

WO 2009/128510 A1



NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア
(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(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, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF,

CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, 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： レーザー発振装置

技術分野

[0001] 本発明は、太陽光により励起されるレーザー発振装置に関する。

背景技術

[0002] 地球環境問題を解決するために、太陽光の有効利用が考えられている。一例として、太陽光により励起されるレーザー発振装置がある。このレーザー発振装置の効率を上げるためには、太陽光によるレーザー媒質の加熱によって生じる熱レンズ効果や熱複屈折等を防止する必要がある。例えば、特許文献1には、宇宙空間におけるレーザーロッドの熱制御を適切に行うために、太陽光を励起光として直接発振を行うレーザー発振媒体からなるレーザーロッドを備えた太陽光直接励起レーザー発振装置であって、レーザーロッドには、レーザーロッド本体より放出される熱エネルギーを吸収するための冷媒が貫流する管路を有する冷却手段を備えるレーザー発振装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2003-188441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、宇宙空間と異なり、地上では、太陽光が雲により遮られたり、季節により太陽光の強度が異なったりする。そのため、地上における太陽光からレーザー光への変換効率の向上に関して十分に検討されていなかった。

[0005] 本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、太陽光からレーザー光への変換効率をより向上させるレーザー発振装置を提供すること目的とする。

課題を解決するための手段

- [0006] 上記の課題を解決するために、請求項 1 に記載の発明は、太陽光により励起されてレーザー光を出力するレーザー媒質と、前記レーザー媒質の出力端部に対向する凹面を有する出力ミラーと、前記レーザー媒質の出力端部から、前記レーザー媒質の外方に延びる反射面を有し、前記太陽光を反射して前記レーザー媒質に導く光ガイドと、を備えたことを特徴とする。
- [0007] また、請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載のレーザー発振装置において、前記光ガイドの反射面が、錐面であることを特徴とする。
- [0008] また、請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 または請求項 2 に記載のレーザー発振装置において前記レーザー媒質が、前記レーザー媒質の光軸方向に延びる開口部を有することを特徴とする。
- [0009] また、請求項 4 に記載の発明は、請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載のレーザー発振装置において、前記太陽光を集光して前記光ガイドに入射させる集光手段を更に備えたことを特徴とする。
- [0010] また、請求項 5 に記載の発明は、請求項 4 項に記載のレーザー発振装置において、前記集光手段の光軸が、前記レーザー媒質の光軸に対して斜めに配置されることを特徴とする。
- [0011] また、請求項 6 に記載の発明は、請求項 5 に記載のレーザー発振装置において、前記太陽光を取り入れる前記光ガイドの入射窓の面が、前記集光手段の光軸と垂直に配置されることを特徴とする。
- [0012] また、請求項 7 に記載の発明は、請求項 4 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載のレーザー発振装置において、前記集光手段がフレネルレンズであって、前記フレネルレンズに蛍光物質が添加されたことを特徴とする。
- [0013] また、請求項 8 に記載の発明は、請求項 7 に記載のレーザー発振装置において、前記フレネルレンズが、深紫外光によって表面改質されたことを特徴とする。
- [0014] また、請求項 9 に記載の発明は、太陽光により励起されてレーザー光を出力するレーザー媒質を備え、前記レーザー媒質が、前記レーザー媒質の光軸方向に延びる開口部を有することを特徴とする。

- [0015] また、請求項 10 に記載の発明は、請求項 9 に記載のレーザー発振装置において、前記開口部が、スリットを有することを特徴とする。
- [0016] また、請求項 11 に記載の発明は、請求項 9 または請求項 10 に記載のレーザー発振装置において、前記レーザー媒質が板状に形成されたことを特徴とする。
- [0017] また、請求項 12 に記載の発明は、太陽光により励起されてレーザー光を出力するレーザー媒質と、前記レーザー媒質の出力端部から、前記レーザー媒質の外方に延びる反射面を有し、前記太陽光を反射して前記レーザー媒質に導く光ガイドと、前記太陽光を集光して前記光ガイドに入射させる集光手段と、を備え、前記集光手段の光軸が、前記レーザー媒質の光軸に対して斜めに配置されることを特徴とする。

発明の効果

- [0018] 本発明によれば、太陽光により励起されてレーザー光を出力するレーザー媒質と、レーザー媒質の出力端部に対向する凹面を有する出力ミラーと、レーザー媒質の出力端部から、レーザー媒質の外方に延びる反射面を有し、太陽光を反射してレーザー媒質に導く光ガイドと、を備えたことにより、レーザー媒質の出力端部付近におけるモードボリュームが増大し、そこに光ガイドからの太陽光が集まるため、太陽光からレーザー光への変換効率をより向上させることができるレーザー発振装置を提供できる。

図面の簡単な説明

- [0019] [図1] 本発明に係る第 1 実施形態に係るレーザー発振装置の概要構成例を示す模式図である。
- [図2] 図 1 のフレネルレンズを示す平面図である。
- [図3] 図 1 のフレネルレンズによる集光の様子を示す模式図である。
- [図4] 図 1 の光ガイドおよびレーザーキャビティを示す模式図である。
- [図5] 図 1 の光ガイド内において、(A) 反射面の端面付近で反射した場合、(B) 反射面の奥で反射した場合、集光の様子を示す模式図である。
- [図6] 図 1 のレーザー媒質におけるモードボリュームおよび入射光の強度分布

を示す模式図である。

[図7] 図1のフレネルレンズにより集光された太陽光のパターンを示す模式図である。

[図8] 図1の光ガイドの変形例を示す斜視図である。

[図9] 図1の光ガイドの変形例の製作工程を示す模式図である。

[図10] 図1の光ガイドの他の変形例を示す斜視図である。

[図11] 図1のレーザー媒質の変形例を示す斜視図である。

[図12] 本実施例における光ガイドおよびレーザー媒質の概要構成例を示す模式図である。

[図13] 本実施例のレーザー出力特性を示す線図である。

[図14] 本実施例と従来技術との性能比較を示す説明図である。

[図15] 本発明に係る第2実施形態に係るレーザー発振装置の概要構成例を示す模式図である。

[図16] 図15のレーザーハウジングを示す模式図である。

[図17] 本発明に係る第3実施形態に係るレーザー発振装置の概要構成例を示す模式図である。

[図18] 図1の光ガイドにおける光路を示す模式図である。

[図19] 図9の光ガイドを傾けた場合の光路を示す模式図である。

[図20] 図19の光路とレーザー媒質との関連を示す模式図である。

[図21] 図17の光ガイドの変形例における光路を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、図面を参照して本発明を実施するための形態について説明する。

[0021] (第1実施形態)

まず、本発明に係る第1実施形態に係るレーザー発振装置の概要構成および機能について、図1から図4を用いて説明する。

[0022] 図1は、本発明に係る第1実施形態に係るレーザー発振装置の概要構成例を示す模式図である。図2は、レーザー発振装置で使用するフレネルレンズを示す平面図である。図3は、フレネルレンズによる集光の様子を示す模式

図である。図4は、レーザー発振装置の光ガイドおよびレーザーキャビティを示す模式図である。

[0023] 図1に示すように、太陽光励起のレーザー発振装置1は、太陽光Sを集光するフレネルレンズ10と、集光された太陽光Sfをレーザーの励起光として導く光ガイド20と、光ガイド20を内部に有するレーザーハウジング25と、レーザー光を共振させるレーザーキャビティ30と、を備える。そして、レーザー発振装置1は、発生したレーザー光を、酸化マグネシウム(MgO)のターゲット5に照射して、マグネシウム(Mg)の蒸気を発生させて、酸化マグネシウムからマグネシウムを得る。

[0024] 図2示すように、フレネルレンズ10は、1m四方の分割レンズ11を4枚組み合わせて構成した四分割方式のフレネルレンズである。フレネルレンズは、屈折方式で太陽光を集光するので、プラスチックの片面に図2で示すような溝11aを形成する。この溝11aは、反射損失が小さくなるように分割レンズ11の出射面に形成されている。分割レンズ11の入出射面には、散乱損失が数%以下となるように深紫外波長域で発光するエキシマランプを用いて表面処理が施されている。また、分割レンズ11の入出射面には、“光学薄膜の形成方法”の特許技術(特許番号:第3905035号)を用いて表面に誘電体光学薄膜が蒸着され、反射率を数%以下にしてある。このように、フレネルレンズ10が、深紫外光によって表面改質されている。なお、フレネルレンズ10の分割数は、4つに限定されなく、また、分割レンズ11の形状は正方形に限定されず、分割レンズ11を合わせて、フレネルレンズ10の効果を奏すればよい。

[0025] 図3に示すように、焦点距離fのフレネルレンズ10の焦点の位置に、レーザーキャビティ30の端部付近が位置するように、光ガイド20が配置される。すなわち、光ガイド20を内部に有するレーザーハウジング25が配置される。そして、フレネルレンズ10は、太陽光Sを光ガイド20の中心部(レーザーハウジング25の中心部)に集光させる。また、フレネルレンズ10の光軸が、レーザー媒質31の光軸に対して平行である。このように

、フレネルレンズ 10 は、太陽光 S を集光して光ガイド 20 に入射させる集光手段の一例として機能する。

[0026] 次に、図 4 に示すように、光ガイド 20 は、集光された太陽光 S f を内部に透過させる太陽光入射窓 21 と、太陽光 S f を反射する反射面 22 と、レーザーキャビティ 30 を収納するレーザーハウジング 25 と、を有する。

[0027] 太陽光入射窓 21 は、フレネルレンズ 10 の光軸に平行に入射する垂直入射光 S f 1 に対して垂直に配置される。このように、太陽光 S f を取り入れる光ガイド 20 の入射窓の面が、フレネルレンズ 10 の光軸と垂直に配置される。

[0028] 反射面 22 は、レーザーハウジング 25 の内面に錐面の一例である円錐面となるように形成され、円錐の底面が太陽光入射窓 21 側となる。反射面 22 には、高反射金属膜が冷却水によって腐食し、反射率低下を防止するために太陽光を吸収しない誘電体多層膜を蒸着している。例えば、反射面 22 として、耐水性薄膜付きの Al や Ag 鏡、あるいは、Al や Ag 膜の上に誘電体多層膜をコーティングした反射鏡が用いられていて、反射率が 95% 以上である。このように、光ガイド 20 は、レーザー媒質 31 の出力端部から、レーザー媒質の外方に延びる反射面 22 を有し、太陽光 S を反射してレーザー媒質に導く。なお、フレネルレンズ 10 で集光された太陽光 S f の集光径は、焦点付近で 50 mm 程度もあるため、光ガイド 20 を設けることが必要不可欠となる。光ガイド 20 は、フレネルレンズ 10 の集光点近くに設置し、フレネルレンズ 10 で集光された太陽光 S f を高効率でレーザーキャビティ 30 へとガイドする役目がある。

[0029] 次に、レーザーハウジング（ハウジング）25 は、太陽光入射窓 21 と反射面 22 とにより形成される空間 27 を有し、空間 27 が冷却水 W で満たされている。レーザーハウジング 25 は、冷却水出入口 26 を有し、外部から空間 27 に冷却水 W を供給し、排出できるように構成されている。冷却水出入口 26 は、外部から空間 27 に連結するように、レーザーハウジング 25 内部を貫通し、空間 27 に達している。また、レーザーハウジング 25 の材

料には、金属、プラスチック、ガラス、およびセラミック等が使用されている。

[0030] 次に、レーザーキャビティ 30 は、図 1 や図 4 に示すように、太陽光により励起されてレーザー光を出力するレーザー媒質 31 と、レーザー媒質 31 の端部であって、太陽光入射窓 21 に対向する面に形成された高反射膜 (HR) 32 と、レーザー媒質 31 の出力端部の面に形成された反射防止膜 (AR) 33 と、レーザー媒質 31 の出力端部に対向する位置に設置された出力ミラー 35 と、を有する。

[0031] レーザー媒質 31 の材質は、Nd と Cr を共添加した YAG ($Y_3Al_5O_{12}$)、GSGG ($Gd_3Al_2Ga_3O_{12}$)、或いは高濃度の Nd を添加した YAG、GSGG、GGG ($Gd_3Ga_5O_{12}$) 等の固体レーザー結晶 (または、セラミック) である。レーザー媒質 31 の形状は、断面形状が円形の棒 (ロッド) である

[0032] 高反射膜 32 は、レーザー媒質の発振波長で高反射する誘電体多層膜を蒸着している。例えば、YAG 結晶を用いた場合は、波長 $1.064 \mu m$ 用の高反射膜 (反射率: 99% 以上) を蒸着により形成されている。そして、高反射膜 32 は、レーザー媒質 31 内において励起された波長 $1.064 \mu m$ の光のみを反射するのであって、他の波長の光、すなわち、太陽光入射窓 21 を通過して入射してくる太陽光のほとんどは、高反射膜 32 を透過して、レーザー媒質 31 に入射する。

[0033] 反射防止膜 33 は、波長 $1.064 \mu m$ 用の反射防止膜 (反射率: 0.2% 以下) を蒸着により形成されている。反射防止膜 33 は、レーザーキャビティ 30 内での反射損失の防止や、他のモードの発振を防止する。

[0034] 出力ミラー 35 は、図 4 に示すように、レーザー媒質 31 の出力端部に対向する凹面 35a を有する。そして、出力ミラー 35 の凹面 35a は、レーザー媒質 31 の熱レンズ効果を補正する効果を有する。レーザーキャビティ 30 において成長したレーザー光が、出力ミラー 35 から外部へ出力される。レーザーの出力は出力ミラー 35 の凹面 35a の曲率半径と反射率に大き

く左右されるため、出力ミラー 35 は、調整が容易な構成になっている。

[0035] レーザー媒質 31 は、太陽光 S f により光ポンピングされる。高反射膜 32 を通過した太陽光 S f はレーザー媒質 31 内部に入射してレーザー媒質 31 を励起し（軸方向励起）、光ガイド 20 の反射面 22 で反射された太陽光 S f は、レーザー媒質 31 の側面から、レーザー媒質 31 内部に入射してレーザー媒質 31 を励起する（側面励起）。

[0036] 次に、レーザー発振装置 1 の動作例として、太陽光の光路や光ガイドにおける集光等について、図に基づき説明する。

[0037] 図 5 は、光ガイド 20 内において、（A）反射面の端面付近で反射した場合、（B）反射面の奥で反射した場合、集光の様子を示す模式図である。図 6 は、レーザー媒質 31 におけるモードボリュームおよび入射光の強度分布を示す模式図である。図 7 は、フレネルレンズ 10 により集光された太陽光のパターンを示す模式図である。

[0038] 図 1 に示すように、太陽光 S は、フレネルレンズ 10 により集光され、太陽光 S f として、太陽光入射窓 21 を通過して光ガイド 20 内に入射する。この集光された入射光は、レーザー媒質 31 の径にほぼ等しくなるまで太陽光 S f の径が絞られ、レーザー媒質 31 の高反射膜 32 が形成されている端部から入射してレーザー媒質 31 を軸方向励起させる。その他の太陽光 S f は、光ガイド 20 の反射面 22 で反射され、レーザー媒質 31 の側面からレーザー媒質 31 内部に入射してレーザー媒質 31 を側面励起させる。

[0039] 次に、光ガイド 20 の反射面 22 で反射された太陽光 S f について説明する。

[0040] 図 5（A）に示すように、反射面 22 の端面付近に入射した太陽光 S f のうち、太陽光入射窓 21 またはレーザー媒質 31 の端面に対して垂直に入射する垂直入射光 S f 1 は、1 回目の反射光および 2 回目の反射光共に、比較的、光ガイド 20 の底部（レーザー媒質 31 の出力端部付近）の方に集まっている。また、斜入射光 S f 2 も 1 回目の反射により、光路が光ガイドの底部に到達している。なお、図 5 に示した斜入射光 S f 2 は、様々な角度があ

る斜入射光うちの一例である。

[0041] 次に、図5（B）に示すように、光ガイド20の底部付近の反射面22で反射した場合、垂直入射光S f 1および斜入射光S f 2は、光路が光ガイドの底部に到達している。これら図5（A）（B）で示したように、反射面22で反射した太陽光は、光ガイド20の底部付近に集まりやすい。そのため、反射面22で反射した太陽光は、レーザー媒質31の出力端部付近を励起させやすい。

[0042] 次に、レーザー媒質31におけるモードボリュームおよび入射光の強度分布を示す。

[0043] 図6に示すように、モードボリュームB vが、レーザー媒質31の高反射膜32がある端部から、レーザー媒質31の反射防止膜33のある端部に近づくにつれて増大している。これは、熱レンズ効果を補正する出力ミラー35の凹面35 aに起因する。

[0044] また、図6に示すように、レーザー媒質31は、出力端部の方に、入射光がレーザー媒質31内に入射する強度B iのピークを有する。これは、図5（A）（B）で示したように、光ガイド20の構成に起因し、反射面22で反射した太陽光は、光ガイド20の底部付近に集まりやすいためである。特に太陽に雲がかかったときや霞が発生したとき等、太陽の像がぼやけ太陽光が弱い場合、フレネルレンズ10により十分に太陽光Sを絞れず、太陽光がレーザー媒質31の側面であつ出力端部の方に集まりやすくなる。従って、モードボリュームがレーザー媒質31の出力端部の方で大きいため、雲等により太陽光の光の強度が弱い場合でも、レーザー発振装置1は、太陽光からレーザー光への変換効率の向上が図れる構成である。

[0045] また、レーザー媒質31の熱破壊や熱レンズ効果や熱複屈折を防止するため、太陽光が集まりやすいレーザー媒質31の出力端部の方にある冷却水出入口26から冷却水Wが流入し、太陽光入射窓21の方の冷却水出入口26から冷却水Wが流出して熱を奪う。

[0046] なお、図7に示すように、光ガイド20に入射した太陽光S f は、フレネ

ルレンズ 10 へ入射した成分のうちで平行光として集光された領域 a（平行光の集光領域）の成分、および、空气中を進行する間に散乱されて発散角が大きい成分が集光された領域 b（散乱光の集光領域）の 2 成分に大別される。そのため、領域 b の太陽光は、最大 3 回程度も光ガイド 20 の内面で反射されてレーザーキャビティ 30 へ入射する。なお、風がなく快晴の日等は太陽光の大部分は領域 a となり、空气中的水蒸気が多い日等は、領域 b の太陽光が増加する。

[0047] このように本実施形態によれば、太陽光 S f により励起されてレーザー光を出力するレーザー媒質 31 と、レーザー媒質 31 の出力端部に対向する凹面 35 a を有する出力ミラー 35 と、レーザー媒質 31 の出力端部から、レーザー媒質 31 の外方に延びる反射面 22 を有し、太陽光 S f を反射してレーザー媒質 31 に導く光ガイド 20 と、を備えたことにより、レーザー媒質 31 の出力端部付近においてモードボリュームが増大し、そこに光ガイド 20 からの太陽光が集まるため、太陽光からレーザー光への変換効率をより向上させることができるレーザー発振装置 1 を提供できる。特に、雲等により太陽光の光の強度が弱い場合でも、レーザー発振装置 1 により、太陽光からレーザー光への変換効率の向上が図れる。また、レーザー発振装置 1 は、太陽光をレーザー光に変換しているため、金属やプラスチックなどの加工、あるいは酸化マグネシウム等の酸化物材料を高温に加熱して還元することによって金属を精製するために利用できる。

[0048] また、太陽光を集光して光ガイド 20 に入射させる集光手段の一例としてフレネルレンズ 10 を更に備えた場合、レーザー媒質 31 に太陽光が集まりやすくなり、レーザー光への変換効率の向上が図れる。例えば、このフレネルレンズ 10 の面積が 4 m^2 である場合は、 4 kW の太陽光のパワーをレーザーの励起に使える。従って、このフレネルレンズの溝が入射面に形成されている場合は、最大の入射角は 75° 程度となって反射損失が大きくなる。一方、出射面に溝を形成した場合は、最大出射角は 45° 程度であるため、反射損失は幾分かよくなる。少なくとも、フレネルレンズを透過する太陽光は

、反射損失、散乱損失、吸収損失によって30%程度もパワーが減少する。また、フレネルレンズ10は、レンズホルダーへのレンズ装着を考慮して四角の形状としている。1枚構成の分割レンズ11の最大寸法は、製作上の困難性やコストが制限要因となり1m程度であるため、本発明は分割方式によって大口径のフレネルレンズ10を形成した。また、材質としてプラスチックを用いたので軽量であり、設置がしやすく、太陽に対して追従させやすい。

[0049] また、光ガイド20の入射窓の一例である太陽光入射窓21の面が、フレネルレンズ10の光軸と垂直に配置される場合、太陽光入射窓21における反射損失が減少する。

[0050] また、色素、例えばローダミン6GやDOTCI等の蛍光物質を添加したプラスチックでフレネルレンズ10を製作した場合、フレネルレンズの材料であるプラスチックが太陽光に含まれている紫外波長域の光によって劣化していくのを防止し、かつこの紫外光を可視波長域の有効な励起光に変換してレーザー発振効率を向上させることができる。また、フレネルレンズ10が、深紫外光によって表面改質された場合、散乱損失が数%以下になる。

[0051] さらに、フレネルレンズ10の出射面に溝を形成し、深紫外光によって表面改質することにより、フレネルレンズ10を透過する太陽光の全損失を少なくとも10%以下にすることができる。

[0052] 以上のように、分割方式によるフレネルレンズの製作、表面処理によるレンズ透過率の大幅な増加、フレネルレンズ材料であるプラスチックへの色素添加によるレーザー発振効率の増加、およびレンズの長寿命化、などによって従来技術によるフレネルレンズよりも格段に優れた集光レンズが実現する。

[0053] なお、YAGレーザーの励起光源には、一般的に、KrアークランプやXeフラッシュランプなどのランプ光源、あるいは半導体レーザー(LD)が使用されている。このYAGレーザーで数百W以上の高出力を得るための励起効率は、ランプ光源による場合は最大で5%程度、LDでは共鳴吸収を利

用しているために高効率ではあるが、最大で30%程度である。従って、YAGレーザーから出力1kWを発生させるためにはランプへの電気入力は20kW、LDにたいしては3.3kW程度が必要となる。

[0054] 一般的な励起法によってYAGレーザーを発振させるには、大入力の電気エネルギーを必要とする。地球環境問題を解決するためには、電気を使わない自然エネルギーによってレーザー発振を達成するのが理想的である。

[0055] 本実施形態のレーザー発振装置1は、自然エネルギーの代表である太陽光励起によって発振する固体レーザーの発振装置を提供できる。また、太陽光のエネルギーは1kW/m²であり、国内における平均日照時間は約4時間/日であるが、世界を見渡すと日照時間8時間/日の地域は広範囲にわたっている。このため、太陽光を励起光源とするレーザーの実用化は非常に有望視されている。レーザー出力1kWを発生させるには、励起効率を25%と仮定した場合には4kWの太陽光が必要となる。そこで集光用のフレネルレンズの面積は4m²を必要とするので、大面積のフレネルレンズの製作技術として、本実施形態は、分割レンズ11を組み合わせ構成した分割方式のフレネルレンズ10により解決した。

[0056] また、太陽光のスペクトルは300nm～近赤外の波長域までと広範囲な波長域にわたっており、Nd:YAGレーザーの発光源であるNdイオンの吸収域は500～850nmであり、この波長域のスペクトル強度は非常に大きいので励起用光源としては優れているが、Ndイオンの吸収に余り寄与しない波長域400～550nmの光を有効に活用する課題が残されていた。しかし、本実施形態のレーザー発振装置1のように、レンズ材料には、レーザー媒質に添加されてレーザー光を放出する3価のNdイオンにほとんど吸収されない波長域400～550nmの太陽光を吸収して、Ndイオンの吸収波長域570～600nmで発光する色素ローダミン6G、あるいは400～700nmの波長域の太陽光を吸収して、Ndイオンの吸収波長域790～820nmで発光する色素DOTCIを添加することによってレーザーの発振効率を約2倍にすることができる。

- [0057] さらに、フレネルレンズで集光した太陽光を高効率でレーザーキャビティへガイドする課題も解決した。
- [0058] また、太陽光励起のレーザー発振装置 1 は、プラスチック、またはガラス材料で製作されたフレネルレンズを太陽光の集光に使用した。すなわち、レーザー発振装置 1 は、プラスチック、またはガラス材料で製作されたフレネルレンズで太陽光を集光して、固体レーザーを発振させる構成である。
- [0059] また、レーザー発振装置 1 は、フレネルレンズ 10 の両面には太陽光の反射を防止する反射防止膜を蒸着し、レーザー媒質へ入射する太陽光を最大とした。すなわち、レーザー発振装置 1 は、太陽光集光用のフレネルレンズ 10 の両面に、斜入射光に対しても反射損失の少ない反射防止膜を蒸着し、レーザー媒質へ入射する太陽光が最大となるように構成された。
- [0060] また、フレネルレンズ 10 の加工面は、エキシマランプなどの深紫外光（波長 170 から 210 nm）によって表面改質され、加工表面での散乱損失を最小となるように構成されている。すなわち、フレネルレンズ 10 の加工面を深紫外光によって表面処理し、入射する太陽光の散乱損失を最小とする。
- [0061] また、レーザー発振装置 1 は、分割（2～6 分割）したものを組み合わせて 1 枚のフレネルレンズを形成して太陽光を集光する。すなわち、レーザー発振装置 1 は、分割方式のフレネルレンズによって大口径のレンズを形成し、大出力の太陽光を集光する。また、レーザー発振装置 1 は、レーザーキャビティへは、集光用レンズで集光された太陽光を高効率でレーザーキャビティ 30 へ導くための光ガイド 20 を有する。また、レーザーキャビティ 30 の構造は、レーザー光の出力に応じて軸方向と側面の 2 方向励起、または面方向励起を可能とする構造である。
- [0062] 次に、太陽光をガイドする光ガイドの変形例について説明する。
- [0063] 図 8（A）は、太陽光をガイドする光ガイド 20 の円錐型の例であり、入射面の口径は約 50 mm 中で、出射面の寸法はレーザー媒質の寸法・形状に依存する。光ガイドの長さは 4～20 cm である。反射面 22 は内面光反射

鏡である。図 8 (B) は、角錐型の光ガイド 20B の例である。反射面 22B は内面光反射鏡である。また、図 8 (C) は、レーザー媒質が板状（スラブ形状）に形成された場合の光ガイド 20C を示している。反射面 22C は内面光反射鏡である。

[0064] これ以外には、楕円錐型の光ガイドも使用する。この光ガイドは、スラブ形状のレーザー媒質用である。図 9 は、楕円錐型の光ガイド 20D の製作工程を示す模式図である。図 9 (A) に示すように、円筒形材料（例えば、石英ガラス）を、辺 OA、辺 OB で切断をする。すなわち、点 O、点 O'、点 A を通る平面で切断し、点 O、点 O'、点 B を通る平面で切断する。

[0065] 次に、図 9 (B) に示すように、断片 OAB 等の部分を取り除く。そして、図 9 (C) に示すように、OA 面、OB 面を接着し、CD 面で切断する。太陽光 S_f の入口は円形で、次第に出口が楕円形になる光ガイド 20D を作製する。

[0066] この光ガイド 20D は、出口（レーザー媒質の出力端部）が楕円形であるので、スラブ形状のレーザー媒質の平面側に、光が集まりやすく、レーザー媒質に入射する太陽光 S_f が増加する。すなわち、光ガイドの構造を近似楕円錐にしてスラブ形状のレーザー媒質を取り囲むようにし、吸収効率を増加させる。また、フレネルレンズ 10 で集光された太陽光 S_f は、入射部では円形状になっている。そして、光ガイド 20D も入射部ではほぼ円であるため、太陽光 S_f は、スムーズに光ガイド 20D 内部に入射できる。光ガイド 20D の奥の方では近似楕円錐となっていく。フレネルレンズ 10 の光軸に対して、レーザー媒質 31 の光軸が水平になるように、光ガイド 20D を設置した状態では、楕円錐形状でも円錐形状の光ガイド 20 と同様に太陽光 S_f はレーザー媒質 31 の出力端部の方に集められる。これらのように、光ガイド 20B、20C、20D は、レーザー媒質 31 の出力端部から、レーザー媒質 31 の外方に延びる反射面 22B、22C、22D を有し、太陽光 S_f を反射してレーザー媒質 31 に導く。

[0067] 次に光ガイドの他の変形例について説明する。

図10は、光ガイド20の他の変形例（ウイング型光ガイド）を示す斜視図である。図10（A）は、レーザー媒質の幅が狭く、厚さが厚い場合に用いるウイング型光ガイドを示す斜視図で図10（B）は、レーザー媒質の幅が広く、厚さが薄い場合に用いるウイング型光ガイドを示す斜視図である。

[0068] プリズム型の光ガイド20Eは、レーザー媒質31Bとほぼ同じ屈折率の透明な光学材料を用いる。レーザー媒質31BがYAGの場合は、発光元素を添加していないアンドープYAG結晶、セラミックYAG、ガラスを使用する。光ガイド20Eとレーザー媒質31Bは、光学的接合、または紫外～近赤外波長域で吸収の少ない接着剤によって接合する。

[0069] 光ガイド20Eの入射面には、反射防止膜を蒸着し、反射損失を防ぐと同時に、ガイド水による腐食も防止する。また、レーザー媒質の幅が広い場合は、図10（B）のように反射鏡（楔形折返し鏡）27を用いてレーザー媒質31Cの下部から励起する。本装置は、集光性の悪い太陽光や半導体レーザーを用いてレーザー媒質を励起するのに非常に有利である。

[0070] 次に、レーザー媒質31の変形例について説明する。

図11は、レーザー媒質31の変形例を示す斜視図である。図11（A）に示すように、レーザー媒質31は、ロッド型のレーザー媒質である。図11（B）に示すように、レーザー媒質41は、溝付きロッド型のレーザー媒質である。図11（C）に示すように、レーザー媒質42は、溝付きスラブ型のレーザー媒質である。図11（D）に示すように、レーザー媒質45は、楔付きスラブ型のレーザー媒質である。

[0071] 各レーザー媒質は図11に示したように、ロッド型のレーザー媒質31やスラブ型のレーザー媒質、さらにはレーザー媒質の励起光による熱的影響（熱レンズや熱複屈折等）を減少させるために、溝付きのロッド型のレーザー媒質41、溝付きスラブ型のレーザー媒質42を用いたり、楔付きスラブ型のレーザー媒質45等が使用されたりする。これらの励起方式は、冷却水Wによる冷却効率がよいので、大出力のレーザー発振器に向いている。なお、この溝付きのレーザー媒質の溝は、図11（B）や図11（C）に示したよ

うに、貫通孔、すなわち、スリット 4 1 a、4 2 a である。

[0072] レーザー媒質 4 1 は、レーザー媒質の光軸方向に延びる開口部の一例としてスリット 4 1 a を有する。そして、レーザー媒質 4 1 のスリット 4 1 a の幅がほぼ 1 mm である。

[0073] また、レーザー媒質 4 2 は、レーザー媒質が板状に形成され、レーザー媒質の光軸方向に延びる開口部の一例としてスリット 4 2 a を有する。そして、レーザー媒質 4 2 は、幅が 25 ~ 30 mm であり、スリット 4 2 a の幅がほぼ 1 mm である。これらのように、レーザー発振装置は、太陽光の吸収によるレーザー媒質の熱レンズ効果や熱複屈折等を軽減するために溝付きのロッド、溝付きのスラブ、あるいは、楔付きスラブのレーザー媒質を備えている。

[0074] これらレーザー発振装置の変形例によれば、レーザー媒質 4 1、4 2 が、レーザー媒質の光軸方向に延びる開口部を有し、冷却水と接する面積が増加するので、レーザー媒質から熱が発散しやすくなり、熱破壊、熱複屈折、熱レンズ効果等を減少でき、パラスチック（寄生）発振を防止できる。そのため、レーザー媒質 4 1、4 2 は、高出力化に向いている。特に、スリット 4 1 a、4 2 a の場合、冷却水がスリット 4 1 a、4 2 a を流れるので、レーザー媒質の温度の上昇を効率よく防止できる。また、レーザー媒質 4 5 は、楔部を有するので、表面積が増加し、熱が放出されやすい。

[0075] また、レーザー媒質 4 2 が板状に形成されているので、レーザー媒質 4 2 を取り囲むように光ガイド 20 C や近似楕円錐形状の光ガイド 20 D を設置すると、1 ~ 2 回、反射面 22 C、22 D で反射された太陽光のほぼ 50 % 以上がレーザー媒質 4 2 に入射し、レーザー発振に寄与する。そのため、均一な励起が可能となるため、レーザー媒質 4 2 は高出力化に向いている。

[0076] さらに、レーザー媒質 4 2 は、レーザー媒質の光軸方向に延びる開口部の一例としてスリット 4 2 a を有するため、ジグザグではなく、ストレート光路で発振する。従って、光軸調整（アライメント）が容易となる。なお、共振器中でレーザービームが形成される際、スリット 4 2 a を隔てた隣同士

レーザービームのミキシングが生じ、コヒーレントな発振が得られると考えられる。また、レーザー媒質を複数並べ、レーザーの出力を増加させることも考えられるが、コヒーレントな発振を得るように、調整することは極めて難しい。

実施例

[0077] 次に、本発明の実施例について具体的に説明する。

[0078] 図12は、本実施例における光ガイドおよびレーザー媒質の概要構成例を示す模式図である。なお、図12に示す光ガイド20を含むレーザーキャビティは、軸方向および側面励起装置のレーザーキャビティであり、太陽光を軸方向から入射させ、軸方向 S_a および側面励起 S_s の両方の励起をする。この励起方式は、小出力のレーザー発振器に向いている。図13は、本実施例のレーザー出力特性を示す線図である。図14は、本実施例と従来技術との性能比較を示す説明図である。

[0079] 図12の太陽光励起のレーザー発振装置（光ガイド20とレーザー媒質31のみ図示）で発振実験を行った。フレネルレンズ10は、寸法 1400×1050 mm、焦点距離1.2 mのプラスチックレンズを使用した。レーザーガイドおよびレーザー媒質は、軸方向および側面励起の両方向励起方式にした。レーザー媒質31の寸法は $9 \Phi \times 100$ mm（径9 mm、長さ100 mm）で、NdとCrを添加したYAGロッドを使い、入射側のロッド面には高反射膜を、出射面には反射防止膜を蒸着した。出射側の反射鏡（出力ミラー）の反射率と曲率半径は可変とし、最大の出力が得られる反射鏡の反射率と曲率半径を実験で求めた。

[0080] 図13の一例は、 1400 mm $\times$ 1050 mmのフレネルレンズで集光した場合のレーザー出力特性（◆印）を示す線図である。この実験では、図13において四角（◆印）で示したように、868 Wの太陽光入力によって、24.4 Wのレーザー出力を達成できた。このときの出力側反射鏡の反射率は95%、曲率半径は38 cmであった。励起効率（レーザー出力/太陽光入力）は2.8%に達し、今まで発表されているデータとしては、最もよい結

果を得た。

[0081] 次に、レーザーガイド（光ガイド20）とレーザー媒質31の配置は、図12の通りで、フレネルレンズ10は、プラスチック製で、扇形の四分の1分割寸法1m×1mのレンズ4枚を図2のように組み合わせた2m×2m、焦点距離2mのレンズを用いて実験を行った。

[0082] 図13の一例は、2000×2000mmのフレネルレンズで集光した場合のレーザー出力特性（▲印）を示す線図である。この実験では、図13において三角（▲印）で示したように、1835Wの太陽光入力によって、79Wのレーザー出力を達成できた。このときの出力側反射鏡の反射率は95%、曲率半径は300cmであった。励起効率（レーザー出力 / 太陽光入力）は4.3%に達し、今まで発表されているデータとしては、最も高い効率と最大出力を達成できた。本発明は、太陽光を利用したレーザー発振が非常に有望であることを証明した。

[0083] 次に、図14は、これまでに報告されている各種太陽励起レーザーの太陽光集光面積当たりのレーザー出力の比較を示している。太陽励起レーザー装置の性能のうち、太陽光を集める面積に対して出力したレーザーパワーが大きいほどシステム利用効率が高く、この指標は重要である。1～3の従来の太陽励起レーザー技術に比べて装置の面積利用効率は三倍から十倍程度向上しており、本発明の有効性を示している。

[0084] （第2実施形態）

次に、本発明の第2実施形態に係るレーザー発振装置について説明する。

まず、第2実施形態に係るレーザー発振装置の概要構成について、図に基づき説明する。なお、前記第1実施形態と同一または対応する部分には、同一の符号を用いて異なる構成および作用のみを説明する。その他の実施形態および変形例も同様とする。

[0085] 図15は、本発明に係る第2実施形態に係るレーザー発振装置の概要構成例を示す模式図である。図16は、図15のレーザーハウジングを示す模式図である。

[0086] 図 1 5 に示すように、太陽光励起のレーザー発振装置（レーザー発振器）2 は、太陽光 S を集光するフレネルレンズ 1 0、集光された太陽光を高効率でレーザーキャビティへガイドする光ガイド 2 0 B およびレーザーキャビティ 3 0 B によって構成されている。

[0087] レーザーキャビティ 3 0 B は、高反射ミラー 3 2 B と、出力ミラー 3 5 B と、レーザーハウジング 2 5 に収納されたレーザー媒質 4 2 とから構成される。

[0088] 次に、図 1 6 はレーザーキャビティを構成するレーザーハウジングを示す模式図である。光ガイド 2 0 B からの太陽光は太陽光入射窓 2 1 B を通ってレーザーハウジング 2 5 B へと導かれ、レーザーハウジング 2 5 B 内のレーザー媒質を励起する。レーザー媒質は、冷却した純水（温度：18～26℃）で冷却する。レーザーハウジング 2 5 B の内面には高反射体（アルミニウム金属や金属反射鏡など）、または吸収の少ない散乱体を使用する。レーザーハウジング 2 5 B に取り付けられたレーザー媒質は、側面から励起される。

[0089] （第 3 実施形態）

次に、本発明の第 3 実施形態に係るレーザー発振装置について図に説明する。

[0090] 図 1 7 は、本発明に係る第 3 実施形態に係るレーザー発振装置の概要構成例を示す模式図である。図 1 8 は、光ガイドにおける光路を示す模式図である。図 1 8（A）は、反射面 2 2 G の端面近くで反射する太陽光の光路を示している。図 1 8（B）は、反射面 2 2 G の内部で反射する太陽光の光路を示している。

[0091] まず、第 3 実施形態に係るレーザー発振装置 3 の概要構成について、図に基づき説明する。

図 1 7 に示すように、レーザー発振装置 3 は、光ガイド 2 0 G と、フレネルレンズ 1 0 の光軸 1 6 が、レーザー媒質 3 1 の光軸 3 6 に対して斜めに配置される点が第 1 実施形態と異なる。

[0092] 光ガイド 2 0 G は、図 1 7 や図 1 8 に示すように、フレネルレンズ 1 0 の

光軸 16 に垂直の太陽光入射窓 21 G と、反射面 22 G と、を有する。光ガイド 20 G は、図 18 に示すように、光ガイド 20 を太陽光入射窓 21 G の平面に沿って切断したような形状である。反射面 22 G は、フレネルレンズ 10 の光軸 16 に対して、レーザー媒質 31 の光軸 36 を角度 θ 、すなわち、光ガイド 20 G を傾かせた状態での反射面 22 G を有する。なお、傾き角 θ は $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ であり、図 18 では、例えば、 19.6° である。

[0093] 図 18 (A) に示すように、光ガイド 20 G の反射面 22 G の端部付近に入射した垂直入射光 S f 1 は光ガイド 20 G 上部で数回反射された後、入射方向へ戻っていく。また、光ガイド 20 G の反射面 22 G の端部付近に入射した斜入射光 S f 2 は、一旦、光ガイド 20 G の奥に達し、数回反射された後、入射方向へ戻っていく。さらに、光ガイド 20 G の入射口の中心部付近に入射した太陽光 S f 1、S f 2 は光ガイド 20 G の壁面（反射面 22 G）で反射されて光ガイド 20 G の奥に集まっていく。

[0094] このように、光ガイドを傾けることによって太陽光がレーザー媒質の光軸に対して斜めに入射するため、レーザー媒質の出力端部に太陽光が集中しにくくレーザー媒質を均一に励起することが可能となり、太陽光からレーザー光への変換効率をより向上を図ることができる。また、反射回数の増加によるレーザー出力の増強（高効率化）を図ることができる。従って、レーザー媒質の熱破壊、熱複屈折、熱レンズ、プラスチック発振等々を防止できるので、集光性の良い高品質のレーザービームを発生できる。

[0095] 次に、図 9 で示した光ガイド 20 D を傾けた場合の光路を説明する。

図 19 に示した光ガイド 20 D は、スラブ形状のレーザー媒質 42 用の光ガイドである。この場合も、フレネルレンズの光軸に対して、レーザー媒質 42 の光軸を角度 θ 傾けると、図 18 と似たような結果を得られた。図 20 は、図 19 の光路とレーザー媒質との関連を示す模式図であり、図 20 に示すように、レーザー媒質 42 の出力端部に太陽光が集中しにくくレーザー媒質 42 を均一に励起可能であることが分かる。

[0096] 次に、光ガイドのその他の変形例として、非対称の反射面を有する光ガイ

ドについて説明する。図 2 1 は、図 1 9 の光ガイドの変形例における光路を示す模式図である。

[0097] 図 2 1 に示すように、光ガイド 2 0 H は、フレネルレンズ 1 0 の光軸 1 6 に対して、レーザー媒質 3 1 の光軸 3 6 が角度 θ （例えば、 19.6° ）傾いた状態で設置されていて、レーザーハウジング 2 5 H に対して、反射面 2 4 a と反射面 2 4 b の角度が異なっている。すなわち、レーザーハウジング 2 5 H の外側の壁と反射面 2 4 a、2 4 b との角度がおのおの角度 α 、角度 β （ $\alpha < \beta$ ）とが異なり、非対称になっている。

[0098] また、図 2 1 に示すように、光ガイド 2 0 H の入射口の中心部付近に入射した太陽光は光ガイド 2 0 H の壁面（反射面 2 4 a、2 4 b）で反射されて光ガイド 2 0 H の奥に集まっていく。光ガイド 2 0 H の反射面の端部付近に入射した光は光ガイド 2 0 H 上部で数回反射された後、入射方向へ戻っていく。すなわち、光ガイドを傾けることによってレーザー媒質を均一に励起することが可能になる。また、図 2 1 に示すように、非対称にすることによって、太陽光入射窓 2 1 H に対して垂直の垂直入射光 S f 1 や、斜入射光 S f 2 も、光ガイド 2 0 H 内で反射の回数が増加している。すなわち、レーザー媒質における太陽光の吸収を増大させることが可能となる。

[0099] なお、集光手段として、フレネルレンズ 1 0 以外に、ガラスレンズや凹面の反射鏡でもよく、太陽光を光ガイドの入射窓に集められればよい。また、フレネルレンズ 1 0 に添加する蛍光物質は、ローダミン 6 G や D O T C I 以外にも、フレネルレンズの材料であるプラスチックの紫外波長域の光による劣化を防止し、かつこの紫外光を可視波長域の有効な励起光に変換できる物質であればよい。

また、レーザー媒質 3 1 の材質は、例示した N d と C r を共添加した Y A G（ $Y_3Al_5O_{12}$ ）や G S G G（ $Gd_3Al_2O_{12}$ ）等に限らず、太陽光のスペクトル成分を幅広く吸収できる材質であればよい。

[0100] さらに、本発明は、上記各実施形態に限定されるものではない。上記各実施形態は、例示であり、本発明の特許請求の範囲に記載された技術的思想と

実質的に同一な構成を有し、同様な作用効果を奏するものは、いかなるものであっても本発明の技術的範囲に包含される。

符号の説明

- [0101] 1、2、3：レーザー発振装置
- 10：フレネルレンズ
- 16：フレネルレンズの光軸
- 20、20B、20C、20D、20E：光ガイド
- 21、21B：太陽光入射窓（入射窓）
- 22、22B、22C、22D：反射面
- 30：レーザーキャビティ
- 31、41、42、45：レーザー媒質
- 35：出力ミラー
- 36：レーザー媒質の光軸
- 41a、42a：スリット（開口部）
- S、Sf：太陽光

請求の範囲

- [請求項1] 太陽光により励起されてレーザー光を出力するレーザー媒質と、
前記レーザー媒質の出力端部に対向する凹面を有する出力ミラーと、
、
前記レーザー媒質の出力端部から、前記レーザー媒質の外方に延びる反射面を有し、前記太陽光を反射して前記レーザー媒質に導く光ガイドと、
を備えたことを特徴とするレーザー発振装置。
- [請求項2] 請求項1に記載のレーザー発振装置において、
前記光ガイドの反射面が、錐面であることを特徴とするレーザー発振装置。
- [請求項3] 請求項1または請求項2に記載のレーザー発振装置において、
前記レーザー媒質が、前記レーザー媒質の光軸方向に延びる開口部を有することを特徴とするレーザー発振装置。
- [請求項4] 請求項1から請求項3のいずれか1項に記載のレーザー発振装置において、
前記太陽光を集光して前記光ガイドに入射させる集光手段を更に備えたことを特徴とするレーザー発振装置。
- [請求項5] 請求項4項に記載のレーザー発振装置において、
前記集光手段の光軸が、前記レーザー媒質の光軸に対して斜めに配置されることを特徴とするレーザー発振装置。
- [請求項6] 請求項5に記載のレーザー発振装置において、
前記太陽光を取り入れる前記光ガイドの入射窓の面が、前記集光手段の光軸と垂直に配置されることを特徴とするレーザー発振装置。
- [請求項7] 請求項4から請求項6のいずれか1項に記載のレーザー発振装置において、
前記集光手段がフレネルレンズであって、
前記フレネルレンズに蛍光物質が添加されたことを特徴とするレー

ザー発振装置。

[請求項8] 請求項7に記載のレーザー発振装置において、
—前記フレネルレンズが、深紫外光によって表面改質されたことを特徴とするレーザー発振装置。

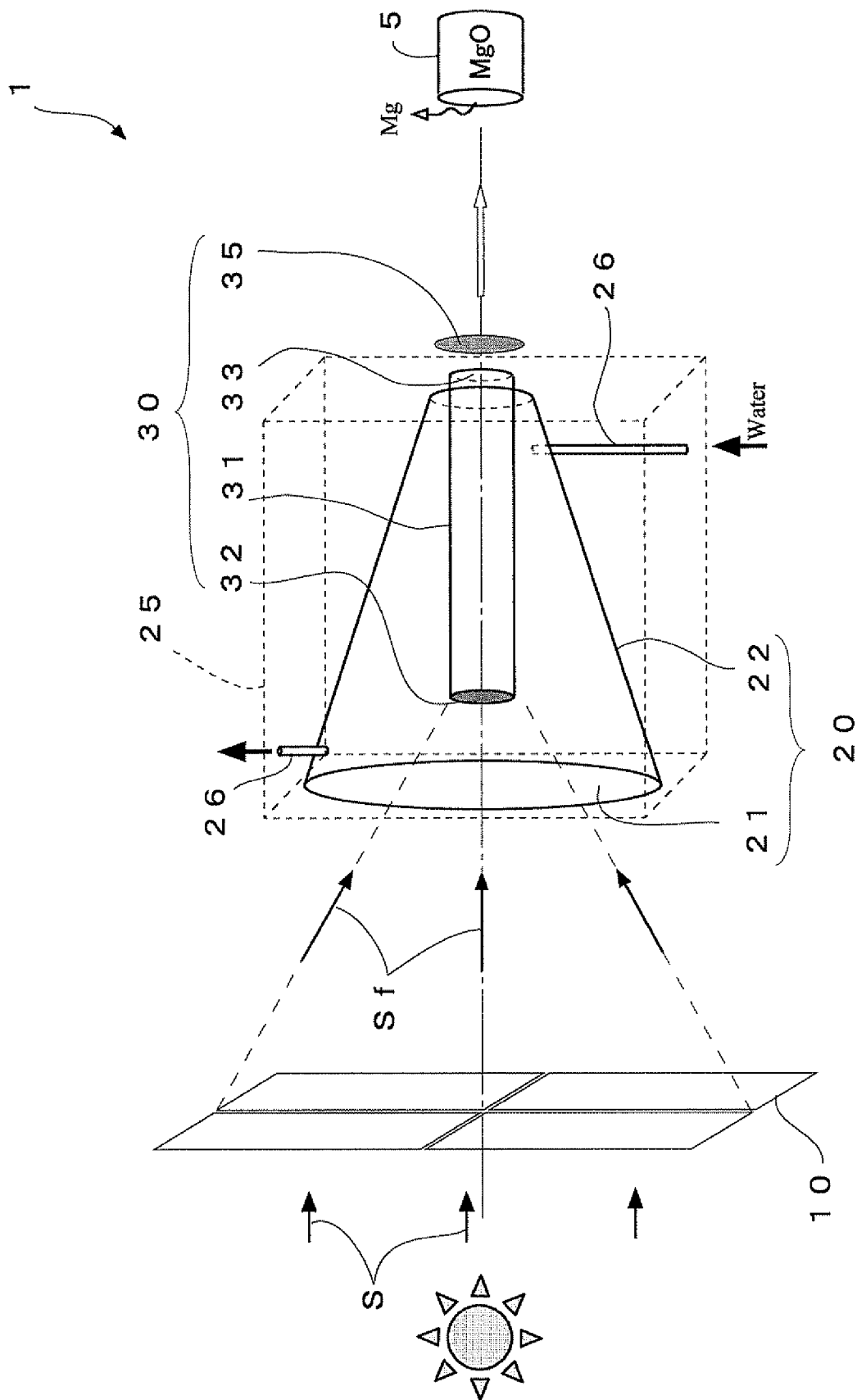
[請求項9] 太陽光により励起されてレーザー光を出力するレーザー媒質を備え、
前記レーザー媒質が、前記レーザー媒質の光軸方向に延びる開口部を有することを特徴とするレーザー発振装置。

[請求項10] 請求項9に記載のレーザー発振装置において、
前記開口部が、スリットを有することを特徴とするレーザー発振装置。

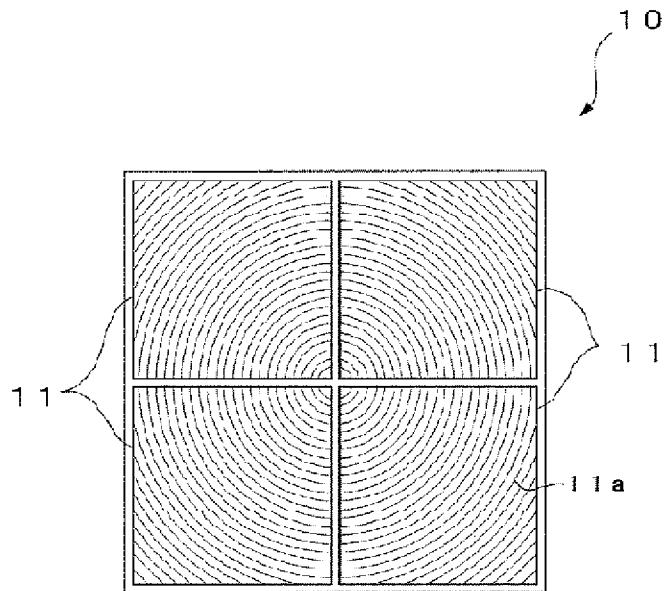
[請求項11] 請求項9または請求項10に記載のレーザー発振装置において、
前記レーザー媒質が板状に形成されたことを特徴とするレーザー発振装置。

[請求項12] 太陽光により励起されてレーザー光を出力するレーザー媒質と、
前記レーザー媒質の出力端部から、前記レーザー媒質の外方に延びる反射面を有し、前記太陽光を反射して前記レーザー媒質に導く光ガイドと、
前記太陽光を集光して前記光ガイドに入射させる集光手段と、
を備え、
前記集光手段の光軸が、前記レーザー媒質の光軸に対して斜めに配置されることを特徴とするレーザー発振装置。

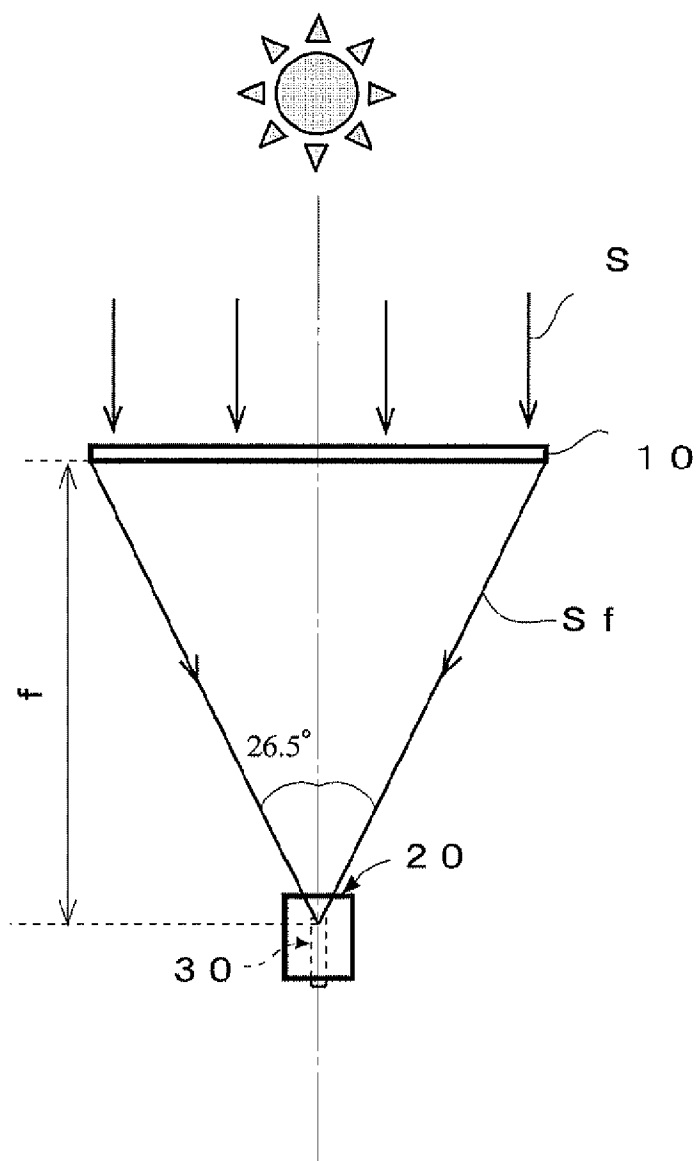
[図1]



[図2]

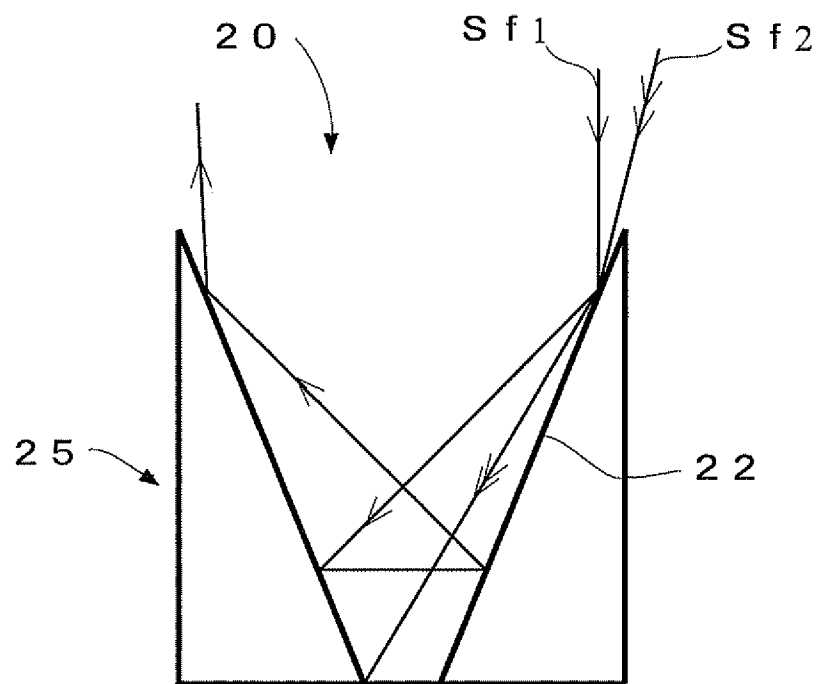


[図3]

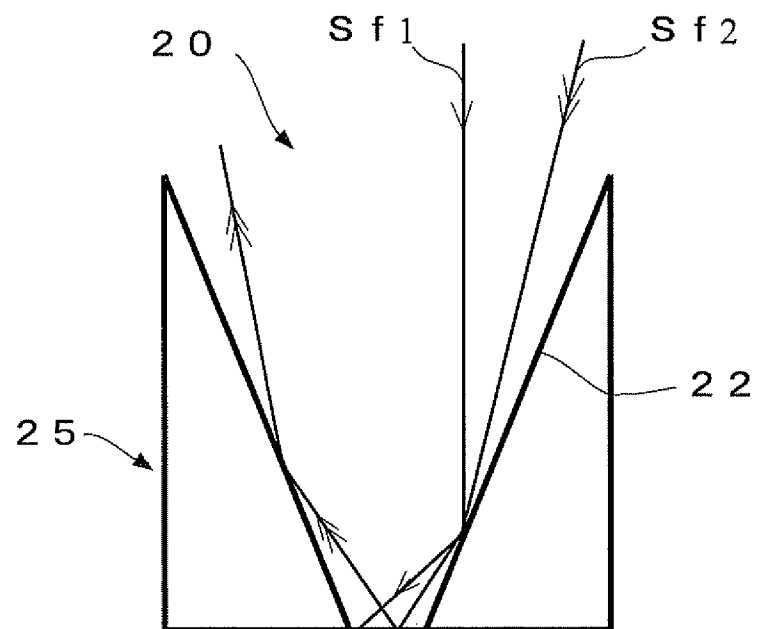


[図5]

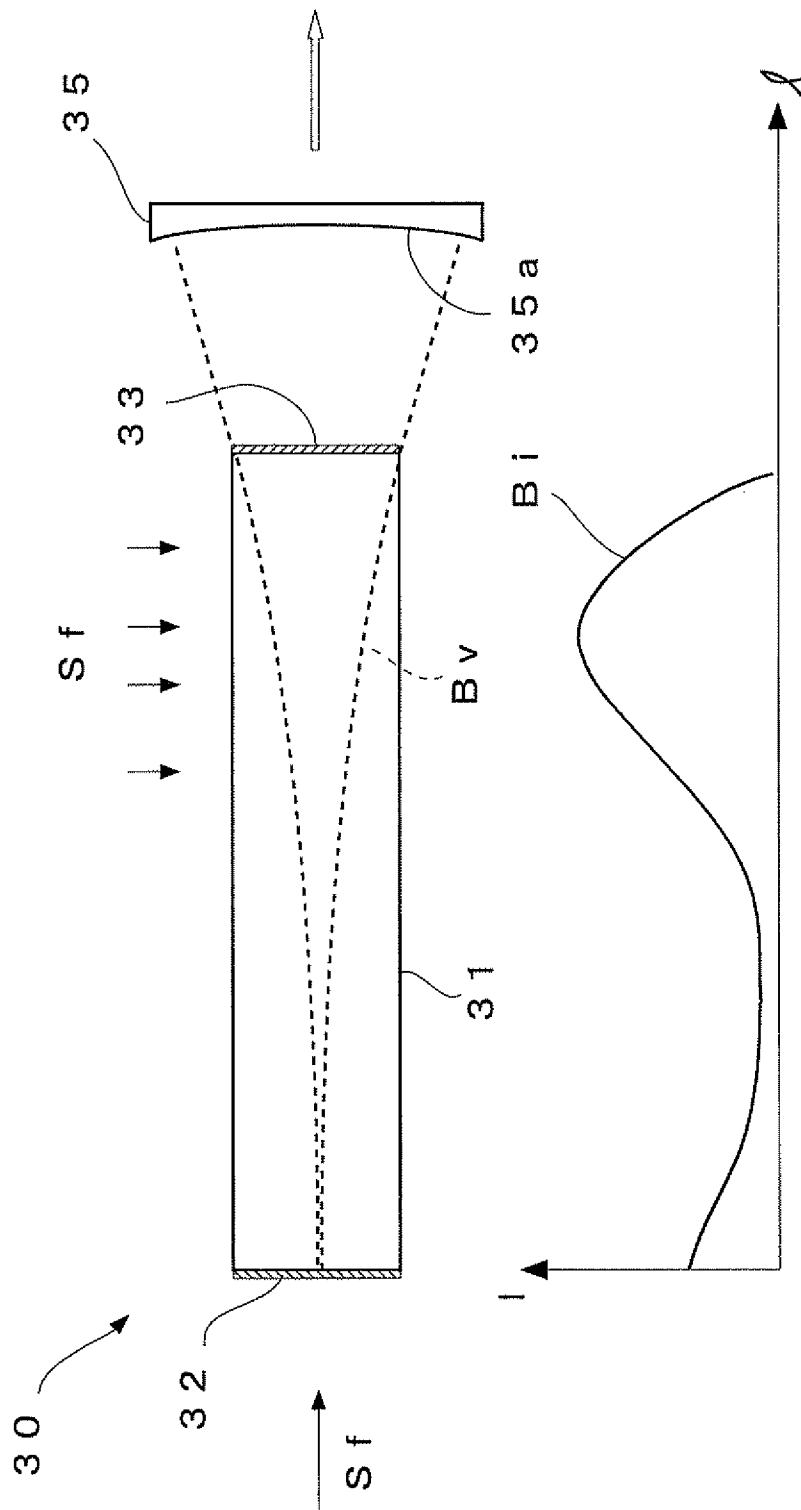
(A)



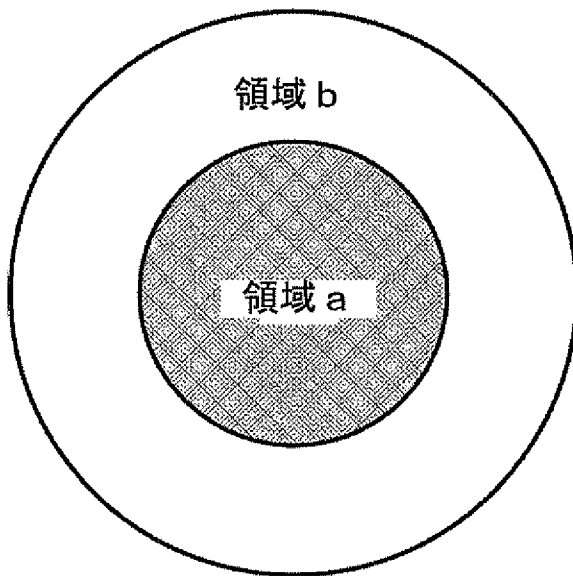
(B)



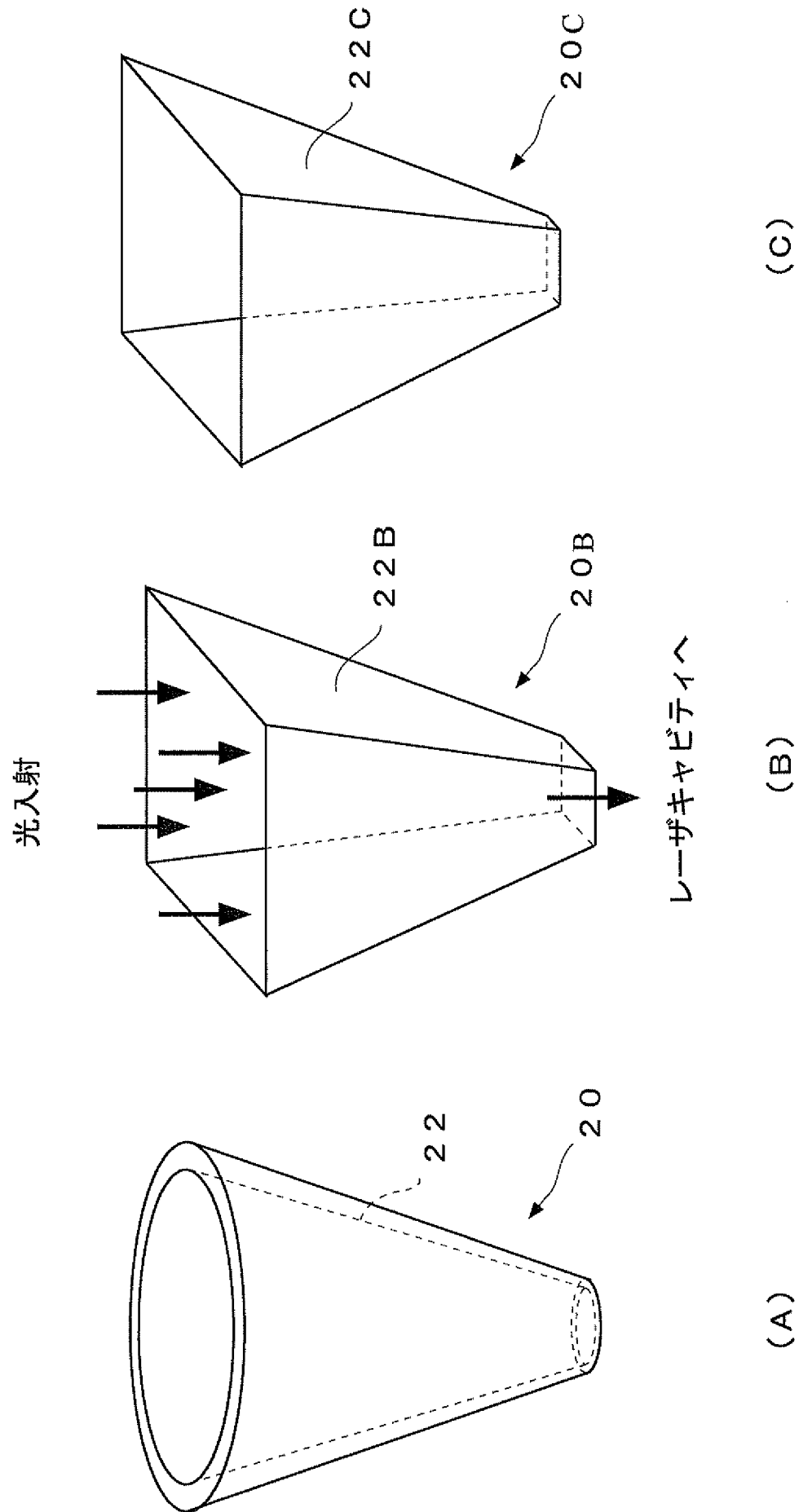
[図6]



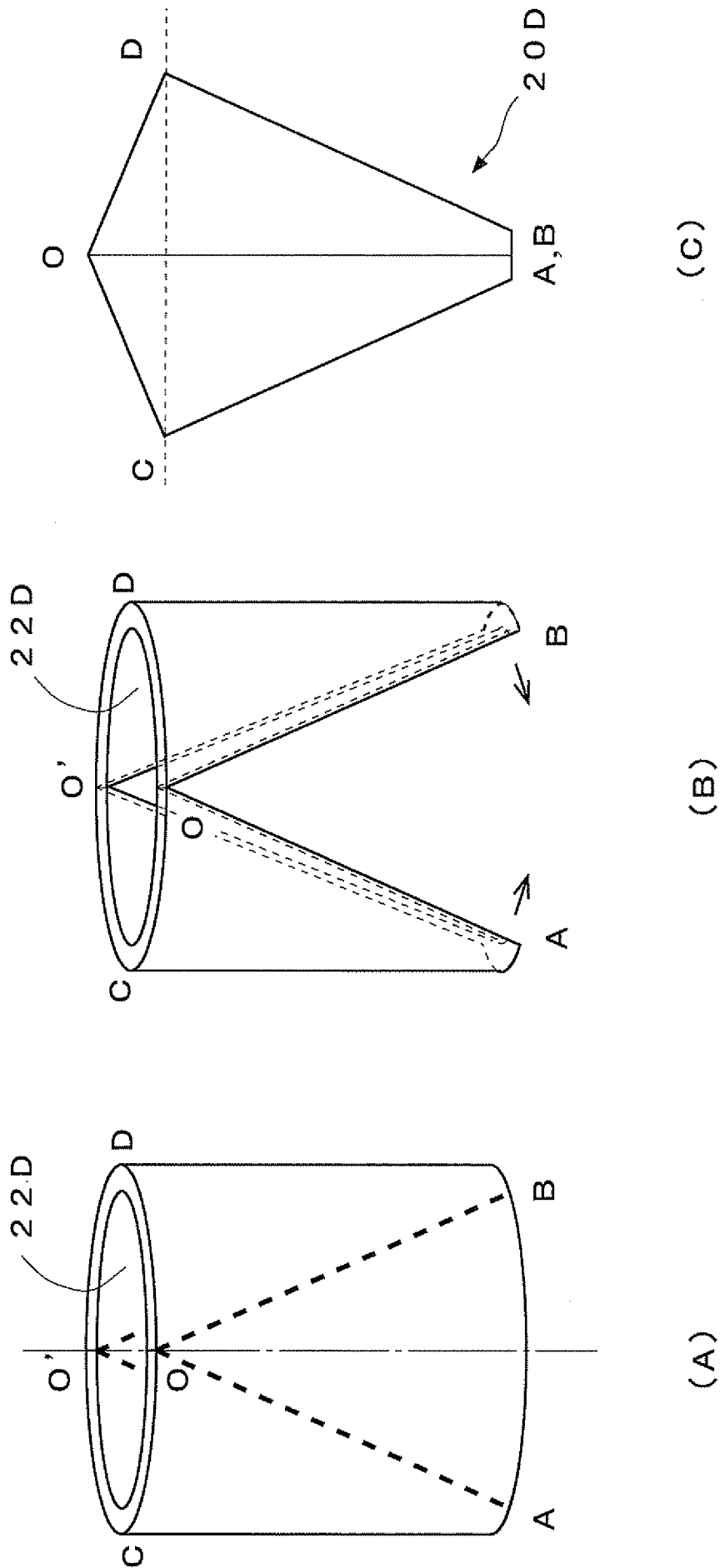
[図7]



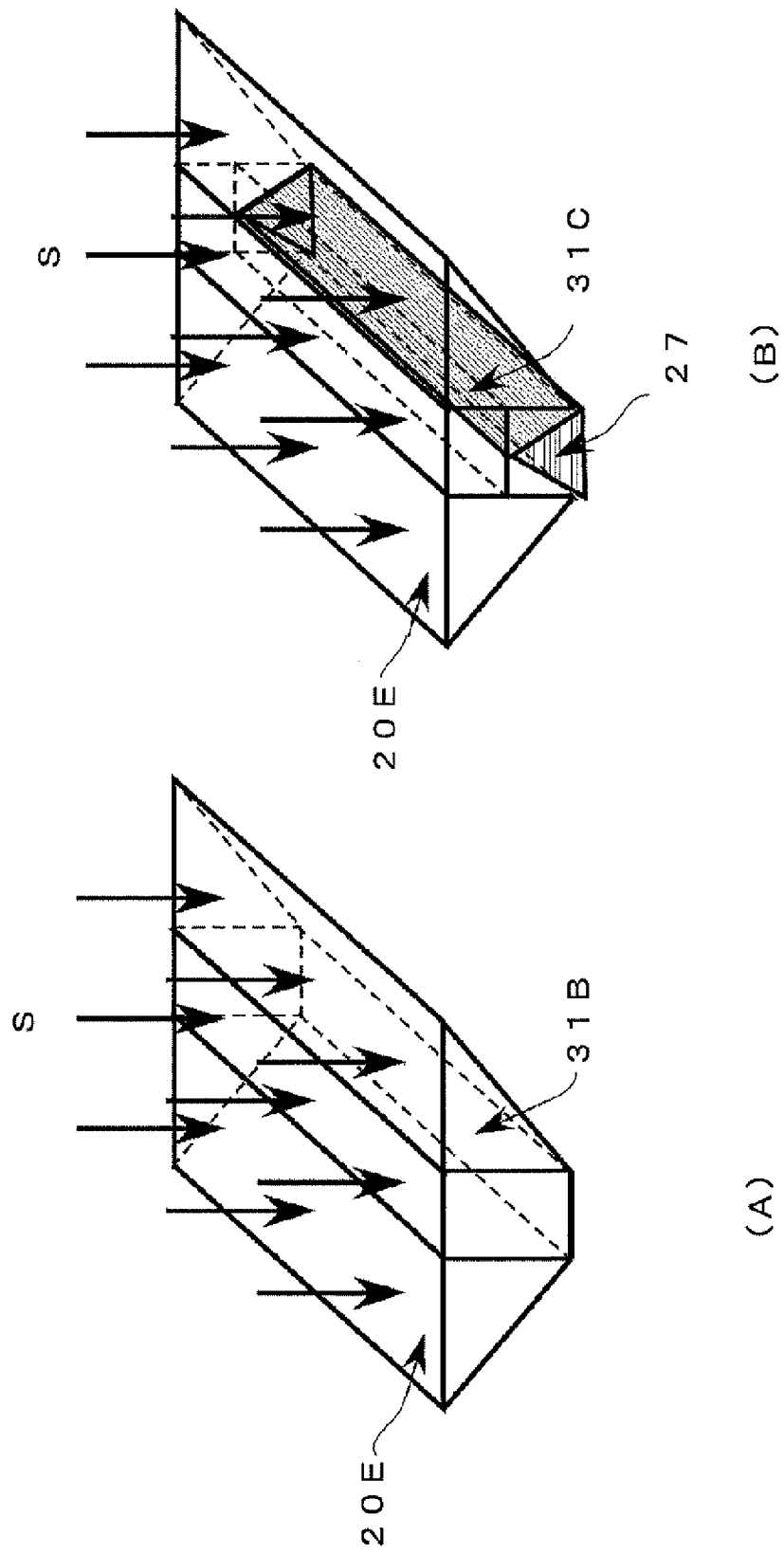
[図8]



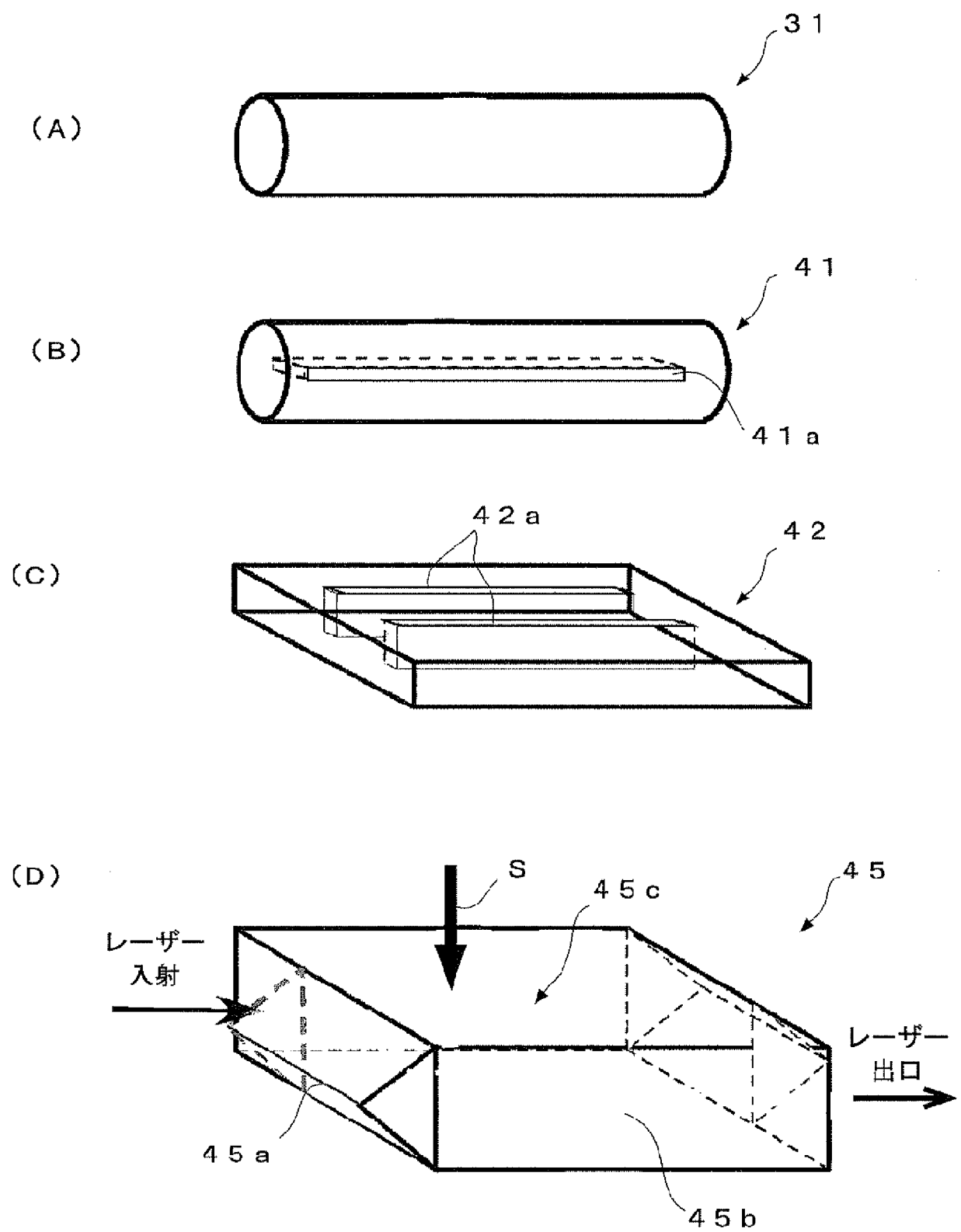
[図9]



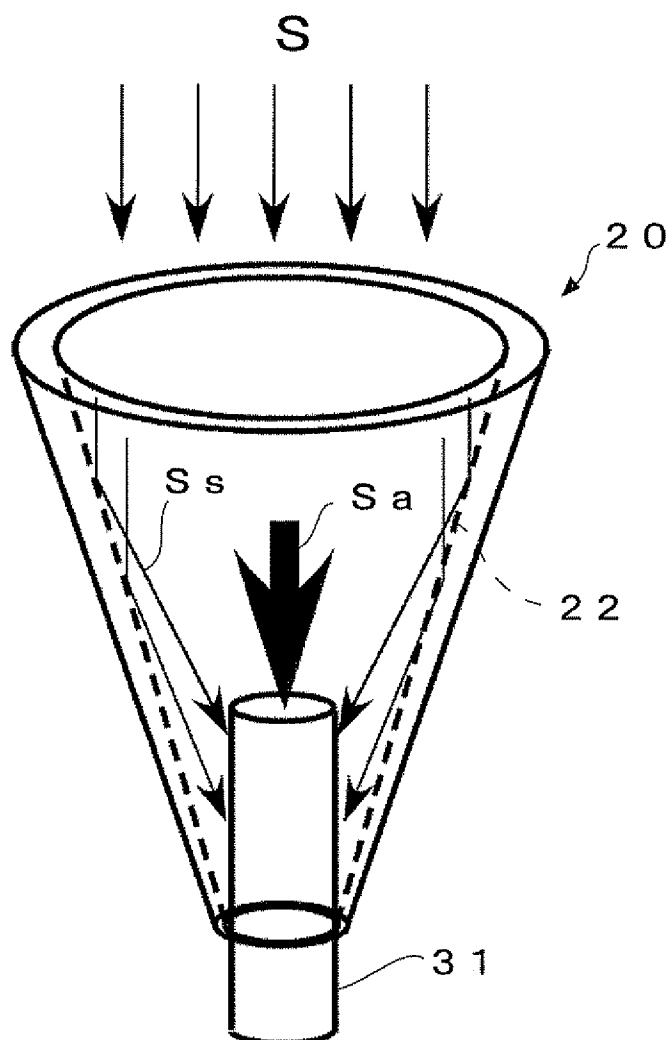
[図10]



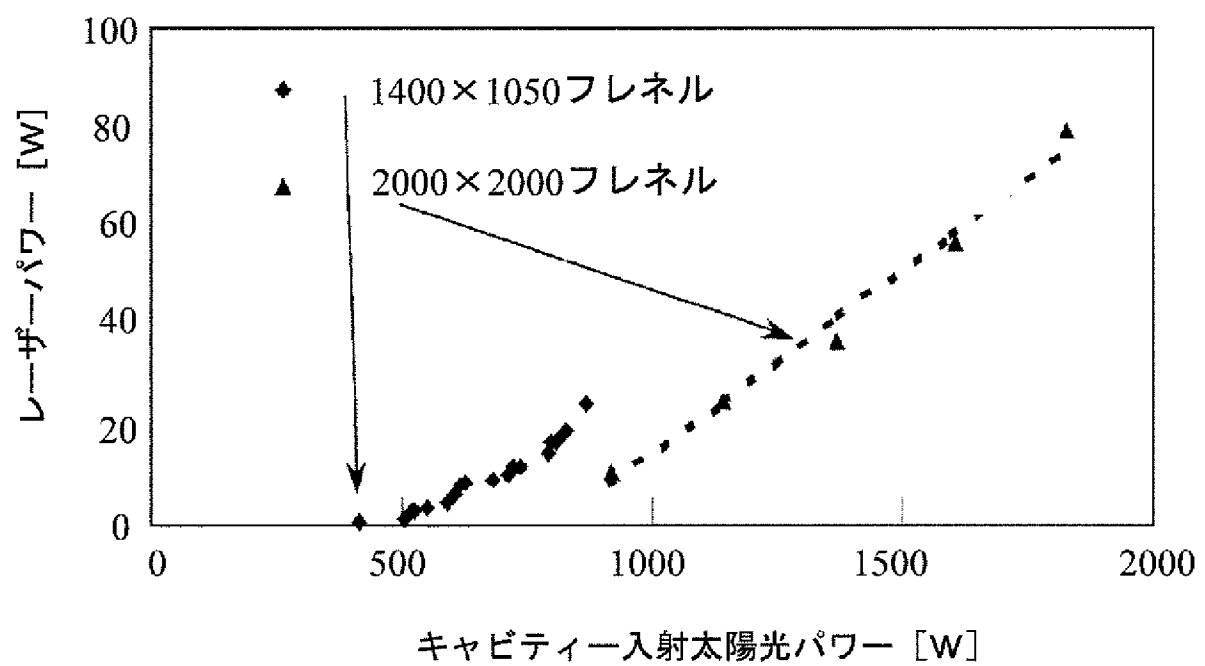
[図11]



[図12]



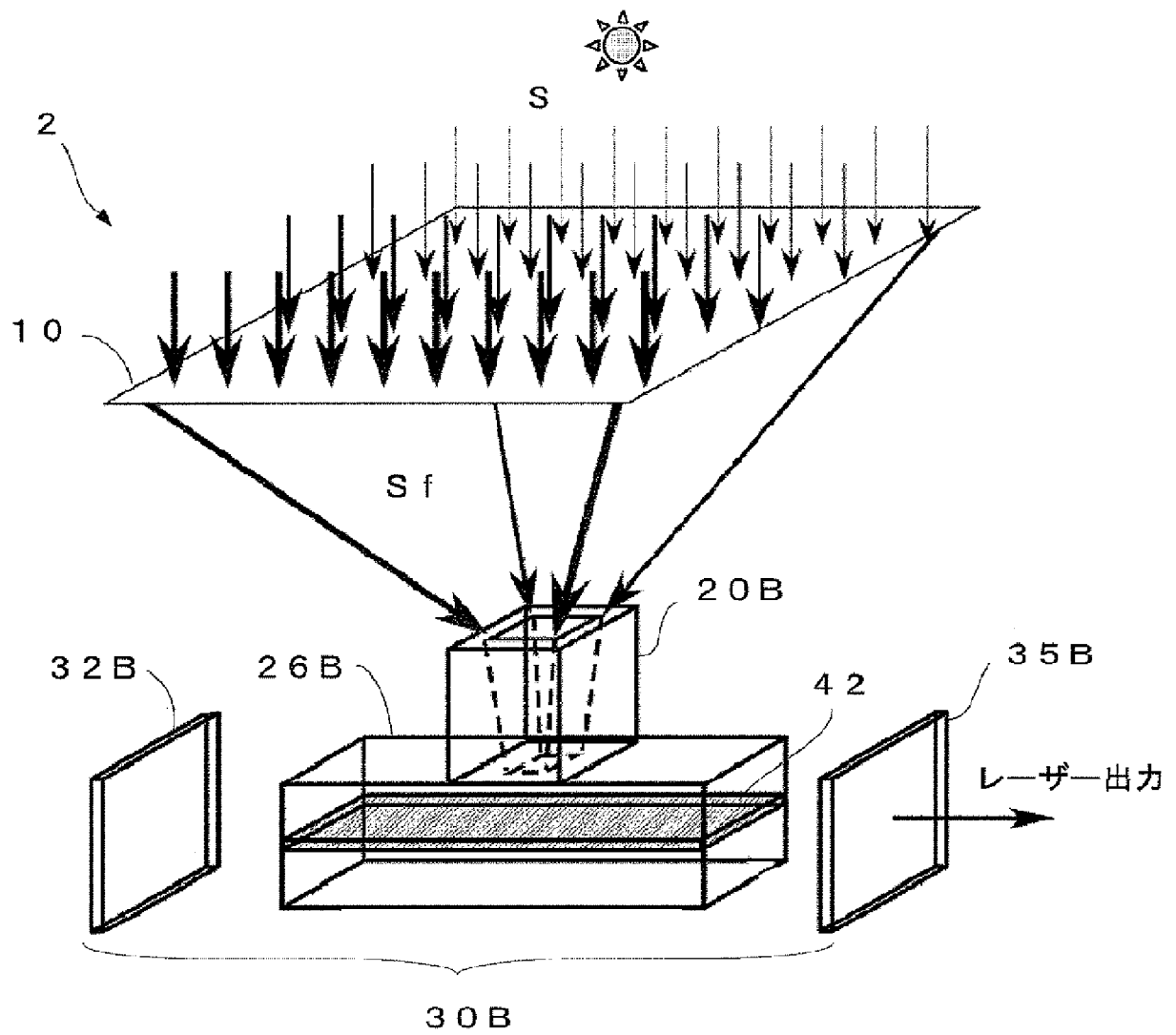
[図13]



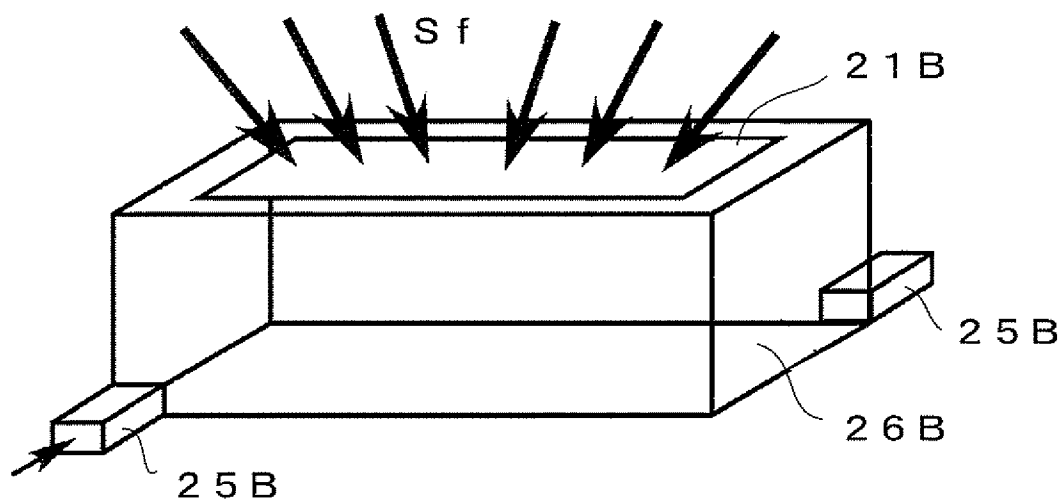
[図14]

	レーザー出力 ^(a) [W]	集光器面積 ^(b) [m ²]	面積効率 [(a)÷(b)] [W/m ²]
1. M. Weksler, et al <i>IEEE J. QE</i> , 1988	60	38.5	1.55
2. V. Krupkin, et al <i>Proc. SPIE</i> , 1993	500	660	0.76
3. M. Lando, et al <i>Optics Communication</i> , 2003	46	6.85	6.7
4. 本特許技術実施例1	24.4	1.47	16.6
5. 本特許技術実施例2	79	4.0	20.0

[図15]

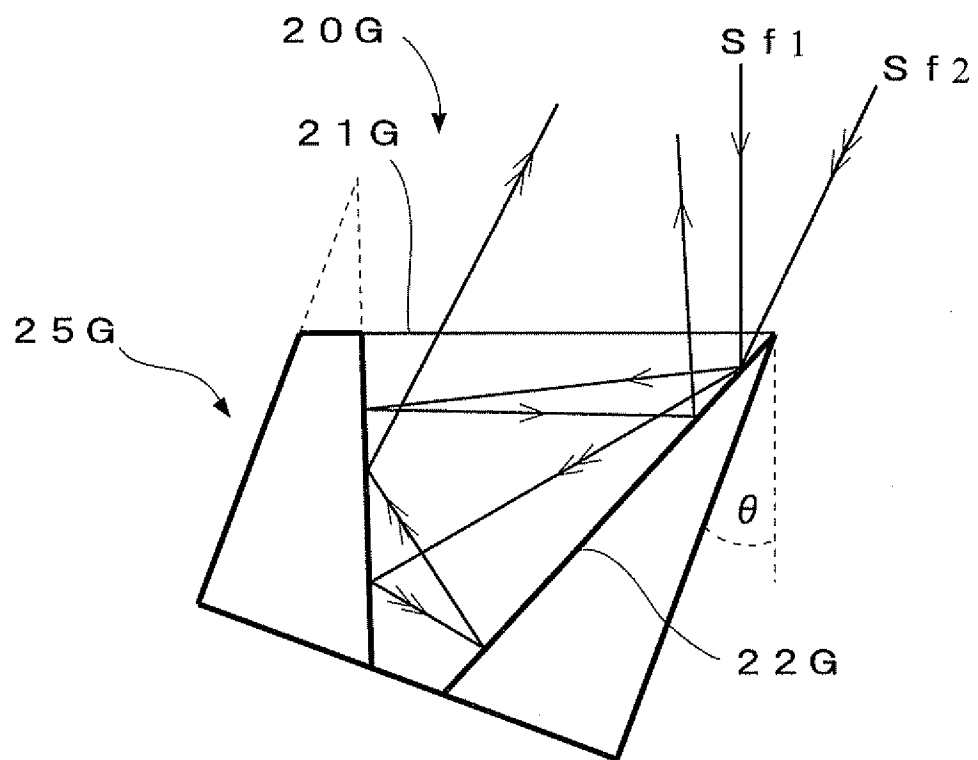


[図16]

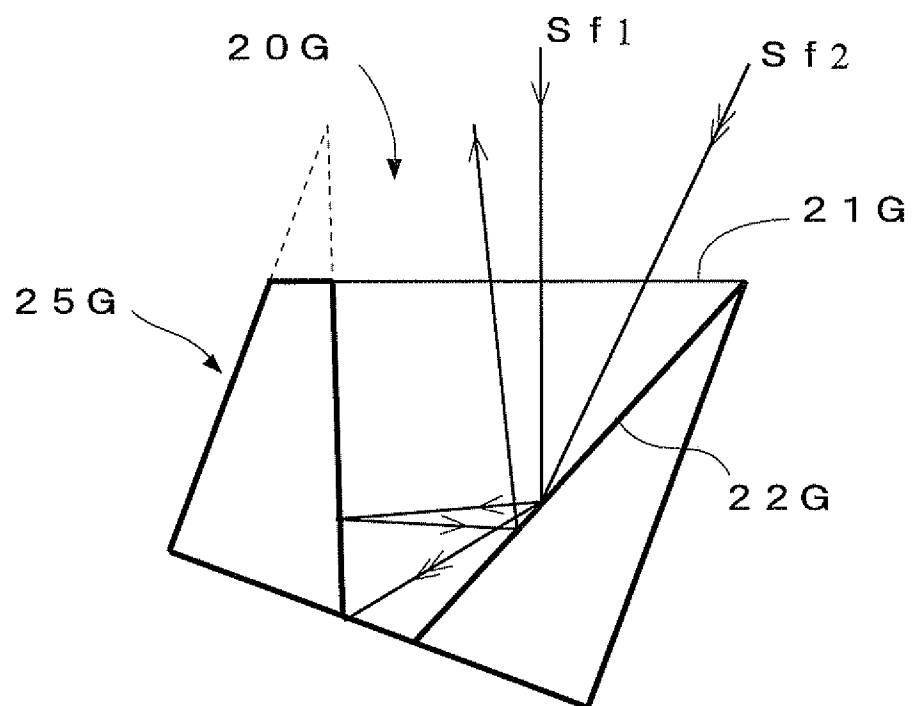


[図18]

(A)

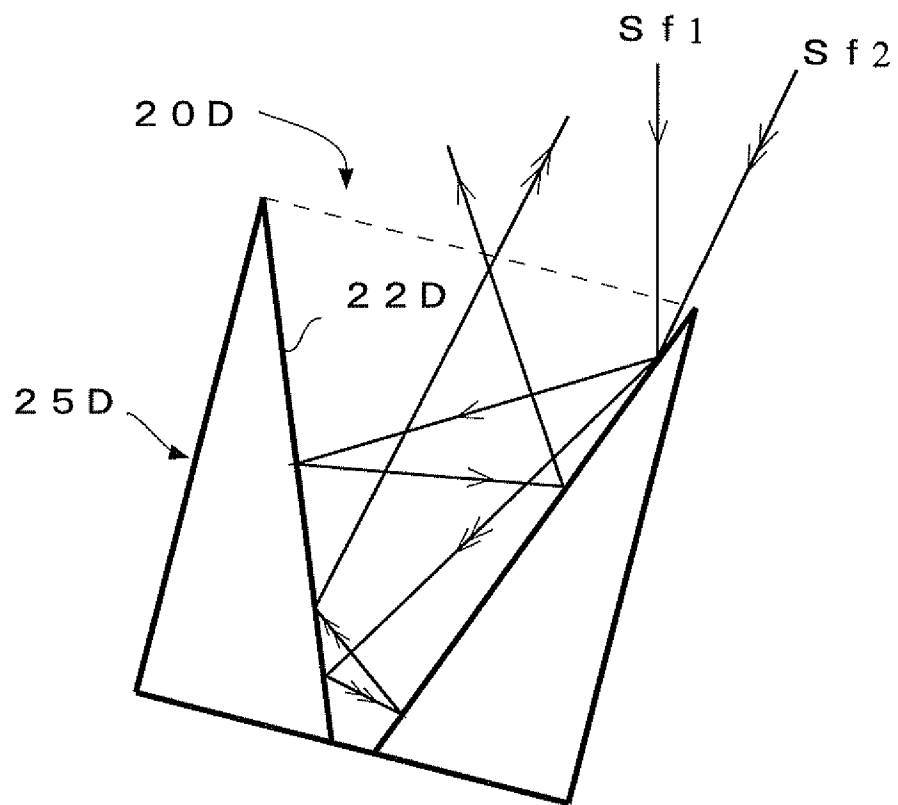


(B)

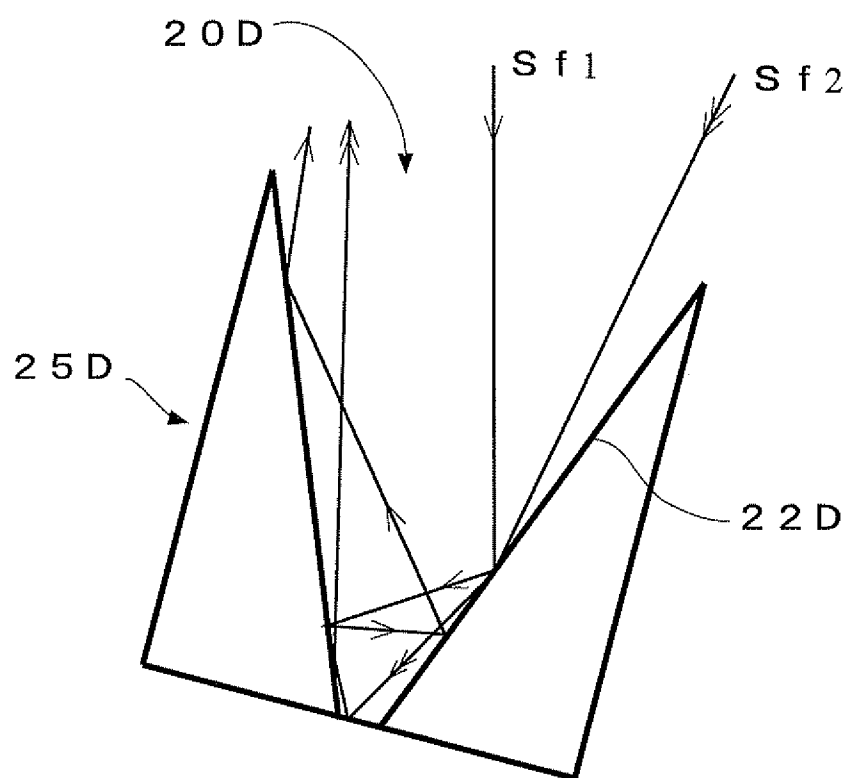


[図19]

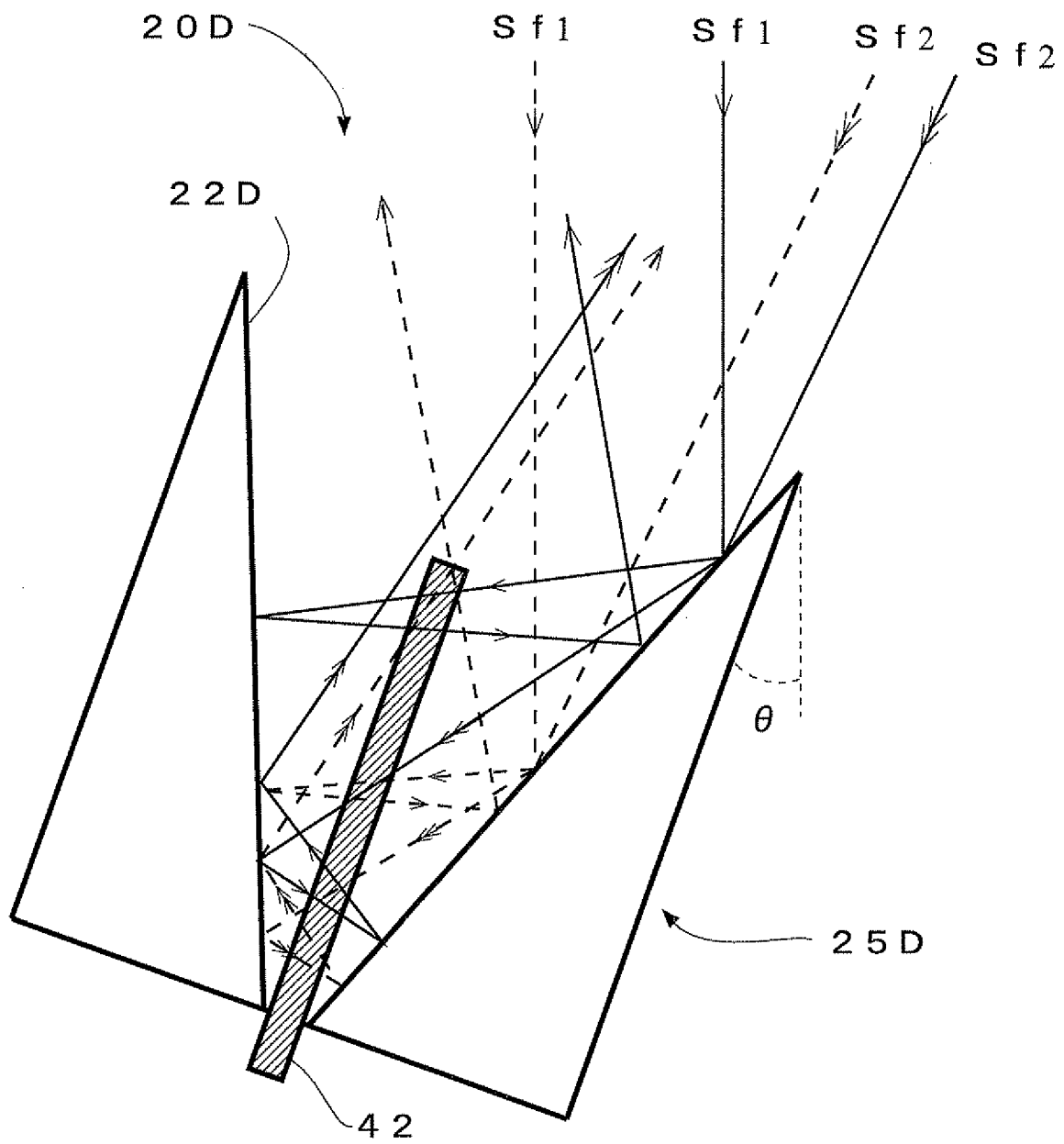
(A)



(B)



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/057671

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/0915 (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)

H01S3/00-4/00, H01L31/04-31/06, H01L51/42

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	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

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

IEEE Xplore, CiNii, JSTPlus (JDreamII)

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 2008-66368 A (Yugen Kaisha Okamoto Kogaku Kakosho), 21 March, 2008 (21.03.08), Claim 1; Par. No. [0021]; Fig. 4 (Family: none)	1, 2, 4, 6 3, 5, 7-12
X Y	JP 2-303082 A (Kei MORI), 17 December, 1990 (17.12.90), Claims; Fig. 1 (Family: none)	1, 2, 4, 5, 12 3, 6-11

☒ 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
30 April, 2009 (30.04.09)

Date of mailing of the international search report
19 May, 2009 (19.05.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/057671

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 62-234386 A (Carl Zeiss Stiftung), 14 October, 1987 (14.10.87), Claim 1, page 2, lower right column; Figs. 1 to 4 & US 4845721 A & GB 2186421 A & GB 8630535 A0 & DE 3546280 A & DE 3546554 A & FR 2592530 A	3-11
Y	JP 2002-33537 A (Institute for Laser Technology), 31 January, 2002 (31.01.02), Par. No. [0015]; Fig. 1 (Family: none)	7,8
Y	JP 11-511592 A (Minnesota Mining and Manufacturing Co.), 05 October, 1999 (05.10.99), Page 3, lines 14 to 16 & US 5816238 A & EP 847599 A & WO 1997/008756 A1 & DE 69618793 T & DE 69618793 D & AU 6494196 A & MX 9801411 A	7,8
Y	JP 2002-88178 A (Seiko Epson Corp.), 27 March, 2002 (27.03.02), Par. Nos. [0009] to [0011] (Family: none)	8
Y	JP 5-63263 A (Hoya Corp.), 12 March, 1993 (12.03.93), Par. Nos. [0024], [0029]; Fig. 3 (Family: none)	11

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/0915 (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（I P C））

Int.Cl. H01S 3/00- 4/00, H01L 31/04-31/06, H01L 51/42

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 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）

IEEE Xplore, CiNii, JSTPlus (JDreamII)

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 2008-66368 A（有限会社岡本光学加工所）2008.03.21, 請求項1、 【0021】、図4（ファミリーなし）	1, 2, 4, 6 3, 5, 7-12
X Y	JP 2-303082 A（森敬）1990.12.17, 特許請求の範囲、第1図（ファミ リリーなし）	1, 2, 4, 5, 12 3, 6-11
Y	JP 62-234386 A（カール・ツワイス・フテイフツング）1987.10.14, 特許請求の範囲（1）第2頁右下欄、第1～4図 & US 4845721 A & GB 2186421 A & GB 8630535 A0 & DE 3546280 A & DE 3546554 A & FR	3-11

☒ 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

3 0 . 0 4 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

1 9 . 0 5 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

瀬川 勝久

2 K

3 8 1 1

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 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
	2592530 A	
Y	JP 2002-33537 A (財団法人レーザー技術総合研究所) 2002.01.31, 【0015】、図1 (ファミリーなし)	7, 8
Y	JP 11-511592 A (ミネソタ マイニング アンド マニュファクチャリング) 1999.10.05, 第3頁第14～16行 & US 5816238 A & EP 847599 A & WO 1997/008756 A1 & DE 69618793 T & DE 69618793 D & AU 6494196 A & MX 9801411 A	7, 8
Y	JP 2002-88178 A (セイコーエプソン株式会社) 2002.03.27, 【0009】～【0011】 (ファミリーなし)	8
Y	JP 5-63263 A (ホーヤ株式会社) 1993.03.12, 【0024】、【0029】、図3 (ファミリーなし)	11