

(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10月5日(05.10.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/168584 A1

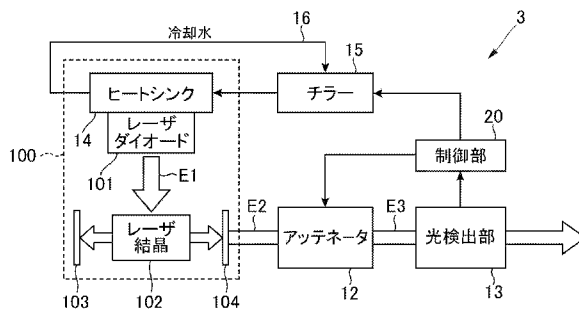
- (51) 国際特許分類:
H01S 3/131 (2006.01) H01S 3/227 (2006.01)
H01S 3/0941 (2006.01) H01S 5/068 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/060214
- (22) 国際出願日: 2016年3月29日(29.03.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: ギガフォトン株式会社 (GIGAPHOTON INC.) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 Tochigi (JP).
- (72) 発明者: 野極 誠二 (NOGIWA Seiji); 〒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). 川筋 康文 (KAWASUJI Yasufumi); 〒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: 保坂 延寿 (HOSAKA Nobuhisa); 〒1010025 東京都千代田区神田佐久間町3-2-2 神田SKビル4階 新井・橋本・保坂国際特許事務所 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), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

[続葉有]

(54) Title: LASER APPARATUS AND SYSTEM FOR GENERATING EXTREME ULTRAVIOLET LIGHT

(54) 発明の名称: レーザ装置及び極端紫外光生成システム

【図3】



- 12 Attenuator
13 Light detection unit
14 Heat sink
15 Chiller
16 Cooling water
20 Control unit
101 Laser diode
102 Laser crystal

(57) Abstract: A laser apparatus according to the present invention is provided with: a light source for outputting excitation light; an optical resonator an internal laser medium of which is excited by the excitation light and that outputs laser light; a temperature adjustment unit for adjusting the temperature of the light source to a reference temperature; a light detection unit for detecting the output of the laser light; and a control unit for changing the reference temperature on the basis of the output of the detected laser light.

(57) 要約: レーザ装置は、励起光を出力する光源と、励起光により内部のレーザ媒質が励起されてレーザ光を出力する光共振器と、光源の温度を基準温度に調節する温度調節部と、レーザ光の出力を検出する光検出部と、検出されたレーザ光の出力に基づいて基準温度を変更する制御部と、を備える。



ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, 添付公開書類:

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).

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： レーザ装置及び極端紫外光生成システム

技術分野

[0001] 本開示は、レーザ装置及び極端紫外光生成システムに関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体プロセスの微細化に伴って、半導体プロセスの光リソグラフィにおける転写パターンの微細化が急速に進展している。次世代においては、20nm以下の微細加工が要求されるようになる。このため、波長13nm程度の極端紫外（EUV）光を生成する極端紫外（EUV）光生成装置と縮小投影反射光学系とを組み合わせた露光装置の開発が期待されている。

[0003] EUV光生成装置としては、ターゲットにレーザ光を照射することによって生成されるプラズマが用いられるLPP（Laser Produced Plasma）式の装置と、放電によって生成されるプラズマが用いられるDPP（Discharge Produced Plasma）式の装置と、軌道放射光が用いられるSR（Synchrotron Radiation）式の装置との3種類の装置が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2010-239039号公報

特許文献2：特開2012-42630号公報

概要

[0005] 本開示の1つの観点に係るレーザ装置は、励起光を出力する光源と、励起光により内部のレーザ媒質が励起されてレーザ光を出力する光共振器と、光源の温度を基準温度に調節する温度調節部と、レーザ光の出力を検出する光検出部と、検出されたレーザ光の出力に基づいて基準温度を変更する制御部と、を備える。

[0006] 本開示の1つの観点に係る極端紫外光生成システムは、ターゲットにレーザ光を照射することによって極端紫外光を生成する極端紫外光生成システム

であって、レーザ光を出力するレーザ装置と、レーザ光が入射して極端紫外光が生成されるチャンバと、を備え、レーザ装置は、励起光を出力する光源と、励起光により内部のレーザ媒質が励起されてレーザ光を出力する光共振器と、光源の温度を基準温度に調節する温度調節部と、レーザ光の出力を検出する光検出部と、検出されたレーザ光の出力に基づいて基準温度を変更する制御部と、を備える。

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、比較例に係るレーザ装置を説明するための図を示す。

[図2]図2は、比較例に係るレーザ装置におけるレーザ光の出力とチラーの冷却水温度との関係を説明するための図を示す。

[図3]図3は、第1実施形態に係るレーザ装置を説明するための図を示す。

[図4]図4は、第1実施形態に係るレーザ装置におけるレーザ光の出力とチラーの冷却水温度との関係を説明するための図を示す。

[図5]図5は、第1実施形態に係るレーザ装置によるレーザ出力保持処理のフローチャートを示す図である。

[図6]図6は、図5に示されたレーザ出力保持処理でのチラーの冷却水の基準温度の最適化処理のフローチャートを示す図である。

[図7]図7は、第1実施形態に係るレーザ装置の変形例1を説明するための図を示す。

[図8]図8は、第1実施形態に係るレーザ装置の変形例2を説明するための図を示す。

[図9]図9は、第2実施形態に係るレーザ装置を説明するための図を示す。

[図10]図10は、第2実施形態に係るレーザ装置によるレーザ出力保持処理のフローチャートを示す図である。

[図11]図11は、図10に示されたレーザ出力保持処理でのチラーの冷却水の基準温度の最適化処理のフローチャートを示す図である。

[図12]図 1 2 は、第 2 実施形態に係るレーザ装置の変形例を説明するための図を示す。

[図13]図 1 3 は、第 3 実施形態に係るレーザ装置を説明するための図を示す。

[図14]図 1 4 は、第 4 実施形態に係る E U V 光生成システムの構成を概略的に示す。

実施形態

[0008] <内容>

1. 用語の説明
2. 課題
 2. 1 比較例の構成
 2. 2 比較例の動作
 2. 3 課題
3. 第 1 実施形態
 3. 1 構成
 3. 2 動作
 3. 3 作用効果
 3. 4 変形例 1
 3. 5 変形例 2
4. 第 2 実施形態
 4. 1 構成
 4. 2 動作
 4. 3 作用効果
 4. 4 変形例
5. 第 3 実施形態
 5. 1 構成及び動作
 5. 2 作用効果
6. 第 4 実施形態

6. 1 構成

6. 2 動作

6. 3 作用効果

7. 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. 用語の説明]

「ターゲット」は、チャンバ内に導入されたレーザ光の被照射物である。
レーザ光が照射されたターゲットは、プラズマ化してEUV光を含む光を放
射する。

「プラズマ生成領域」は、チャンバ内の所定領域である。プラズマ生成領
域は、チャンバ内に出力されたターゲットに対してレーザ光が照射され、タ
ーゲットがプラズマ化される領域である。

「ターゲット軌道」は、チャンバ内に出力されたターゲットが進行する経
路である。ターゲット軌道は、プラズマ生成領域において、チャンバ内に導
入されたレーザ光の光路と交差してもよい。

「光路軸」は、レーザ光の進行方向に沿ってレーザ光のビーム断面の中心
を通る軸である。

「光路」は、レーザ光が通る経路である。光路には、光路軸が含まれても
よい。

「Z軸方向」は、チャンバ内に導入されたレーザ光がプラズマ生成領域に
向かって進行する際の当該レーザ光の進行方向である。Z軸方向は、EUV
光生成装置がEUV光を出力する方向であってもよい。

「Y軸方向」は、ターゲット供給部がチャンバ内にターゲットを出力する

方向の逆方向である。Ｙ軸方向は、Ｘ軸方向及びＺ軸方向に垂直な方向である。

「Ｘ軸方向」は、Ｙ軸方向及びＺ軸方向に垂直な方向である。

[0011] [2. 課題]

[2. 1 比較例の構成]

図 1 及び図 2 を用いて、比較例に係るレーザ装置の構成について説明する。

図 1 は、比較例に係るレーザ装置 3 を説明するための図を示す。図 2 は、比較例に係るレーザ装置 3 におけるレーザ光の出力とチラー 15 の冷却水温度との関係を説明するための図を示す。

[0012] 比較例のレーザ装置 3 は、レーザ光源部 100 と、制御部 10 と、アッテネータ 12 と、光検出部 13 と、ヒートシンク 14 と、チラー 15 と、冷却水配管 16 とを備える。

[0013] レーザ光源部 100 は、固体レーザ光源である。レーザ光源部 100 は、レーザダイオード 101 と、レーザ結晶 102 と、共振ミラー 103 と、共振ミラー 104 とを備える。共振ミラー 103、104 は、光共振器を構成している。共振ミラー 103、104 は、レーザ結晶 102 を光共振器内に挟むように配置されている。レーザ光源部 100 は、共振ミラー 103、104 に代えて、例えば折り返しミラーによりリング状の周回光路を形成する共振器を含んでもよい。また、レーザ光源部 100 は、3 個以上の共振ミラー 103、104 により構成されている多重共振器を含んでもよい。

[0014] レーザダイオード 101 は、本開示の光源を構成している。レーザダイオード 101 は、レーザ結晶 102 を励起させるための励起光 E1 を出力する。

[0015] レーザ結晶 102 は、レーザ媒質である。レーザ結晶 102 は、光共振器により共振される。レーザ結晶 102 は、例えば、Nd:YVO₄ (neodymium-doped yttrium orthovanadate) の結晶である。

[0016] 共振ミラー 103、104 は、レーザ結晶 102 からの光の放出方向に沿

ってレーザ結晶１０２の両側に設けられている。共振ミラー１０３は、レーザ結晶１０２からの光を高い反射率で反射する高反射ミラーである。共振ミラー１０４は、レーザ結晶１０２からの光の一部を反射し一部を透過する部分反射ミラーである。共振ミラー１０４を透過する光は、レーザ光源部１００から出力されるレーザ光Ｅ２である。

[0017] アッテネータ１２は、レーザ光源部１００から出力されるレーザ光Ｅ２の透過率を調節することで出力を制限する。なお、以下の説明において、レーザ光の出力及びレーザ出力とは、レーザ出力パワーを意味し、単位はワット[W]である。アッテネータ１２は、レーザ光Ｅ２の光路上に配置される。アッテネータ１２は、例えば、印加される電圧によりレーザ光Ｅ２の偏光方向を変更するポッケルスセルと、偏光子により構成されてもよい。

[0018] 光検出部１３は、アッテネータ１２を透過した後のレーザ光Ｅ３の出力を検出し、レーザ光Ｅ３の出力に応じた検出信号を出力する。光検出部１３は、アッテネータ１２を透過した後のレーザ光Ｅ３の光路上に配置される。

[0019] 制御部１０は、光検出部１３が検出した検出信号に基づいてアッテネータ１２に印加される電圧を制御することによりアッテネータ１２の透過率を変更する。また、制御部１０は、レーザダイオード１０１に接続された不図示の電源を制御する。

[0020] ヒートシンク１４は、発熱源であるレーザダイオード１０１と熱的に接続されている。ヒートシンク１４は、レーザダイオード１０１が発する熱を放熱する。ヒートシンク１４は、微細な熱媒体流路を備えるマイクロチャネル型のヒートシンクであってもよい。

[0021] チラー１５は、ヒートシンク１４と熱媒体との間で熱交換を行う熱交換器である。チラー１５は、本開示の温度調節部を構成している。チラー１５は、熱媒体として例えば冷却水を用いる。チラー１５は、ヒートシンク１４に接続されたレーザダイオード１０１が発する熱を冷却水に受け渡すことにより、レーザダイオード１０１の温度を所定温度に調節する。所定温度は、例えばレーザ光源部１００が最大出力のレーザ光Ｅ２を出力することができる

ような温度である。

[0022] 冷却水配管 16 は、ヒートシンク 14 とチラー 15 との間で冷却水を循環させるための配管である。

[0023] [2. 2 比較例の動作]

制御部 10 は、レーザダイオード 101 に接続された電源を制御してレーザダイオード 101 に流れる注入電流を制御する。レーザダイオード 101 は、電源からの注入電流により励起光 E1 を出力する。レーザダイオード 101 は、出力される励起光 E1 によって、レーザ結晶 102 を励起させる。

[0024] レーザ結晶 102 では、レーザダイオード 101 からの励起光 E1 により所定の波長での利得が増大する。レーザ光源部 100 は、所定の波長でレーザ結晶 102 の利得が増大して光共振器の内部の損失を超過するとレーザ発振する。レーザ光源部 100 は、レーザ発振することで共振ミラー 104 よりレーザ光 E2 を出力する。

[0025] アッテネータ 12 は、制御部 10 によりあらかじめ指示された透過率に応じて、レーザ光 E2 を透過させる。光検出部 13 は、アッテネータ 12 を透過した後のレーザ光 E3 の出力を検出する。光検出部 13 は、検出された出力に応じた検出信号を制御部 10 に送信する。

[0026] 制御部 10 は、光検出部 13 からの検出信号に基づき、レーザ光 E2 の出力の制限を指示する信号をアッテネータ 12 に送信する。

[0027] チラー 15 は、ヒートシンク 14 との間で冷却水を循環させることにより、ヒートシンク 14 に接続されたレーザダイオード 101 を冷却する冷却水の温度を所定温度に調節する。

[0028] [2. 3 課題]

比較例に係るレーザ装置 3 では、レーザ光 E2 の出力が、レーザダイオード 101 の励起光 E1 の出力に応じて変化する。また、比較例に係るレーザ装置 3 では、励起光 E1 の出力が、レーザダイオード 101 の温度に応じて変化する。ここで、レーザダイオード 101 は、ヒートシンク 14 に接続されてチラー 15 により温度が調節されている。このため、比較例に係るレー

ザ装置 3 では、チラー 15 の冷却水温度に応じてレーザ光 E 2 の出力が変化するという相関関係が成立する。

[0029] 比較例に係るレーザ装置 3 では、以下に示すレーザ光 E 2 の出力条件の変化により、図 2 に示されるレーザ装置におけるレーザ光 E 2 の出力とチラー 15 の冷却水温度との関係が変化する。レーザ光 E 2 の出力条件の変化には、例えばレーザダイオード 101 の特性の変化、共振条件の変化、あるいはヒートシンク 14 の放熱特性の変化等が挙げられる。比較例に係るレーザ装置 3 では、レーザ光 E 2 の出力条件の変化により、レーザ光 E 2 の出力と冷却水温度との関係が、例えば曲線 A に示される関係から曲線 B に示される関係に変化する。この場合に、レーザ光 E 2 が最大出力 P_{max} となる冷却水温度は、例えば T_a から T_b に変化する。

[0030] 比較例に係るレーザ装置 3 では、チラー 15 が所定温度を T_a として冷却水温度を調節している。このため、比較例に係るレーザ装置 3 は、レーザ光 E 2 の出力条件の変化により、レーザ光 E 2 の出力が本来得られる P_{max} から P_b に低下する。つまり、比較例に係るレーザ装置 3 は、レーザ光 E 2 の出力条件の変化により、所望の出力、例えば最大出力 P_{max} のレーザ光 E 2 を安定して得ることが難しいという課題があった。

[0031] [3. 第 1 実施形態]

[3. 1 構成]

図 3 及び図 4 を用いて、第 1 実施形態に係るレーザ装置 3 の構成について説明する。

図 3 は、第 1 実施形態に係るレーザ装置 3 を説明するための図を示す。図 4 は、第 1 実施形態に係るレーザ装置 3 におけるレーザ光の出力とチラー 15 の冷却水温度との関係を説明するための図を示す。

[0032] 図 3 に示される第 1 実施形態に係るレーザ装置 3 は、図 1 に示されたレーザ装置 3 と異なり、制御部 10 に代えて制御部 20 を備える。

[0033] 制御部 20 は、制御部 10 と同様に、光検出部 13 が検出した検出信号に基づいてアッテネータ 12 に印加される電圧を制御することによりアッテネ

ータ 12 の透過率を変更する。また、制御部 20 は、レーザダイオード 101 に接続された不図示の電源を制御する。

[0034] これに加えて、制御部 20 は、レーザ出力保持処理を行う。レーザ出力保持処理とは、光検出部 13 からの検出信号に基づき、チラー 15 が冷却水温度を調節するときの基準となる温度である基準温度を変更し、チラー 15 に変更後の基準温度を送信する処理である。

[0035] 制御部 20 は、上記のようにチラー 15 の冷却水温度に応じてレーザ光 E2 の出力が変化するため、レーザ光 E2 の出力と冷却水温度との関係に基づいて、チラー 15 の冷却水温度の基準温度を変更する。制御部 20 は、基準温度を変更するために、レーザ光 E2 の出力と冷却水温度との関係を取得する。制御部 20 は、レーザ光 E2 の出力と冷却水温度との関係が、例えば図 4 の曲線 A に示される関係から曲線 B に示される関係に変化した場合に、レーザ光 E2 の出力が所望の出力、例えば最大出力 P_{max} となるように、基準温度を T_a から T_b に変更する。制御部 20 は、検出されたレーザ光 E2 の出力が、例えば基準出力以下である場合など所定の場合に、基準温度を変更する。

[0036] 第 1 実施形態に係るレーザ装置 3 では、光検出部 13 が、アッテネータ 12 を透過した後のレーザ光 E3 の出力を検出している。レーザ光 E3 の出力は、アッテネータ 12 により制限されているため、レーザ光源部 100 から出力されるレーザ光 E2 の出力とは異なる。このため、制御部 20 は、検出されたレーザ光 E3 の出力とアッテネータ 12 におけるレーザ光の透過率とに基づいてレーザ光 E2 の出力を計算する。

[0037] 第 1 実施形態に係るレーザ装置 3 におけるその他の構成は、図 1 に示したレーザ装置 3 の構成と同様である。第 1 実施形態に係るレーザ装置 3 の構成において、図 1 に示したレーザ装置 3 と同様の構成については説明を省略する。

[0038] [3. 2 動作]

図 5 を用いて、第 1 実施形態に係るレーザ装置 3 によるレーザ出力保持処

理について説明する。

図5は、第1実施形態に係るレーザ装置3によるレーザ出力保持処理のフローチャートを示す図である。

[0039] 制御部20は、基準温度をレーザ光源部100からのレーザ光E2の出力が最大出力 P_{max} となる冷却水温度の初期値として、チラー15に設定する(S101)。

[0040] 制御部20は、冷却水温度が基準温度に調節されるようにチラー15を稼働させる(S102)。制御部20は、レーザダイオード101に接続された電源を制御することによりレーザ光源部100からレーザ光E2が出力される(S103)。

[0041] 制御部20は、アッテネータ12の印加電圧VATTを最大出力 P_{max} となる印加電圧である基準電圧VSに設定して、アッテネータ12の透過率を設定する(S104)。

[0042] 光検出部13は、アッテネータ12を透過した後のレーザ光E3の出力 P' を検出する。光検出部13は、レーザ光E3の出力 P' に応じた検出信号を出力する。制御部20は、光検出部13から出力された検出信号を受信してレーザ光E3の出力 P' を取得する(S105)。

[0043] 制御部20は、取得されたレーザ光E3の検出信号とアッテネータ12の透過率とに基づいてレーザ光E2の出力Pを計算する(S106)。レーザ光E2の出力Pは、レーザ光E3の出力 P' とアッテネータ12の透過率Oにより(式1)を用いて求められる。

$$P = P' / O \dots \dots \dots$$

・ (式1)

[0044] 制御部20は、(式1)により計算されたレーザ光E2の出力Pが、基準出力PC1以下であるか否かを判定する(S107)。基準出力PC1は、例えばレーザ光E2の最大出力 P_{max} の80%の出力である。

[0045] 制御部20は、(式1)により計算されたレーザ光E2の出力Pが、基準出力PC1以下である場合に(S107: YES)、基準温度の最適化処理

を行う（S108）。基準温度の最適化処理のフローチャートは後述する。

制御部20は、基準温度の最適化処理の後にS105の処理に戻る。

[0046] 制御部20は、（式1）により計算されたレーザ光E2の出力Pが基準出力PC1より大きい場合に（S107：NO）、アッテネータ12への印加電圧VATTが透過率の最も高い状態の電圧VATTmax以上であるか否かを判定する（S109）。

[0047] 制御部20は、印加電圧VATTが電圧VATTmax以上である場合に（S109：YES）、基準温度の最適化処理を行う（S108）。

[0048] 制御部20は、印加電圧VATTが電圧VATTmaxより小さい場合に（S109：NO）、（式1）により計算されたレーザ光E2の出力Pが、第2基準出力PC2以下であるか否かを判定する（S110）。第2基準出力PC2は、基準出力PC1よりも高く最大出力Pmaxよりも低い出力である。第2基準出力PC2は、例えばレーザ光E2の最大出力Pmaxの99%の出力である。

[0049] 制御部20は、計算されたレーザ光E2の出力Pが第2基準出力PC2以下である場合に（S110：YES）、印加電圧VATTを所定の印加電圧調節量ΔVだけ下げてアッテネータ12の透過率を高める（S111）。制御部20は、アッテネータ12の透過率を高めた後にS105の処理に戻る。

[0050] 制御部20は、計算されたレーザ光E2の出力Pが第2基準出力PC2より大きい場合に（S110：NO）、レーザ光E2の停止操作が受け付けられたか否かを判定する（S112）。

[0051] 制御部20は、レーザ光E2の停止操作が受け付けられた場合に（S112：YES）、アッテネータ12に印加電圧VATTを0にしてアッテネータ12を停止する（S113）。アッテネータ12を停止後、制御部20は、レーザ光源部100からのレーザ光E2の出力を停止し（S114）、チャラ15を停止して（S115）、処理を終了する。

[0052] 制御部20は、レーザ光E2の停止操作が受け付けられていない場合に（

S 1 1 2 : N O) 、 S 1 0 5 の処理に戻る。

[0053] 図 6 を用いて、レーザ出力保持処理におけるチラー 1 5 の冷却水の基準温度の最適化処理について説明する。

図 6 は、図 5 に示されたレーザ出力保持処理でのチラー 1 5 の冷却水の基準温度の最適化処理のフローチャートを示す図である。

[0054] 制御部 2 0 は、基準温度の最適化処理の開始を E U V 光生成システムなど不図示の上位のシステムの制御部に通知する (S 3 0 1) 。

[0055] 制御部 2 0 は、アッテネータ 1 2 を透過した後のレーザ光 E 3 の出力 P'_{E3} の検出の繰り返し回数 n を 0 にして初期化する (S 3 0 2) 。制御部 2 0 は、冷却水温度の設定温度 T_n を最低設定温度 T_{min} に設定する (S 3 0 3) 。

[0056] 光検出部 1 3 は、アッテネータ 1 2 を透過した後のレーザ光 E 3 の出力 P'_{E3} を検出する。光検出部 1 3 は、レーザ光 E 3 の出力 P'_{E3} に応じた検出信号を出力する。制御部 2 0 は、光検出部 1 3 から出力された検出信号を受信してレーザ光 E 3 の出力 P'_{E3} を取得する (S 3 0 4) 。

[0057] 制御部 2 0 は、レーザ光 E 3 の P'_{E3} とアッテネータ 1 2 の透過率 O とに基づいてレーザ光 E 2 の出力 P_n を計算する (S 3 0 5) 。レーザ光 E 2 の出力 P_n は、レーザ光 E 3 の P'_{E3} とアッテネータ 1 2 の透過率 O とにより (式 2) を用いて求める。

$$P_n = P'_{\text{E3}} / O \cdots \cdots (\text{式 2})$$

[0058] 制御部 2 0 は、(式 2) により計算されたレーザ光 E 2 の出力 P_n と冷却水温度の設定温度 T_n とを関連付けて記憶する (S 3 0 6) 。制御部 2 0 は、レーザ光 E 2 の出力 P_n と冷却水温度の設定温度 T_n とが関連付けて記憶された後、繰り返し回数 n に 1 を加算する (S 3 0 7) 。

[0059] 制御部 2 0 は、1 を加算した後の繰り返し回数 n が最大繰り返し回数 n_{max} 未満であるか否かを判定する (S 3 0 8) 。

[0060] 制御部 2 0 は、繰り返し回数 n が最大繰り返し回数 n_{max} 未満であれば (S 3 0 8 : Y E S) 、設定温度 T_n を ΔT だけ上げる処理を行う (S 3 0 9)

。ここで、 ΔT は、例えば冷却水の最低設定温度 T_{min} と最高設定温度 T_{max} と最大繰り返し回数 n_{max} とに基づいて（式3）により求めてもよい。

$$\Delta T = (T_{\max} - T_{\min}) / n_{\max}$$

(式 3)

[0061] 制御部 20 は、基準温度 T を変更した後に S 304 から S 308 のレーザー光 E2 の出力 Pn の計算処理を最大繰り返し回数 n_{max} まで繰り返す。

[0062] 繰り返し回数 n が最大繰り返し回数 n_{max} になれば（S308：NO）、レーザー光E2の出力 P_n と冷却水温度の設定温度 T_n とが最大繰り返し回数 n_{max} だけ取得される。制御部20は、最大繰り返し回数 n_{max} の数だけ取得されたレーザー光E2の出力 P_n と冷却水温度の設定温度 T_n とから、図4に示したような近似曲線を生成する（S310）。

[0063] 制御部 20 は、レーザ光 E2 の出力 Pn と冷却水温度の設定温度 Tn との関係から生成される近似曲線から、レーザ光 E2 の出力 P の最大出力 Pmax が得られる新たな基準温度 T を設定する (S311)。

[0064] 制御部 20 は、基準温度の最適化処理の終了を上位のシステムの制御部に通知して処理を終了する（S312）。

[0065] 第1実施形態に係るレーザ装置3におけるその他の動作は、図1に示したレーザ装置3の動作と同様である。第1実施形態に係るレーザ装置3において、図1に示したレーザ装置3と同様の動作については説明を省略する。

なお、第 1 実施形態に係るレーザ装置 3 では印加電圧 V_{ATT} を下げると透過率が高くなるアッテネータ 12 を用いて説明したが、アッテネータ 12 は印加電圧 V_{ATT} を上げると透過率が高くなる構成でもよい。つまり、第 1 実施形態に係るレーザ装置 3 では、制御部 20 がアッテネータ 12 の印加電圧 V_{ATT} と基準電圧 V_S とを比較した結果に基づいて基準温度 T を変更すればよい。印加電圧 V_{ATT} を上げると透過率が高くなるアッテネータ 12 を採用する場合、図 5 の S109、S111 の処理は適宜修正されてよい

[0066] [3. 3 作用效果]

第1実施形態に係るレーザ装置3は、チラー15の冷却水温度とレーザ光E2の出力Pとの関係に基づいて基準温度を変更するため、レーザ光E2の出力条件が変化しても、所望の出力、例えば最大出力 P_{max} のレーザ光E2を安定して得ることができる。

また、第1実施形態に係るレーザ装置3は、チラー15の冷却水の基準温度を変更して、例えば最大出力 P_{max} など所望の出力のレーザ光E2を得ることができる。

また、第1実施形態に係るレーザ装置3は、アッテネータ12の透過率を変更しても最大出力 P_{max} が得られないような場合であっても、チラー15の冷却水の基準温度を変更して所望の出力のレーザ光E2を得ることができる。つまり、第1実施形態に係るレーザ装置3は、アッテネータ12の透過率とチラー15の冷却水の基準温度とを協調して調節することにより、所望の出力のレーザ光E2を得ることができる。

また、第1実施形態に係るレーザ装置3は、光検出部13がアッテネータ12を透過した後のレーザ光E3の出力 P' を検出する場合でも、アッテネータ12を透過する前のレーザ光E2の出力Pを計算することができる。

[0067] [3.4 変形例1]

図7は、第1実施形態に係るレーザ装置3の変形例1を説明するための図を示す。

図7に示される第1実施形態の変形例1のように、レーザ装置3は、受動モード同期レーザ装置であってもよい。レーザ装置3は、レーザ光源部100の光共振器内の共振ミラー103とレーザ結晶102との間の光路上に可飽和吸収体105を備える。

[0068] 可飽和吸収体105は、レーザ光源部100がレーザ発振するときに、光共振器内の受動モード同期条件に従い、自動開閉する光スイッチとして機能する。レーザ光源部100は、可飽和吸収体105を備えることにより、共振ミラー104からパルス状のレーザ光E2を出力する。

[0069] 変形例1のレーザ装置3におけるその他の構成及び動作は、図3に示した

レーザ装置 3 の構成及び動作と同様である。変形例 1 のレーザ装置 3 の構成において、図 3 に示したレーザ装置 3 と同様の構成及び動作については説明を省略する。

[0070] [3. 5 変形例 2]

図 8 は、第 1 実施形態に係るレーザ装置 3 の変形例 2 を説明するための図を示す。

図 8 に示される第 1 実施形態の変形例 2 のように、レーザ装置 3 は、Q スイッチレーザ装置であってもよい。レーザ装置 3 は、レーザ光源部 100 の光共振器内の共振ミラー 103 とレーザ結晶 102 との間の光路上に光スイッチ 106 を備える。

[0071] 光スイッチ 106 は、レーザ光源部 100 がレーザ発振するときに、不図示の外部の装置の制御部からの信号により透過率が変更される。光スイッチ 106 の透過率が高いときに、レーザ光源部 100 は、共振ミラー 104 からレーザ光 E2 を出力する。レーザ光源部 100 は、光スイッチ 106 の透過率が低いときに、光共振器の内部の損失が利得を上回るとレーザ発振が止まる。レーザ光源部 100 は、光スイッチ 106 を備え、光スイッチ 106 の透過率を周期的に変更されると、共振ミラー 104 から光スイッチ 106 の透過率変化に同期してパルス状のレーザ光 E2 を出力する。

[0072] 変形例 2 のレーザ装置 3 におけるその他の構成及び動作は、図 3 に示したレーザ装置 3 の構成及び動作と同様である。変形例 2 のレーザ装置 3 の構成において、図 3 に示したレーザ装置 3 と同様の構成及び動作については説明を省略する。

[0073] [4. 第 2 実施形態]

[4. 1 構成]

図 9 は、第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 を説明するための図を示す。

図 9 に示される第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 は、レーザ光源部 100 と光検出部 13 との間の光路上にアッテネータ 12 を備えていない。第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 は、レーザ光源部 100 からのレーザ光 E2 がレ

ーザ装置 3 のレーザ光として出力される。また、第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 は、制御部 20 に代えて制御部 30 を備える。

[0074] 制御部 30 は、制御部 20 と同様に、レーザ出力保持処理を行う。制御部 30 は、光検出部 13 からの検出信号に基づき、冷却水の基準温度を変更し、チラー 15 に変更後の基準温度を送信する。これに加えて、制御部 30 は、検出されたレーザ光 E2 の出力 P に基づいてレーザダイオード 101 に流れる電流を制御することにより、レーザ光 E2 の出力 P を制御する。

[0075] 第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 におけるその他の構成は、図 3 に示したレーザ装置 3 の構成と同様である。第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 の構成において、図 3 に示したレーザ装置 3 と同様の構成については説明を省略する。

[0076] [4. 2 動作]

図 10 は、第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 によるレーザ出力保持処理のフローチャートを示す図である。

図 10 を用いて、第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 によるレーザ出力保持処理について説明する。第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 によるレーザ出力保持処理において、図 5 に示した第 1 実施形態に係るレーザ装置 3 によるレーザ出力保持処理と同様の処理については説明を省略する。

[0077] 制御部 30 は、S103 の処理によりレーザ光源部 100 からレーザ光 E2 が出力されるとき、レーザダイオード 101 に供給される電流値 I_{LD} を、最大出力 P_{max} となる印加電流である基準電流 I_S に設定する (S204)。

[0078] 光検出部 13 は、レーザ光源部 100 から出力されたレーザ光 E2 の出力 P を取得する。光検出部 13 は、レーザ光 E2 の出力に応じた検出信号を出力する。制御部 20 は、光検出部 13 から出力された検出信号を受信してレーザ光 E2 の出力 P を取得する (S205)。

[0079] 制御部 20 は、取得されたレーザ光 E2 の出力 P が、基準出力 P_{C1} 以下であるか否かを判定する (S207)。基準出力 P_{C1} は、例えばレーザ光

E 2 の最大出力 P_{max} の 80% の出力である。

[0080] 制御部 20 は、取得されたレーザ光 E 2 の出力 P が、基準出力 PC_1 以下である場合に (S 207 : YES)、基準温度の最適化処理を行う (S 208)。基準温度の最適化処理のフローチャートは後述する。制御部 20 は、基準温度の最適化処理の後に S 205 の処理に戻る。

[0081] 制御部 20 は、検出されたレーザ光 E 2 の出力 P が、基準出力 PC_1 より大きい場合に (S 207 : NO)、レーザダイオード 101 に供給されている電流値 I_{LD} が最大電流値 I_{LDmax} 以上であるか否かを判定する (S 209)。

[0082] 制御部 20 は、電流値 I_{LD} が最大電流値 I_{LDmax} 以上である場合に (S 209 : YES)、基準温度の最適化処理を行う (S 208)。

[0083] 制御部 20 は、電流値 I_{LD} が最大電流値 I_{LDmax} より小さい場合に (S 209 : NO)、取得されたレーザ光 E 2 の出力 P が、第 3 基準出力 PC_3 以下であるか否かを判定する (S 210)。第 3 基準出力 PC_3 は、第 2 基準出力 PC_2 と同様に基準出力 PC_1 より高く最大出力 P_{max} よりも低い出力である。第 3 基準出力 PC_3 は、例えばレーザ光 E 2 の最大出力 P_{max} の 99% の出力である。

[0084] 制御部 20 は、取得されたレーザ光 E 2 の出力 P が第 3 基準出力 PC_3 以下である場合に (S 210 : YES)、電流値 I_{LD} に所定の電流調節量 ΔI を加算する (S 211)。制御部 20 は、電流値 I_{LD} に電流調節量 ΔI を加算した後に S 205 の処理に戻る。

[0085] 制御部 20 は、取得されたレーザ光 E 2 の出力 P が第 3 基準出力 PC_3 よりも大きい場合に (S 210 : NO)、レーザ光 E 2 の停止操作が受け付けられたか否かを判定する (S 212)。

[0086] 制御部 20 は、レーザ光 E 2 の停止操作が受け付けられた場合に (S 212 : YES)、図 5 に示された S 114 と S 115 の処理を実行してレーザ出力保持処理を終了する。

[0087] 制御部 20 は、レーザ光 E 2 の停止操作が受け付けられていない場合に (

S 2 1 2 : N O) 、 S 2 0 5 の処理に戻る。

[0088] 図 1 1 を用いて、第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 のレーザ出力保持処理におけるチラー 1 5 の冷却水の基準温度の最適化処理について説明する。

[0089] 図 1 1 は、図 1 0 に示されたレーザ出力保持処理でのチラー 1 5 の冷却水の基準温度の最適化処理のフローチャートを示す図である。

[0090] 第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 によるチラー 1 5 の基準温度の最適化処理において、図 6 に示した第 1 実施形態に係るレーザ装置 3 によるチラー 1 5 の基準温度の最適化処理と同様の処理については説明を省略する。

[0091] 光検出部 1 3 は、S 3 0 3 の処理後、レーザ光源部 1 0 0 から出力されたレーザ光 E 2 の出力 P n を検出する。光検出部 1 3 は、レーザ光 E 2 の出力 P n に応じた検出信号を出力する。制御部 3 0 は、光検出部 1 3 から出力された検出信号を受信してレーザ光 E 2 の出力 P n を取得する (S 4 0 4) 。

[0092] 制御部 3 0 は、取得されたレーザ光 E 2 の出力 P n と冷却水温度の設定温度 T n とを関連付けて記憶する (S 4 0 6) 。制御部 3 0 は、図 6 に示された S 3 0 7 以降の処理を実行する。

[0093] 第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 におけるその他の動作は、図 5 及び 6 に示したレーザ装置 3 の動作と同様である。第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 において、図 5 及び 6 に示したレーザ装置 3 と同様の動作については説明を省略する。

[0094] [4 . 3 作用効果]

第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 は、レーザダイオード 1 0 1 の電流値 I L D を制御しても最大出力 P m a x が得られないような場合であっても、チラー 1 5 の冷却水の基準温度を変更して所望の出力のレーザ光 E 2 を得ることができる。つまり、第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 は、レーザダイオード 1 0 1 の電流値とチラー 1 5 の冷却水の基準温度とを協調して制御することにより、所望の出力のレーザ光 E 2 を得ることができる。

[0095] [4 . 4 変形例]

図 1 2 は、第 2 実施形態に係るレーザ装置 3 の変形例を説明するための図

を示す。

図 1 2 に示される第 2 実施形態の変形例のように、レーザ装置 3 は、Q スイッチレーザ装置であってもよい。レーザ装置 3 は、レーザ光源部 1 0 0 の光共振器内の共振ミラー 1 0 3 とレーザ結晶 1 0 2 との間の光路上に光スイッチ 1 0 6 を備える。

[0096] 光スイッチ 1 0 6 を備えるレーザ光源部 1 0 0 の動作については、図 8 に示されたレーザ装置 3 のレーザ光源部 1 0 0 と同様である。

[0097] 変形例のレーザ装置 3 におけるその他の構成及び動作は、図 9 に示したレーザ装置 3 の構成及び動作と同様である。変形例のレーザ装置 3 の構成において、図 9 に示したレーザ装置 3 と同様の構成及び動作については説明を省略する。

[0098] [5. 第 3 実施形態]

[5. 1 構成及び動作]

図 1 3 を用いて、第 3 実施形態に係るレーザ装置 3 の構成について説明する。

図 1 3 は、第 3 実施形態に係るレーザ装置 3 を説明するための図を示す。

[0099] 第 3 実施形態に係るレーザ装置 3 は、レーザ光源部 1 0 0 とアッテネータ 1 2 との間の光路上に配置されてレーザ光源部 1 0 0 からのレーザ光 E 2 を増幅するレーザ増幅部 2 0 0 を備える。

レーザ増幅部 2 0 0 は、励起光 E 4 を発するレーザダイオード 1 7 と、励起光 E 4 により内部のレーザ結晶が励起されてレーザ光 E 2 を増幅する光増幅器 1 8 と、レーザダイオード 1 7 に接続されてレーザダイオード 1 7 を冷却するヒートシンク 1 9 と、を備える。

[0100] チラー 1 5 は、ヒートシンク 1 4 に接続されたレーザダイオード 1 0 1 及びレーザダイオード 1 7 が発する熱を冷却水に受け渡すことにより、レーザダイオード 1 0 1 及びレーザダイオード 1 7 の温度を所定温度に調節する。チラー 1 5 は、レーザダイオード 1 0 1 及びレーザダイオード 1 7 の温度を同じ温度に調節してもよい。あるいは、チラー 1 5 は、レーザダイオード 1

01の温度と、レーザダイオード17の温度とをそれぞれ異なる温度に調節してもよい。

[0101] 第3実施形態に係るレーザ装置3におけるその他の構成及び動作は、図3に示したレーザ装置3の構成及び動作と同様である。第3実施形態に係るレーザ装置3の構成において、図3に示したレーザ装置3と同様の構成及び動作については説明を省略する。

なお、第3実施形態に係るレーザ装置3は、図5及び図6で説明した動作をレーザ光源部100についてのみ行ってもよいし、レーザ増幅部200についてのみ行ってもよい。

あるいは、第3実施形態に係るレーザ装置3は、図5及び図6で説明した動作をレーザ光源部100及びレーザ増幅部200について行ってもよい。この場合、第3実施形態に係るレーザ装置3は、レーザダイオード101の温度を設定した後に、レーザダイオード17の温度を設定するとよい。

[0102] [5. 2 作用効果]

第3実施形態に係るレーザ装置3は、制御部20により基準温度が変更されるチラー15によりレーザ増幅部200のレーザダイオード17を冷却することで、レーザ増幅部200の性能を安定して得ることができる。

[0103] [6. 第4実施形態]

[6. 1 構成]

図14は、第4実施形態に係るEUV光生成システム11の構成を概略的に示す。

EUV光生成システム11は、EUV光生成装置1と、レーザ装置3を含む。EUV光生成装置1は、EUV光生成制御部5と、遅延回路51と、EUVチャンバ2と、高反射ミラー341、343と、ミラー342と、ビームコンバイナ35を含む。レーザ装置3は、メインパルスレーザ装置3aと、第1プリパルスレーザ装置3bと、第2プリパルスレーザ装置3cを含む。

[0104] EUV光生成システム11の第1プリパルスレーザ装置3b及び第2プリ

パルスレーザ装置 3 c は、本開示のいずれかの実施形態に係るレーザ装置 3 である。

[0105] 第 1 プリパルスレーザ装置 3 b は、図 7 又は図 1 3 に示されたレーザ装置 3 であってもよい。第 1 プリパルスレーザ装置 3 b は、図 7 に示されたレーザ装置 3 に図 1 3 に示されたレーザ装置 3 のレーザ増幅部 2 0 0 を組み合わせた装置であってもよい。

第 2 プリパルスレーザ装置 3 c は、図 8 又は図 1 2 に示されたレーザ装置 3 であってもよい。第 2 プリパルスレーザ装置 3 c は、図 8 に示されたレーザ装置 3 に図 1 3 に示されたレーザ装置 3 のレーザ増幅部 2 0 0 を組み合わせた装置であってもよい。

[0106] ビームコンバイナ 3 5 は、高反射ミラー 3 5 2 とダイクロイックミラー 3 5 1 とを含む。ビームコンバイナ 3 5 は、EUV チャンバ 2 に固定されている。ダイクロイックミラー 3 5 1 は、プリパルスレーザ光を高反射し、メインパルスレーザ光 3 1 a を透過する膜がダイヤモンド基板にコートされている。

[0107] EUV チャンバ 2 は、レーザ集光光学系 2 2 a と、EUV 光集光ミラー 2 3 と、ターゲット供給部 2 6 と、ターゲット検出装置 4 1 と、EUV 光検出センサ 4 4、ターゲット検出用画像センサ 4 3 を含む。

[0108] ターゲット供給部 2 6 は、プラズマ生成領域 2 5 にドロップレット状のターゲット 2 7 を供給するように構成され、配置される。

[0109] ターゲット検出装置 4 1 は、ターゲット 2 7 がプラズマ生成領域 2 5 に到達する前の所定の位置 P O で、ターゲット 2 7 が通過したことを検出するように構成され、配置される。

[0110] レーザ集光光学系 2 2 a は、軸外放物面ミラー 2 2 2 と、平面ミラー 2 2 3 と、X 軸方向、Y 軸方向、及び Z 軸方向に移動するステージ 2 2 1 を含む。レーザ集光光学系 2 2 a は EUV チャンバ 2 の内部に配置される。軸外放物面ミラー 2 2 2 と平面ミラー 2 2 3 は、レーザ光の集光位置がプラズマ生成領域 2 5 と略一致するように構成され、配置される。

- [0111] 高反射ミラー３４１と高反射ミラー３５２は、メインパルスレーザ光３１ａがダイクロイックミラー３５１及びウインドウ２１を透過して、レーザ集光光学系２２ａに入射するように配置される。
- [0112] ミラー３４２と高反射ミラー３４３は、第１及び第２プリパルスレーザ光３１ｂ、３１ｃがダイクロイックミラー３５１により高反射されて、ウインドウ２１を透過して、レーザ集光光学系２２ａに入射するように配置される。第１及び第２プリパルスレーザ光３１ｂ、３１ｃは、偏光方向が互いに垂直なレーザ光など、異なる偏光状態のレーザ光であってもよい。ミラー３４２は、第１プリパルスレーザ光３１ｂを反射し、第２プリパルスレーザ光３１ｃを透過させる偏光ビームスプリッタであってよい。
- [0113] ダイクロイックミラー３５１と高反射ミラー３５２は、メインパルスレーザ光３１ａの光路とダイクロイックミラー３５１を経た第１及び第２プリパルスレーザ光３１ｂ、３１ｃの光路とが略一致するように配置される。
- [0114] ターゲット検出装置４１から出力された通過タイミング信号は、ＥＵＶ光生成制御部５を経由して、遅延回路５１に入力される。通過タイミング信号は発光トリガ信号として、メインパルスレーザ装置３ａ、第１プリパルスレーザ装置３ｂ、第２プリパルスレーザ装置３ｃに入力される。
- [0115] ＥＵＶ光生成制御部５は、それぞれのレーザ光の遅延時間を設定するデータとして遅延信号を遅延回路５１に出力する。
- [0116] ＥＵＶ光検出センサ４４は、複数配置される。複数のＥＵＶ光検出センサ４４はプラズマ生成領域２５に対して等方的に配置される。ＥＵＶ光検出センサ４４はＥＵＶ光のパルスエネルギーを検出する。
- [0117] ターゲット検出用画像センサ４３は、プラズマ生成領域２５を所定のタイミングと時間幅で撮像する。
- [0118] [６．２ 動作]
- ＥＵＶ光生成制御部５は、あらかじめ遅延回路５１に、メインパルスレーザ装置３ａと、第１プリパルスレーザ装置３ｂと、第２プリパルスレーザ装置３ｃとのそれぞれの目標の遅延信号を送信する。

[0119] E U V 光生成制御部 5 から遅延回路 5 1 に送信される遅延信号は、以下のよう
に設定する。第 1 遅延時間は、ターゲット検出装置 4 1 からの通過タイ
ミング信号入力後、ターゲット 2 7 がプラズマ生成領域 2 5 に到達したとき
に、第 1 プリパルスレーザ光 3 1 b がターゲット 2 7 に照射されるように設
定する。第 2 遅延時間は、第 1 プリパルスレーザ光 3 1 b の照射後、第 1 所
定時間後に第 2 プリパルスレーザ光 3 1 c が 2 次ターゲットに照射されるよ
うに設定する。さらに、第 3 遅延時間は、第 2 プリパルスレーザ光 3 1 c の
照射後、第 2 所定時間後にメインパルスレーザ光 3 1 a が 3 次ターゲットに
照射されるように設定される。ここで、2 次ターゲットは、例えばミスト状
に広がったターゲットである。ミスト状とは、ターゲット 2 7 が第 1 プリパ
ルスレーザ光 3 1 b で破壊されて、マイクロドロップレットやクラスター等
が拡散した状態と定義する。3 次ターゲットは、例えばマイクロドロップレ
ット等がさらに細かく破壊されて拡散したターゲットである。

[0120] E U V 光生成制御部 5 からの第 1 及び第 2 プリパルスレーザ装置 3 b, 3
c への設定値には、それぞれ、出力される第 1 及び第 2 プリパルスレーザ光
3 1 b、3 1 c のパルスエネルギー又はパルス幅が含まれてもよい。

[0121] E U V 光生成制御部 5 からのメインパルスレーザ装置 3 a への設定値には
、出力されるメインパルスレーザ光 3 1 a のパルスエネルギー、パルス幅又は
パルス波形が含まれてもよい。

[0122] 露光装置から E U V 光を生成する信号を受信すると、E U V 光生成システ
ム 1 1 は、E U V 光生成制御部 5 にターゲット生成信号を送信する。

[0123] E U V 光生成制御部 5 は、ターゲット 2 7 の融点よりも高い温度までター
ゲット供給部 2 6 のヒータ 2 6 3 を加熱して、タンク 2 6 1 内のターゲット
2 7 を融解させる。ターゲット 2 7 が S n の場合、融点が 2 3 2 °C であるた
め、ヒータ 2 6 3 の加熱温度は例えば 2 8 0 °C である。

E U V 光生成制御部 5 は、圧力調節器 2 6 4 を介して、タンク 2 6 1 内の
ターゲット 2 7 が所定の圧力となるように制御する。タンク 2 6 1 内のター
ゲット 2 7 の圧力を制御することにより、ターゲット 2 7 は、所定の速度で

連続的にノズル 262 から出力される。

EUV 光生成制御部 5 は、ノズル 262 に固定された piezo 素子 265 に所定の波形の電気信号を送信する。その結果、EUV チャンバ 2 内では、所定の周波数で連続的にドロップレット状のターゲット 27 が生成される。

[0124] ターゲット 27 がターゲット検出装置 41 の検出位置 PO に到達すると、ターゲット検出装置 41 はターゲット 27 を検出して通過タイミング信号を出力する。通過タイミング信号は、EUV 光生成制御部 5 を経由して遅延回路 51 に入力される。

[0125] 遅延回路 51 は、通過タイミング信号が入力されてから第 1 遅延時間だけ遅延された第 1 発光トリガ信号を出力する。第 1 発光トリガ信号は、第 1 プリパルスレーザ装置 3b に入力される。第 1 プリパルスレーザ光 31b は、第 1 発光トリガ信号によって第 1 プリパルスレーザ装置 3b から所定のパルスエネルギー又はパルス幅で出力される。

遅延回路 51 は、通過タイミング信号が入力されてから第 2 遅延時間だけ遅延された第 2 発光トリガ信号を出力する。第 2 発光トリガ信号は、第 2 プリパルスレーザ装置 3c に入力される。第 2 プリパルスレーザ光 31c は、第 2 発光トリガ信号によって第 2 プリパルスレーザ装置 3c から所定のパルスエネルギー又はパルス幅で出力される。

[0126] 第 1 及び第 2 プリパルスレーザ光 31b, 31c は、ミラー 342 及びダイクロイックミラー 351 を介して、ウインドウ 21 に入力される。第 1 及び第 2 プリパルスレーザ光 31b, 31c は、レーザ集光光学系 22a によって、それぞれ所定の径 D1、D2 でプラズマ生成領域 25 に集光される。

[0127] 遅延回路 51 は、通過タイミング信号が入力されてから第 3 遅延時間だけ遅延された第 3 発光トリガ信号をメインパルスレーザ装置 3a に入力する。メインパルスレーザ光 31a は第 3 発光トリガ信号によって、メインパルスレーザ装置 3a から所定のパルスエネルギー又はパルス幅又はパルス波形で出力される。メインパルスレーザ光 31a は高反射ミラー 341 及び高反射ミラー 352 を介して、ダイクロイックミラー 351 を高透過する。

[0128] メインパルスレーザ光 3 1 a の光路軸は、第 1 プリパルスレーザ光 3 1 b 及び第 2 プリパルスレーザ光 3 1 c の光路軸と略一致する。

メインパルスレーザ光 3 1 a は、ウインドウ 2 1 に入力され、レーザ集光光学系 2 2 a によって、所定の径 D m で集光され、3 次ターゲットに照射される。この時、3 次ターゲットはプラズマ化し、E U V 光を生成する。

[0129] E U V 光検出センサ 4 4 は、E U V 光のパルスエネルギーを検出して E U V 光生成制御部 5 に検出値を出力する。E U V 光生成制御部 5 は、2 個以上の E U V 光検出センサ 4 4 によって検出された検出値を平均処理してもよい。

[0130] ターゲット検出用画像センサ 4 3 は、E U V 光の生成と同期したゲート信号を E U V 光生成制御部 5 より受信し、所定の時間幅でプラズマ生成領域 2 5 を撮像する。ターゲット検出用画像センサ 4 3 は、以下のようにゲート信号のタイミングをずらすことで、ターゲット 2 7、2 次ターゲット、3 次ターゲット、又はプラズマを撮像してもよい。

例えば、E U V 光生成制御部 5 は、撮像されたターゲット 2 7 の画像の画像解析を行い、所定拡散状態のターゲット 2 7 が撮像領域内の所定の位置に配置されるように、撮像の遅延時間、各レーザ装置に入力する発光トリガ信号の遅延時間を調整してもよい。2 次ターゲット画像、3 次ターゲット画像、又はプラズマ画像についても同様の調整を実施してもよい。

[0131] [6 . 3 作用効果]

第 4 実施形態に係る E U V 光生成システム 1 1 は、長時間の稼働が求められる。上記説明した実施形態に係るレーザ装置 3 を E U V 光生成システム 1 1 に適用すれば、E U V 光生成システム 1 1 の稼働時間内にレーザ出力と冷却水温度との関係が変化しても、安定して所望のレーザ出力を得ることができる。レーザ出力の安定性は E U V 光出力の安定性に寄与する。従って、第 4 実施形態に係るレーザ装置 3 を適用した E U V 光生成システム 1 1 は長時間、安定した E U V 光出力を行うことができる。

[0132] [7 . その他]

上記で説明した実施形態は、変形例を含めて各実施形態同士で互いの技術

を適用し得ることは、当業者には明らかであろう。

[0133] レーザ装置 3 は、光検出部 13 がアッテネータ 12 を透過した後のレーザ光 E3 の出力又はレーザ光源部 100 から出力されたレーザ光 E2 を検出していたが、光検出部の位置はこれに限定されない。本開示のレーザ装置 3 は、例えば光検出部を共振ミラー 103 又は 104 とレーザ結晶 102 との間の光路上に設けて共振器内部の光を検出し、共振器内部の光の出力に基づいてチラー 15 の冷却水の基準温度を変更してもよい。また、レーザ装置 3 は、光検出部 13 がレーザ光 E3 の出力を検出していたが、光検出部の検出パラメータはこれに限定されない。本開示のレーザ装置 3 は、例えば光検出部がレーザ光 E3 の波長を検出するようにしてもよい。

[0134] 上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図している。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。

[0135] 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修飾語「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。

符号の説明

- [0136] 1 : E U V 光生成装置
2 : E U V チャンバ
3 : レーザ装置
3 a : メインパルスレーザ装置
3 b : 第 1 プリパルスレーザ装置
3 c : 第 2 プリパルスレーザ装置
5 : E U V 光生成制御部

- 1 0 : 制御部
- 1 1 : E U V 光生成システム
- 1 2 : アッテネータ
- 1 3 : 光検出部
- 1 4 : ヒートシンク
- 1 5 : チラー
- 1 6 : 冷却水配管
- 1 7 : レーザダイオード
- 1 8 : 光増幅器
- 1 9 : ヒートシンク
- 2 0 : 制御部
- 2 1 : ウインドウ
- 2 2 a : レーザ集光光学系
- 2 3 : E U V 光集光ミラー
- 2 5 : プラズマ生成領域
- 2 6 : ターゲット供給部
- 2 7 : ターゲット
- 3 0 : 制御部
- 3 1 a : メインパルスレーザ光
- 3 1 b : 第 1 プリパルスレーザ光
- 3 1 c : 第 2 プリパルスレーザ光
- 3 5 : ビームコンバイナ
- 4 1 : ターゲット検出装置
- 4 3 : ターゲット検出用画像センサ
- 4 4 : E U V 光検出センサ
- 5 1 : 遅延回路
- 1 0 0 : レーザ光源部
- 1 0 1 : レーザダイオード

1 0 2	: レーザ結晶
1 0 3	: 共振ミラー
1 0 4	: 共振ミラー
1 0 5	: 可飽和吸収体
1 0 6	: 光スイッチ
2 0 0	: レーザ増幅部
2 2 1	: ステージ
2 2 2	: 軸外放物面ミラー
2 2 3	: 平面ミラー
2 6 1	: タンク
2 6 2	: ノズル
2 6 3	: ヒータ
2 6 4	: 圧力調節器
2 6 5	: ピエゾ素子
3 4 1	: 高反射ミラー
3 4 2	: ミラー
3 4 3	: 高反射ミラー
3 5 1	: ダイクロイックミラー
3 5 2	: 高反射ミラー

請求の範囲

- [請求項1] 励起光を出力する光源と、
前記励起光により内部のレーザ媒質が励起されてレーザ光を出力する光共振器と、
前記光源の温度を基準温度に調節する温度調節部と、
前記レーザ光の出力を検出する光検出部と、
検出された前記レーザ光の出力に基づいて前記基準温度を変更する制御部と、を備える
レーザ装置。
- [請求項2] 前記制御部は、前記光源の温度と前記レーザ光の出力との関係に基づいて、前記基準温度を変更する、
請求項1記載のレーザ装置。
- [請求項3] 前記制御部は、前記光源の温度と前記レーザ光の出力との関係に基づいて、前記レーザ光の出力が最大出力となるように前記基準温度を変更する、
請求項2記載のレーザ装置。
- [請求項4] 前記制御部は、検出された前記レーザ光の出力が基準出力以下である場合に前記基準温度を変更する、
請求項2記載のレーザ装置。
- [請求項5] 前記レーザ光を透過させて前記レーザ光の出力を制限するアッテネータを備える、
請求項4記載のレーザ装置。
- [請求項6] 前記光検出部は、前記アッテネータを透過後の前記レーザ光の出力を検出し、
前記制御部は、検出された前記レーザ光の出力と前記アッテネータにおけるレーザ光の透過率とに基づいて前記光共振器から出力された前記レーザ光の出力を計算する、
請求項5記載のレーザ装置。

- [請求項7] 前記制御部は、検出された前記レーザ光の出力が前記基準出力よりも高い第2基準出力以下である場合に前記アッテネータにおける前記レーザ光の透過率を変更する、
請求項6記載のレーザ装置。
- [請求項8] 前記アッテネータは、印加される電圧により前記レーザ光の透過率を変更され、
前記制御部は、前記アッテネータに印加される前記電圧を制御する、
請求項7記載のレーザ装置。
- [請求項9] 前記制御部は、前記アッテネータに印加される前記電圧を基準電圧と比較した結果に基づいて前記基準温度を変更する、
請求項8記載のレーザ装置。
- [請求項10] 前記制御部は、検出された前記レーザ光の出力が前記基準出力よりも高い第3基準出力以下である場合に前記光源に流れる電流を制御することにより前記レーザ光の出力を制御する、
請求項4記載のレーザ装置。
- [請求項11] 前記制御部は、前記光源に流れる電流が基準電流以上である場合に前記基準温度を変更する、
請求項10記載のレーザ装置。
- [請求項12] 前記温度調節部は、前記光源と熱媒体との間で熱交換を行う熱交換器であって、前記熱媒体の温度を前記光源の温度として前記基準温度に調節する、
請求項1記載のレーザ装置。
- [請求項13] 前記レーザ光の光路上に配置されて前記レーザ光を増幅するレーザ増幅部を備え、
前記レーザ増幅部は、励起光を発する光源と、前記励起光により内部のレーザ媒質が励起されて前記レーザ光を増幅する光増幅器と、を備え、

前記温度調節部は、前記光増幅器の光源の温度を前記基準温度に調節する、

請求項 1 記載のレーザ装置。

[請求項14]

ターゲットにレーザ光を照射することによって極端紫外光を生成する極端紫外光生成システムであって、

前記レーザ光を出力するレーザ装置と、

前記レーザ光が入射して前記極端紫外光が生成されるチャンバと、
を備え、

前記レーザ装置は、

励起光を出力する光源と、

前記励起光により内部のレーザ媒質が励起されて前記レーザ光を出力する光共振器と、

前記光源の温度を基準温度に調節する温度調節部と、

前記レーザ光の出力を検出する光検出部と、

検出された前記レーザ光の出力に基づいて前記基準温度を変更する制御部と、

を備える、

極端紫外光生成システム。

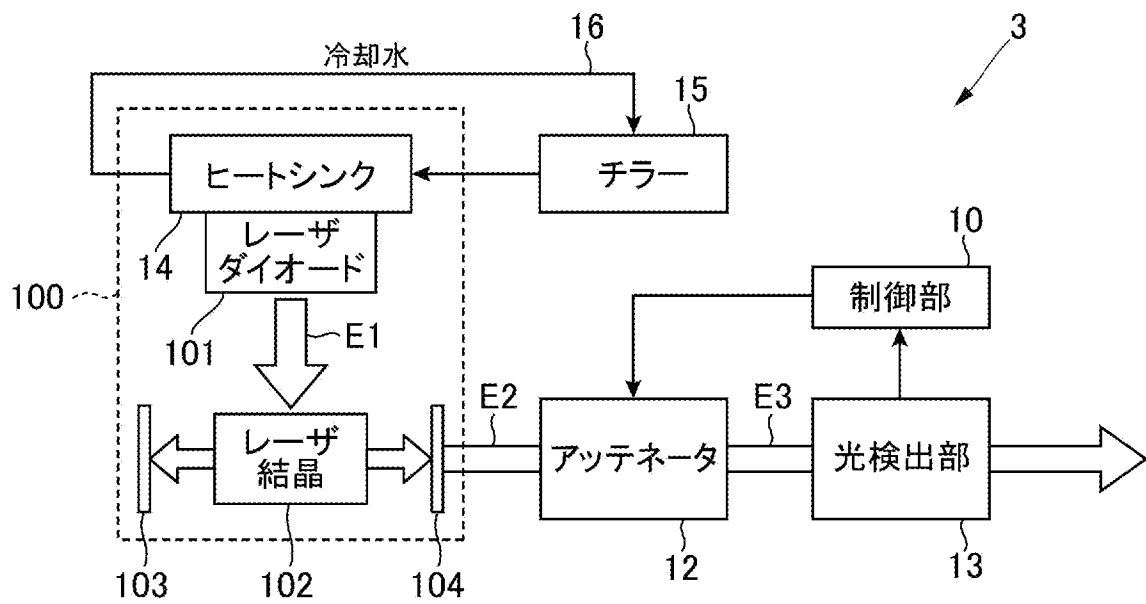
[請求項15]

前記チャンバ内に前記ターゲットを供給するターゲット供給部を備え、

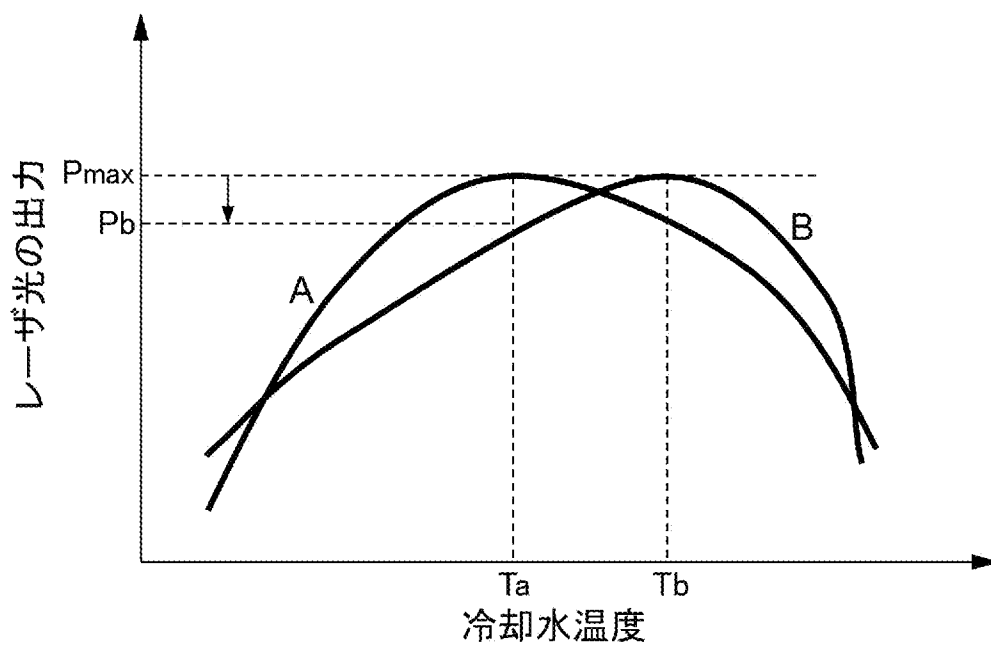
前記レーザ装置は、メインパルスレーザ光が照射される前の前記ターゲットにプリパルスレーザ光として前記レーザ光を照射する、

請求項 1 4 記載の極端紫外光生成システム。

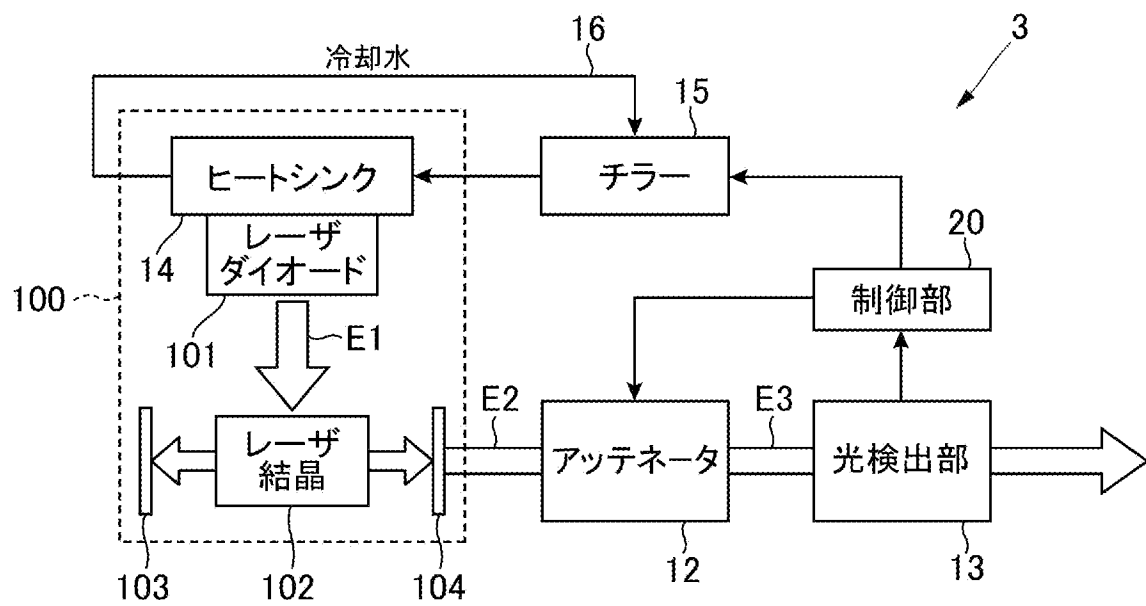
[図1]



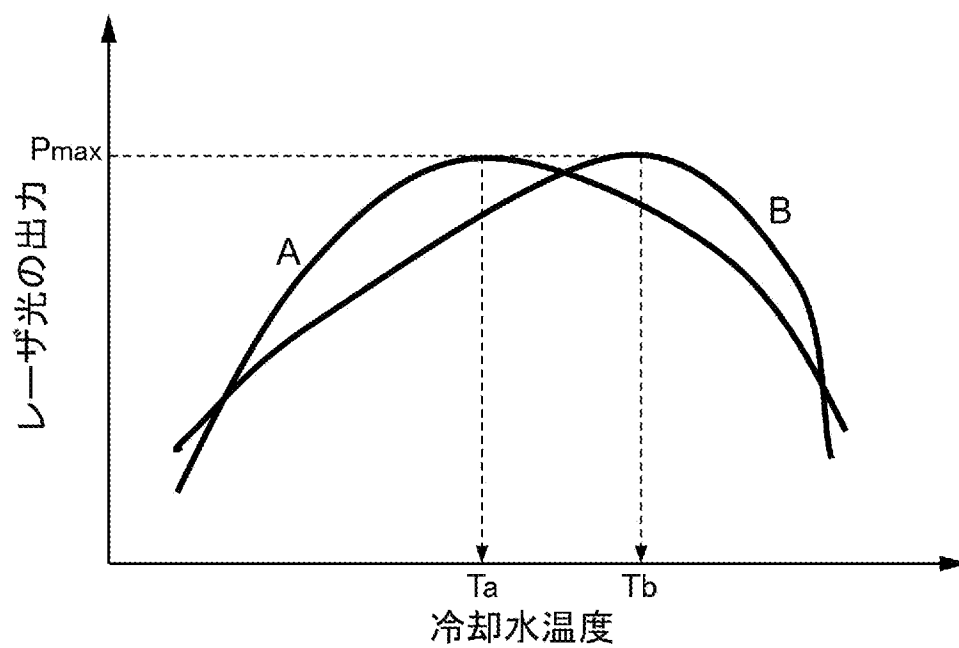
[図2]



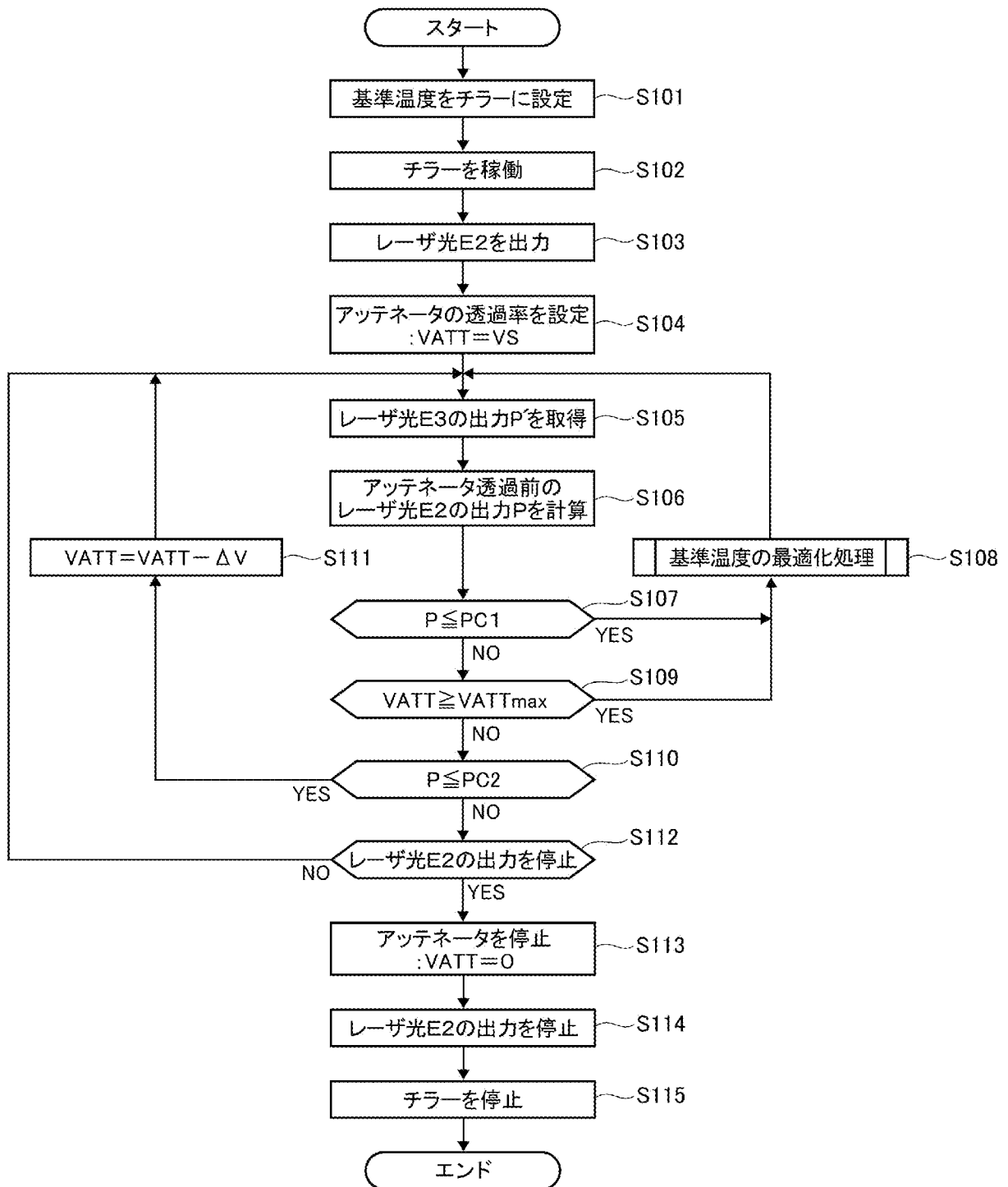
[図3]



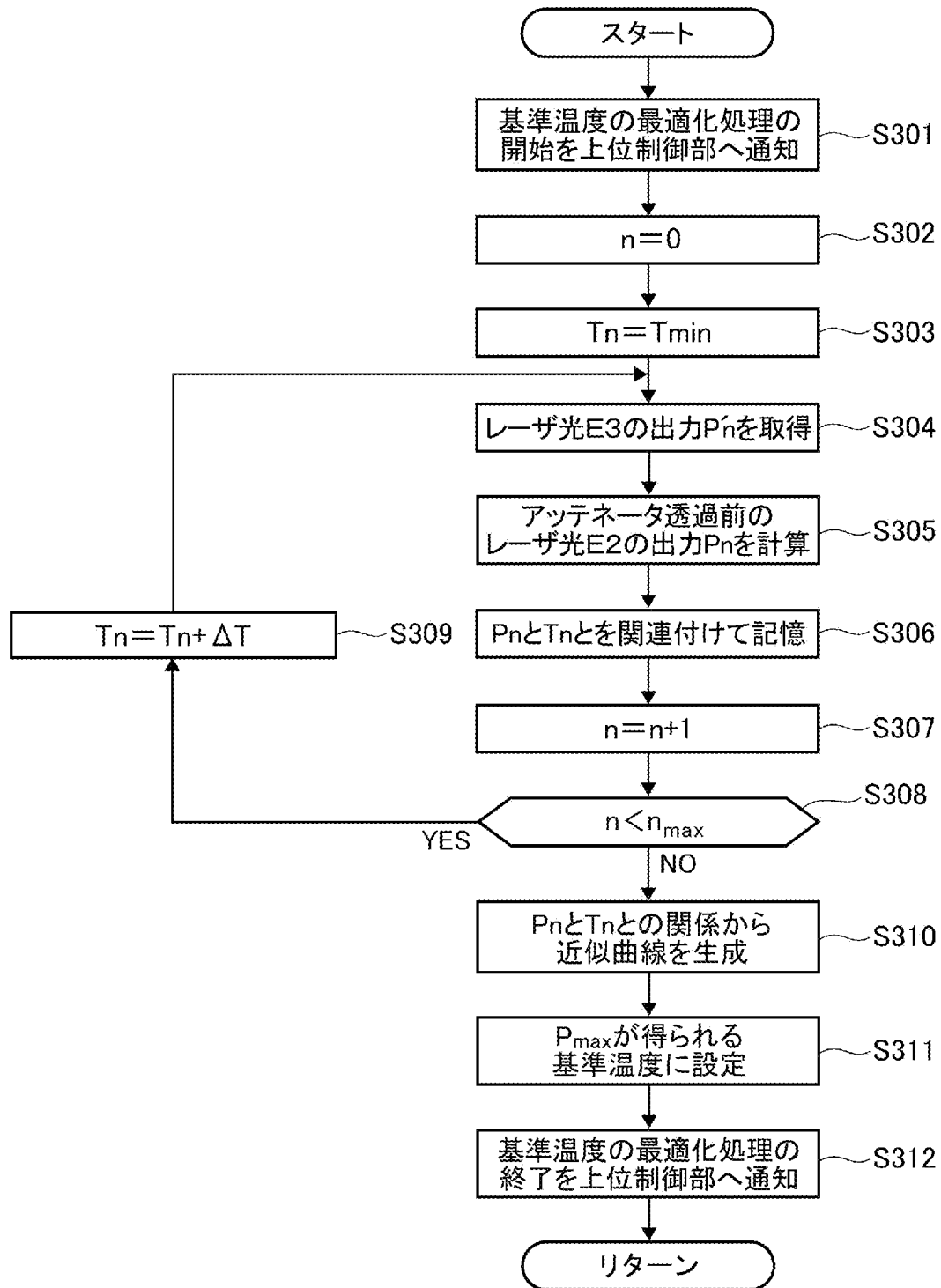
[図4]



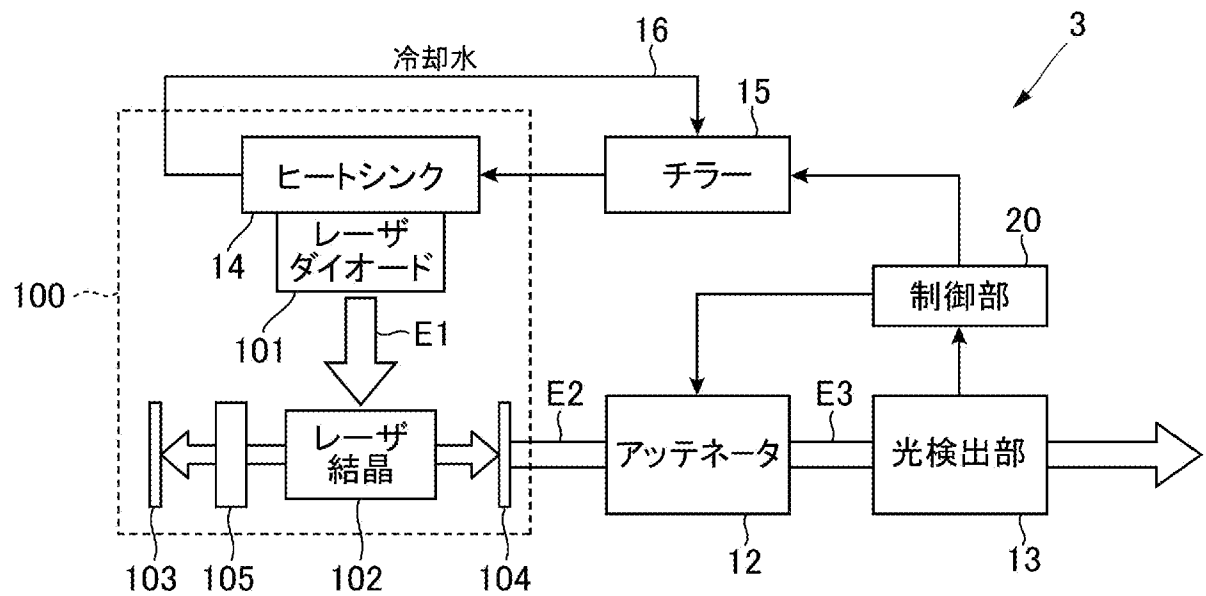
[図5]



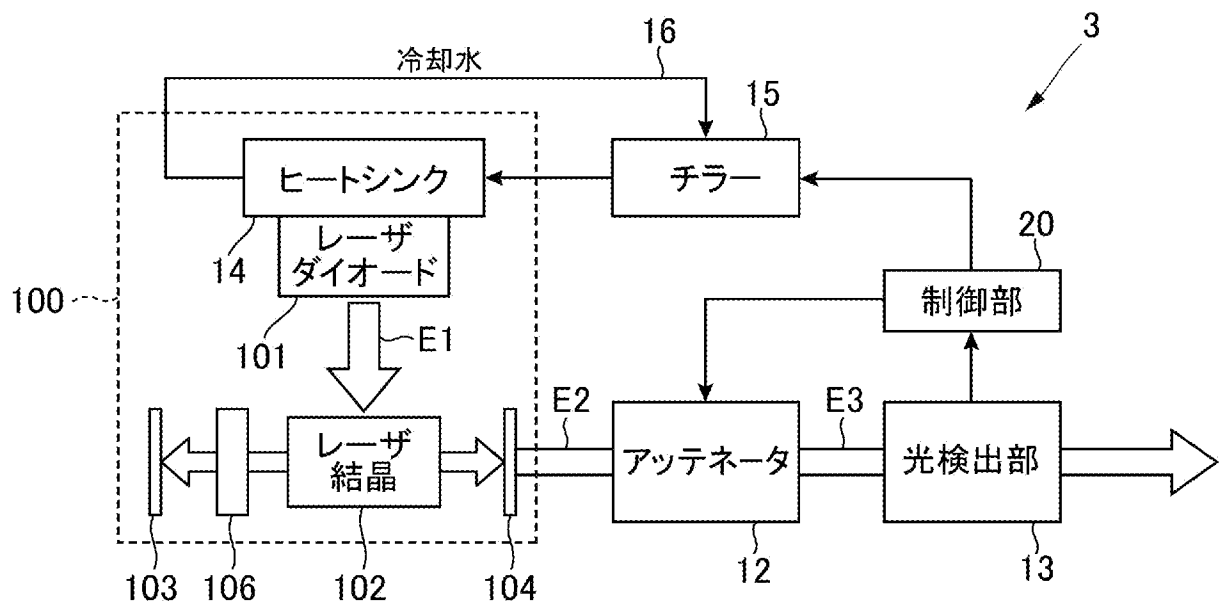
[図6]

基準温度の最適化処理

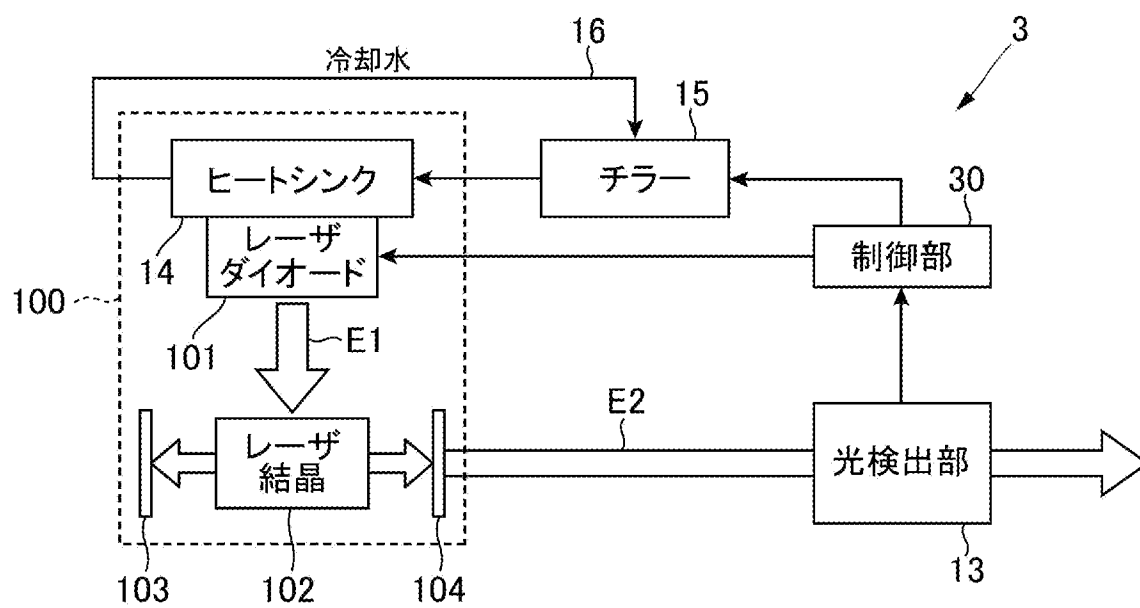
[図7]



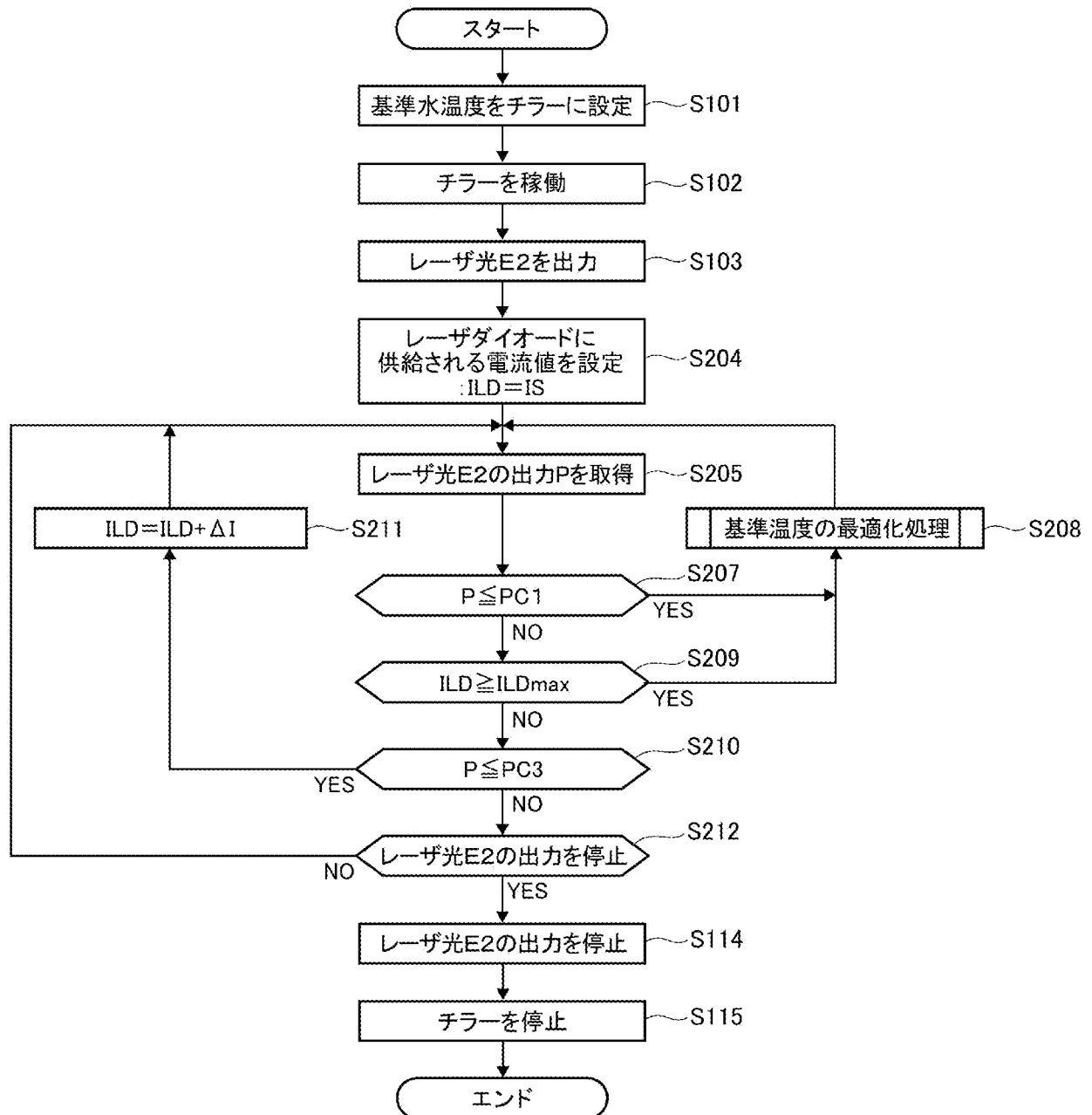
[図8]



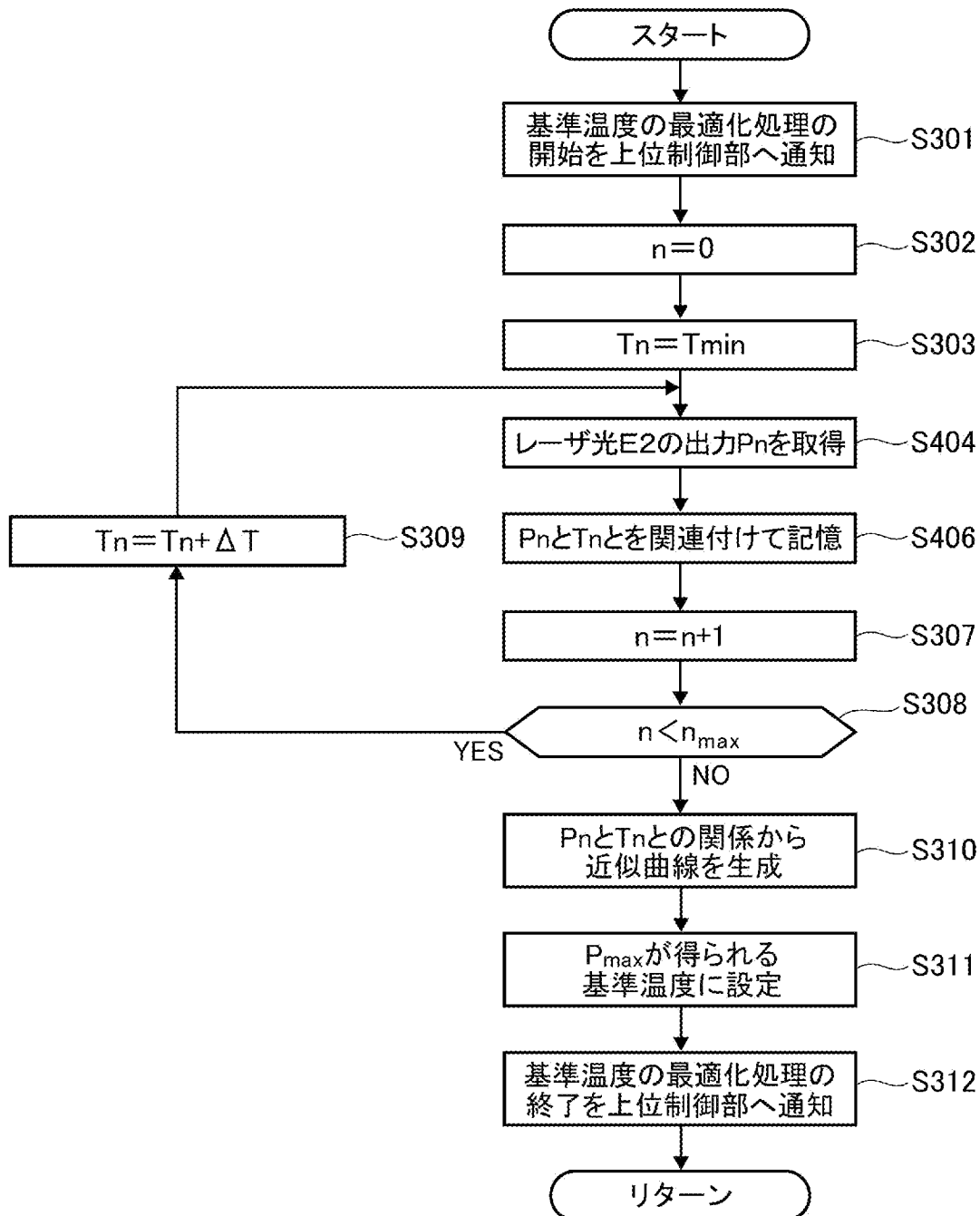
[図9]



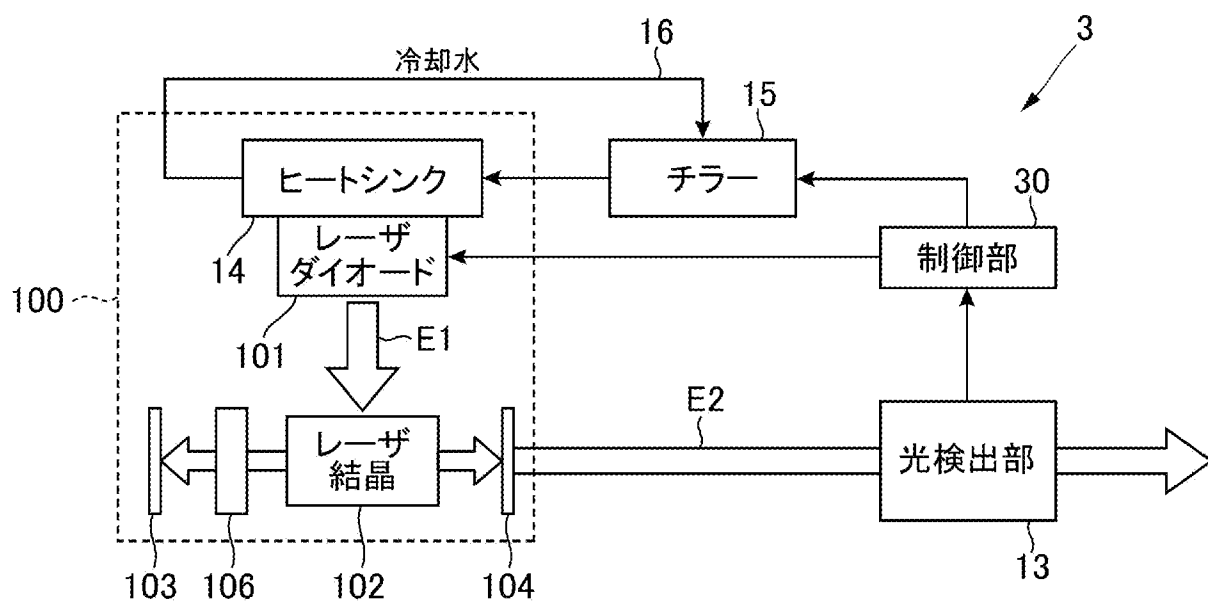
[図10]



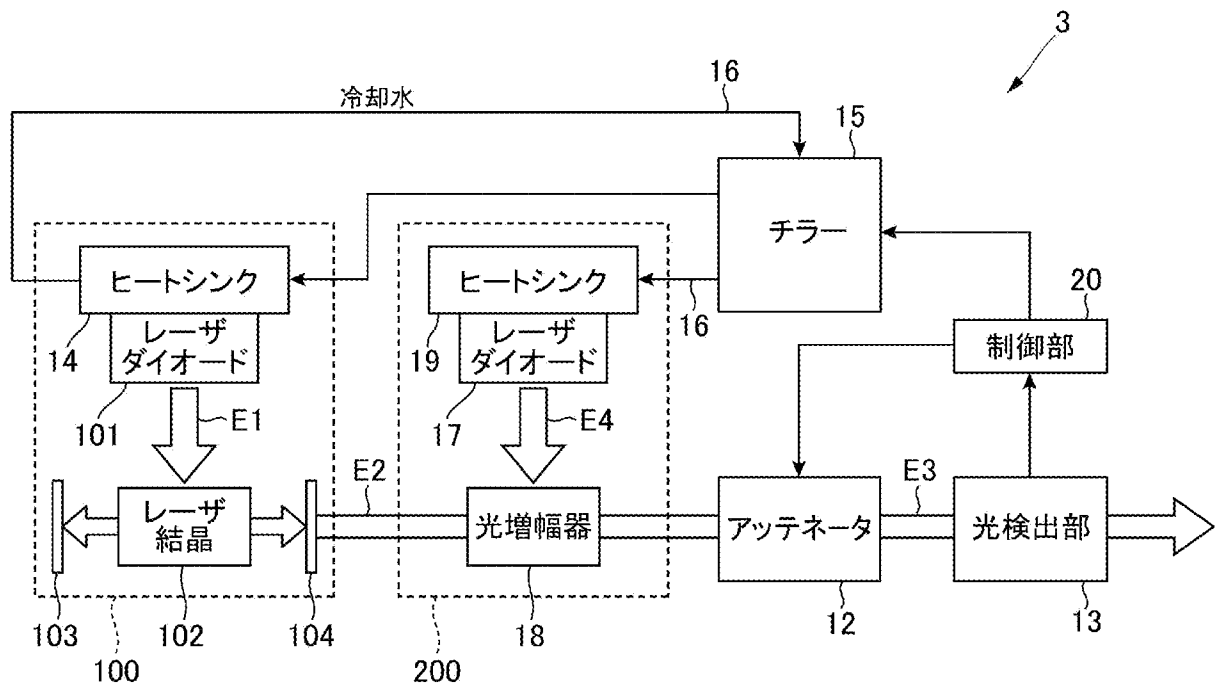
[図11]

基準温度の最適化処理

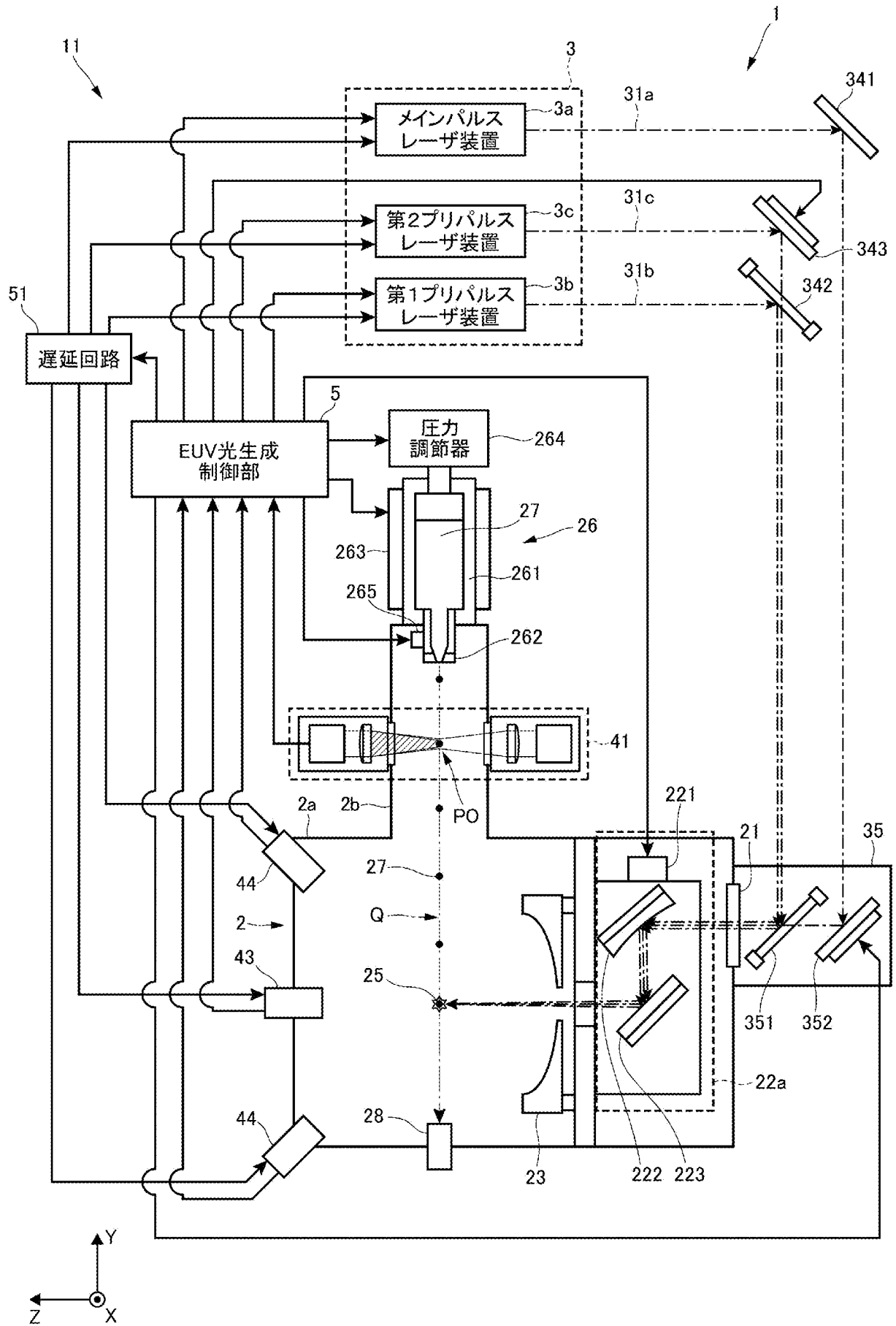
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/060214

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/131(2006.01)i, H01S3/0941(2006.01)i, H01S3/227(2006.01)i, H01S5/068(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)

H01S3/00-3/30, H01S5/00-5/50

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 20032/1988 (Laid-open No. 125567/1989) (NEC Corp.), 28 August 1989 (28.08.1989), page 3, line 14 to page 6, line 10; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-4 5-15
Y	JP 2013-30672 A (Mitsutoyo Corp.), 07 February 2013 (07.02.2013), paragraphs [0029] to [0052]; fig. 1 to 7 (Family: none)	5-9



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
07 June 2016 (07.06.16)

Date of mailing of the international search report
21 June 2016 (21.06.16)

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/060214

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 2016-15599 A (Canon Inc.), 28 January 2016 (28.01.2016), paragraph [0019] (Family: none)	8-9
Y	JP 2001-94184 A (Shibaura Mechatronics Co., Ltd.), 06 April 2001 (06.04.2001), paragraphs [0011] to [0031]; fig. 1 to 3 (Family: none)	10-11
Y	JP 2002-198592 A (Shibaura Mechatronics Co., Ltd., Toshiba Corp.), 12 July 2002 (12.07.2002), paragraphs [0018] to [0024]; fig. 1 to 2 (Family: none)	12
Y	JP 10-294513 A (Toshiba Corp.), 04 November 1998 (04.11.1998), paragraphs [0190] to [0199]; fig. 19 (Family: none)	13
Y	WO 2015/118687 A1 (Gigaphoton Inc.), 13 August 2015 (13.08.2015), paragraphs [0013] to [0024], [0135] to [0139], [0149] to [0160]; fig. 1, 16, 18 (Family: none)	14-15
A	US 2006/0056470 A1 (LIU et al.), 16 March 2006 (16.03.2006), paragraphs [0016] to [0017]; fig. 1 & WO 2006/033909 A2	1-15

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01S3/131(2006.01)i, H01S3/0941(2006.01)i, H01S3/227(2006.01)i, H01S5/068(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. H01S3/00-3/30, H01S5/00-5/50

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

国際調査で利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	日本国実用新案登録出願 63-20032 号(日本国実用新案登録出願公開 1-125567 号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム（日本電気株式会社）	1-4
Y	1989.08.28, 第3ページ第14行-第6ページ第10行, 第1図-第2図（ファミリーなし）	5-15
Y	JP 2013-30672 A（株式会社ミットヨ） 2013.02.07, 段落[0029]-[0052], 図 1-7（ファミリーなし）	5-9

☒ 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

0 7 . 0 6 . 2 0 1 6

国際調査報告の発送日

2 1 . 0 6 . 2 0 1 6

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）

百瀬 正之

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

2 K

4 0 8 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*	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 2016-15599 A (キヤノン株式会社) 2016.01.28, 段落[0019] (ファミリーなし)	8-9
Y	JP 2001-94184 A (芝浦メカトロニクス株式会社) 2001.04.06, 段落[0011]-[0031], 図 1-3 (ファミリーなし)	10-11
Y	JP 2002-198592 A (芝浦メカトロニクス株式会社, 株式会社東芝) 2002.07.12, 段落[0018]-[0024], 図 1-2 (ファミリーなし)	12
Y	JP 10-294513 A (株式会社東芝) 1998.11.04, 段落[0190]-[0199], 図 19 (ファミリーなし)	13
Y	WO 2015/118687 A1 (ギガフォトン株式会社) 2015.08.13, 段落[0013]-[0024], [0135]-[0139], [0149]-[0160], 図 1, 16, 18 (ファミリーなし)	14-15
A	US 2006/0056470 A1 (LIU et al.) 2006.03.16, 段落[0016]-[0017], FIG. 1 & WO 2006/033909 A2	1-15