

(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3月23日(23.03.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/046860 A1

- (51) 国際特許分類:
G02F 1/37 (2006.01) **H01S 3/23** (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/076079
- (22) 国際出願日: 2015年9月15日(15.09.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 学校法人東京理科大学(TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE FOUNDATION) [JP/JP]; 〒1628601 東京都新宿区神楽坂一丁目3番地 Tokyo (JP). ギガフォトン株式会社(GIGAPHOTON INC.) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 Tochigi (JP).
- (72) 発明者: 渡部 俊太郎(WATANABE, Shuntaro); 〒1628601 東京都新宿区神楽坂一丁目3番地 学校法人東京理科大学内 Tokyo (JP). 中里 智治(NAKAZATO, Tomoharu); 〒1628601 東京都新宿区神楽坂一丁目3番地 学校法人東京理科大学内 Tokyo (JP). 小野瀬 貴士(ONOSE, Takashi); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 柿崎 弘

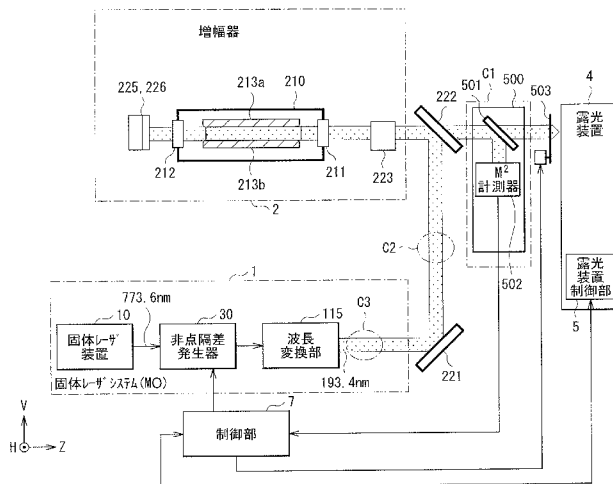
司(KAKIZAKI, Kouji); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).

- (74) 代理人: 特許業務法人つばさ国際特許事務所(TSUBASA PATENT PROFESSIONAL CORPORATION); 〒1600022 東京都新宿区新宿1丁目15番9号さわだビル3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, 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, 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), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー

[続葉有]

(54) Title: LASER SYSTEM

(54) 発明の名称: レーザシステム



- 1 Solid laser system (MO)
2 Amplifier
4 Light exposure device
5 Light exposure device control unit
7 Control unit
10 Solid laser device
30 Astigmatic difference generator
115 Wavelength conversion unit
502 M² measuring instrument

(57) Abstract: A laser system according to the present disclosure may be provided with: a first laser device that outputs first laser light; a wavelength conversion unit that includes one or more wavelength conversion elements, that is disposed on the optical path of the first laser light, and that performs wavelength conversion on the basis of the first laser light so as to output second laser light; and at least one first astigmatic difference generator that is disposed on the optical path between the first laser device and the wavelength conversion element, of the one or more wavelength conversion elements, disposed at the most downstream side, and that generates an astigmatic difference in the first laser light.

(57) 要約: 本開示によるレーザシステムは、第1のレーザ光を出力する第1のレーザ装置と、少なくとも1つの波長変換素子を含み、第1のレーザ光の光路上に配置され、第1のレーザ光に基づいて波長変換を行い、第2のレーザ光として出力する波長変換部と、第1のレーザ装置と少なくとも1つの波長変換素子のうち最も下流側に配置された波長変換素子との間の光路上に配置され、第1のレーザ光に非点隔差を発生させる少なくとも1つの第1の非点隔差発生器とを備えてもよい。



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

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： レーザシステム

技術分野

[0001] 本開示は、レーザシステムに関する。

背景技術

[0002] 半導体集積回路の微細化、高集積化につれて、半導体露光装置においては解像力の向上が要請されている（半導体露光装置を以下、単に「露光装置」という）。このため、露光用光源から出力される光の短波長化が進められている。露光用光源には、従来の水銀ランプに代わってガスレーザ装置が用いられている。現在、露光用のガスレーザ装置としては、波長248nmの紫外線を出力するKrFエキシマレーザ装置並びに、波長約193.4nmの紫外線を出力するArFエキシマレーザ装置が用いられている。

[0003] 現在の露光技術としては、露光装置側の投影レンズとウエハ間の間隙を液体で満たして、当該間隙の屈折率を変えることによって、露光用光源の見かけの波長を短波長化する液浸露光が実用化されている。ArFエキシマレーザ装置を露光用光源として用いて液浸露光が行われた場合は、ウエハには水中における波長134nmの紫外光が照射される。この技術をArF液浸露光という。ArF液浸露光はArF液浸リソグラフィーとも呼ばれる。

[0004] KrF、ArFエキシマレーザ装置の自然発振におけるスペクトル線幅は約350～400pmと広いため、露光装置側の投影レンズによってウエハ上に縮小投影されるレーザ光（紫外線光）の色収差が発生して解像力が低下する。そこで色収差が無視できる程度となるまでガスレーザ装置から出力されるレーザ光のスペクトル線幅を狭帯域化する必要がある。スペクトル線幅はスペクトル幅とも呼ばれる。このためガスレーザ装置のレーザ共振器内には狭帯域化素子を有する狭帯域化モジュール（Line Narrow Module）が設けられ、この狭帯域化モジュールによりスペクトル幅の狭帯域化が実現されている。なお、狭帯域化素子はエタロンやグレーティング等であってもよい。

このようにスペクトル幅が狭帯域化されたレーザ装置を狭帯域化レーザ装置という。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：米国特許第7 9 9 9 9 1 5号明細書
特許文献2：特許第5 4 1 0 3 4 4号公報
特許文献3：特開2 0 1 3 - 2 2 2 1 7 3号公報
特許文献4：米国特許第7 5 9 3 4 3 7号明細書
特許文献5：特許第5 7 4 0 1 9 0号公報
特許文献6：特開2 0 0 8 - 2 7 7 6 1 7号公報

概要

- [0006] 本開示によるレーザシステムは、第1のレーザ光を出力する第1のレーザ装置と、少なくとも1つの波長変換素子を含み、第1のレーザ光の光路上に配置され、第1のレーザ光に基づいて波長変換を行い、第2のレーザ光として出力する波長変換部と、第1のレーザ装置と少なくとも1つの波長変換素子のうち最も下流側に配置された波長変換素子との間の光路上に配置され、第1のレーザ光に非点隔差を発生させる少なくとも1つの第1の非点隔差発生器とを備えてもよい。

図面の簡単な説明

- [0007] 本開示のいくつかの実施形態を、単なる例として、添付の図面を参照して以下に説明する。
- [図1]図1は、比較例に係るエキシマレーザ装置の一構成例を概略的に示す。
- [図2]図2は、図1に示したエキシマレーザ装置における増幅器をV軸方向から見た一構成例を概略的に示す。
- [図3]図3は、図1に示したエキシマレーザ装置における固体レーザシステムの各部の構成例を概略的に示す。
- [図4]図4は、図3に示した固体レーザシステムにおけるコヒーレンス低減器

としてのO P Sの作用を概略的に示す。

[図5]図5は、O P Sを通過する前とO P Sを通過した後のパルスレーザ光のパルス波形の一例を概略的に示す。

[図6]図6は、第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置の一構成例を概略的に示す。

[図7]図7は、第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置における制御部による制御の流れの一例を示すフローチャートである。

[図8]図8は、図6に示した固体レーザシステムにおける非点隔差発生器の第1の構成例を概略的に示す。

[図9]図9は、図6に示した固体レーザシステムにおける非点隔差発生器の第2の構成例を概略的に示す。

[図10]図10は、図6に示したエキシマレーザ装置におけるM²計測部の第1の構成例を概略的に示す。

[図11]図11は、図6に示したエキシマレーザ装置におけるM²計測部の第2の構成例を概略的に示す。

[図12]図12は、図6に示したエキシマレーザ装置における増幅器の第1の変形例を概略的に示す。

[図13]図13は、図6に示したエキシマレーザ装置における増幅器の第2の変形例を概略的に示す。

[図14]図14は、第3の実施形態に係る固体レーザシステムの一構成例を概略的に示す。

[図15]図15は、図14に示した非点隔差発生器から出力された、波長904nmの基本波を集光した特性を測定した結果の一例を概略的に示す。

[図16]図16は、図14に示した波長変換部におけるLBO結晶から出力された、波長452nmの第2高調波光を集光した特性を測定した結果の一例を概略的に示す。

[図17]図17は、図14に示した波長変換部におけるBBO結晶から出力された波長226nmの第4高調波光を集光した特性と、第1の固体レーザ装

置から出力された波長 1 3 4 2 n m のパルスレーザ光を集光した特性とを測定した結果の一例を概略的に示す。

[図18]図 1 8 は、図 1 4 に示した波長変換部における第 2 高調波光から第 4 高調波光への波長変換効率を測定した結果の一例を概略的に示す。

[図19]図 1 9 は、図 1 4 に示した波長変換部における C L B O 結晶から出力された、波長 1 9 3 . 4 n m の和周波光を集光した特性を測定した結果の一例を概略的に示す。

[図20]図 2 0 は、図 1 4 に示した波長変換部における第 4 高調波光から和周波光への波長変換効率を測定した結果の一例を概略的に示す。

[図21]図 2 1 は、第 4 の実施形態に係るエキシマレーザ装置の一構成例を概略的に示す。

[図22]図 2 2 は、第 5 の実施形態に係る固体レーザシステムの一構成例を概略的に示す。

[図23]図 2 3 は、第 6 の実施形態に係る固体レーザシステムを光源とするアニール装置の一構成例を概略的に示す。

[図24]図 2 4 は、制御部のハードウェア環境の一例を示す。

実施形態

[0008] <内容>

< 1 . 比較例 > (固体レーザシステムを M O とするエキシマレーザ装置)

1 . 1 エキシマレーザ装置の概要 (図 1 、 図 2)

1 . 1 . 1 構成

1 . 1 . 2 動作

1 . 2 固体レーザシステム (図 3)

1 . 2 . 1 構成

1 . 2 . 2 動作

1 . 3 課題 (図 4 、 図 5)

< 2 . 第 1 の実施形態 > (非点隔差発生器を含む固体レーザシステムを M O とするエキシマレーザ装置) (図 6 、 図 7)

2. 1 構成

2. 2 動作

2. 3 作用・効果

<3. 第2の実施形態> (各部のバリエーション、及び各部の具体例)

3. 1 複数のシリンドリカルレンズを用いた非点隔差発生器 (図8)

3. 1. 1 構成

3. 1. 2 動作

3. 1. 3 作用・効果

3. 2 集光レンズの傾きによって非点隔差を発生させる非点隔差発生器
(図9)

3. 2. 1 構成

3. 2. 2 動作

3. 2. 3 作用・効果

3. 3 M²計測部の第1の構成例 (図10)

3. 3. 1 構成

3. 3. 2 動作

3. 4 M²計測部の第2の構成例 (図11)

3. 4. 1 構成

3. 4. 2 動作

3. 5 増幅器のバリエーション (図11、図12)

3. 5. 1 増幅器の第1の変形例

3. 5. 2 増幅器の第2の変形例

<4. 第3の実施形態> (2つの固体レーザ装置を含む固体レーザシステムの
第1の例) (図14～図20)

4. 1 構成

4. 2 動作

4. 3 作用・効果

<5. 第4の実施形態> (2つの固体レーザ装置を含む固体レーザシステム

の第2の例) (図21)

5. 1 構成

5. 2 動作

5. 3 作用・効果

<6. 第5の実施形態> (2つの固体レーザ装置を含む固体レーザシステムの第3の例) (図22)

6. 1 構成

6. 2 動作

6. 3 作用・効果

<7. 第6の実施形態> (固体レーザシステムを光源とするアニール装置) (図23)

<8. 制御部のハードウェア環境> (図24)

<9. その他>

[0009] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら詳しく説明する。以下に説明される実施形態は、本開示のいくつかの例を示すものであって、本開示の内容を限定するものではない。また、各実施形態で説明される構成及び動作の全てが本開示の構成及び動作として必須であるとは限らない。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、重複する説明を省略する。

[0010] <1. 比較例>

露光装置用レーザ装置として、MO (マスタオシレータ) と増幅器とを含む構成があり得る。そのような露光装置用レーザ装置では、MOと増幅器とに、エキシマレーザガスをレーザ媒質とするレーザ装置が使用され得る。しかしながら、省エネルギーの観点から、MOを、非線形結晶と固体レーザ装置とを組み合わせた紫外光のパルスレーザ光を出力する固体レーザシステムとする露光装置用レーザ装置の開発が進みつつある。以下では、そのような固体レーザシステムを含む露光装置用レーザ装置として適用可能なエキシマレーザ装置の構成例を説明する。

[0011] [1. 1 エキシマレーザ装置の概要]

(1. 1. 1 構成)

図1は、本開示の実施形態に対する比較例に係るエキシマレーザ装置の一構成例を概略的に示している。図2は、図1に示したエキシマレーザ装置における増幅器2をV軸方向から見た一構成例を概略的に示している。

[0012] なお、本明細書において、レーザ光の光路軸方向はZ軸方向であってもよい。Z軸方向に略直交する2つの方向は、H軸方向とV軸方向とであってもよい。H軸方向は、図1の紙面に略直交する方向であってもよい。

[0013] エキシマレーザ装置は、MOP O (Master Oscillator Power Oscillator) 方式、又はMOP A (Master Oscillator Power Amplifier) 方式のレーザ装置であってもよい。図1及び図2では、MOP O方式の構成例を示す。エキシマレーザ装置は、MOとしての固体レーザシステム101と、高反射ミラー221、222と、増幅器2とを備えてもよい。

[0014] 固体レーザシステム101は、固体レーザ装置10と、コヒーレンス低減器200と、波長変換部115とを含んでもよい。固体レーザ装置10から出力されたパルスレーザ光の光路上に、コヒーレンス低減器200と波長変換部115とが、この順序で配置されてもよい。

[0015] 固体レーザ装置10は、例えば波長773.6nmのパルスレーザ光を第1のレーザ光として出力するチタンサファイヤレーザ装置であってもよい。

[0016] コヒーレンス低減器200は、光学パルスストレッチャ(OPS)であってもよい。

[0017] 波長変換部115は、少なくとも1つの波長変換素子を含んでいてもよい。波長変換素子は非線形結晶であってもよい。波長変換部115は、入力されたパルスレーザ光を基本波とし、その基本波を第4高調波光に波長変換して第2のレーザ光として出力してもよい。第4高調波光は例えば波長193.4nmであってもよい。

[0018] 高反射ミラー221、及び高反射ミラー222は、波長変換された波長193.4nmのパルスレーザ光が、シード光として増幅器2に入力されるよ

うに配置されてもよい。

[0019] 増幅器 2 は、光共振器を含む P O (Power Oscillator) であってもよい。増幅器 2 は、エキシマレーザガスが封入されたレーザチャンバ 2 1 0 と、レーザチャンバ 2 1 0 内で互いに対向配置された 1 対の放電電極 2 1 3 a, 2 1 3 b と、高反射ミラー 2 2 3 と、光共振器としてのリング共振器とを含んでもよい。レーザチャンバ 2 1 0 は、第 1 のウインドウ 2 1 1 と、第 2 のウインドウ 2 1 2 とを含んでもよい。エキシマレーザガスは、例えばレアガスとしての A r ガスと、ハロゲンガスとしての F₂ ガスと、バッファガスとしての N e ガスとを含んでもよい。

[0020] 増幅器 2 のリング共振器は、図 2 に示したように、O C (出力結合器 : out coupler) としての部分反射ミラー 2 2 0 と、高反射ミラー 2 2 4、2 2 5、及び 2 2 6 とを含んでもよい。部分反射ミラー 2 2 0 と、高反射ミラー 2 2 4、2 2 5、及び 2 2 6 は、シード光が 1 対の放電電極 2 1 3 a, 2 1 3 b 間の放電領域を 2 回通過するよう配置されてもよい。高反射ミラー 2 2 3 は、高反射ミラー 2 2 2 によって反射されたシード光が部分反射ミラー 2 2 0 を介してリング共振器中に入射するように配置されてもよい。

[0021] 1 対の放電電極 2 1 3 a, 2 1 3 b は、固体レーザシステム 1 0 1 から出力されたシード光がリング共振器中に注入されたのに同期して放電するように、図示しない電源によって制御されてもよい。

[0022] (1. 1. 2 動作)

固体レーザ装置 1 0 から出力された波長 7 7 3. 6 n m のパルスレーザ光は、コヒーレンス低減器 2 0 0 に入力され得る。コヒーレンス低減器 2 0 0 では、O P S によってパルス幅が伸張され、空間的コヒーレンスが低減されたパルスレーザ光が出力され得る。

[0023] 空間的コヒーレンスが低減されたパルスレーザ光は、波長変換部 1 1 5 に入力され得る。波長変換部 1 1 5 では、第 4 高調波光である波長 1 9 3. 4 n m のパルスレーザ光を生成し得る。ここで、波長変換されたパルスレーザ光も、波長変換前と略同じ空間的コヒーレンスとなり得る。

[0024] 固体レーザシステム 101 から出力されたパルスレーザ光は、高反射ミラー 221, 222, 223 を介して、シード光として部分反射ミラー 220 から増幅器 2 のリング共振器内に注入され得る。シード光としてのパルスレーザ光がリング共振器内に注入されるのと同期して、1 対の放電電極 213a, 213b 間で放電が生じ得る。この放電が生じた放電領域では、レーザチャンバ 210 内のエキシマレーザガスが放電によって励起され得る。リング共振器によって放電領域中を通過させられたパルスレーザ光が増幅され得る。増幅されたパルスレーザ光は増幅器 2 から出力され得る。増幅器 2 から出力されたパルスレーザ光は、シード光と略同じ空間的コヒーレンス、又はさらに低い空間的コヒーレンスとなり得る。また、増幅器 2 から出力されたパルスレーザ光は、露光装置制御部 5 を含む露光装置 4 に入力され得る。

[0025] [1. 2 固体レーザシステム]

(1. 2. 1 構成)

図 3 は、図 1 に示したエキシマレーザ装置における固体レーザシステム 101 の各部の構成例を概略的に示す。

[0026] 固体レーザ装置 10 は、MO としての発振器 170 と、増幅器 (PA) 180 と、ポンピングレーザ装置 190 と、高反射ミラー 191, 192 とを含んでもよい。

[0027] 発振器 170 は、グレーティング 171 と、ビームエキスパンダ 172 と、チタンサファイヤ結晶 173 と、OC としての出力結合ミラー 174 とを含んでもよい。

[0028] グレーティング 171 は、入射角と回折角とが同じとなるようにリトロ配置され、出力結合ミラー 174 と共に光共振器を構成してもよい。

[0029] ビームエキスパンダ 172 は、凹レンズと凸レンズとを組み合わせたビームエキスパンダであって、チタンサファイヤ結晶 173 とグレーティング 171 との間に配置されていてもよい。

[0030] 高反射ミラー 191, 192 は、発振器 170 から出力されたパルスレーザ光が、シード光として増幅器 180 に入力されるように配置されてもよい。

- 。
- [0031] PA180は、チタンサファイヤ結晶181を含み、発振器170から出力されたパルスレーザ光を増幅するように配置されてもよい。PA180は、パルスレーザ光がチタンサファイヤ結晶181をマルチパスするように配置された図示しない複数のミラーを含み、パルスレーザ光をマルチパス増幅するようにしてもよい。また、PA180は、複数段配置されていてもよい。
- [0032] ポンプングレーザ装置190は、YLFレーザの第2高調波光をポンプ光として出力するレーザ装置であってもよい。YLFレーザの第2高調波光は、例えば波長523.5nmであってもよい。
- [0033] コヒーレンス低減器200は、ビームスプリッタ80と、凹面ミラー81, 82, 83, 84とを含むOPSであってもよい。ビームスプリッタ80は、PA180から出力されたパルスレーザ光の光路上に配置されてもよい。
- [0034] ビームスプリッタ80には、入力されたパルスレーザ光の一部を反射し、他の一部を透過する膜がコートされていてもよい。ビームスプリッタ80の反射率は、50%~70%の範囲、例えば、50%、60%、70%が好ましい。
- [0035] 凹面ミラー81, 82, 83, 84は、焦点距離が全て略同じ f の凹面ミラーであってもよい。凹面ミラー81, 82, 83, 84は、この順番で、ビームスプリッタ80で反射されたパルスレーザ光の光路上に配置されていてもよい。凹面ミラー81, 82, 83, 84は、ビームスプリッタ80で反射されたパルスレーザ光のビームが、再び、ビームスプリッタ80上に戻り、かつ、ビームスプリッタ80上で正転して結像するように配置されていてもよい。凹面ミラー81, 82, 83, 84を通過した場合の光学遅延光路の光路長 L_{ops} は、 $4f$ であってもよい。
- [0036] ここで、光路長 $L_{ops} > \text{時間的コヒーレント長 } L_c$ の関係であってもよい。

また、発振器 170 から出力されたパルスレーザ光の波長を $\lambda_{\text{solid\#mo}}$ 、スペクトル幅を $\Delta \lambda_{\text{solid\#mo}}$ とすると、時間的コヒーレント長 L_c は、以下の関係を満たしてもよい。

$$L_c = \lambda_{\text{solid\#mo}}^2 / \Delta \lambda_{\text{solid\#mo}}$$

[0037] 波長変換部 115 は、集光レンズ 141 と、BBO ($\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$) 結晶 143 と、集光レンズ 142 と、KBBF ($\text{KBe}_2\text{BO}_3\text{F}_2$) 結晶 144 とを含んでいてもよい。

[0038] コヒーレンス低減器 200 から出力されたパルスレーザ光が集光レンズ 141 によって BBO 結晶 143 に集光されるように、集光レンズ 141 と BBO 結晶 143 とが配置されてもよい。また、BBO 結晶 143 による波長変換光が集光レンズ 142 によって KBBF 結晶 144 に集光されるように、集光レンズ 142 と KBBF 結晶 144 とが配置されてもよい。

[0039] (1. 2. 2 動作)

発振器 170 のチタンサファイヤ結晶 173 にポンピングレーザ装置 190 からのポンプ光が入射すると、グレーティング 171 と出力結合ミラー 174 とで構成される光共振器においてレーザ発振し得る。これにより、グレーティング 171 によって狭帯域化された例えば波長 773.6 nm のパルスレーザ光が、出力結合ミラー 174 から出力され得る。この狭帯域化されたパルスレーザ光は、PA180 によってさらに増幅され得る。

[0040] PA180 から出力されたパルスレーザ光は、コヒーレンス低減器 200 としての OPS によって、パルス幅が伸張されることによって、空間的コヒーレンスが低減され得る。空間的コヒーレンスが低減されたパルスレーザ光は、波長変換部 115 に入射し集光レンズ 141 によって BBO 結晶 143 に集光され得る。その結果、例えば波長 386.8 nm の第 2 高調波光に波長変換され得る。この第 2 高調波光の空間的コヒーレンスは、OPS から出力されたパルスレーザ光の空間的コヒーレンスが維持され得る。さらに、第 2 高調波光が、集光レンズ 142 によって KBBF 結晶 144 中に集光され得る。その結果、例えば波長 193.4 nm の第 4 高調波光が生成され得る。

。この第4高調波光の空間的コヒーレンスは、第2高調波光の空間的コヒーレンスが維持され得る。すなわち、第4高調波光の空間的コヒーレンスは、固体レーザ装置10から出力されたパルスレーザ光の空間的コヒーレンスよりも低減され得る。

[0041] [1.3 課題]

図4は、コヒーレンス低減器200としてのOPSの作用を概略的に示している。図5は、OPSを通過する前とOPSを通過した後のパルスレーザ光のパルス波形の一例を概略的に示している。図5において、横軸は時間、縦軸は光強度であってもよい。また、図4及び図5において、OPSを通過する前のパルスレーザ光をL30とする。また、凹面ミラー81, 82, 83, 84を介さず、ビームスプリッタ80をそのまま透過するパルスレーザ光をL40とする。また、ビームスプリッタ80を反射し、凹面ミラー81, 82, 83, 84で1回ずつ反射され、再びビームスプリッタ80に戻って、OPSから出力されたパルスレーザ光をL41とする。すなわち、凹面ミラー81, 82, 83, 84を1周することによって、OPSで1回のパルスの遅延がなされたパルスレーザ光をL41とする。また、凹面ミラー81, 82, 83, 84を2周することによって、2回のパルスの遅延がなされたパルスレーザ光をL42とする。このようにして、パルスレーザ光L30が、OPSを介して複数のパルスレーザ光L40, L41, L42, ...として同じ光路上に出力されることによって、パルス幅の伸張がなされ得る。

[0042] シングル横モードの場合の波長変換効率に比べて、波長変換前に低コヒーレンス化して、波長変換すると、波長変換効率が著しく低下することがあり得る。例えば、図5に示すように、OPSを通過した後のパルスレーザ光のピークパワーが通過前に比べて約半分以下に小さくなり得る。波長変換の効率は（ピークパワー）ⁿに比例するので、例えば $n=2$ の場合、OPSを通過せずに波長変換した場合に比べて、 $1/4$ 以下となり得る。

[0043] 波長変換効率が低下すると、エキシマ増幅器としての増幅器2に注入されるシード光のパルスエネルギーが低下し得る。従って、露光装置4の要求以上

に低コヒーレンス化を行うと、波長変換効率が大きく低下し、増幅器 2 から出力された増幅後のパルスレーザ光のエネルギーが低くなり得る。また、自然放出光（ASE）の割合が増加し、露光性能が悪化することがあり得る。

[0044] < 2. 第 1 の実施形態 >

次に、本開示の第 1 の実施形態に係るエキシマレーザ装置について説明する。なお、以下では上記比較例に係るエキシマレーザ装置の構成要素と略同じ部分については、同一符号を付し、適宜説明を省略する。

[0045] [2. 1 構成]

図 6 は、本開示の第 1 の実施形態に係るエキシマレーザ装置の一構成例を概略的に示している。

[0046] 本実施形態に係るエキシマレーザ装置は、MO としての固体レーザシステム 1 と、増幅器 2 と、制御部 7 と、高反射ミラー 221, 222 と、M²計測部 500 と、出射口シャッタ 503 とを備えてもよい。固体レーザシステム 1 は、第 1 のレーザ装置であってもよい。

[0047] 出射口シャッタ 503 は、高反射ミラー 222 と露光装置 4 との間の光路上に配置されてもよい。出射口シャッタ 503 は、制御部 7 によって開閉制御されてもよい。

[0048] M²計測部 500 は、増幅器 2 から出力されたパルスレーザ光の光路上に配置してもよい。例えば、M²計測部 500 は、高反射ミラー 222 と出射口シャッタ 503 との間の光路上の位置 C1 に配置されてもよい。ただし、M²計測部 500 を、固体レーザシステム 1 から出力されたパルスレーザ光の光路上に配置してもよい。例えば、M²計測部 500 を、波長変換部 115 と高反射ミラー 221 との間の光路上の位置 C3 に配置してもよい。また、例えば、M²計測部 500 を、高反射ミラー 221 と高反射ミラー 222 との間の光路上の位置 C2 に配置してもよい。

[0049] M²計測部 500 は、ビームスプリッタ 501 と、M²計測器 502 とを含んでいてもよい。M²計測器 502 は、入射したパルスレーザ光の M²値を計測し、その計測された M²値のデータを、制御部 7 に送信するように構成されても

よい。

[0050] 固体レーザシステム 1 は、上記比較例に係る固体レーザシステム 101 におけるコヒーレンス低減器 200 に代えて、非点隔差発生器 30 を含んでもよい。波長変換部 115 は、固体レーザ装置 10 から出力された第 1 のレーザ光に基づいて波長変換を行い、第 2 のレーザ光として出力する構成であってもよい。非点隔差発生器 30 は、第 1 の非点隔差発生器であってもよい。

[0051] 非点隔差発生器 30 は、固体レーザ装置 10 から出力された第 1 のレーザ光としてのパルスレーザ光の光路上で、固体レーザ装置 10 と波長変換部 115 との間に配置されてもよい。波長変換部 115 は 1 又は複数の波長変換素子を含んでもよい。非点隔差発生器 30 は、固体レーザ装置 10 と、波長変換部 115 の 1 又は複数の波長変換素子のうち、最も上流側に配置された波長変換素子との間の光路上に配置されていてもよい。ここで、最も上流側に配置された波長変換素子とは、図 3 に示した BBO 結晶 143 であってもよい。

[0052] 非点隔差発生器 30 は、第 1 のレーザ光としてのパルスレーザ光に非点隔差を発生させると共に、その非点隔差の大きさを調節可能な調節機構を含んでもよい。具体的には、例えば、後述する図 8 に示す非点隔差発生器 30 のように、非点隔差を発生させる複数のシリンドリカルレンズを含んでもよい。そして、後述する図 8 に示す非点隔差発生器 30 のように、調節機構としてのリニアステージ 303 によって、複数のシリンドリカルレンズのうち、少なくとも 2 つのシリンドリカルレンズの間隔を調節することによって非点隔差の大きさを調節するような構成であってもよい。また、例えば、後述する図 9 に示す非点隔差発生器 30A のように、非点隔差を発生させる集光レンズ 141 を含んでもよい。そして、後述する図 9 に示す非点隔差発生器 30A のように、調節機構としての回転ステージ 305 によって、パルスレーザ光の光路に対する集光レンズ 141 の傾きを調節することによって非点隔差の大きさを調節するような構成であってもよい。非点隔差発生器 30 は、波長変換部 115 から出力される第 2 のレーザ光の M^2 値を増大させるように

、第1のレーザ光に非点隔差を発生させてもよい。

[0053] 制御部7と露光装置制御部5との間は、制御信号等を送受信する信号線で接続されてもよい。制御部7は、M²計測器502の計測結果に基づいて、非点隔差発生器30の調節機構を制御してもよい。

[0054] その他の構成は、上記比較例に係るエキシマレーザ装置と略同様であってもよい。

[0055] [2. 2 動作]

図7は、制御部7による制御の流れの一例を示すフローチャートである。

[0056] 制御部7は、制御信号として、最初にM²値NG信号を露光装置制御部5に出力してもよい（ステップS101）。次に、制御部7は、制御信号として、露光装置制御部5から調整発振OK信号を受信したか否かを判断してもよい（ステップS102）。制御部7は、露光装置制御部5から調整発振OK信号を受信していないと判断した場合（ステップS102；N）には、ステップS102の処理を繰り返してもよい。制御部7は、露光装置制御部5から調整発振OK信号を受信したと判断した場合（ステップS102；Y）には、出射口シャッタ503を閉じることを指示する信号をシャッタ制御信号として出射口シャッタ503に出力してもよい（ステップS103）。

[0057] 次に、制御部7は、固体レーザシステム1から出力されたパルスレーザ光が、増幅器2の光共振器に注入されるのと同期して、増幅器2の1対の放電電極213a、213bを放電させて、所定の繰り返し周波数でレーザ発振させてもよい（ステップS104）。これにより、増幅器2から、増幅されたパルスレーザ光が出力され得る。

[0058] 制御部7は、固体レーザシステム1の固体レーザ装置10を発振させると、パルスレーザ光が非点隔差発生器30に入射し得る。制御部7は、非点隔差発生器30の調節機構に初期値の制御信号を送信してもよい。非点隔差発生器30からは、非点隔差が初期値に調節されたパルスレーザ光が出力され得る。このパルスレーザ光は波長変換部115に入射し、波長変換されて、第4高調波としての波長193.4nmのパルスレーザ光がシード光として

出力され得る。ここで、波長変換された第4高調波光は、 M^2 値が増加し得る。このシード光は、高反射ミラー221, 222, 223を介して、増幅器2のリング共振器の部分反射ミラー220に入射し得る。増幅器2では、1対の放電電極213a, 213b間で放電が発生することによって、シード光が M^2 値を略維持した状態で増幅され得る。

[0059] 増幅器2から出力されたパルスレーザ光は、 M^2 計測部500に入射し得る。 M^2 計測部500では、ビームスプリッタ501によって反射した一部の光が、 M^2 計測器502に入射し得る。 M^2 計測器502では、入射したレーザ光の M^2 値を計測し得る（ステップS105）。制御部7は、 M^2 計測器502から M^2 値の計測値のデータを受信してもよい。

[0060] 制御部7は、 M^2 の目標値 M^2_t との差 $\Delta M^2 = M^2 - M^2_t$ を計算してもよい（ステップS106）。次に、制御部7は、 M^2 の目標値 M^2_t との差 ΔM^2 が0に近づくように、非点隔差発生器30の調節機構に制御信号を送信してもよい（ステップS107）。

[0061] 次に、制御部7は、 M^2 の目標値 M^2_t との差 ΔM^2 の絶対値 $|\Delta M^2|$ が許容範囲 ΔM^2_{tr} 以下になったか否かを判断してもよい（ステップS108）。許容範囲 ΔM^2_{tr} 以下になっていないと判断した場合（ステップS108；N）には、制御部7は、ステップS105に戻って処理を繰り返してもよい。

[0062] 許容範囲 ΔM^2_{tr} 以下になったと判断した場合（ステップS108；Y）には、制御部7は、固体レーザシステム1とP02とを制御し、レーザ発振を停止させてもよい。次に、制御部7は、露光制御部7に、制御信号として、 M^2 値OK信号を出力してもよい（ステップS109）。次に、制御部7は、出射口シャッタ503を開けることを指示する信号をシャッタ制御信号として出射口シャッタ503に出力してもよい（ステップS110）。

[0063] 次に、制御部7は、露光装置4が露光中であるか否かを判断してもよい（ステップS111）。制御部7は、露光中ではないと判断した場合（ステップS111；N）には、ステップS111の処理を繰り返してもよい。

[0064] 制御部 7 は、露光中であると判断した場合（ステップ S 1 1 1 ; Y）には、上記ステップ S 1 0 5 ~ S 1 0 8 と略同様のステップ S 1 1 2 ~ S 1 1 5 の処理を行ってもよい。その際、ステップ S 1 1 5 において、 M^2 の目標値 M^2_t との差 ΔM^2 の絶対値 $|\Delta M^2|$ が許容範囲 ΔM^2_{tr} 以下になっていないと判断した場合（ステップ S 1 1 5 ; N）には、制御部 7 は、ステップ S 1 0 1 に戻って処理を繰り返してもよい。また、ステップ S 1 1 5 において、 M^2 の目標値 M^2_t との差 ΔM^2 の絶対値 $|\Delta M^2|$ が許容範囲 ΔM^2_{tr} 以下になっていると判断した場合（ステップ S 1 1 5 ; Y）には、制御部 7 は、ステップ S 1 1 1 に戻って処理を繰り返してもよい。ただし、許容範囲 ΔM^2_{tr} 以下になっていると判断した場合（ステップ S 1 1 5 ; Y）において、制御部 7 は、ステップ S 1 1 1 に戻らず、処理を終了してもよい。

[0065] なお、以上の処理において目標値 M^2_t は、露光装置 4 からデータを受信してもよいし、予め制御部 7 の記憶部に記憶しておいてもよい。

[0066] その他の動作は、上記比較例に係るエキシマレーザ装置と略同様であってもよい。

[0067] [2. 3 作用・効果]

本実施形態のエキシマレーザ装置によれば、 M^2 計測部 5 0 0 で M^2 値を計測して、その計測結果に基づいて、非点隔差発生器 3 0 をフィードバック制御しているので、露光装置 4 の目標値 M^2_t に安定化し得る。露光装置 4 の目標値 M^2_t に安定化するので、露光装置 4 の要求以上に M^2 値が悪化することが抑制され得る。その結果、波長変換効率の低下を抑制し得る。また、波長変換前に、図 1 に示したような、低コヒーレンス化して波長変換する場合に比べて、波長変換効率が高くなり得る。

[0068] < 3. 第 2 の実施形態 >

次に、本開示の第 2 の実施形態として、上記第 1 の実施形態のエキシマレーザ装置における各部のバリエーション、及び各部の具体例を説明する。なお、以下では上記比較例、又は上記第 1 の実施形態に係るエキシマレーザ装置の構成要素と略同じ部分については、同一符号を付し、適宜説明を省略す

る。

[0069] [3. 1 複数のシリンドリカルレンズを用いた非点隔差発生器]

(3. 1. 1 構成)

図8は、図6に示した固体レーザシステム1における非点隔差発生器30の第1の構成例を概略的に示している。

[0070] 図8には、非点隔差発生器30として、シリンドリカル凹レンズ301とシリンドリカル凸レンズ302とのレンズの間隔を調節することによって非点隔差を発生するよう構成した場合の実施形態を示す。

[0071] 非点隔差発生器30は、非点隔差を発生させる複数のシリンドリカルレンズとして、シリンドリカル凹レンズ301とシリンドリカル凸レンズ302とを含んでもよい。また、非点隔差発生器30は、シリンドリカル凹レンズ301とシリンドリカル凸レンズ302とのレンズの間隔を調節する調節機構としてのリニアステージ303を含んでもよい。非点隔差発生器30は、固体レーザ装置10と集光レンズ141との間の光路上に配置してもよい。

[0072] (3. 1. 2 動作)

制御部7は、H軸方向のビームウエストW1とV軸方向のビームウエストW2との差である非点隔差 ΔF が目標値となるように、非点隔差発生器30のリニアステージ303を制御してもよい。非点隔差発生器30では、非点隔差 ΔF が目標値となるように、リニアステージ303によって、シリンドリカル凹レンズ301とシリンドリカル凸レンズ302とのレンズの間隔が調節され得る。

[0073] 非線形結晶としてのBBO結晶143に、H軸方向とV軸方向のそれぞれのビームウエストの距離の差があるパルスレーザ光が入射すると、波長変換されたパルスレーザ光のH軸方向とV軸方向の M^2 値が波長変換前に比べて悪化し得る。その結果、非線形結晶で波長変換されたパルスレーザ光は、波長変換される前のパルスレーザ光に比べて空間的コヒーレンスが低下し得る。

[0074] (3. 1. 3 作用・効果)

パルスレーザ光の非点隔差 ΔF が調節されたパルスレーザ光が非線形結晶に入射することで、波長変換後のパルスレーザ光の M^2 値を増加させ得る。その結果、波長変換されたパルスレーザ光の空間的コヒーレンスが調節され得る。波長変換部115では、波長変換前に M^2 値の大きなパルスレーザ光を入射させたときに比べて、波長変換の効率が高くなり得る。また、シリンドリカル凹レンズ301とシリンドリカル凸レンズ302とのレンズの間隔を調節することによって、波長変換後の M^2 値を調節し得る。

[0075] [3. 2 集光レンズの傾きによって非点隔差を発生させる非点隔差発生器]

(3. 2. 1 構成)

図9は、図6に示した固体レーザシステム1における非点隔差発生器30の第2の構成例を概略的に示している。

[0076] 図9には、集光レンズ141を傾けることによって非点隔差を発生するよう構成した非点隔差発生器30Aの実施形態を示す。非点隔差発生器30Aは、非点隔差を発生させる集光レンズ141を含んでもよい。非点隔差発生器30Aは、パルスレーザ光の光路に対する集光レンズ141の傾きを調節する調節機構としての回転ステージ305を含んでもよい。集光レンズ141は、固体レーザ装置10から出力されたパルスレーザ光を非線形結晶としてのBBO結晶143に集光するレンズであってもよい。

[0077] (3. 2. 2 動作)

制御部7は、H軸方向のビームウエストW1とV軸方向のビームウエストW2との差である非点隔差 ΔF が目標値となるように、非点隔差発生器30Aの回転ステージ305を制御してもよい。非点隔差発生器30Aでは、非点隔差 ΔF が目標値となるように、回転ステージ305によって、集光レンズ141の傾きが調節され得る。

[0078] 非線形結晶としてのBBO結晶143に、H軸方向とV軸方向のそれぞれのビームウエストの距離の差があるパルスレーザ光が入射すると、波長変換されたパルスレーザ光のH軸方向とV軸方向の M^2 値が波長変換前に比べて

悪化し得る。その結果、非線形結晶で波長変換されたパルスレーザ光は、波長変換される前のパルスレーザ光に比べて空間的コヒーレンスが低下し得る。

[0079] (3. 2. 3 作用・効果)

パルスレーザ光の非点隔差 ΔF が調節されたパルスレーザ光が非線形結晶に入射することで、波長変換後のパルスレーザ光の M^2 値を増加させ得る。その結果、波長変換されたパルスレーザ光の空間的コヒーレンスが調節され得る。波長変換部 115 では、波長変換前に M^2 値の大きなパルスレーザ光を入射させたときに比べて、波長変換の効率が高くなり得る。また、集光レンズ 141 の傾きを調節することによって、波長変換後の M^2 値を調節し得る。

[0080] (その他)

この例では、集光レンズ 141 を傾けることによって非点隔差 ΔF を調節したが、集光レンズ 141 を傾けることによって、非線形結晶への集光点が変化する場合、固体レーザ装置 10 と集光レンズ 141 との間の光路上に、パルスレーザ光を高透過する平行平面基板を配置してもよい。これにより、非線形結晶中の集光点位置が V 軸方向に変化するのを抑制するようにしてもよい。この場合、平行平面基板を自動で回転させる回転ステージを配置してもよい。

[0081] [3. 3 M^2 計測部の第 1 の構成例]

(3. 3. 1 構成)

図 10 は、図 6 に示したエキシマレーザ装置における M^2 計測部 500 の第 1 の構成例を概略的に示している。

[0082] M^2 計測部 500 は、ビームスプリッタ 501 と、 M^2 計測器 502 とを含んでいてもよい。 M^2 計測器 502 は、ビームスプリッタ 513 と、集光レンズ 514 と、CCD (Charge Coupled Device) 511, 512 と、リニアステージ 515 と、 M^2 計測部制御部 510 とを含んでいてもよい。

[0083] ビームスプリッタ 501 を反射したパルスレーザ光がビームスプリッタ 513 を透過して、集光レンズ 514 に入射するように、ビームスプリッタ 5

01とビームスプリッタ513とが配置されてもよい。集光レンズ514による集光ビームをCCD511によって検出できるように、集光レンズ514とCCD511とが配置されてもよい。CCD511には、光軸方向に移動できるようにリニアステージ515が配置されていてもよい。

[0084] ビームスプリッタ513とCCD512は、集光レンズ514に入射するビーム直径 D_{in} を計測できるように配置してもよい。

[0085] (3. 3. 2 動作)

M^2 計測部制御部510は、CCD511上で計測されたビーム径が最小となるように、リニアステージ515を制御してもよい。

[0086] M^2 計測部制御部510は、ビームウエストの直径に相当するビーム径の最小値 D と、集光レンズ514とCCD511との間の距離 L と、集光レンズ514に入射するビーム直径 D_{in} とから、以下の(2)式によって、ビーム広がり全角 θ を求めてもよい。集光レンズ514とCCD511との間の距離 L は、集光レンズ514からビームウエストまでの距離であってもよい。また、 M^2 計測部制御部510は、以下の(1)式から M^2 値を計算して、制御部7にこの M^2 値のデータを送信してもよい。

[0087] M^2 値は、以下の式(1)で計算され得る。

$$M^2 = (\pi D / 2 \lambda) \tan(\theta / 2) \quad \cdots \cdots (1)$$

ただし、

D : ビームウエストの直径 (μm)

θ : ビーム広がり全角 (rad)

[0088] 以下の式(2)によって、ビームウエスト付近でなく広い領域で角度 θ を定義してもよい。

$$\theta = 2 \sin^{-1}(D_{in} / (2 \cdot L)) \quad \cdots \cdots (2)$$

ただし、

λ : レーザ光の波長 (μm)

D_{in} : 集光レンズ514による集光前のビーム直径

L : 集光レンズ514からビームウエストまでの距離

[0089] [3. 4 M²計測部の第2の構成例]

(3. 4. 1 構成)

図11は、図6に示したエキシマレーザ装置におけるM²計測部500の第2の構成例を概略的に示している。

[0090] M²計測部500Aは、ビームスプリッタ501と、M²計測器502Aとを含んでもよい。M²計測器502Aは、波面調節器520と、ビームスプリッタ513と、集光レンズ514と、CCD511と、CCD512と、M²計測部制御部510とを含んでもよい。

[0091] 波面調節器520は、球面形状の凸レンズ521と、球面形状の凹面レンズ522と、それら両レンズの間隔を調節するリニアステージ523とを含んでもよい。

[0092] ビームスプリッタ513とCCD512は、集光レンズ514に入射するビーム直径D_{in}を計測できるように配置してもよい。

[0093] CCD511は、集光レンズ514の焦点面の位置にセンサ面が位置するように配置されてもよい。集光レンズ514の焦点距離はF_aであってもよい。焦点距離F_aは、集光レンズ514からビームウエストまでの距離であってもよい。

[0094] (3. 4. 2 動作)

M²計測部制御部510は、CCD511で計測されたビーム径が最小となるように、波面調節器520を制御してもよい。ビーム径の最小値は、例えばピーク強度に対して1/e²幅であってもよい。

[0095] M²計測部制御部510は、L = F_aとして、集光レンズ514に入射するビーム直径D_{in}から、以下の(2A)式によって、ビーム広がり全角θを求めてもよい。ここで、集光レンズ514に入射するビーム直径D_{in}はCCD512によって計測してもよい。ビーム径はピーク強度に対して1/e²幅であってもよい。また、M²計測部制御部510は、上述の(1)式からM²値を計算して、制御部7にこのM²値のデータを送信してもよい。

[0096] 上述の(2)式に代えて以下の(2A)式によって、ビームウエスト付近

でなく広い領域で角度 θ を定義してもよい。

$$\theta = 2 \sin^{-1} (D_{in} / (2 \cdot F a)) \quad \cdots \cdots (2 A)$$

ただし、

λ : レーザ光の波長 (μm)

D_{in} : 集光レンズ 514 による集光前のビーム直径

$F a$: 集光レンズ 514 の焦点距離

[0097] [3. 5 増幅器のバリエーション]

(3. 5. 1 増幅器の第 1 の変形例)

図 12 は、図 6 に示したエキシマレーザ装置における増幅器 2 の第 1 の変形例を概略的に示している。

[0098] エキシマレーザ装置は、増幅器 2 に代えて図 12 に示した増幅器 2 A を備えてもよい。増幅器 2 A は、エキシマレーザガスが封入されたレーザチャンバ 110 と、レーザチャンバ 110 内で互に対向配置された 1 対の放電電極 113 a, 113 b と、ファブリペロ型の光共振器とを含む P O であってもよい。レーザチャンバ 110 は、第 1 のウィンドウ 111 と、第 2 のウィンドウ 112 とを含んでもよい。

[0099] ファブリペロ型の光共振器は、O C としての部分反射ミラー 120 と、リアミラー 130 とを含んでもよい。リアミラー 130 の反射率は、80%~90%であってもよい。部分反射ミラー 120 の反射率は 10%~30%であってもよい。

[0100] (3. 5. 2 増幅器の第 2 の変形例)

図 13 は、図 6 に示したエキシマレーザ装置における増幅器 2 の第 2 の変形例を概略的に示している。

[0101] エキシマレーザ装置は、増幅器 2 に代えて図 13 に示した増幅器 2 B を備えてもよい。増幅器 2 B は、光共振器を含まない P A (Power Amplifier) であってもよい。増幅器 2 B は、シリンドリカル凸面ミラー 36 と、シリンドリカル凹面ミラー 37 と、エキシマレーザガスが封入されたレーザチャンバ 35 とを含む増幅器であってもよい。レーザチャンバ 35 は、1 対の放電電

極 3 8 a, 3 8 b と、第 1 のウインドウ 3 9 a と、第 2 のウインドウ 3 9 b とを含んでもよい。

[0102] シリンドリカル凸面ミラー 3 6 とシリンドリカル凹面ミラー 3 7 は、シード光がレーザチャンバ 3 5 内の放電空間 3 4 を 3 パスするように配置されてもよい。シリンドリカル凸面ミラー 3 6 とシリンドリカル凹面ミラー 3 7 は、シード光がレーザチャンバ 3 5 内を 3 パスする際に、シード光のビームが所定の倍率で拡大されて出力されるように配置されていてもよい。ここで、シリンドリカル凸面ミラー 3 6 とシリンドリカル凹面ミラー 3 7 は、自励発振が抑制されるように配置されてもよい。

[0103] < 4. 第 3 の実施形態 >

次に、本開示の第 3 の実施形態に係る固体レーザシステムについて説明する。なお、以下では上記比較例、若しくは上記第 1 の実施形態に係るエキシマレーザ装置、又は上記第 2 の実施形態に係る各部のバリエーションの構成要素と略同じ部分については、同一符号を付し、適宜説明を省略する。

[0104] [4. 1 構成]

図 1 4 は、本開示の第 3 の実施形態に係る固体レーザシステム 1 A を含むエキシマレーザ装置の一構成例を概略的に示している。

[0105] エキシマレーザ装置は、固体レーザシステム 1 A と、固体レーザ制御部 3 を含む制御部 7 とを備えてもよい。

[0106] 固体レーザシステム 1 A は、第 1 の固体レーザ装置 1 1 A と、第 2 の固体レーザ装置 1 2 A と、同期回路部 1 3 と、非点隔差発生器 3 0 と、波長変換部 1 1 5 A とを含んでもよい。

[0107] 第 1 の固体レーザ装置 1 1 A は、第 1 のレーザ光を出力する第 1 のレーザ装置であってもよい。第 2 の固体レーザ装置 1 2 A は、第 3 のレーザ光を出力する第 2 のレーザ装置であってもよい。波長変換部 1 1 5 A は、第 1 のレーザ光と第 3 のレーザ光とに基づいて波長変換を行い、第 2 のレーザ光として出力する波長変換部であってもよい。

[0108] 第 1 の固体レーザ装置 1 1 A は、第 1 のレーザ光として波長 1 3 4 2 n m

のパルスレーザ光を出力するNd:YVO₄パルスレーザ装置で、シングル縦モードで発振する第1のレーザ装置であってもよい。第2の固体レーザ装置12Aは、波長904nmで発振する狭帯域チタンサファイヤレーザ装置であって、第3のレーザ光として波長904nmのパルスレーザ光を出力する第2のレーザ装置であってもよい。

[0109] 同期回路部13は、第1の固体レーザ装置11Aから出力されたパルスレーザ光と、第2の固体レーザ装置12から出力されたパルスレーザ光とが波長変換部115AのCLBO結晶163に略同時に入力されるように構成されていてもよい。

[0110] 波長変換部115Aは、複数の波長変換素子として、LBO(LiB₃O₅)結晶161と、BBO結晶162と、CLBO(CsLiB₆O₁₀)結晶163とを含んでもよい。波長変換部115Aは、第1の集光レンズ151と、第2の集光レンズ152と、第3の集光レンズ153と、第4の集光レンズ154と、高反射ミラー156と、ダイクロイックミラー157とを含んでもよい。波長変換部115Aの出力段に、第5の集光レンズ155が配置されていてもよい。

[0111] 第1の集光レンズ151は、非点隔差発生器30とLBO結晶161との間の光路上に配置されてもよい。第2の集光レンズ152は、LBO結晶161とBBO結晶162との間の光路上に配置されてもよい。第3の集光レンズ153は、BBO結晶162と高反射ミラー156との間の光路上に配置されてもよい。第4の集光レンズ154は、第1の固体レーザ装置11Aとダイクロイックミラー157との間の光路上に配置されてもよい。

[0112] ダイクロイックミラー157は、第1の固体レーザ装置11Aからのパルスレーザ光がCLBO結晶163に入力されるように配置されてもよい。高反射ミラー156とダイクロイックミラー157は、BBO結晶162からの第4高調波光がCLBO結晶163に入力されるように配置されてもよい。

[0113] (その他)

非点隔差発生器 30 は、第 2 の固体レーザ装置 12 A から出力された第 3 のレーザ光としてのパルスレーザ光の光路上に配置されてもよい。非点隔差発生器 30 は、第 2 の固体レーザ装置 12 A と、波長変換部 115 の複数の波長変換素子のうち、最も下流側に配置された波長変換素子との間の光路上に配置されていてもよい。ここで、最も下流側に配置された波長変換素子とは、CLBO 結晶 163 であってもよい。非点隔差発生器 30 は、第 3 のレーザ光に非点隔差を発生させる第 2 の非点隔差発生器であってもよい。

[0114] 非点隔差発生器 30 は、第 2 の固体レーザ装置 12 A と波長変換部 115 A との間に配置する例に限定されることなく、例えば、LBO 結晶 161 と BBO 結晶 162 との間の光路上の位置 B1 に非点隔差発生器 30 を配置してもよい。また、BBO 結晶 162 と第 3 の集光レンズ 153 との間の光路上の位置 B2 に非点隔差発生器 30 を配置してもよい。

[0115] また、非点隔差発生器 30 を第 1 の非点隔差発生器として、第 1 の固体レーザ装置 11 A から出力された第 1 のレーザ光としてのパルスレーザ光の光路上に配置してもよい。例えば、非点隔差発生器 30 を、第 1 の固体レーザ装置 11 A と波長変換部 115 A との間の光路上の位置 A1 に配置してもよい。

[0116] また、非点隔差発生器 30 を配置する位置は 1 箇所に限らず、第 2 の固体レーザ装置 12 A と波長変換部 115 A との間の位置と、上記した位置 A1、位置 B1 及び位置 B2 とのうち、2 以上の箇所に配置されていてもよい。

[0117] その他の構成は、上記第 1 の実施形態に係るエキシマレーザ装置と略同様であってもよい。

[0118] [4. 2 動作]

同期回路部 13 は、固体レーザ制御部 3 からの制御信号に基づいて、第 1 の固体レーザ装置 11 A と第 2 の固体レーザ装置 12 A とにそれぞれ、所定のタイミングで発振トリガを出力してもよい。第 1 の固体レーザ装置 11 A からは波長 1342 nm のパルスレーザ光が出力され得る。第 2 の固体レーザ装置 12 A からは、波長 904 nm のパルスレーザ光が出力され得る。

[0119] LBO結晶161には、非点隔差発生器30と第1の集光レンズ151とを介して、第2の固体レーザ装置12Aからの波長904nmのパルスレーザ光が基本波として入力され得る。LBO結晶161では、基本波を波長452nmの第2高調波光に変換し、その第2高調波光を出力し得る。BBO結晶162には、第2の集光レンズ152を介して第2高調波光が入力され得る。BBO結晶162では、第2高調波光を波長226nmの第4高調波光に変換し、その第4高調波光を出力し得る。

[0120] CLBO結晶163には、第4の集光レンズ154及びダイクロイックミラー157を介して、第1の固体レーザ装置11Aからの波長1342nmのパルスレーザ光が入力され得る。また、CLBO結晶163には、第3の集光レンズ153、高反射ミラー156、及びダイクロイックミラー157を介して第4高調波光が入力され得る。CLBO結晶163では、波長1342nmのパルスレーザ光と第4高調波光とから、波長193.4nmの和周波光を生成し、その和周波光を出力し得る。

[0121] 第2の固体レーザ装置12Aから出力されたパルスレーザ光は、非点隔差発生器30によって、非点隔差が調節された上で波長変換部115Aに入力され得る。非点隔差の大きさは、制御部7から非点隔差発生器30の調節機構に制御信号を送ることによって調節され得る。これにより、波長変換部115Aから最終的に出力される波長193.4nmのパルスレーザ光の M^2 値を調節し得る。

[0122] その他の動作は、上記第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置と略同様であってもよい。

[0123] [4.3 作用・効果]

本実施形態の固体レーザシステム1Aによれば、第2の固体レーザ装置12Aから出力されたパルスレーザ光が、非点隔差発生器30によって非点隔差が調節された上で波長変換部115Aに入力され得る。非点隔差が調節された上で波長変換されるので、波長変換後のパルスレーザ光の M^2 値が増加し得る。その結果、出力される波長193.4nmのパルスレーザ光の空間的

コヒーレンスが低減され得る。

[0124] (M^2 値及び波長変換効率の測定結果)

図15は、図14に示した固体レーザシステム1Aにおける非点隔差発生器30から出力された、波長904 nmの基本波を集光した特性を測定した結果の一例を概略的に示している。

[0125] 図15には、非点隔差発生器30によって調節された波長904 nmの基本波のパルスレーザ光を第1の集光レンズ151によって集光した場合のH軸方向とV軸方向とにおけるビーム径の特性が示されている。第1の集光レンズ151の焦点距離は400 mmとしている。図15の横軸は第1の集光レンズ151の焦点位置を中心位置とした、中心位置からの距離 (mm) であってもよい。図15の縦軸はビーム径 (mm) であってもよい。基本波のパルスレーザ光の第1の集光レンズ151の焦点位置付近、±約200 mmのH軸方向とV軸方向とのビーム径を計測した。V軸方向の $M^2=1.0$ 、H軸方向の $M^2=1.0$ 、H軸方向とV軸方向とのビームウエスト位置の差である非点較差 ΔF が約90 mm程度となるように、非点隔差発生器30を調節した。

[0126] 図16は、図14に示した波長変換部115AにおけるLBO結晶161から出力された、波長452 nmの第2高調波光を集光した特性を測定した結果の一例を概略的に示している。

[0127] 図16には、LBO結晶161から出力された波長452 nmの第2高調波光を第2の集光レンズ152によって集光した場合のH軸方向とV軸方向とにおけるビーム径の特性が示されている。第2の集光レンズ152の焦点距離は200 mmとしている。図16の横軸はLBO結晶161の中心位置からの距離 (mm) であってもよい。図16の縦軸はビーム径 (mm) であってもよい。第2高調波光の M^2 値を測定した結果、V軸方向に $M^2=2.0$ 、H軸方向に $M^2=1.0$ となり、V軸方向の M^2 値が悪化した。

[0128] 図17は、図14に示した波長変換部115AにおけるBBO結晶162から出力された、波長226 nmの第4高調波光を集光した特性を測定した

結果の一例を概略的に示している。また、図 17 は、第 1 の固体レーザ装置 11A から出力された、波長 1342 nm のパルスレーザ光を集光した特性を測定した結果の一例を概略的に示している。

[0129] 図 17 には、BBO 結晶 162 から出力された波長 226 nm の第 4 高調波光を第 3 の集光レンズ 153 によって集光した場合の H 軸方向と V 軸方向とにおけるビーム径の特性が示されている。第 3 の集光レンズ 153 の焦点距離は 250 mm としている。第 4 高調波光の特性に関して、図 17 の横軸は BBO 結晶 162 の中心位置からの距離 (mm)、縦軸はビーム径 (mm) であってもよい。第 4 高調波光の M^2 値を測定した結果、V 軸方向に $M^2 = 6.5$ 、H 軸方向に $M^2 = 5.0$ となり、V 軸方向と H 軸方向との M^2 値が悪化した。

[0130] また、図 17 には、第 1 の固体レーザ装置 11A から出力された波長 1342 nm のパルスレーザ光を第 4 の集光レンズ 154 によって集光した場合の H 軸方向と V 軸方向とにおけるビーム径の特性が示されている。第 4 の集光レンズ 154 の焦点距離は 400 mm としている。波長 1342 nm のパルスレーザ光の特性に関して、図 17 の横軸は CLBO 結晶 163 の中心位置からの距離 (mm)、縦軸はビーム径 (mm) であってもよい。波長 1342 nm のパルスレーザ光の M^2 値を測定した結果、V 軸方向に $M^2 = 1.0$ 、H 軸方向に $M^2 = 1.0$ となり、シングル横モードであった。

[0131] 図 18 は、図 14 に示した波長変換部 115A における第 2 高調波光から第 4 高調波光への波長変換効率を測定した結果の一例を概略的に示している。

[0132] 第 2 高調波光から第 4 高調波光に波長変換したときの波長変換効率は約 16% となった。固体レーザシステム 1A では、非点隔差発生器 30 を用いたことにより、図 1 及び図 3 に示したコヒーレンス低減器 200 によって低コヒーレンス化した場合に比べて、パルスレーザ光の光強度が高くなり得る。このため、第 4 高調波光への波長変換効率が高くなり得る。

[0133] 図 19 は、図 14 に示した波長変換部 115A における CLBO 結晶 16

3から出力された、波長193.4nmの和周波光を集光した特性を測定した結果の一例を概略的に示している。

[0134] 図19には、CLBO結晶163から出力された波長193.4nmの和周波光を第5の集光レンズ155によって集光した場合のH軸方向とV軸方向におけるビーム径の特性が示されている。第5の集光レンズ155の焦点距離は200mmとしている。図19の横軸は第5の集光レンズ155の焦点位置を中心位置とした、中心位置からの距離（mm）であってもよい。図15の縦軸はビーム径（mm）であってもよい。和周波光の M^2 値を測定した結果、V軸方向の $M^2=9.9$ 、H軸方向の $M^2=6.4$ となり、CLBO結晶163による波長変換前の M^2 値に比べて、V軸方向とH軸方向との M^2 値がさらに悪化した。

[0135] 図20は、図14に示した波長変換部115Aにおける第4高調波光から和周波光への変換効率を測定した結果の一例を概略的に示している。

[0136] 第4高調波光から和周波光に波長変換したときの波長変換効率は約40%となった。固体レーザシステム1Aでは、非点隔差発生器30を用いたことにより、図1及び図3に示したコヒーレンス低減器200によって低コヒーレンス化した場合に比べて、パルスレーザ光の光強度が高くなり得る。このため、和周波光への波長変換効率が高くなり得る。

[0137] 以上のように、基本波のパルスレーザ光の非点隔差を調節することによって、波長変換するごとに、 M^2 値が悪化し得る。その結果、波長変換後の M^2 値の悪化に伴って、波長変換部115Aから最終的に出力されるパルスレーザ光の空間的コヒーレンスが低下し得る。そのパルスレーザ光をシード光として増幅器2によって増幅した場合には、さらに、増幅されたパルスレーザ光もシード光と同等程度、又はシード光よりもさらに空間的コヒーレンスが低下し得る。

[0138] さらに、波長変換効率は、波長変換する前に低コヒーレンス化した場合に比べて、高い波長変換効率となり得る。

[0139] その他の作用及び効果は、上記第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置

と略同様であってもよい。

[0140] < 5. 第 4 の実施形態 >

次に、本開示の第 4 の実施形態に係る固体レーザシステムについて説明する。なお、以下では上記比較例、若しくは上記第 1、第 3 の実施形態に係るエキシマレーザ装置、又は上記第 2 の実施形態に係る各部のバリエーションの構成要素と略同じ部分については、同一符号を付し、適宜説明を省略する。

[0141] [5. 1 構成]

図 21 は、本開示の第 4 の実施形態に係るエキシマレーザ装置 8 の一構成例を概略的に示している。

[0142] エキシマレーザ装置 8 は、固体レーザシステム 1 B と、制御部 7 と、高反射ミラー 98, 99 とを備えてもよい。制御部 7 は、固体レーザ制御部 3 と、同期制御部 6 とを含んでもよい。また、エキシマレーザ装置 8 は、上記した増幅器 2, 2A, 2B のいずれかを備えてもよい。以下では、図 6 の増幅器 2 を備える場合を例に説明する。

[0143] 固体レーザシステム 1 B は、第 1 の固体レーザ装置 11 と、第 2 の固体レーザ装置 12 と、同期回路部 13 と、高反射ミラー 16 と、ダイクロイックミラー 17 と、波長変換部 15 とを含んでもよい。

[0144] また、固体レーザシステム 1 B は、非点隔差発生器 30 を含んでもよい。非点隔差発生器 30 は、第 2 の固体レーザ装置 12 から出力された第 2 のパルスレーザ光 L2 の光路上に配置されてもよい。例えば、非点隔差発生器 30 は、第 2 の固体レーザ装置 12 とダイクロイックミラー 17 との間の光路上に配置されていてもよい。非点隔差発生器 30 は、第 2 の固体レーザ装置 12 から出力された第 2 のパルスレーザ光 L2 に非点隔差を発生させる第 2 の非点隔差発生器であってもよい。

[0145] 第 1 の固体レーザ装置 11 は、第 1 の波長の第 1 のパルスレーザ光 L1 を、ダイクロイックミラー 17 を介して波長変換部 15 に向けて出射するように構成されてもよい。第 1 の波長は、約 257.5 nm であってもよい。第

1の固体レーザ装置11は、第1の半導体レーザ20と、半導体光増幅器（S O A : Semiconductor Optical Amplifier）23と、Y bファイバ増幅器システム24と、Y b : Y A G結晶増幅器25とを含んでもよい。また、第1の固体レーザ装置11は、非線形結晶であるL B O結晶21とC L B O結晶22とを含んでもよい。第1の半導体レーザ20、半導体光増幅器23、Y bファイバ増幅器システム24、Y b : Y A G結晶増幅器25、L B O結晶21、及びC L B O結晶22は、光路上において上流から下流へこの順序で配置されてもよい。

[0146] 第1の半導体レーザ20は、C W（連続波）発振、若しくはパルス発振により波長約1 0 3 0 n mのシード光を出射する分布帰還型の半導体レーザであってもよい。また、第1の半導体レーザ20は、シングル縦モードであって、波長約1 0 3 0 n m付近で波長を変化させることができる半導体レーザであってもよい。

[0147] 半導体光増幅器23は、半導体にパルス電流を流すことにより、シード光を所定のパルス幅のパルスレーザ光に変換し増幅する半導体素子であってもよい。半導体光増幅器23は、同期回路部13からの指示に基づいて半導体にパルス電流を流す電流制御器を含んでもよい。半導体光増幅器23は、第1の半導体レーザ20がパルス発振する場合には、第1の半導体レーザ20と同期して動作するように構成されてもよい。

[0148] Y bファイバ増幅器システム24は、Y bがドープされた多段の光ファイバ増幅器と、C W発振により励起光を出射し、その励起光を各光ファイバ増幅器に供給するC W励起半導体レーザとを含んでもよい。

[0149] L B O結晶21は、波長約1 0 3 0 n mのパルスレーザ光が入射され、波長約5 1 5 n mのパルスレーザ光を出射してもよい。C L B O結晶22は、波長約5 1 5 n mのパルスレーザ光が入射され、波長約2 5 7 . 5 n mのパルスレーザ光を出射してもよい。

[0150] 第2の固体レーザ装置12は、第2の波長の第2のパルスレーザ光L2を、高反射ミラー16及びダイクロイックミラー17を介して波長変換部15

に向けて出射するように構成されてもよい。第2の波長は、約1554nmであってもよい。第2の固体レーザ装置12は、第2の半導体レーザ40と、半導体光増幅器(SOA)41と、Erファイバ増幅器システム42とを含んでもよい。第2の半導体レーザ40、半導体光増幅器41、及びErファイバ増幅器システム42は、光路上において上流から下流へこの順序で配置されてもよい。

[0151] 第2の半導体レーザ40は、CW発振、若しくはパルス発振により波長約1554nmのシード光を出射する分布帰還型の半導体レーザであってもよい。また、第2の半導体レーザ40は、シングル縦モードであって、波長約1554nm付近で波長を変化させることができる半導体レーザであってもよい。

[0152] 半導体光増幅器41は、半導体にパルス電流を流すことにより、シード光を所定のパルス幅のパルスレーザ光に変換し増幅する半導体素子であってもよい。半導体光増幅器41は、同期回路部13からの指示に基づいて半導体にパルス電流を流す、図示しない電流制御器を含んでもよい。半導体光増幅器41は、第2の半導体レーザ40がパルス発振する場合には、半導体レーザ40と同期して動作するように構成されてもよい。

[0153] Erファイバ増幅器システム42は、Er及びYbが共にドーパされた多段の光ファイバ増幅器と、CW発振により励起光を出射し、その励起光を各光ファイバ増幅器に供給するCW励起半導体レーザとを含んでもよい。

[0154] 同期回路部13は、同期制御部6からのトリガ信号Tr1に基づいて、第1の固体レーザ装置11の半導体光増幅器23及び第2の固体レーザ装置12の半導体光増幅器41に所定のトリガ信号をそれぞれ出力するように構成されてもよい。

[0155] 高反射ミラー16は、第2の固体レーザ装置12から出射された第2のパルスレーザ光L2を高反射し、ダイクロイックミラー17に入射させるように配置されてもよい。

[0156] ダイクロイックミラー17は、第1の波長の第1のパルスレーザ光L1を

高透過する基板上に、第1の波長の第1のパルスレーザ光L1を高透過し、第2の波長の第2のパルスレーザ光L2を高反射する膜がコートされたものであってもよい。ダイクロイックミラー17は、第1のパルスレーザ光L1及び第2のパルスレーザ光L2を、互いの光路軸を略一致させた状態で波長変換部15に入射させるように配置されてもよい。

[0157] 波長変換部15は、第1の波長の第1のパルスレーザ光L1及び第2の波長の第2のパルスレーザ光L2が入射され、第1の波長及び第2の波長と異なる波長のパルスレーザ光を、増幅器2へのシード光L10として出射するように構成されてもよい。波長変換部15は、波長変換素子としてのCLBO結晶18、19と、ダイクロイックミラー95、96と、高反射ミラー97とを含んでもよい。CLBO結晶18、ダイクロイックミラー95、CLBO結晶19、及びダイクロイックミラー96は、光路上において上流から下流へこの順序で配置されてもよい。

[0158] CLBO結晶18には、波長約257.5nmの第1のパルスレーザ光L1及び波長約1554nmの第2のパルスレーザ光L2が入射されてもよい。CLBO結晶18は、波長約257.5nmと波長約1554nmの和周波に対応する波長約220.9nmのパルスレーザ光を出射してもよい。

[0159] ダイクロイックミラー95は、波長約1554nm及び波長約220.9nmのパルスレーザ光を高透過し、波長約257.5nmのパルスレーザ光を高反射する膜がコートされたものであってもよい。

[0160] CLBO結晶19には、ダイクロイックミラー95を透過した、波長約1554nm及び波長約220.9nmのパルスレーザ光が入射されてもよい。CLBO結晶19は、波長約1554nmと波長約220.9nmの和周波に対応する波長約193.4nmのパルスレーザ光をシード光L10として出射してもよい。

[0161] ダイクロイックミラー96は、波長約1554nm及び波長約220.9nmのパルスレーザ光を高透過し、波長約193.4nmのパルスレーザ光が高反射する膜がコートされたものであってもよい。

- [0162] 高反射ミラー 97 は、ダイクロイックミラー 96 により反射された波長約 193.4 nm のパルスレーザ光をシード光 L10 として固体レーザシステム 1B から出射するように配置されてもよい。
- [0163] 高反射ミラー 98, 99 は、固体レーザシステム 1B から出射された波長約 193.4 nm のシード光 L10 が、増幅器 2 に入射するように配置されてもよい。
- [0164] 増幅器 2 は、固体レーザシステム 1B から出射された波長約 193.4 nm のシード光 L10 を増幅し、増幅レーザ光 L20 として露光装置 4 に向けて出射するように構成されてもよい。
- [0165] 固体レーザ制御部 3 は、第 1 の半導体レーザ 20、第 2 の半導体レーザ 40、Yb ファイバ増幅器システム 24 内の CW 励起半導体レーザ、及び Er ファイバ増幅器システム 42 内の CW 励起半導体レーザに、図示しない信号ラインを介して接続されてもよい。
- [0166] 同期制御部 6 には、固体レーザ制御部 3 を介して、固体レーザシステム 1B におけるパルスレーザ光の生成タイミングを指示する発振トリガ信号 Tr0 が外部装置としての露光装置 4 から供給されてもよい。露光装置 4 は、露光装置制御部 5 を含んでもよい。発振トリガ信号 Tr0 は、露光装置 4 の露光装置制御部 5 が供給するようにしてもよい。同期制御部 6 は、発振トリガ信号 Tr0 に基づいてトリガ信号 Tr1 を生成し、トリガ信号 Tr1 を同期回路部 13 に供給するように構成されていてもよい。また、同期制御部 6 は、発振トリガ信号 Tr0 に基づいてトリガ信号 Tr2 を生成し、トリガ信号 Tr2 を増幅器 2 に供給するように構成されてもよい。
- [0167] その他の構成は、上記第 1 の実施形態に係るエキシマレーザ装置と略同様であってもよい。
- [0168] [5.2 動作]

固体レーザ制御部 3 は、発振トリガ信号 Tr0 に基づいて、第 1 及び第 2 の半導体レーザ 20, 40 を CW 発振、若しくはパルス発振させてもよい。また、固体レーザ制御部 3 は、発振トリガ信号 Tr0 に基づいて、Yb ファ

イバ増幅器システム24内のCW励起半導体レーザ、及びErファイバ増幅器システム42内の図示しないCW励起半導体レーザをCW発振させてもよい。

[0169] 同期制御部6は、固体レーザ制御部3を介して露光装置制御部5から発振トリガ信号Tr0を受信したとき、発振トリガ信号Tr0とトリガ信号Tr1との間の遅延時間、及び発振トリガ信号Tr0とトリガ信号Tr2との間の遅延時間を制御してもよい。この遅延時間は、固体レーザシステム1Bから出射されたシード光L10が増幅器2に入射するのと同期して増幅器2の1対の放電電極213a, 213bが放電するように制御されてもよい。

[0170] 第1の固体レーザ装置11では、第1の半導体レーザ20から波長約1030nmのCW発振光、若しくはパルス発振光がシード光として出射され得る。このシード光は、同期回路部13からの所定のトリガ信号に基づいて、半導体光増幅器23によって所定のパルス幅のパルスレーザ光に変換され増幅され得る。半導体光増幅器23から出射されたパルスレーザ光は、Ybファイバ増幅器システム24に入射し、このYbファイバ増幅器システム24により増幅され得る。Ybファイバ増幅器システム24から出射されたパルスレーザ光は、Yb:YAG結晶増幅器25に入射し、このYb:YAG結晶増幅器25により増幅され得る。Yb:YAG結晶増幅器25から出射されたパルスレーザ光は、LBO結晶21に入射し得る。そして、このパルスレーザ光から、LBO結晶21及びCLBO結晶22によって、波長約257.5nmの第4高調波光が生成され得る。これにより、第1の固体レーザ装置11から波長約257.5nmの第1のパルスレーザ光L1が出射され得る。

[0171] 一方、第2の固体レーザ装置12では、第2の半導体レーザ40から波長約1554nmのCW発振光、若しくはパルス発振光がシード光として出射され得る。このシード光は、同期回路部13からの所定のトリガ信号に基づいて、半導体光増幅器41によって所定のパルス幅のパルスレーザ光に変換され増幅され得る。半導体光増幅器41から出射されたパルスレーザ光は、

E rファイバ増幅器システム42に入射し、このE rファイバ増幅器システム42により増幅され得る。これにより、第2の固体レーザ装置12から波長約1554nmの第2のパルスレーザ光L2が出射され得る。

[0172] 第2の固体レーザ装置12から出射された第2のパルスレーザ光L2は、非点隔差発生器30によって、非点隔差が調節された上で波長変換部15に入力され得る。非点隔差の大きさは、制御部7から非点隔差発生器30の調節機構に制御信号を送ることによって調節され得る。これにより、波長変換部15から最終的に出力される波長193.4nmのパルスレーザ光のM²値を調節し得る。

[0173] 第1の固体レーザ装置11から出射された波長約257.5nmの第1のパルスレーザ光L1は、ダイクロイックミラー17を介して、波長変換部15に入射し得る。また、第2の固体レーザ装置12から出射された波長約1554nmの第2のパルスレーザ光L2は、高反射ミラー16及びダイクロイックミラー17を介して、波長変換部15に入射し得る。

[0174] ここで、同期回路部13は、トリガ信号Tr1に基づいて、所定のタイミングで、所定のパルス幅のトリガ信号を半導体光増幅器23, 41にそれぞれ供給してもよい。この所定のタイミングは、第1のパルスレーザ光L1及び第2のパルスレーザ光L2が、波長変換部15のCLBO結晶18に略同時に入射するように調節され得る。半導体光増幅器23に供給されるトリガ信号のパルス幅は、第1のパルスレーザ光L1のパルス幅が例えば1nsec以上30nsec以下になるように調節され得る。半導体光増幅器41に供給されるトリガ信号のパルス幅は、第2のパルスレーザ光L2のパルス幅が例えば1nsec以上30nsec以下になるように調節され得る。これにより、固体レーザシステム1Bが出射するシード光L10のパルス幅は、例えば1nsec以上30nsec以下になるように調節され得る。

[0175] 波長変換部15では、ダイクロイックミラー17によってCLBO結晶18に第1のパルスレーザ光L1及び第2のパルスレーザ光L2が略同時に入射され、CLBO結晶18上で第1のパルスレーザ光L1のビーム及び第2

のパルスレーザ光L 2のビームが重なり得る。CLBO結晶18は、波長約257.5nmと波長約1554nmの和周波に対応する波長約220.9nmのパルスレーザ光を生成し得る。CLBO結晶18からは、波長約257.5nm、波長約1554nm、及び波長約220.9nmの3つのパルスレーザ光が出射され得る。

[0176] ダイクロイックミラー95は、CLBO結晶18から出射された3つのパルスレーザ光のうち、波長約1554nm及び波長約220.9nmの2つのパルスレーザ光を高透過し、波長約257.5nmのパルスレーザ光を高反射し得る。ダイクロイックミラー95を透過した2つのパルスレーザ光は、CLBO結晶19に入射し得る。

[0177] CLBO結晶19は、波長約220.9nmと波長約1554nmの和周波に対応する波長約193.4nmのパルスレーザ光を生成し得る。CLBO結晶19からは、波長約1554nm、波長約220.9nm、及び波長約193.4nmの3つのパルスレーザ光が出射され得る。

[0178] ダイクロイックミラー96は、CLBO結晶19から出射された3つのパルスレーザ光のうち、波長約1554nm及び波長約220.9nmのパルスレーザ光を高透過し、波長約193.4nmのパルスレーザ光を高反射し得る。波長約193.4nmのパルスレーザ光は、高反射ミラー97を介して波長変換部15からシード光L10として出射され得る。波長変換部15から出射されたシード光L10は、高反射ミラー98, 99を介して、増幅器2に入射し得る。固体レーザシステム1Bから出射されたシード光L10は増幅器2により増幅され、増幅レーザ光L20として露光装置4に向けて出射され得る。

[0179] その他の動作は、上記第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置と略同様であってもよい。

[0180] [5.3 作用・効果]

本実施形態のエキシマレーザ装置によれば、第2の固体レーザ装置12から出力されたパルスレーザ光が非点隔差発生器30によって、非点隔差が調

節された上で波長変換部 15 に入力され得る。非点隔差が調節された上で波長変換されるので、波長変換後のパルスレーザ光の M^2 値が増加し得る。その結果、波長変換部 15 から出力される波長 193.4 nm のパルスレーザ光の空間的コヒーレンスが低減され得る。

[0181] その他の作用・効果は、上記第 1 の実施形態に係るエキシマレーザ装置と略同様であってもよい。

[0182] (その他)

この実施形態では、第 2 の固体レーザ装置 12 とダイクロイックミラー 17 との間の光路上に、非点隔差発生器 30 を配置したが、この例に限定されることない。例えば、非点隔差発生器 30 を第 1 の非点隔差発生器として、第 1 の固体レーザ装置 11 から出力された第 1 のパルスレーザ光 L1 の光路上に配置してもよい。例えば、第 1 の固体レーザ装置 11 とダイクロイックミラー 17 との間の光路上に非点隔差発生器 30 を配置してもよい。さらに、Yb:YAG 結晶増幅器 25 と LBO 結晶 21 との間、LBO 結晶 21 と CLBO 結晶 22 との間、又は CLBO 結晶 18 と CLBO 19 との間の光路上に、非点隔差発生器 30 を配置してもよい。また、非点隔差発生器 30 を配置する位置は 1 箇所に限らず、上記した種々の位置のうち、2 以上の箇所に配置されていてもよい。

[0183] <6. 第 5 の実施形態>

次に、本開示の第 5 の実施形態に係る固体レーザシステムについて説明する。なお、以下では上記比較例、若しくは上記第 1、第 3、第 4 の実施形態に係るエキシマレーザ装置、又は上記第 2 の実施形態に係る各部のバリエーションの構成要素と略同じ部分については、同一符号を付し、適宜説明を省略する。

[0184] [6. 1 構成]

図 22 は、本開示の第 5 の実施形態に係る固体レーザシステム 1C の一構成例を概略的に示している。

[0185] 固体レーザシステム 1C は、第 1 の固体レーザ装置 11B と、第 2 の固体

レーザ装置 1 2 B と、集光レンズ 5 3 と、集光レンズ 5 4 と、高反射ミラー 7 1 と、ダイクロイックミラー 7 2 と、波長変換部 1 1 5 B とを備えてもよい。

[0186] 第 1 の固体レーザ装置 1 1 B は、第 1 のレーザ光を出力する第 1 のレーザ装置であってもよい。第 2 の固体レーザ装置 1 2 B は、第 3 のレーザ光を出力する第 2 のレーザ装置であってもよい。波長変換部 1 1 5 B は、第 1 のレーザ光と第 3 のレーザ光とに基づいて波長変換を行い、第 2 のレーザ光として出力する波長変換部であってもよい。

[0187] 第 1 の固体レーザ装置 1 1 B は、波長 1 0 3 0 n m のパルスレーザ光を出力するレーザ装置 2 0 A と、集光レンズ 5 1 と、L B O 結晶 6 1 と、集光レンズ 5 2 と、C L B O 結晶 6 2 とを含んでもよい。L B O 結晶 6 1 は、波長 1 0 3 0 n m のパルスレーザ光を波長 5 1 5 n m のパルスレーザ光に変換する波長変換素子であってもよい。C L B O 結晶 6 3 は、波長 5 1 5 n m のパルスレーザ光を波長 2 5 7 . 5 n m のパルスレーザ光に変換する波長変換素子であってもよい。

[0188] 第 2 の固体レーザ装置 1 2 B は、波長 1 5 5 3 n m のパルスレーザ光を出力するレーザ装置であってもよい。

[0189] 波長変換部 1 1 5 B は、波長変換素子として、C L B O 結晶 6 3 と、C L B O 結晶 6 4 とを含んでもよい。また、波長変換部 1 1 5 B は、集光レンズ 5 5 と、集光レンズ 5 6 と、コリメータレンズ 5 7 と、コリメータレンズ 5 8 と、ダイクロイックミラー 7 3 と、高反射ミラー 7 4 と、高反射ミラー 7 5 と、ダイクロイックミラー 7 6 とを含んでもよい。

[0190] C L B O 結晶 6 3 には、第 1 の固体レーザ装置 1 1 B からの波長 2 5 7 . 5 n m のパルスレーザ光と第 2 の固体レーザ装置 1 2 B からの波長 1 5 5 3 n m のパルスレーザ光とが入力されてもよい。C L B O 結晶 6 3 は、波長 2 2 0 . 9 n m のパルスレーザ光と波長 1 5 5 3 n m のパルスレーザ光とを出力してもよい。C L B O 結晶 6 3 から出力された波長 1 5 5 3 n m のパルスレーザ光の光路上に、ダイクロイックミラー 7 3 と、コリメータレンズ 5 8

と、高反射ミラー 7 4 と、集光レンズ 5 5 と、ダイクロイックミラー 7 6 とが、この順番で配置されてもよい。また、C L B O 結晶 6 3 から出力された波長 2 2 0 . 9 n m のパルスレーザ光の光路上に、ダイクロイックミラー 7 3 と、コリメータレンズ 5 7 と、高反射ミラー 7 5 と、集光レンズ 5 6 と、ダイクロイックミラー 7 6 とが、この順番で配置されてもよい。

[0191] C L B O 結晶 6 4 には、C L B O 結晶 6 3 から出力された波長 2 2 0 . 9 n m のパルスレーザ光と波長 1 5 5 3 n m のパルスレーザ光とが入力されてもよい。

[0192] ダイクロイックミラー 7 2 は、第 1 の固体レーザ装置 1 1 B からの波長 2 5 7 . 5 n m のパルスレーザ光が C L B O 結晶 6 3 に入力されるように配置されてもよい。高反射ミラー 7 1 とダイクロイックミラー 7 2 は、第 2 の固体レーザ装置 1 2 B からの波長 1 5 5 3 n m のパルスレーザ光が C L B O 結晶 6 3 に入力されるように配置されてもよい。

[0193] 集光レンズ 5 3 は、第 1 の固体レーザ装置 1 1 B の C L B O 結晶 6 2 と、波長変換部 1 1 5 B の C L B O 結晶 6 3 との間の光路上に配置されてもよい。集光レンズ 5 4 は、高反射ミラー 7 1 とダイクロイックミラー 7 2 ダイクロイックミラー 7 2 との間の光路上に配置されてもよい。

[0194] 集光レンズ 5 5 と、パルスレーザ光の光路に対する集光レンズ 5 5 の傾きを調節する調節機構としての図示しない回転ステージとによって、非点隔差発生器 3 0 B が構成されていてもよい。また、集光レンズ 5 6 と、パルスレーザ光の光路に対する集光レンズ 5 6 の傾きを調節する調節機構としての図示しない回転ステージとによって、非点隔差発生器 3 0 C が構成されていてもよい。

[0195] その他の構成は、上記第 1 の実施形態に係るエキシマレーザ装置と略同様であってもよい。

[0196] [6 . 2 動作]

第 1 の固体レーザ装置 1 1 B からは波長 2 5 7 . 5 n m のパルスレーザ光が出力され得る。第 2 の固体レーザ装置 1 2 B からは、波長 1 5 5 3 n m の

パルスレーザ光が出力され得る。

[0197] CLBO結晶63には、集光レンズ53及びダイクロイックミラー72を介して、第1の固体レーザ装置11Aからの波長257.5nmのパルスレーザ光が入力され得る。また、CLBO結晶63には、高反射ミラー71、集光レンズ54、及びダイクロイックミラー72を介して、第2の固体レーザ装置12Bからの波長1553nmのパルスレーザ光が入力され得る。CLBO結晶63では、波長257.5nmのパルスレーザ光と波長1553nmのパルスレーザ光とから、波長220.9nmの和周波光を生成し、その和周波光を出力し得る。また、CLBO結晶63は、波長1553nmのパルスレーザ光を出力し得る。

[0198] CLBO結晶64には、ダイクロイックミラー73と、コリメータレンズ58と、高反射ミラー74と、集光レンズ55と、ダイクロイックミラー76とを介して、波長1553nmのパルスレーザ光が入力され得る。また、CLBO結晶64には、ダイクロイックミラー73と、コリメータレンズ57と、高反射ミラー75と、集光レンズ56と、ダイクロイックミラー76とを介して、波長220.9nmのパルスレーザ光が入力され得る。CLBO結晶64では、波長1553nmのパルスレーザ光と波長220.9nmのパルスレーザ光とから、波長193.4nmの和周波光を生成し、その和周波光を出力し得る。

[0199] CLBO結晶64に入力される波長1553nmのパルスレーザ光と波長220.9nmのパルスレーザ光とのうち少なくとも一方に対して、非点隔差発生器30B又は非点隔差発生器30Cによって、非点隔差が調節され得る。非点隔差の大きさは、制御部7から非点隔差発生器30B又は非点隔差発生器30Cの調節機構に制御信号を送ることによって調節され得る。これにより、波長変換部115Bから最終的に出力される波長193.4nmのパルスレーザ光の M^2 値を調節し得る。

[0200] その他の動作は、上記第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置と略同様であってもよい。

[0201] [6. 3 作用・効果]

本実施形態の固体レーザシステム 1 C によれば、波長変換部 1 1 5 B 内において、パルスレーザ光の非点隔差が調節され得る。波長変換部 1 1 5 B 内において、非点隔差が調節された上で波長変換されるので、波長変換後のパルスレーザ光の M^2 値が増加し得る。その結果、出力される波長 1 9 3. 4 n m のパルスレーザ光の空間的コヒーレンスが低減され得る。

[0202] その他の作用・効果は、上記第 1 の実施形態に係るエキシマレーザ装置と略同様であってもよい。

[0203] (その他)

以上の説明では、集光レンズ 5 5 の傾き、又は集光レンズ 5 6 の傾きを調節することによって非点隔差を調節するようにしたが、その他のレンズの傾きを調節することによって非点隔差を調節するようにしてもよい。例えば、集光レンズ 5 1, 5 2, 5 3, 5 4、及びコリメータレンズ 5 7, 5 8 のうち、少なくとも 1 つのレンズの傾きを調節するようにしてもよい。

[0204] < 7. 第 6 の実施形態 >

次に、本開示の第 6 の実施形態に係る固体レーザシステムを含むアニール装置について説明する。なお、以下では上記比較例、若しくは上記第 1、第 3、第 4 の実施形態に係るエキシマレーザ装置、上記第 2 の実施形態に係る各部のバリエーション、又は上記第 5 の実施形態に係る固体レーザシステムの構成要素と略同じ部分については、同一符号を付し、適宜説明を省略する。

[0205] 図 2 3 は、本開示の第 6 の実施形態に係る固体レーザシステム 1 D を光源とするアニール装置 4 0 0 の一構成例を概略的に示している。

[0206] 固体レーザシステム 1 D は、固体レーザ装置 1 0 A と、非点隔差発生器 3 0 と、波長変換部 1 1 5 C とを含んでもよい。固体レーザ装置 1 0 A から出力されたパルスレーザ光の光路上に、非点隔差発生器 3 0 と波長変換部 1 1 5 とが、この順序で配置されてもよい。

[0207] 固体レーザ装置 1 0 A は、例えば波長 1 0 6 4 n m のパルスレーザ光を第

1 のレーザ光として出力する YVO_4 ディスクレーザ装置であってもよい。

[0208] 非点隔差発生器 30 は、固体レーザ装置 10A から出力された第 1 のレーザ光としてのパルスレーザ光の光路上で、固体レーザ装置 10A と波長変換部 115C との間に配置されてもよい。

[0209] 波長変換部 115C は 1 又は複数の波長変換素子を含んでもよい。波長変換部 115 は、入力されたパルスレーザ光を波長変換して波長 355 nm の第 2 のレーザ光を出力してもよい。波長変換部 115C は、例えば、波長変換素子として、第 3 高調波光を発生する非線形結晶を含んでもよい。非線形結晶は、例えば 2 つの BBO 結晶であってもよい。第 3 高調波は、波長 355 nm であってもよい。非点隔差発生器 30 は、固体レーザ装置 10A と、波長変換部 115C の 1 又は複数の波長変換素子のうち、最も上流側に配置された波長変換素子との間の光路上に配置されていてもよい。

[0210] 非点隔差発生器 30 は、第 1 のレーザ光としてのパルスレーザ光に非点隔差を発生させると共に、その非点隔差の大きさを調節可能な調節機構を含んでもよい。非点隔差発生器 30 は、例えば、図 8 に示すようなシリンドリカル凹レンズ 301 とシリンドリカル凸レンズ 302 との間隔を調節するような構成であってもよい。

[0211] 固体レーザシステム 1D とアニール装置 400 との間において、固体レーザシステム 1D から出力されたパルスレーザ光の光路上には、 M^2 計測部 500 と、出射口シャッタ 503 とが配置されてもよい。 M^2 計測部 500 は、ビームスプリッタ 501 と、 M^2 計測器 502 とを含んでもよい。 M^2 計測器 502 は、入射したパルスレーザ光の M^2 値を計測し、その計測された M^2 値のデータを、制御部 7 に送信するように構成されてもよい。

[0212] アニール装置 400 は、アニール装置制御部 401 を含んでもよい。制御部 7 とアニール装置制御部 401 との間は、制御信号等を送受信する信号線で接続されてもよい。制御部 7 は、 M^2 計測器 502 の計測結果に基づいて、非点隔差発生器 30 の調節機構を制御してもよい。

[0213] 固体レーザシステム 1D から出力されたパルスレーザ光をアニール装置 4

00に入力してもよい。アニール装置400では、アモルファスシリコン膜がコートされたガラス基板にパルスレーザ光を照射してもよい。この場合においても、パルスレーザ光の干渉性が課題となり得る。この場合においても、M²計測部500においてM²値を計測して、その計測結果に基づいて非点隔差発生器30をフィードバック制御してもよい。

[0214] その他の構成、及び動作等は、上記第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置と略同様であってもよい。

[0215] <8. 制御部のハードウェア環境>

当業者は、汎用コンピュータ又はプログラマブルコントローラにプログラムモジュール又はソフトウェアアプリケーションを組み合わせ、ここに述べられる主題が実行されることを理解するだろう。一般的に、プログラムモジュールは、本開示に記載されるプロセスを実行できるルーチン、プログラム、コンポーネント、データストラクチャーなどを含む。

[0216] 図24は、開示される主題の様々な側面が実行され得る例示的なハードウェア環境を示すブロック図である。図24の例示的なハードウェア環境100は、処理ユニット1000と、ストレージユニット1005と、ユーザインターフェイス1010と、パラレルI/Oコントローラ1020と、シリアルI/Oコントローラ1030と、A/D、D/Aコンバータ1040とを含んでもよいが、ハードウェア環境100の構成は、これに限定されない。

[0217] 処理ユニット1000は、中央処理ユニット(CPU)1001と、メモリ1002と、タイマ1003と、画像処理ユニット(GPU)1004とを含んでもよい。メモリ1002は、ランダムアクセスメモリ(RAM)とリードオンリーメモリ(ROM)とを含んでもよい。CPU1001は、市販のプロセッサのいずれでもよい。デュアルマイクロプロセッサや他のマルチプロセッサアーキテクチャが、CPU1001として使用されてもよい。

[0218] 図24におけるこれらの構成物は、本開示において記載されるプロセスを実行するために、相互に接続されていてもよい。

[0219] 動作において、処理ユニット１０００は、ストレージユニット１００５に保存されたプログラムを読み込んで、実行してもよい。また、処理ユニット１０００は、ストレージユニット１００５からプログラムと一緒にデータを読み込んでよい。また、処理ユニット１０００は、ストレージユニット１００５にデータを書き込んでよい。ＣＰＵ１００１は、ストレージユニット１００５から読み込んだプログラムを実行してもよい。メモリ１００２は、ＣＰＵ１００１によって実行されるプログラム及びＣＰＵ１００１の動作に使用されるデータを、一時的に保管する作業領域であってもよい。タイマ１００３は、時間間隔を計測して、プログラムの実行に従ってＣＰＵ１００１に計測結果を出力してもよい。ＧＰＵ１００４は、ストレージユニット１００５から読み込まれるプログラムに従って、画像データを処理し、処理結果をＣＰＵ１００１に出力してもよい。

[0220] パラレルＩ／Ｏコントローラ１０２０は、リニアステージ３０３、回転ステージ３０５、出射口シャッタ５０３、露光装置制御部５、制御部７、及びアニール制御部４０１等の、処理ユニット１０００と通信可能なパラレルＩ／Ｏデバイスに接続されてもよく、処理ユニット１０００とそれらパラレルＩ／Ｏデバイスとの間の通信を制御してもよい。シリアルＩ／Ｏコントローラ１０３０は、露光装置制御部５、制御部７、及びアニール制御部４０１等の、処理ユニット１０００と通信可能な複数のシリアルＩ／Ｏデバイスに接続されてもよく、処理ユニット１０００とそれら複数のシリアルＩ／Ｏデバイスとの間の通信を制御してもよい。Ａ／Ｄ、Ｄ／Ａコンバータ１０４０は、アナログポートを介して、各種センサや、ＣＣＤ５１１、５１２等のアナログデバイスに接続されてもよく、処理ユニット１０００とそれらアナログデバイスとの間の通信を制御したり、通信内容のＡ／Ｄ、Ｄ／Ａ変換を行ってもよい。

[0221] ユーザインターフェイス１０１０は、操作者が処理ユニット１０００にプログラムの停止や、割込みルーチンの実行を指示できるように、処理ユニット１０００によって実行されるプログラムの進捗を操作者に表示してもよい。

。

[0222] 例示的なハードウェア環境 100 は、本開示における露光装置制御部 5、及びアニール制御部 401 等の構成に適用されてもよい。当業者は、それらのコントローラが分散コンピューティング環境、すなわち、通信ネットワークを介して繋がっている処理ユニットによってタスクが実行される環境において実現されてもよいことを理解するだろう。本開示において、露光装置制御部 5、及びアニール制御部 401 等は、イーサネット（登録商標）やインターネットといった通信ネットワークを介して互いに接続されてもよい。分散コンピューティング環境において、プログラムモジュールは、ローカル及びリモート両方のメモリストレージデバイスに保存されてもよい。

[0223] <9. その他>

上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図したものである。従って、添付の特許請求の範囲を逸脱することなく本開示の実施形態に変更を加えることができることは、当業者には明らかであろう。

[0224] 本明細書及び添付の特許請求の範囲全体で使用される用語は、「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」又は「含まれる」という用語は、「含まれるものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。「有する」という用語は、「有するものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。また、本明細書、及び添付の特許請求の範囲に記載される不定冠詞「1つの」は、「少なくとも1つ」又は「1又はそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。

請求の範囲

- [請求項1] 第1のレーザ光を出力する第1のレーザ装置と、
少なくとも1つの波長変換素子を含み、前記第1のレーザ光の光路上に配置され、前記第1のレーザ光に基づいて波長変換を行い、第2のレーザ光として出力する波長変換部と、
前記第1のレーザ装置と前記少なくとも1つの波長変換素子のうち最も下流側に配置された波長変換素子との間の光路上に配置され、前記第1のレーザ光に非点隔差を発生させる少なくとも1つの第1の非点隔差発生器と
を備えるレーザシステム。
- [請求項2] 前記第1の非点隔差発生器は、前記第2のレーザ光の M^2 値を増大させるように前記第1のレーザ光に非点隔差を発生させる
請求項1に記載のレーザシステム。
- [請求項3] 前記波長変換部は、前記波長変換素子を複数、含み、
前記第1の非点隔差発生器は、前記第1のレーザ装置と前記複数の波長変換素子のうち最も上流側に配置された波長変換素子との間の光路上に配置されている
請求項1に記載のレーザシステム。
- [請求項4] 前記波長変換部は、前記波長変換素子を複数、含み、
前記第1の非点隔差発生器は、前記複数の波長変換素子のうち最も上流側に配置された波長変換素子と前記最も下流側に配置された波長変換素子との間の光路上に配置されている
請求項1に記載のレーザシステム。
- [請求項5] 前記第1の非点隔差発生器は、前記非点隔差の大きさを調節する調節機構を含む
請求項1に記載のレーザシステム。
- [請求項6] 前記第1の非点隔差発生器は、前記非点隔差を発生させる複数のシリンドリカルレンズを含み、

前記調節機構は、前記複数のシリンドリカルレンズのうち、少なくとも2つのシリンドリカルレンズの間隔を調節することによって前記非点隔差の大きさを調節する

請求項5に記載のレーザシステム。

[請求項7] 前記第1の非点隔差発生器は、前記非点隔差を発生させる集光レンズを含み、

前記調節機構は、前記第1のレーザ光の光路に対する前記集光レンズの傾きを調節することによって前記非点隔差の大きさを調節する

請求項5に記載のレーザシステム。

[請求項8] 前記第2のレーザ光の光路上に配置され、前記第2のレーザ光の M^2 値を計測する M^2 計測器と、

前記 M^2 計測器の計測結果に基づいて、前記調節機構を制御する制御部と、

をさらに備える

請求項5に記載のレーザシステム。

[請求項9] 前記波長変換部に向けて第3のレーザ光を出力する第2のレーザ装置、をさらに備え、

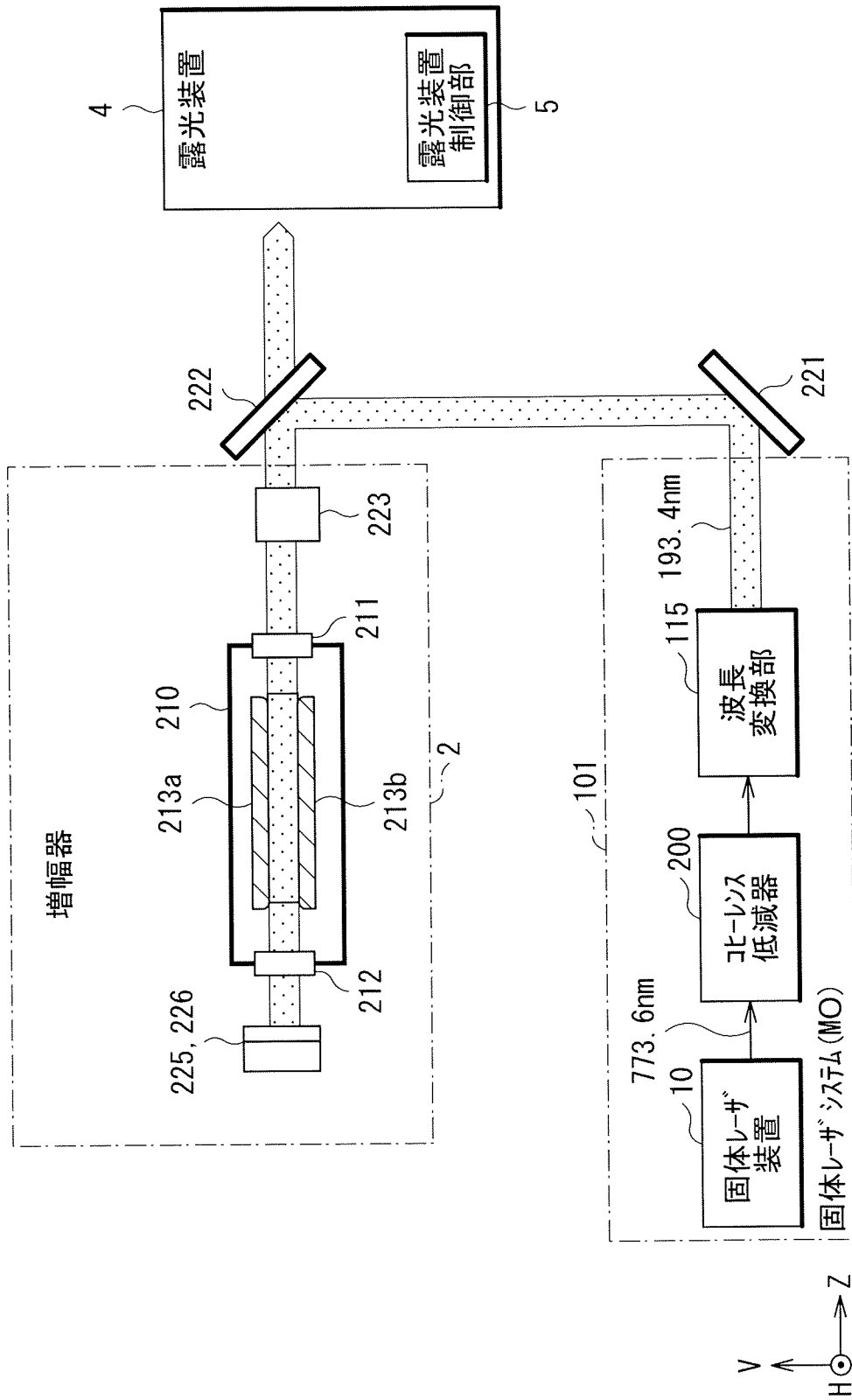
前記波長変換部は、前記第1のレーザ光と前記第3のレーザ光とに基づいて波長変換を行い、前記第2のレーザ光として出力する

請求項1に記載のレーザシステム。

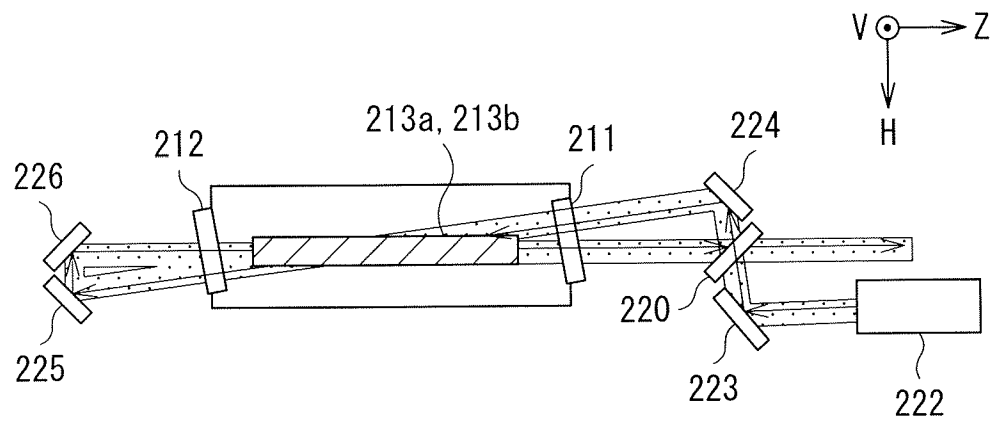
[請求項10] 前記第2のレーザ装置と前記最も下流側に配置された波長変換素子との間の光路上に配置され、前記第3のレーザ光に非点隔差を発生させる少なくとも1つの第2の非点隔差発生器、をさらに備える

請求項9に記載のレーザシステム。

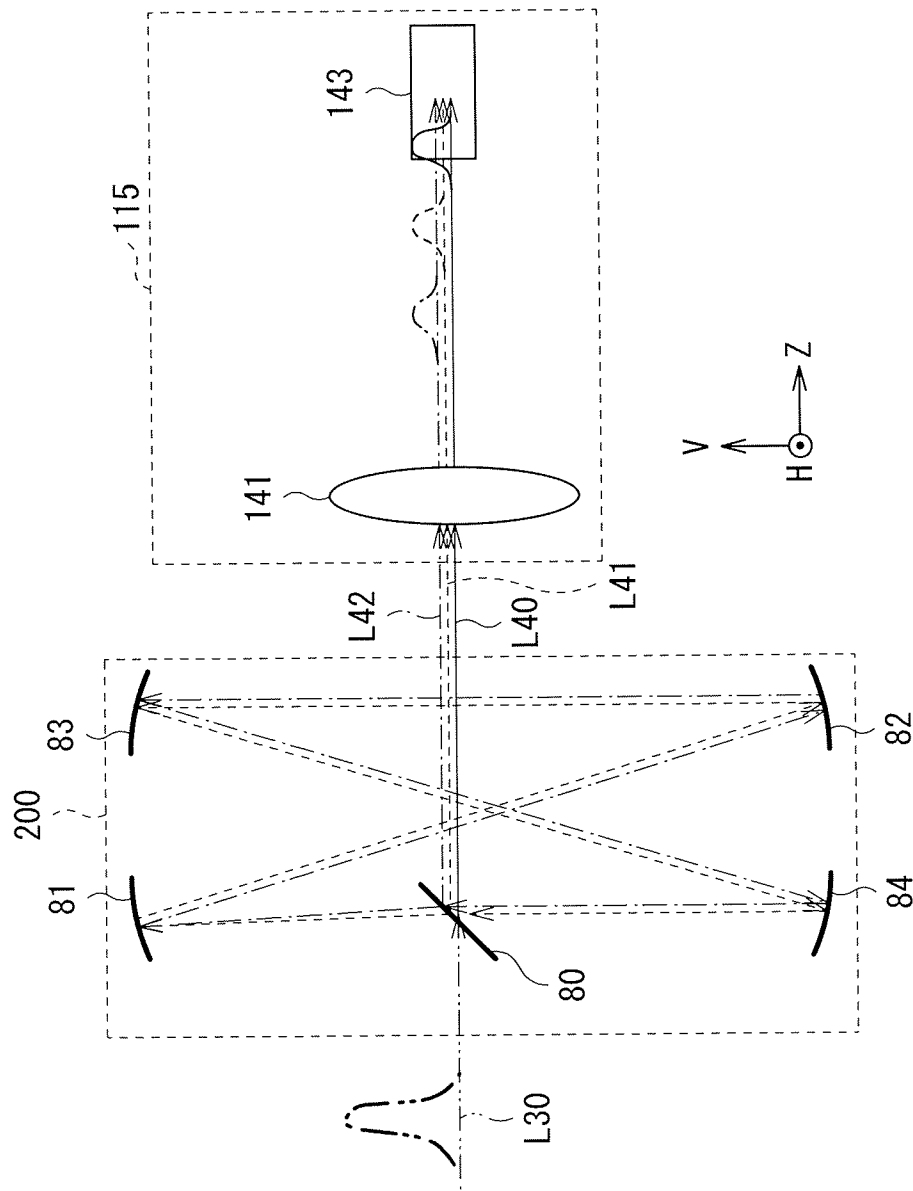
[図1]



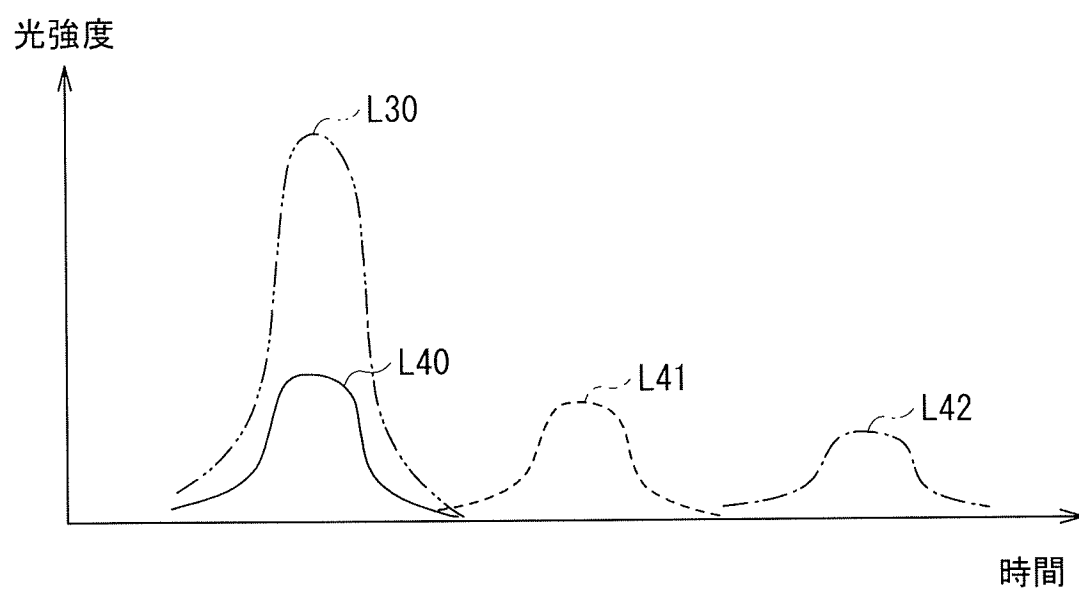
[図2]



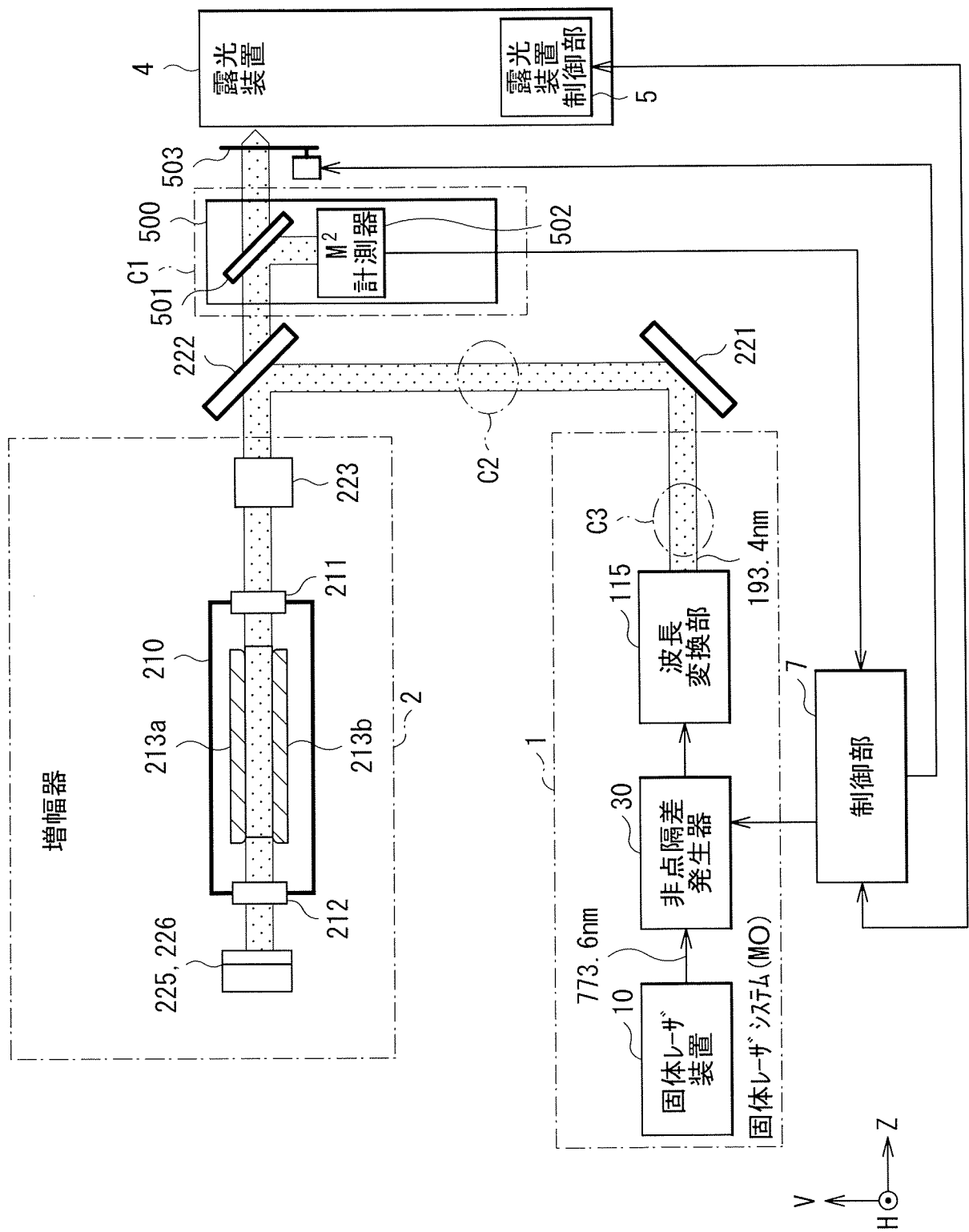
[図4]



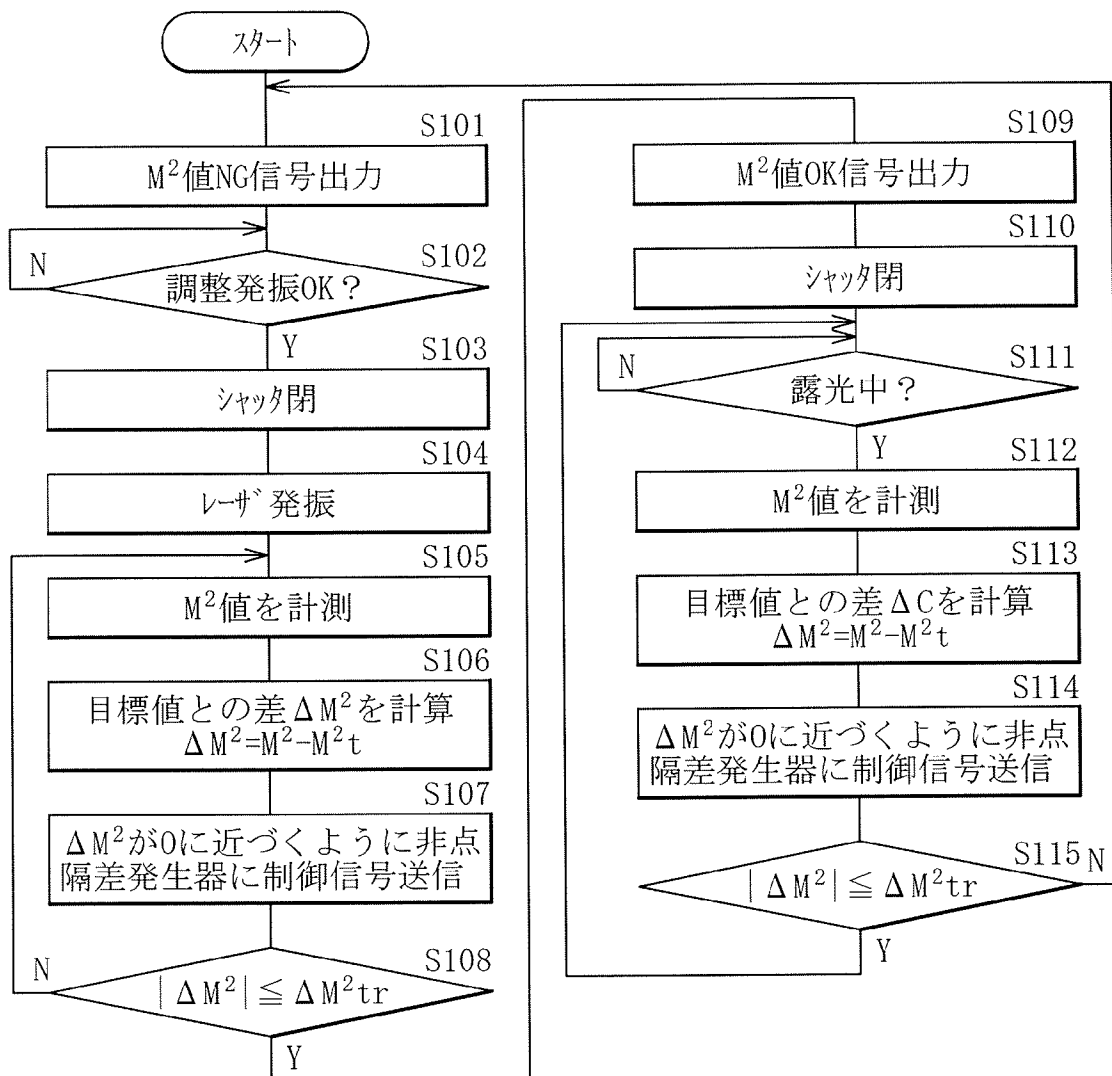
[図5]



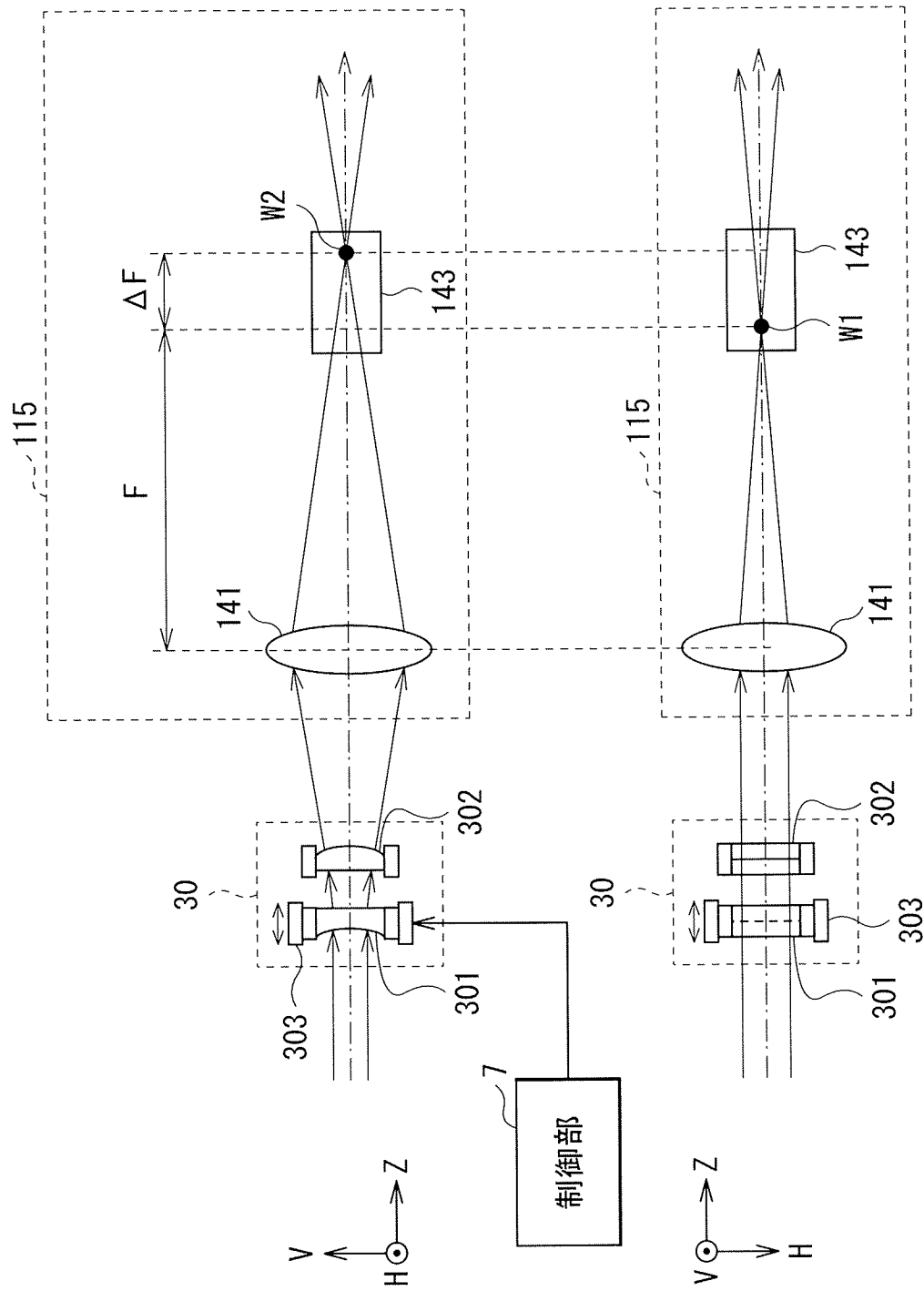
[図6]



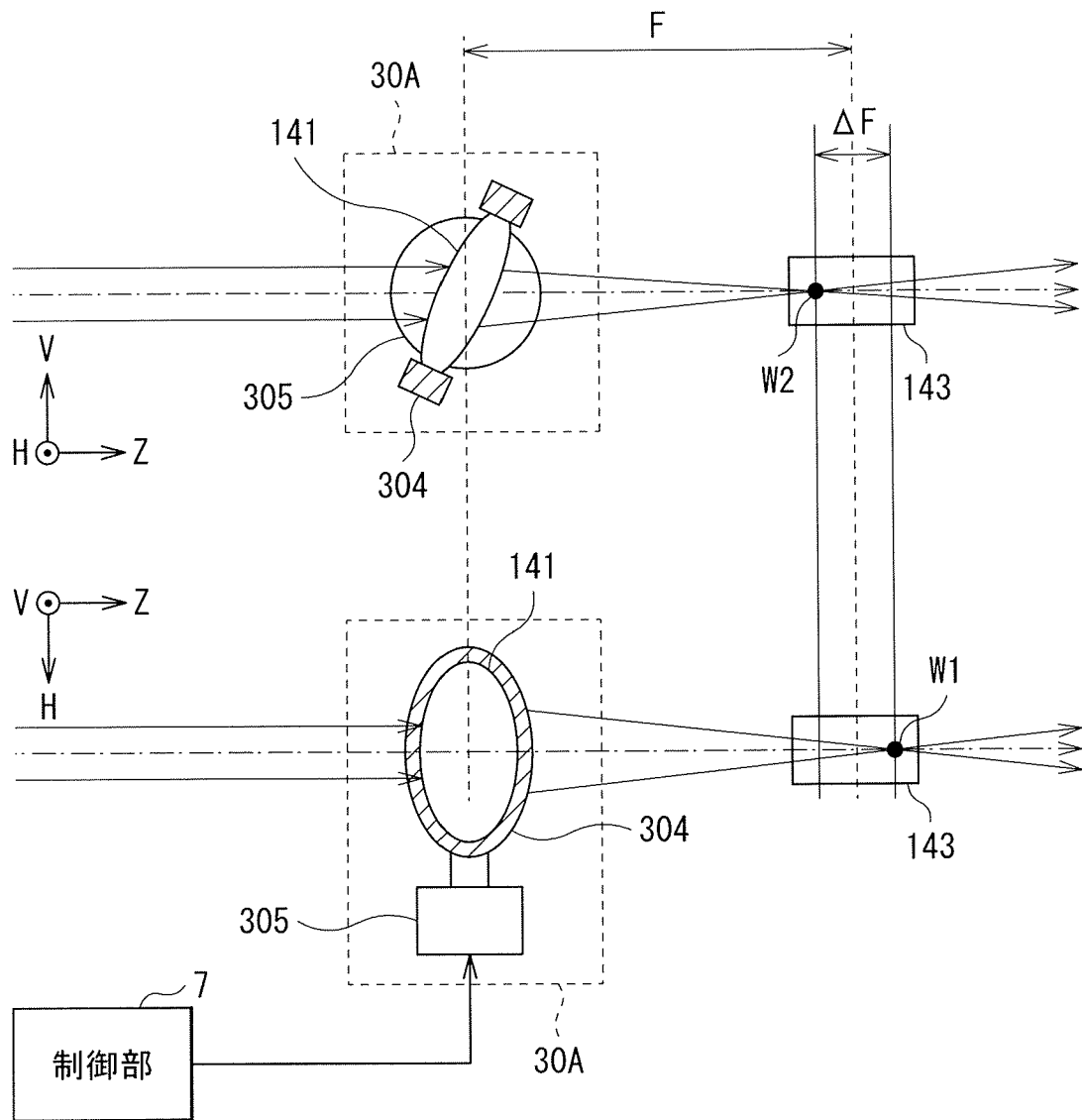
[図7]



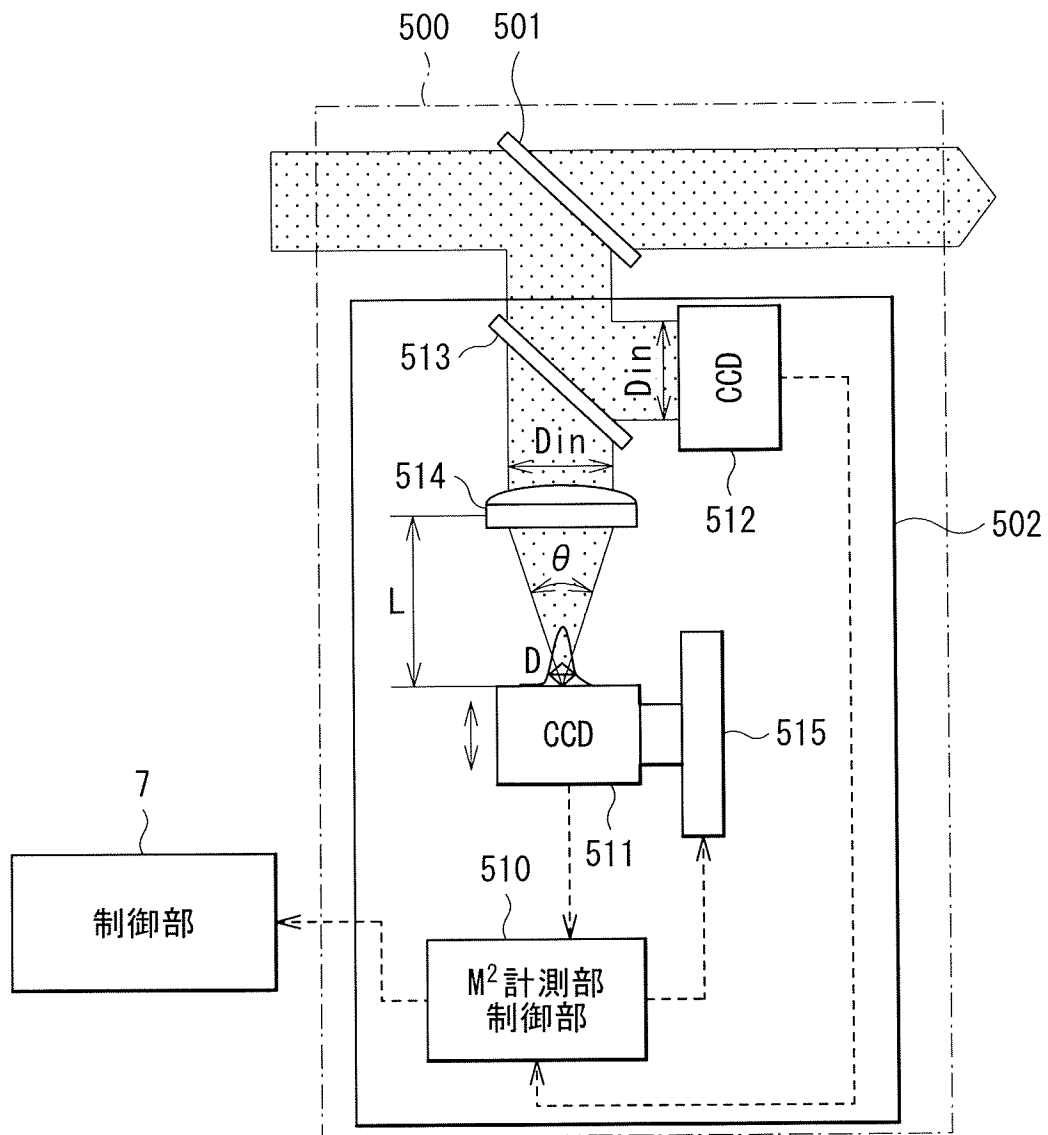
[図8]



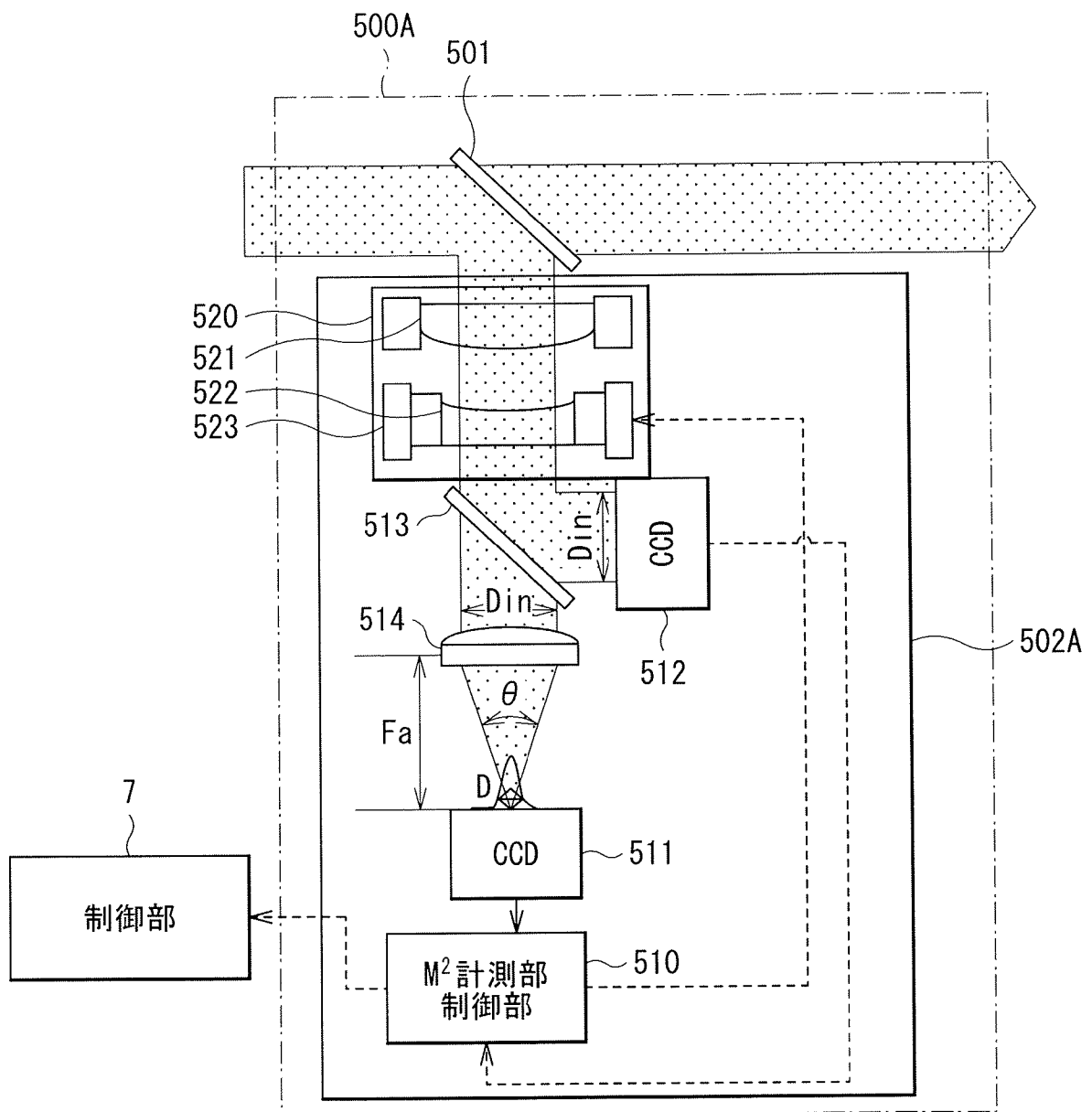
[図9]



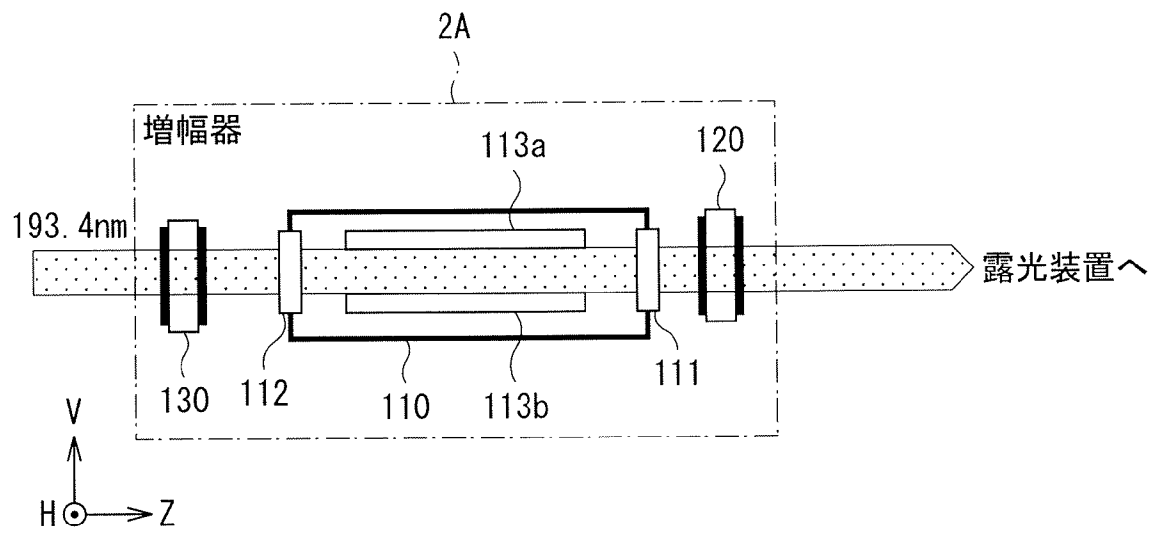
[図10]



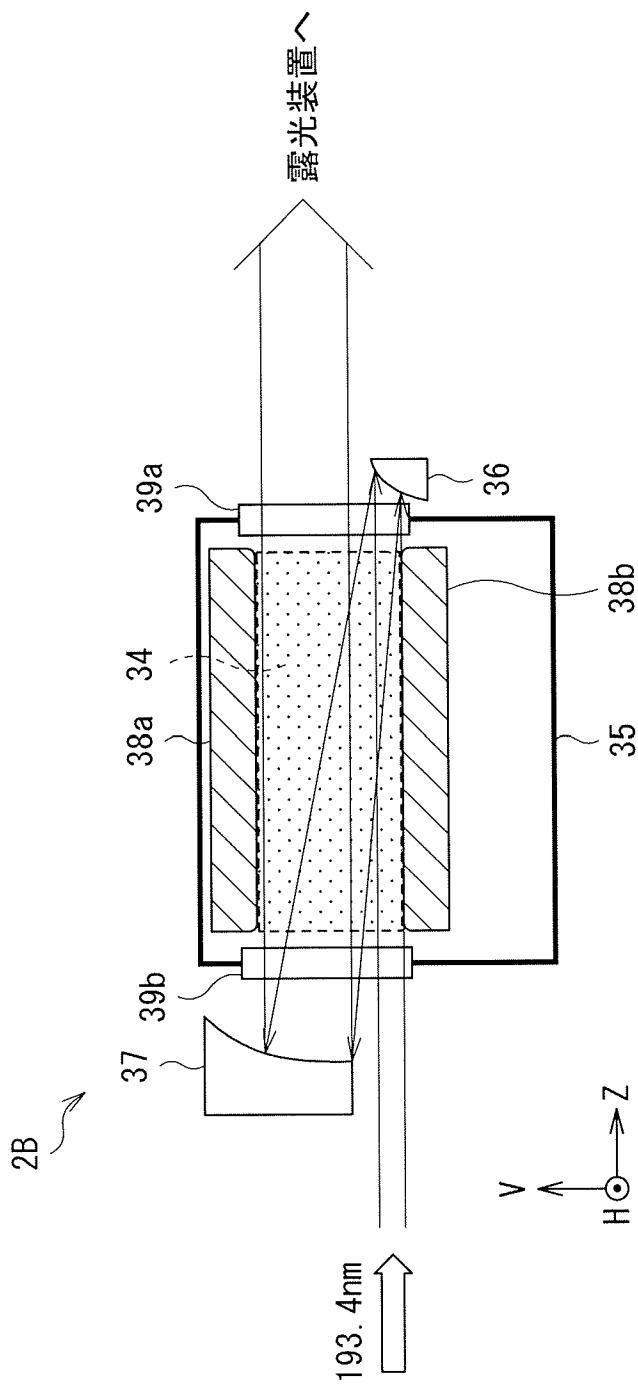
[図11]



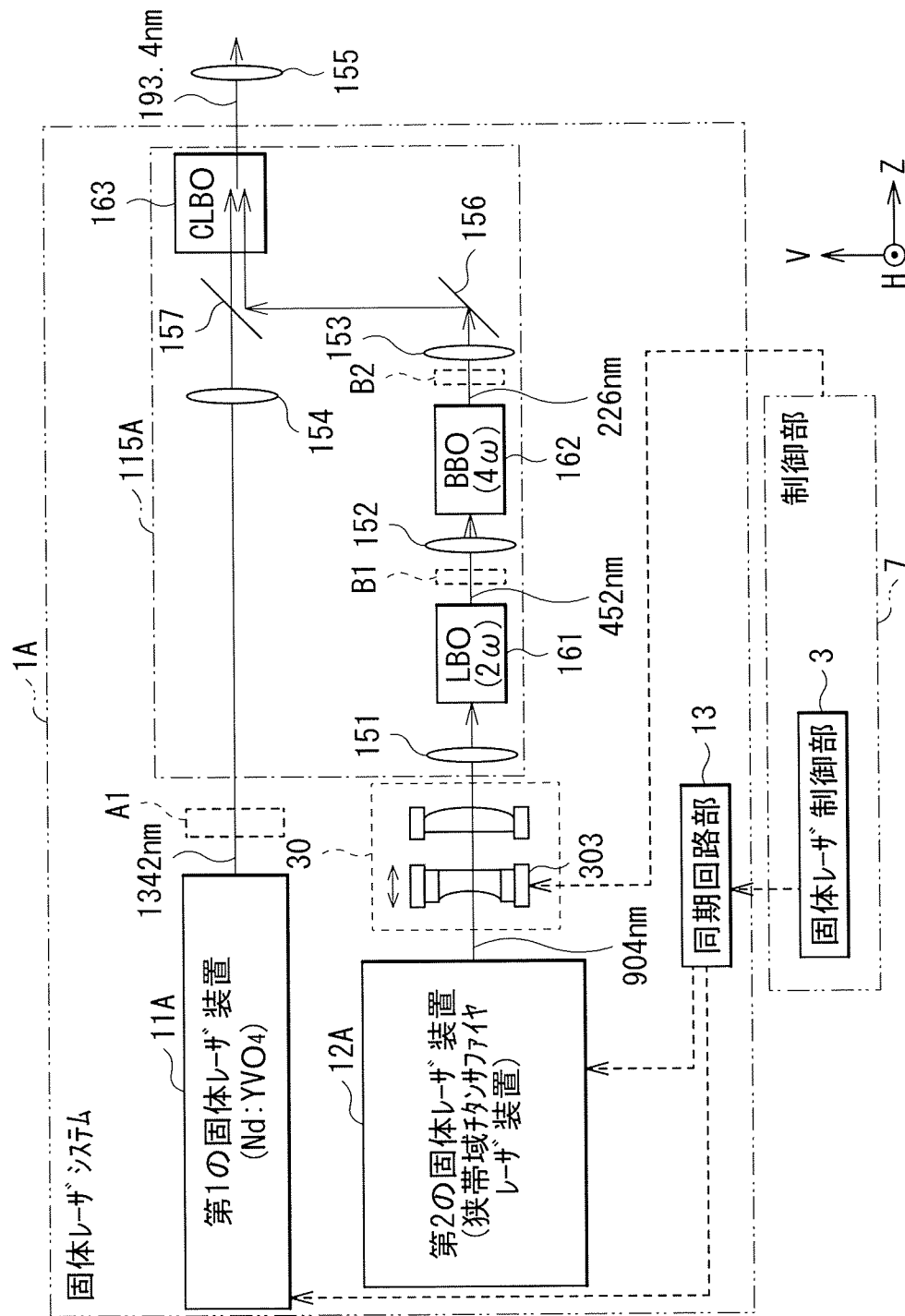
[図12]



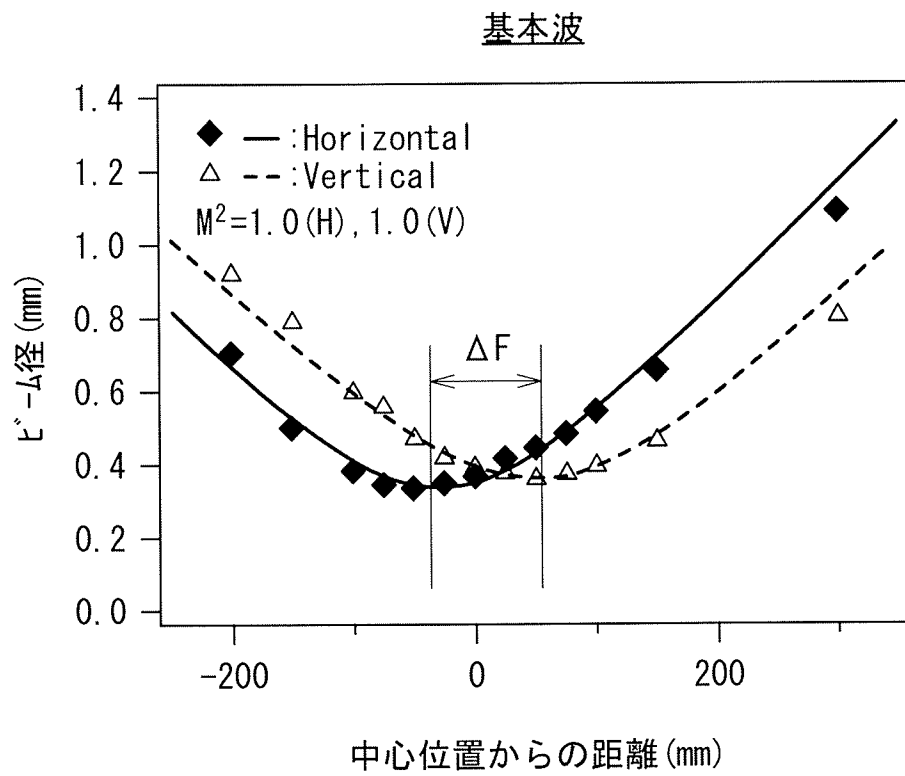
[図13]



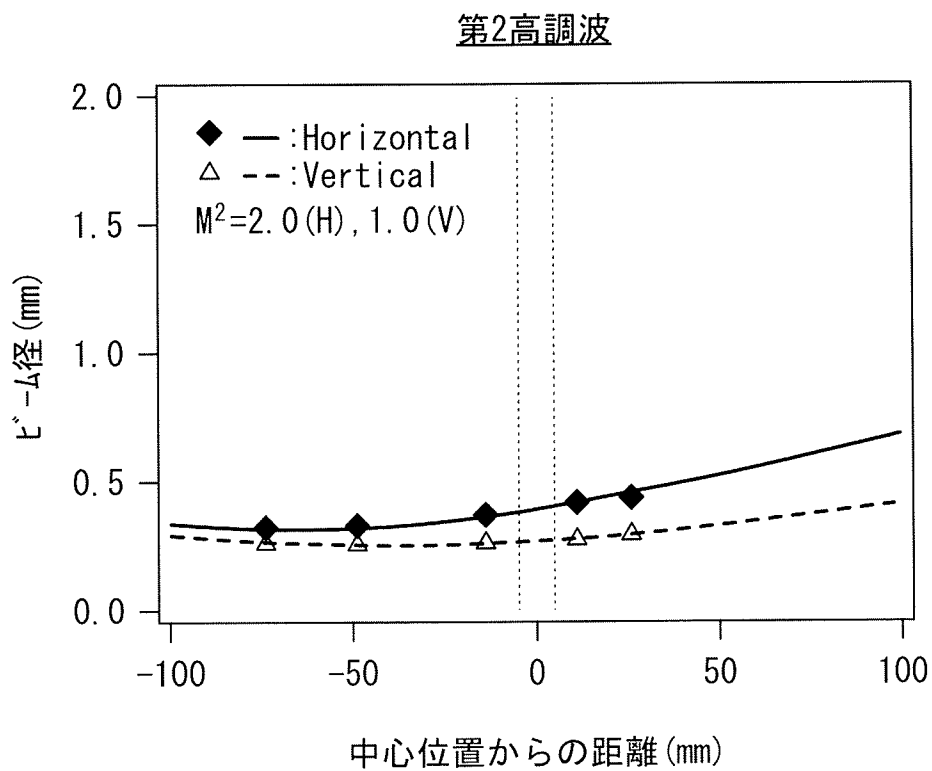
[図14]



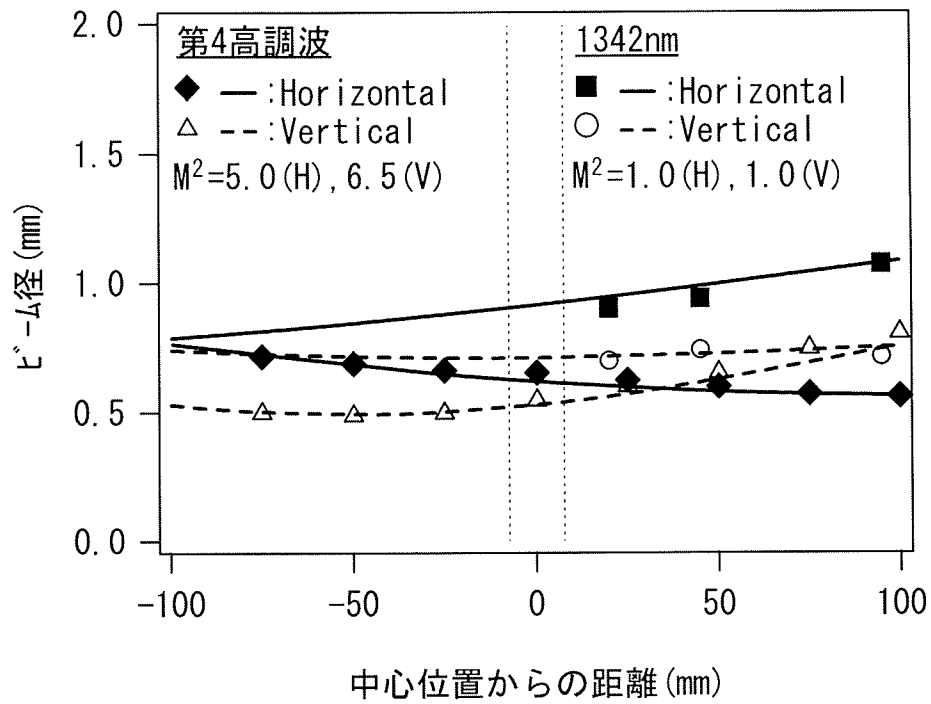
[図15]



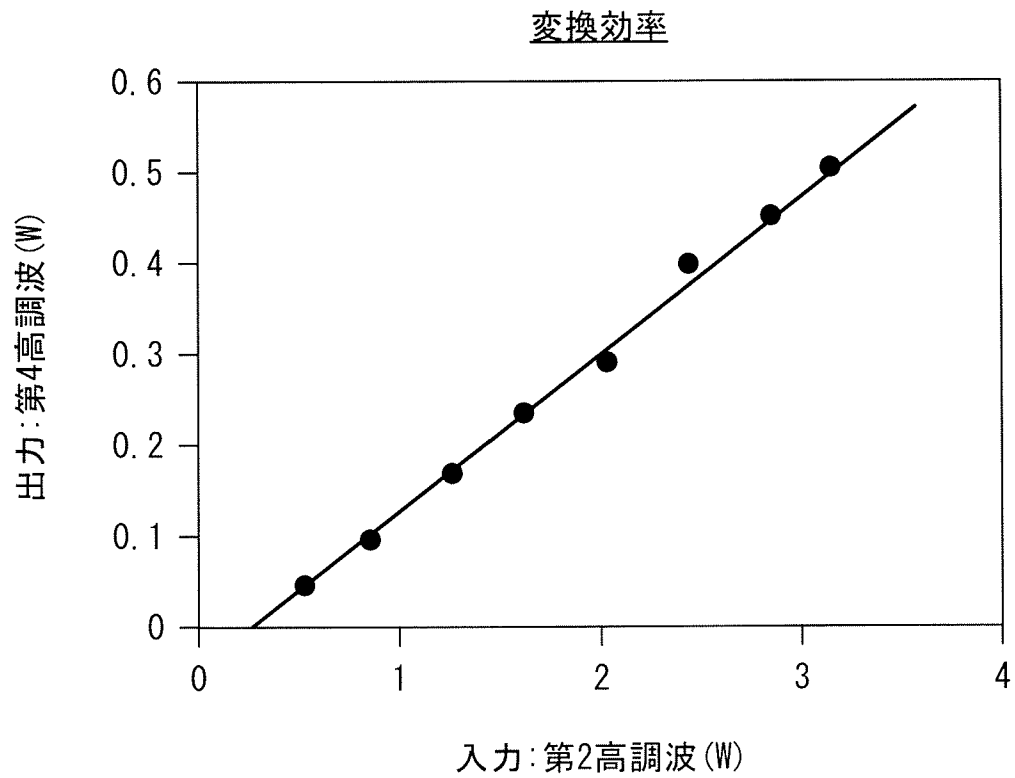
[図16]



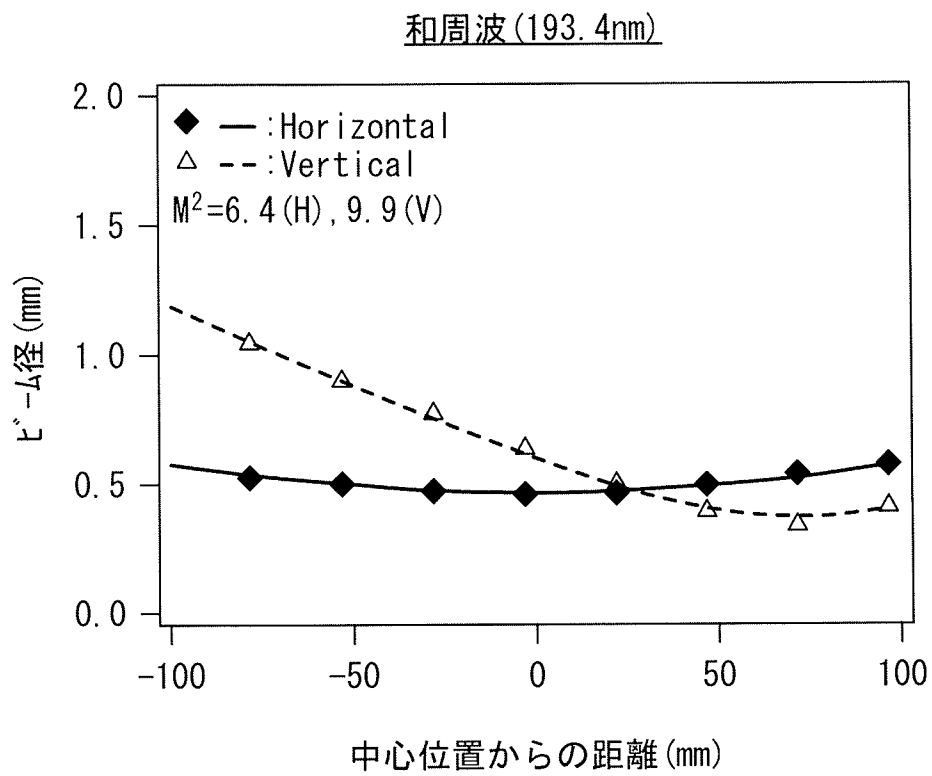
[図17]



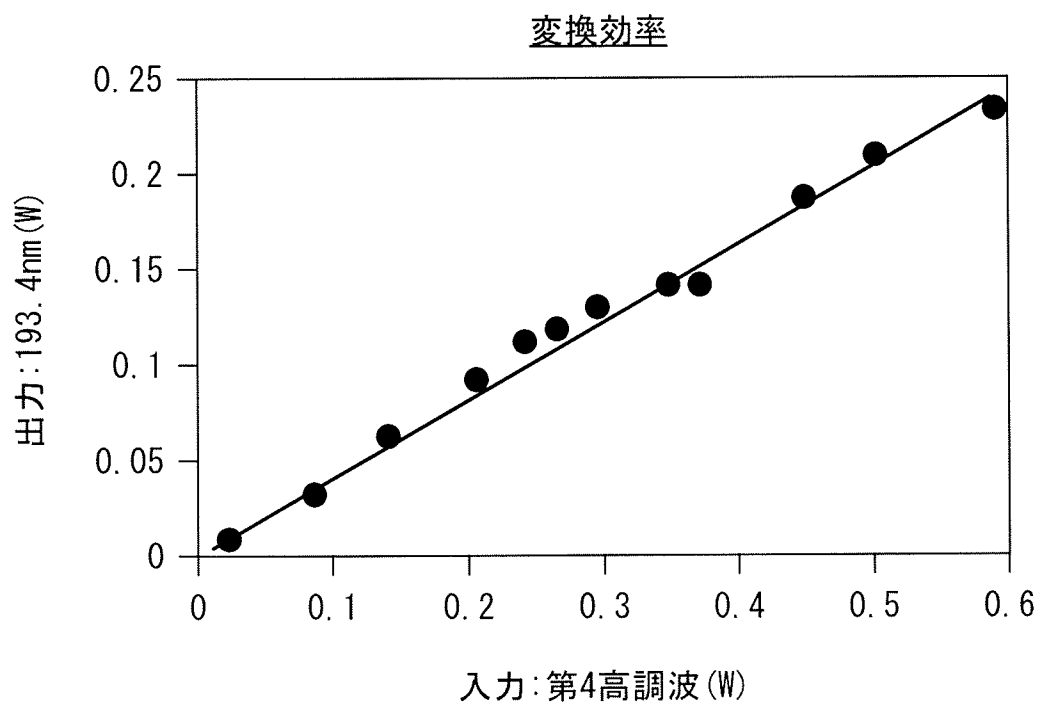
[図18]



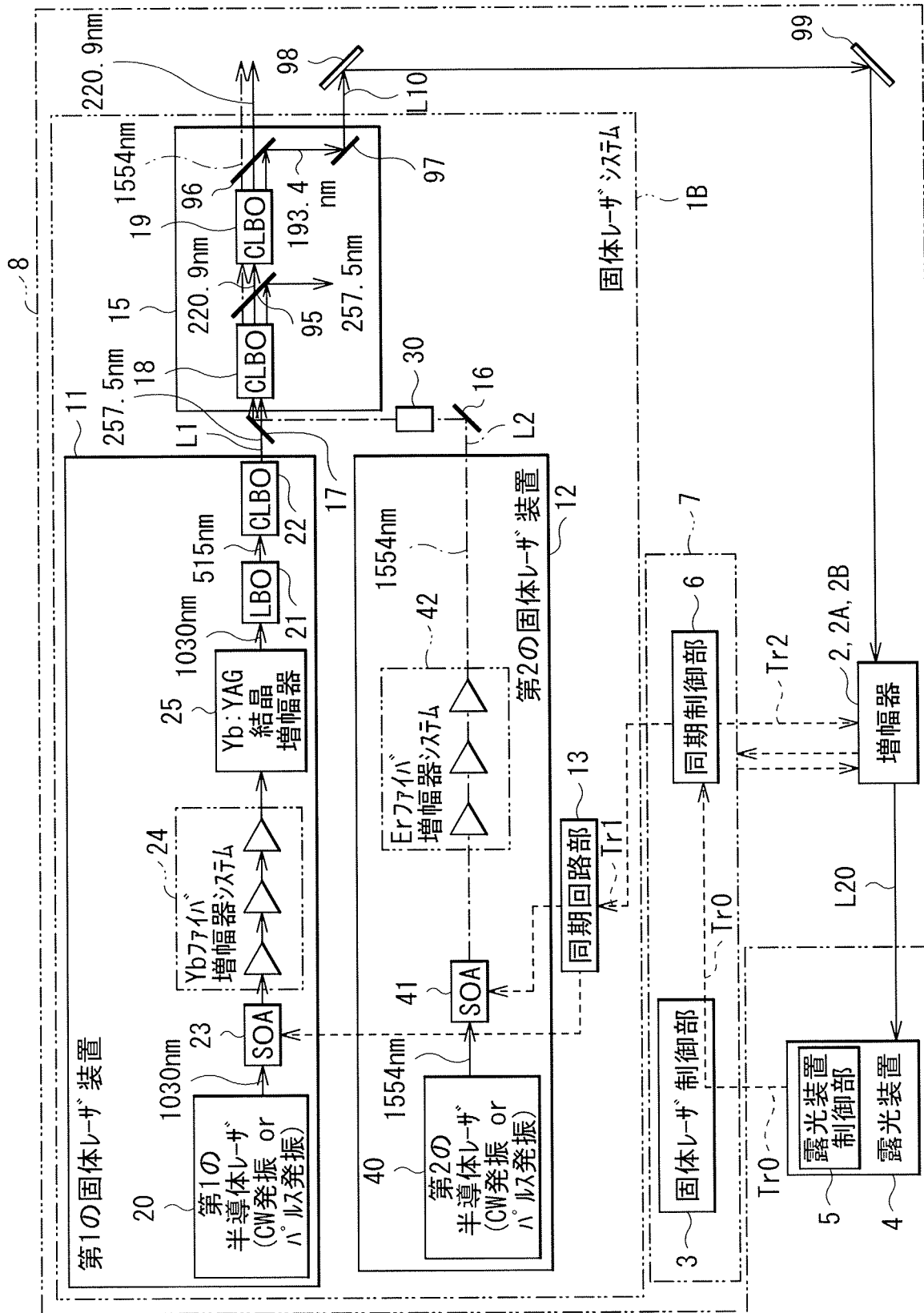
[図19]



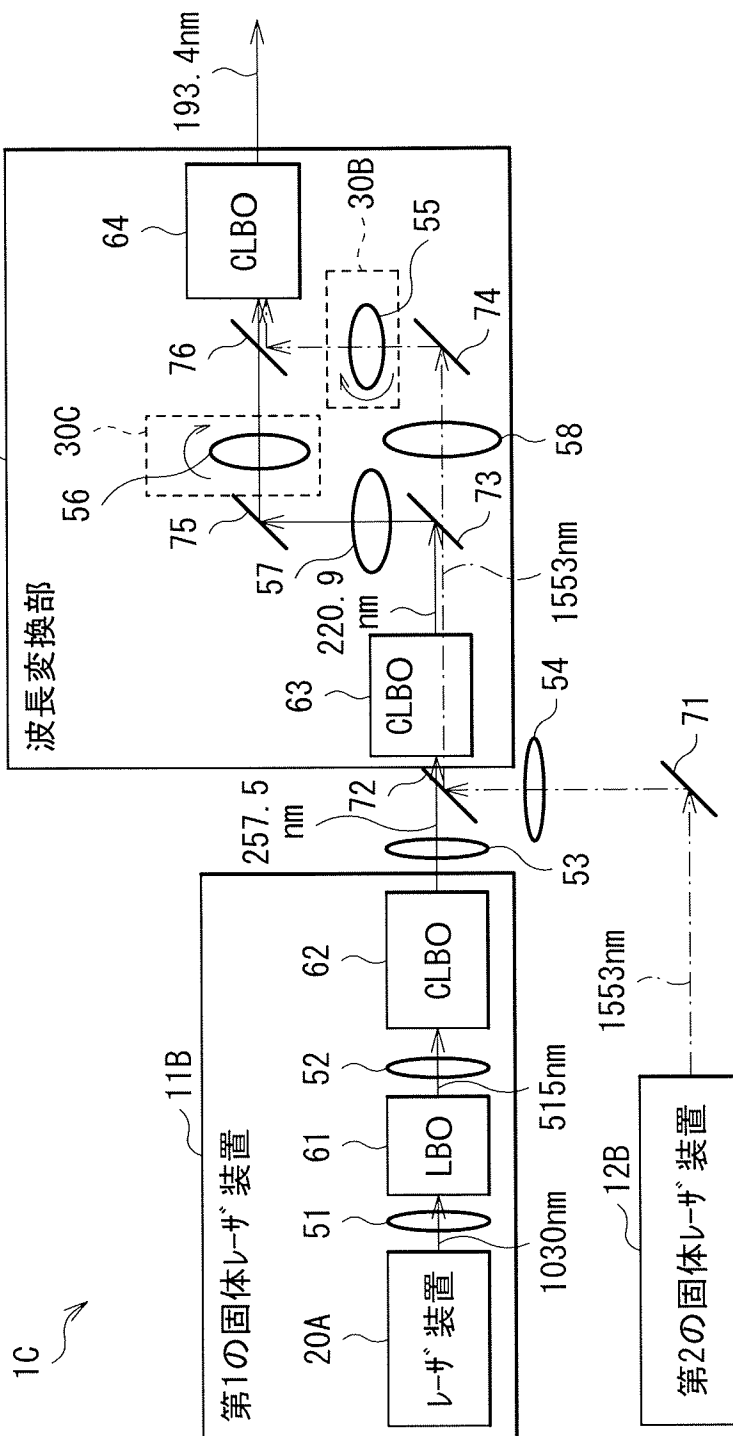
[図20]



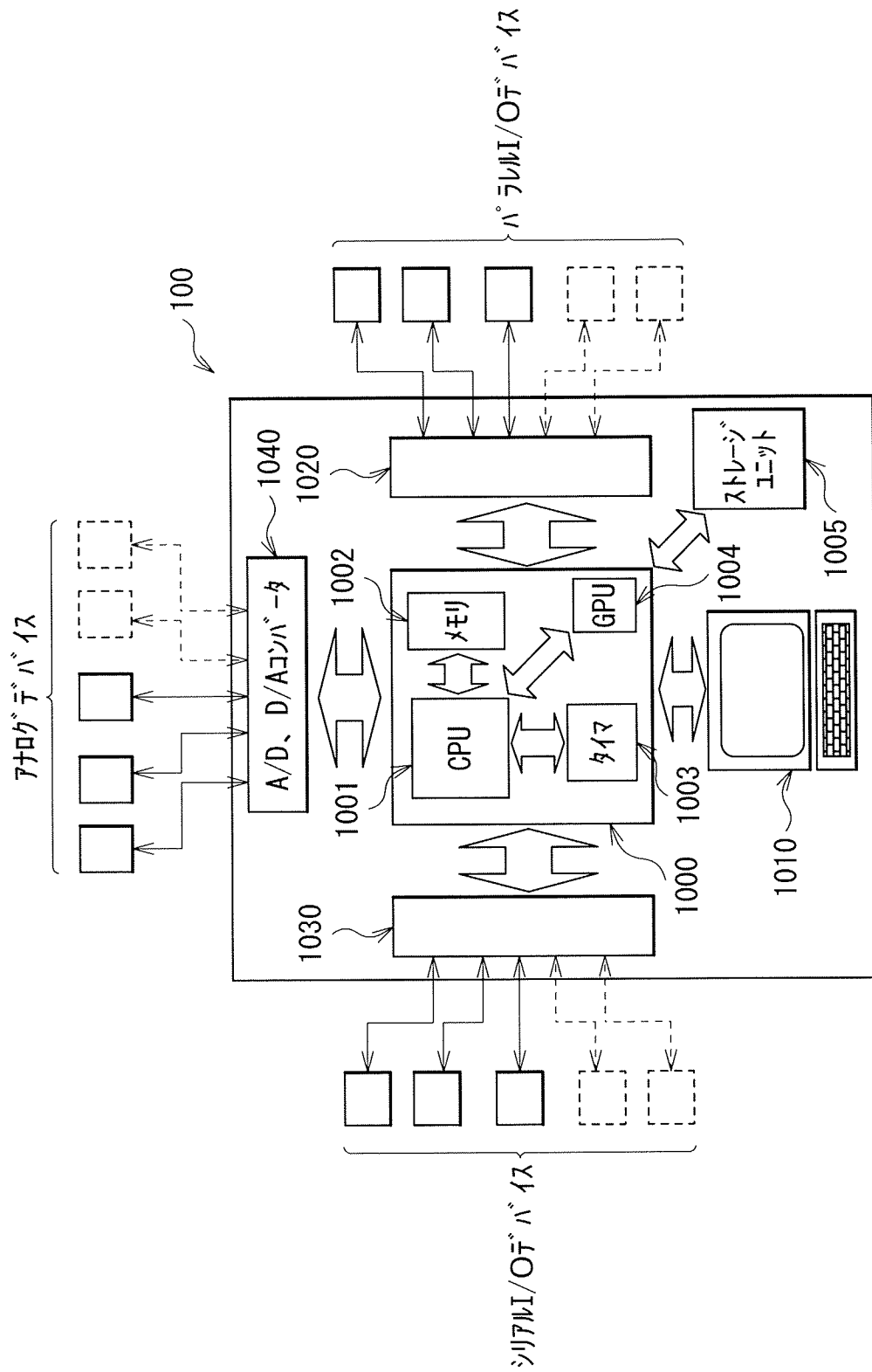
[図21]



[図22]



[図24]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/076079

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02F1/37(2006.01)i, H01S3/23(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)

G02F1/35-1/39, H01S3/00-3/30

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	WO 2008/114512 A1 (Panasonic Corp.), 25 September 2008 (25.09.2008), claim 10; paragraphs [0071], [0072] & JP 5290958 B2 & US 2010/0085631 A1 & US 8125703 B2 & CN 101646976 A & CN 101646976 B	1-2 3-7, 9-10 8
Y	JP 2011-192849 A (Gigaphoton Inc.), 29 September 2011 (29.09.2011), fig. 6, 7 & JP 5410344 B2	3-4
Y	WO 99/53488 A1 (Seiko Epson Corp.), 21 October 1999 (21.10.1999), entire text; all drawings & TW 445441 B	5-7

☒ 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
18 November 2015 (18.11.15)

Date of mailing of the international search report
08 December 2015 (08.12.15)

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/JP2015/076079

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 8-147747 A (Victor Company of Japan, Ltd.), 07 June 1996 (07.06.1996), entire text; all drawings (Family: none)	5-7
Y	JP 2013-222173 A (Gigaphoton Inc.), 28 October 2013 (28.10.2013), fig. 3 & US 2013/0279526 A1	9-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G02F1/37(2006.01)i, H01S3/23(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. G02F1/35-1/39, H01S3/00-3/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	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 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	WO 2008/114512 A1（パナソニック株式会社）2008.09.25, 請求項 10, [0071] [0072] & JP 5290958 B2 & US 2010/0085631 A1 & US 8125703 B2 & CN 101646976 A & CN 101646976 B	1-2 3-7, 9-10 8
Y	JP 2011-192849 A（ギガフォトン株式会社）2011.09.29, [図6] [図 7] & JP 5410344 B2	3-4
Y	WO 99/53488 A1（セイコーエプソン株式会社）1999.10.21, 全文、 全図 & TW 445441 B	5-7

☒ 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

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 8 . 1 1 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 8 . 1 2 . 2 0 1 5

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）

佐藤 宙子

2 X

9 3 1 6

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

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 8-147747 A (日本ビクター株式会社) 1996. 06. 07, 全文、全図 (ファミリーなし)	5-7
Y	JP 2013-222173 A (ギガフォトン株式会社) 2013. 10. 28, [図 3] & US 2013/0279526 A1	9-10