

(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6月8日(08.06.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/094778 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/113 (2006.01) H01S 3/0941 (2006.01)
F02P 23/04 (2006.01) H01S 5/42 (2006.01)
H01S 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/085559
- (22) 国際出願日: 2016年11月30日(30.11.2016)
- (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 2015-235435 2015年12月2日(02.12.2015) JP
特願 2016-092223 2016年5月2日(02.05.2016) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社リコー(RICOH COMPANY, LTD.) [JP/JP]; 〒1438555 東京都大田区中馬込一丁目3番6号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (71) 出願人(米国についてのみ): 池應 敏行(IKEOH, Toshiyuki) [JP/JP]; 〒1438555 東京都大田区中馬込一丁目3番6号 株式会社リコー内 Tokyo (JP). 萩田 健太郎(HAGITA, Kentaroh) [JP/JP]; 〒1438555 東京都大田区中馬込一丁目3番6号

株式会社リコー内 Tokyo (JP). 軸谷 直人(JIKUTANI, Naoto) [JP/JP]; 〒1438555 東京都大田区中馬込一丁目3番6号 株式会社リコー内 Tokyo (JP). 東 康弘(HIGASHI, Yasuhiro) [JP/JP]; 〒1438555 東京都大田区中馬込一丁目3番6号 株式会社リコー内 Tokyo (JP). 泉谷 一磨(IZUMIYA, Kazuma) [JP/JP]; 〒1438555 東京都大田区中馬込一丁目3番6号 株式会社リコー内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 伊東 忠重, 外(ITO, Tadashige et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号 丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 16階 Tokyo (JP).

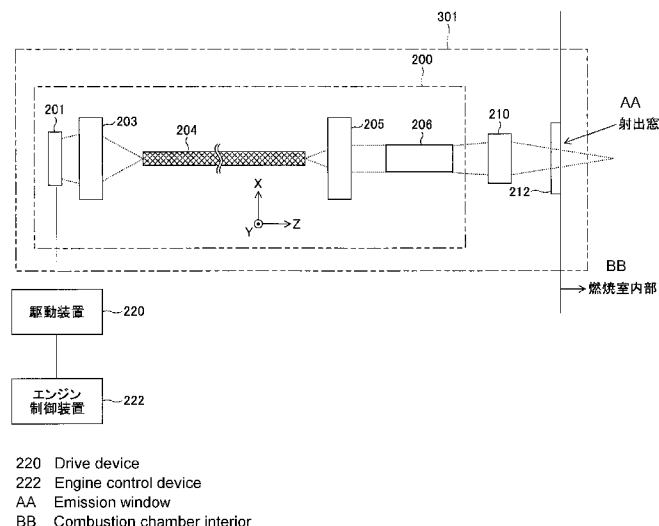
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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.

[続葉有]

(54) Title: LASER DEVICE, IGNITION DEVICE, AND INTERNAL COMBUSTION ENGINE

(54) 発明の名称: レーザ装置、点火装置及び内燃機関

[図2]



220 Drive device
222 Engine control device
AA Emission window
BB Combustion chamber interior

(57) Abstract: A laser device is provided with a surface light-emitting laser array, a first condensing optical system, an optical fiber, a second condensing optical system, and a laser resonator. The light from the surface light-emitting laser array is made incident on the laser resonator via the first condensing optical system, the optical fiber, and the second condensing optical system. The laser resonator is a Q-switch laser, and has a laser medium and a saturable absorber. The beam waist diameter r of the light (excitation light) irradiated on the laser resonator is set so as to satisfy the relationship, in relation to the initial transmittance T_0 of the saturable absorber, of $7.75 \times T_0^4 - 7.77 \times T_0^3 + 3.13 \times T_0^2 + 0.16 \times T_0 + 0.74 \leq r \leq 2.62 \times T_0 + 0.675$.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2017/094778 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

レーザ装置は、面発光レーザアレイ、第 1 集光光学系、光ファイバ、第 2 集光光学系、レーザ共振器を備えている。面発光レーザアレイからの光は、第 1 集光光学系、光ファイバ、第 2 集光光学系を介して、レーザ共振器に入射される。レーザ共振器は、Q スイッチレーザであり、レーザ媒質及び可飽和吸収体を有している。レーザ共振器に照射される光 (励起光) のビームウエスト直径 r は、可飽和吸収体の初期透過率 T_0 に対して、 $7.75 \times T_0^4 - 7.77 \times T_0^3 + 3.13 \times T_0^2 + 0.16 \times T_0 + 0.74 \leq r \leq 2.62 \times T_0 + 0.675$ 、の関係を満たすように設定されている。

明 細 書

発明の名称： レーザ装置、点火装置及び内燃機関

技術分野

[0001] 本発明は、レーザ装置、点火装置及び内燃機関に係り、更に詳しくは、レーザ共振器を有するレーザ装置、該レーザ装置を有する点火装置、及び該点火装置を備える内燃機関に関する。

背景技術

[0002] 光励起によって発振するレーザ媒質を用いたレーザ装置は、点火装置、レーザ加工機、医療用機器など様々な分野への応用が期待されている。

[0003] 例えば、特許文献1には、レーザ活性固体及びQスイッチ回路を有するレーザ装置と、該レーザ装置を光ポンピングするポンプ光源とを備えた内燃機関用のレーザ点火装置が開示されている。

[0004] また、特許文献2には、半導体レーザ光源と、その半導体レーザ光源が放射した半導体レーザ光で励起されて燃料点火用のパルスレーザ光を放射する固体レーザ媒質を備えている車載用点火装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特表2013-545280号公報

特許文献2：特開2014-192166号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、励起用光源に半導体レーザを用いた従来のレーザ装置では、高いレーザ出力と高い発振効率とを両立させることが困難であった。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明は、半導体レーザを含む光源装置と、前記光源装置からの光が照射され、可飽和吸収体を含むレーザ共振器とを備え、前記レーザ共振器に照射される光のビームウエスト直径 r が、前記可飽和吸収体の初期透過率 T_0 に対

して、 $7.75 \times T_0^4 - 7.77 \times T_0^3 + 3.13 \times T_0^2 + 0.16 \times T_0 + 0.74 \leq r \leq 2.62 \times T_0 + 0.675$ の関係を満足するレーザ装置である。

発明の効果

[0008] 本発明のレーザ装置によれば、高いレーザ出力と高い発振効率とを両立させることができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の一実施形態に係るエンジン300の概略を説明するための図である。

[図2]点火装置301を説明するための図である。

[図3]レーザ共振器206を説明するための図である。

[図4]面発光レーザアレイを説明するための図である。

[図5]第2集光光学系を説明するための図である。

[図6]励起光を説明するための図である。

[図7]可飽和吸収体の初期透過率が一定の場合における、励起光のビームウエスト径とレーザ共振器から出力される1パルスあたりのエネルギーとの関係を説明するための図である。

[図8]可飽和吸収体の初期透過率が一定の場合における、励起光のビームウエスト径とレーザ共振器での発振効率との関係を説明するための図である。

[図9]励起光のビームウエスト径が一定の場合における、可飽和吸収体の初期透過率とレーザ共振器から出力される1パルスあたりのエネルギーとの関係を説明するための図である。

[図10]励起光のビームウエスト径が一定の場合における、可飽和吸収体の初期透過率とレーザ共振器での発振効率との関係を説明するための図である。

[図11]可飽和吸収体の初期透過率と励起光のビームウエスト径との関係における、レーザ共振器から出力される1パルスあたりのエネルギーとレーザ共振器での発振効率とがいずれも高い領域を説明するための図である。

[図12]可飽和吸収体の初期透過率と励起光のビームウエスト径との関係にお

ける、レーザ共振器から出力される１パルスあたりのエネルギーが２．０ｍＪ以上となる領域を説明するための図である。

[図13]可飽和吸収体の初期透過率と励起光のビームウエスト径との関係における、レーザ共振器での発振効率が１５％以上となる領域を説明するための図である。

[図14]可飽和吸収体の初期透過率と励起光のビームウエスト径との関係における、レーザ共振器から出力される１パルスあたりのエネルギーが２．０ｍＪ以上で、かつレーザ共振器での発振効率が１５％以上となる領域を説明するための図である。

[図15]レーザ共振器から出力される１パルスあたりのエネルギーが２．０ｍＪ以上で、かつレーザ共振器での発振効率が１５％以上となる領域において、励起光のビームウエスト径の上限値及び下限値と可飽和吸収体の初期透過率との関係を説明するための図である。

[図16A]励起光のビーム径とレーザ共振器において発振に寄与しないで吸収される光との関係を説明するための図である。

[図16B]励起光のビーム径とレーザ共振器において発振に寄与しないで吸収される光との関係を説明するための図である。

[図17A]レーザアニール装置の概略構成を説明するための図である。

[図17B]レーザアニール装置の概略構成を説明するための図である。

[図18]レーザ加工機の概略構成を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0010] 「概要」

以下、本発明の一実施形態を図面を用いて説明する。図１には、一実施形態に係る内燃機関としてのエンジン３００の主要部が模式的に示されている。

[0011] このエンジン３００は、点火装置３０１、燃料噴出機構３０２、排気機構３０３、燃焼室３０４、及びピストン３０５などを備えている。

[0012] エンジン３００の動作について簡単に説明する。

(1) 燃料噴出機構302が、燃料と空気の可燃性混合気を燃焼室304内に噴出させる(吸気)。

(2) ピストン305が上昇し、可燃性混合気を圧縮する(圧縮)。

(3) 点火装置301が、燃焼室304内にレーザ光を射出する。これにより、燃料に点火される(着火)。

(4) 燃焼ガスが発生し、ピストン305が降下する(燃焼)。

(5) 排気機構303が、燃焼ガスを燃焼室304外へ排気する(排気)。

[0013] このように、吸気、圧縮、着火、燃焼、排気からなる一連の過程が繰り返される。そして、燃焼室304内の気体の体積変化に対応してピストン305が運動し、運動エネルギーを生じさせる。燃料には例えば天然ガスやガソリン等が用いられる。

[0014] なお、エンジン300は、該エンジン300の外部に設けられ、該エンジン300と電氣的に接続されているエンジン制御装置の指示に基づいて、上記動作を行う。

[0015] 点火装置301は、一例として図2に示されるように、レーザ装置200、射出光学系210、及び保護部材212などを有している。

[0016] 射出光学系210は、レーザ装置200から射出される光を集光する。これにより、集光点で高いエネルギー密度を得ることができる。

[0017] 保護部材212は、燃焼室304に臨んで設けられた透明の窓である。ここでは、一例として、保護部材212の材料としてサファイアガラスが用いられている。

[0018] レーザ装置200は、面発光レーザアレイ201、第1集光光学系203、光ファイバ204、第2集光光学系205、及びレーザ共振器206を備えている。なお、本明細書では、XYZ3次元直交座標系を用い、面発光レーザアレイ201からの光の射出方向を+Z方向として説明する。

[0019] 面発光レーザアレイ201は、励起用光源であり、複数の発光部を有している。各発光部は、垂直共振器型の面発光レーザ(VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser)

である。面発光レーザアレイ 201 から射出される光の波長は 808 nm である。

[0020] 面発光レーザアレイは、射出される光の、温度による波長ずれが非常に少ないため、励起波長のずれによって特性が大きく変化する Q スイッチレーザを励起するのに有利な光源である。そこで、面発光レーザアレイを励起用光源に用いると、環境の温度制御を簡易なものにできるという利点がある。

[0021] 第 1 集光光学系 203 は、面発光レーザアレイ 201 から射出される光を集光する。

[0022] 光ファイバ 204 は、第 1 集光光学系 203 によって光が集光される位置にコアの -Z 側端面の中心が位置するように配置されている。ここでは、光ファイバ 204 として、コア径が 1.5 mm、NA が 0.39 の光ファイバが用いられている。

[0023] 光ファイバ 204 を設けることによって、面発光レーザアレイ 201 をレーザ共振器 206 から離れた位置に置くことができる。これにより配置設計の自由度を増大させることができる。また、レーザ装置 200 を点火装置に用いる際に、熱源から面発光レーザアレイ 201 を遠ざけることができるため、エンジン 300 を冷却する方法の幅を広げることが可能である。

[0024] 光ファイバ 204 に入射した光はコア内を伝播し、コアの +Z 側端面から射出される。

[0025] 第 2 集光光学系 205 は、光ファイバ 204 から射出された光の光路上に配置され、該光を集光する。第 2 集光光学系 205 で集光された光は、レーザ共振器 206 に入射する。

[0026] レーザ共振器 206 は、Q スイッチレーザであり、一例として図 3 に示されるように、レーザ媒質 206a、及び可飽和吸収体 206b を有している。

[0027] レーザ媒質 206a は、直方体形状の Nd : YAG 結晶であり、Nd が 1.1 % ドープされている。可飽和吸収体 206b は、直方体形状の Cr : YAG 結晶であり、初期透過率が 0.15 (15%) ~ 0.70 (70%) の

間で適宜調整されるものである。

[0028] なお、ここでは、Nd : YAG結晶とCr : YAG結晶は接合されており、いわゆるコンポジット結晶となっている。また、Nd : YAG結晶及びCr : YAG結晶は、いずれもセラミックスである。

[0029] 第2集光光学系205からの光は、レーザ媒質206aに入射される。すなわち、第2集光光学系205からの光によってレーザ媒質206aが励起される。なお、面発光レーザアレイ201から射出される光の波長は、YAG結晶において最も吸収効率の高い波長である。そして、可飽和吸収体206bは、Qスイッチの動作を行う。

[0030] レーザ媒質206aの入射側（-Z側）の面、及び可飽和吸収体206bの射出側（+Z側）の面は光学研磨処理がなされ、ミラーの役割を果たしている。なお、以下では、便宜上、レーザ媒質206aの入射側の面を「第1の面」ともいい、可飽和吸収体206bの射出側の面を「第2の面」ともいう（図3参照）。

[0031] そして、第1の面及び第2の面には、面発光レーザアレイ201から射出される光の波長、及びレーザ共振器206から射出される光の波長に応じた誘電体膜がコーティングされている。

[0032] 具体的には、第1の面には、波長が808nmの光に対して高い透過率を示し、波長が1064nmの光に対して高い反射率を示すコーティングがなされている。また、第2の面には、波長が1064nmの光に対して約50%の反射率を示すコーティングがなされている。

[0033] これにより、レーザ共振器206内で光が共振し増幅される。

[0034] 図2に戻り、駆動装置220は、エンジン制御装置222の指示に基づいて、面発光レーザアレイ201を駆動する。すなわち、駆動装置220は、エンジン300の動作における着火のタイミングで点火装置301から光が射出されるように、面発光レーザアレイ201を駆動する。なお、面発光レーザアレイ201における複数の発光部は、同時に点灯及び消灯される。

[0035] 上記実施形態において、面発光レーザアレイ201をレーザ共振器206

から離れた位置に置く必要がない場合は、光ファイバ204が設けられなくても良い。

[0036] また、ここでは、内燃機関として燃焼ガスによってピストンを運動させるエンジン（ピストンエンジン）の場合について説明したが、これに限定されるものではない。例えば、ロータリーエンジンや、ガスタービンエンジンや、ジェットエンジンであっても良い。要するに、燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成するものであれば良い。

[0037] また、排熱を利用して、動力や温熱や冷熱を取り出し、総合的にエネルギー効率を高めるシステムであるコジェネレーションに、点火装置301を用いても良い。

[0038] また、ここでは、点火装置301が内燃機関に用いられる場合について説明したが、これに限定されるものではない。

[0039] また、ここでは、レーザ装置200が点火装置に用いられる場合について説明したが、これに限定されるものではない。例えば、レーザ加工機、レーザピーニング装置、テラヘルツ発生装置などに用いることができる。

「詳細」

レーザ装置200から射出される光のZ軸方向に関する集光位置の調整は、射出光学系210の焦点距離、及びZ軸方向に関する射出光学系210の配置位置を調整することにより、行うことができる。

[0040] 面発光レーザアレイ201は、複数の発光部を有しているため、光出力を大きくすることができる。ここでは、面発光レーザアレイ201の光出力は約400Wである。

[0041] さらに、面発光レーザアレイ201における複数の発光部は、直径9mmの領域内に配置されている（図4参照）。そして、面発光レーザアレイ201における最も離れた2つの発光部間の距離は7.0mm以上である。

[0042] 第1集光光学系203は、少なくとも1つの集光レンズを有している。

[0043] 光ファイバ204を用いることにより、面発光レーザアレイ201とレーザ共振器206との距離を光ファイバ204の長さの分だけ長くすることが

できる。

[0044] そこで、レーザ装置200をエンジンの点火装置に使用する場合、エンジン周辺の高温領域や振動領域から面発光レーザアレイ201を遠ざけることが可能となり、点火装置の信頼性を向上させることができる。

[0045] 第2集光光学系205の詳細について説明する。

[0046] 第2集光光学系205は、複数の光学素子を有している。ここでは、第2集光光学系205は、第1レンズ205aと第2レンズ205bから構成されている(図5参照)。なお、第2集光光学系205は、3つ以上の光学素子から構成されていても良い。

[0047] 第1レンズ205aは、コリメートレンズであり、光ファイバ204から射出された光を略平行光とする。

[0048] 第2レンズ205bは、集光レンズであり、第1レンズ205aによって略平行光とされた光を集光する(図6参照)。

[0049] レーザ共振器206の詳細について説明する。

ここでは、Nd:YAG結晶及びCr:YAG結晶は、いずれもセラミックスであるため、単結晶に比べて生産性が良い。

[0050] また、Nd:YAG結晶とCr:YAG結晶の境界部が分離していないため、単一の結晶と同等の特性が得られ、機械強度的及び光学的に有利である。

[0051] 第2レンズ205bを介した光は、レーザ媒質206aに入射される。すなわち、第2レンズ205bを介した光によってレーザ媒質206aが励起される。なお、以下では、第2レンズ205bを介してレーザ媒質206aに入射される光を「励起光」ともいう。

[0052] ところで、端面発光レーザから射出される光は、温度に対する波長の変動が大きい。そこで、高温環境下での使用が想定される点火装置では、端面発光レーザを励起用光源とする場合、端面発光レーザの温度を一定に保つための精密な温度制御機構が必要になり、装置の大型化や高コスト化を招く。

[0053] 一方、面発光レーザアレイから射出される光は、温度に対する波長の変動

が端面発光レーザの約 $1/10$ である。そこで、面発光レーザアレイを励起光源とする点火装置では、精密な温度制御機構を必要としない。そのため、小型かつ低コストな点火装置を実現することができる。

[0054] 加えて、面発光レーザアレイは、発光領域が半導体内部にあることから端面破壊の懸念がなく、点火装置の信頼性を向上させることができる。

[0055] 内燃機関において、レーザ光によって燃料に点火するには、燃焼室内にレーザ光を集光してプラズマを発生させる必要がある。そして、パルスレーザ光を集光してプラズマを発生させるには、1パルスあたりのエネルギー（パルスエネルギー）として 2.0 mJ 以上のエネルギーが必要である。

[0056] また、内燃機関での着火、燃焼の過程において、複数パルスのレーザ光を燃焼室に照射する場合は、単パルスのレーザ光を燃焼室に照射する場合に比べて、燃焼速度の向上や燃焼安定性の向上などの効果が見込まれる。そこで、点火装置は、複数パルスのレーザ光を射出するレーザ装置を有することが好ましい。

[0057] ところで、レーザ装置から複数のパルスを照射するためには、励起光源の高出力化やレーザ共振器の発振効率の向上、あるいはその両方が考えられるが、励起光源の高出力化は同時に高コスト化を招くこととなる。

[0058] そこで開発者らは、面発光レーザアレイを励起光源とするレーザ装置において、内燃機関の燃焼に必要とされるエネルギーのレーザ光を効率良く発振できるようにするため、励起光のビームウエスト径とレーザ共振器における可飽和吸収体の初期透過率とに着目した。

[0059] 励起光のビームウエスト径を大きくすると、レーザ共振器内で励起される範囲が大きくなり、レーザ光の発振面積が増加し、パルスエネルギーが増加する。この場合、励起面積が大きくなり、励起光のパワーが一定であれば、励起光のパワー密度（＝励起光のパワー／励起面積）は低下する。

[0060] Qスイッチレーザを発振させるには、レーザ共振器内に一定量以上の光をためる（励起する）必要がある。そこで、励起光のパワー密度が低下すると、光をためるのに要する時間が増大する。すなわち、励起光のパワー密度が

低下すると、Qスイッチレーザにおける発振閾値に達するまでの励起光のエネルギー量が増加する。

[0061] そして、Qスイッチレーザにおける発振閾値に達するまでの励起光のエネルギー量が増加すると、励起光のパワーが一定であれば、発振するパルス数が減少する。このときの1パルスあたりのエネルギーは増加するが、総エネルギーは減少するため、レーザ共振器での発振効率は低下する。

[0062] つまり、可飽和吸収体の初期透過率が一定の場合、励起光のビームウエスト径が大きいほど、レーザ共振器から出力される1パルスあたりのエネルギーは高くなる（図7参照）が、レーザ共振器での発振効率は低くなる（図8参照）。

[0063] なお、励起光のビームウエスト径は、光ファイバのコア径と、第2集光光学系205における第1レンズ205aの焦点距離と第2レンズ205bの焦点距離の比（第2レンズ205bの焦点距離／第1レンズ205aの焦点距離）によっておおよそ決定される。あとは、励起光のビームウエスト径は、光ファイバ204と第1レンズ205aとの距離、第1レンズ205aと第2レンズ205bとの距離によって決定される。

[0064] 一方、可飽和吸収体については、その初期透過率を高くすると、発振に必要な光の量が少なくなるため、1パルスあたりのエネルギーは低下する。このとき、Qスイッチレーザにおける発振閾値に達するまでのエネルギー量は減少する。

[0065] そして、Qスイッチレーザにおける発振閾値に達するまでのエネルギー量が減少すると、励起光のパワーが一定であれば、発振するパルス数が増加する。このときの1パルスあたりのエネルギーは減少するが、総エネルギーは増加するため、発振効率は向上する。

[0066] つまり、励起光のビームウエスト径が一定の場合、可飽和吸収体の初期透過率が大きいほど、レーザ共振器から出力される1パルスあたりのエネルギーは低くなる（図9参照）が、レーザ共振器での発振効率は高くなる（図10参照）。

[0067] ところで、可飽和吸収体の初期透過率は、可飽和吸収体における C_r （クロム）の濃度や可飽和吸収体の厚さを変えることによって変化させることができる。例えば、 C_r の濃度が同じ場合は、厚さを薄くすると初期透過率を高くすることができる。また、厚さが同じ場合は、 C_r の濃度を小さくすると初期透過率を高くすることができる。

[0068] すなわち、レーザ共振器から出力される１パルスあたりのエネルギーが高く、かつレーザ共振器での発振効率も高くするためには、可飽和吸収体の初期透過率に対して適切な励起光のビームウエスト径で、レーザ共振器を励起する必要がある（図１１参照）。

[0069] 上記のそれぞれの傾向を踏まえ、可飽和吸収体の初期透過率と励起光のビームウエスト径の大きさの組み合わせについて種々検討した結果の一例が図１２～図１５に示されている。

[0070] ここでは、レーザ共振器から出力される１パルスあたりのエネルギーが２．０ｍＪ以上で、かつレーザ共振器での発振効率が１５％以上を目標とする。

[0071] レーザ共振器での発振効率は、次の（１）式から算出した。

発振効率＝（「レーザ共振器から出力される１パルスあたりのエネルギー」
×「発振パルス数」）÷（「光ファイバから射出される光のパワー」×「面
発光レーザアレイの点灯時間」）×１００ ……（１）

ここでは、光ファイバから射出される光（励起光）のパワーは２００Ｗとした。また、面発光レーザアレイの点灯時間は５００μ秒とした。

[0072] 図１２には、可飽和吸収体の初期透過率と励起光のビームウエスト径（直径）との関係において、レーザ共振器から出力される１パルスあたりのエネルギーが２．０ｍＪ以上となる領域が示されている。なお、該領域内の数値は、レーザ共振器から出力される１パルスあたりのエネルギーの値である。

[0073] 図１３には、可飽和吸収体の初期透過率と励起光のビームウエスト径（直径）との関係において、レーザ共振器での発振効率が１５％以上となる領域が示されている。なお、該領域内の数値は、レーザ共振器での発振効率の値

である。

[0074] 図14は、図12と図13とから得られ、該図14には、可飽和吸収体の初期透過率と励起光のビームウエスト径（直径）との関係において、レーザ共振器から出力される1パルスあたりのエネルギーが2.0mJ以上で、かつレーザ共振器での発振効率が15%以上となる領域が示されている。なお、該領域内の数値は、レーザ共振器での発振効率の値である。

[0075] 図15には、図14に示されるレーザ共振器から出力される1パルスあたりのエネルギーが2.0mJ以上で、かつレーザ共振器での発振効率が15%以上となる領域において、励起光のビームウエスト径の上限値及び下限値と可飽和吸収体の初期透過率との関係が示されている。

[0076] 励起光のビームウエスト径（直径）を r 、可飽和吸収体の初期透過率を T_0 とし、フィッティングを行うと、上記励起光のビームウエスト径の上限値は次の（2）式で示すことができる。

$$r = 2.62 \times T_0 + 0.675 \quad \dots\dots (2)$$

また、同様にフィッティングを行うと、上記励起光のビームウエスト径の下限値は次の（3）式で示すことができる。

$$r = 7.75 \times T_0^4 - 7.77 \times T_0^3 + 3.13 \times T_0^2 + 0.16 \times T_0 + 0.74 \quad \dots\dots (3)$$

そこで、レーザ共振器から出力される1パルスあたりのエネルギーが2.0mJ以上で、かつレーザ共振器での発振効率を15%以上とするには、励起光のビームウエスト径（直径） r が、可飽和吸収体の初期透過率 T_0 に対して、次の（4）式の関係を満たすように設定されていれば良い。 $7.75 \times T_0^4 - 7.77 \times T_0^3 + 3.13 \times T_0^2 + 0.16 \times T_0 + 0.74 \leq r \leq 2.62 \times T_0 + 0.675 \quad \dots\dots (4)$

すなわち、励起光のビームウエスト径（直径） r を、可飽和吸収体の初期透過率 T_0 に対して、上記（4）式の関係を満たすように設定することで、内燃機関の燃焼に必要とされるパルスエネルギー（2.0mJ以上）を効率良く（発振効率15%以上で）発振できるレーザ装置を実現することができ

る。

[0077] 本実施形態では、励起光のビームウエスト径（直径） r は、可飽和吸収体の初期透過率 T_0 に対して、上記（４）式の関係を満たすように設定されている。

[0078] また、本実施形態では、可飽和吸収体の初期透過率は、 $0.15 \sim 0.70$ である。なお、可飽和吸収体の初期透過率が 0.70 を超えると、発振が不安定になる場合がある。

[0079] なお、レーザ共振器を励起する励起光のビームウエスト径の大きさは、光ファイバのコア径に対して等倍以上の関係であることが望ましい。なぜならば、励起光を光ファイバのコア径よりも小さいビーム径に集光すると、レーザ共振器内での集光角及び発散角は、光ファイバから射出されるとき発散角よりも大きくなる。そして、レーザ共振器内での集光角及び発散角が大きくなると、レーザ共振器内で発振に寄与しない励起光の吸収が増加し、発振効率を低下させる。

[0080] 図16Aには、コア径が $\phi 1.5\text{mm}$ の光ファイバから射出された光を $\phi 1.5\text{mm}$ に集光したときの集光プロファイルと発振に寄与しない領域とが示され、図16Bには、コア径が同じ $\phi 1.5\text{mm}$ の光ファイバから射出された光を $\phi 1.0\text{mm}$ に集光したときの集光プロファイルと発振に寄与しない領域とが示されている。光ファイバのコア径よりも小さいビームウエスト径に集光した場合、発振に寄与しない領域は、コア径と等倍に集光した場合よりも多くなる。すなわち、光ファイバのコア径よりも小さいビームウエスト径に集光すると、発振効率が低下する。

[0081] 以上の説明から明らかなように、本実施形態に係るレーザ装置200では、光ファイバ204によって、本発明のレーザ装置における「伝送部材」が構成されている。そして、本実施形態に係る点火装置301では、射出光学系210によって、本発明の点火装置における「レーザ装置から射出されるレーザ光を集光する光学系」が構成されている。

[0082] 以上説明したように、本実施形態に係るレーザ装置200は、面発光レー

ザアレイ 201、第1集光光学系203、光ファイバ204、第2集光光学系205、及びレーザ共振器206を備えている。

[0083] 面発光レーザアレイ201は、励起用光源であり、面発光レーザアレイ201から射出された光は、第1集光光学系203、光ファイバ204、及び第2集光光学系205を介して、励起光としてレーザ共振器206に入射される。

[0084] レーザ共振器206は、Qスイッチレーザであり、レーザ媒質206a、及び可飽和吸収体206bを有している。可飽和吸収体206bの初期透過率は、0.15～0.70である。

[0085] そして、励起光は、ビームウエスト直径 r が上記(4)式の関係を満たすように設定されている。

[0086] この場合は、レーザ装置200は、高いレーザ出力と高い発振効率とを両立させることができる。

[0087] そして、点火装置301は、レーザ装置200を備えているため、安定した点火を効率良く行うことができる。

[0088] また、エンジン300は、点火装置301を備えているため、結果として、効率化を図ることができる。

[0089] なお、上記実施形態において、第1集光光学系203及び射出光学系210は、いずれも単一の光学素子からなっても良いし、複数の光学素子からなっても良い。

[0090] また、上記実施形態において、励起用光源として面発光レーザアレイが用いられる場合について説明したが、これに限定されるものではない。

[0091] また、レーザ装置200は、レーザアニール装置やレーザ加工機に用いることができる。

《レーザアニール装置》

一例として図17A及び図17Bに、レーザ装置200を有するレーザアニール装置1000の概略構成が示されている。このレーザアニール装置1000は、光源1010、光学系1020、テーブル装置1030、及び不

図示の制御装置などを備えている。

[0092] 光源１０１０は、レーザ装置２００を有し、レーザ光を射出することができる。光学系１０２０は、光源１０１０から射出されたレーザ光を対象物Ｐの表面に導光する。テーブル装置１０３０は、対象物Ｐが載置されるテーブルを有している。該テーブルは、少なくともＹ軸方向に沿って移動することができる。

[0093] 例えば、対象物Ｐがアモルファスシリコン（ $a-Si$ ）の場合、レーザ光が照射されると、アモルファスシリコン（ $a-Si$ ）は、温度が上昇し、その後、徐々に冷却されることによって結晶化し、ポリシリコン（ $p-Si$ ）になる。

[0094] そして、レーザアニール装置１０００は、光源１０１０がレーザ装置２００を有しているため、処理効率を向上させることができる。

《レーザ加工機》

一例として図１８に、レーザ装置２００を有するレーザ加工機３０００の概略構成が示されている。このレーザ加工機３０００は、光源３０１０、光学系３１００、対象物Ｐが載置されるテーブル３１５０、テーブル駆動装置３１６０、操作パネル３１８０及び制御装置３２００などを備えている。

[0095] 光源３０１０は、レーザ装置２００を有し、制御装置３２００の指示に基づいてレーザ光を射出する。光学系３１００は、光源３０１０から射出されたレーザ光を対象物Ｐの表面近傍で集光させる。テーブル駆動装置３１６０は、制御装置３２００の指示に基づいて、テーブル３１５０をＸ軸方向、Ｙ軸方向、及びＺ軸方向に移動させる。

[0096] 操作パネル３１８０は、作業者が各種設定を行うための複数のキー、及び各種情報を表示するための表示器を有している。制御装置３２００は、操作パネル３１８０からの各種設定情報に基づいて、光源３０１０及びテーブル駆動装置３１６０を制御する。

[0097] そして、レーザ加工機３０００は、光源３０１０がレーザ装置２００を有しているため、加工（例えば、切断や溶接）の処理効率を向上させることが

できる。

[0098] なお、レーザ加工機 3000 は、複数の光源 3010 を有しても良い。

[0099] また、レーザ装置 200 は、レーザアニール装置及びレーザ加工機以外のレーザ光を利用する装置にも好適である。例えば、レーザ装置 200 を表示装置の光源に用いても良い。

符号の説明

[0100] 200…レーザ装置、201…面発光レーザアレイ、203…第1集光光学系（光源装置の一部）、204…光ファイバ（伝送部材）、205…第2集光光学系（伝送部材とレーザ共振器との間の光路上に配置された少なくとも1つの光学素子）、205a…第1レンズ、205b…第2レンズ、206…レーザ共振器、206a…レーザ媒質、206b…可飽和吸収体、210…射出光学系（レーザ装置から射出されるレーザ光を集光する光学系）、212…保護部材、220…駆動装置、222…エンジン制御装置、300…エンジン（内燃機関）、301…点火装置、302…燃料噴出機構、303…排気機構、304…燃焼室、305…ピストン、1000…レーザアニール装置、1010…光源、1020…光学系、1030…テーブル装置、3000…レーザ加工機、3010…光源、3100…光学系、3150…テーブル、3160…テーブル駆動装置、3180…操作パネル、3200…制御装置、P…対象物。

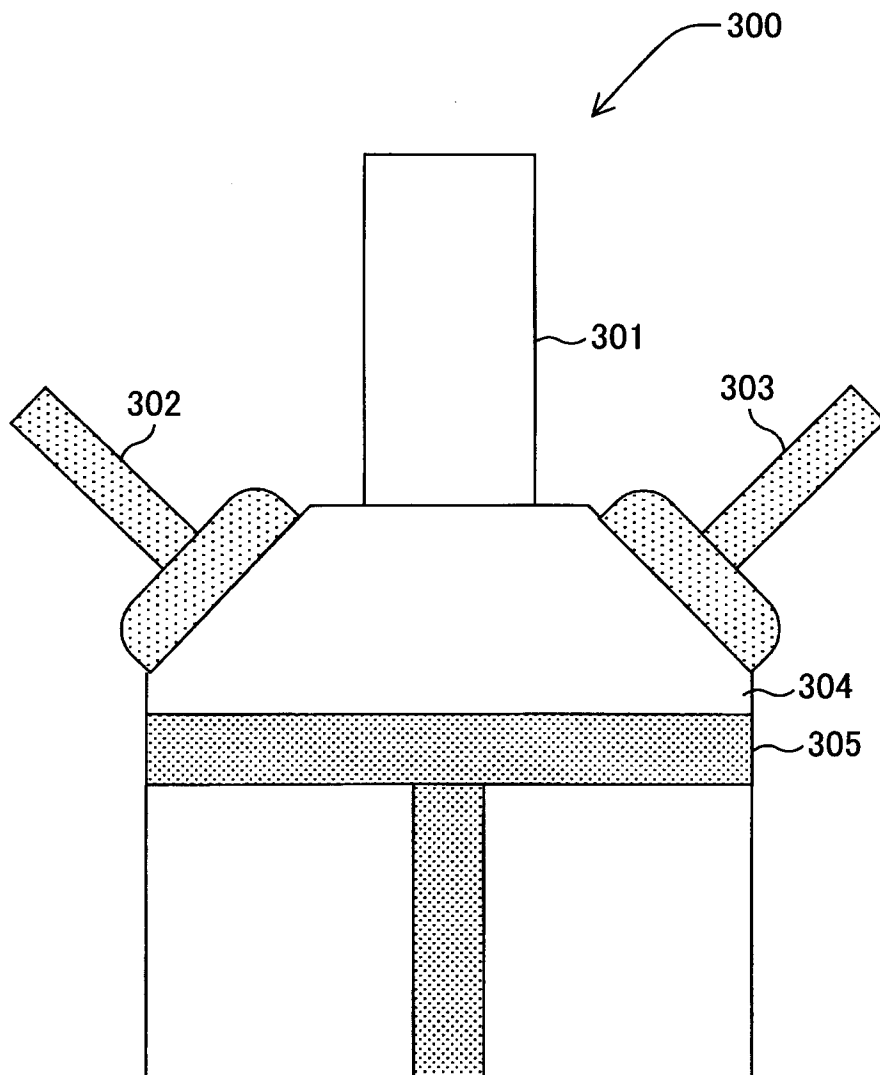
[0101] 本国際特許出願は、2015年12月2日に出願した日本国特許出願第2015-235435号および2016年5月2日に出願した日本国特許出願第2016-092223号に基づきその優先権を主張するものであり、日本国特許出願第2015-235435号および日本国特許出願第2016-092223号の全内容を参照によりここに援用する。

請求の範囲

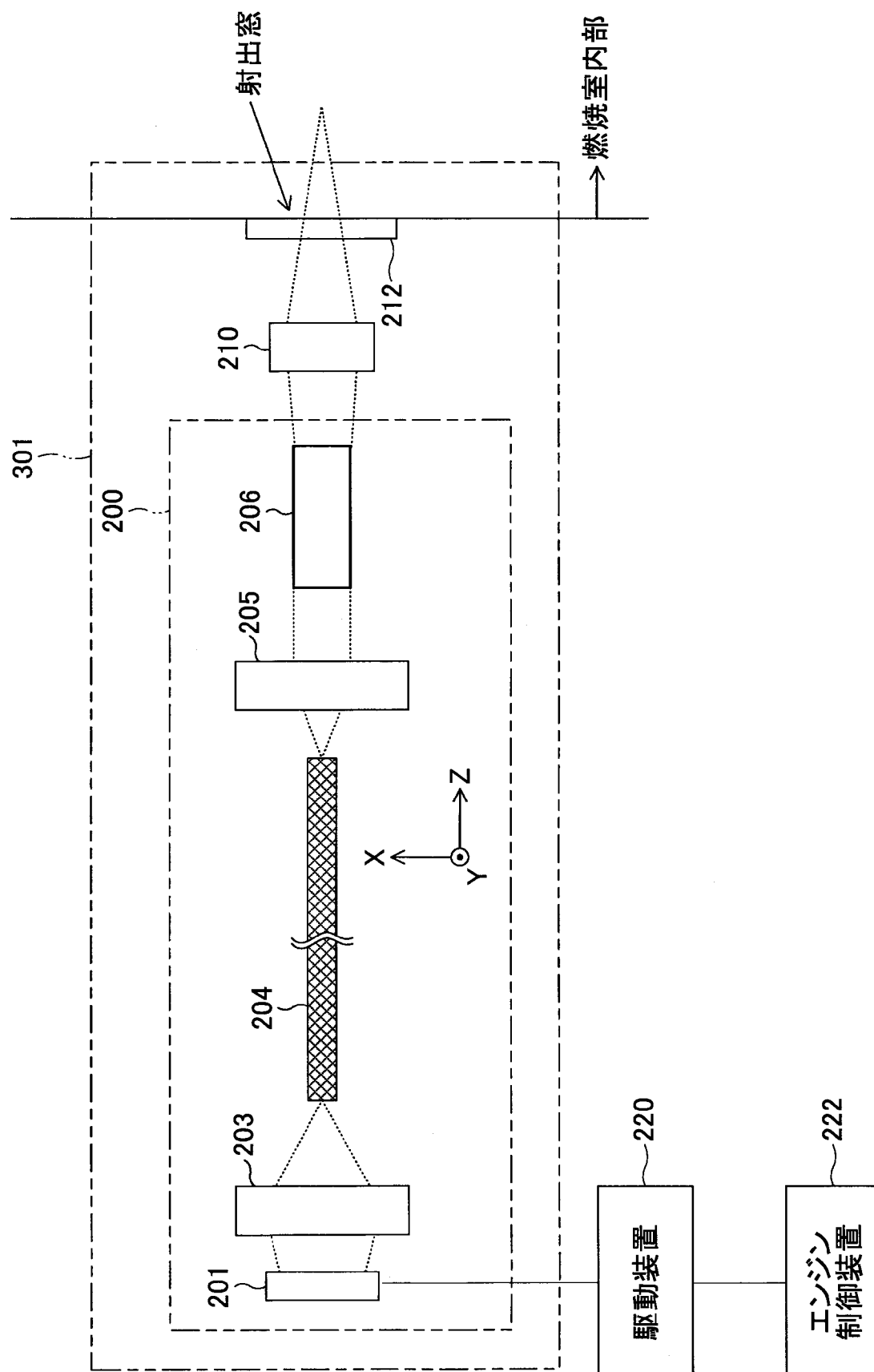
- [請求項1] 半導体レーザを含む光源装置と、
前記光源装置からの光が照射され、可飽和吸収体を含むレーザ共振器とを備え、
前記レーザ共振器に照射される光のビームウエスト直径 r が、前記可飽和吸収体の初期透過率 T_0 に対して、 $7.75 \times T_0^4 - 7.77 \times T_0^3 + 3.13 \times T_0^2 + 0.16 \times T_0 + 0.74 \leq r \leq 2.62 \times T_0 + 0.675$ 、
の関係を満足するレーザ装置。
- [請求項2] 前記半導体レーザは、面発光レーザアレイであることを特徴とする請求項1に記載のレーザ装置。
- [請求項3] 前記可飽和吸収体の初期透過率 T_0 は、 $0.15 \sim 0.70$ であることを特徴とする請求項1又は2に記載のレーザ装置。
- [請求項4] 前記光源装置は、前記半導体レーザから射出されるレーザ光を伝送する光伝送部材を含むことを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載のレーザ装置。
- [請求項5] 前記光伝送部材は、光ファイバであることを特徴とする請求項4に記載のレーザ装置。
- [請求項6] 前記レーザ共振器に照射される光のビームウエスト径は、前記光ファイバのコア直径以上の大きさであることを特徴とする請求項5に記載のレーザ装置。
- [請求項7] 前記光伝送部材と前記レーザ共振器との間の光路上に配置された少なくとも1つの光学素子を備えることを特徴とする請求項4～6のいずれか一項に記載のレーザ装置。
- [請求項8] 前記レーザ共振器は、Qスイッチレーザであることを特徴とする請求項1～7のいずれか一項に記載のレーザ装置。
- [請求項9] 前記レーザ共振器は、レーザ媒質を含むことを特徴とする請求項8に記載のレーザ装置。

- [請求項10] 前記レーザ媒質はNdがドープされたYAG結晶であり、前記可飽和吸収体はCrがドープされたYAG結晶であることを特徴とする請求項9に記載のレーザ装置。
- [請求項11] 前記レーザ共振器は、コンポジット結晶であることを特徴とする請求項9又は10に記載のレーザ装置。
- [請求項12] 前記レーザ共振器は、セラミックスであることを特徴とする請求項1～11のいずれか一項に記載のレーザ装置。
- [請求項13] 請求項1～12のいずれか一項に記載のレーザ装置と、
前記レーザ装置からの光を集光する光学系とを備える点火装置。
- [請求項14] 燃料を燃焼させて燃焼ガスを生成する内燃機関において、
前記燃料に点火するための請求項13に記載の点火装置を備える内燃機関。

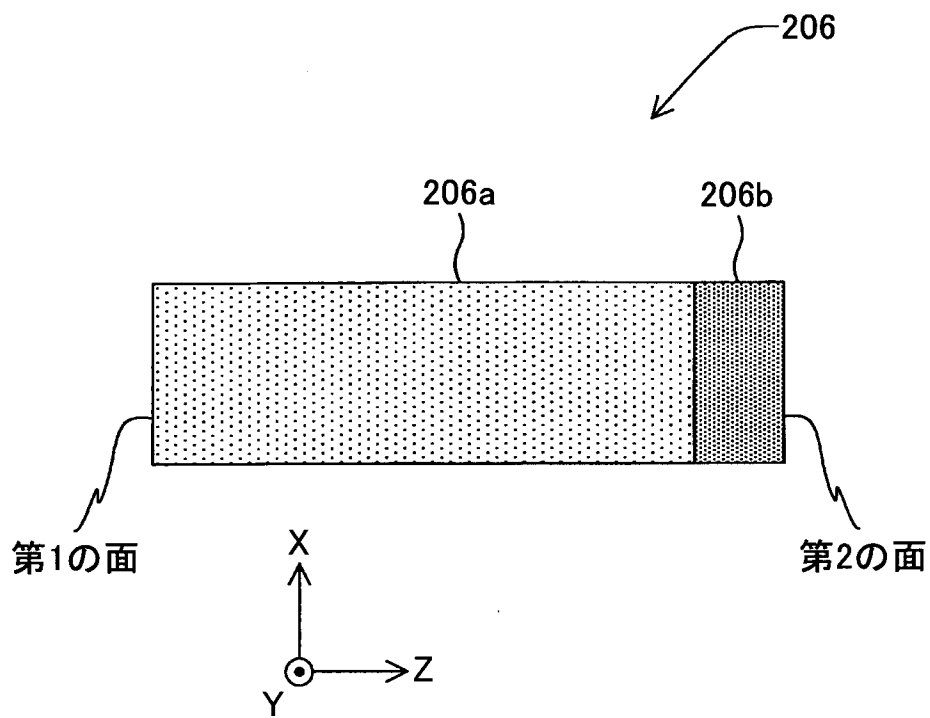
[図1]



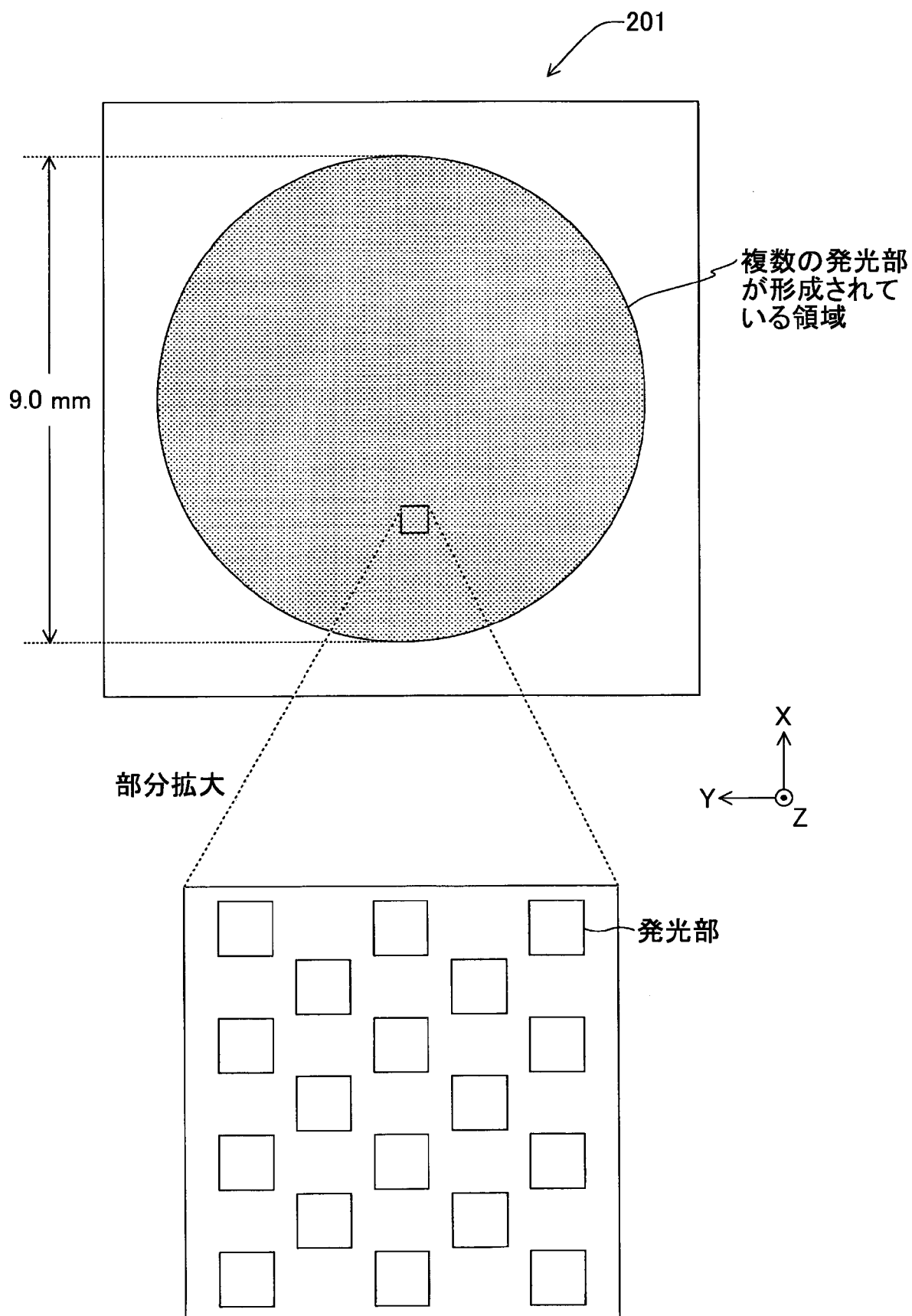
[図2]



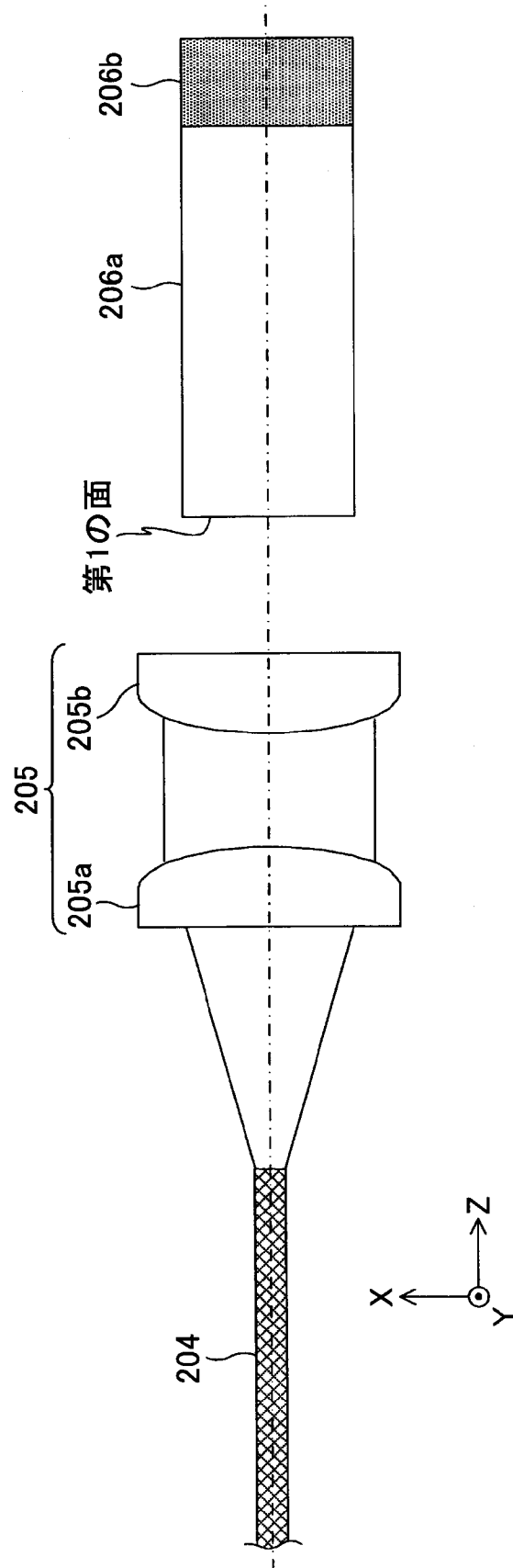
[図3]



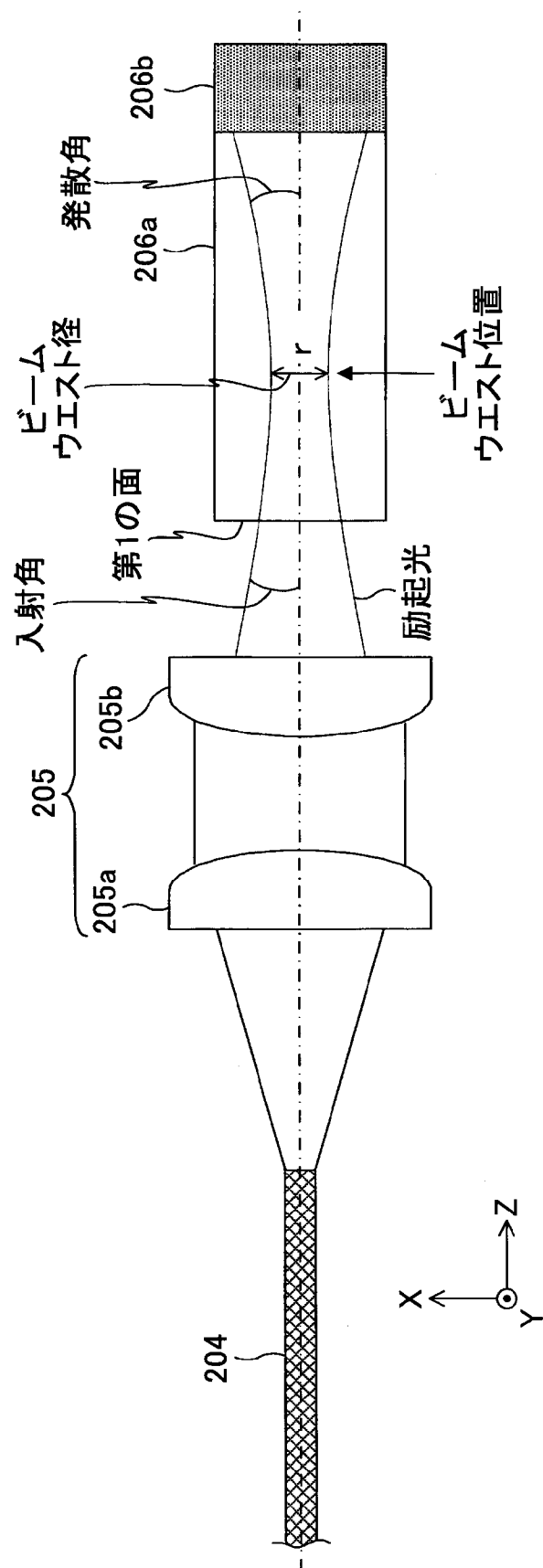
[図4]



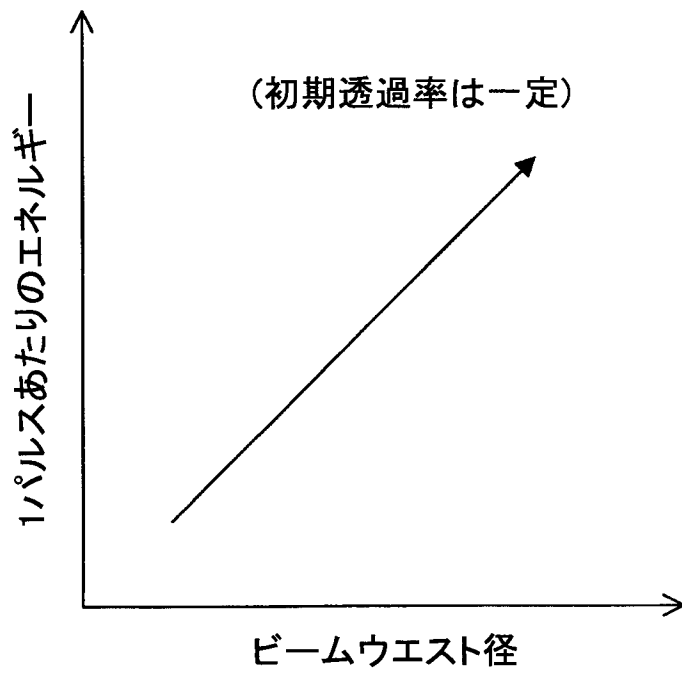
[図5]



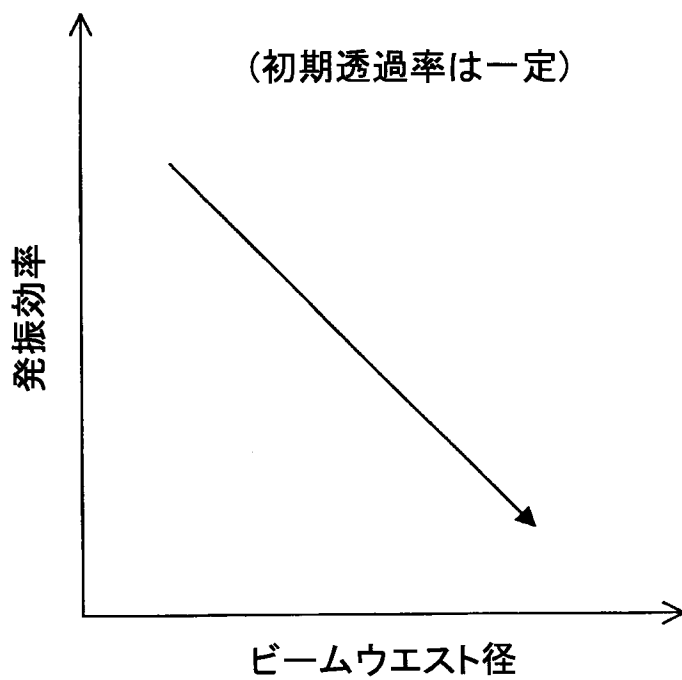
[図6]



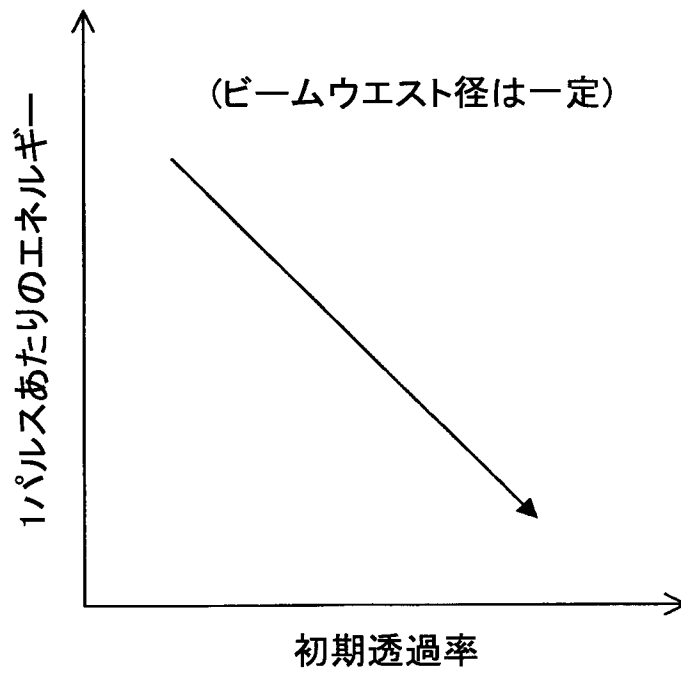
[図7]



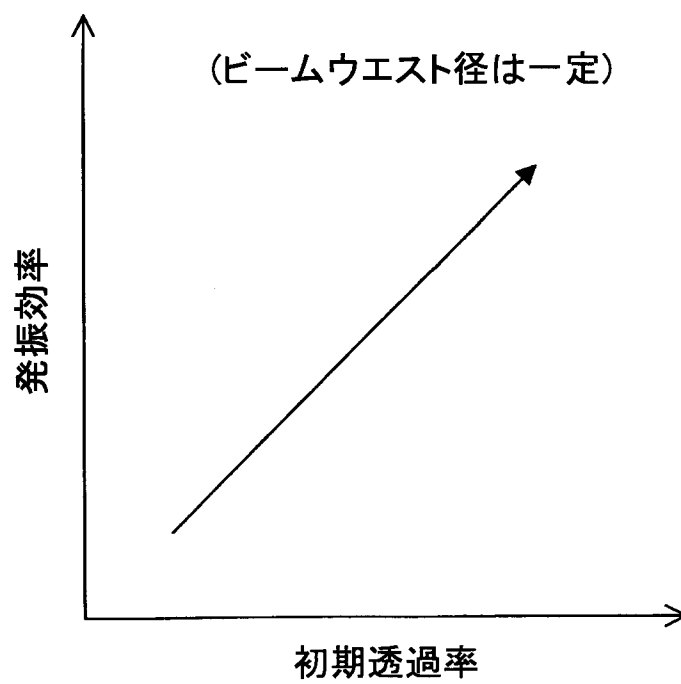
[図8]



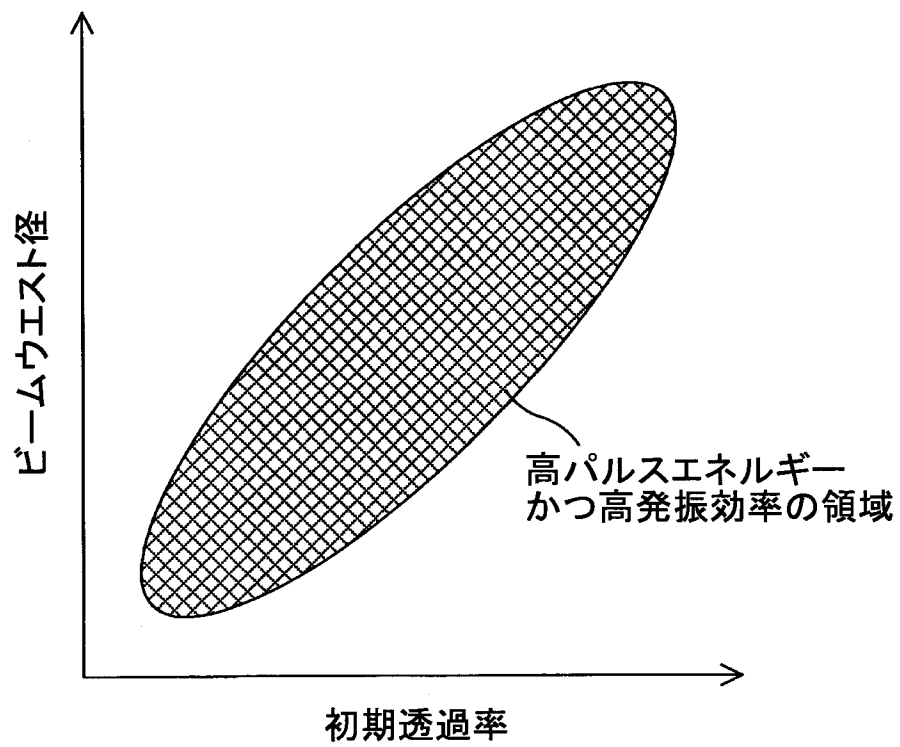
[図9]



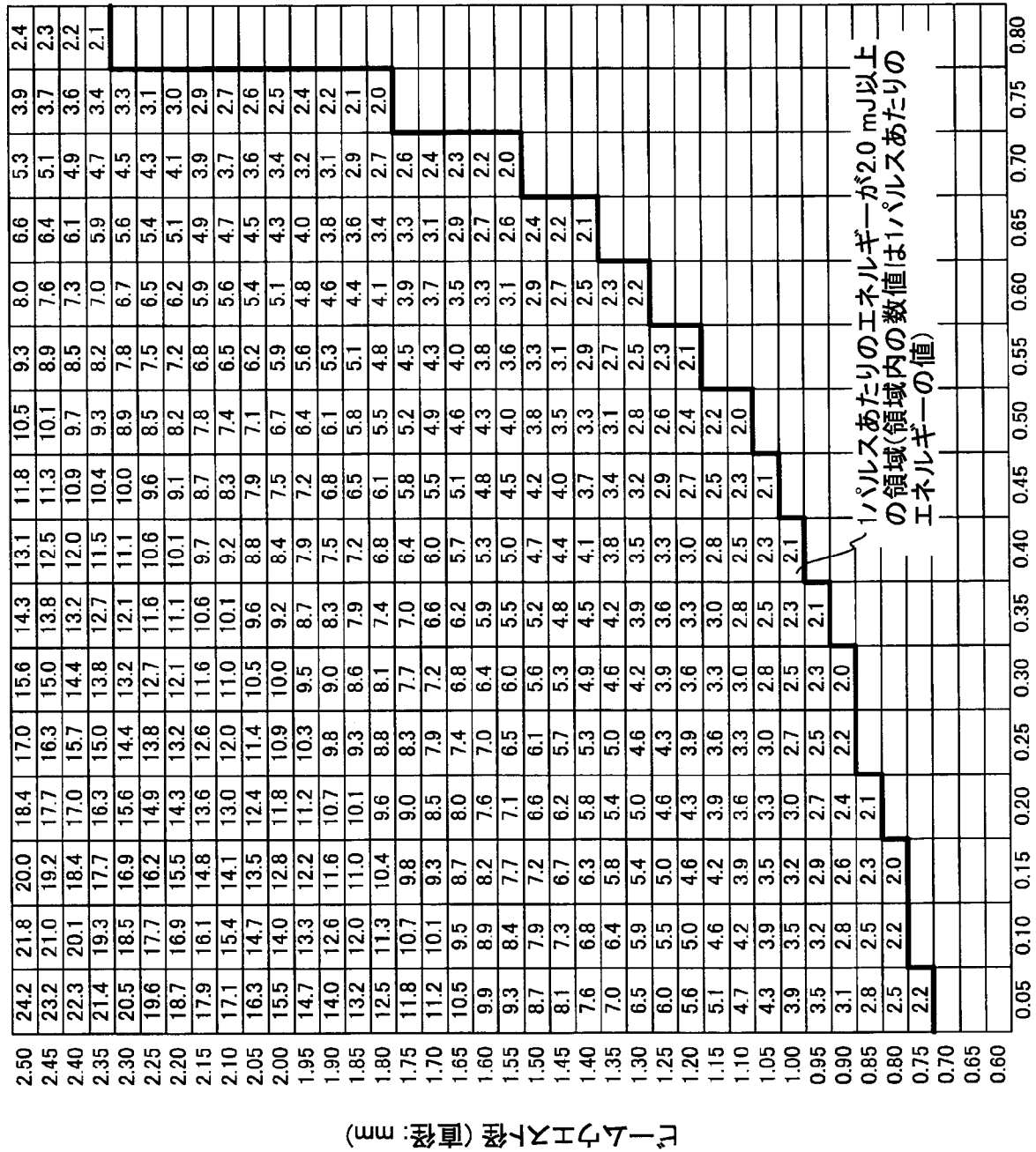
[図10]



[図11]



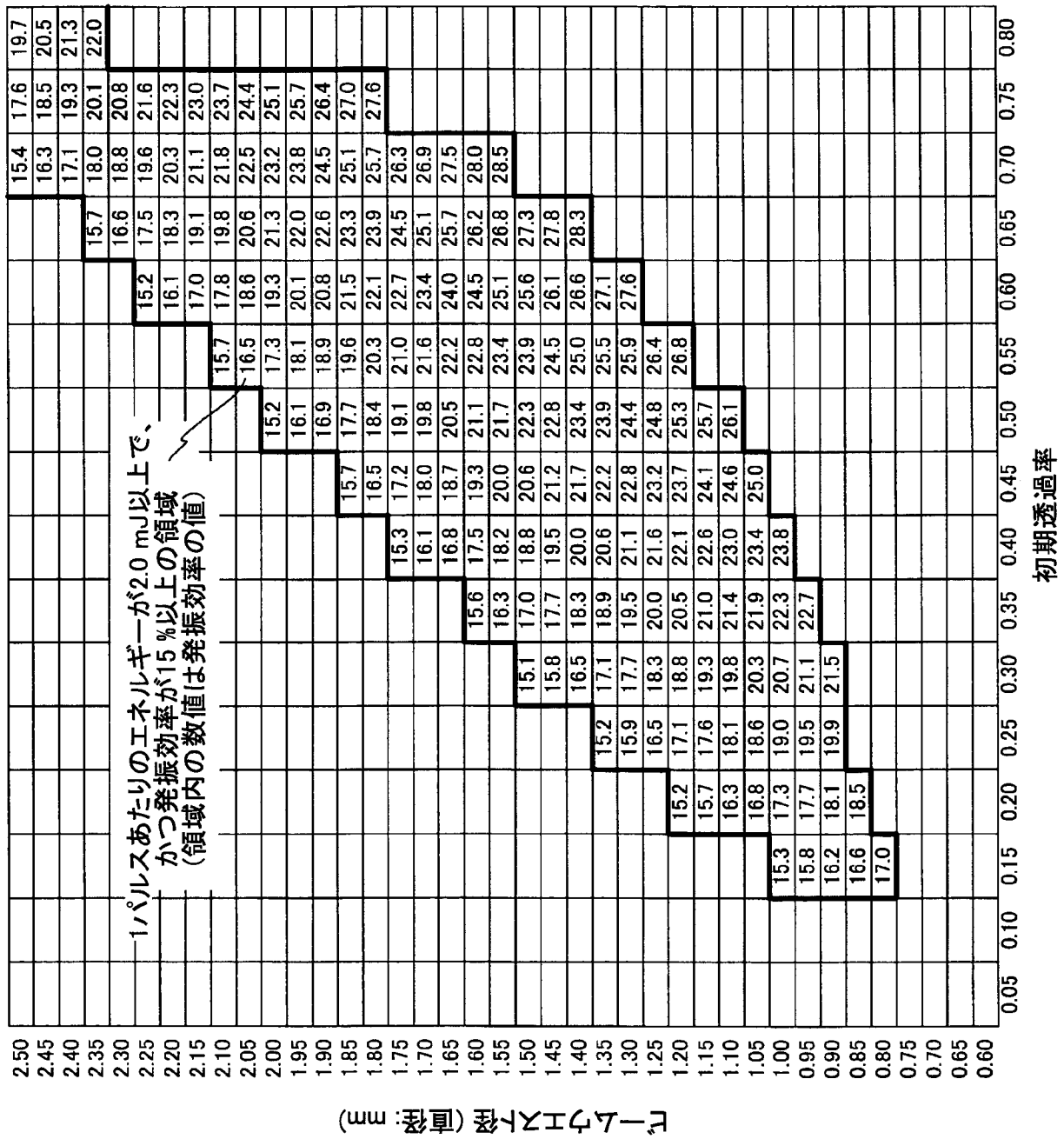
[図12]



③ 直径 (mm): 1.5~2.5

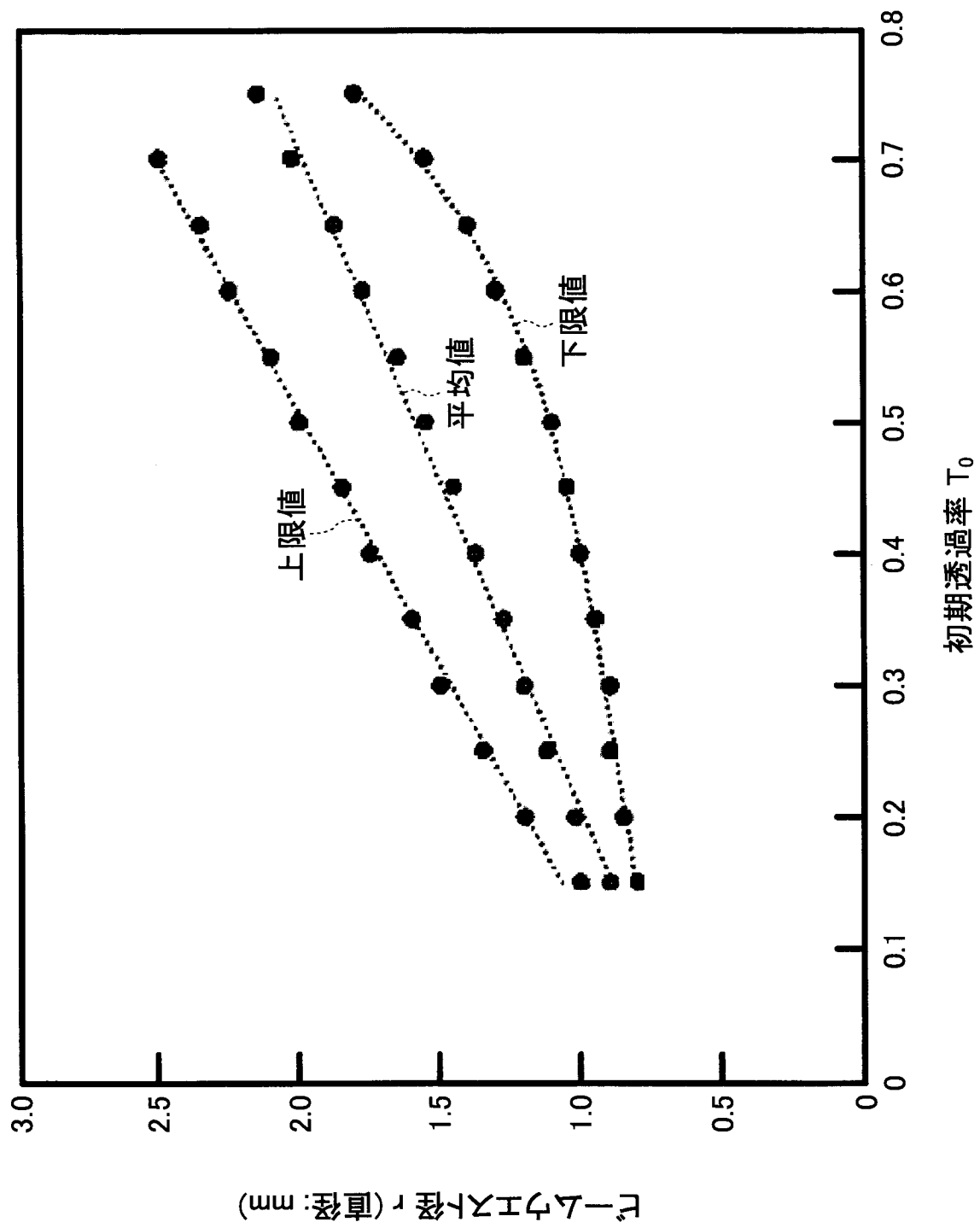
[illegible]

[図14]

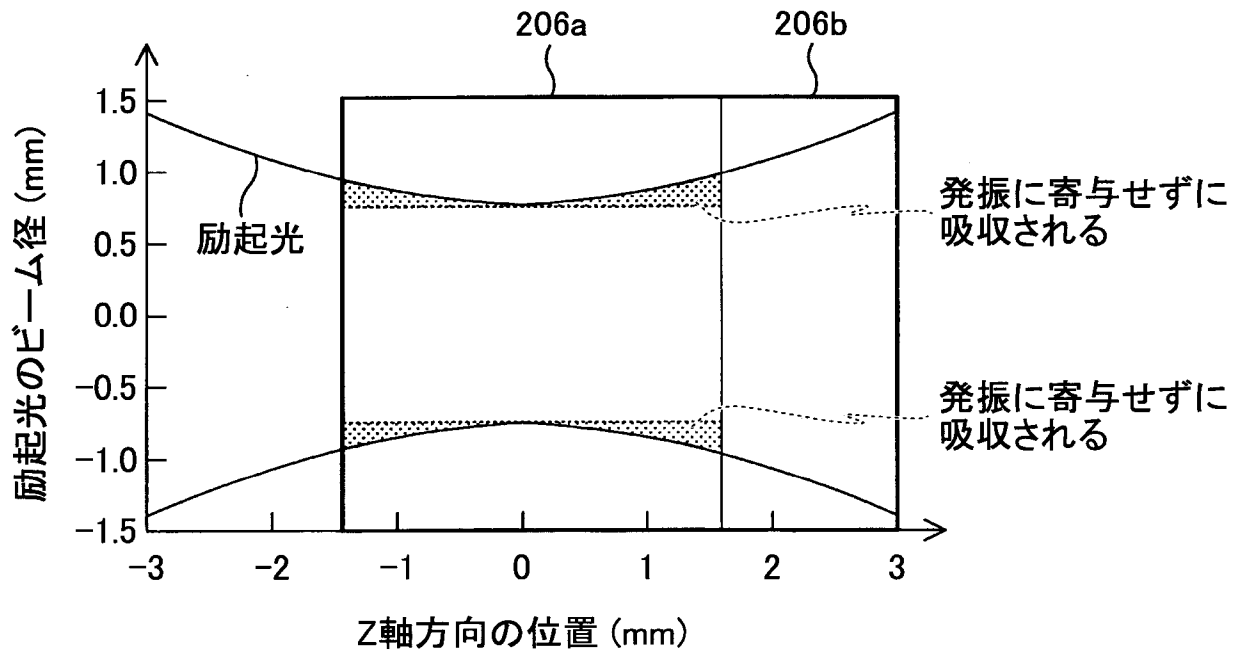


(直線) 効率

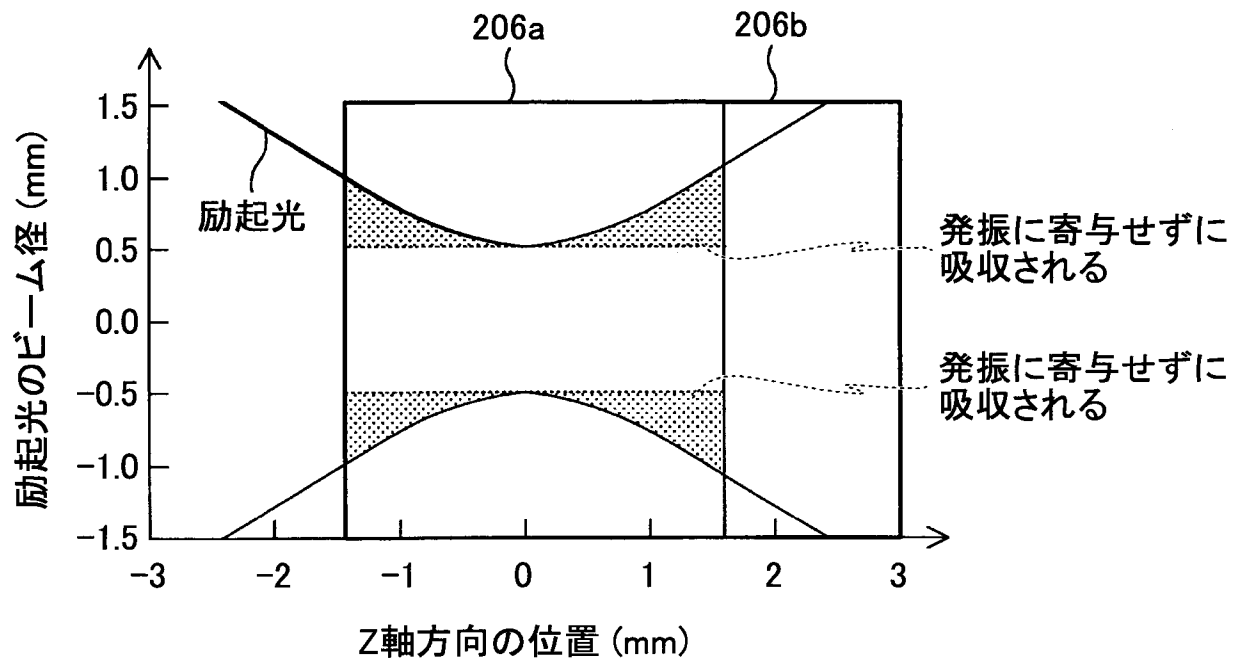
[図15]



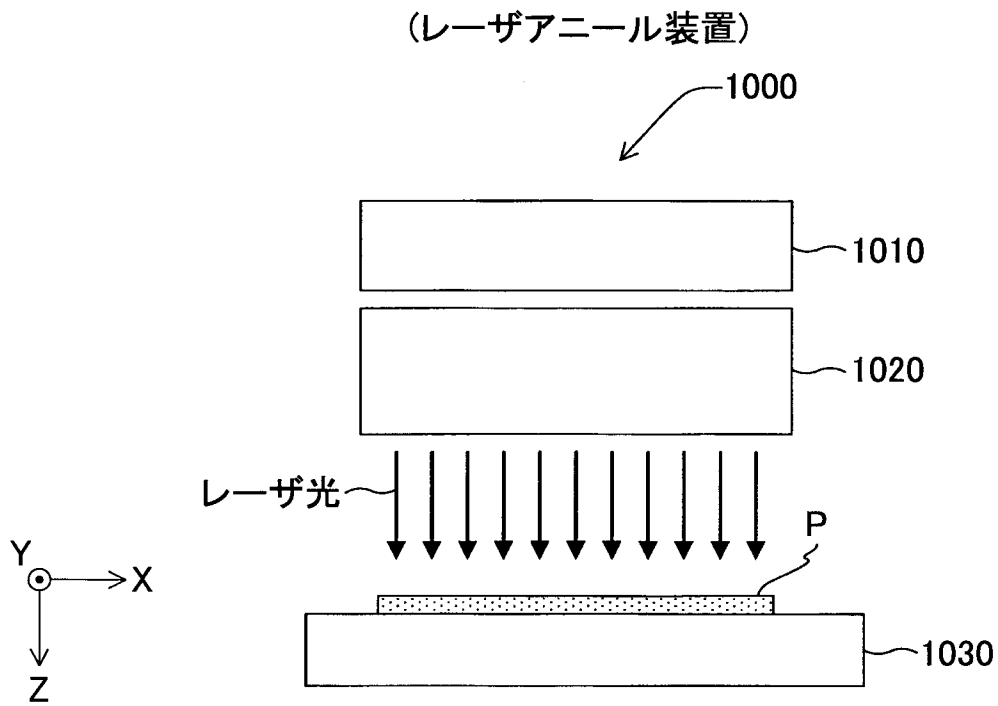
[図16A]



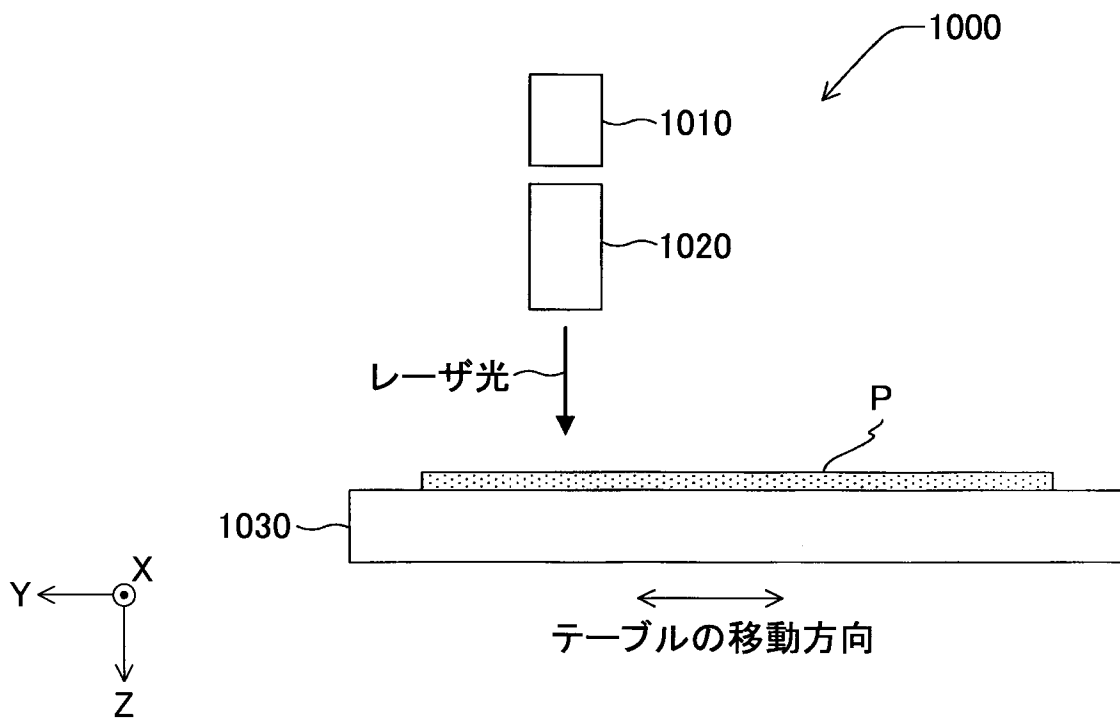
[図16B]



[図17A]

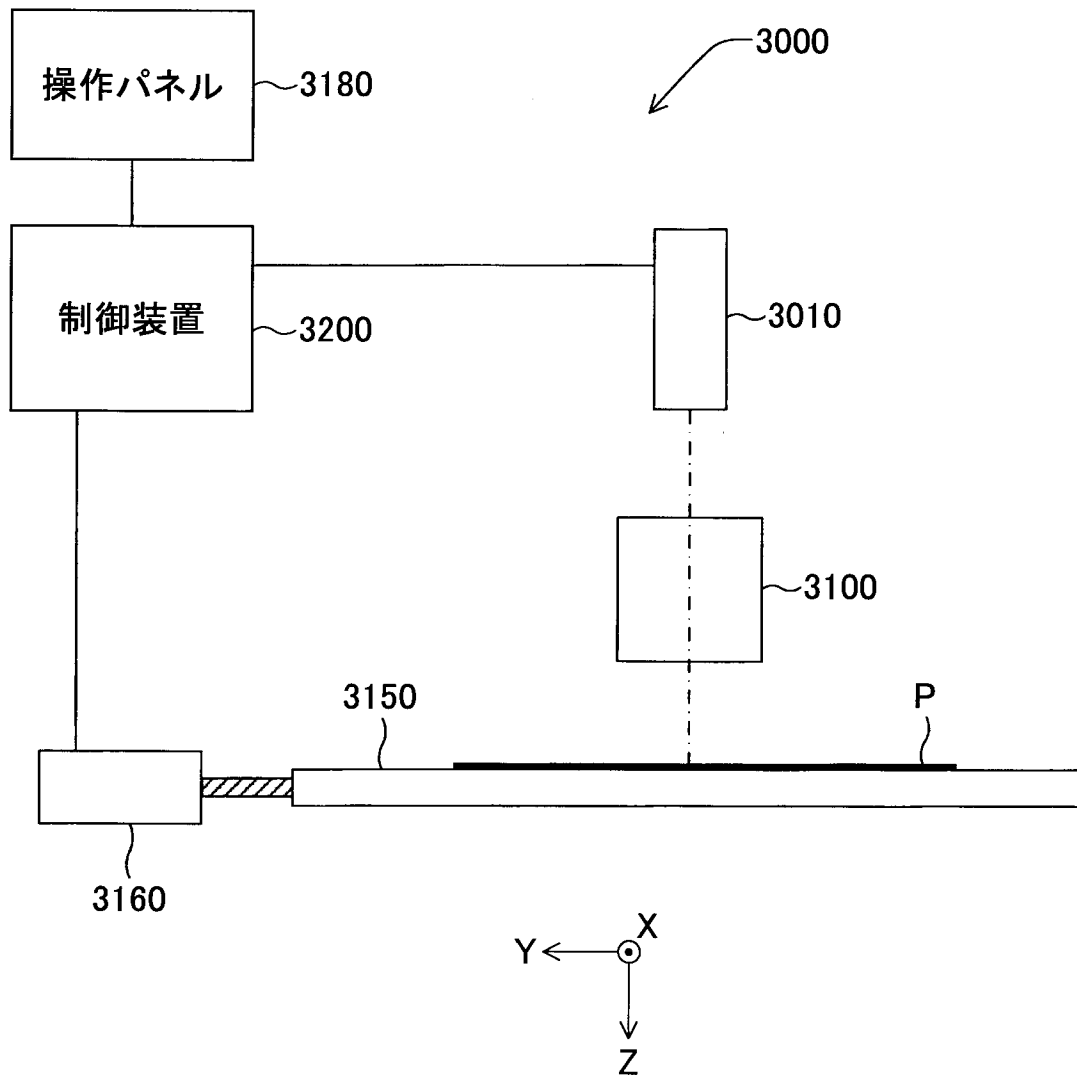


[図17B]



[図18]

(レーザ加工機)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/085559

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/113(2006.01)i, F02P23/04(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, H01S3/0941(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)

H01S3/113, F02P23/04, H01S3/00, H01S3/0941, H01S5/42

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2009-194076 A (NGK Spark Plug Co., Ltd.), 27 August 2009 (27.08.2009), paragraphs [0017] to [0031]; fig. 1 (Family: none)	1-14

☐ 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
01 February 2017 (01.02.17)

Date of mailing of the international search report
14 February 2017 (14.02.17)

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

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S3/113(2006.01)i, F02P23/04(2006.01)i, H01S3/00(2006.01)i, H01S3/0941(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 (IPC))

Int.Cl. H01S3/113, F02P23/04, H01S3/00, H01S3/0941, H01S5/42

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2009-194076 A (日本特殊陶業株式会社) 2009.08.27, [0017]-[0031], 図1 (ファミリーなし)	1-14

☐ 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

01.02.2017

国際調査報告の発送日

14.02.2017

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)

小濱 健太

2 K

4 0 0 9

電話番号 03-3581-1101 内線 3255