(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 12 月 4 日(04.12.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/192704 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 3/137 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2014/063881

(22) 国際出願日: 2014 年 5 月 26 日(26.05.2014)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2013-111186 2013 年 5 月 27 日(27.05.2013) JP

(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: 松永 隆(MATSUNAGA, 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). 熊▲崎▼貴仁(KUMAZAKI, Takahito); 〒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). 石田 啓介(ISHIDA, Keisuke); 〒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). 若林 理(WAKABAYASHI, Osamu); 〒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).

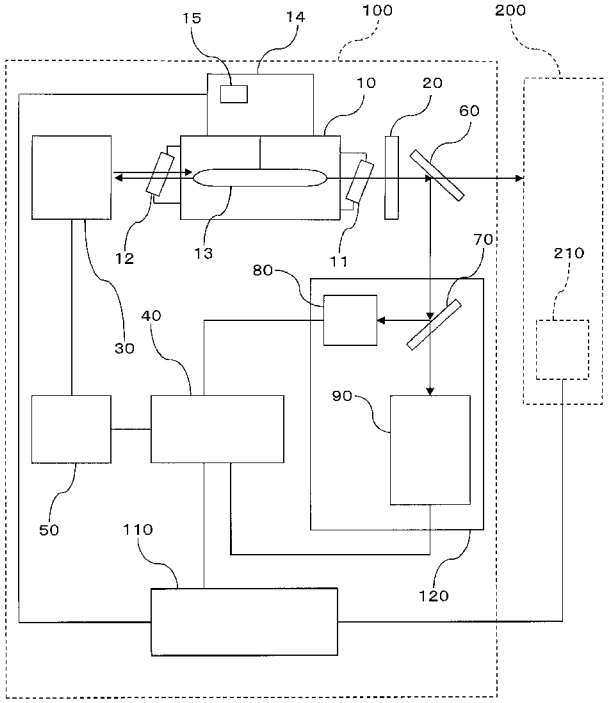
(74) 代理人: 酒井 宏明(SAKAI, Hiroaki); 〒1006020 東京都千代田区霞が関三丁目２番５号 霞が関ビルディング 酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).

(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, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) **Title**: LASER DEVICE AND METHOD FOR CONTROLLING ACTUATOR

(54) 発明の名称 : レーザ装置及びアクチュエータを制御する方法



(57) **Abstract**: A laser device (100) may include: laser resonators (20, 30) configured so as to output a pulse laser beam (L); actuators (35, 36, 37) configured so as to change the wavelength of the pulse laser beam; and a control unit (110) configured so as to receive target wavelength data for a plurality of pulses of the pulse laser beam prior to the pulse laser being being outputted, and to control the actuators, on the basis of the target wavelength data for the plurality of pulses, such that the wavelength of the pulse laser beam approaches the target wavelength data .

(57) 要約: レーザ装置（１００）は、パルスレーザ光（Ｌ）を出力するように構成されたレーザ共振器（２０，３０）と、前記パルスレーザ光の波長を変化させるように構成されたアクチュエータ（３５，３６，３７）と、前記パルスレーザ光を出力する前に前記パルスレーザ光の複数のパルスについての目標波長のデータを受信すると共に前記複数のパルスについての前記目標波長のデータに基づいて前記パルスレーザ光の波長が前記目標波長のデータに近づくように前記アクチュエータを制御するように構成された制御部（１１０）とを含むものであってもよい。

WO 2014/192704 A1

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： レーザ装置及びアクチュエータを制御する方法

技術分野

[0001] 本開示は、レーザ装置及びアクチュエータを制御する方法に関する。

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ならびに、波長１９３ｎｍ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：特許第２６１９４７３号公報

特許文献2：特許第３１０２０２５号公報

特許文献3：特許第３８５７５３２号公報

特許文献4：米国特許第６６２１８４６号公報

特許文献5：特許第４６８３７７８号公報

特許文献6：特開２００１－２７４４９６号公報

特許文献7：米国特許第６５２９５３１号公報

概要

[0006] レーザ装置（１００）は、パルスレーザ光（Ｌ）を出力するように構成されたレーザ共振器（２０，３０）と、前記パルスレーザ光の波長を変化させるように構成されたアクチュエータ（３５，３６，３７）と、前記パルスレーザ光を出力する前に前記パルスレーザ光の複数のパルスについての目標波長のデータを受信すると共に前記複数のパルスについての前記目標波長のデータに基づいて前記パルスレーザ光の波長が前記目標波長のデータに近づくように前記アクチュエータを制御するように構成された制御部（１１０）とを含むものであってもよい。

[0007] パルスレーザ光（Ｌ）の波長を変化させるように構成されたアクチュエータ（３５，３６，３７）を制御する方法は、前記アクチュエータの応答時間に依存して、前記パルスレーザ光の目標波長を変化させる時刻よりも少なくとも前記応答時間分先に、前記パルスレーザ光の波長を変化させることを含むものであってもよい。

図面の簡単な説明

[0008] 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、本開示の実施形態に係るレーザ装置の構成の概略を例示する図である。

[図2]図２は、本開示の実施形態に係るレーザ装置の動作の概略を例示する図である。

[図3]図３は、本開示の実施形態に係るレーザ装置の構成を例示する図である。

[図4]図４は、本開示の実施形態に係るレーザ装置における狭帯域化モジュールの構成を例示する図である。

[図5]図５は、本開示の実施形態に係るレーザ装置における分光器の構成を例示する図である。

[図6]図６は、本開示の実施形態に係るレーザ装置における制御部の構成を例示する図である。

[図7]図７は、本開示の実施形態に係るレーザ装置に関する関連技術の課題を例示する図である。

[図8]図８は、本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法の概略を例示する図である。

[図9]図９は、本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法のフローチャートを例示する図である。

[図10]図１０は、本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法におけるパルスレーザ光の目標波長のデータを例示する図である。

[図11]図１１は、本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法における目標波長のデータを記憶部に書き込むサブルーチンを例示する図である。

[図12]図１２は、本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法における波長制御サブルーチンの第一の例を例示する図である。

[図13]図１３は、本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法における波長制御サブルーチンの第二の例を例示する図である。

[図14]図１４は、本開示の第二の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法の概略を例示する図である。

[図15]図１５は、本開示の第二の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法のフローチャートを例示する図である。

[図16]図１６は、本開示の第二の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法における遅れパルス数を計算すると共に記憶部に書き込むサブルーチンを例示する図である。

[図17]図１７は、本開示の第三の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法における露光装置制御部用のフローチャートを例示する図である。

[図18]図１８は、本開示の第三の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法における波長制御部用のフローチャートを例示する図である。

実施形態

[0009] 内容

１．本開示の実施形態に係るレーザ装置

１．１ 本開示の実施形態に係るレーザ装置の概略

１．２ 本開示の実施形態に係るレーザ装置の構成例

１．３ 本開示の実施形態に係るレーザ装置の動作例

２．本開示の実施形態に係るレーザ装置に関する関連技術の課題

３．本開示の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法

３．１ 本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法

３．２ 本開示の第二の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法

３．３ 本開示の第三の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法

[0010] 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。

[0011] １．本開示の実施形態に係るレーザ装置

１．１　本開示の実施形態に係るレーザ装置の概略

図１は、本開示の実施形態に係るレーザ装置の構成の概略を例示する図である。

[0012] レーザ装置１００は、パルスレーザ光Ｌを放出するように構成されてもよい。レーザ装置１００は、レーザ制御部１１０を含んでもよい。レーザ装置１００は、露光装置２００と共に使用される露光装置用レーザ装置であってもよい。

[0013] 露光装置２００は、半導体露光装置であってもよい。露光装置２００は、レーザ装置１００から放出されるパルスレーザ光Ｌで露光装置２００に設けられたウェハを露光するように構成されてもよい。露光装置２００は、露光装置制御部２１０を含んでもよい。レーザ制御部１１０は、ラインを介して露光装置制御部２１０と接続されてもよい。露光装置制御部２１０は、演算処理を行う演算処理装置、データを記憶する記憶装置、時間を計測するタイマを含んでもよい。

[0014] レーザ制御部１１０は、露光装置制御部２１０から発光トリガ信号Ｓｔｒと目標波長λｔｘを受信してもよい。

[0015] レーザ制御部１１０は、レーザ装置１００から放出されるパルスレーザ光Ｌの波長が目標波長λｔｘとなるように、レーザ装置１００を制御してもよい。

[0016] レーザ制御部１１０は、レーザ装置１００が発光トリガ信号Ｓｔｒに同期して目標波長λｔｘと同一の又はそれに近い波長のパルスレーザ光Ｌを放出するように、レーザ装置１００を制御してもよい。

[0017] 図２は、本開示の実施形態に係るレーザ装置の動作の概略を例示する図である。

[0018] 図２に例示するように、図１に例示するレーザ装置１００は、図１に例示する露光装置２００を介して、露光装置２００に設けられたウェハ３００をパルスレーザ光で露光してもよい。レーザ装置１００は、例えば、ウェハ３

００に設定された複数の矩形領域３１０毎にウェハ３００をパルスレーザ光で露光してもよい。レーザ装置１００は、例えば、図２の矢印付きの線で示すように、ウェハ３００における複数の矩形領域３１０をパルスレーザ光で順次スキャンしてもよい。レーザ装置１００は、一枚のウェハ３００をレーザ光で露光した後、次のウェハ３００をレーザ光で露光してもよい。

[0019] 図２に例示するように、一枚のウェハ３００をレーザ光で露光するとき、所定の繰り返し周波数（例えば、６ｋＨｚ）と所定の数（例えば、数百個）のパルスのパルスレーザ光で各々の矩形領域３１０を露光してもよい。一つの矩形領域３１０についての露光と次の矩形領域３１０についての露光との間に、所定の時間間隔（例えば、０．１秒～０．２秒以上）でパルスレーザ光での露光を休止してもよい。所定の時間間隔でパルスレーザ光での露光を休止すると共に所定の繰り返し周波数と所定の数のパルスでパルスレーザ光での露光を実行することをバーストモード運転と呼んでもよい。レーザ装置１００がバーストモード運転するとき、図２に例示されるように、先頭パルスから最終パルスまでのパルスレーザ光での露光をバーストと呼んでもよい。

[0020] 露光装置２００に含まれる露光装置制御部２１０は、レーザ装置１００がバーストモード運転を実行するように、発光トリガ信号Ｓｔｒをレーザ装置１００に含まれるレーザ制御部１１０へ送信してもよい。それによって、レーザ装置１００は、バーストモード運転を実行することができる。

[0021] １．２ 本開示の実施形態に係るレーザ装置の構成例

図３は、本開示の実施形態に係るレーザ装置の構成例を例示する図である。図３における矢印無しの直線は、要素の電気的な接続を表す。図３における矢印付きの直線は、レーザ光の進行方向を表す。

[0022] 図３に例示されたレーザ装置は、レーザ光の波長を制御することが可能な狭帯域化レーザ装置１００であってもよい。狭帯域化レーザ装置１００は、外部装置と共に使用されるレーザ装置であってもよい。外部装置は、露光装置２００であってもよい。露光装置２００は、露光装置制御部２１０を含ん

でもよい。

[0023] 狭帯域化レーザ装置１００は、エキシマレーザ装置であってもよい。エキシマレーザ装置は、フッ化アルゴン（ＡｒＦ）エキシマレーザ装置又はフッ化クリプトン（ＫｒＦ）エキシマレーザ装置であってもよい。狭帯域化レーザ装置１００は、波長可変な紫外線固体レーザ装置であってもよい。波長可変な紫外線固体レーザ装置は、例えば、チタン－サファイアレーザと非線形結晶を組合せた固体レーザ装置であってもよい。

[0024] 狭帯域化レーザ装置１００は、シングルステージの狭帯域紫外線レーザであってもよい。狭帯域化レーザ装置１００は、ダブルステージレーザシステムに搭載されてもよい。例えば、狭帯域化レーザ装置１００をマスターオシレータ（Ｍａｓｔｅｒ Ｏｃｉｌｌａｔｏｒ（ＭＯ））としてレーザ光を増幅するパワー増幅器（Ｐｏｗｅｒ Ａｍｐｌｉｆｉｅｒ（ＰＡ））に搭載してもよい。例えば、狭帯域化レーザ装置１００をマスターオシレータ（Ｍａｓｔｅｒ Ｏｃｉｌｌａｔｏｒ（ＭＯ））としてパワーオシレータ（Ｐｏｗｅｒ Ｏｓｃｉｌｌａｔｅｒ（ＰＯ））に搭載してもよい。

[0025] 狭帯域化レーザ装置１００は、レーザ制御部１１０を含むものであってもよい。狭帯域化レーザ装置１００は、レーザチャンバ１０と、出力結合ミラー２０と、狭帯域化モジュール（Ｌｉｎｅ Ｎａｒｒｏｗｉｎｇ Ｍｏｄｕｌｅ（ＬＮＭ））３０と、波長制御部４０と、ドライバ５０を含んでもよい。狭帯域化レーザ装置１００は、第一のビームスプリッタ６０と、波長計測部１２０を含んでもよい。出力結合ミラー２０と狭帯域化モジュール３０は、レーザ光を出力するように構成された、狭帯域化レーザ装置１００のレーザ共振器を構成してもよい。

[0026] レーザチャンバ１０は、レーザ共振器の光路上に設けられてもよい。レーザチャンバ１０は、第一のウィンドウ１１と、第二のウィンドウ１２と、一対の電極１３と、電源１４とを含んでもよい。

[0027] レーザチャンバ１０は、レーザ媒質を含んでもよい。狭帯域化レーザ装置１００が、ＡｒＦエキシマレーザ装置である場合には、レーザ媒質は、アル

ゴン（Ａｒ）ガスと、フッ素（F_2）ガスと、ネオン（Ｎｅ）ガスを含む混合ガスであってもよい。狭帯域化レーザ装置１００が、ＫｒＦエキシマレーザ装置である場合には、レーザ媒質は、クリプトン（Ｋｒ）ガスと、フッ素（F_2）ガスと、ネオン（Ｎｅ）ガスを含む混合ガスであってもよい。

[0028] 第一のウィンドウ１１と第二のウィンドウ１２は、レーザ光を通過させるように設けられてもよい。

[0029] 一対の電極１３は、レーザチャンバ１０内において図３の紙面に対して垂直な方向に対向するように設けられてもよい。一対の電極１３は、電極１３の長手方向がレーザ共振器の光路の方向と一致するように設けられていてもよい。

[0030] 電源１４は、一対の電極１３と接続されていてもよい。電源１４は、電源スイッチ１５を含んでもよい。電源スイッチ１５は、レーザ制御部１１０の出力に応じて、電源１４をオンする又はオフするように構成されてもよい。電源１４は、電源スイッチ１５がオンになるとき、一対の電極１３に電圧を印加するように構成されてもよい。

[0031] 出力結合ミラー２０は、レーザ光の一部を反射させると共にレーザ光の別の一部を透過させる膜がコートされていてもよい。

[0032] 狭帯域化モジュール３０は、レーザ光の波長の幅（スペクトル幅）を狭帯域化するように構成されてもよい。

[0033] 第一のビームスプリッタ６０は、出力結合ミラー２０から出力されるレーザ光の光路上に設けられてもよい。第一のビームスプリッタ６０は、出力結合ミラー２０から出力されたレーザ光の一部を露光装置２００へ透過させるように設けられてもよい。第一のビームスプリッタ６０は、レーザ光の別の一部を波長計測部１２０に向かって反射させるように、設けられてもよい。

[0034] 波長計測部１２０は、パルスレーザ光の波長を計測するように構成されてもよい。波長計測部１２０は、第二のビームスプリッタ７０、光センサ８０と、分光器９０を含んでもよい。

[0035] 第二のビームスプリッタ７０は、第一のビームスプリッタ６０によって反

射されたレーザ光の光路上に設けられてもよい。第二のビームスプリッタ７０は、第一のビームスプリッタ６０によって反射されたレーザ光の一部を分光器９０へ透過させるように設けられてもよい。第二のビームスプリッタ７０は、第一のビームスプリッタ６０によって反射されたレーザ光の別の一部を光センサ８０に向かって反射させるように、設けられてもよい。

[0036] 光センサ８０は、第二のビームスプリッタ７０から反射されたレーザ光を検出するように設けられてもよい。光センサ８０の出力は、波長制御部４０へ送信されてもよい。光センサ８０は、波長制御部４０に接続されてもよい。

[0037] 分光器９０は、第二のビームスプリッタ７０を透過したレーザ光を受光するように設けられてもよい。分光器９０は、レーザ光の波長を計測するように構成されてもよい。分光器９０は、レーザパルス毎にレーザ光の波長を計測することが可能なものであってもよい。分光器９０の出力は、波長制御部４０へ送信されてもよい。分光器９０は、波長制御部４０に接続されてもよい。

[0038] 波長制御部４０は、波長計測部１２０に含まれる光センサ８０の出力を受信するように構成されてもよい。波長制御部４０は、波長計測部１２０に含まれる光センサ８０と接続されてもよい。波長制御部４０は、波長計測部１２０に含まれる分光器９０の出力を受信するように構成されてもよい。波長制御部４０は、波長計測部１２０に含まれる分光器９０と接続されてもよい。波長制御部４０は、レーザ制御部１１０の出力を受信すると共に波長制御部４０の出力をレーザ制御部１１０へ送信するように構成されてもよい。波長制御部４０は、レーザ制御部１１０と接続されてもよい。波長制御部４０は、波長制御部４０の出力をドライバ５０へ送信するように構成されてもよい。波長制御部４０は、ドライバ５０と接続されてもよい。波長制御部４０は、演算処理を実行する演算処理部を含んでもよい。波長制御部４０は、演算処理部によって実行された演算処理の結果を記憶する記憶部を含んでもよい。波長制御部４０は、時間を計測するタイマを含んでもよい。

[0039] レーザ制御部１１０は、露光装置２００に含まれる露光装置制御部２１０の出力を受信するように構成されてもよい。レーザ制御部１１０は、露光装置２００に含まれる露光装置制御部２１０に接続されてもよい。レーザ制御部１１０は、波長制御部４０の出力を受信すると共にレーザ制御部１１０の出力を波長制御部４０へ送信するように構成されてもよい。レーザ制御部１１０は、電源１４へレーザ制御部１１０の出力を送信するように構成されてもよい。レーザ制御部１１０は、電源１４に接続されてもよい。

[0040] ドライバ５０は、狭帯域化モジュール３０を制御するように構成されてもよい。ドライバ５０は、波長制御部４０の出力を受信すると共にドライバ５０の出力を狭帯域化モジュール３０に送信するように構成されてもよい。ドライバ５０は、狭帯域化モジュール３０と波長制御部４０に接続されてもよい。

[0041] 図３に例示した狭帯域化レーザ装置１００におけるレーザ制御部１１０と、波長制御部４０と、ドライバ５０の少なくとも二つが、一体化されていてもよい。

[0042] 図４は、本開示の実施形態に係るレーザ装置における狭帯域化モジュールの構成を例示する図である。

[0043] 狭帯域化モジュール３０は、複数のプリズム（例えば、第一のプリズム３１と第二のプリズム３２からなる二個のプリズム）と、グレーティング３３と、回転ステージ３４を含んでもよい。ドライバ５０は、波長制御部４０からの出力に応じて、狭帯域化モジュール３０に含まれる回転ステージ３４の回転を制御するように設けられてもよい。

[0044] 第一のプリズム３１と第二のプリズム３２は、ビームエキスパンダとして機能するように設けられてもよい。第二のプリズム３２は、回転ステージ３４に設けられてもよい。

[0045] グレーティング３３は、レーザ光の回折角がレーザ光の入射角と完全に又は実質的に一致するように、すなわち、リトロー配置に、設けられてもよい。

[0046] 回転ステージ３４は、第二のプリズム３２を回転させるように構成されてもよい。回転ステージ３４は、第二のプリズム３２を回転させることによって、グレーティング３３へのある波長のレーザ光の入射角が変化するように設けられてもよい。回転ステージ３４は、第二のプリズム３２に代えて、第一のプリズム３１又はグレーティング３３を回転させるように構成されてもよい。第二のプリズム３２に代えて、第一のプリズム３１又はグレーティング３３が回転ステージ３４に設けてられもよい。

[0047] 狭帯域化モジュール３０は、パルスモータ（ステッピングモータ）付きマイクロメータ３５と、ピエゾ素子３６と、反力バネ部材３７を含んでもよい。パルスモータ（ステッピングモータ）付けマイクロメータ３５と、ピエゾ素子３６と、反力バネ部材３７は、狭帯域化モジュール３０に含まれる回転ステージ３４を駆動するアクチュエータを構成してもよい。アクチュエータは、パルスレーザ光の波長を変化させるように構成されてもよい。

[0048] マイクロメータ３５は、ドライバ５０からの信号を受信すると共にピエゾ素子３６に加重を与えるように構成されてもよい。マイクロメータ３５は、ドライバ５０に接続されてもよい。ドライバ５０は、波長制御部４０からの出力に応じて、マイクロメータ３５のパルスモータ（ステッピングモータ）を駆動させるための電源を含んでもよい。

[0049] ピエゾ素子３６は、マイクロメータ３５のマイクロメータヘッド３８の先端に設けられてもよい。ピエゾ素子３６は、マイクロメータ３５から与えられた荷重に応じて回転ステージ３４を回転させるように構成されてもよい。ピエゾ素子３６は、ドライバ５０に接続されてもよい。ドライバ５０は、波長制御部４０からの出力に応じて、ピエゾ素子３６に電圧を印加すると共にピエゾ素子３６を変形させるための電源を含んでもよい。ピエゾ素子３６は、印加された電圧に応じて変形すると共に回転ステージ３４を回転させるように構成されてもよい。

[0050] 反力バネ部材３７は、マイクロメータ３５からピエゾ素子３６に与えられた荷重に対してピエゾ素子３６を静止させるように、ピエゾ素子３６に反力

を与えるように構成されてもよい。

[0051] 図５は、本開示の実施形態に係るレーザ装置における分光器の構成を例示する図である。

[0052] 分光器９０は、エタロン分光器であってもよい。分光器９０は、拡散素子９１と、モニタエタロン９２と、集光レンズ９３と、イメージセンサ９４を含んでもよい。分光器９０において、拡散素子９１、モニタエタロン９２と、集光レンズ９３、イメージセンサ９４の順に設けられてもよい。

[0053] 拡散素子９１は、第二のビームスプリッタ７０を透過したレーザ光を拡散するように設けられてもよい。

[0054] モニタエタロン９２は、例えば、エアギャップエタロンであってもよい。モニタエタロン９２は、拡散素子９１によって拡散されたレーザ光を受光すると共に拡散素子９１によって拡散されたレーザ光を干渉させるように設けられてもよい。

[0055] 集光レンズ９３は、モニタエタロン９２を透過したレーザ光をイメージセンサ９４上に集光するように構成されてもよい。

[0056] イメージセンサ９４は、例えば、１次元のＣＣＤ等のラインセンサ、又はフォトダイオードアレイであってもよい。イメージセンサ９４は、集光レンズ９３の焦点面に設けられてもよい。集光レンズ９３の焦点面には、モニタエタロン９２を透過したレーザ光の干渉縞が生じてもよい。イメージセンサ９４は、モニタエタロン９２を透過したレーザ光の干渉縞を検出してもよい。

[0057] 集光レンズ９３の焦点面に生じる干渉縞の半径の二乗は、レーザ光の波長に比例してもよい。レーザ光の波長λは、

$$\lambda = \lambda c + \alpha r^2$$

によって表されてもよい。ｒは、検出されたレーザ光の干渉縞の半径である。λｃは、検出されたレーザ光の干渉縞の光強度が最大となる波長である。αは、比例定数である。

[0058] イメージセンサ９４によって検出されたレーザ光の干渉縞からレーザ光の

スペクトルプロファイルが検出されてもよい。イメージセンサ９４によって検出されたレーザ光の干渉縞からレーザ光のスペクトル線の中心波長とスペクトル線の幅が検出されてもよい。レーザ光のスペクトル線の中心波長とスペクトル線の幅は、図に例示されない情報処理装置によって検出されてもよく、波長制御部４０によって計算されてもよい。

[0059] 分光器９０は、フリースペクトラルレンジの異なる複数のエタロン分光器を含んでいてもよい。

[0060] 分光器９０は、グレーティングと、イメージセンサを含む分光器であってもよい。グレーティングは、第二のビームスプリッタ７０を透過した光を回折するように設けられてもよい。グレーティングによって回折されたレーザ光のスペクトルプロファイルが、イメージセンサによって検出されてもよい。レーザ光のスペクトル線の中心波長とスペクトル線の幅が、イメージセンサによって検出されてもよい。レーザ光のスペクトル線の中心波長とスペクトル線の幅は、図に例示されない情報処理装置によって検出されてもよく、波長制御部４０によって計算されてもよい。

[0061] 波長制御部４０は、波長計測部１２０によって計測されたレーザ光の波長に基づいて狭帯域化モジュール３０に含まれるアクチュエータを制御するように構成されてもよい。

[0062] 図６は、本開示の実施形態に係るレーザ装置における制御部の構成を例示する図である。

[0063] 上述した実施の形態における各制御部（ｃｏｎｔｒｏｌｌｅｒ）は、コンピュータやプログラマブルコントローラ等汎用の制御機器によって構成されてもよい。たとえば、以下のように構成されてもよい。

[0064] 制御部は、処理部１０００と、処理部１０００に接続される、ストレージメモリ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とによって構成されてもよい。また、処理部１０００は、ＣＰＵ１００１と、ＣＰＵ１００１に接続された、メモリ１００２

、タイマ１００３、ＧＰＵ１００４とから構成されてもよい。

[0065] 処理部１０００は、ストレージメモリ１００５に記憶されたプログラムを読み出してもよい。また、処理部１０００は、読み出したプログラムを実行したり、プログラムの実行に従ってストレージメモリ１００５からデータを読み出したり、ストレージメモリ１００５にデータを記憶させたりしてもよい。

[0066] パラレルＩ／Ｏコントローラ１０２０は、パラレルＩ／Ｏポートを介して通信可能な機器に接続されてもよい。パラレルＩ／Ｏコントローラ１０２０は、処理部１０００がプログラムを実行する過程で行うパラレルＩ／Ｏポートを介した、デジタル信号による通信を制御してもよい。

[0067] シリアルＩ／Ｏコントローラ１０３０は、シリアルＩ／Ｏポートを介して通信可能な機器に接続されてもよい。シリアルＩ／Ｏコントローラ１０３０は、処理部１０００がプログラムを実行する過程で行うシリアルＩ／Ｏポートを介した、デジタル信号による通信を制御してもよい。

[0068] Ａ／Ｄ、Ｄ／Ａコンバータ１０４０は、アナログポートを介して通信可能な機器に接続されてもよい。Ａ／Ｄ、Ｄ／Ａコンバータ１０４０は、処理部１０００がプログラムを実行する過程で行うアナログポートを介した、アナログ信号による通信を制御してもよい。

[0069] ユーザインターフェイス１０１０は、オペレータが処理部１０００によるプログラムの実行過程を表示したり、オペレータによるプログラム実行の中止や割り込み処理を処理部１０００に行わせるよう構成されてもよい。

[0070] 処理部１０００のＣＰＵ１００１はプログラムの演算処理を行ってもよい。メモリ１００２は、ＣＰＵ１００１がプログラムを実行する過程で、プログラムの一時記憶や、演算過程でのデータの一時記憶を行ってもよい。タイマ１００３は、時刻や経過時間を計測し、プログラムの実行に従ってＣＰＵ１００１に時刻や経過時間を出力してもよい。ＧＰＵ１００４は、処理部１０００に画像データが入力された際、プログラムの実行に従って画像データを処理し、その結果をＣＰＵ１００１に出力してもよい。

[0071] パラレルＩ／Ｏコントローラ１０２０に接続される、パラレルＩ／Ｏポートを介して通信可能な機器は、光センサ８０、イメージセンサ９４、他の制御部等であってもよい。

[0072] シリアルＩ／Ｏコントローラ１０３０に接続される、シリアルＩ／Ｏポートを介して通信可能な機器は、他の制御部等であってもよい。

[0073] Ａ／Ｄ、Ｄ／Ａコンバータ１０４０に接続される、アナログポートを介して通信可能な機器は、光センサ８０、イメージセンサ９４等であってもよい。

[0074] １．３ 本開示の実施形態に係るレーザ装置の動作例

図１、図３、図４、及び図５に基づいて本開示の実施形態に係るレーザ装置の動作例を説明する。

[0075] 露光装置２００に含まれる露光装置制御部２１０は、レーザ装置１００に含まれるレーザ制御部１１０にレーザ光の目標波長λｔｘのデータと発光トリガ信号Ｓｔｒを送信してもよい。

[0076] レーザ制御部１１０は、露光装置制御部２１０から受信した発光トリガ信号Ｓｔｒを電源１４へ送信してもよい。レーザ制御部１１０は、露光装置制御部２１０から受信した目標波長λｔｘのデータを波長制御部４０へ送信してもよい。

[0077] 電源１４は、レーザ制御部１１０から受信した発光トリガ信号Ｓｔｒに同期して、電源１４に含まれる電源スイッチ１５をオン又はオフしてもよい。電源スイッチ１５がオンするとき、レーザチャンバ１０に含まれる一対の電極１３の間に電圧が印加されてもよい。一対の電極１３の間に電圧が印加されると、レーザチャンバ１０に含まれるレーザ媒質の放電が生じると共に誘導放出によってレーザ媒質からパルスレーザ光が発生してもよい。レーザ媒質から発生したパルスレーザ光は、レーザ共振器を構成する出力結合ミラー２０と狭帯域化モジュール３０との間で、第一のウィンドウ１１と第二のウィンドウ１２を通じて往復すると共に増幅されてもよい。増幅されたパルスレーザ光の一部は、出力結合ミラー２０を透過してもよい。出力結合ミラー

２０を透過したパルスレーザ光の一部が、第一のビームスプリッタ６０に入射してもよい。第一のビームスプリッタ６０に入射した光の一部は、第一のビームスプリッタ６０を透過すると共に露光装置２００へ入力されてもよい（レーザ発振）。

[0078] 狭帯域化モジュール３０は、第二のウィンドウ１２を通じてレーザ媒質から発生したパルスレーザ光を受光してもよい。狭帯域化モジュール３０は、第一のプリズム３１と第二のプリズム３２とグレーティング３３によって、受光したパルスレーザ光をパルスレーザ光の波長に対して分光することによって、狭帯域化されたパルスレーザ光を生成させてもよい。狭帯域化モジュール３０は、ドライバ５０の出力に応じて、回転ステージ３４を回転させることによって、第二のプリズム３２を回転させてもよい。狭帯域化モジュール３０は、第二のプリズム３２を回転させることによって、グレーティング３３に入射するパルスレーザ光の入射角を変化させてもよい。グレーティング３３に入射するパルスレーザ光の入射角を変化させることによって、グレーティング３３によって回折されると共にレーザチャンバ１０に向かって反射されるパルスレーザ光の波長を選択してもよい（パルスレーザ光を狭帯域化してもよい）。パルスレーザ光の波長は、グレーティング３３に対するパルスレーザ光の入射角とグレーティング３３に対するパルスレーザ光の回折角に応じて選択されてもよい。

[0079] 狭帯域化モジュール３０に含まれる回転ステージ３４は、ドライバ５０の出力に応じて制御されたマイクロメータ３５によって駆動されてもよい。狭帯域化モジュール３０に含まれる回転ステージ３４は、ドライバ５０の出力に応じて制御されたピエゾ素子３６によって駆動されてもよい。回転ステージ３４は、マイクロメータ３５に加えてピエゾ素子３６によって駆動されることによって、ドライバ５０の出力に対する回転ステージ３４の応答時間を改善することができる。

[0080] 第一のビームスプリッタ６０によって反射されたパルスレーザ光の一部は、波長計測部１２０に入力されてもよい。

[0081] 波長計測部１２０に入力されたパルスレーザ光は、第二のビームスプリッタ７０に入射してもよい。

[0082] 第二のビームスプリッタ７０に入射したパルスレーザ光の一部は、光センサ８０へ反射されてもよい。光センサ８０は、光センサ８０へ反射されたパルスレーザ光を受光すると共にパルスレーザ光の検出信号を波長制御部４０へ送信してもよい。

[0083] 第二のビームスプリッタ７０に入射したパルスレーザ光の一部は、第二のビームスプリッタ７０を透過すると共に分光器９０に入射してもよい。

[0084] 分光器９０に入射したパルスレーザ光は、拡散素子９１を透過すると共に拡散されてもよい。拡散素子９１を透過すると共に拡散素子９１によって拡散されたパルスレーザ光は、モニタエタロン９２に入射してもよい。モニタエタロン９２は、モニタエタロン９２に入射したパルスレーザ光を干渉させてもよい。

[0085] モニタエタロン９２によって干渉させられたパルスレーザ光は、集光レンズ９３に入射してもよい。集光レンズ９３に入射したパルスレーザ光は、集光レンズ９３を透過すると共に集光レンズ９３の焦点面に円形の干渉縞を生成してもよい。

[0086] 集光レンズ９３を透過したパルスレーザ光は、イメージセンサ９４に集光してもよい。イメージセンサ９４は、集光レンズ９３の焦点面に配置されると共に集光レンズ９３の焦点面に生成する円形の干渉縞を検出してもよい。イメージセンサ９４によって検出された干渉縞に対応する信号は、波長制御部４０に送信されてもよい。

[0087] 波長制御部４０は、レーザ制御部１１０からパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータを受信してもよい。波長制御部４０は、パルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータに基づいて、狭帯域化モジュール３０に含まれる回転ステージ３４を制御するための信号をドライバ５０に送信してもよい。パルスレーザ光の波長は、ドライバ５０を介して、狭帯域化モジュール３０に含まれる回転ステージ３４を制御することによって、選択されてもよい。波長制

御部４０は、光センサ８０から送信された信号を受信すると共に、波長計測部１２０に含まれる分光器９０のイメージセンサ９４から送信された干渉縞に対応する信号を受信してもよい。波長制御部４０は、干渉縞に対応する信号のデータからパルスレーザ光の波長を計算（計測）してもよい。

[0088] ２．本開示の実施形態に係るレーザ装置に関する関連技術の課題

図７は、本開示の実施形態に係るレーザ装置に関する関連技術の課題を例示する図である。

[0089] 図７に例示するように、露光装置に設けられたウェハの表面をパルスレーザ光で露光すると共にスキャンするとき、ウェハの位置に対するウェハの表面の高さの変動に応じて、パルスレーザ光のフォーカスの位置は、変化させられ得る。パルスレーザ光のフォーカスの位置を変化させるために、レーザ装置から放出されるパルスレーザ光の波長がレーザパルス毎に変化させられ得る。

[0090] 例えば、図７に例示されるように、露光装置に設けられたウェハの表面が斜面を有するとき、ウェハの表面における斜面をパルスレーザ光で露光すると共にスキャンし得る。ウェハの表面における斜面をパルスレーザ光で露光すると共にスキャンするとき、露光装置の露光装置制御部からレーザ装置のレーザ制御部へ送信されるレーザパルス毎の目標波長λｔｘのデータは、ウェハの表面における斜面の高さによって変動し得る。

[0091] ウェハの表面における斜面の高さによって変動する目標波長λｔｘのデータに応じて、レーザ装置に含まれるアクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長は、ウェハの表面における斜面の高さによって変動し得る。レーザ装置に含まれるアクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長は、例えば、狭帯域化モジュールに含まれる回転ステージの回転によって達成されるべきパルスレーザ光の波長であり得る。

[0092] しかしながら、レーザ装置に含まれるアクチュエータの応答時間が目標波長λｔｘのデータの変動時間よりも（例えば、図７に例示されるように、２パルスに相当する時間だけ）長いとき、実際のパルスレーザ光の波長は、目

標波長λｔｘと一致しなくなり得る。例えば、レーザ装置に含まれるアクチュエータの応答時間が、レーザ装置のバーストモード運転における所定の繰り返し周期（例えば、１／６０００秒（繰り返し周波数６ｋＨｚ））よりも長い場合には、実際のパルスレーザ光の波長は、目標波長λｔｘと一致しなくなり得る。目標波長λｔｘのデータに応じてレーザパルス毎にレーザ装置に含まれるアクチュエータを操作したとしても、実際のパルスレーザ光の波長は、目標波長λｔｘと一致しなくなり得る。

[0093] このように、ウェハの表面の高さの変動に応じてレーザパルス毎の目標波長λｔｘのデータを変化させるとき、レーザ装置から放出される実際のパルスレーザ光の波長が目標波長λｔｘと一致するように、レーザ装置を制御することが困難であり得る。

[0094] ３．本開示の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法

３．１ 本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法

図８は、本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法の概略を例示する図である。

[0095] 図８に例示するように、露光装置２００に設けられたウェハの表面をパルスレーザ光で露光すると共にスキャンするとき、ウェハの位置に対するウェハの表面の高さの変動に応じて、パルスレーザ光のフォーカスの位置を変化させてもよい。パルスレーザ光のフォーカスの位置を変化させるために、レーザ装置１００から放出されるパルスレーザ光の波長をレーザパルス毎に変化させてもよい。

[0096] 例えば、図８に例示されるように、露光装置２００に設けられたウェハ３００の表面が斜面を有するとき、ウェハ３００の表面における斜面をパルスレーザ光で露光すると共にスキャンしてもよい。ウェハ３００の表面における斜面をパルスレーザ光で露光すると共にスキャンするとき、露光装置制御部２１０からレーザ制御部１１０へ送信されるレーザパルス毎の目標波長λｔｘのデータは、ウェハ３００の表面における斜面の高さによって変動し得る。

[0097] レーザ装置１００に含まれる波長制御部４０は、レーザ装置１００からパルスレーザ光を出力する前に、複数のレーザパルスについてのパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータを露光装置制御部２１０から受信するように構成されてもよい。例えば、波長制御部４０は、パルスレーザ光の一つのバーストを出力する前に、複数のレーザパルスについてのパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータを受信するように構成されてもよい。例えば、複数のレーザパルスについての、パルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータは、パルスレーザ光の一つのバーストに含まれる複数のパルスについての目標波長λｔｘのデータを含んでもよい。

[0098] 波長制御部４０は、ウェハ３００の表面における斜面の高さによって変動する目標波長λｔｘのデータとレーザ装置１００に含まれるアクチュエータの応答時間に依存して、アクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長を変化させてもよい。レーザ装置１００に含まれるアクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長は、例えば、狭帯域化モジュール３０に含まれる回転ステージ３４の回転によって達成されるべきパルスレーザ光の波長であってもよい。波長制御部４０は、ウェハ３００の表面における斜面の高さの変動とアクチュエータの応答時間に基づいて、レーザ装置１００に含まれるアクチュエータを制御してもよい。

[0099] 波長制御部４０は、パルスレーザ光の目標波長λｔｘを変化させる時刻よりも少なくともアクチュエータの応答時間分先に、レーザ装置１００に含まれるアクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長を変化させるように構成されてもよい。

[0100] 波長制御部４０は、複数のレーザパルスについてのパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータとレーザ装置１００に含まれるアクチュエータの応答時間に基づいて、アクチュエータを制御するように構成されてもよい。例えば、波長制御部４０は、レーザ装置１００に含まれるアクチュエータの応答時間に依存して、アクチュエータの応答時間に対応する複数のレーザパルスの分だけ先のパルスレーザ光の目標波長λｔｘを読み出してもよい。波長制御

部４０は、アクチュエータの応答時間に対応する複数のレーザパルスの分だけ先のパルスレーザ光の目標波長λｔｘに応じて、レーザ装置１００に含まれるアクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長を変化させてもよい。例えば、図８に例示されるように、２パルスの分だけ先のパルスレーザ光の目標波長λｔｘを読み出すと共に２パルスの分だけ先のパルスレーザ光の目標波長λｔｘに応じてアクチュエータを制御してもよい。

[0101] 波長制御部４０は、レーザ装置１００から放出される実際のパルスレーザ光の波長が目標波長λｔｘのデータに近づくように、アクチュエータを制御するように構成されてもよい。波長制御部４０は、アクチュエータの応答時間に対応する複数のレーザパルスの分だけ先のパルスレーザ光の目標波長λｔｘに応じてアクチュエータを制御することによって、実際のパルスレーザ光の波長を目標波長λｔｘのデータに近づけることができる。例えば、図８に例示されるように、２パルスの分だけ先のパルスレーザ光の目標波長λｔｘに応じてアクチュエータを制御することによって、実際のパルスレーザ光の波長を目標波長λｔｘのデータに近づけることができる。

[0102] 図９は、本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法のフローチャートを例示する図である。

[0103] ステップＳ９０１において、バーストモード運転をするレーザ装置１００に含まれる波長制御部４０は、レーザ制御部１１０を介して、露光装置制御部２１０から１バースト分のレーザパルス毎のパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータを受信してもよい。１バースト分のレーザパルス毎のパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータは、先頭パルスから最終パルスまでのｎｅ個のレーザパルスを含む１バースト分の複数の目標波長λｔｘのデータλｔｘ（１）、・・・、λｔｘ（ｎ）、・・・λｔｘ（ｎｅ）であってもよい。λｔｘ（ｎ）は、先頭パルスから最終パルスまでのうち、ｎ番目のレーザパルスについてのパルスレーザ光の目標波長λｔｘを意味するものであってもよい。

[0104] ステップＳ９０２において、波長制御部４０は、ｎｅ個のレーザパルスを

含む１バースト分の複数の目標波長λｔｘのデータλｔｘ（１）、・・・、λｔｘ（ｎ）、・・・λｔｘ（ｎｅ）を波長制御部４０に含まれる記憶部に書き込んでもよい。

[0105] ステップＳ９０３において、波長制御部４０は、１バーストの先頭パルスの目標波長λｔｘ（１）を読み出してもよい。

[0106] ステップＳ９０４において、波長制御部４０は、アクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の初期の波長λｔ（０）に先頭パルスの目標波長λｔｘ（１）を代入してもよい。

[0107] ステップＳ９０５において、波長制御部４０は、アクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の初期の波長λｔ（０）に対応するアクチュエータ操作量の初期値ＭＶ（０）を計算してもよい。波長制御部４０は、パルスレーザ光の波長が先頭パルスの目標波長λｔｘ（１）となるように、アクチュエータを制御するドライバ５０へ、アクチュエータ操作量の初期値ＭＶ（０）を送信してもよい。レーザ装置１００が、バーストモード運転における休止の期間に、アクチュエータ操作量の初期値ＭＶ（０）を予めドライバ５０へ送信することによって、バーストにおける先頭パルスの波長を、先頭パルスの目標波長λｔｘ（１）に近づけることができる。

[0108] ステップＳ９０６において、波長制御部４０は、波長制御部４０に含まれるタイマによって計測される時間Ｔをリセットすると共にタイマによる時間Ｔの計測をスタートしてもよい。タイマは、時間Ｔの計測によって、レーザ装置１００のバーストモード運転における休止の時間をモニタしてもよい。

[0109] ステップＳ９０７において、波長制御部４０は、露光装置制御部２１０へ発光トリガ受付信号を送信して、露光装置制御部２１０から発光トリガ信号を受信するための準備をしてもよい。

[0110] ステップＳ９０８において、波長制御部４０は、レーザ制御部１１０が露光装置制御部２１０から発光トリガ信号を受信したか否かについての判断を実行してもよい。レーザ制御部１１０が露光装置制御部２１０から発光トリガ信号を受信した場合には、ステップＳ９０９を実行してもよい。レーザ制

御部１１０が露光装置制御部２１０から発光トリガ信号を受信していない場合には、レーザ制御部１１０が露光装置制御部２１０から発光トリガ信号を受信するまで、ステップＳ９０８を繰り返してもよい。

[0111] ステップＳ９０９において、波長制御部４０は、タイマによって計測された時間Ｔが所定の時間Ｋ以上であるか否かについての判断を実行してもよい。レーザ装置１００のバーストモード運転における休止の時間が所定の時間Ｋ以上であるか否かについての判断を実行してもよい。レーザ装置１００のバーストモード運転における休止の時間が所定の時間Ｋ以上である場合には、レーザ装置１００から放出されるパルスレーザ光のパルスは、バーストの先頭パルスであると判断してもよい。レーザ装置１００のバーストモード運転における休止の時間が所定の時間Ｋ以上である場合には、ステップＳ９１０を実行してもよい。レーザ装置１００のバーストモード運転における休止の時間が所定の時間Ｋ未満である場合には、レーザ装置１００から放出されるパルスレーザ光のパルスは、バーストの先頭パルスより後のパルスであると判断してもよい。レーザ装置１００のバーストモード運転における休止の時間が所定の時間Ｋ未満である場合には、ステップＳ９１１を実行してもよい。

[0112] ステップＳ９１０において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎに１を代入してもよい。

[0113] ステップＳ９１１において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎに１を加算してもよい。

[0114] ステップＳ９１２において、波長制御部４０は、波長制御部４０に含まれるタイマによって計測される時間Ｔをリセットすると共にタイマによる時間Ｔの計測をスタートしてもよい。タイマは、時間Ｔの計測によって、レーザ装置１００のバーストモード運転におけるバースト内の時間をモニタしてもよい。

[0115] ステップＳ９１３において、波長制御部４０は、レーザ装置１００に含まれるアクチュエータの応答時間に依存する遅れパルス数ｎｆを取得してもよ

い。遅れパルス数ｎｆは、例えば、２であってもよい。

[0116] ステップＳ９１４において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎのレーザパルスに対して遅れパルス数ｎｆだけ先のレーザパルスに対応するパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎ＋ｎｆ）を記憶部から読み出してもよい。

[0117] ステップＳ９１５において、波長制御部４０は、パルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎ＋ｎｆ）のデータが存在するか否かについて判断をしてもよい。波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎ＋ｎｆがバースト内の最終パルスであるレーザパルスの番号ｎｅ以下であるか否か（レーザパルスの番号ｎがｎｅ－ｎｆ以下であるか否か）について判断をしてもよい。パルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎ＋ｎｆ）のデータが存在する（レーザパルスの番号ｎがｎｅ－ｎｆ以下である）場合には、波長制御部４０は、ステップＳ９１６を実行してもよい。パルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎ＋ｎｆ）のデータが存在しない（レーザパルスの番号ｎがｎｅ－ｎｆを超える）場合には、波長制御部４０は、ステップＳ９１７を実行してもよい。

[0118] ステップＳ９１６において、レーザパルス番号ｎのレーザパルスについてアクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長λｔ（ｎ）にレーザパルス番号ｎ＋ｎｆのレーザパルスに対応するパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎ＋ｎｆ）を代入してもよい。

[0119] ステップＳ９１７において、レーザパルス番号ｎのレーザパルスについてアクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長λｔ（ｎ）にレーザパルス番号ｎｅのレーザパルスに対応するパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎｅ）を代入してもよい。レーザパルス番号ｎ＋ｎｆがバースト内の最終パルスの番号ｎｅを超える場合には、アクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長λｔ（ｎ）にバースト内の最終パルスに対応するパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎｅ）を代入してもよい。

[0120] ステップＳ９１８において、波長制御部４０は、後述する波長制御サブルーチンを実行してもよい。波長制御部４０は、波長制御サブルーチンを実行

することによって、アクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長λｔ（ｎ）に対応するアクチュエータ操作量の値ＭＶ（ｎ）を計算してもよい。波長制御部４０は、波長制御サブルーチンを実行することによって、パルスレーザ光の波長がパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎ）となるように、アクチュエータを制御するドライバ５０へ、アクチュエータ操作量の値ＭＶ（ｎ）を送信してもよい。レーザ装置１００が、バーストモード運転において、アクチュエータ操作量の値ＭＶ（ｎ）を予めドライバ５０へ送信することによって、パルスレーザ光の波長をパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎ）に近づけることができる。

[0121] ステップ９１９において、波長制御部４０は、レーザ装置１００がバーストモード運転におけるバーストを終了したか否かについての判断をしてもよい。波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎがバースト内の最終パルスであるレーザパルスの番号ｎｅを超えるか否かについて判断をしてもよい。レーザ装置１００がバーストモード運転におけるバーストを終了した（レーザパルスの番号ｎがバースト内の最終パルスであるレーザパルスの番号ｎｅを超える）場合には、ステップＳ９２０を実行してもよい。レーザ装置１００がバーストモード運転におけるバーストを終了していない（レーザパルスの番号ｎがバースト内の最終パルスであるレーザパルスの番号ｎｅ以下である）場合には、ステップＳ９０８からステップ９１９を繰り返して実行してもよい。

[0122] ステップＳ９２０において、パルスレーザ光の波長の制御を終了するか否かについての判断をしてもよい。パルスレーザ光の波長の制御を終了しない場合には、ステップＳ９０１からステップ９２０を繰り返して実行してもよい。

[0123] 図１０は、本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法におけるパルスレーザ光の目標波長のデータを例示する図である。

[0124] 図１０に例示されるように、露光装置制御部２１０からレーザ制御部１１０へ送信されるパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータは、パルス番号＃

ｎとパルス番号＃ｎに対応するパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎ）のｎｅ個のセットで構成されてもよい。パルス番号＃１とパルス番号＃１に対応するパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（１）のセットは、それぞれ、１バーストにおける先頭パルスのレーザパルスの番号と１バーストにおける先頭パルスのパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（１）であってもよい。パルス番号＃ｎｅとパルス番号＃ｎｅに対応するパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎｅ）のセットは、それぞれ、１バーストにおける最終パルスのレーザパルスの番号と１バーストにおける最終パルスのパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎｅ）であってもよい。

[0125] 露光装置制御部２１０からレーザ制御部１１０へ送信されるパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータは、パルスレーザ光での一つのウェハ３００の露光における複数のバーストに含まれるレーザパルスについてのデータであってもよい。

[0126] 図１１は、本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法における目標波長のデータを記憶部に書き込むサブルーチンを例示する図である。

[0127] ステップＳ１１０１において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎに１を代入してもよい。

[0128] ステップＳ１１０２において、波長制御部４０は、露光装置制御部２１０から送信されたレーザパルスの番号ｎに対応するパルスレーザ光の目標波長の値を変数λｔｘ（ｎ）に代入してもよい。

[0129] ステップＳ１１０３において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎが、レーザパルスの個数ｎｅ（１バーストにおける最終パルスの番号ｎｅ）を超えるか否かについての判断をしてもよい。レーザパルスの番号ｎが、レーザパルスの個数ｎｅを超える場合には、目標波長のデータを記憶部に書き込むサブルーチンを終了してメインルーチンへ戻ってもよい。レーザパルスの番号ｎが、レーザパルスの個数ｎｅ以下である場合には、ステップＳ１１０４を実行してもよい。

[0130] ステップＳ１１０４において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎに１を加算してステップＳ１１０２に戻ってもよい。

[0131] このように、波長制御部４０は、パルス番号＃ｎとパルス番号＃ｎに対応するパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎ）のｎｅ個のセットを記憶部に書き込むことができる。

[0132] 図１２は、本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法における波長制御サブルーチンの第一の例を例示する図である。

[0133] 図１２に例示する本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法における波長制御サブルーチンの第一の例は、ＰＩＤ制御を含まなくてもよい。

[0134] ステップＳ１２０１において、波長計測部１２０は、パルスレーザ光の実際の波長λを計測すると共に波長制御部４０へ計測された波長λを送信してもよい。

[0135] ステップＳ１２０２において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎについてのパルスレーザ光の実際の波長λ（ｎ）に計測された波長λを代入してもよい。

[0136] ステップＳ１２０３において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎについてのパルスレーザ光の実際の波長λ（ｎ）とレーザパルスの番号ｎについての目標波長λｔｘ（ｎ）の差Δλ’（ｎ）を計算してもよい（Δλ’（ｎ）＝λ（ｎ）－λｔｘ（ｎ））。

[0137] ステップＳ１２０４において、波長制御部４０は、アクチュエータ操作量の変動値ΔＳＶを計算してもよい。アクチュエータ操作量の変動値ΔＳＶは、番号ｎ－１とｎのレーザパルスについてのアクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長λｔ（ｎ－１）とλｔ（ｎ）の間の差とΔλ’（ｎ）とに基づいて計算されてもよい。アクチュエータ操作量の変動値ΔＳＶは、ΔＳＶ＝ｈ｛（λｔ（ｎ）－λｔ（ｎ－１））－Δ’λ（ｎ）｝の式によって計算されてもよい。ｈは、パルスレーザ光の波長をアクチュエータ操作量に変換するための係数であってもよい。

[0138] ステップＳ１２０４において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ）を計算してもよい。レーザパルスの番号ｎについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ）は、レーザパルスの番号ｎ－１のレーザパルスについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ－１）とアクチュエータ操作量の変動値ΔＳＶに基づいて計算されてもよい。

[0139] ステップＳ１２０６において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ）の信号をドライバ５０に送信してもよい。ドライバ５０は、レーザパルスの番号ｎについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ）に基づいて、アクチュエータを制御してもよい。

[0140] このように、波長制御部４０は、パルスレーザ光の目標波長のデータと波長計測部によって計測されたパルスレーザ光の波長との間の差に基づいてアクチュエータを制御してもよい。

[0141] 図１３は、本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法における波長制御サブルーチンの第二の例を例示する図である。

[0142] 図１３に例示する本開示の第一の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法における波長制御サブルーチンの第二の例は、ＰＩＤ制御を含んでもよい。

[0143] ステップＳ１３０１は、図１２に例示されるステップＳ１２０１と同様なものであってもよい。

[0144] ステップＳ１３０２は、図１２に例示されるステップＳ１２０２と同様なものであってもよい。

[0145] ステップＳ１３０３は、図１２に例示されるステップＳ１２０３と同様なものであってもよい。

[0146] ステップＳ１３０４において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎが１であるか否かについて判断をしてもよい。レーザパルスの番号ｎが１である場合には、波長制御部４０は、ステップＳ１３０５を実行してもよい。レーザパルスの番号ｎが１ではない場合には、波長制御部４０は、ステップＳ１３０６を実行してもよい。

[0147] ステップＳ１３０５において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ）についてのＰＩＤ制御値ΔＭＶ（ｎ）を計算してもよい。レーザパルスの番号ｎについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ）についてのＰＩＤ制御値ΔＭＶ（ｎ）は、ΔＭＶ（ｎ）＝Ｉ・Δλ’（１）の式によって計算されてもよい。Ｉは、ＰＩＤ制御における比例定数であってもよい。Ｉは、パルスレーザ光の波長をアクチュエータ操作量に変換するための係数を含んでもよい。Ｉは、例えば、パルスレーザ光の目標波長をステップ状に変化させると共にパルスレーザ光の波長の変化を計測することによって、予め得られてもよい。

[0148] ステップＳ１３０６において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎが２であるか否かについて判断をしてもよい。レーザパルスの番号ｎが２である場合には、波長制御部４０は、ステップＳ１３０７を実行してもよい。レーザパルスの番号ｎが２ではない場合には、波長制御部４０は、ステップＳ１３０８を実行してもよい。

[0149] ステップＳ１３０７において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ）についてのＰＩＤ制御値ΔＭＶ（ｎ）を計算してもよい。レーザパルスの番号ｎについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ）についてのＰＩＤ制御値ΔＭＶ（ｎ）は、ΔＭＶ（ｎ）＝Ｐ・｛Δλ’（２）－Δλ’（１）｝＋Ｉ・Δλ’（２）の式によって計算されてもよい。ＰとＩは、ＰＩＤ制御における比例定数であってもよい。ＰとＩは、パルスレーザ光の波長をアクチュエータ操作量に変換するための係数を含んでもよい。ＰとＩは、例えば、パルスレーザ光の目標波長をステップ状に変化させると共にパルスレーザ光の波長の変化を計測することによって、予め得られてもよい。

[0150] ステップＳ１３０８において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ）についてのＰＩＤ制御値ΔＭＶ（ｎ）を計算してもよい。レーザパルスの番号ｎについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ）についてのＰＩＤ制御値ΔＭＶ（ｎ）は、ΔＭＶ（ｎ）＝

Ｐ・｛Δλ’（ｎ）－Δλ’（ｎ－１）｝＋Ｉ・Δλ’（ｎ）＋Ｄ｛Δλ’（ｎ）－２Δλ’（ｎ－１）＋Δλ’（ｎ－２）｝の式によって計算されてもよい。ＰとＩとＤは、ＰＩＤ制御における比例定数であってもよい。ＰとＩとＤは、パルスレーザ光の波長をアクチュエータ操作量に変換するための係数を含んでもよい。ＰとＩとＤは、例えば、パルスレーザ光の目標波長をステップ状に変化させると共にパルスレーザ光の波長の変化を計測することによって、予め得られてもよい。

[0151] ステップＳ１３０９において、波長制御部４０は、ＰＩＤ制御以外のアクチュエータ操作量の変動値ΔＳＶを計算してもよい。ＰＩＤ制御以外のアクチュエータ操作量の変動値ΔＳＶは、番号ｎ－１とｎのレーザパルスについてのアクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長λｔ（ｎ－１）とλｔ（ｎ）の間の差に基づいて計算されてもよい。アクチュエータ操作量の変動値ΔＳＶは、ΔＳＶ＝ｈ｛λｔ（ｎ）－λｔ（ｎ－１）｝の式によって計算されてもよい。ｈは、パルスレーザ光の波長をアクチュエータ操作量に変換するための係数であってもよい。

[0152] ステップＳ１３１０において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ）を計算してもよい。レーザパルスの番号ｎについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ）は、レーザパルスの番号ｎ－１のレーザパルスについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ－１）とＰＩＤ制御値ΔＭＶ（ｎ）とアクチュエータ操作量の変動値ΔＳＶに基づいて計算されてもよい。

[0153] ステップＳ１３１１は、図１２に例示されるステップＳ１２０６と同様なものであってもよい。

[0154] このように、波長制御部４０は、パルスレーザ光の目標波長のデータと波長計測部によって計測されたパルスレーザ光の波長との間の差に基づいたＰＩＤ制御によってアクチュエータを制御してもよい。パルスレーザ光の目標波長のデータと波長計測部によって計測されたパルスレーザ光の波長との間の差に基づいたＰＩＤ制御によって、パルスレーザ光の目標波長の変化に対

するパルスレーザ光の波長の制御の安定性が改善され得る。

[0155] ＰＩＤ制御は、ＰとＩとＤのうち少なくとも一つに関係する制御であってもよい。

[0156] レーザパルスの番号ｎについてのパルスレーザ光の実際の波長λ（ｎ）とレーザパルスの番号ｎについての目標波長λｔｘ（ｎ）の差Δλ’（ｎ）に基づくＰＩＤ制御以外の制御（フィードバック制御）を行ってもよい。

[0157] ３．２ 本開示の第二の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法

図１４は、本開示の第二の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法の概略を例示する図である。

[0158] 図１４に例示されるように、パルスレーザ光をスキャンする方向において露光装置２００に設けられたウェハ３００の表面には凹凸が存在してもよい。パルスレーザ光をスキャンする方向に存在するウェハ３００の表面の凹凸は、パルスレーザ光をスキャンする方向におけるウェハ３００の表面の高さに極大及び極小の少なくとも一方を有することを意味してもよい。

[0159] 図１４に例示するように、露光装置２００に設けられたウェハ３００の表面をパルスレーザ光で露光すると共にスキャンするとき、ウェハ３００の位置に対するウェハ３００の表面の凹凸に応じて、パルスレーザ光のフォーカスの位置を変化させてもよい。パルスレーザ光のフォーカスの位置を変化させるために、レーザ装置１００から放出されるパルスレーザ光の波長をレーザパルス毎に変化させてもよい。

[0160] 例えば、図１４に例示されるように、パルスレーザ光をスキャンする方向において露光装置２００に設けられたウェハの表面に凹凸が存在するとき、ウェハ３００の表面における凹凸をパルスレーザ光で露光すると共にスキャンしてもよい。ウェハ３００の表面における凹凸をパルスレーザ光で露光すると共にスキャンするとき、露光装置制御部２１０からレーザ制御部１１０へ送信されるレーザパルス毎の目標波長λｔｘのデータは、ウェハ３００の表面における凹凸によって変動し得る。

[0161] レーザ装置１００に含まれる波長制御部４０は、レーザ装置１００からパ

ルスレーザ光を出力する前に、複数のレーザパルスについてのパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータを露光装置制御部２１０から受信するように構成されてもよい。

[0162] 波長制御部４０は、ウェハ３００の表面における凹凸によって変動する目標波長λｔｘのデータからレーザ装置１００に含まれるアクチュエータの応答時間を計算してもよい。レーザ装置１００に含まれるアクチュエータの応答時間は、例えば、パルスレーザ光のスキャンの方向におけるウェハ３００の位置に対するウェハ３００の表面の凹凸によって変動する目標波長λｔｘの曲線関係から計算されてもよい。レーザ装置１００に含まれるアクチュエータの応答時間については、各々のレーザパルスに対する遅れパルス数を計算してもよい。レーザ装置１００に含まれるアクチュエータの応答時間は、ウェハ３００の表面における凹凸によって変動してもよい。ウェハ３００の表面における凹凸によって変動するアクチュエータの応答時間に基づいて、アクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長を変化させてもよい。波長制御部４０は、ウェハ３００の表面における凹凸によって変動するアクチュエータの応答時間に基づいて、レーザ装置１００に含まれるアクチュエータを制御してもよい。

[0163] 波長制御部４０は、パルスレーザ光の目標波長λｔｘを変化させる時刻よりも少なくともアクチュエータの応答時間分先に、レーザ装置１００に含まれるアクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長を変化させるように構成されてもよい。

[0164] 波長制御部４０は、ウェハ３００の表面における凹凸によって変動するアクチュエータの応答時間に基づいて、アクチュエータを制御するように構成されてもよい。

[0165] 波長制御部４０は、レーザ装置１００から放出される実際のパルスレーザ光の波長が目標波長λｔｘのデータに近づくように、アクチュエータを制御するように構成されてもよい。

[0166] 図１５は、本開示の第二の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法の

フローチャートを例示する図である。

[0167] ステップＳ１５０１は、図９に例示されるステップＳ９０１と同様なものであってもよい。

[0168] ステップＳ１５０２は、図９に例示されるステップＳ９０２と同様なものであってもよい。

[0169] ステップＳ１５０３において、波長制御部４０は、パルスレーザ光のスキャンの方向におけるウェハの表面の凹凸によって変動する目標波長λｔｘのデータに基づいてレーザパルスの毎に遅れパルス数ｎｆを計算してもよい。波長制御部４０は、レーザパルス毎に計算された遅れパルス数ｎｆを波長制御部４０に含まれる記憶部に書き込んでもよい。

[0170] ステップＳ１５０４は、図９に例示されるステップＳ９０３と同様なものであってもよい。

[0171] ステップＳ１５０５は、図９に例示されるステップＳ９０４と同様なものであってもよい。

[0172] ステップＳ１５０６は、図９に例示されるステップＳ９０５と同様なものであってもよい。

[0173] ステップＳ１５０７は、図９に例示されるステップＳ９０６と同様なものであってもよい。

[0174] ステップＳ１５０８は、図９に例示されるステップＳ９０７と同様なものであってもよい。

[0175] ステップＳ１５０９は、図９に例示されるステップＳ９０８と同様なものであってもよい。

[0176] ステップＳ１５１０は、図９に例示されるステップＳ９０９と同様なものであってもよい。

[0177] ステップＳ１５１１は、図９に例示されるステップＳ９１０と同様なものであってもよい。

[0178] ステップＳ１５１２は、図９に例示されるステップＳ９１１と同様なものであってもよい。

[0179] ステップＳ１５１３は、図９に例示されるステップＳ９１２と同様なものであってもよい。

[0180] ステップＳ１５１４において、波長制御部４０は、波長制御部４０に含まれる記憶部からレーザパルスの番号ｎのレーザパルスについての遅れパルス数ｎｆ（ｎ）を読み出してもよい。

[0181] ステップＳ１５１５において、波長制御部４０は、遅れパルス数ｎｆにレーザパルスの番号ｎのレーザパルスについての遅れパルス数ｎｆ（ｎ）を代入してもよい。

[0182] ステップＳ１５１６は、図９に例示されるステップＳ９１４と同様なものであってもよい。

[0183] ステップＳ１５１７は、図９に例示されるステップＳ９１５と同様なものであってもよい。

[0184] ステップＳ１５１８は、図９に例示されるステップＳ９１６と同様なものであってもよい。

[0185] ステップＳ１５１９は、図９に例示されるステップＳ９１７と同様なものであってもよい。

[0186] ステップＳ１５２０は、図９に例示されるステップＳ９１８と同様なものであってもよい。

[0187] ステップＳ１５２１は、図９に例示されるステップＳ９１９と同様なものであってもよい。

[0188] ステップＳ１５２２は、図９に例示されるステップＳ９２０と同様なものであってもよい。

[0189] 図１６は、本開示の第二の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法における遅れパルス数を計算すると共に記憶部に書き込むサブルーチンを例示する図である。

[0190] ステップＳ１６０１において、波長制御部４０は、レーザ制御部１１０を介して、露光装置制御部２１０からレーザパルス毎のパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータを読み出してもよい。レーザパルス毎のパルスレーザ光

の目標波長λｔｘのデータは、ｎｅ個のレーザパルスについてのパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータλｔｘ（１）、・・・、λｔｘ（ｎ）、・・・λｔｘ（ｎｅ）であってもよい。λｔｘ（ｎ）は、ｎｅ個のパルスのうち、ｎ番目のレーザパルスについてのパルスレーザ光の目標波長λｔｘを意味するものであってもよい。

[0191] ステップＳ１６０２において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎに対するパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータλｔｘ（１）、・・・、λｔｘ（ｎ）、・・・λｔｘ（ｎｅ）の変化から、ｎｅ個のレーザパルスについての遅れパルス数ｎｆ（１）、・・・、ｎｆ（ｎ）、・・・、ｎｆ（ｎｅ）を計算してもよい。例えば、レーザパルスの番号ｎに対するパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータλｔｘ（１）、・・・、λｔｘ（ｎ）、・・・λｔｘ（ｎｅ）の近似曲線の微分係数に比例するように、ｎｅ個のレーザパルスについての遅れパルス数ｎｆ（１）、・・・、ｎｆ（ｎ）、・・・、ｎｆ（ｎｅ）を計算してもよい。

[0192] ステップＳ１６０３において、波長制御部４０は、ｎｅ個のレーザパルスについて計算された遅れパルス数ｎｆ（１）、・・・、ｎｆ（ｎ）、・・・、ｎｆ（ｎｅ）のデータを波長制御部４０に含まれる記憶部に書き込んでもよい。

[0193] ３．３ 本開示の第三の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法

露光装置２００に含まれる露光装置制御部２１０が、レーザ装置１００に含まれるレーザ制御部１１０から予めレーザ装置に含まれるアクチュエータの応答時間に応じたレーザパルスの遅れパルス数を受信してもよい。レーザ制御部１１０は、レーザパルス毎に、露光装置制御部２１０からレーザパルスの番号ｎとレーザパルスの番号ｎのレーザパルスについてのパルスレーザの目標波長λｔｘ（ｎ）とアクチュエータの操作のための波長λｔ（ｎ）を受信してもよい。このようにしても、レーザ装置１００から放出されるパルスレーザ光の実際の波長を同様に制御することができる。

[0194] 図１７は、本開示の第三の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法に

おける露光装置制御部用のフローチャートを例示する図である。

[0195] ステップＳ１７０１において、露光装置制御部２１０は、露光装置２００に設けられたウェハ３００の表面における凹凸を計測してもよい。

[0196] ステップＳ１７０２において、露光装置制御部２１０は、ウェハ３００の表面における凹凸の計測値に基づいて、バーストモード運転を行うレーザ装置１００から放出されるべきパルスレーザ光の波長をレーザパルス毎に計算してもよい。

[0197] ステップＳ１７０３において、露光装置制御部２１０は、１バーストに含まれるｎ個のレーザパルスについてのパルスレーザ光の目標波長λｔｘのデータλｔｘ（１），・・・，λｔｘ（ｎ）を露光装置制御部２１０に含まれる記憶装置に書き込んでもよい。

[0198] ステップＳ１７０４において、露光装置制御部２１０は、レーザ装置１００に含まれるレーザ制御部１１０からパルスレーザ光のレーザパルスについての遅れパルス数ｎｆを受信してもよい。パルスレーザ光のレーザパルスについての遅れパルス数ｎｆは、レーザ装置１００に含まれるアクチュエータの応答時間に依存してもよい。

[0199] ステップＳ１７０５において、露光装置制御部２１０は、パルスレーザ光のレーザパルスの番号ｎに０を代入する。

[0200] ステップＳ１７０６において、露光装置制御部２１０は、アクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の初期の波長λｔ（０）に１番目のレーザパルス（先頭パルス）についてのパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（１）を代入してもよい。

[0201] ステップＳ１７０７において、露光装置制御部２１０は、パルスレーザ光のレーザパルスの番号ｎ（＝０）とアクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の初期の波長λｔ（０）をレーザ装置１００に含まれるレーザ制御部１１０へ送信してもよい。

[0202] ステップＳ１７０８において、露光装置制御部２１０は、所定の時間（たとえば、レーザ装置１００のバーストモード運転におけるバーストの休止の

時間）だけ待機してもよい。

[0203] ステップＳ１７０９において、露光装置制御部２１０は、レーザ装置１００に含まれるレーザ制御部１１０へ発光トリガ信号Ｓｔｒを送信する。

[0204] ステップＳ１７１０において、露光装置制御部２１０は、露光装置制御部２１０に含まれるタイマによって計測される時間Ｔをリセットすると共にタイマによる時間Ｔの計測をスタートしてもよい。タイマは、時間Ｔの計測によって、レーザ装置１００のバーストモード運転におけるバーストに含まれるレーザパルスの時間間隔をモニタしてもよい。

[0205] ステップＳ１７１１において、露光装置制御部２１０は、パルスレーザ光のレーザパルスの番号ｎに１を加算してもよい。

[0206] ステップＳ１７１２において、露光装置制御部２１０は、パルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎ＋ｎｆ）のデータが存在するか否かについて判断をしてもよい。露光装置制御部２１０は、レーザパルスの番号ｎ＋ｎｆがバースト内の最終パルスであるレーザパルスの番号ｎｅ以下であるか否か（レーザパルスの番号ｎがｎｅ－ｎｆ以下であるか否か）について判断をしてもよい。パルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎ＋ｎｆ）のデータが存在する（レーザパルスの番号ｎがｎｅ－ｎｆ以下である）場合には、露光装置制御部２１０は、ステップＳ１７１３を実行してもよい。パルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎ＋ｎｆ）のデータが存在しない（レーザパルスの番号ｎがｎｅ－ｎｆを超える）場合には、露光装置制御部２１０は、ステップＳ１７１４を実行してもよい。

[0207] ステップＳ１７１３において、レーザパルス番号ｎのレーザパルスについてアクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長λｔ（ｎ）にレーザパルス番号ｎ＋ｎｆのレーザパルスに対応するパルスレーザ光の目標波長λｔｘ（ｎ＋ｎｆ）を代入してもよい。

[0208] ステップＳ１７１４において、レーザパルス番号ｎのレーザパルスについてアクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の波長λｔ（ｎ）にレーザパルス番号ｎｅのレーザパルスに対応するパルスレーザ光の目標波長λ

ｔｘ（ｎｅ）を代入してもよい。

[0209] ステップＳ１７１５において、露光装置制御部２１０は、レーザ制御部１１０へ、レーザパルス毎に、レーザパルスの番号ｎとレーザパルスの番号ｎのレーザパルスについてのパルスレーザの目標波長λｔｘ（ｎ）とアクチュエータの操作のための波長λｔ（ｎ）を送信してもよい。

[0210] ステップＳ１７１６において、露光装置制御部２１０は、レーザ装置１００がバーストモード運転におけるバーストを終了したか否かについての判断をしてもよい。露光装置制御部２１０は、レーザパルスの番号ｎがバースト内の最終パルスであるレーザパルスの番号ｎｅであるか否かについて判断をしてもよい。レーザ装置１００がバーストモード運転におけるバーストを終了した（レーザパルスの番号ｎがバースト内の最終パルスであるレーザパルスの番号ｎｅである）場合には、ステップＳ１７１７を実行してもよい。レーザ装置１００がバーストモード運転におけるバーストを終了していない（レーザパルスの番号ｎがバースト内の最終パルスであるレーザパルスの番号ｎｅではない）場合には、ステップＳ１７１８を実行してもよい。

[0211] ステップＳ１７１７において、パルスレーザ光の波長の制御を終了するか否かについての判断をしてもよい。パルスレーザ光の波長の制御を終了しない場合には、ステップＳ１７０３からステップＳ１７１８までを繰り返して実行してもよい。

[0212] ステップＳ１７１８において、露光装置制御部２１０は、タイマによって計測された時間Ｔが、バーストに含まれるレーザパルスの繰り返し周期１／ｆ以上であるか否かについて判断をしてもよい。ｆは、レーザ装置１００のバーストモード運転におけるバーストに含まれるレーザパルスの繰り返し周波数であってもよい。タイマによって計測された時間Ｔが、バーストに含まれるレーザパルスの繰り返し周期１／ｆ以上である場合には、露光装置制御部２１０は、ステップＳ１７０９からステップＳ１７１８までを繰り返して実行してもよい。タイマによって計測された時間Ｔがバーストに含まれるレーザパルスの繰り返し周期１／ｆ未満である場合には、タイマによって計測

された時間Ｔがバーストに含まれるレーザパルスの繰り返し周期１／ｆになるまで、ステップＳ１７１８を繰り返してもよい。

[0213] 図１８は、本開示の第三の実施形態に係るレーザの波長を制御する方法における波長制御部用のフローチャートを例示する図である。

[0214] ステップＳ１８０１において、レーザ装置１００に含まれる波長制御部４０は、レーザ制御部１１０を介して、露光装置２００に含まれる露光装置制御部２１０へ、パルスレーザ光のレーザパルスについての遅れパルス数ｎｆを送信してもよい。パルスレーザ光のレーザパルスについての遅れパルス数ｎｆは、レーザ装置１００に含まれるアクチュエータの応答時間に依存してもよい。

[0215] ステップＳ１８０２において、波長制御部４０は、レーザパルス毎に、レーザ制御部１１０を介して、露光装置制御部２１０からレーザパルスの番号ｎとレーザパルスの番号ｎのレーザパルスについてのパルスレーザの目標波長λｔｘ（ｎ）とアクチュエータの操作のための波長λｔ（ｎ）を受信してもよい。

[0216] ステップＳ１８０３において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎが０でないか否かについて判断をしてもよい。レーザパルスの番号ｎが０でない場合には、波長制御部４０は、ステップＳ１８０４を実行してもよい。レーザパルスの番号ｎが０である場合には、波長制御部４０は、ステップＳ１８０９及びステップＳ１８１０を実行してもよい。

[0217] ステップＳ１８０４は、図１２に例示されるステップＳ１２０１と同様なものであってもよい。

[0218] ステップＳ１８０５は、図１２に例示されるステップＳ１２０２と同様なものであってもよい。

[0219] ステップＳ１８０６は、図１２に例示されるステップＳ１２０３と同様なものであってもよい。

[0220] ステップＳ１８０７は、図１２に例示されるステップＳ１２０４と同様なものであってもよい。

[0221] ステップＳ１８０８は、図１２に例示されるステップＳ１２０５と同様なものであってもよい。

[0222] ステップＳ１８０９において、波長制御部４０は、アクチュエータによって操作されるパルスレーザ光の初期の波長λｔ（０）に対応するアクチュエータ操作量の初期値ＭＶ（０）を計算してもよい。アクチュエータ操作量の初期値ＭＶ（０）は、ＭＶ（０）＝ｈ・λｔ（０）によって計算されてもよい。ｈは、パルスレーザ光の波長をアクチュエータ操作量に変換するための係数であってもよい。

[0223] ステップＳ１８１０において、波長制御部４０は、レーザパルスの番号ｎについてのアクチュエータ操作量ＭＶ（ｎ）にアクチュエータ操作量の初期値ＭＶ（０）を代入してもよい。

[0224] ステップＳ１８１１は、図１２に例示されるステップＳ１２０６と同様なものであってもよい。

[0225] ステップＳ１８１２において、パルスレーザ光の波長の制御を終了するか否かについての判断をしてもよい。パルスレーザ光の波長の制御を終了しない場合には、ステップＳ１８０２からステップ１８１２を繰り返して実行してもよい。

[0226] 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。

[0227] 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、「少なくとも一つ」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

[0228] １０　レーザチャンバ
１１　第一のウィンドウ
１２　第二のウィンドウ
１３　電極
１４　電源
１５　電源スイッチ
２０　出力結合ミラー
３０　狭帯域化モジュール
３１　第一のプリズム
３２　第二のプリズム
３３　グレーティング
３４　回転ステージ
３５　マイクロメータ
３６　ピエゾ素子
３７　反力バネ部材
３８　マイクロメータヘッド
４０　波長制御部
５０　ドライバ
６０　第一のビームスプリッタ
７０　第二のビームスプリッタ
８０　光センサ
９０　分光器
９１　拡散素子
９２　モニタエタロン
９３　集光レンズ
９４　イメージセンサ
１００　レーザ装置（狭帯域化レーザ装置）
１１０　レーザ制御部

１２０　波長計測部

２００　露光装置

２１０　露光装置制御部

３００　ウェハ

３１０　矩形領域

請求の範囲

[請求項1] パルスレーザ光（Ｌ）を出力するように構成されたレーザ共振器（２０，３０）と、

前記パルスレーザ光の波長を変化させるように構成されたアクチュエータ（３５，３６，３７）と、

前記パルスレーザ光を出力する前に前記パルスレーザ光の複数のパルスについての目標波長のデータを受信すると共に前記複数のパルスについての前記目標波長のデータに基づいて前記パルスレーザ光の波長が前記目標波長のデータに近づくように前記アクチュエータを制御するように構成された制御部（１１０）と

を含む、レーザ装置（１００）。

[請求項2] 前記制御部は、前記パルスレーザ光の一つのバーストを出力する前に前記パルスレーザ光の複数のパルスについての目標波長のデータを受信するように構成されたものである、請求項１に記載のレーザ装置。

[請求項3] 前記パルスレーザ光の複数のパルスについての目標波長のデータは、前記パルスレーザ光の一つのバーストに含まれる複数のパルスについての目標波長のデータを含む、請求項２に記載のレーザ装置。

[請求項4] 前記パルスレーザ光の波長を計測するように構成された波長計測部（１２０）をさらに含むと共に、

前記制御部は、前記波長計測部によって計測された波長に基づいて前記アクチュエータを制御するように構成されたものである、請求項１に記載のレーザ装置。

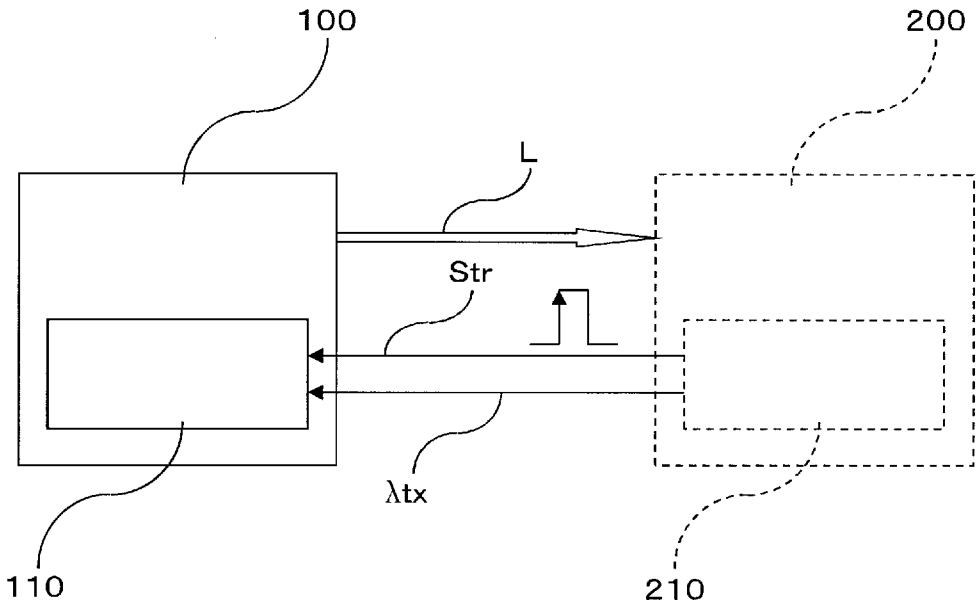
[請求項5] 前記制御部は、前記目標波長のデータと前記波長計測部によって計測された波長との間の差に基づいて前記アクチュエータを制御するように構成されたものである、請求項４に記載のレーザ装置。

[請求項6] パルスレーザ光（Ｌ）の波長を変化させるように構成されたアクチュエータ（３５，３６，３７）を制御する方法であって、

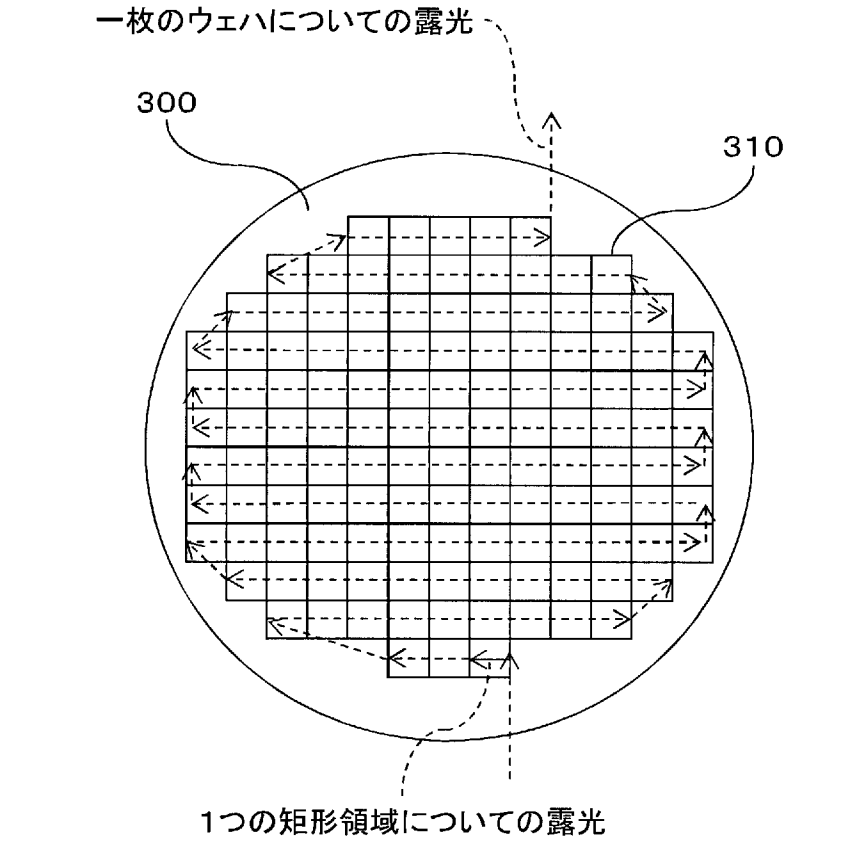
前記アクチュエータの応答時間に依存して、前記パルスレーザ光の目標波長を変化させる時刻よりも少なくとも前記応答時間分先に、前記パルスレーザ光の波長を変化させること

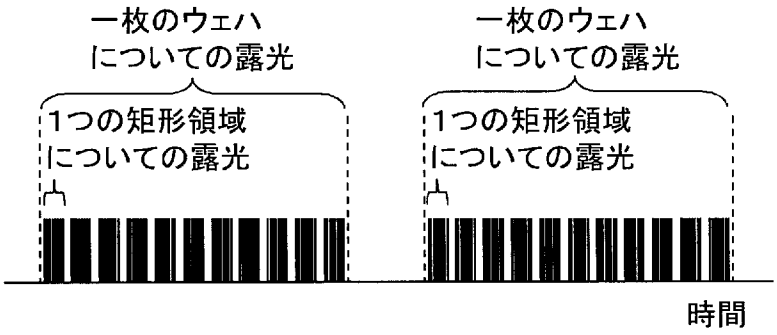
を含む、アクチュエータを制御する方法。

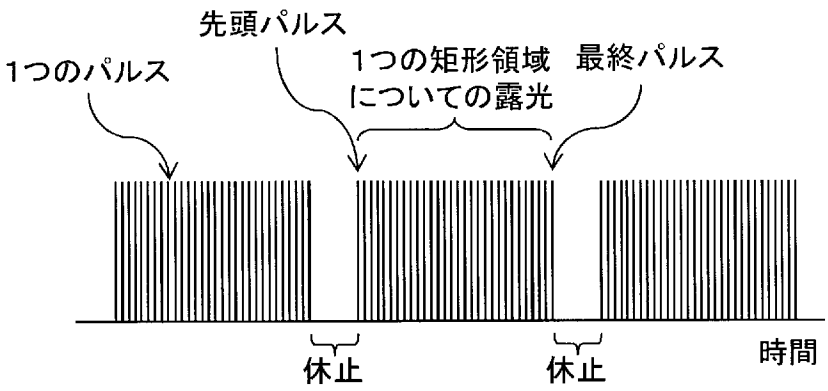
[図1]



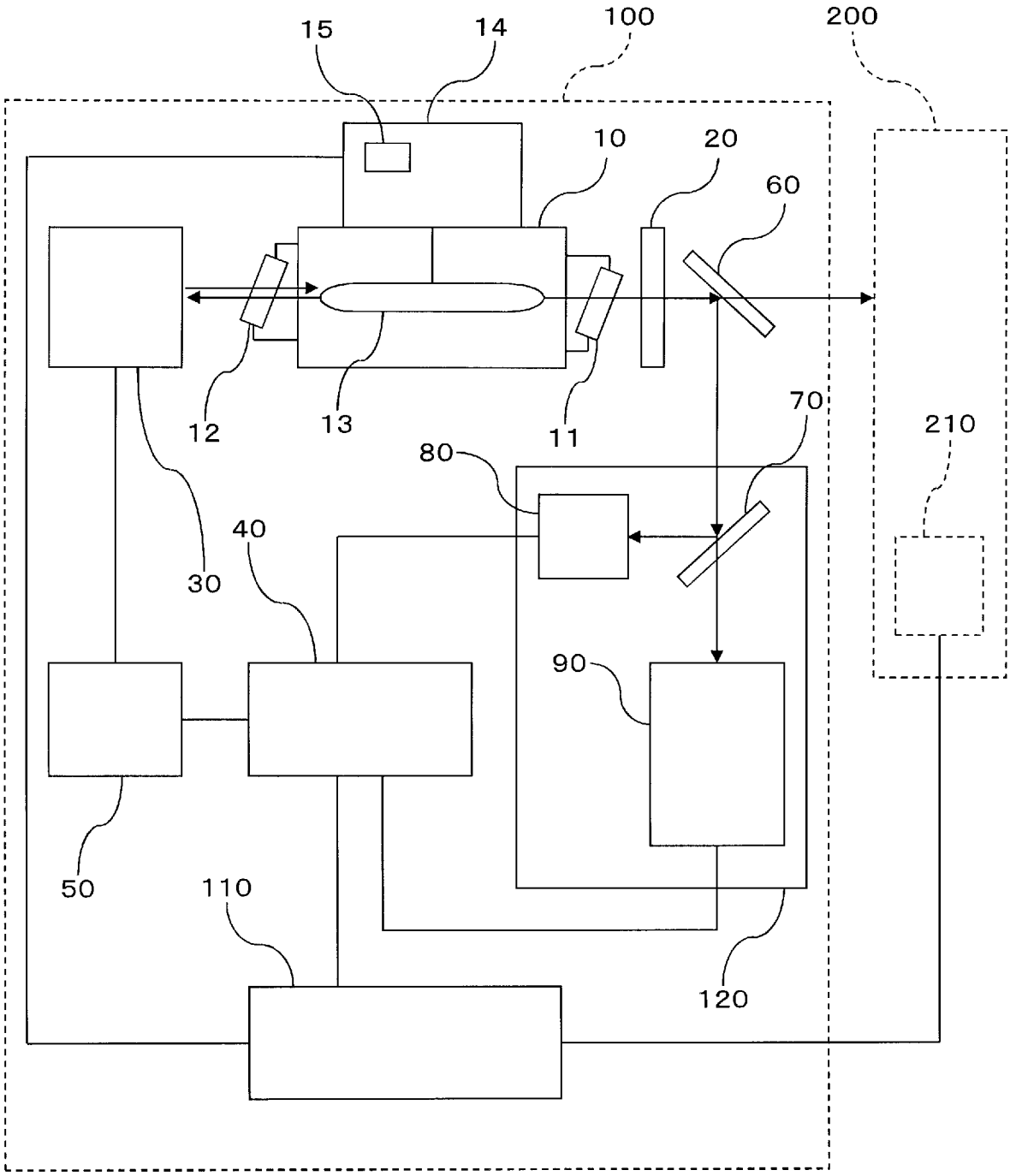
[図2]


一枚のウェハについての露光
300
310
1つの矩形領域についての露光

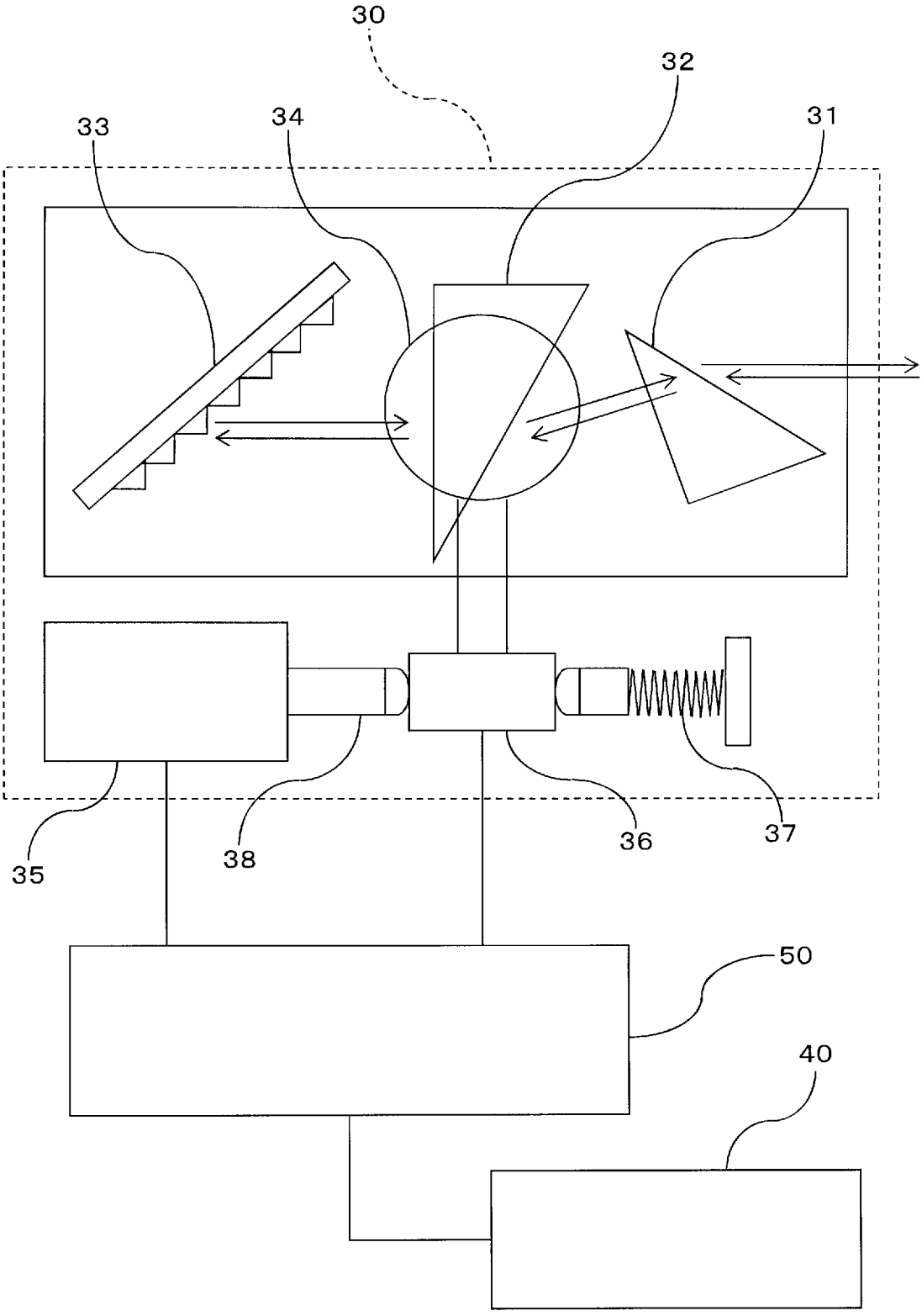

一枚のウェハ
についての露光
1つの矩形領域
についての露光
一枚のウェハ
についての露光
1つの矩形領域
についての露光
時間


先頭パルス
1つのパルス
1つの矩形領域
についての露光
最終パルス
休止
休止
時間

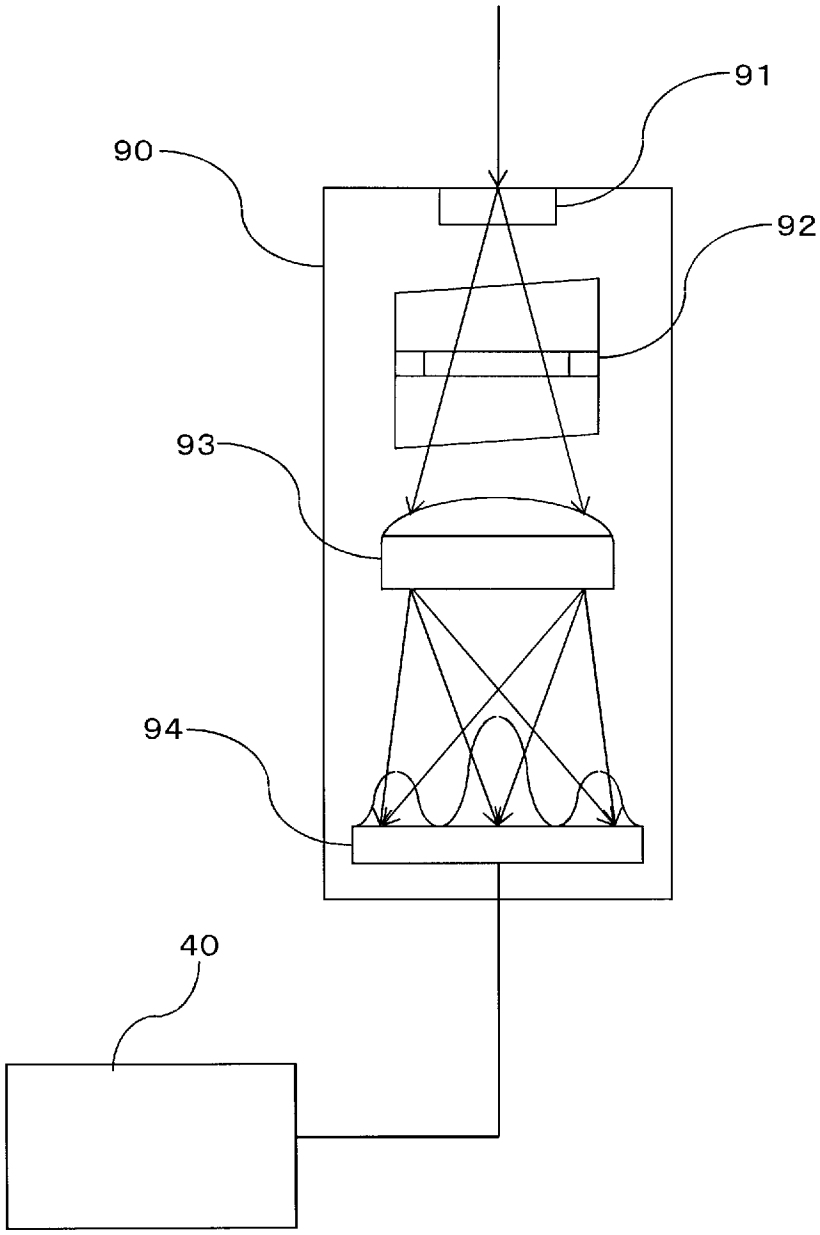
[図3]



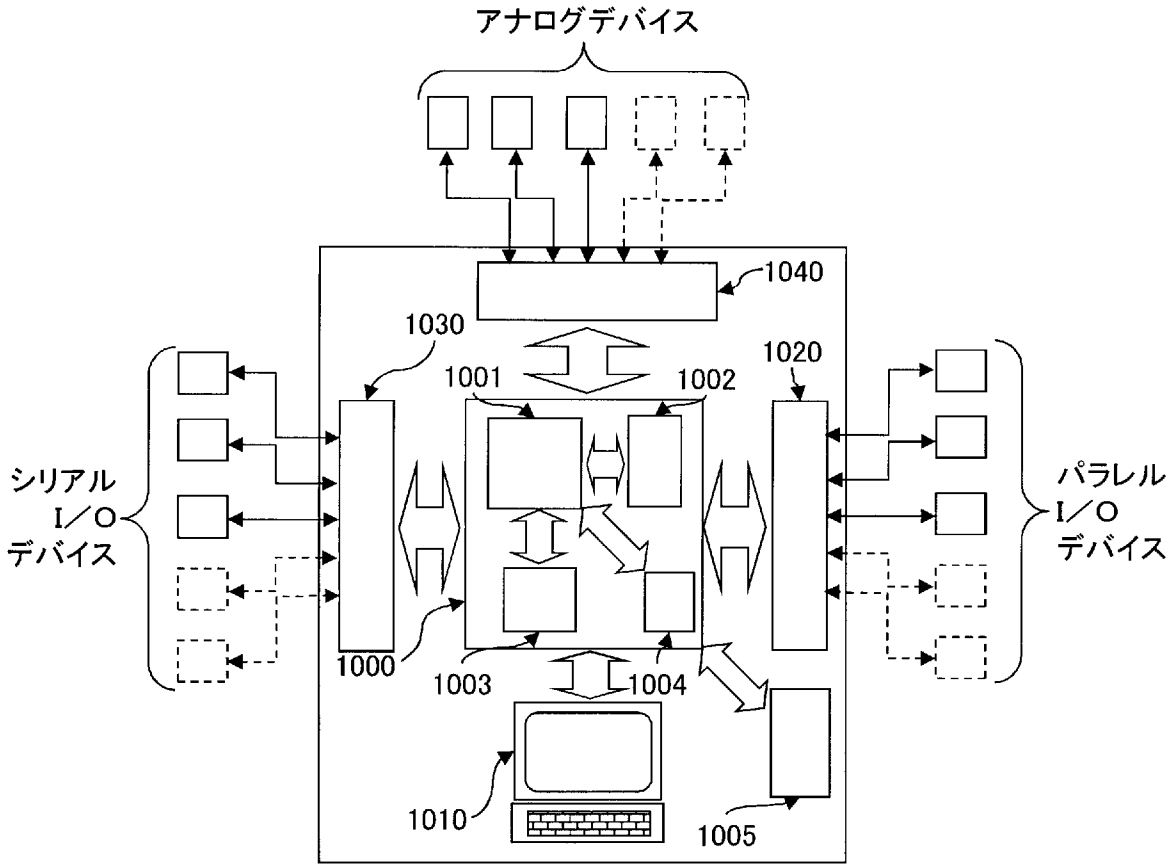
[図4]



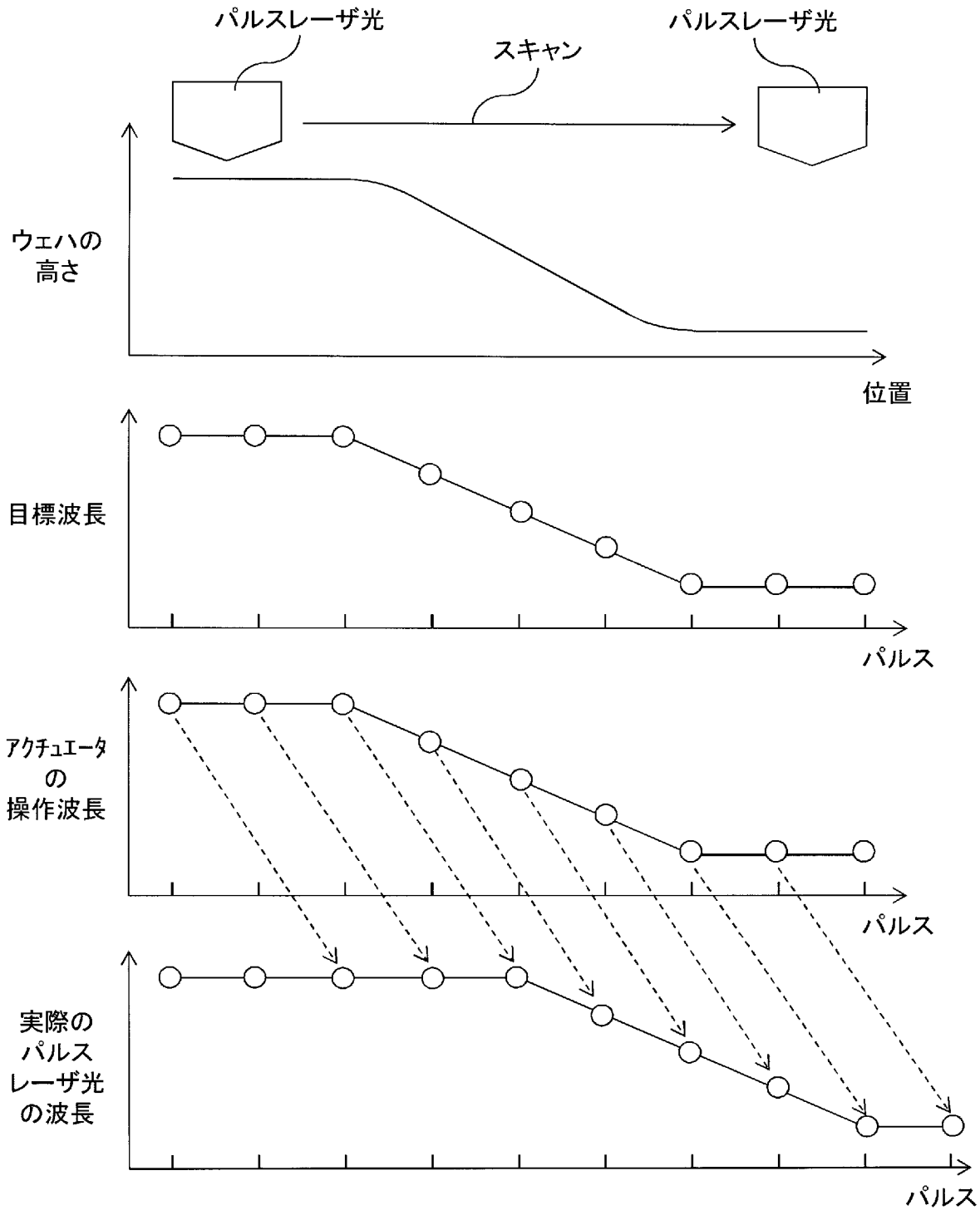
[図5]



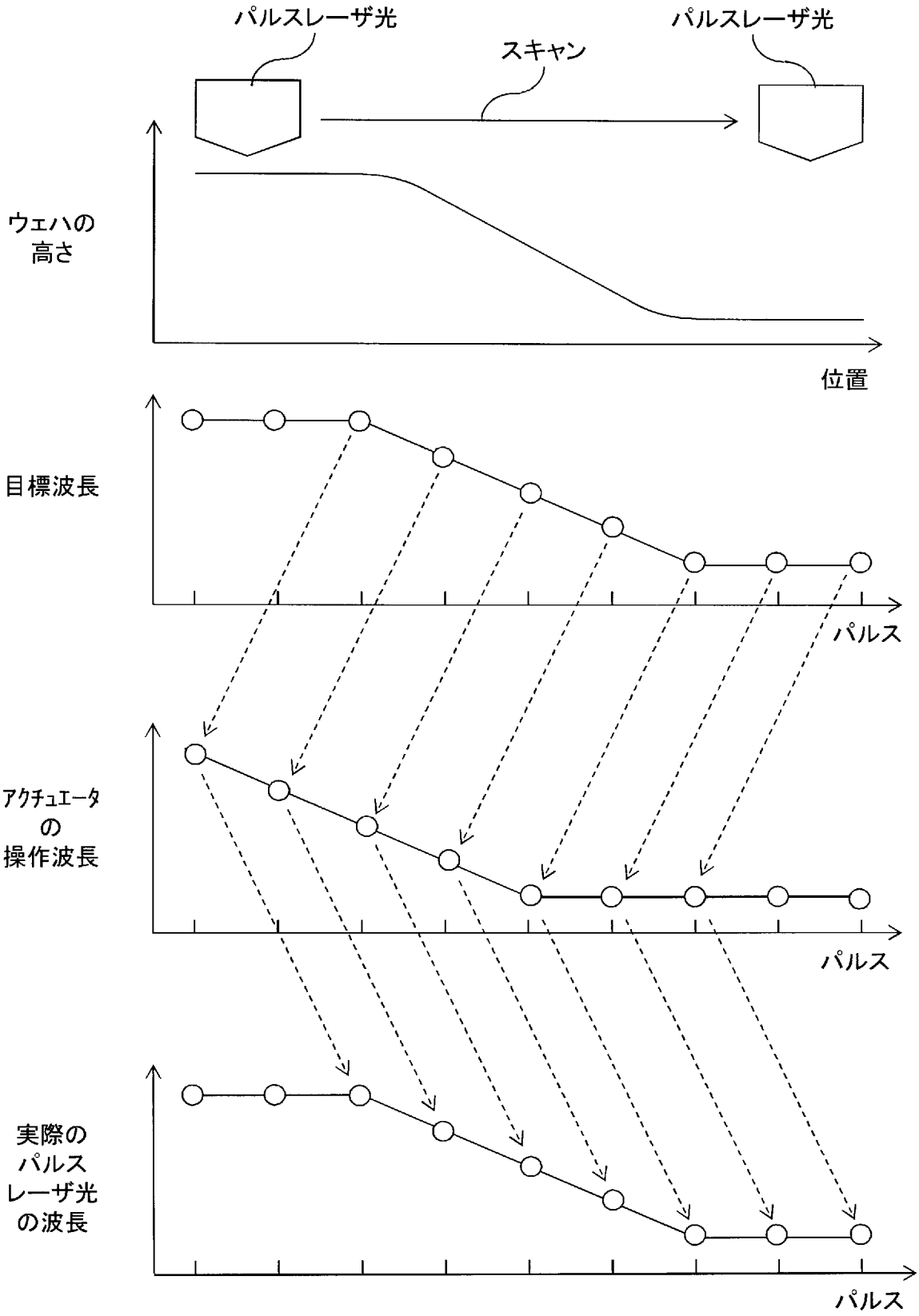
[図6]


アナログデバイス
1040
1030
1001
1002
1020
シリアル
I／O
デバイス
パラレル
I／O
デバイス
1000
1003
1004
1010
1005

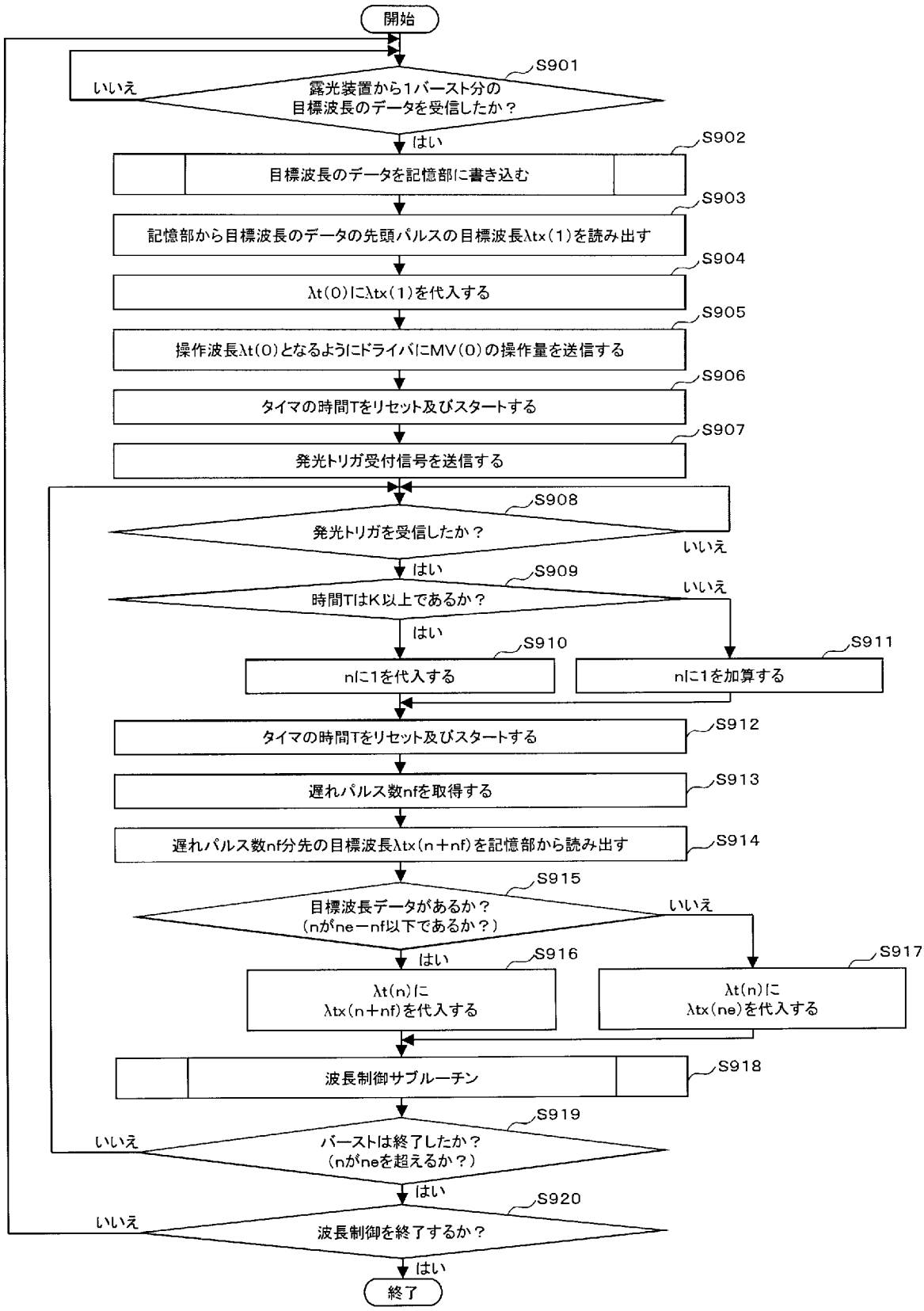
[図7]


パルスレーザ光
スキャン
パルスレーザ光
ウェハの
高さ
位置
目標波長
パルス
アクチュエータ
の
操作波長
パルス
実際の
パルス
レーザ光
の波長
パルス

[図8]


パルスレーザ光
スキャン
パルスレーザ光
ウェハの
高さ
位置
目標波長
パルス
ｱｸﾁｭｴｰﾀ
の
操作波長
パルス
実際の
パルス
レーザ光
の波長
パルス

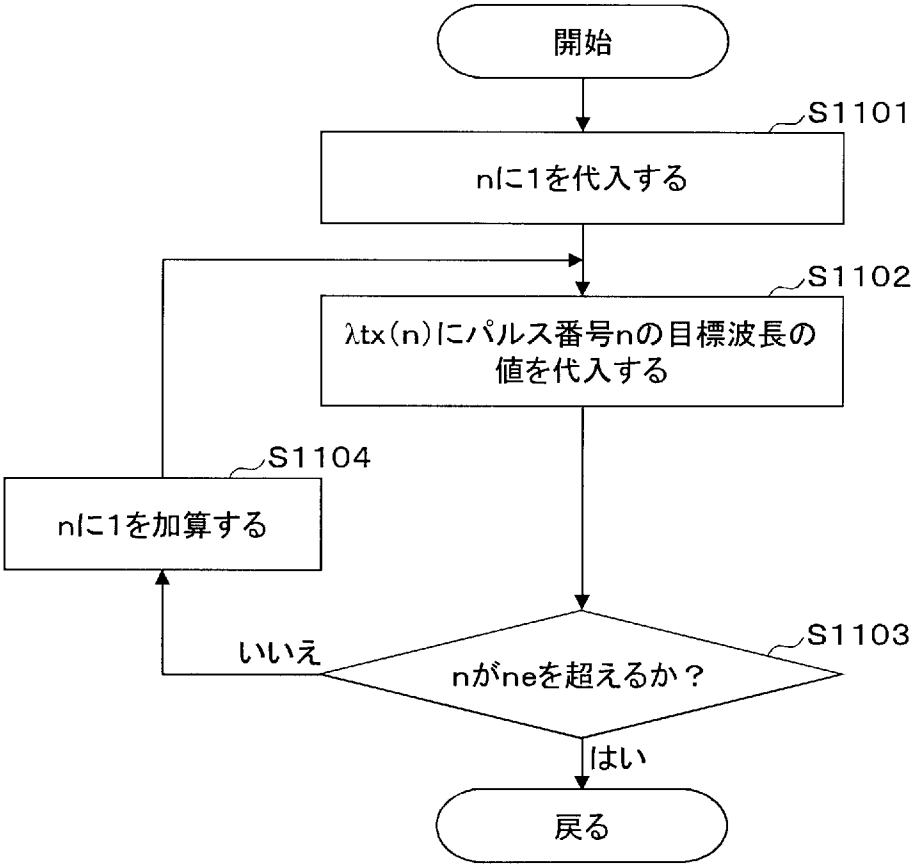
[図9]


開始
S901
露光装置から1バースト分の目標波長のデータを受信したか？
いいえ
はい
S902
目標波長のデータを記憶部に書き込む
S903
記憶部から目標波長のデータの先頭パルスの目標波長λtx(1)を読み出す
S904
λt(0)にλtx(1)を代入する
S905
操作波長λt(0)となるようにドライバにMV(0)の操作量を送信する
S906
タイマの時間Tをリセット及びスタートする
S907
発光トリガ受付信号を送信する
S908
発光トリガを受信したか？
いいえ
はい
S909
時間TはK以上であるか？
いいえ
はい
S910
nに1を代入する
S911
nに1を加算する
S912
タイマの時間Tをリセット及びスタートする
S913
遅れパルス数nfを取得する
S914
遅れパルス数nf分先の目標波長λtx(n+nf)を記憶部から読み出す
S915
目標波長データがあるか？
(nがne−nf以下であるか？)
いいえ
はい
S916
λt(n)に
λtx(n+nf)を代入する
S917
λt(n)に
λtx(ne)を代入する
S918
波長制御サブルーチン
S919
バーストは終了したか？
(nがneを超えるか？)
いいえ
はい
S920
波長制御を終了するか？
いいえ
はい
終了

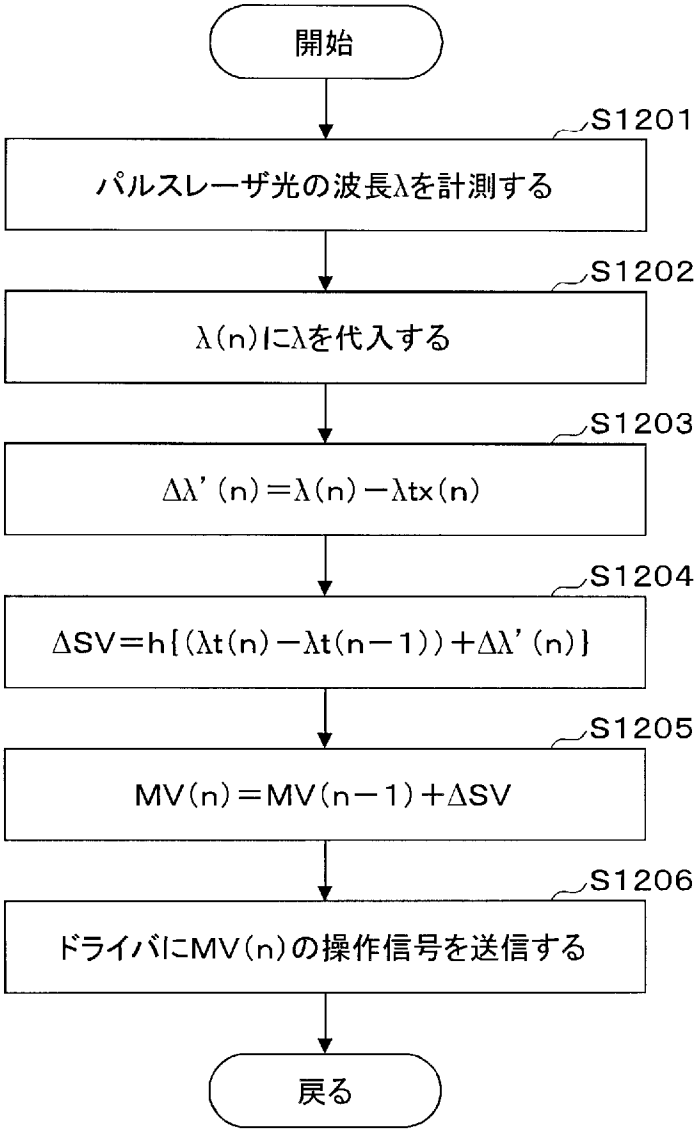
[図10]

パルス番号	目標波長λtx
#1	λtx(1)
#2	λtx(2)
#3	λtx(3)
・	・
・	・
・	・
・	・
・	・
・	・
#n	λtx(n)
・	・
・	・
・	・
・	・
・	・
・	・
#ne	λt(ne)

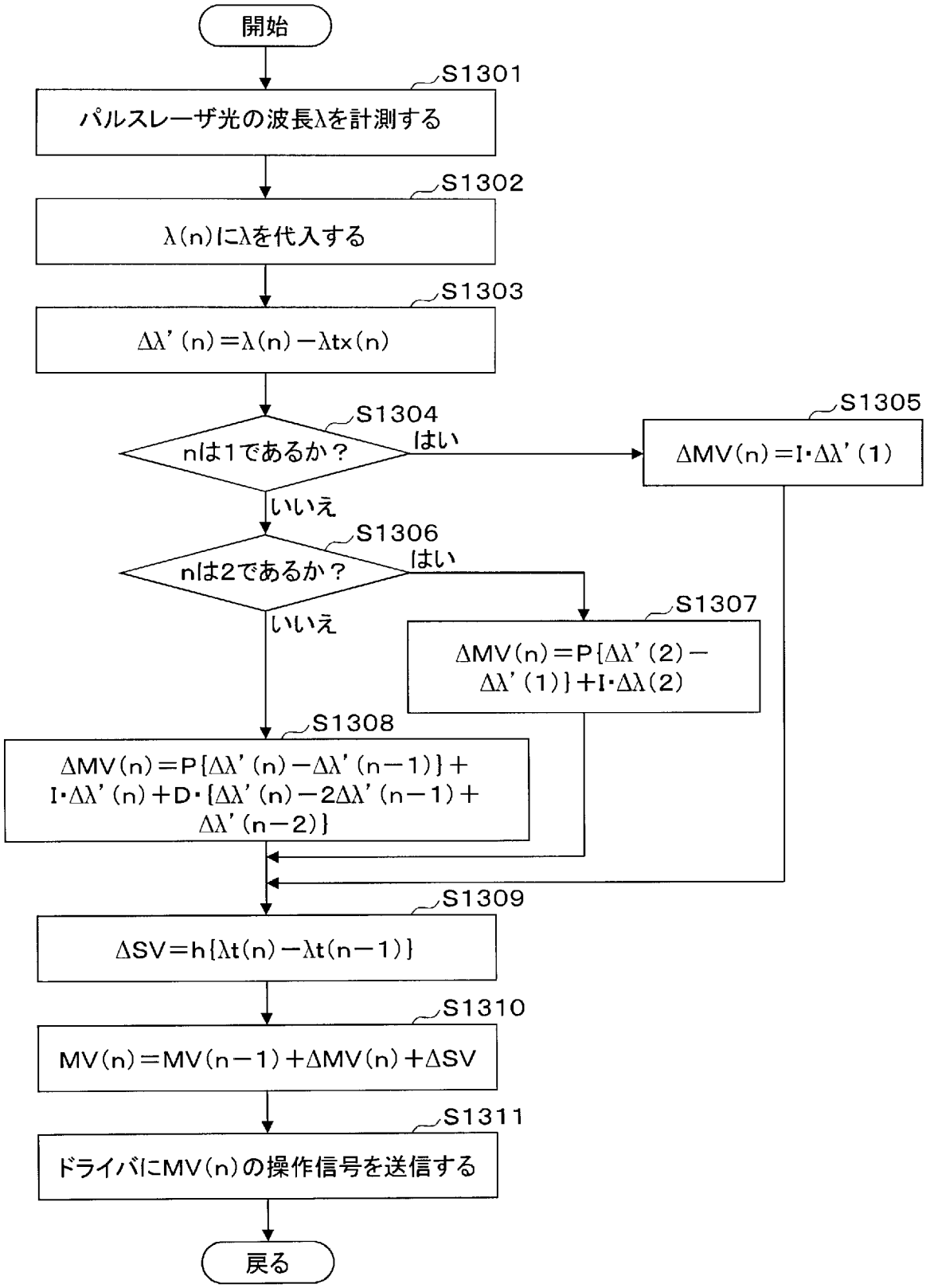
[図11]


開始
S1101
nに1を代入する
S1102
λtx(n)にパルス番号nの目標波長の値を代入する
S1104
nに1を加算する
いいえ
S1103
nがneを超えるか？
はい
戻る

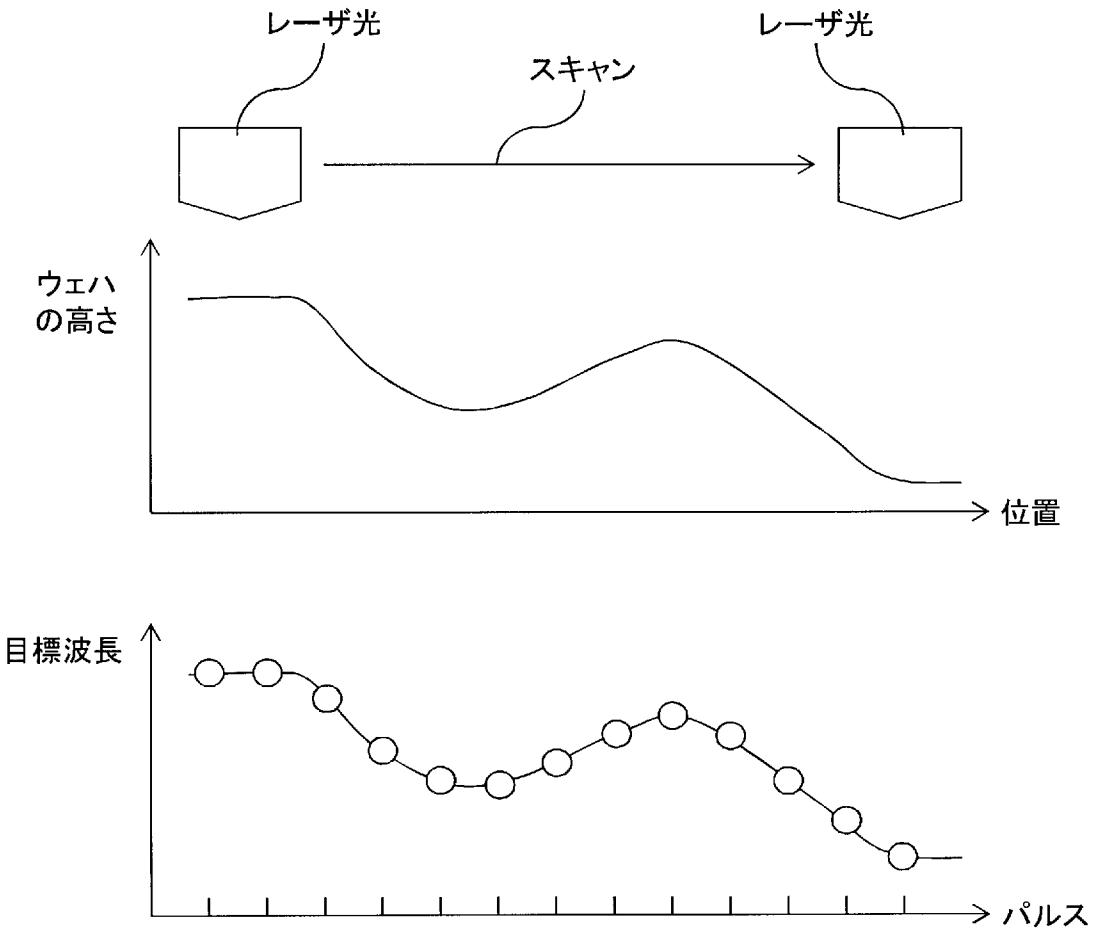
[図12]


開始
S1201
パルスレーザ光の波長λを計測する
S1202
λ(n)にλを代入する
S1203
Δλ'(n)=λ(n)−λtx(n)
S1204
ΔSV=h{(λt(n)−λt(n−1))+Δλ'(n)}
S1205
MV(n)=MV(n−1)+ΔSV
S1206
ドライバにMV(n)の操作信号を送信する
戻る

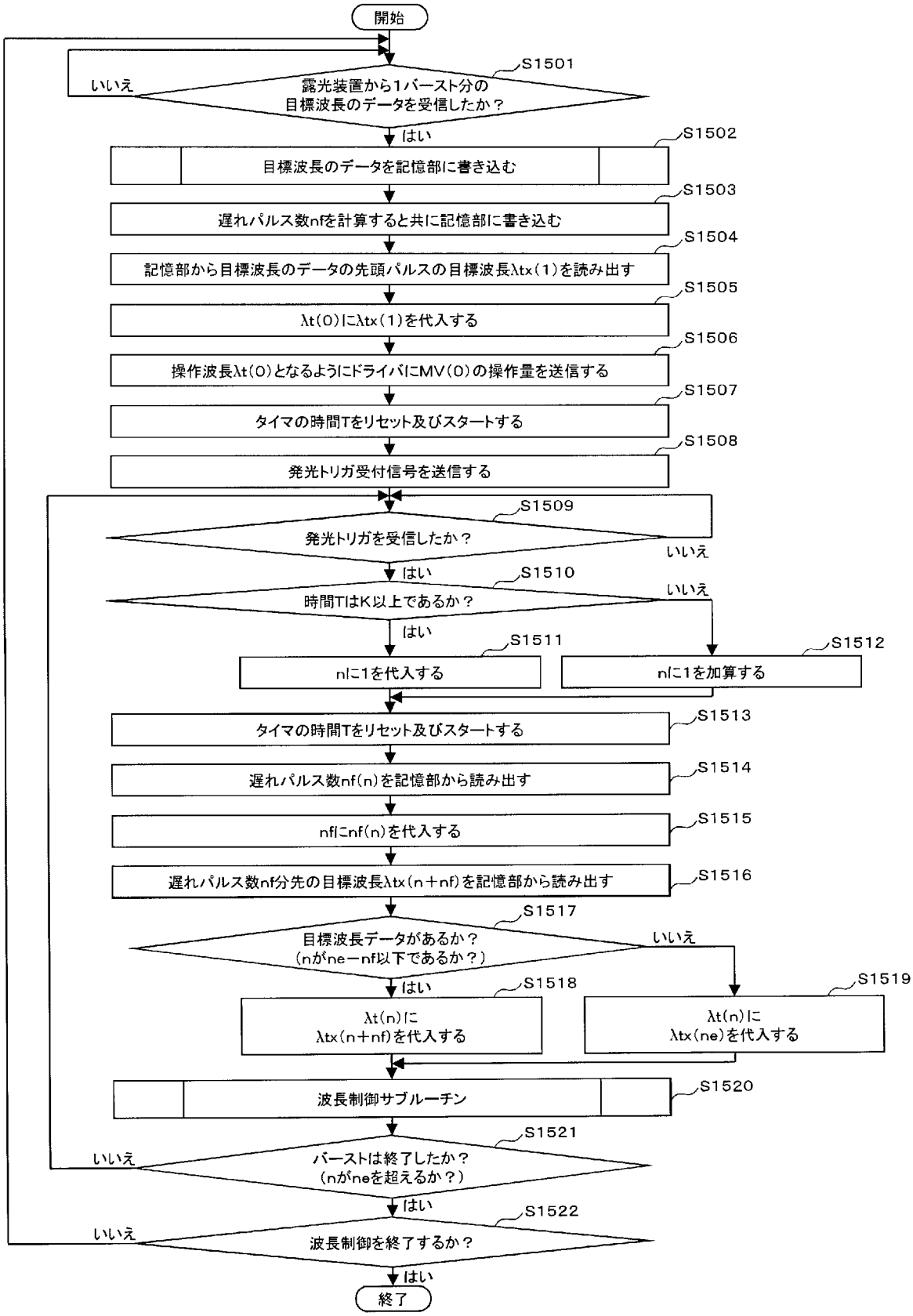
[図13]


開始
S1301
パルスレーザ光の波長λを計測する
S1302
λ(n)にλを代入する
S1303
Δλ'(n)=λ(n)−λtx(n)
S1304
nは1であるか？
はい
S1305
ΔMV(n)=I・Δλ'(1)
いいえ
S1306
nは2であるか？
はい
S1307
ΔMV(n)=P[Δλ'(2)−
Δλ'(1)]+I・Δλ(2)
いいえ
S1308
ΔMV(n)=P{Δλ'(n)−Δλ'(n−1)}+
I・Δλ'(n)+D・[Δλ'(n)−2Δλ'(n−1)+
Δλ'(n−2)]
S1309
ΔSV=h{λt(n)−λt(n−1)}
S1310
MV(n)=MV(n−1)+ΔMV(n)+ΔSV
S1311
ドライバにMV(n)の操作信号を送信する
戻る

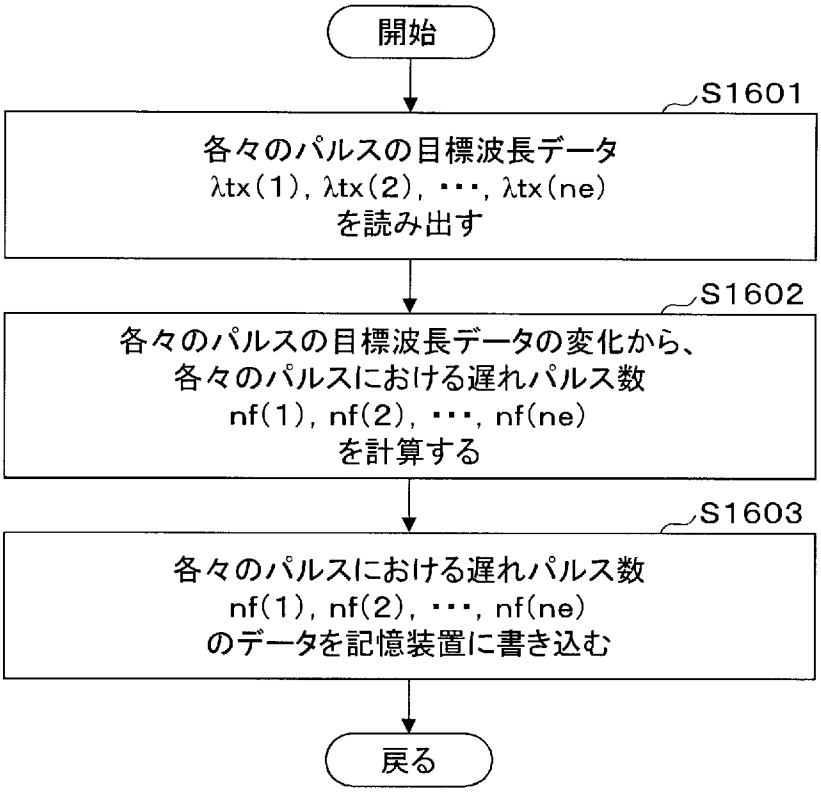
[図14]



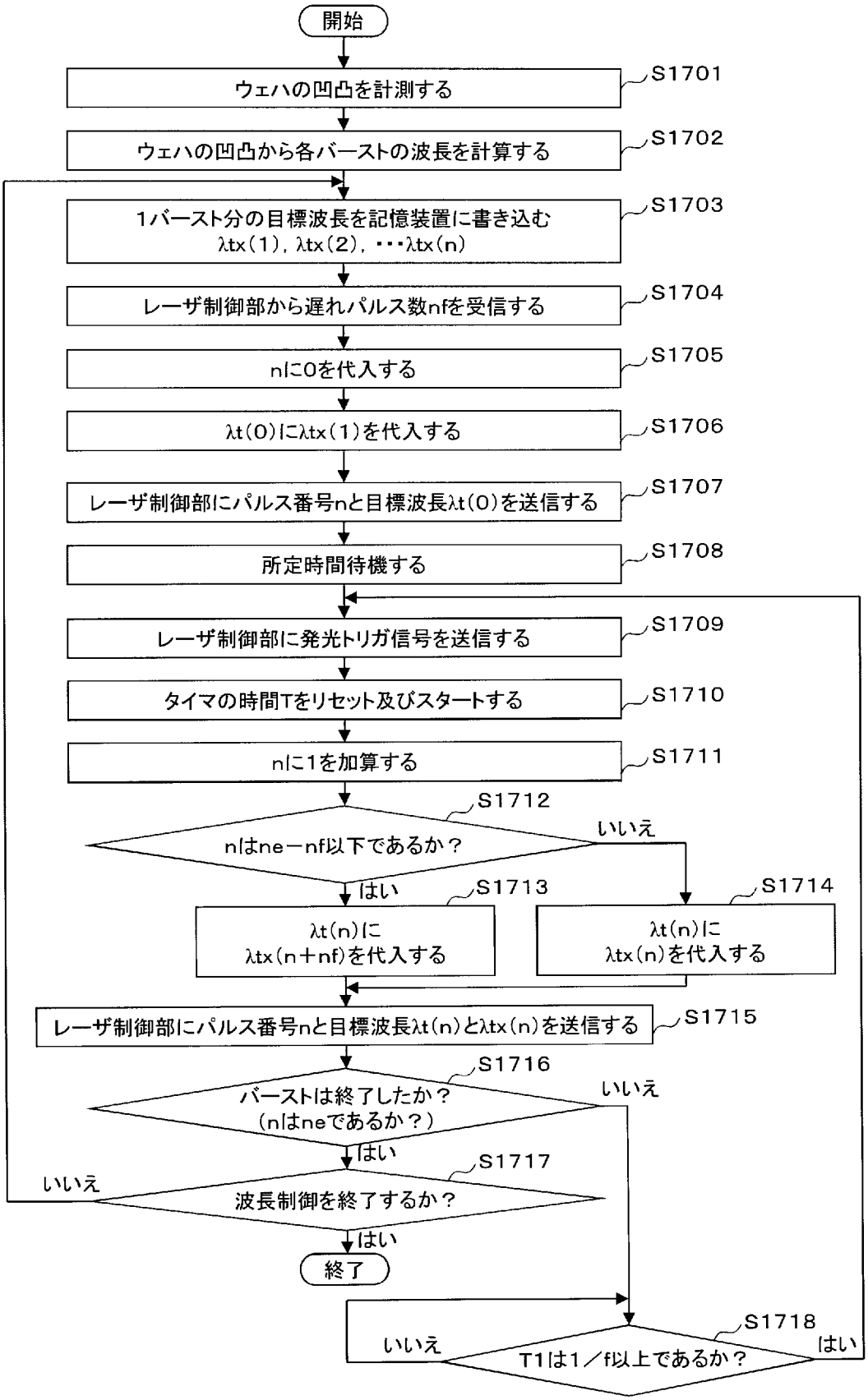
[図15]


開始
S1501
露光装置から1バースト分の目標波長のデータを受信したか？
いいえ
はい
S1502
目標波長のデータを記憶部に書き込む
S1503
遅れパルス数nfを計算すると共に記憶部に書き込む
S1504
記憶部から目標波長のデータの先頭パルスの目標波長λtx(1)を読み出す
S1505
λt(0)にλtx(1)を代入する
S1506
操作波長λt(0)となるようにドライバにMV(0)の操作量を送信する
S1507
タイマの時間Tをリセット及びスタートする
S1508
発光トリガ受付信号を送信する
S1509
発光トリガを受信したか？
いいえ
はい
S1510
時間TはK以上であるか？
いいえ
はい
S1511
nに1を代入する
S1512
nに1を加算する
S1513
タイマの時間Tをリセット及びスタートする
S1514
遅れパルス数nf(n)を記憶部から読み出す
S1515
nfにnf(n)を代入する
S1516
遅れパルス数nf分先の目標波長λtx(n+nf)を記憶部から読み出す
S1517
目標波長データがあるか？
(nがne−nf以下であるか？)
いいえ
はい
S1518
λt(n)に
λtx(n+nf)を代入する
S1519
λt(n)に
λtx(ne)を代入する
S1520
波長制御サブルーチン
S1521
バーストは終了したか？
(nがneを超えるか？)
いいえ
はい
S1522
波長制御を終了するか？
いいえ
はい
終了

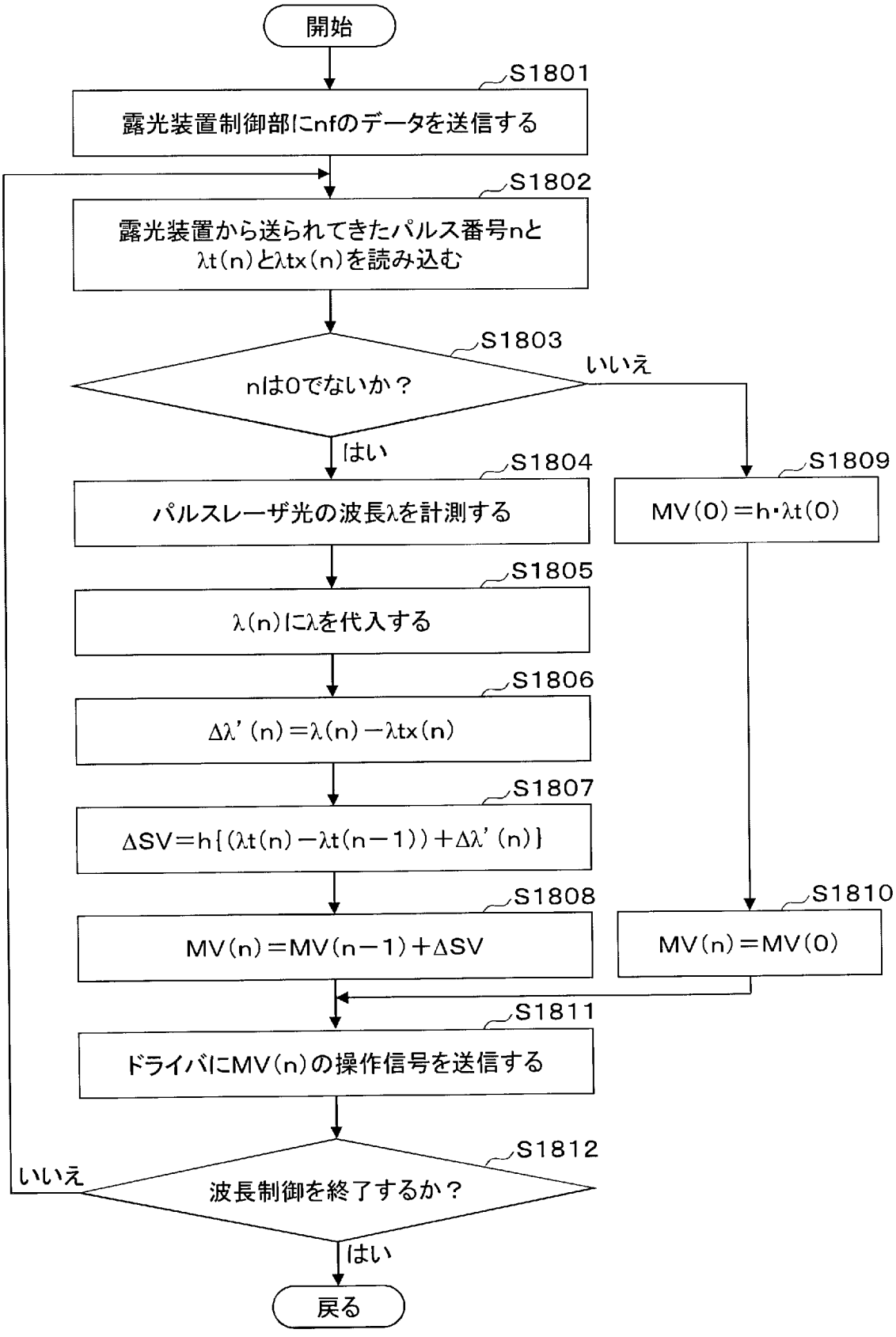
[図16]


開始
S1601
各々のパルスの目標波長データ
λtx(1), λtx(2), ・・・, λtx(ne)
を読み出す
S1602
各々のパルスの目標波長データの変化から、
各々のパルスにおける遅れパルス数
nf(1), nf(2), ・・・, nf(ne)
を計算する
S1603
各々のパルスにおける遅れパルス数
nf(1), nf(2), ・・・, nf(ne)
のデータを記憶装置に書き込む
戻る

[図17]


開始
ウェハの凹凸を計測する
S1701
ウェハの凹凸から各バーストの波長を計算する
S1702
1バースト分の目標波長を記憶装置に書き込む
λtx(1), λtx(2), ・・・λtx(n)
S1703
レーザ制御部から遅れパルス数nfを受信する
S1704
nに0を代入する
S1705
λt(0)にλtx(1)を代入する
S1706
レーザ制御部にパルス番号nと目標波長λt(0)を送信する
S1707
所定時間待機する
S1708
レーザ制御部に発光トリガ信号を送信する
S1709
タイマの時間Tをリセット及びスタートする
S1710
nに1を加算する
S1711
S1712
nはne－nf以下であるか？
いいえ
はい
S1713
λt(n)に
λtx(n＋nf)を代入する
S1714
λt(n)に
λtx(n)を代入する
レーザ制御部にパルス番号nと目標波長λt(n)とλtx(n)を送信する
S1715
S1716
バーストは終了したか？
(nはneであるか？)
いいえ
はい
S1717
いいえ
波長制御を終了するか？
はい
終了
S1718
いいえ
T1は1／f以上であるか？
はい

[図18]


開始
S1801
露光装置制御部にnfのデータを送信する
S1802
露光装置から送られてきたパルス番号nと
λt(n)とλtx(n)を読み込む
S1803
nは0でないか？
いいえ
はい
S1804
パルスレーザ光の波長λを計測する
S1805
λ(n)にλを代入する
S1806
Δλ'(n)=λ(n)−λtx(n)
S1807
ΔSV=h[(λt(n)−λt(n−1))+Δλ'(n)]
S1808
MV(n)=MV(n−1)+ΔSV
S1809
MV(0)=h・λt(0)
S1810
MV(n)=MV(0)
S1811
ドライバにMV(n)の操作信号を送信する
S1812
波長制御を終了するか？
いいえ
はい
戻る

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/063881

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01S3/137(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)
H01S3/10-3/139, G02F1/35-1/39

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus/JST7580(JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2007-12805 A (Komatsu Ltd., Ushio Inc.), 18 January 2007 (18.01.2007), paragraphs [0081] to [0090]; fig. 10, 11 & US 2007/0014326 A1	1-6
X	JP 2003-51633 A (Gigaphoton Inc.), 21 February 2003 (21.02.2003), paragraphs [0034] to [0039]; fig. 1, 5, 6 (Family: none)	1-6

☐ 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	Date of mailing of the international search report
08 July, 2014 (08.07.14)	29 July, 2014 (29.07.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１４／０６３８８１

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01S3/137(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01S3/10-3/139, G02F1/35-1/39

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１４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）

JSTPlus/JST7580(JDreamⅢ)

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2007-12805 A (株式会社小松製作所、ウシオ電機株式会社) 2007.01.18, 段落【0081】-【0090】, 図 10,11 & US 2007/0014326 A1	1-6
X	JP 2003-51633 A (ギガフォトン株式会社) 2003.02.21, 段落【0034】-【0039】, 図 1,5,6 (ファミリーなし)	1-6

☐　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	国際調査報告の発送日
０８．０７．２０１４	２９．０７．２０１４

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｘ　４０８５
林　祥恵
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９４