４のレーザ光Ｌを受光する箇所（受光箇所Ｐ）に対向する位置と近い位置に設けられた冷却管路３６ほど、冷却力を大きくする。この固体レーザ増幅装置１０は、増幅層２４の温度が高い箇所である受光箇所Ｐをより高い冷却力で冷却することができるため、増幅層２４の温度分布が偏ることを抑制して、レーザ光Ｌの性能低下を抑制することができる。

[0045] この固体レーザ増幅装置１０は、増幅層２４にマイクロチャネル型の冷却部３０が取付けられている。従って、増幅層２４の熱は、冷却部３０内を流れる冷却溶媒Ｗにより間接冷却される。ここで、増幅層２４を直接冷却する場合、例えば、増幅層２４の表面を覆うように設けられた冷却室の内部を加圧し、冷却室内において液体窒素を増幅層２４の表面に向けて噴射すること

により、冷却を行う必要がある。この直接冷却の場合、液体窒素が噴射される冷却室は、冷却のため密閉する必要がある、例えば増幅層 24 と冷却室との間にシール材を設けることにより外部から密閉している。しかし、増幅層 24 の温度変化による熱伸び等により、シール材によるシールが困難になる場合がある。シールが適切に行われない場合、増幅層 24 の冷却が適切に行われないおそれが生じる。しかし、上述のように、この固体レーザ増幅装置 10 は、間接冷却であるため、例えば液体窒素を噴射する直接冷却とは異なり、レーザ媒質部 20 を冷却するためにシールを行う必要がない。従って、この固体レーザ増幅装置 10 によると、レーザ媒質部 20 を適切に冷却することができる。

[0046] また、この固体レーザ増幅装置 10 において、冷却部 30 は、受光箇所 P に対向する位置と近い位置に設けられた冷却管路 36 ほど、流れる冷却溶媒 W の流速を高くし、又は、受光箇所 P に対向する位置と近い位置に設けられた冷却管路 36 ほど、流入する冷却溶媒 W の温度を低くする、これにより、固体レーザ増幅装置 10 は、受光箇所 P に対向する位置と近い位置に設けられた冷却管路 36 の冷却力を適切に大きくすることができるため、増幅層 24 の温度分布が偏ることを適切に抑制する。

[0047] (第 2 実施形態)

次に、第 2 実施形態について説明する。第 2 実施形態に係る固体レーザ増幅装置 10 a は、隣接する冷却管路同士の冷却溶媒 W の流れ方向が、互いに反対方向である点で、第 1 実施形態とは異なる。第 2 実施形態において第 1 実施形態と構成が共通する箇所は、説明を省略する。

[0048] 図 5 A 及び図 5 B は、第 2 実施形態に係る冷却部の模式図である。図 5 A は、第 2 実施形態に係る冷却部 30 a の模式的な斜断面図である。図 5 B は、第 2 実施形態に係る冷却部 30 a の模式的な断面図である。図 5 A 及び図 5 B に示すように、第 2 実施形態に係る冷却部 30 a は、マイクロチャネル部 31 a と、第 1 ヘッド部 32 a と、第 2 ヘッド部 34 a とを有する。マイクロチャネル部 31 a は、内部に複数の冷却管路 36 A a、36 B a、36 C

a、36Da、36Eaが開口している板状の部材である。マイクロチャネル部31a、及び冷却管路36Aa、36Ba、36Ca、36Da、36Eaの形状は、第1実施形態と同様である。ただし、冷却管路36Aa、36Ba、36Ca、36Da、36Eaは、第1実施形態のような冷却力が互いに異なるものでなくてもよく、互いに同じ冷却力であってもよい。以下、冷却管路36Aa、36Ba、36Ca、36Da、36Eaを互いに区別しない場合は、冷却管路36aと記載する。

[0049] 第1ヘッダ部32aは、内部が空洞の筒状部材である。第1ヘッダ部32aは、マイクロチャネル部31aの一方の側面37に取付けられている。図5Bに示すように、第1ヘッダ部32aは、複数の仕切りによって、内部の空間が、空間32Aa、32Ba、32Ca、32Da、32Eaに仕切られている。空間32Aa、32Ba、32Ca、32Da、32Eaは、それぞれ冷却溶媒冷却部60と冷却溶媒Wを流通させる開口部が設けられている。

[0050] 第2ヘッダ部34aは、内部が空洞の筒状部材である。第2ヘッダ部34aは、マイクロチャネル部31aの他方の側面38に取付けられている。図5Bに示すように、第2ヘッダ部34aは、複数の仕切りによって、内部の空間が、空間34Aa、34Ba、34Ca、34Da、34Eaに仕切られている。空間34Aa、34Ba、34Ca、34Da、34Eaは、それぞれ冷却溶媒冷却部60と冷却溶媒Wを流通させる開口部が設けられている。

[0051] 冷却部30aは、隣接する冷却管路36a同士の冷却溶媒Wの流れ方向が、互いに反対方向である。具体的には、冷却管路36Aa、36Ca、36Eaは、空間32Aaから空間34Aaに向かって冷却溶媒Wが流れている。冷却管路36Ba、36Daは、空間34Baから空間32Baに向かって冷却溶媒Wが流れている。ただし、冷却管路36aは、一部の冷却管路36a内において冷却溶媒Wが流れる方向を、他の冷却管路36a内において冷却溶媒Wが流れる方向と反対方向とするものであればよく、隣接する冷却

管路 3 6 a 同士の冷却溶媒 W の流れ方向が反対となっていないものがある。この場合は、例えば冷却管路 3 6 A a、3 6 B a、3 6 E a は、空間 3 2 A a から空間 3 4 A a に向かって冷却溶媒 W が流れており、冷却管路 3 6 C a、3 6 D a は、空間 3 4 B a から空間 3 2 B a に向かって冷却溶媒 W が流れているなどの構成が挙げられる。冷却部 3 0 a は、このように冷却管路 3 6 a を流れる冷却溶媒 W の方向を異ならせることで、増幅層 2 4 の温度分布が偏ることを抑制することができる。以下、比較例を用いて説明する。

[0052] 図 6 は、比較例に係る冷却部の冷却を説明する説明図である。図 7 は、第 2 実施形態に係る冷却部の冷却を説明する説明図である。図 6 に示すように、比較例に係る冷却部 3 0 X は、全ての冷却管路において、入口ヘッダ部 3 2 X から出口ヘッダ部 3 4 X に向かって冷却溶媒 W が流れており、流れ方向が同じとなっている。なお、冷却部 3 0 X は、冷却管路の冷却力は、互いに等しいものである。

[0053] 比較例において、全ての冷却管路を流れる冷却溶媒 W は、増幅層 2 4 と熱交換を行って冷却するので、入口ヘッダ部 3 2 X から出口ヘッダ部 3 4 X に向かうに従って、温度が上昇する。ここで、増幅層 2 4 も冷却溶媒 W に対応した温度分布を示すため、増幅層 2 4 は、出口ヘッダ部 3 4 X 側の温度が、入口ヘッダ部 3 2 X 側の温度より高くなる。すなわち、比較例においては、増幅層 2 4 の温度分布に偏りが出ることがある。

[0054] 一方、図 7 に示すように、第 2 実施形態に係る冷却部 3 0 a は、冷却管路 3 6 a における冷却溶媒 W の流れ方向が互い違いとなっている。冷却管路 3 6 A a、3 6 C a、3 6 E a を流れる冷却溶媒 W は、第 1 ヘッダ部 3 2 a から第 2 ヘッダ部 3 4 a に向かうに従って、温度が上昇する。一方、冷却管路 3 6 B a、3 6 D a を流れる冷却溶媒 W は、第 2 ヘッダ部 3 4 a から第 1 ヘッダ部 3 2 a に向かうに従って、温度が上昇する。このように、冷却部 3 0 a は、冷却管路 3 6 a 毎に温度勾配が互い違いとなるため、増幅層 2 4 の温度分布が比較例よりも均一化される。

[0055] 以上説明したように、第2実施形態における固体レーザ増幅装置10aは、冷却部30aが、一部の冷却管路36a内において冷却溶媒Wの流れる方向を、他の冷却管路36a内において冷却溶媒Wの流れる方向と反対方向とする。これにより、冷却管路36a毎に温度勾配が互い違いとなるため、増幅層24の温度分布が偏ることを抑制することができる。

[0056] さらに、冷却部30aは、隣接する冷却管路36a同士の冷却溶媒Wの流れる方向を、互いに反対方向とする。第2実施形態における固体レーザ増幅装置10aは、これにより、増幅層24の温度分布が偏ることを、更に適切に抑制することができる。

[0057] (第3実施形態)

次に、第3実施形態について説明する。第3実施形態に係る固体レーザ増幅装置10bは、冷却管路の形状が、第1実施形態とは異なる。第3実施形態において第1実施形態と構成が共通する箇所は、説明を省略する。

[0058] 図8は、第3実施形態に係る冷却部の模式図である。図8に示すように、第3実施形態に係る冷却部30bは、マイクロチャネル部31bと、入口ヘッダ部32と、出口ヘッダ部34とを有する。マイクロチャネル部31bは、内部に複数の冷却管路36Ab、36Bb、36Cb、36Db、36Ebが開口している板状の部材である。冷却管路36Ab、36Bb、36Cb、36Db、36Ebは、第1実施形態のような冷却力が互いに異なるものであってもよいし、互いに同じ冷却力であってもよい。以下、冷却管路36Ab、36Bb、36Cb、36Db、36Ebを互いに区別しない場合は、冷却管路36bと記載する。

[0059] 冷却管路36bは、入口管路41と、第1管路42と、第2管路43と、出口管路44とを有する。入口管路41は、マイクロチャネル部31bの一方の側面37から、方向Aに沿って延在する管路であり、冷却面35の反対側の表面近傍に設けられている。第1管路42は、入口管路41と接続されている管路であり、方向Cに向かって冷却面35に近づく方向に、冷却面35近傍まで延在している。第2管路43は、第1管路42と接続されており

、第1管路42からの冷却溶媒Wが流れる管路である。第2管路43は、方向Cの反対方向に向かって冷却面35から離れる方向に、冷却面35の反対側の表面近傍まで延在している。出口管路44は、第2管路43と接続されている管路であり、方向Aに沿ってマイクロチャネル部31bの他方の側面38まで延在している。出口管路44も、冷却面35の反対側の表面近傍に設けられている。また、第1管路42及び第2管路43は、方向Aに沿ってマイクロチャネル部31bの中央部に設けられている。

[0060] 冷却管路36bは、入口ヘッダ部32からの冷却溶媒Wが、入口管路41と、第1管路42と、第2管路43と、出口管路44との順で流れ、冷却溶媒Wを出口ヘッダ部34に導出する。ここで、入口管路41を流れる冷却溶媒Wを冷却溶媒W1とし、第1管路42を流れる冷却溶媒Wを冷却溶媒W2とし、第2管路43を流れる冷却溶媒Wを冷却溶媒W3とし、出口管路44を流れる冷却溶媒Wを冷却溶媒W4とする。冷却溶媒W1は、入口管路41内を、方向Aに沿って、かつ冷却面35と離れた位置（冷却面35の反対側の表面近傍）を流れる。冷却溶媒W2は、第1管路42を、方向Cに向かって冷却面35に近づく方向に、冷却面35の近傍まで流れる。冷却溶媒W3は、第2管路43を、方向Cと反対方向に向かって冷却面35から遠ざかる方向に、冷却面35と反対側の面の近傍まで流れる。冷却溶媒W4は、出口管路44内を、方向Aに沿って、かつ冷却面35と離れた位置（冷却面35の反対側の表面近傍）を流れる。冷却部30bは、冷却溶媒W1、W2、W3、W4が、以上説明したように冷却管路36bを流れるため、増幅層24の温度分布が偏ることを抑制することができる。以下、具体的に説明する。

[0061] 図9Aから図9Cは、第3実施形態に係る冷却部の冷却を説明する説明図である。図9Aは、冷却部30bを上面から見た模式図であり、図9Bは、冷却部30bを正面から見た模式図であり、図9Cは、冷却部30bを側面から見た模式図である。図9Aから図9Cに示すように、入口管路41は、増幅層24の中央の位置（受光箇所P）よりも方向Zに沿った一方の端面側に位置している。出口管路44は、増幅層24の中央の位置（受光箇所P）

よりも方向Zに沿った他方の端面側に位置している。そして、第1管路42と第2管路43とは、方向Zに沿って増幅層24の中央の位置（受光箇所P）と対向する位置に配置されている。この冷却部30bは、受光箇所P付近で冷却面35に垂直な方向（方向Y）に向かって流れる冷却溶媒W2、W3により、増幅層24の冷却を行う。従って、冷却溶媒W2、W3より下流の冷却溶媒W4の温度は、上流の冷却溶媒W1の温度より高くなる。しかし、冷却部30bは、入口管路41と出口管路44とが冷却面35と離れて位置している。従って、冷却部30bは、冷却面35に平行な方向（方向Z）に沿って流れる冷却溶媒W1、W4の温度勾配の影響が、対向する増幅層24に伝わることを抑制することができ、増幅層24の温度分布を上述の比較例よりも均一にすることが可能となる。

[0062] 以上説明したように、第3実施形態に係る固体レーザ増幅装置10bは、複数の冷却管路36bが、冷却面35に近づく方向に延在する第1管路42と、第1管路42に接続されて冷却面35から遠ざかる方向に延在し、第1管路42からの冷却溶媒Wが流れる第2管路43と、を有する。この冷却部30bは、冷却面35に平行な方向（方向Z）に流れる冷却溶媒W（冷却溶媒W1、W4）ではなく、冷却面35と垂直な方向（方向Y）に向かって流れる第1管路42、第2管路43の冷却溶媒W2、W3によって、増幅層24の冷却を行う。従って、この固体レーザ増幅装置10bによると、冷却溶媒Wの温度勾配の影響が、増幅層24に伝わることを抑制することができ、増幅層24の温度分布が偏ることを抑制することができる。

[0063] 図10は、第3実施形態の他の例に係る冷却部の構成を示す模式図である。冷却部の構成は、第1実施形態から第3実施形態に説明したものに限られず、例えば、次に示す冷却部30cのような構成であってもよい。冷却部30cは、冷却管路36cと冷却面35との間の距離を、方向Zに沿って変化させている。図10は、冷却部30cを側面から見た模式図である。図10に示すように、冷却部30cは、冷却管路36cが延在する方向である方向Aに沿って、方向Cに沿ったマイクロチャネル部31cの長さ（厚み）を変

化させている。マイクロチャネル部 31 c の厚みは、入口ヘッダ部 32 側から出口ヘッダ側に向かって小さくなっている。冷却管路 36 c は、方向 A に沿って直線状に延在している。従って、冷却管路 36 c は、方向 Z に沿って冷却溶媒 W の上流側から冷却溶媒 W の下流側に向かうに従って、冷却面 35 との距離が近くなっている。このように冷却管路 36 c と冷却面 35 との間の距離を、方向 Z に沿って変化させることによっても、第 2 実施形態や第 3 実施形態と同様に、増幅層 24 の温度分布が偏ることを抑制することができる。なお、冷却管路 36 c と冷却面 35 との間の距離を変える場合は、図 10 の例に限られず、例えば、方向 Z に沿って冷却溶媒 W の上流側から冷却溶媒 W の下流側に向かうに従って、冷却面 35 との距離が長くなってもよい。

[0064] (変形例)

次に、変形例について説明する。変形例に係る固体レーザ増幅装置 10 d は、増幅層 24 と冷却部 30 との間に、増幅層 24 の熱を冷却部 30 に伝熱する熱伝導部を有する点で、第 1 実施形態とは異なる。変形例において第 1 実施形態と構成が共通する箇所は、説明を省略する。

[0065] 図 11 は、変形例における固体レーザ装置の構成を示す模式図である。図 12 は、熱伝導部の形状を示す模式図である。図 11 に示すように、変形例における固体レーザ装置 1 d は、固体レーザ増幅装置 10 d が、熱伝導部 50 A、50 B、50 C を有する。以下、熱伝導部 50 A、50 B、50 C を互いに区別しない場合は、熱伝導部 50 と記載する。

[0066] 図 11 及び図 12 に示すように、熱伝導部 50 は、熱伝導率が高い板状の部材であり、増幅層 24 と冷却部 30 との間に接触して設けられ、増幅層 24 の熱を冷却部 30 に伝熱する。なお、熱伝導部 50 は、増幅層 24 と冷却部 30 との間に密着固定して設けられることが好ましい。具体的には、熱伝導部 50 A は、一方の表面 52 が増幅層 24 A の表面 25 に接触し、他方の表面 54 が冷却部 30 A の冷却面 35 に接触している。同様に、熱伝導部 50 B は、一方の表面 52 が増幅層 24 B の表面 25 に接触し、他方の表面 54 が冷却部 30 B の冷却面 35 に接触している。同様に、熱伝導部 50 C は

、一方の表面 5 2 が増幅層 2 4 C の表面 2 5 に接触し、他方の表面 5 4 が冷却部 3 0 C の冷却面 3 5 に接触している。従って、熱伝導部 5 0 は、レーザ媒質部 2 0 の方向 Y に沿って対向する表面（上底面 2 2 a 側の表面、下底面 2 4 b 側の表面）のそれぞれに設けられているといえることができる。また、熱伝導部 5 0 は、レーザ媒質部 2 0 の表面に、方向 X に沿って所定の間隔をおいて複数設けられているといえることができる。言い換えれば、熱伝導部 5 0 は、レーザ媒質部 2 0 において、レーザ光 L を受光して高温になる増幅層 2 4 のみに設けられている。

[0067] 熱伝導部 5 0 は、レーザ媒質部 2 0 及び冷却部 3 0 よりも熱伝導率が高い材質であり、本実施形態においてはピッチ型の C F R P (Carbon Fiber Reinforced Plastics 炭素繊維強化プラスチック) である。熱伝導部 5 0 は、表面（一方の表面 5 2 及び他方の表面 5 4）に平行な方向である方向 D、E に沿って延在しており、表面に垂直な方向である方向 F に沿って所定の厚みを有している。本実施形態における熱伝導部 5 0 の方向 F に沿った厚みは、0.1 mm 以上 1 mm 以下であるが、これに限られない。本変形例における熱伝導部 5 0 は、繊維方向が表面に平行な方向（例えば方向 D、E）に沿って配向されており、熱伝導率の異方性を有する。具体的には、熱伝導部 5 0 は、方向 D 及び方向 E に沿った熱伝導率が、方向 F に沿った熱伝導率よりも高くなっている。すなわち、熱伝導部 5 0 は、方向 F よりも、方向 D 及び方向 E に沿った方向に熱が伝わりやすい。

[0068] 熱伝導部 5 0 は、一方の表面 5 2 が増幅層 2 4 の表面 2 5 に接触し、他方の表面 5 4 が冷却部 3 0 の冷却面 3 5 に接触するよう取付けられる。また、熱伝導部 5 0 は、方向 D が方向 X と平行な方向となり、方向 E が方向 Z と平行な方向となり、方向 F が方向 Y と平行な方向となるように取付けられている。ただし、熱伝導部 5 0 は、方向 F が方向 Y と平行な方向であれば、取付け方向はこれに限られない。

[0069] 変形例に係る固体レーザ増幅装置 1 0 d は、増幅層 2 4 と冷却面 3 5 との間に接触して設けられ、増幅層 2 4 の熱を冷却部 3 0 に伝熱する熱伝導部 5

0を有する。この固体レーザ増幅装置10dは、熱伝導部50を介して冷却部30に伝熱を行う。従って、この固体レーザ増幅装置10dは、増幅層24の熱を効率よく冷却部30に伝えることができ、より適切に増幅層24を冷却することができる。

[0070] また、本変形例における熱伝導部50は、ピッチ型のCFRPであるため、熱伝導率が高く、増幅層24の熱をより効率よく冷却部30に伝えることができる。さらに、熱伝導部50は、一方の表面52に平行な方向（方向D、E）に沿った熱伝導率が、一方の表面52に垂直な方向（方向F）に沿った熱伝導率よりも高い。従って、この固体レーザ増幅装置10dは、増幅層24の熱を熱伝導部50の表面方向に拡散して、その熱を冷却部30の冷却面35全体で冷却することができる。従って、この熱伝導部50は、より適切に増幅層24を冷却することができる。また、この固体レーザ増幅装置10dは、増幅層24の熱を熱伝導部50の表面方向に拡散するため、増幅層24の熱を表面に沿って均一化し、レーザ媒質部20内の温度分布が偏ることを抑制することもできる。

[0071] ただし、熱伝導部50は、一方の表面52に垂直な方向（方向F）に沿った熱伝導率が、一方の表面52に平行な方向（方向D、E）に沿った熱伝導率よりも高くてもよい。この場合、CFRPの繊維方向が、一方の表面52に垂直な方向（方向F）に沿って配向されている。この熱伝導部50は、方向E、すなわち増幅層24から冷却部30に向かう方向に熱を迅速に伝えることができるため、増幅層24をより迅速に冷却することが可能となる。

[0072] また、熱伝導部50の材質は、ピッチ型のCFRPであることに限られず、例えばグラファイトシートであってもよい。グラファイトシートは、グラファイト（黒鉛）を含むシートである。このグラファイトシートは、方向D、Eに沿って延在する黒鉛層を、方向Fに沿って積層して形成されることで、一方の表面52に平行な方向（方向D、E）に沿った熱伝導率を、一方の表面52に垂直な方向（方向F）に沿った熱伝導率よりも高くすることができる。また、このグラファイトシートは、方向Fに沿って延在する黒鉛層を

、方向D又は方向Eに沿って積層して形成されることで、一方の表面52に垂直な方向（方向F）に沿った熱伝導率を、一方の表面52に平行な方向（方向D、E）に沿った熱伝導率よりも高くすることができる。

[0073] なお、この変形例に係る熱伝導部50は、第1実施形態から第3実施形態のいずれの固体レーザ増幅装置にも適用することが可能である。

[0074] 以上、本発明の実施形態及び変形例を説明したが、これら実施形態等の内容により実施形態が限定されるものではない。また、前述した構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のもの、いわゆる均等の範囲のものが含まれる。さらに、前述した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。さらに、前述した実施形態等の要旨を逸脱しない範囲で構成要素の種々の省略、置換又は変更を行うことができる。

## 符号の説明

- [0075] 1、1d 固体レーザ装置
- 10、10a、10b、10c 固体レーザ増幅装置
- 12 収納室
- 13 入射窓
- 14 出射窓
- 20 レーザ媒質部
- 22 媒質
- 24、24A、24B、24C 増幅層
- 25 表面
- 26 入射部
- 27 出射部
- 30、30A、30B、30C、30a、30b、30c、30X 冷却部
- 31、31a、31b、31c マイクロチャネル部
- 32、32X 入口ヘッダ部
- 32a 第1ヘッダ部

3 2 A a、3 2 B a、3 2 C a、3 2 D a、3 2 D a 空間

3 2 H 導入開口部

3 4、3 4 X 出口ヘッダ部

3 4 a 第2ヘッダ部

3 4 A a、3 4 B a、3 4 C a、3 4 D a、3 4 E a 空間

3 4 H 導出開口部

3 5 冷却面

3 6、3 6 A、3 6 B、3 6 C、3 6 D、3 6 E 冷却管路

3 7、3 8 側面

4 1 入口管路

4 2 第1管路

4 3 第2管路

4 4 出口管路

5 0、5 0 A、5 0 B、5 0 C 熱伝導部

5 2 表面

5 4 表面

6 0 冷却溶媒冷却部

6 2 導入管

6 4 導出管

1 0 0 発光部

1 0 2 照射部

A、B、C、D、E、F、X、Y、Z 方向

L レーザ光

P 受光箇所

S 1、S 2 曲線

W、W 1、W 2、W 3、W 4 冷却溶媒

## 請求の範囲

- [請求項1] 入射部よりレーザー光が内部に入射され、出射部より前記レーザー光が外部に出射される固体状の媒質と、前記媒質の表面に設けられて、前記媒質内のレーザー光を受光して前記出射部に向けて増幅しつつ反射する増幅層と、を有するレーザー媒質部と、
- 内部に冷却溶媒を導通し、前記増幅層の表面に平行な方向に配列する複数の冷却管路と、複数の前記冷却管路の外周に設けられ、前記増幅層の表面に取付けられる冷却面とを有して前記増幅層を冷却するマイクロチャンネル型の冷却部と、を有し、
- 前記冷却部は、前記増幅層の前記レーザー光を受光する箇所に対向する位置と近い位置に設けられた前記冷却管路ほど、冷却力を大きくする、固体レーザー増幅装置。
- [請求項2] 前記冷却部は、前記増幅層の前記レーザー光を受光する箇所に対向する位置と近い位置に設けられた前記冷却管路ほど、流れる冷却溶媒の流速を高くし、又は、前記増幅層の前記レーザー光を受光する箇所に対向する位置と近い位置に設けられた冷却管路ほど、流入する冷却溶媒の温度を低くする、請求項1に記載の固体レーザー増幅装置。
- [請求項3] 前記冷却部は、一部の前記冷却管路内において前記冷却溶媒の流れる方向を、他の前記冷却管路内において前記冷却溶媒の流れる方向と反対方向とする、請求項1又は請求項2に記載の固体レーザー増幅装置。
- [請求項4] 複数の前記冷却管路は、前記冷却面に近づく方向に延在する第1管路と、前記第1管路に接続されて前記冷却面から遠ざかる方向に延在し、前記第1管路からの前記冷却溶媒が流れる第2管路と、を有する、請求項1又は請求項2に記載の固体レーザー増幅装置。
- [請求項5] 入射部よりレーザー光が内部に入射され、出射部より前記レーザー光が外部に出射される固体状の媒質と、前記媒質の表面に設けられて、前記媒質内のレーザー光を受光して前記出射部に向けて増幅しつつ反射す

る増幅層と、を有するレーザ媒質部と、

内部に冷却溶媒を導通し、前記増幅層の表面に平行な方向に配列する複数の冷却管路と、複数の前記冷却管路の外周に設けられ、前記増幅層の表面に取付けられる冷却面とを有して前記増幅層を冷却するマイクロチャンネル型の冷却部と、を有し、

前記冷却部は、一部の前記冷却管路内において前記冷却溶媒の流れる方向を、他の前記冷却管路内において前記冷却溶媒の流れる方向と反対方向とする、固体レーザ増幅装置。

[請求項6] 前記冷却部は、隣接する前記冷却管路同士の前記冷却溶媒の流れる方向を、互いに反対方向とする、請求項3又は請求項5に記載の固体レーザ増幅装置。

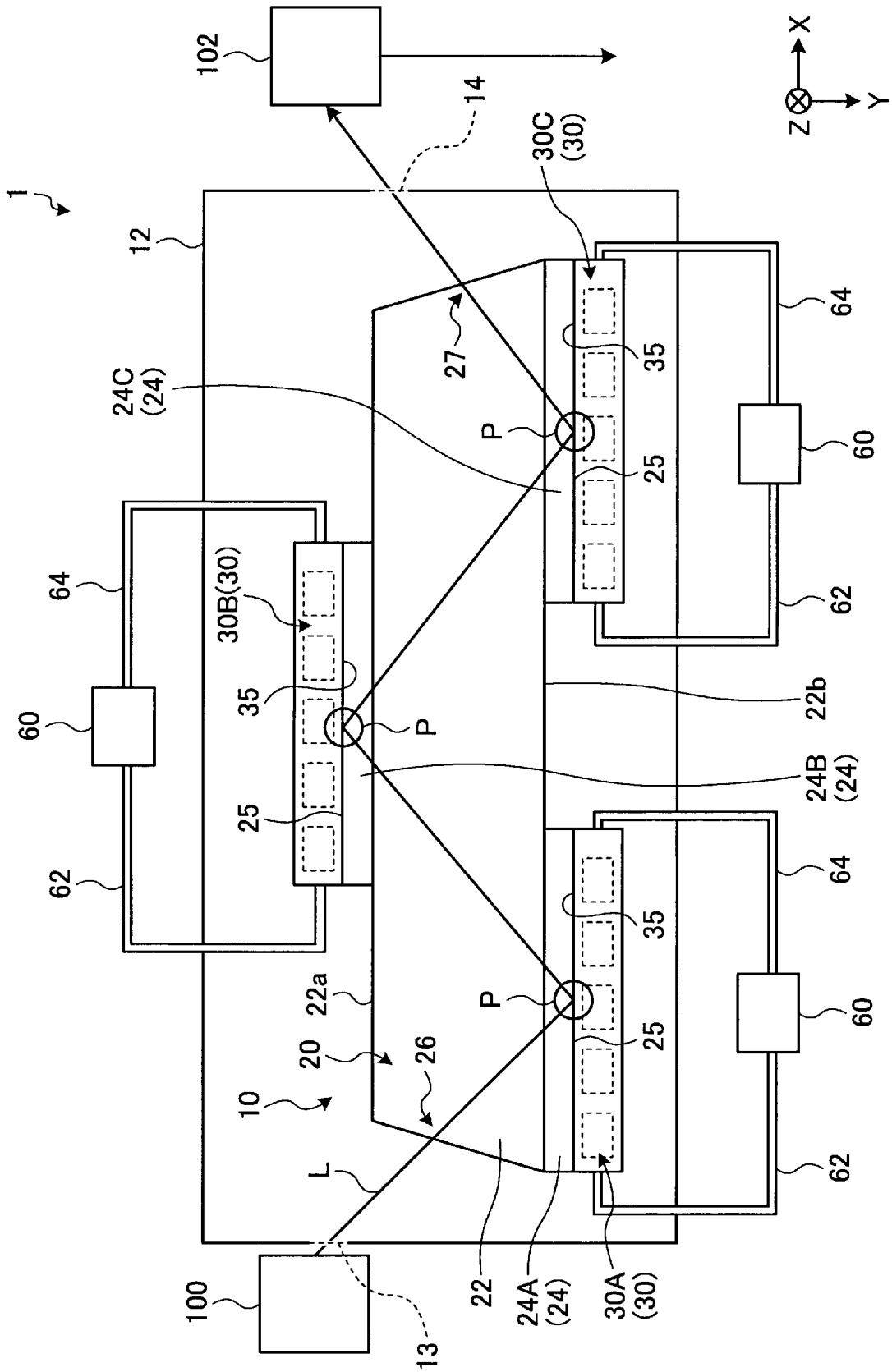
[請求項7] 入射部よりレーザ光が内部に入射され、出射部より前記レーザ光が外部に出射される固体状の媒質と、前記媒質の表面に設けられて、前記媒質内のレーザ光を受光して前記出射部に向けて増幅しつつ反射する増幅層と、を有するレーザ媒質部と、

内部に冷却溶媒を導通し、前記増幅層の表面に平行な方向に配列する複数の冷却管路と、複数の前記冷却管路の外周に設けられ、前記増幅層の表面に取付けられる冷却面とを有して前記増幅層を冷却するマイクロチャンネル型の冷却部と、を有し、

複数の前記冷却管路は、前記冷却面に近づく方向に延在する第1管路と、前記第1管路に接続されて前記冷却面から遠ざかる方向に延在し、前記第1管路からの前記冷却溶媒が流れる第2管路と、を有する、固体レーザ増幅装置。

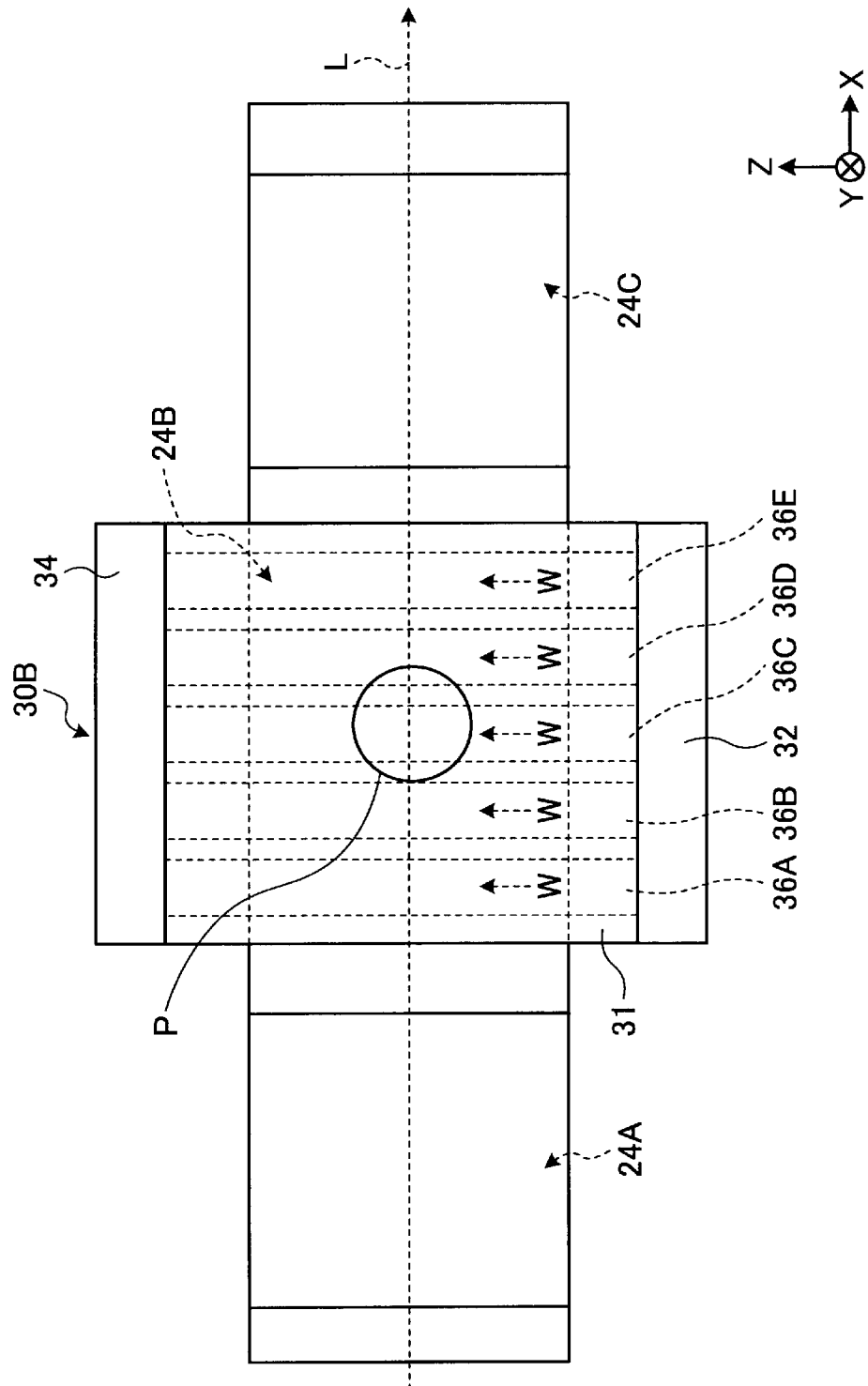
[請求項8] 前記増幅層と前記冷却面との間に接触して設けられ、前記増幅層の熱を前記冷却部に伝熱する熱伝導部を有する請求項1から請求項7のいずれか1項に記載の固体レーザ増幅装置。

[図1]

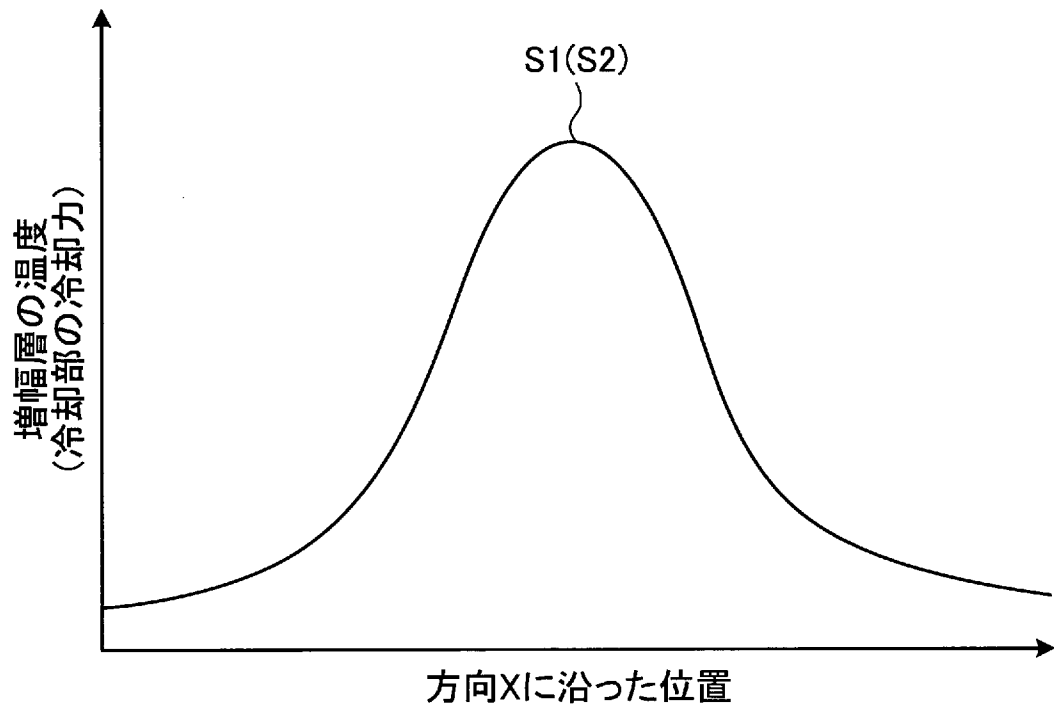




[図3]



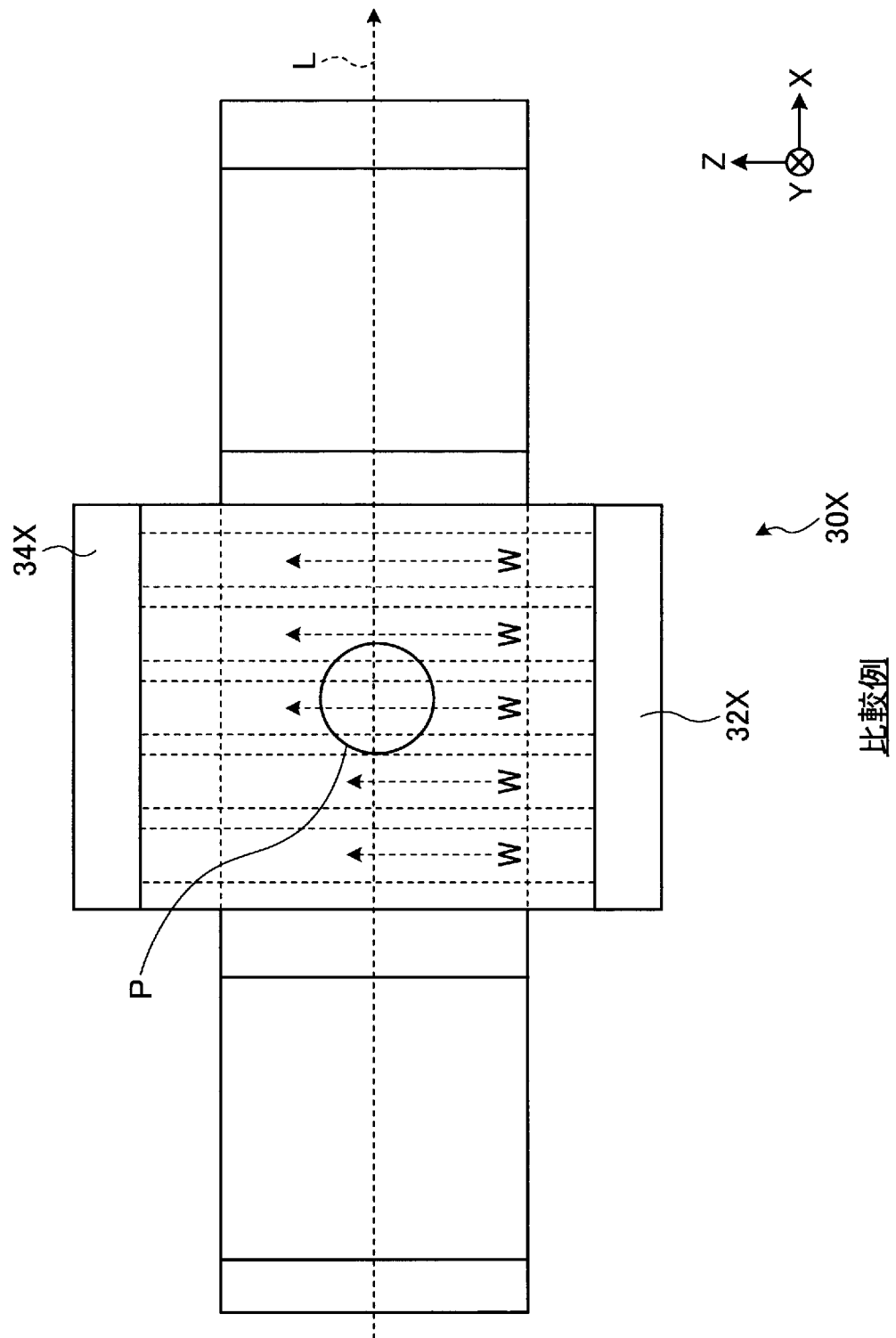
[図4]



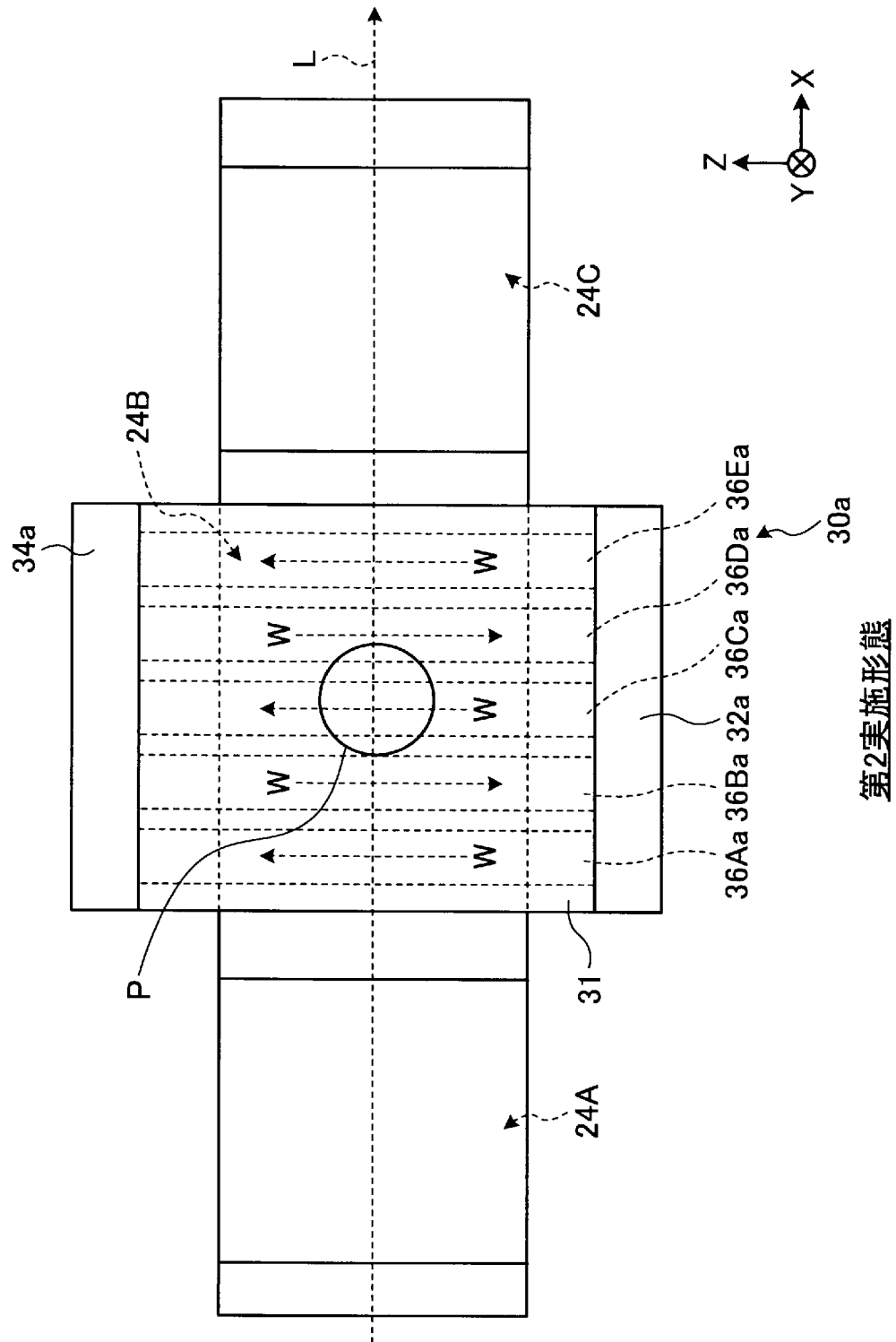




[図6]

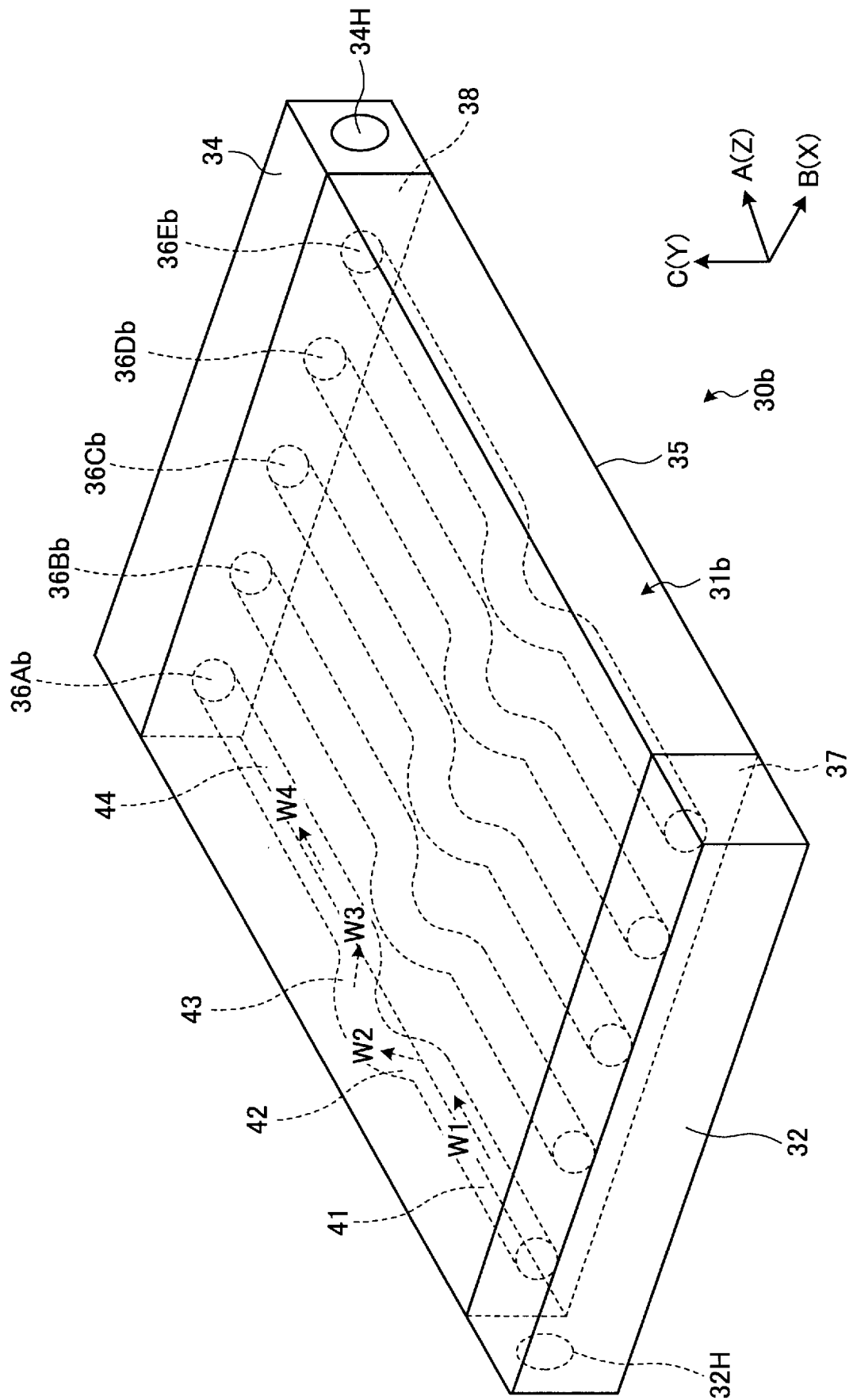


[図7]

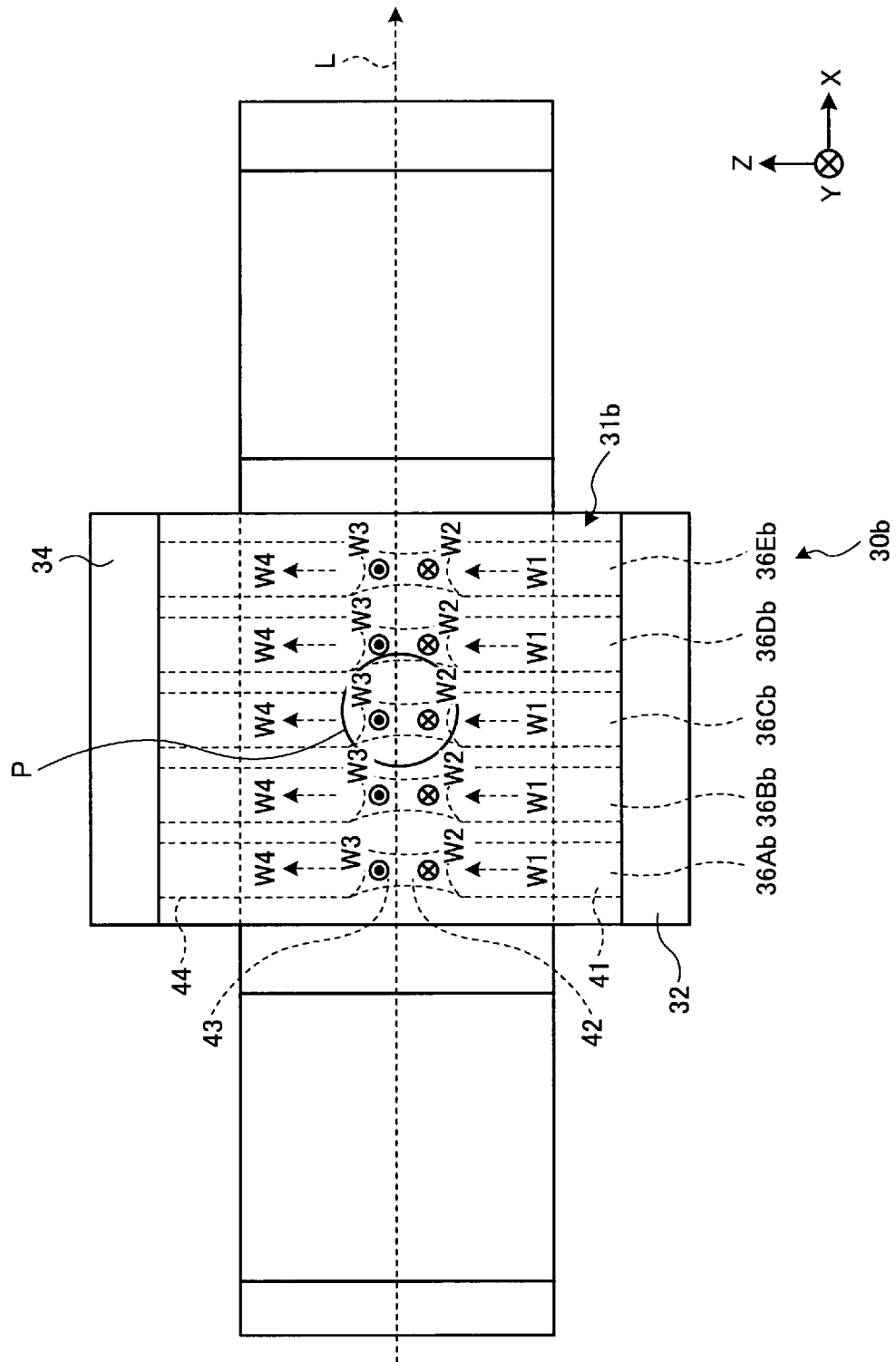


第2実施形態

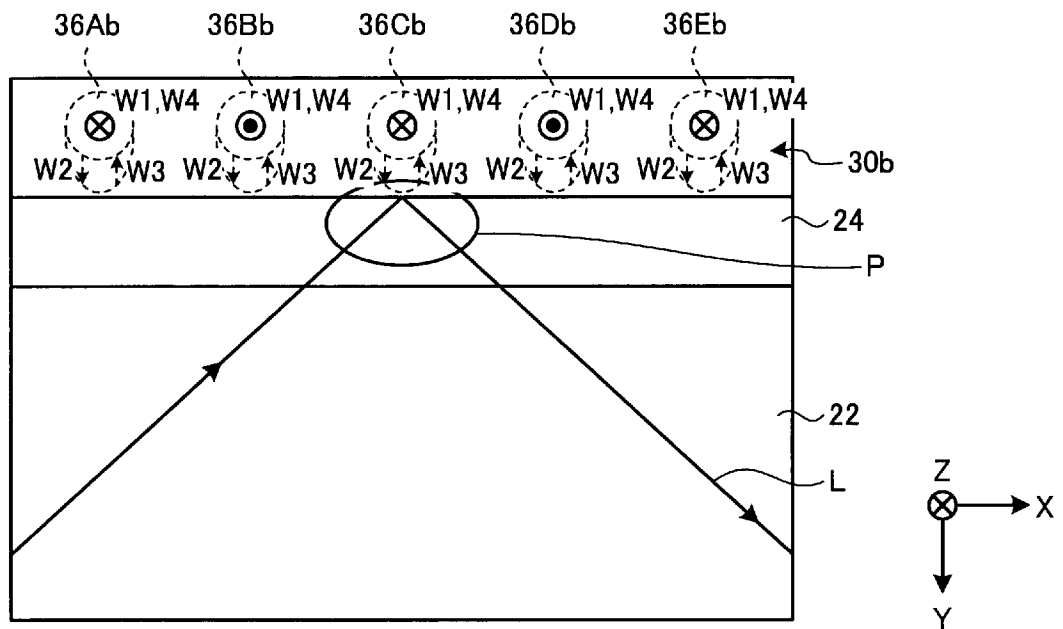
[図8]



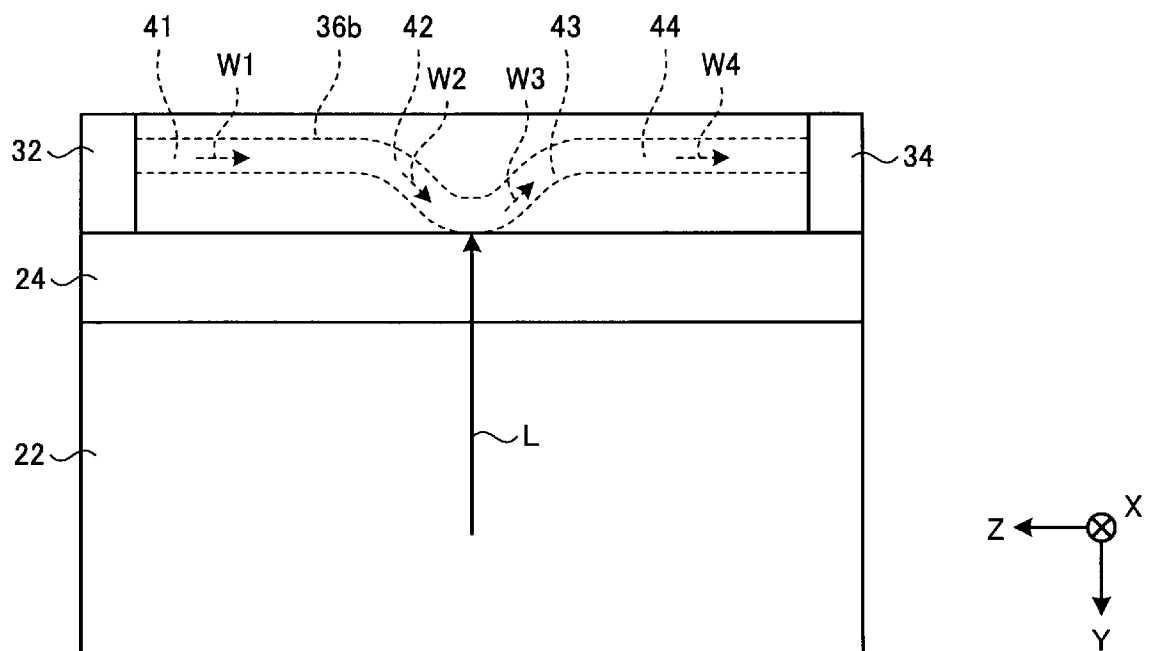
[図9A]



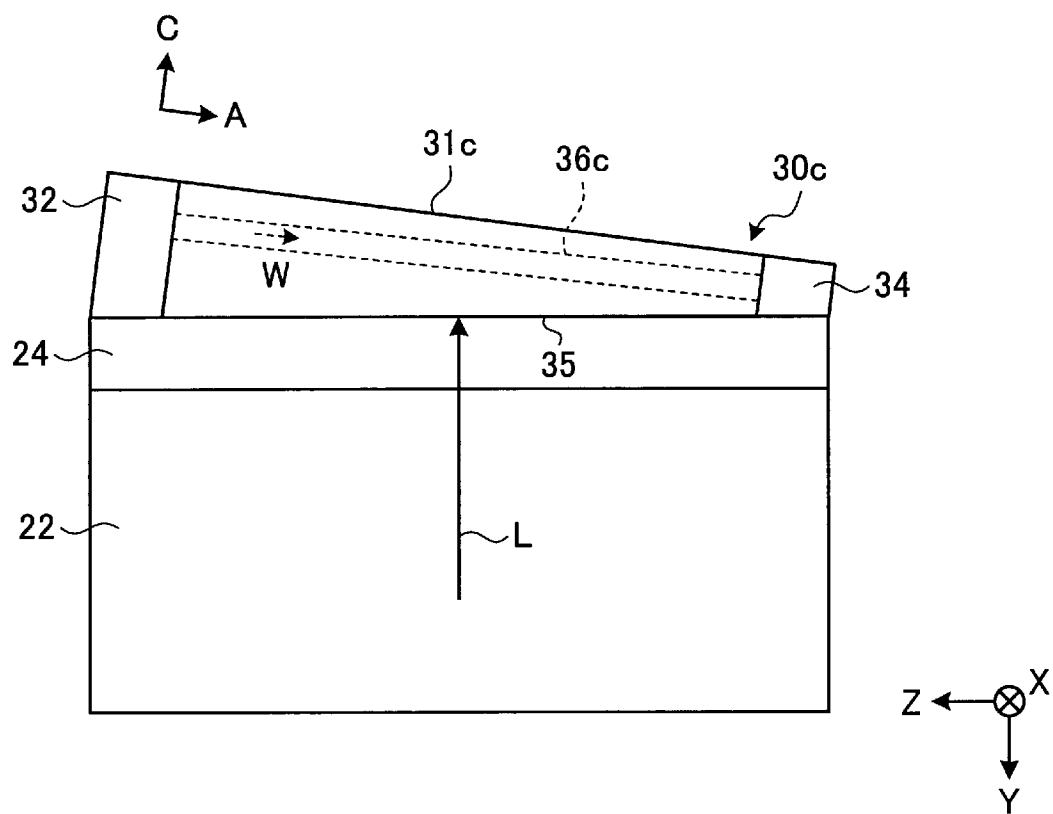
[図9B]



[図9C]

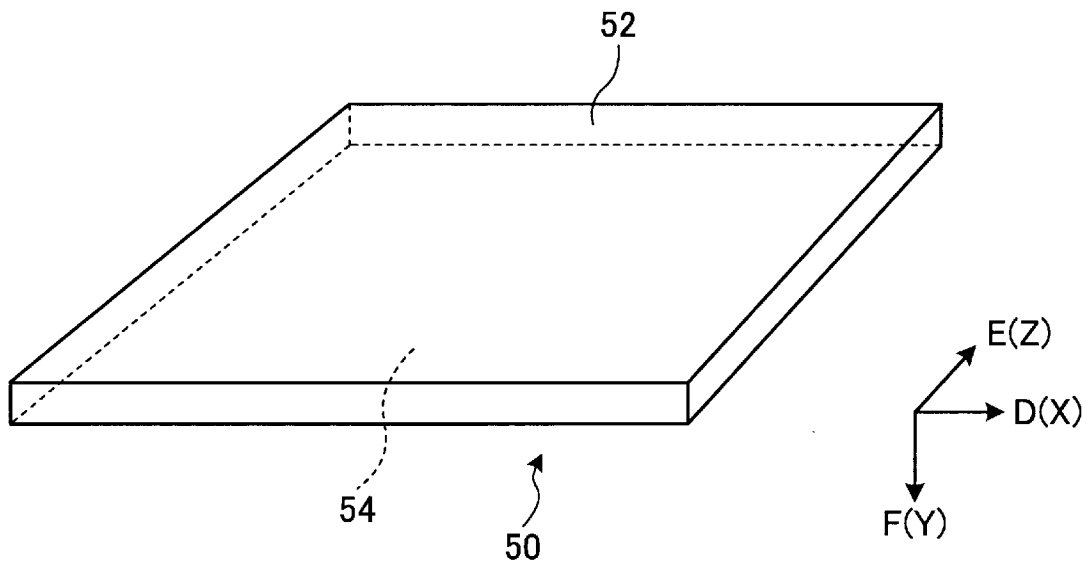


[図10]





[図12]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/067059

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/042(2006.01)i, H01S3/063(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)

H01S3/042, H01S3/06-3/063, H01S3/10

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)

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                  | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y<br>A    | JP 2014-22568 A (Osaka University, Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha),<br>03 February 2014 (03.02.2014),<br>paragraphs [0026] to [0046]; fig. 1, 2<br>(Family: none)             | 1-3, 5-6, 8<br>4, 7   |
| Y<br>A    | JP 2001-15844 A (Cipher Corporation Ltd.),<br>19 January 2001 (19.01.2001),<br>paragraphs [0005] to [0008], [0023] to [0030],<br>[0040] to [0054]; fig. 1 to 3, 5<br>(Family: none) | 1-3, 5-6, 8<br>4, 7   |
| Y<br>A    | JP 8-191167 A (Miyachi Technos Corp.),<br>23 July 1996 (23.07.1996),<br>fig. 4<br>& US 5802087 A<br>fig. 4                                                                          | 6<br>4, 7             |

☒ 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  
09 August 2016 (09.08.16)

Date of mailing of the international search report  
23 August 2016 (23.08.16)

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/JP2016/067059

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                            | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP 48-15599 B1 (General Electric Co.),<br>16 May 1973 (16.05.1973),<br>entire text; all drawings<br>& US 3633126 A & GB 1304590 A<br>& DE 2018034 A1 & IL 34265 A                                             | 4, 7                  |
| A         | JP 2001-501776 A (Dpss Lasers, Inc.),<br>06 February 2001 (06.02.2001),<br>entire text; all drawings<br>& US 6002695 A & GB 2331178 A<br>& GB 2356487 A & WO 1997/045902 A1<br>& DE 19781802 B & AU 3227097 A | 4, 7                  |

## 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, H01S3/063(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. H01S3/042, H01S3/06-3/063, H01S3/10

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）

JSTPlus/JST7580 (JDreamIII)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号      |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Y<br>A          | JP 2014-22568 A (国立大学法人大阪大学、浜松ホトニクス株式会社)<br>2014.02.03, [0026]-[0046], 図1, 2 (ファミリーなし)                        | 1-3, 5-6, 8<br>4, 7 |
| Y<br>A          | JP 2001-15844 A (有限会社サイファー社) 2001.01.19,<br>[0005]-[0008], [0023]-[0030], [0040]-[0054], 図1-3, 5<br>(ファミリーなし) | 1-3, 5-6, 8<br>4, 7 |

☒ 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

「&amp;」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09.08.2016

国際調査報告の発送日

23.08.2016

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）

林 祥恵

2 K

4085

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                                                                                                             |                |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |
| Y<br>A                | JP 8-191167 A (ミヤチテクノス株式会社) 1996. 07. 23, 図 4<br>& US 5802087 A Fig. 4                                                                                                      | 6<br>4, 7      |
| A                     | JP 48-15599 B1 (ゼネラル・エレクトリック・コムパニー)<br>1973. 05. 16, 全文、全図<br>& US 3633126 A & GB 1304590 A & DE 2018034 A1 & IL 34265 A                                                    | 4, 7           |
| A                     | JP 2001-501776 A (ディーピーエスエス レイザーズ、インコーポ<br>レイテッド) 2001. 02. 06, 全文、全図<br>& US 6002695 A & GB 2331178 A & GB 2356487<br>A & WO 1997/045902 A1 & DE 19781802 B & AU 3227097 A | 4, 7           |