

(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
2014 年 10 月 2 日(02.10.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/156544 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/0941 (2006.01) H01S 5/022 (2006.01)
F02P 23/04 (2006.01) H01S 5/183 (2006.01)
G02B 6/42 (2006.01) H01S 5/42 (2006.01)
H01S 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/055829
- (22) 国際出願日: 2014 年 3 月 6 日(06.03.2014)
- (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 2013-063230 2013 年 3 月 26 日(26.03.2013) JP
- (71) 出願人: 大学共同利用機関法人自然科学研究機構 (INTER-UNIVERSITY RESEARCH INSTITUTE CORPORATION NATIONAL INSTITUTES OF NATURAL SCIENCES) [JP/JP]; 〒1818588 東京都三鷹市大沢二丁目 2 番 1 号 Tokyo (JP). 株式会社デンソー(DENSO CORPORATION) [JP/JP]; 〒4488661 愛知県刈谷市昭和町 1 丁目 1 番地 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 常包 正樹 (TSUNEKANE Masaki); 〒4448585 愛知県岡崎市明大寺町字西郷中 3 8 番

地 大学共同利用機関法人自然科学研究機構分子科学研究所内 Aichi (JP). 平等 拓範(TAIRA Takunori); 〒4448585 愛知県岡崎市明大寺町字西郷中 3 8 番地 大学共同利用機関法人自然科学研究機構 分子科学研究所内 Aichi (JP). 金原賢治(KANEHARA Kenji); 〒4450012 愛知県西尾市下羽角町岩谷 1 4 番地 株式会社日本自動車部品総合研究所内 Aichi (JP).

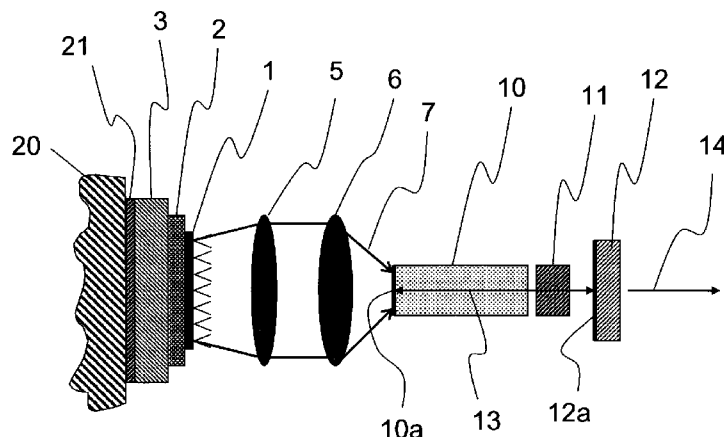
(74) 代理人: 特許業務法人 快友国際特許事務所 (KAI-U PATENT LAW FIRM); 〒4516009 愛知県名古屋市中区牛島町 6 番 1 号 名古屋ルーセントタワー 9 階 Aichi (JP).

(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, LT, 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.

[続葉有]

(54) Title: ONBOARD IGNITION DEVICE COMBINING SEMICONDUCTOR LASER LIGHT SOURCE AND SOLID-STATE LASER DEVICE

(54) 発明の名称: 半導体レーザー光源と固体レーザー装置を組み合わせた車載式点火装置



(57) Abstract: [Problem] To provide a laser device for emitting pulse laser light over the entire range of ambient temperature between 20°C and 80°C. [Solution] There is a need for pulse laser light to be emitted over the entire range between 20°C and 80°C in order to achieve a device capable of igniting the fuel supplied to an engine with the pulse laser light emitted from a solid-state laser medium excited by semiconductor laser light emitted from a semiconductor laser light source. The operation temperature range is insufficient in the current laser device. Thus, an yttrium aluminum garnet containing neodymium is selected as the solid-state laser medium, and the semiconductor laser light source is provided with an array element where vertical-cavity surface-emitting laser elements having multilayered films formed on both sides of an active layer are arrayed two-dimensionally, the semiconductor laser light source being selected to have a central oscillation wavelength of 804.0 nm to 805.5 nm at 20°C and have a temperature dependency of 0.07 nm/°C or less at the central oscillation wavelength.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2014/156544 A1



(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, 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))

【課題】周囲温度が 20～80℃の全範囲においてパルスレーザー光を放射する上記レーザー装置を提供する。【解決手段】半導体レーザー光源が放射した半導体レーザー光で励起された固体レーザー媒質が放射するパルスレーザー光でエンジンに供給された燃料に点火する装置を実現するには、20～80℃の全範囲においてパルスレーザー光を放射する必要がある。現状の上記レーザー装置では動作温度範囲が不十分である。そこで固体レーザー媒質に、ネオジムを含有するイットリウム・アルミニウム・ガーネットを選択し、半導体レーザー光源に、活性層の両側に多層膜が形成されている垂直共振器面発光レーザー素子が 2 次元に配列されたアレイ素子を備え、20℃における発振中心波長が 804.0～805.5nm であり、発振中心波長の温度依存性が 0.07nm/℃以下のものを選択する。

明 細 書

発明の名称：

半導体レーザー光源と固体レーザー装置を組み合わせた車載式点火装置 技術分野

[0001] この明細書では、半導体レーザー光源と固体レーザー装置を組み合わせた装置を開示する。この組み合わせ装置では、半導体レーザー光源が半導体レーザー光を放射し、その半導体レーザー光で励起された固体レーザー装置が固体レーザー光を放射する。本明細書では、半導体レーザー光源と固体レーザー装置を備えており、半導体レーザー光源から放射された半導体レーザー光が固体レーザー媒質に入射し、半導体レーザー光で励起された固体レーザー媒質が固体レーザー光を放射する装置の全体を「半導体レーザー光で励起される固体レーザー装置」という。以下では簡単化のために、単に「レーザー装置」と省略する。

本明細書では、上記レーザー装置の動作温度範囲を広げる技術を開示する。特に、上記レーザー装置によって、エンジンに供給された燃料に点火する装置を実現するのに必要な動作温度範囲を広げる技術を開示する。

本明細書では、半導体レーザー光源が放射するレーザー光を半導体レーザー光といい、固体レーザー媒質が放射するレーザー光を固体レーザー光という。両者はともにレーザー光である。

背景技術

[0002] 図15に、非特許文献1に開示されている上記レーザー装置の構成を示す。図15において、参照番号101は垂直共振器面発光レーザー素子（VCSEL）の複数個が2次元の行列に沿って配置されているアレイ素子（半導体レーザー光源の一例）を示し、参照番号105はコリメートレンズを示し、参照番号106は集光レンズを示し、参照番号110はネオジムを含有するイットリウム・アルミニウム・ガーネット（Nd：YAG）を示し、参照番号111はクロムを含有するイットリウム・アルミニウム・ガーネット（

C r : Y A G) を示し、参照番号 1 1 5 はブリュースター板を示し、参照番号 1 1 2 は出力ミラーを示している。N d : Y A G 1 1 0 はロッド形状であり、半導体レーザー光が入射する側の端面に、8 0 8 n m に対しては高透過率であり 1 0 6 4 n m に対しては高反射率の誘電体コート膜 1 1 0 a が形成されている。出力ミラー 1 1 2 は、1 0 6 4 n m に対して 9 0 % の反射率を持つ膜 1 1 2 a を備えている。N d : Y A G 1 1 0 は、半導体レーザー光に照射されると励起して固体レーザー光を発振する固体レーザー媒質である。誘電体コート膜 1 1 0 a と膜 1 1 2 a の間に位置する光学装置によって、N d : Y A G 固体レーザー共振器が形成されている。

[0003] アレイ素子 1 0 1 は、波長 8 0 8 n m に制御された半導体レーザー光を放射する。その半導体レーザー光は、2 枚のレンズ 1 0 5, 1 0 6 により N d : Y A G 1 1 0 の端面に集光される。N d : Y A G 1 1 0 の端面に集光された半導体レーザー光は、N d : Y A G 1 1 0 内に入射して吸収される。N d : Y A G 1 1 0 は固体レーザー媒質となる。共振器内に挿入されている C r : Y A G 1 1 1 は、受動 Q スイッチとして動作し、パルスレーザー光を放射させる。ブリュースター板 1 1 5 は、パルスレーザー光を直線偏光に制御する。

[0004] アレイ素子 1 0 1 を調温するために、アレイ素子 1 0 1 をダイヤモンド製のヒートスプレッダーにマウントし、そのヒートスプレッダーを銅製のヒートシンクにマウントし、そのヒートシンクを電子冷却装置で冷却する構成がとられる。アレイ素子 1 0 1 は、電子冷却装置によって、アレイ素子 1 0 1 が放射する半導体レーザー光の波長が 8 0 8 n m となる温度に調温される。

[0005] 図 1 6 は、非特許文献 2 に開示されている半導体レーザー光源を示している。この半導体レーザー光源は、ファイバーレーザー 1 4 0 を励起する半導体レーザー光を放射する。参照番号 1 0 1 は V C S E L のアレイ素子を示し、参照番号 1 3 0 は V C S E L のアレイ素子 1 0 1 の各発光点から放射される半導体レーザー光を個々にコリメートするためのマイクロレンズのアレイを示し、参照番号 1 0 6 は半導体レーザー光 1 0 7 をファイバー 1 4 0 の端

面に集光するための集光レンズを示している。

[0006] アレイ素子101は、波長は976nmの半導体レーザー光を放射する。アレイ素子101を調温するために、アレイ素子101をダイヤモンド製のサブマウント102にマウントし、サブマウント102を銅製の水冷式マイクロチャンネルヒートシンクにマウントして温度制御される。アレイ素子101は、放射する半導体レーザー光の波長が976nmとなる温度に調温される。

[0007] 図17は、非特許文献3に開示されている半導体レーザー光源を示している。この半導体レーザー光源は、ファイバーレーザー140を励起する半導体レーザー光を放射する。参照番号101は垂直共振器面発光レーザー（VCSEL）のアレイ素子を示し、参照番号131は外部ミラーを示し、参照番号130はアレイ素子101の各発光点からの半導体レーザー光を個々にコリメートするマイクロレンズのアレイを示し、参照番号106は集光レンズを示している。アレイ素子101は、波長976nmの半導体レーザー光を放射する。VCSELの外部にミラー131を設けることで、VCSELのアレイ素子101の共振器長を実効的に長くすることができ、これによりアレイ素子101から放射される半導体レーザー光の放射角が狭くなり、輝度が上がる。ミラーをVCSEL内に内蔵する図16の構成に比べ、コアの小さな光ファイバーに効率よく半導体レーザー光を入射させることができる。

VCSELのアレイ101を調温するために、アレイ素子101をダイヤモンド製のサブマウント102にマウントし、そのサブマウント102を銅のブロックにマウントして冷却する。アレイ素子101は、アレイ素子101が放射する半導体レーザー光の波長が976nmとなる温度に調温される。

先行技術文献

非特許文献

[0008] 非特許文献1: Solid State Lasers XXI, Proc. of SPIE Vol. 8235 82350M (

2012)

非特許文献2: High-Power Diode Laser Technology and Applications VI, Proc. of SPIE Vol. 6876 68760D (2008)

非特許文献3: Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers XIV, Proc. of SPIE Vol. 7615 76150F (2010)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 近年、上記レーザー装置の性能向上とともに、理化学用あるいは工業用への普及が進んでいるが、さらに産業用、民生用の広い応用分野に普及を進めるためには、上記レーザー装置の動作温度範囲の拡大が課題となっている。例えば自動車に搭載する場合、20℃から80℃までの温度範囲で安定的に動作することが要求される。自動車が使用される環境温度は、上記の温度範囲より広いが、上記レーザー装置を冷却するのに比して上記レーザー装置を加熱するのには少ない電力で済むこと、上記レーザー装置に通電すると装置自体が発熱すること、冷却ファンで上記レーザー装置を空冷する程度の空冷装置を設けることが可能であるといった諸事情から、上記レーザー装置が20℃から80℃までの温度範囲で安定的に動作することができれば、上記レーザー装置を車載することが可能となる。

[0010] 半導体レーザー光源の発振中心波長には、温度依存性が存在する。半導体レーザー光源の発振中心波長は、一義的には半導体活性層のバンドギャップで決定される。ところが、そのバンドギャップが温度に依存して変化するために、半導体レーザー光源の発振中心波長は温度に依存して変化する。通常の半導体レーザー光源の場合、環境温度が1℃上昇すると発振中心波長が0.3nmだけ長くなる。その一方、固体レーザー媒質の吸収帯は比較的に狭い。Nd:YAGの場合、図10に示すように、807.0~809.5nmに強い吸収帯Aがある。このことは、動作温度が8℃だけ変化すると、半導体レーザー光源の発振中心波長が、固体レーザー媒質の吸収帯Aの最短波長807.0nmから最長波長809.5nmにまで変化してしまうことを

意味する。従来の上記レーザー装置の動作温度範囲は 8°C にすぎない。

[0011] そこで、従来の上記レーザー装置の場合、特定の動作温度における半導体レーザー光の波長が上記吸収帯Aなかでも最大吸収係数となる 808nm の近傍となる半導体レーザー光源を選択し、かつ半導体レーザー光源をその動作温度に維持する電子冷却装置あるいは水冷式冷却装置を併用している。

[0012] 上記レーザー装置を車載するためには空冷する程度では足りず、電子冷却装置あるいは水冷式冷却装置が必要とされたとすると、上記レーザー装置を車載するのが困難となる。上記レーザー装置がもたらすメリットを享受できる機会が大幅に減少してしまう。

[0013] 本明細書では、電子冷却装置あるいは水冷式冷却装置を必要とせず、簡単な加熱装置あるいは簡単な空冷装置程度と併用することで車載することが可能となる上記レーザー装置を開示する。

特に、上記レーザー装置が放射するパルスレーザー光でエンジンに供給された燃料に点火する点火装置を実現する技術を開示する。

本明細書では、 20°C から 80°C までの温度範囲で安定的に動作する上記レーザー装置が得られれば、電子冷却装置あるいは水冷式冷却装置を併用する必要がなくなり、簡単な加熱装置あるいは簡単な空冷装置程度と併用することで車載することが可能となるという知見に基づいて創作された、上記レーザー装置あるいはそれを利用した点火装置を開示する。

課題を解決するための手段

[0014] 本明細書に記載の技術では、次の2つの知見を組み合わせて用いる。

(第1知見) 半導体レーザー光源の発振中心波長は、一義的には半導体活性層のバンドギャップで決定されるが、それだけでは決まらず、共振器を構成するミラーの反射特性の影響も受ける。そこで、半導体活性層の両側に配置するミラーに半導体多層膜を利用し、分布ブラッグ反射を利用するVCSELが開発されている。このVCSELによると、発振中心波長の温度依存性が、 $0.07\text{nm}/^{\circ}\text{C}$ まで低下する。例えば、Princeton Optronics, Inc. (1 Electronics Drive, Mercerville, New Jersey 08619, USA)社が提供する

V C S E L の発振中心波長の温度依存性は $0.07 \text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ である。

(第2知見) 従来の上記レーザー装置は、図10に示した吸収帯Aを利用するが、実際には、それに隣接する波長帯Bでも吸収能力を備えており、吸収帯Aと吸収帯Bの全体を利用することができる。吸収帯Bでの吸収係数は吸収帯Aでの吸収係数より低いので今まで使われなかったが、固体レーザー光を発振させることは可能である。

[0015] 吸収帯Aと吸収帯Bの全体を利用すると、吸収帯が $803.0 \sim 809.5 \text{ nm}$ に拡大する。すなわち、 6.5 nm の波長幅を持つ。前記した $0.07 \text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ の温度依存性を持つ半導体レーザー光源と組み合わせて用いると、 90°C 以上の動作温度範囲を確保することが可能となる。

[0016] 本明細書で開示する上記レーザー装置は、上記考察と波長決定実験によって得られたものであり、

(1) 固体レーザー媒質に、ネオジムを含有するイットリウム・アルミニウム・ガーネット (Nd : YAG) を用いる。

(2) 半導体レーザー光源に、活性層の両側に多層膜が形成されている垂直共振器面発光レーザー素子 (VCSEL) が2次元に配列されたアレイ光源を用いる。特に、 20°C における発振中心波長が $804.0 \sim 805.5 \text{ nm}$ であり、発振中心波長の温度依存性が $0.07 \text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ 以下である半導体レーザー光源を用いる。

[0017] 図11から図13の縦軸は、 20°C において半導体レーザー光源から放射された励起光エネルギーと、固体レーザー媒質内で吸収されたエネルギーの比 (前者を1としたときの後者の値) を示す。半導体レーザー光源に加える電力量は、環境温度によらずに一定に保った。環境温度が変化すると、半導体レーザー光源から放射される半導体レーザー光の波長が変化し (従って図10に示した吸収係数が変化する)、さらに半導体レーザー光のエネルギーも変化する。縦軸は、2つの効果を加味した有効吸収割合を示している。以下では便宜的に、有効吸収係数という。図11から図13の縦軸は、長さが 4 mm の Nd : YAG の有効吸収係数の温度依存性の測定結果を示している

。

図11は、20℃における発振中心波長が803.0nmである半導体レーザー光源を用いた場合と、803.5nmの半導体レーザー光源を用いた場合を示す。図11の場合、環境温度が低い場合における半導体レーザー光の波長が吸収帯Bの最短波長に比しても短すぎ、環境温度が低い場合における有効吸収係数が低下してしまう。

図13は、20℃における発振中心波長が806.0nmである半導体レーザー光源を用いた場合と、806.5nmの半導体レーザー光源を用いた場合を示している。図13の場合、環境温度が高い場合における半導体レーザー光の波長が吸収帯Aの最長波長に比しても長すぎ、環境温度が高い場合における有効吸収係数が低下してしまう。

図12は、20℃における発振中心波長が804.0nm、804.5nm、805.0nm、805.5nmの半導体レーザー光源を用いた場合の有効吸収係数を示す。図12の場合、環境温度が低い場合にも波長が短すぎず、環境温度が高い場合にも波長が長すぎず、20℃～80℃の全温度範囲において、40%以上の有効吸収係数を確保できることがわかる。

図14は、図11から図13に示した有効吸収係数から「20～80℃内の最高有効吸収係数／20～80℃内の最少有効吸収係数」の値を求めた結果を示している。20℃における発振中心波長が804.0～805.5nmの範囲内にあると、前記した比の値が2.0未満に抑えられることがわかる。

[0018] 上記レーザー装置を車載する場合、20～80℃の全温度範囲において40%以上の有効吸収係数を確保でき、かつ、20～80℃内の最高有効吸収係数／20～80℃内の最少有効吸収係数の比の値が2.0以下であれば、電子冷却装置あるいは水冷式冷却装置を併用する必要がなく、簡単な加熱装置あるいは簡単な空冷式冷却装置または簡単な出力調整回路と併用する程度の対策によって、車載することが可能となることが確認されている。本明細書に開示されているレーザー装置（正確には半導体レーザー光で励起する固

体レーザー装置)によると、実用的な意味で車載することが可能となる。固体レーザー媒質が放射するパルスレーザー光で燃料に点火する点火装置を車載することが可能となる。

[0019] 本明細書に開示する技術では、吸収係数の低い吸収帯Bをも利用するために、Nd:YAGの吸収係数を上げる技術と併用することが好ましい。吸収係数を向上させるためにはNd濃度を上げることが望ましいが、単結晶YAGの場合にはNd濃度が1.1at%を超えるとレーザー特性が著しく低下することが知られている、これに対し最近実用化された多結晶YAGの場合、Nd濃度を2.0at%程度にまで上げて、レーザー特性の低下が少ないことが知られている。

そのために、固体レーザー媒質に、1.1～2.0at%のネオジムを含有する多結晶のNd:YAGを用いるのが有効である。

[0020] 多結晶のNd:YAGや多結晶のCr:YAGは、焼結して製造することができ、セラミックの製造方法を適用することができる。セラミックの製造方法を適用することで、Nd:YAGとCr:YAGが一体化されているロッドを簡便に製造することができる。Nd:YAGとCr:YAGが一体化されているロッドを用いると、パルスレーザー光放射装置を構成する光学素子の数を減らすことができ、パルスレーザー光放射装置を小型化することができ、振動等に強いパルスレーザー光放射装置を実現することができる。

Nd:YAGの端面にCr:YAGが接合されている光学素子を利用する場合、Nd:YAGの一方の端面とCr:YAGの一方の端面を接合し、Nd:YAGの非接合端面とCr:YAGの非接合面を平行とする。Nd:YAGの非接合端面に半導体レーザー光が入射すると、Cr:YAGの非接合面からパルスレーザー光が放射する関係を得ることができる。

[0021] 固体レーザー共振器の出力ミラーに凹面が形成されていると、固体レーザー光がビーム中央に集中せず、レーザー媒質や出力ミラーにダメージが発生しにくくなり、動作が安定する。

そこで、Cr:YAGの非接合面に、0.5～2mmの半径の凹面が形成

されていることが好ましい。

この場合、凹面の中心がNd : YAGの中心光軸上にあることが好ましい。

[0022] 半導体レーザー光源と固体レーザー媒質の間を光ファイバーで接続することができる。光ファイバーを利用すると、半導体レーザー光源と固体レーザー媒質を離して配置することができる。固定レーザー媒質の特性は温度に依存して変化しづらいのに対し、半導体レーザー光源の特性は温度に依存して変化しやすい。そこで、例えば温度が大きく変化するエンジンルーム内に固体レーザー媒質を配置し、温度変化幅が比較的小さな車室内に半導体レーザー光源を配置し、両者を光ファイバーで接続するといった技術が有効である。

[0023] VCSELは複数の発光点を備えており、図16と図17に示したように、各発光点から放射された半導体レーザー光をマイクロレンズでコリメートすると、半導体レーザー光を小さな範囲に集光することができる。また、図17に示したように、半導体レーザー光の共振器を構成するミラーをVCSELの外部に設けると、半導体レーザー光の放射角度範囲を狭くすることができる。上記のマイクロレンズアレイと上記のミラーを一体に形成すると、必要な部品点数を減らすことができる。

そこで、VCSELの各発光点から放射された半導体レーザー光を個々にコリメートするマイクロレンズが2次元に配列されたマイクロレンズアレイと、反射膜が一体に形成されているミラー兼マイクロレンズアレイを、VCSELとNd : YAGの間に配置する構造がとりえる。光ファイバーを利用する場合には、ミラー兼マイクロレンズアレイをVCSELと光ファイバーの間に配置する構造がとりえる。

[0024] マイクロレンズアレイを用いる場合、硬化収縮率が2%以下の紫外線硬化樹脂によってマイクロレンズアレイとVCSELを固定することが好ましい。硬化収縮率が2%以下の紫外線硬化樹脂を用いると、樹脂が硬化して収縮する際に、VCSELとマイクロレンズの距離が変化してしまうことによる

悪影響を避けることができる。

- [0025] 本明細書に記載の上記レーザー装置によって車載式の点火装置を実現することができるが、その用途は点火装置に限られない。動作温度範囲が広いパルスレーザー光放射装置自体が有用性を備えている。

発明の効果

- [0026] 本明細書に記載されている上記レーザー装置によると、20～80℃の全温度範囲においてパルスレーザー光を放射し、かつ、パルスレーザー光の放射エネルギーの変化幅が小さなパルスレーザー放射装置が得られる。そのために、上記レーザー装置を車載することが可能となり、上記レーザー装置によって燃料に点火する車載式点火装置を実現することができる。エンジン内での燃焼効率を高め、燃費を高め、排出ガスの無害化を図るといったことが可能となる。

図面の簡単な説明

- [0027] [図1]第1実施例の上記レーザー装置の構成例を示す。
[図2]第2実施例の上記レーザー装置の構成例を示す。
[図3]第3実施例の上記レーザー装置の構成例を示す。
[図4]第4実施例の上記レーザー装置の構成例を示す。
[図5]励起光学系の構成例を示す。
[図6]マイクロレンズアレイとVCSELの固定方法を例示する。
[図7]ミラー兼マイクロレンズアレイとVCSELの固定方法を例示する。
[図8]マイクロレンズアレイ固定前のVCSELと、マイクロレンズアレイ固定後のVCSELの写真を示す。
[図9]第5実施例の上記レーザー装置の構成例を示す。
[図10]Nd:YAGの吸収帯を説明する図。
[図11]20℃での発振中心波長が803.5mm以下の場合の有効吸収係数の温度依存性を示す。
[図12]20℃での発振中心波長が804.0～805.5mmの場合の有効吸収係数の温度依存性を示す。

[図13] 20℃での発振中心波長が806.0mm以上の場合の有効吸収係数の温度依存性を示す。

[図14] 有効吸収係数の変化比率と、20℃での発振中心波長の関係を示す。

[図15] 従来の半導体レーザー励起光学系の構成（その1）を示す。

[図16] 従来の半導体レーザー励起光学系の構成（その2）を示す。

[図17] 従来の半導体レーザー励起光学系の構成（その3）を示す。

発明を実施するための最良の形態

[0028] 以下に説明する実施例の特徴を先に列記する。

（形態1）車室内に半導体レーザー光源を配置し、エンジンルーム内に固体レーザー媒質を配置し、両者を光ファイバーで接続する。

（形態2）半導体レーザー光源に加熱装置を付加し、冷温時には20℃以上に加熱する。

（形態3）半導体レーザー光源に冷却ファンによる冷却風をあて、80℃以下に抑える。

（形態4）半導体レーザー光源には、電子冷却装置も水冷式冷却装置も付け加えられていない。

実施例

[0029] 以下、実施例を詳細に説明する。図1は、第1実施例の上記レーザー装置の構成例を示している。

参照番号1は、垂直共振器面発光レーザー（VCSEL）の複数個が、1平面上において2次元の行列に沿って配置されたアレイ素子（半導体レーザー光源）であり、SiC製のサブマウント2にマウントされ、サブマウント2はさらに銅製のヒートシンク3にマウントされている。ヒートシンク3は、高熱伝導性のシート21を挟んでシャーシ20にネジ止め固定されている。VCSELのアレイ素子1には、電子冷却装置も設けられていなければ、水冷式冷却装置も設けられていない。VCSELのアレイ素子1は、シャーシ20に伝熱することで80℃以下に保たれる。必要であれば、簡単な冷却ファンを設けることによってVCSELのアレイ素子1を80℃以下に保つ

ことができる。また、簡単な加熱装置と併用することによってVCSELのアレイ素子1を20℃以上に保つことができる。

[0030] VCSELのアレイ素子1は、GaAsを主材とする半導体活性層の両側に半導体多層膜が形成されており、アレイ素子1の発振中心波長はGaAsのバンドギャップと半導体多層膜の反射特性によって決まる。本実施例では、発振中心波長の温度依存性が0.07nm/℃であり、20℃における発振中心波長が、804.0～805.5nmであるVCSELを選択した。

[0031] アレイ素子1は複数個の発光点を備えており、各発光点から半導体レーザー光が放射される。第1実施例では、各発光点から放射された半導体レーザー光が共通のコリメートレンズ5でコリメートされ、集光レンズ6でNd:YAGロッド10(Nd濃度が1.1at%、外径が5mm、長さが4mm)の端面に集光される。Nd:YAGロッド10の中心光軸13上に、Cr:YAG可飽和吸収体11(Cr⁴⁺:YAG、外径が5mm、長さが3mm、1064nmにおける初期透過率が30%)と、BK7製の平面出力ミラー12が配列されている。

レンズ5, 6の両端面には、波長803～810nmに対して99%以上の透過率を有するコーティング膜が形成されている。Nd:YAGロッド10の左側の端面には、集光レンズ6で集光された半導体レーザー光が入射する。その入射端面には、1064nm(後記するパルスレーザー光の波長)に対して99.7%以上の反射率であり、803～810nmに対して95%以上の透過率を有するコーティング膜10aが形成されている。出力ミラー12の端面には、1064nmの波長に対して50%の反射率を持つコーティング膜12aが形成されている。コーティング膜10aと12aによって、1064nmに対する共振器が形成されている。Nd:YAGロッド10の右側の端面と、Cr:YAG11の両端面と、出力ミラー12の右側の端面には、1064nmに対して99%以上の透過率を有するコーティング膜が形成されており、レーザー装置全体の光の損失を低くして効率を高めている。

Nd : YAG ロッド 10 の左側の端面に、集光レンズ 6 で集光された半導体レーザー光が入射すると、その半導体レーザー光は Nd : YAG ロッド 10 で吸収され、Nd : YAG ロッド 10 が励起される。その結果、パルスレーザー光 14 が出力ミラー 12 から共振器外部に放射される。パルスレーザー光は高いエネルギー密度を備えており、エンジン内に供給された燃料に点火する。

[0032] (第2実施例)

図2は、第2実施例の上記レーザー装置の構成例を示している。以下では、第1実施例との相違点のみを説明し、重複説明を省略する。参照番号1は、VCSELのアレイ素子であり、複数個の発光点が2次元の行列に沿って配置されており、20℃における発振中心波長が804.0~805.5nmのものが選択されている。参照番号30は、VCSELのアレイ素子1の発光点から放射された半導体レーザー光をコリメートするマイクロレンズが2次元の行列に沿って配置されているマイクロレンズアレイである。マイクロレンズアレイ30は、ガラス基板上の片面に複数個のマイクロレンズが形成されたものである。発光点の配置位置とマイクロレンズの配置位置は一致しており、各々のマイクロレンズには1個の発光点から放射された半導体レーザー光が入射する。隣接する2個の発光点からの半導体レーザー光が重なり合う位置よりもアレイ素子1に近い位置にマイクロレンズアレイ30が配置されている。マイクロレンズアレイ30によると、図1に示した単一のレンズ5を使用する場合に比して、Nd : YAG ロッド 10 内の励起光集光径を細くすることができるので、固体レーザーの発振閾値を下げたり、パルスレーザー光のエネルギー密度を上げたりすることができる。また長い距離絞れるので固体レーザー光との重なりを大きくでき、励起効率や発振光率を高めることもできる。マイクロレンズアレイ30の両端面には波長803~810nmの半導体レーザー光に対して99%以上の透過率を有するコーティングが形成されている。

[0033] (第3実施例)

図3は、第3実施例の上記レーザー装置の構成例を示している。以下では、第2実施例との相違点のみを説明する。第3実施例では、半導体レーザー光源から放射された半導体レーザー光を、光ファイバー40を利用して、固体レーザー媒質51に導く。また、多結晶Nd:YAGロッド51と多結晶Cr:YAGロッド52を一体化した複合ロッド50を用いる。

第3実施例では、半導体レーザー光が集光レンズ6によって光ファイバー40の端面に集光される。光ファイバー40のコア径は0.8mmであり、NAは0.22であり、長さは3mである。光ファイバー40の他方の端面から出射した半導体レーザー光は、レンズ41でコリメートされた後、集光レンズ42で複合ロッド50の端面に集光される。

複合ロッド50は、多結晶のNd:YAGロッド51に、多結晶のCr:YAGロッド52が一体化されたものである。多結晶のNd:YAGロッド51は、セラミックの一種であり、焼成して製造する。多結晶のCr:YAGロッド52も、セラミックの一種であり、焼成して製造する。Cr:YAGロッド52を焼成する際に、Nd:YAGロッド51とCr:YAGロッド52が一体化される。Nd:YAGロッド51のNd濃度は1.5at%であり、外形は5mmであり、長さは4mmである。Cr:YAGロッド52にはCr⁴⁺が添加されており、初期透過率は30%であり、外形は5mmであり、長さは3mmである。複合ロッド50の左側端面(Nd:YAGロッド51の非接合面)と右側端面(Cr:YAGロッド52の非接合面)は、高精度に平行平面に研磨されている。Nd:YAGロッド51の非接合面には、1064nmに対して99.7%以上の反射率をもち、803~810nmに対して95%以上の透過率を有するコーティング膜50aが形成されている。Cr:YAGロッド52の非接合面には、1064nmに対して50%の反射率を持つコーティング膜50bが形成されている。コーティング膜50a、50bによって1064nmに対する共振器を形成し、パルスレーザー光14がコーティング膜50bから共振器外部に放射される。多結晶Nd:YAGロッド51のNd濃度を2.0at%にまで濃くすることが可

能であり、濃くすると有効吸収係数を全体に（803～810nmの波長にわたって）上げることができる。

[0034]（第4実施例）

図4は、第4実施例の上記レーザー装置の構成例を示している。以下では、第3実施例との相違点のみを説明する。

第4実施例では、VCSELのアレイ素子1の外側に外部ミラー31を設ける。外部ミラー31にはマイクロレンズアレイが一体化されている。外部ミラー31は合成石英製であり、VCSELのアレイ素子1の側の面に、波長803～810nmに対して90%の反射率を持つ誘電体反射膜が形成され、反対側の面にはマイクロレンズアレイが形成されている。

図5は、発光点1aと外部ミラー31とマイクロレンズ31bの位置関係と機能を説明したものである。外部ミラー31のアレイ素子1の側の面に反射膜31aが形成されている。反射膜31aは、VCSELの中に形成されている反射膜と平行であり、反射膜31aとVCSELに内蔵されている反射膜で共振器を構成する。VCSEL外の反射膜31aとVCSEL内の反射膜で共振器を構成すると、VCSEL内の2枚の反射膜で共振器を構成する場合に比して、共振器の長さが格段に長くなるため、半導体レーザー光源から放射される半導体レーザー光の放射角が小さくなり、ビームの集光性が向上する。放射された半導体レーザー光は、外部ミラー31内を伝搬してマイクロレンズ31bに至り、マイクロレンズ31bによってコリメートされる。発光点1aとマイクロレンズ31bの数と位置は、1：1に対応している。図4、図5の場合、発光点ごとにコリメートする点では図3と同じであるが、図3にくらべて共振長が長くて各ビームの集光性が高いために、集光レンズ6によって集光した後のビーム径は小さくなり、よりコアの細いファイバーへ半導体レーザー光を導入することができる。

図5の場合、VCSEL内の半導体活性層の両側に反射膜を形成し、VCSEL内の2枚の反射膜で共振器を形成するとともに、VCSEL外の反射膜31aとVCSEL内の反射膜（活性層から見て反射膜31aと反対側に

位置する反射膜)で共振器を形成することができる。前者の共振器で半導体レーザー光の発振波長を規制し、後者の共振器で半導体レーザー光の放射角を規制することができる。外部ミラーと利用しながら、発振中心波長の温度依存性を $0.07\text{ nm}/^{\circ}\text{C}$ 以下に抑制することができる。

[0035] (マイクロレンズアレイの固定構造)

図6は、図2に示したマイクロレンズアレイ30をVCSELのアレイ素子1に固定する構造を示している。アレイ素子1の各発光点位置に相對するようにマイクロレンズアレイ30を位置合わせし(すなわち、VCSELの発光点とマイクロレンズの光軸位置をアライメントする)、それらの間隔をマイクロレンズ通過後の半導体レーザー光がコリメートされるように調整した後、アレイ素子1とマイクロレンズアレイ30の間の3か所の隅部に微量の紫外線(UV)硬化樹脂接着剤60を挿入し、UV光を照射して硬化させ、マイクロレンズアレイ30をVCSELのアレイ素子1に対して固定する。例えば、焦点距離が 0.1 mm のマイクロレンズが形成されたマイクロレンズアレイを、アレイ素子1から約 0.1 mm 離れた位置に固定する。UV照射による収縮率が2%以下の紫外線硬化樹脂接着剤を用いると、硬化時に樹脂が収縮してVCSELのアレイ素子1とマイクロレンズアレイ30の距離が変化してしまうことを避けることができる。収縮率2%以下の紫外線硬化接着剤には、例えば、EMI社の3555、日東電工(株)のNT-01UV、NORLAND社のNOA61、あるいはNTTアドバンステクノロジ(株)のAT4291FやAT9290Fを使用することができる。この実施例のようにアレイ素子1の半導体基板に直接マイクロレンズアレイ30を紫外線硬化樹脂で固定すると、温度変化に対する位置ずれが接着剤60の温度膨張収縮による影響だけになり、サブマウント2やその他の部品の膨張収縮の影響を受けないため、広い温度範囲にわたり安定した動作を得ることができる。またマイクロレンズアレイ30を固定するための特別な土台やホルダー、固定用のスペースが必要ないため、部品点数が減りコストの低減や小型化が可能になる。

[0036] (マイクロレンズアレイ付きの外部ミラーの固定構造)

図7は、図4と図5に示したマイクロレンズアレイ付きの外部ミラー31をアレイ素子1に固定する構造を示している。図7の実施例でも、外部ミラー31とアレイ素子1を、紫外線硬化樹脂接着剤60によって固定する。

[0037] 図8の左側は、マイクロレンズアレイ30を固定する前のアレイ素子1の写真を示し、右側はマイクロレンズアレイ30を固定した後の写真を示す。図8では、5mm角のマイクロレンズアレイ30の4隅に接着剤を挿入、アレイ素子1を構成している半導体基板とマイクロレンズアレイ30を固定している。

[0038] (第5実施例)

図9は、第5実施例の上記レーザー装置の構成例を示している。以下では、図4に示した第4実施例との相違点のみを説明する。

C r : Y A G の非接合端面 (パルスレーザー光の放射面) には、半径 1 mm の凹面が加工され、1064 nm の波長の光に対して 50% の反射率を持つコーティング膜 55 b が形成され、コーティング膜 55 a と 55 b で 1064 nm に対する共振器 55 を形成している。凹面の中心点は、N d : Y A G 51 の中心光軸 13 上にある。コーティング膜 55 b が形成されている端面からパルスレーザー光 14 が共振器外部に放射される。

C r : Y A G の非接合端面 (パルスレーザー光の放射面) に凹面が形成されていると、レーザー光がビーム中央に集中せず、固体レーザー媒質や出力ミラーにダメージが発生しにくい。凹面の半径は、0.5 ~ 2 mm の範囲であることが好ましい。

[0039] 本発明は上記実施例に限定されるものではなく、固体レーザーモジュールとして一体化して動作する最終的な形態として、図1~図9に例示する構成に対して種々に変形することができる。例えば、個々の部品形状、種類、コーティング膜の反射率には種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。励起光学系としての集光レンズについては励起用半導体レーザー素子や光ファイバーのコア径と必要とされる集光ビーム径

から適切に選択される。また、この集光レンズは1個でも良いし複数直列に並べても良い。

本発明の実施例ではレーザー共振器内に光スイッチ素子としてCr:YAGを用いたが、これ以外にCo:Spinel、V:YAGや半導体材料であるSAMを用いてもよい。また能動Qスイッチ素子や偏光制御素子、レンズなどを挿入しても良い。もちろん固体レーザー媒質Nd:YAGのみでもよい。必要な機能に合わせ適当な光学素子を共振器内に必要な枚数、必要な順番で挿入することができる。

またサブマウント2の材質は、SiCに限定されず、CuW、ダイヤモンド、BeO、AlNなど、VCSELのアレイ素子1と線熱膨張係数の近くで熱伝導率の高い金属、セラミックが適用できる。ヒートシンク3の材質は、銅に限定されず、CuW、アルミニウム、AlNなど熱伝導率の高い金属、セラミックが使用できる。高熱伝導性のシート21には、例えば、パナソニックデバイス社のグラファイトシートや竹内工業（株）のサーモスター、信越化学工業製の熱伝導性フェイズチェンジシート、信越シリコーンの放熱シリコーンゴム等を利用することができる。シャーシ20は、例えば自動車の金属ボディや、レーザー装置の筐体や、建造物の壁でもよい。あるいは金属ブロックだけでもよいし、そこに放熱用のフィンや冷却のファンが取り付けられていてもよい。半導体レーザー素子を特定の温度に制御、固定する必要がないため、半導体レーザー素子で発生した熱が排熱できるだけの熱容量を持つシャーシであれば何でもよい。

[0040] なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

本明細書または図面に説明した技術要素は、単独であるいは各種の組合せによって技術的有用性を発揮するものであり、出願時の請求項に記載の組合せに限定されるものではない。また、本明細書または図面に例示した技術は複数目的を同時に達成するものであり、そのうちの一つの目的を達成するこ

と自体で技術的有用性を持つものである。

符号の説明

- [0041] 1 : 垂直共振器面発光レーザー (VCSEL) のアレイ素子。20℃における発振中心波長が804.0～805.5nmのものが選択されている。
- 2 : サブマウント
- 3 : ヒートシンク
- 5 : レンズ (コリメート用)
- 6 : レンズ (集光用)
- 7 : 半導体レーザー光 (励起光)
- 10 : Nd : YAG ロッド
- 10a : コーティング膜
- 11 : Cr : YAG
- 12 : 出力ミラー
- 12a : コーティング膜
- 13 : 固体レーザーの光軸
- 14 : パルスレーザー光 : 固体レーザー出力光
- 20 : シャーシ
- 21 : 高熱伝導性シート
- 30 : マイクロレンズアレイ
- 31 : 外部ミラー (マイクロレンズアレイ付き)
- 31a : コーティング膜
- 31b : マイクロレンズ
- 40, 45 : 光ファイバー
- 41 : レンズ (コリメート用)
- 42 : レンズ (集光用)
- 50 : 複合ロッド
- 50a, 50b : コーティング膜
- 51 : 多結晶Nd : YAG (セラミック)

52 : 多結晶Cr : YAG (セラミック)

55 : 複合ロッド

55a, 55b : コーティング膜

56 : 多結晶Nd : YAG (セラミック)

57 : 多結晶Cr : YAG (セラミック)

60 : 紫外線 (UV) 硬化樹脂接着剤

101 : VCSELのアレイ素子。波長808nmの半導体レーザー光を放射する温度に調温される。

102 : サブマウント (ヒートスプレッダー)

105 : レンズ (コリメート用)

106 : レンズ (集光用)

107 : 半導体レーザー光 : 励起光

110 : Nd : YAGロッド

110a : コーティング膜

111 : Cr : YAG

112 : 出力ミラー

112a : コーティング膜

113 : 固体レーザー光軸

115 : ブリュースター板

130 : マイクロレンズアレイ

131 : 外部ミラー

140 : 光ファイバー

請求の範囲

- [請求項1] 半導体レーザー光源と、その半導体レーザー光源が放射した半導体レーザー光で励起されて燃料点火用のパルスレーザー光を放射する固体レーザー媒質を備えており、
- 前記固体レーザー媒質は、ネオジムを含有するイットリウム・アルミニウム・ガーネット（Nd：YAG）であり、
- 前記半導体レーザー光源は、活性層の両側に多層膜が形成されている垂直共振器面発光レーザー素子（VCSEL）が2次元に配列されたアレイ素子を備えており、20℃における発振中心波長が804.0～805.5nmであり、発振中心波長の温度依存性が0.07nm/℃以下であることを特徴とする車載用点火装置。
- [請求項2] 前記固体レーザー媒質が、1.1～2.0at%のネオジムを含有する多結晶のNd：YAGであることを特徴とする請求項1に記載の点火装置。
- [請求項3] 前記固体レーザー媒質の端面に、クロムを含有する多結晶のイットリウム・アルミニウム・ガーネット（Cr：YAG）が接合されており、
- Nd：YAGの非接合端面とCr：YAGの非接合面が平行であり、
- Nd：YAGの非接合端面に半導体レーザー光が入射し、
- Cr：YAGの非接合面からパルスレーザー光が放射することを特徴とする請求項1または2に記載の点火装置。
- [請求項4] Cr：YAGの非接合面に、0.5～2mmの半径の凹面が形成されていることを特徴とする請求項3に記載の点火装置。
- [請求項5] 前記半導体レーザー光源と前記固体レーザー媒質の間に、半導体レーザー光源から放射された半導体レーザー光を固体レーザー媒質に導く光ファイバーが配置されていることを特徴とする請求項1から4のいずれかの1項に記載の点火装置。

[請求項6] 前記VCSELと前記Nd:YAGの間、または前記VCSELと前記光ファイバーの間に、VCSELの各発光点から放射された半導体レーザー光を個々にコリメートするマイクロレンズが2次元に配列されたマイクロレンズアレイと反射膜が一体に形成されているミラー兼マイクロレンズアレイが配置されていることを特徴とする請求項1から5のいずれかの1項に記載の点火装置。

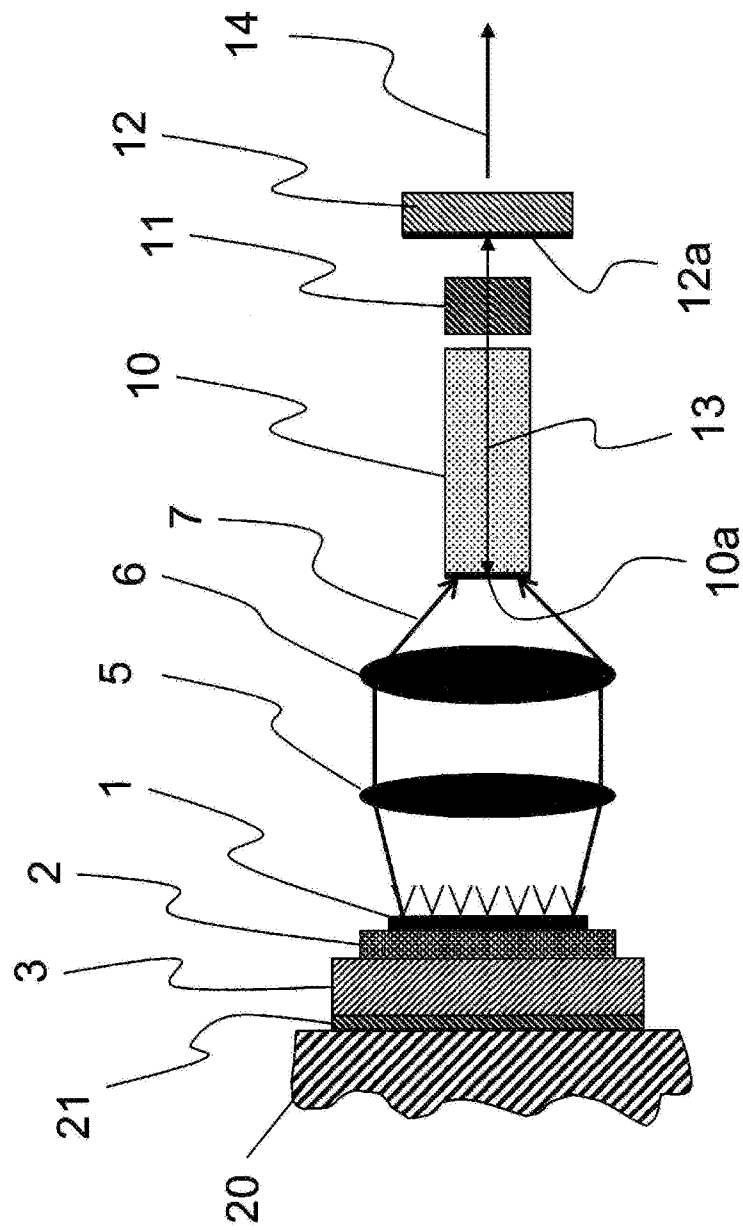
[請求項7] 前記VCSELと、前記VCSELの各発光点から放射された半導体レーザー光を個々にコリメートするマイクロレンズが2次元に配列されたマイクロレンズアレイが、硬化収縮率が2%以下の紫外線硬化樹脂によって固定されていることを特徴とする請求項1から6のいずれかの1項に記載の点火装置。

[請求項8] 半導体レーザー光源と、その半導体レーザー光源が放射した半導体レーザー光で励起されてパルスレーザー光を放射する固体レーザー媒質を備えており、

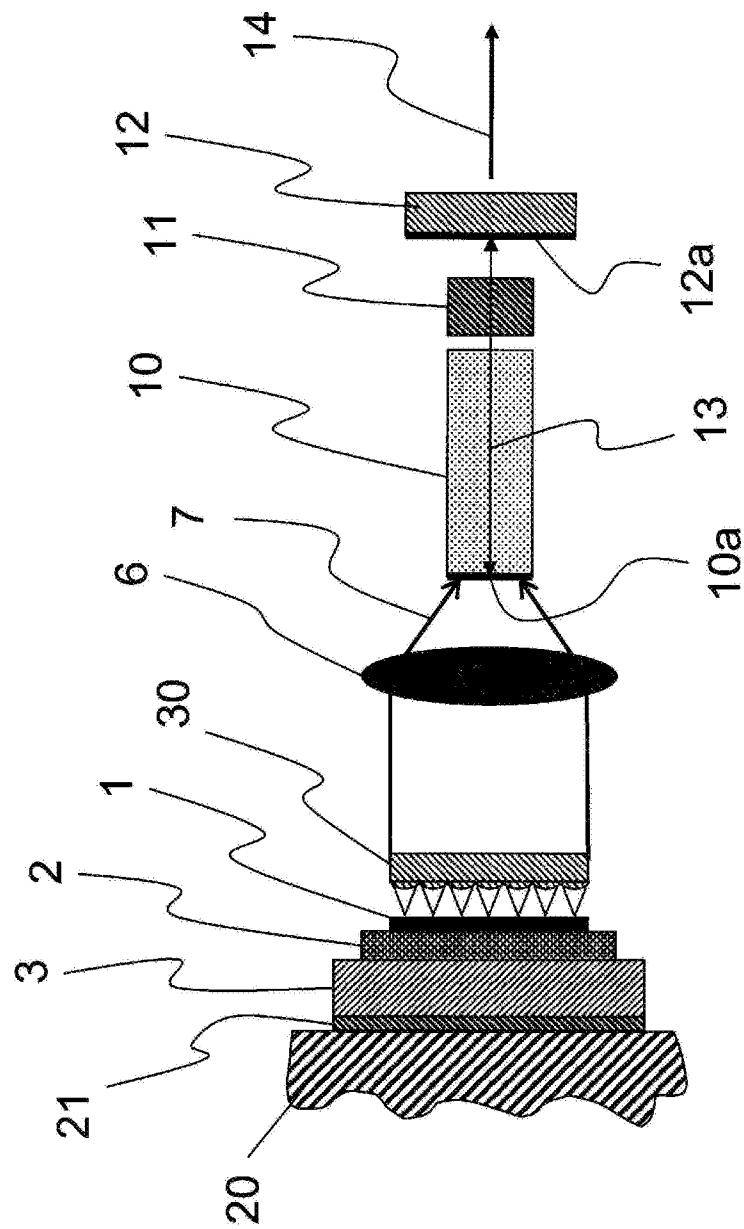
前記固体レーザー媒質は、ネオジムを含有するイットリウム・アルミニウム・ガーネット(Nd:YAG)であり、

前記半導体レーザー光源は、活性層の両側に多層膜が形成されている垂直共振器面発光レーザー素子(VCSEL)が2次元に配列されたアレイ素子を備えており、20℃における発振中心波長が804.0~805.5nmであり、発振中心波長の温度依存性が0.07nm/℃以下であることを特徴とするパルスレーザー光放射装置。

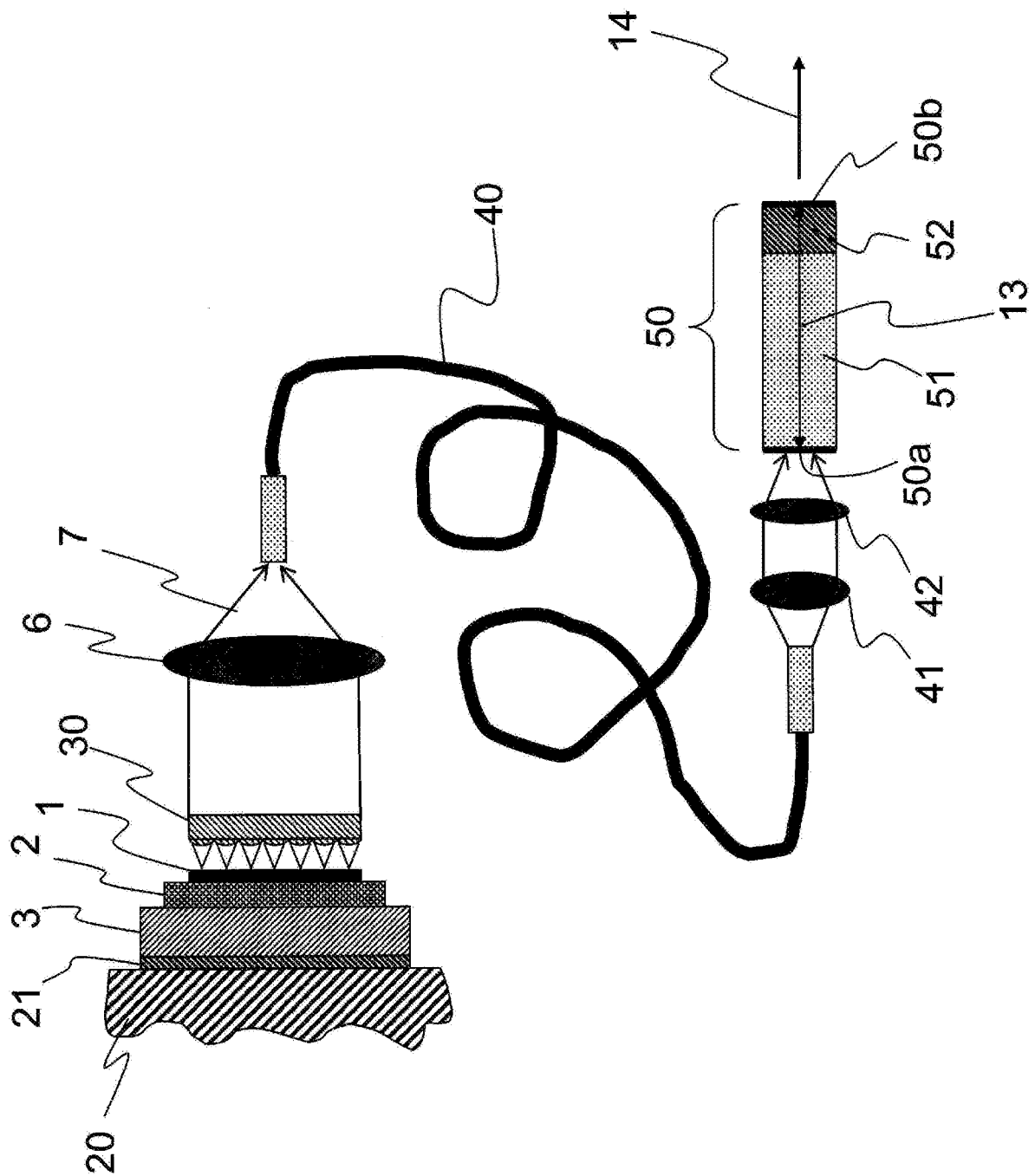
[図1]



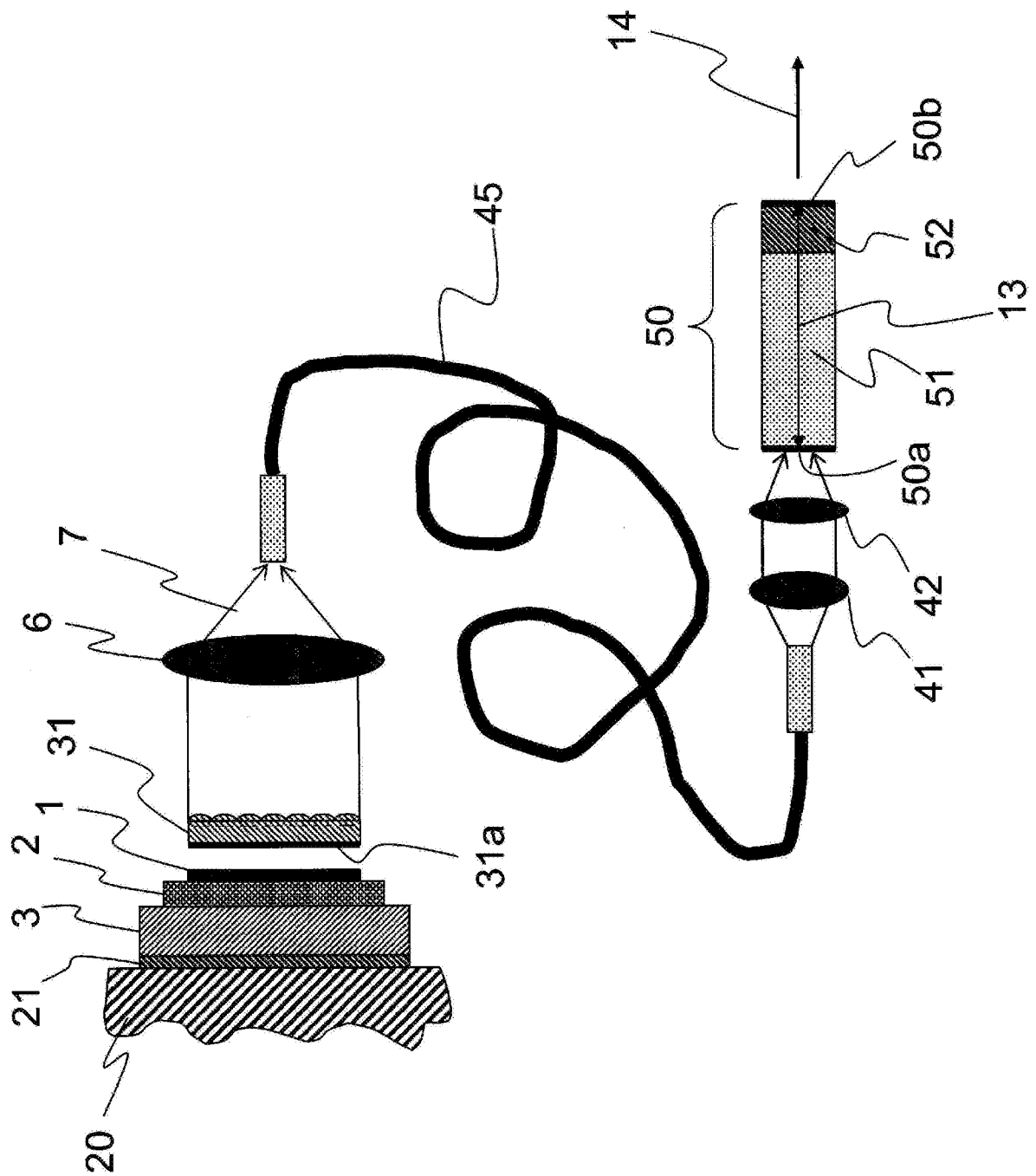
[図2]



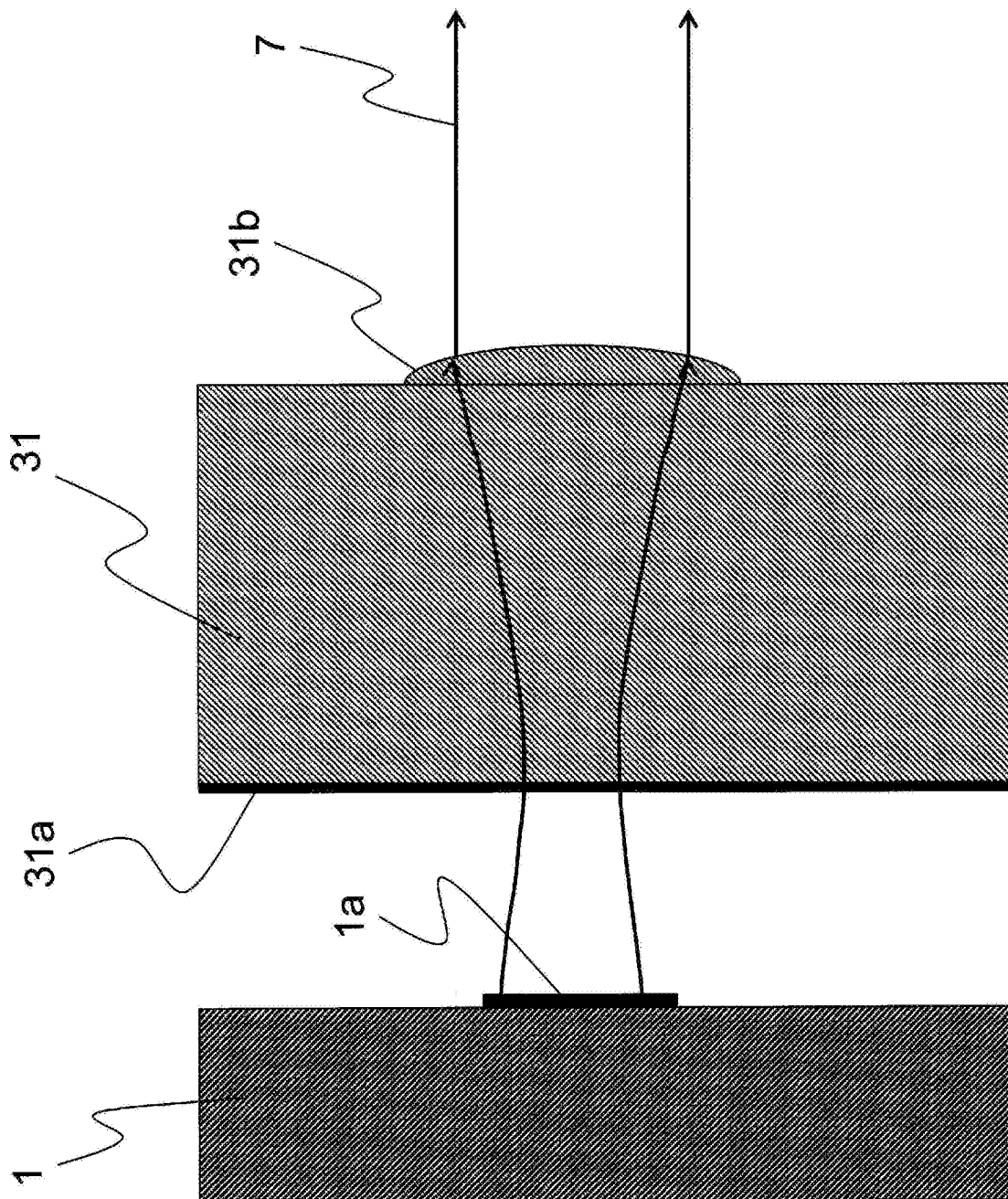
[図3]



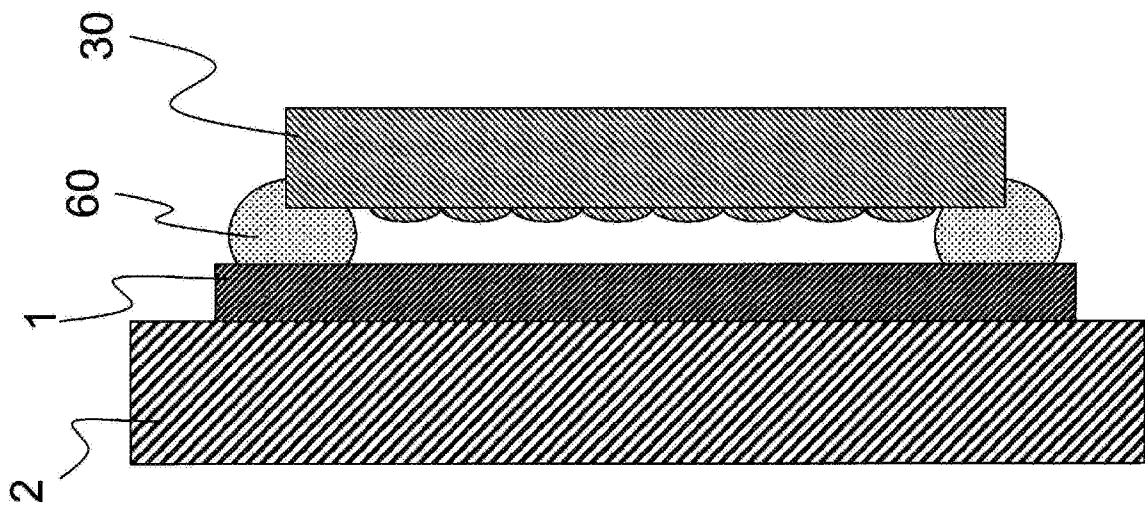
[図4]



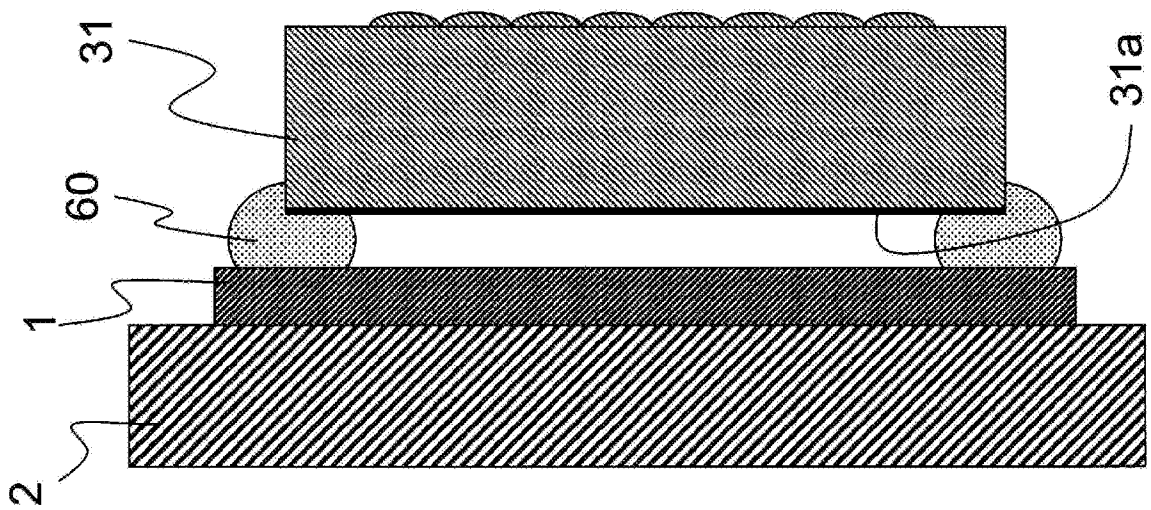
[図5]



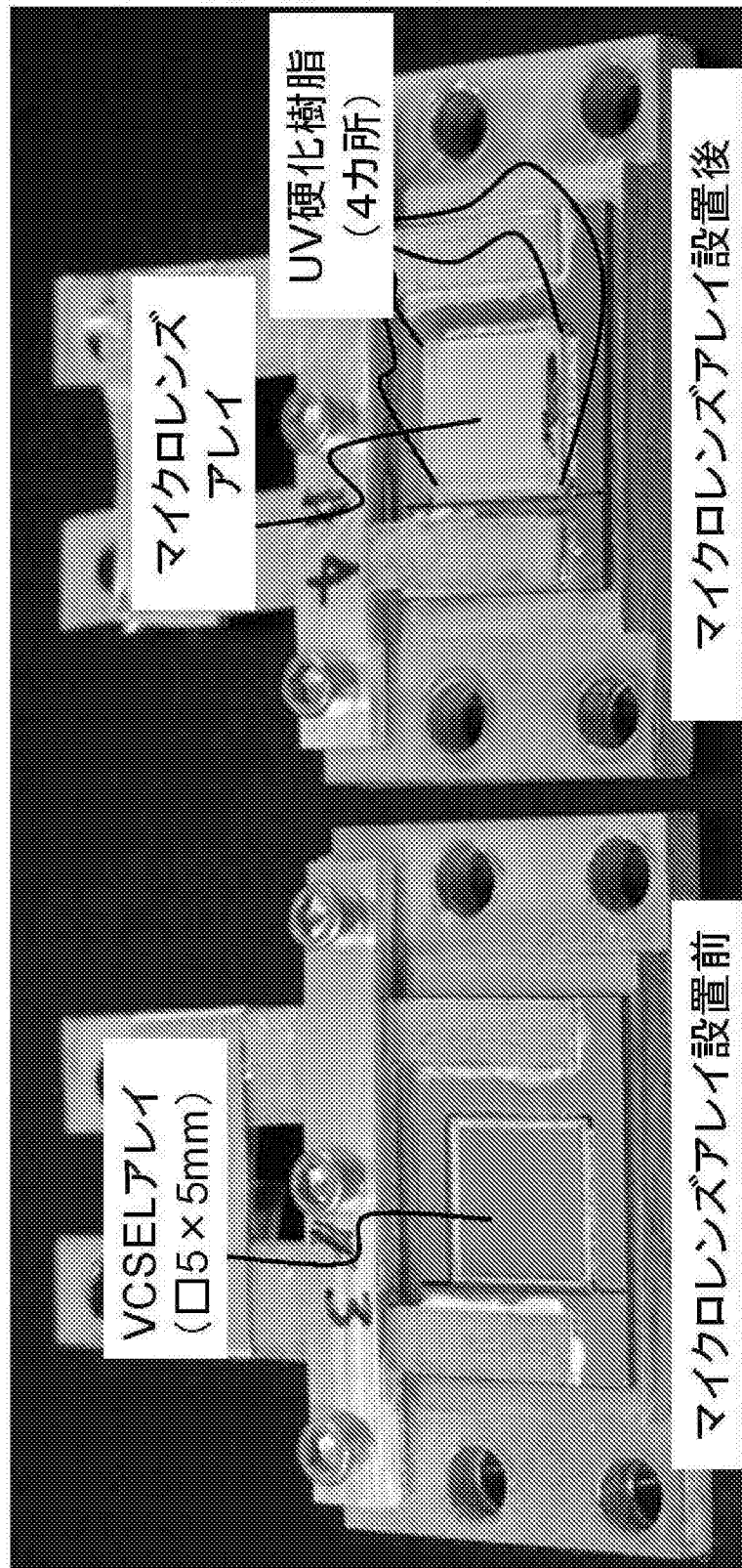
[図6]



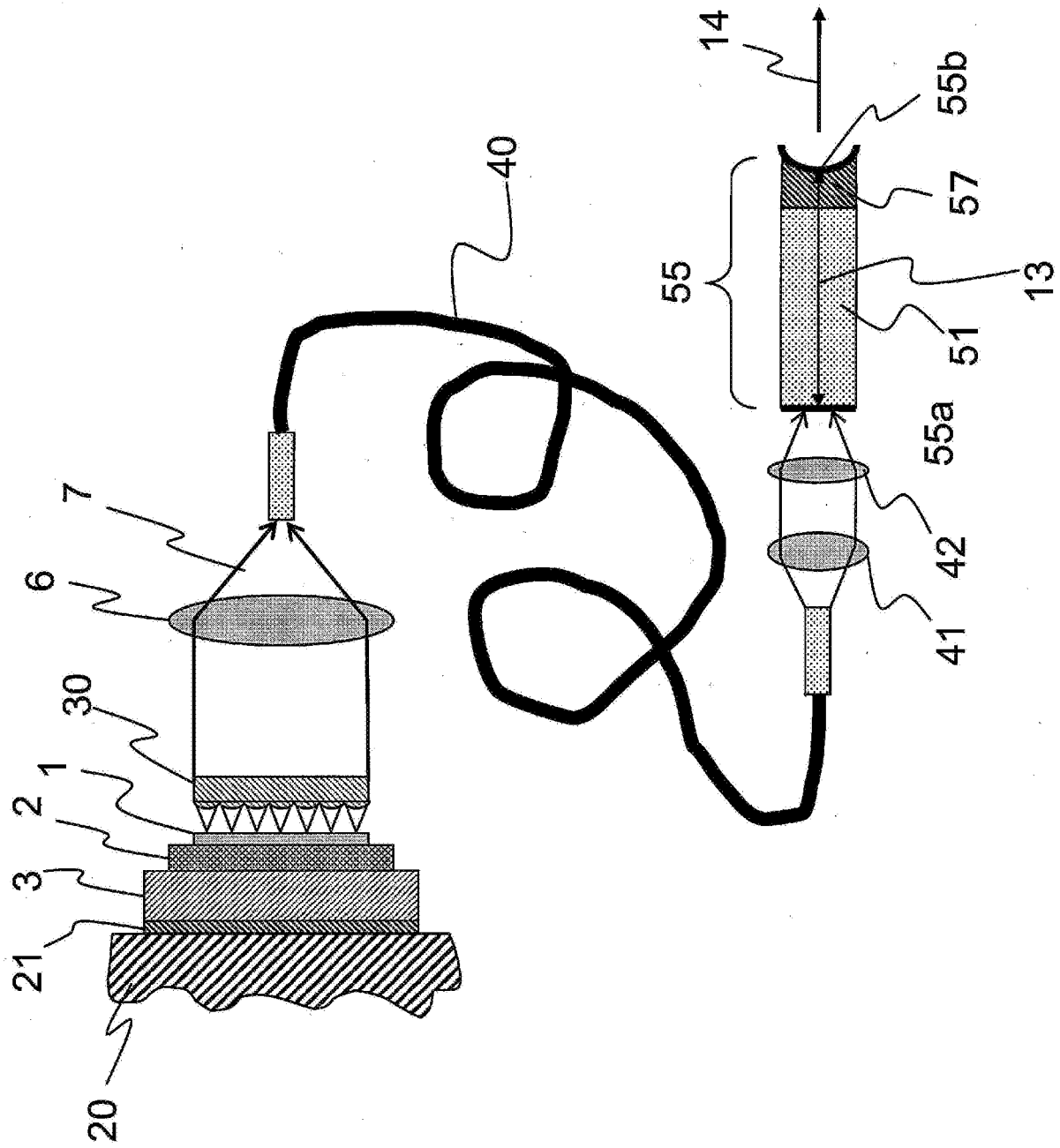
[図7]



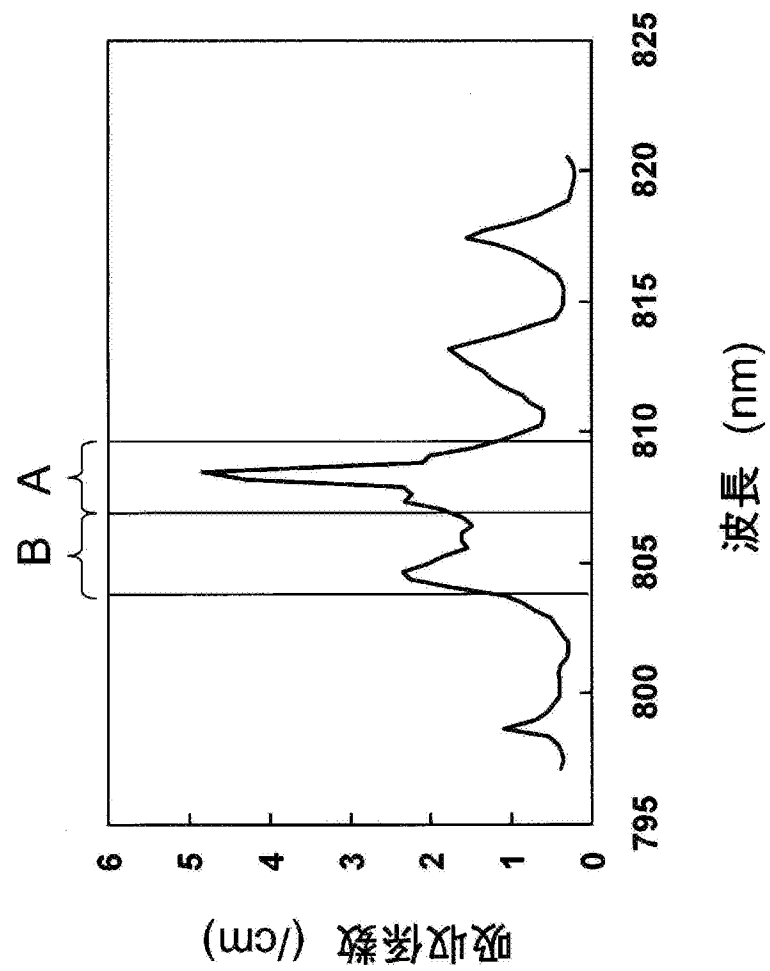
[図8]



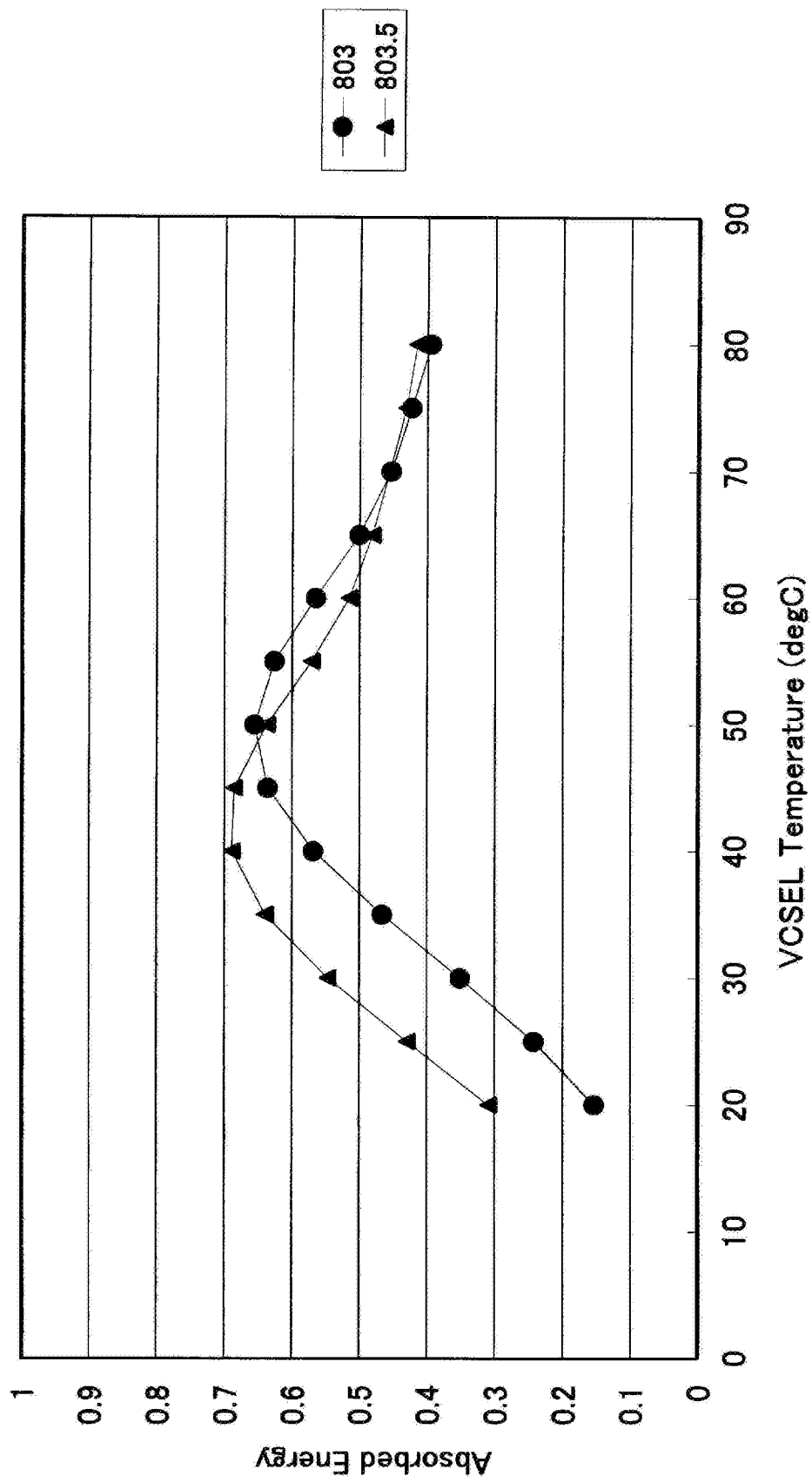
[図9]



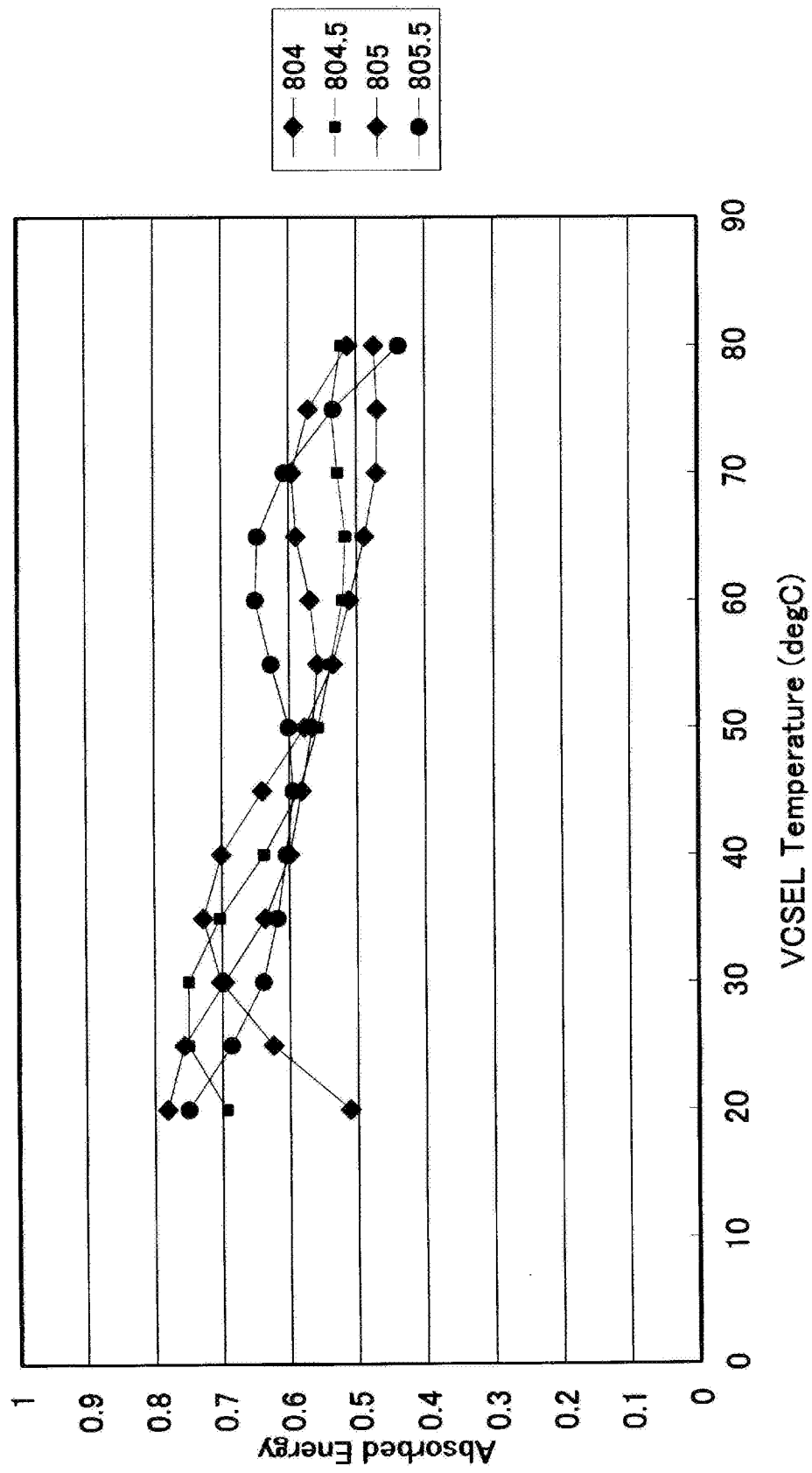
[図10]



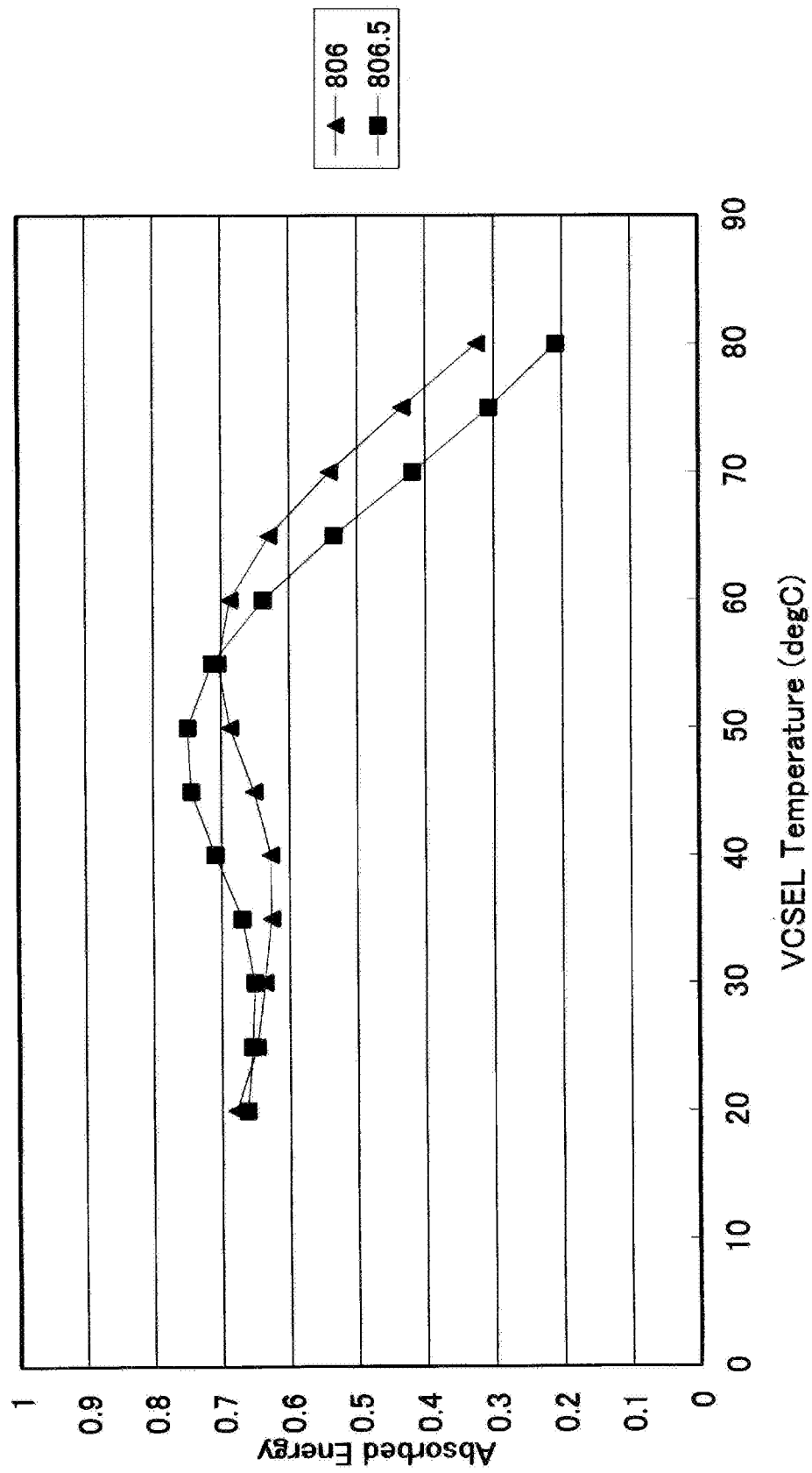
[図11]



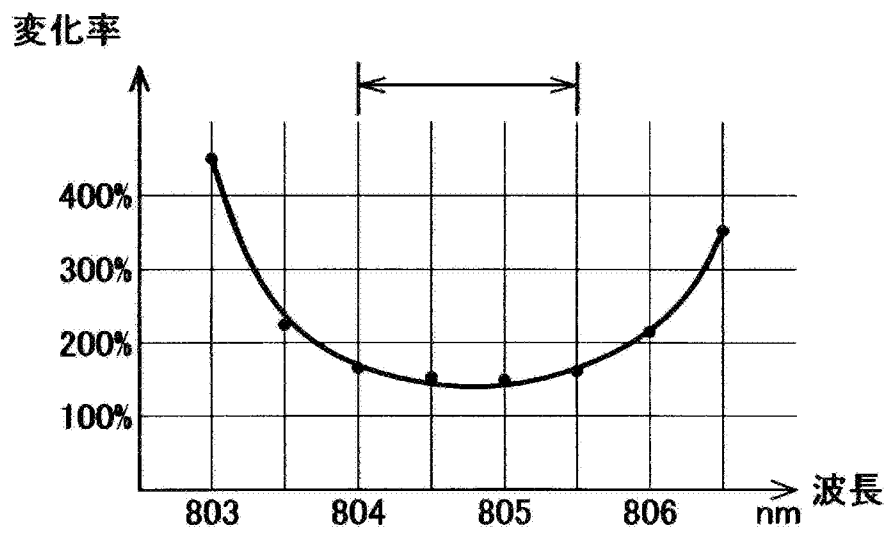
[図12]



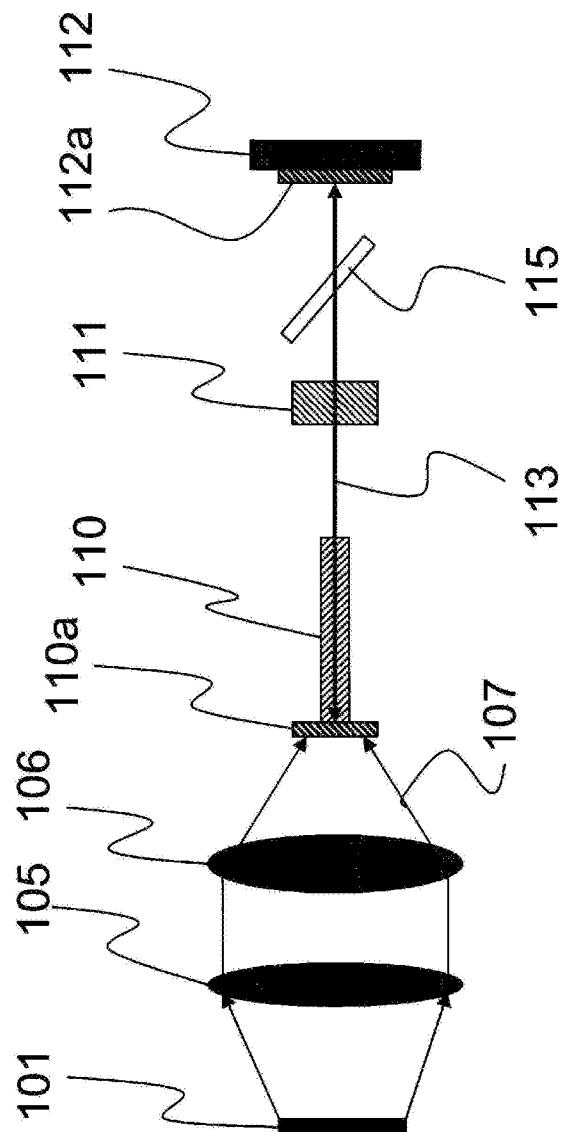
[図13]



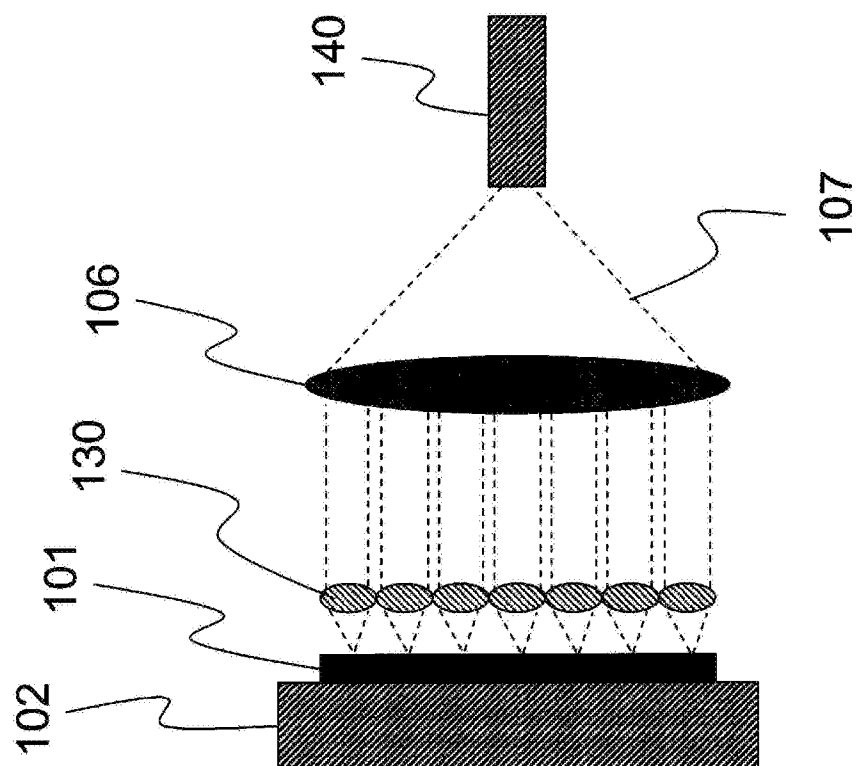
[図14]



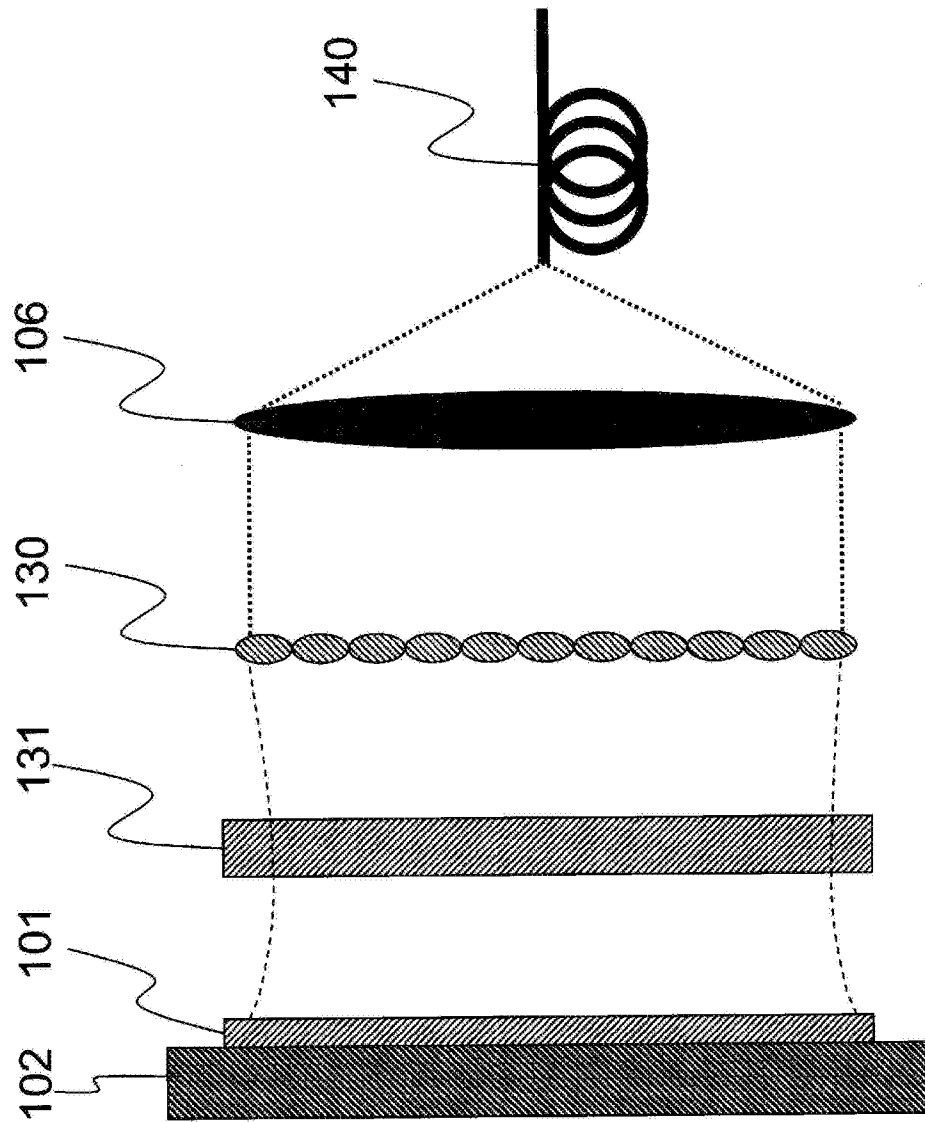
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/055829

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/0941(2006.01)i, F02P23/04(2006.01)i, G02B6/42(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, H01S5/022(2006.01)i, H01S5/183(2006.01)i, H01S5/42(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)

H01S3/00-5/50

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

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

Google Scholar, Optics InfoBase, SPIE Digital Library

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2012/048965 A1 (ROBERT BOSCH GMBH), 19 April 2012 (19.04.2012), page 1, line 25 to page 2, line 6; page 7, line 7 to page 10, line 17; fig. 1 to 4 & EP 2627894 A & DE 102010042453 A & CN 103154502 A & US 2013/0255613 A1 & JP 2013-545280 A	1-8
Y	L. Goldberg, et al., VCSEL end-pumped passively Q-switched Nd:YAG laser with adjustable pulse energy, Optics Express, 2011.02.28, Vol. 19, No. 5, pp.4261-4267	1-8

☒ 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 May, 2014 (16.05.14)

Date of mailing of the international search report
03 June, 2014 (03.06.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/055829

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 10-511227 A (The Morgan Crucible Company PLC), 27 October 1998 (27.10.1998), page 21, line 14 to page 22, line 11; fig. 15 & US 5590147 A & EP 799511 A & WO 1996/019855 A1 & CA 2208000 A	1-8
Y	Brian Cole, et al., Compact VCSEL pumped Q-switched Nd:YAG lasers, Proceedings of SPIE, 2012.01.21, Vol. 8235, 823500, pp.1-7	1-8
Y	JP 9-181376 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 11 July 1997 (11.07.1997), paragraphs [0039] to [0041] (Family: none)	1-8
Y	JP 2003-198018 A (Communications Research Laboratory), 11 July 2003 (11.07.2003), entire text; all drawings & US 2003/0185264 A1 & US 2005/0135452 A1 & EP 1324440 A2	1-8
Y	JP 5-301770 A (Kurosaki Corp.), 16 November 1993 (16.11.1993), entire text; all drawings (Family: none)	2-4
Y	JP 8-332587 A (Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.), 17 December 1996 (17.12.1996), paragraphs [0010], [0013] to [0014]; fig. 3 (Family: none)	4
Y	JP 5-41167 U (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 01 June 1993 (01.06.1993), paragraph [0005]; fig. 5 (Family: none)	4
Y	J-F. Seurin, et al., High-brightness pump sources using 2D VCSEL arrays, Proceedings of SPIE, 2010.01.23, Vol. 7615, 76150F, pp.1-9	6
Y	JP 2007-528130 A (Intel Corp.), 04 October 2007 (04.10.2007), paragraphs [0050] to [0054]; fig. 7 & US 2006/0029112 A1 & US 2007/0189350 A1 & EP 1735681 A & WO 2005/098573 A1 & CN 1950781 A & AT 442687 T	6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/055829

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 2004-311861 A (Sony Corp.), 04 November 2004 (04.11.2004), entire text; all drawings (Family: none)	7
Y	JP 2005-109403 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 21 April 2005 (21.04.2005), paragraph [0047] (Family: none)	7
A	JP 2011-127529 A (Inter-University Research Institute Corporation National Institutes of Natural Sciences), 30 June 2011 (30.06.2011), entire text; all drawings & US 2011/0150026 A1	1-8
A	JP 2009-252910 A (Shimadzu Corp.), 29 October 2009 (29.10.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/0941(2006.01)i, F02P23/04(2006.01)i, G02B6/42(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i,
H01S5/022(2006.01)i, H01S5/183(2006.01)i, H01S5/42(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. H01S3/00-5/50

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

Google Scholar, Optics InfoBase, SPIE Digital Library

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
Y	WO 2012/048965 A1 (ROBERT BOSCH GMBH) 2012.04.19, 第1頁第25行-第2頁第6行, 第7頁第7行-第10頁 第17行, 第1-4図 & EP 2627894 A & DE 102010042453 A & CN 103154502 A & US 2013/0255613 A1 & JP 2013-545280 A	1-8
Y	L. Goldberg, et al., VCSEL end-pumped passively Q-switched Nd:YAG laser with adjustable pulse energy, Optics Express, 2011.02.28, Vol. 19, No. 5, pp.4261-4267	1-8

☒ 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

1 6 . 0 5 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 3 . 0 6 . 2 0 1 4

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 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

古田 敦浩

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 4

2 X

5 2 6 3

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 10-511227 A (ザ・モーガン・クルーシブル・カンパニー・ピー エルシー) 1998.10.27, 第21頁第14行-第22頁第11行, 図15 & US 5590147 A & EP 799511 A & WO 1996/019855 A1 & CA 2208000 A	1-8
Y	Brian Cole, et al., Compact VCSEL pumped Q-switched Nd:YAG lasers, Proceedings of SPIE, 2012.01.21, Vol. 8235, 823500, pp. 1-7	1-8
Y	JP 9-181376 A (三菱重工業株式会社) 1997.07.11, 段落【0039】-【0041】 (ファミリーなし)	1-8
Y	JP 2003-198018 A (独立行政法人通信総合研究所) 2003.07.11, 全文, 全図 & US 2003/0185264 A1 & US 2005/0135452 A1 & EP 1324440 A2	1-8
Y	JP 5-301770 A (黒崎窯業株式会社) 1993.11.16, 全文, 全図 (ファミリーなし)	2-4
Y	JP 8-332587 A (住友金属鉱山株式会社) 1996.12.17, 段落【0010】, 【0013】-【0014】, 図3 (ファミリーなし)	4
Y	JP 5-41167 U (石川島播磨重工業株式会社) 1993.06.01, 段落【0005】, 図5 (ファミリーなし)	4
Y	J-F. Seurin, et al., High-brightness pump sources using 2D VCSEL arrays, Proceedings of SPIE, 2010.01.23, Vol. 7615, 76150F, pp. 1-9	6
Y	JP 2007-528130 A (インテル・コーポレーション) 2007.10.04, 段落【0050】-【0054】, 図7 & US 2006/0029112 A1 & US 2007/0189350 A1 & EP 1735681 A & WO 2005/098573 A1 & CN 1950781 A & AT 442687 T	6
Y	JP 2004-311861 A (ソニー株式会社) 2004.11.04, 全文, 全図 (ファミリーなし)	7
Y	JP 2005-109403 A (富士写真フイルム株式会社) 2005.04.21, 段落【0047】 (ファミリーなし)	7

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
A	JP 2011-127529 A (大学共同利用機関法人自然科学研究機構) 2011.06.30, 全文, 全図 & US 2011/0150026 A1	1-8
A	JP 2009-252910 A (株式会社島津製作所) 2009.10.29, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-8