

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4235480号
(P4235480)

(45) 発行日 平成21年3月11日(2009.3.11)

(24) 登録日 平成20年12月19日(2008.12.19)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006.01)

G O 3 F 7/20 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 1 6 F

H O 1 L 21/30 5 3 1 A

H O 1 L 21/30 5 1 7

H O 1 L 21/30 5 1 5 D

G O 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 9 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2003-107771 (P2003-107771)
 (22) 出願日 平成15年4月11日(2003.4.11)
 (65) 公開番号 特開2004-153231 (P2004-153231A)
 (43) 公開日 平成16年5月27日(2004.5.27)
 審査請求日 平成18年4月11日(2006.4.11)
 (31) 優先権主張番号 特願2002-258087 (P2002-258087)
 (32) 優先日 平成14年9月3日(2002.9.3)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

前置審査

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100110412
 弁理士 藤元 亮輔
 (72) 発明者 伊藤 潤
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 (72) 発明者 三宅 明
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 (72) 発明者 大串 信明
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 差動排気システム及び露光装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

極紫外光を発生するパルス光源を含む第1の真空チャンバと、光学素子を含む第2の真空チャンバとを有し、前記光源からのパルス光を用い、前記光学素子を介して基板を露光する露光装置であって、

前記第1の真空チャンバと前記第2の真空チャンバとを接続し且つ前記第1の真空チャンバに設けられた第1の開口部から前記第2の真空チャンバに設けられた第2の開口部へ前記パルス光を通過させる導管部と、

前記パルス光を通過させる第3の開口部を有し、前記パルス光に同期して回転し、前記導管部に配置された回転体と、

前記第1の真空チャンバ内の圧力より前記第2の真空チャンバ内の圧力が低くなるように前記第1の真空チャンバおよび前記第2の真空チャンバを排気する排気手段と、を有し、

前記第1の真空チャンバは、前記第1の開口部と前記第3の開口部と前記第2の開口部とを前記パルス光が通過するように前記パルス光を集光して前記導管部内に集光点を形成する集光ミラーを含む、ことを特徴とする露光装置。

【請求項 2】

前記回転体への前記パルス光の入射を防止するシャッタを有することを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

【請求項 3】

前記導管部の雰囲気気を排気する排気手段を有することを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

【請求項 4】

前記回転体は、その回転量を検出するためのパターンを有することを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

【請求項 5】

極紫外光を発生するパルス光源を含む第 1 の真空チャンバと、光学素子を含む第 2 の真空チャンバとを有し、前記光源からのパルス光を用い、前記光学素子を介して基板を露光する露光装置であって、

前記第 1 の真空チャンバと前記第 2 の真空チャンバとを接続し且つ前記第 1 の真空チャンバに設けられた第 1 の開口部から前記第 2 の真空チャンバに設けられた第 2 の開口部へ前記パルス光を通過させる導管部と、

前記導管部内に配置されて前記第 2 の真空チャンバから前記第 1 の真空チャンバへの排気を行うポンプであって、前記パルス光を通過させる第 3 の開口部を有し且つ前記パルス光に同期して回転する回転翼と、前記パルス光を通過させる第 4 の開口部を有する固定翼とを含むポンプと、

前記第 1 の真空チャンバの圧力より前記第 2 の真空チャンバ内の圧力が低くなるように前記第 1 の真空チャンバおよび前記第 2 の真空チャンバを排気する排気手段と、を有し、

前記第 1 の真空チャンバは、前記第 1 の開口部と前記第 3 の開口部と前記第 4 の開口部と前記第 2 の開口部とを前記パルス光が通過するように前記パルス光を集光して前記導管部内に集光点を形成する集光ミラーを含む、ことを特徴とする露光装置。

【請求項 6】

前記集光ミラーによる集光点は、前記導管部の中央よりも前記第 1 の真空チャンバに近い側に位置することを特徴とする請求項 5 に記載の露光装置。

【請求項 7】

原版を照明する照明光学系を有し、前記光学素子は、前記照明光学系に含まれることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の露光装置。

【請求項 8】

前記照明光学系により照明された前記原版のパターンを前記基板に投影する投影光学系を有することを特徴とする請求項 7 に記載の露光装置。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の露光装置を用いて基板を露光するステップと、

前記ステップで露光された基板を現像するステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体基板、液晶ディスプレイ (LCD) 用のガラス基板などの基板を露光する露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

フォトリソグラフィ (焼き付け) 技術を用いて半導体メモリや論理回路などの微細な半導体素子を製造する際に、レチクル又はマスク (本出願ではこれらの用語を交換可能に使用する。) に描画された回路パターンを投影光学系によってウェハ等に投影して回路パターンを転写する縮小投影露光装置が従来から使用されている。

【0003】

縮小投影露光装置で転写できる最小の寸法 (解像度) は、露光に用いる光の波長に比例し、投影光学系の開口数 (NA) に反比例する。従って、波長を短くすればするほど、解像度はよくなる。このため、近年の半導体素子の微細化への要求に伴い露光光の短波長化が進められ、超高圧水銀ランプ (i 線 (波長約 365 nm))、KrF エキシマレーザー (

10

20

30

40

50

波長約248nm)、ArFエキシマレーザー(波長約193nm)と用いられる紫外線光の波長は短くなってきた。

【0004】

しかし、半導体素子は急速に微細化しており、紫外線光を用いたリソグラフィでは限界がある。そこで、0.1μm以下の非常に微細な回路パターンを効率よく転写するために、紫外線光よりも更に波長が短い、波長10nm乃至15nm程度のEUV(extreme ultraviolet; 極紫外)光を用いた縮小投影露光装置(以下、「EUV露光装置」と称する。)が開発されている。

【0005】

EUV光源としては、例えば、レーザープラズマ光源が用いられる。これは、真空チャンバ内に置かれたターゲット材に高強度のパルスレーザー光を照射し、高温のプラズマを発生させ、これから放射される、例えば、波長13nm程度のEUV光を利用するものである。ターゲット材としては、キセノン(Xe)のガス、液滴、クラスタなどや、銅、すず、アルミニウム等の金属薄膜などが用いられ、ガスジェット等の手段で真空チャンバ内に供給される。

【0006】

しかし、EUV光源の一方式であるレーザープラズマは、ターゲット材に高強度のパルスレーザー光を照射することでターゲット材からEUV光を発生するが、それとともにデブリと呼ばれる飛散粒子を発生してしまい、それが光学素子を汚染、損傷し、反射率の低下を引き起こしてしまう。そこで、ターゲット材の周りに多孔質材料から構成されるホイルトラップを設けると共に、ヘリウム(He)ガス等の不活性ガスをバッファガスとして流してデブリの影響を緩和する方法が従来から提案されている。

【0007】

ターゲット材が含まれる発光部では、ターゲット材であるキセノンガスに加えてヘリウムガスが常に不可欠となるため、真空ポンプで排気しているものの真空チャンバ内の圧力は10Pa程度になると考えられる。一方、発光部より後段では、光学素子の反射率等の性能を維持するために、なるべく清浄な雰囲気、好ましくは、 10^{-7} Pa程度の真空度を維持する必要がある。EUV光は、大気に対する透過率が低く、残留ガス(高分子有機ガスなど)成分との反応により光学素子にコンタミを生成してしまうためである。

【0008】

それに対し、発光部と発光部より後段の光学素子との間に設置した薄膜窓を用いて差動排気をするシステムが既に提案されている(例えば、特許文献1乃至3)。また、パルス光源の露光量制御は、従来から幾つか提案されている(例えば、特許文献4及び5)

【特許文献1】

特開平5-82417号公報

【特許文献2】

特開平7-263322号公報

【特許文献3】

特開平2-156200号公報

【特許文献4】

特開平7-74092号公報

【特許文献5】

特開平8-179514号公報

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、EUV光の波長領域においては、透過率の高い自立したフィルター材料は製造が困難であると同時に取り扱いが難しい。そこで、図23に示すように、発光部が収められた光源チャンバ1110と光学素子1500が収められた照明系チャンバ1120との間を導管(オリフィス)1900で接続し、かかる導管1900を用いて差動排気を行う方法が考えられる。ここで、図23は、レーザープラズマ光源を用いたEUV光源1000

10

20

30

40

50

を示す概略構成図である。

【0010】

しかしながら、導管を用いた差動排気によって光源チャンバ1110と照明系チャンバ1120との間に生じる圧力差は 10^{-2} Pa程度であるため、上述したように、光源チャンバ1110内の圧力が10 Pa程度であることを考えると、照明系チャンバ1120内の圧力は 10^{-1} Pa程度にしかならず、光学素子1500の反射率等の性能を維持することができない。

【0011】

また、光源チャンバ1110と照明系チャンバ1120との間に所望の圧力差を得るために、光源チャンバ1110と照明系チャンバ1120を接続する導管1900を細長くすることとも考えられる。一方、EUV光1400の利用効率を高めるためには、ターゲット材から発生したEUV光を、例えば、回転楕円面の集光ミラー1600でなるべく多く、例えば、ステラジアン程度に取り込む必要がある。そこで、取り込み角を大きくすると、導管1900を細長くすることが困難となり、所望の圧力差を得ることができない。

【0012】

なお、照明系チャンバ内の圧力を 10^{-7} Pa程度の真空度に維持したいという要求は、レーザープラズマ方式のみならず、電極にキセノン等のガスを流して放電させることでプラズマを生成し、EUV光を発生させるディスチャージ方式に関しても共通である。

【0013】

また、特許文献3にあるように、放射光のビームラインに直列にターボポンプを設け、ターボポンプの固定翼と回転翼に光を通す開口部を設けると、高い周波数で発光しているパルス光を効率よく取り出すことは困難である

このように、EUV光の利用効率を高めると共に、差動排気で所望の圧力差を得ることは非常に難しい課題である。

【0014】

そこで、本発明は、極紫外パルス光の高い利用効率と光学素子の性能維持とを両立した露光装置を提供することを例示的目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】

本発明の一側面としての露光装置は、極紫外光を発生するパルス光源を含む第1の真空チャンバと、光学素子を含む第2の真空チャンバとを有し、前記光源からのパルス光を用い、前記光学素子を介して基板を露光する露光装置であって、前記第1の真空チャンバと前記第2の真空チャンバとを接続し且つ前記第1の真空チャンバに設けられた第1の開口部から前記第2の真空チャンバに設けられた第2の開口部へ前記パルス光を通過させる導管部と、前記パルス光を通過させる第3の開口部を有し、前記パルス光に同期して回転し、前記導管部に配置された回転体と、前記第1の真空チャンバ内の圧力より前記第2の真空チャンバ内の圧力が低くなるように前記第1の真空チャンバおよび前記第2の真空チャンバを排気する排気手段と、を有し、前記第1の真空チャンバは、前記第1の開口部と前記第3の開口部と前記第2の開口部とを前記パルス光が通過するように前記パルス光を集光して前記導管部に集光点を形成する集光ミラーを含む、ことを特徴とする。

また、本発明の別の側面としての露光装置は、極紫外光を発生するパルス光源を含む第1の真空チャンバと、光学素子を含む第2の真空チャンバとを有し、前記光源からのパルス光を用い、前記光学素子を介して基板を露光する露光装置であって、前記第1の真空チャンバと前記第2の真空チャンバとを接続し且つ前記第1の真空チャンバに設けられた第1の開口部から前記第2の真空チャンバに設けられた第2の開口部へ前記パルス光を通過させる導管部と、前記導管部に配置されて前記第2の真空チャンバから前記第1の真空チャンバへの排気を行うポンプであって、前記パルス光を通過させる第3の開口部を有し且つ前記パルス光に同期して回転する回転翼と、前記パルス光を通過させる第4の開口部を有する固定翼とを含むポンプと、前記第1の真空チャンバの圧力より前記第2の真空チャンバ内の圧力が低くなるように前記第1の真空チャンバおよび前記第2の真空チャンバ

10

20

30

40

50

を排気する排気手段と、を有し、前記第 1 の真空チャンバは、前記第 1 の開口部と前記第 3 の開口部と前記第 4 の開口部と前記第 2 の開口部とを前記パルス光が通過するように前記パルス光を集光して前記導管部内に集光点を形成する集光ミラーを含む、ことを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

本発明の更なる目的又はその他の特徴は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施例によって明らかにされるであろう。

【 0 0 1 7 】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の一実施形態の差動排気システム 1 について説明する。なお、各図において同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。ここで、図 1 は、差動排気システム 1 の概略構成図である。

【 0 0 1 8 】

図 1 を参照するに、差動排気システム 1 は、パルス光を発光する光源であるプラズマ 107 を収納する光源チャンバ 100 に接続可能な照明系チャンバ 200 の圧力を光源チャンバ 100 よりも低くする。差動排気システム 1 は、プラズマ 107 から発光したパルス光である EUV 光 108 を照明系チャンバ 200 に導入する導管部 150 と、プラズマ 107 の発光時は光源チャンバ 100 と照明系チャンバ 200 とを接続し、プラズマ 107 の発光時以外は光源チャンバ 100 と照明系チャンバ 200 との接続を遮断する接続制御機構 300 が設けられている。

【 0 0 1 9 】

レーザー発生装置 101 より出射されたパルスレーザー 102 は、集光レンズ 103 により透過窓 104 を介して、ノズル 105 から供給されたターゲット 106（例えば、キセノンガス）上に集光され、プラズマ 107 を生成する。プラズマ 107 からは、EUV 光 108 が放射され、利用効率を向上させるために回転楕円面の集光ミラー 109 にて集光し、導管部 150 を介して光学素子 201 が収納された照明系チャンバ 200 に導入される。

【 0 0 2 0 】

上述したように、プラズマ 107 からは、EUV 光 108 と共にデブリ 110 と呼ばれる飛散粒子が飛び散り、周辺の集光ミラー 109 や光学素子 201 を汚染、損傷してしまうために、バッファガス供給装置 111 からヘリウムガス 112 が光源チャンバ 100 に導入され、ヘリウムガス 112 のフローによりデブリ 110 が飛散するのを軽減している。

【 0 0 2 1 】

光源チャンバ 100 には、EUV 光 108 の減衰や集光ミラー 109 の汚染、損傷を軽減するために、真空ポンプ 113 で排気しているもののターゲット 106 であるキセノンガスやバッファガスであるヘリウムガス 112 を常に供給している。従って、光源チャンバ 100 の圧力は、10 Pa 程度となる。10 Pa 程度では、集光ミラー 109 は、除々に汚染、損傷されて反射率が低下してしまうため、容易に交換できるようになっている。

【 0 0 2 2 】

一方、照明系チャンバ 200 に収納されている光学素子 201 は、交換しなくて済むほうが好ましいので、圧力が 10^{-2} Pa 以下になるように、真空ポンプ 202 で常に排気している。しかし、差動排気で 10^{-3} Pa 以上の圧力差を設けるには、光源チャンバ 100 と照明系チャンバ 200 を接続する導管部 150 を細長くしなければ実現できない。しかし、集光ミラー 109 によって効率よく EUV 光 108 を取り込むと必然的に取り込み角は大きくならざるを得ないため、導管部 150 を細長くすることとの両立は難しい。

【 0 0 2 3 】

そこで、差動排気システム 1 は、EUV 光 108 がパルス光であることに着目して、導管部 150 に配置され、図 2 に示すような、EUV 光 108 が通過する開口部 310 a と、光源チャンバ 100 と照明系チャンバ 200 との接続を遮断する遮断部 310 b とを有し、軸 312 回りに回転を示す概略平面図である。

【 0 0 2 4 】

ディスク 3 1 0 は、光源チャンバ 1 0 0 及び照明系チャンバ 2 0 0 外に設けられたモータ 3 1 4 にて駆動される。モータ 3 1 4 としては、D C モータ、A C モータ、パルスモータ等が利用される。大気側から真空側への動力の伝達は、磁性流体シール軸受け 3 1 6 を用いて行われている。

【 0 0 2 5 】

E U V 光 1 0 8 とディスク 3 1 0 の同期は、制御部 3 2 0 が、ディスク 3 1 0 の回転状況をセンサ 3 2 2 で監視し、それと同期したトリガーをレーザー発生装置 1 0 1 に出すことで実現されている。

【 0 0 2 6 】

例えば、レーザー発生装置 1 0 1 の発光周波数が 6 k H z、ディスク 3 1 0 に開口部 3 1 0 a が 8 つある場合を考えると、ディスク 3 1 0 を、 $6000 / 8 = 750$ (r p s) = 45000 (r p m) で回転させ、レーザー発生装置 1 0 1 の発光と位相を調整することで E U V 光 1 0 8 が遮断部 3 1 0 b で蹴られることなく取り出すことができる。

【 0 0 2 7 】

図 3 は、通常の差動排気システムの設計例を示す説明図である。図 3 を参照するに、光源チャンバ 1 0 0 の圧力を p_1 (P a)、照明系チャンバ 2 0 0 の圧力を p_2 (P a) とし、光源チャンバ 1 0 0 を排気する真空ポンプ 1 1 3 の排気速度を S_1 (m^3 / s)、照明系チャンバ 2 0 0 を排気する真空ポンプ 2 0 2 の排気速度を S_2 (m^3 / s) とする。光源チャンバ 1 0 0 と照明系チャンバ 2 0 0 を接続する導管部 1 5 0 のコンダクタンスを C_{12} (m^3 / s) とする。また、光源チャンバ 1 0 0 から発生する脱ガス量を Q_1 (P a $\cdot m^3 / s$)、照明系チャンバ 2 0 0 から発生する脱ガス量を Q_2 (P a $\cdot m^3 / s$)、それぞれの真空ポンプ 1 1 3 及び 2 0 2 に排気される流量を Q_{10} (P a $\cdot m^3 / s$) 及び Q_{20} (P a $\cdot m^3 / s$) とし、導管部 1 5 0 を流れる流量を Q_{12} (P a $\cdot m^3 / s$) としたとき、これらは、以下の数式 1 乃至数式 5 で示す関係を満たす。

【 0 0 2 8 】

【数 1】

$$Q_1 + Q_2 = Q_{10} + Q_{20}$$

【数 2】

$$Q_{20} = Q_{12} + Q_2$$

【数 3】

$$Q_{10} = S_1 \cdot p_1$$

【数 4】

$$Q_{20} = S_2 \cdot p_2$$

【数 5】

$$Q_{12} = C_{12} \cdot (p_1 - p_2)$$

数式 1 乃至数式 5 から、 Q_{10} 、 Q_{20} 、 Q_{12} を消去して、 $Q_1 \gg Q_2$ 、 S_1 及び $S_2 \gg C_{12}$ として簡略化し、 p_1 及び p_2 に関して整理すると、以下の数式 6 及び数式 7 となる。

【0029】

10

【数 6】

$$p_1 = (C_{12} \cdot Q_1 + S_2 \cdot Q_1 + C_{12} \cdot Q_2) / (C_{12} \cdot S_1 + C_{12} \cdot S_2 + S_1 \cdot S_2)$$

$$\approx Q_1 / S_1$$

【数 7】

$$p_2 = (C_{12} \cdot Q_1 + C_{12} \cdot Q_2 + S_1 \cdot Q_2) / (C_{12} \cdot S_1 + C_{12} \cdot S_2 + S_1 \cdot S_2)$$

$$\approx (C_{12} \cdot Q_1 + S_1 \cdot Q_2) / (S_1 \cdot S_2)$$

ここで、圧力 $p_1 = 10 \text{ (Pa)}$ 、排気速度 $S_1 = S_2 = 1 \text{ (m}^3/\text{s)} (1000 \text{ 1/s)}$ 、脱ガス量 $Q_1 = 10 \text{ (Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s)}$ 、 $Q_2 = 10^{-5} \text{ (Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s)}$ としたとき、 $p_1 / p_2 = 1000$ となるためには、数式 7 において、 $p_2 = 10 \cdot C_{12} + 10^{-5} = 10^{-2} \text{ (Pa)}$ であることが必要で、以下の数式 8 となる。

20

【0030】

【数 8】

$$C_{12} \leq 10^{-3}$$

つまり、導管部 150 のコンダクタンスは、照明系チャンバ 200 に接続された真空ポンプ 202 の排気速度の $1 / 1000$ 以下である必要がある。導管部 150 の半径を $a \text{ (m)}$ 、長さを $L \text{ (m)}$ とすると、コンダクタンス C_{12} の簡略式は、以下の数式 9 となる。

30

【0031】

【数 9】

$$C_{12} \approx 10^3 \cdot a^3 / L$$

従って、数式 8 及び数式 9 より、導管部 150 の長さ $L \text{ (m)}$ は、以下の数式 10 となる。

40

【0032】

【数 10】

$$L \geq 10^6 \cdot a^3$$

一方、発光点のビームサイズを b_1 としたとき、 $1 : n$ の集光系の場合、導管部 150 で

50

のビームサイズ b_{12} は、 $n \cdot b_1$ となる。例えば、 $b_1 = 0.2$ (mm) で 1 : 4 の集光系の場合、導管部 150 でのビームサイズ b_{12} は、 0.8 (mm) となる。集光ミラー 109 の取り込み角を $\pm 60^\circ$ とした場合、導管部 150 での入射角度は、 $\pm 15^\circ$ となる。よって、導管部 150 で E U V 光 108 が蹴られないための条件は、以下の数式 11 となる。

【0033】

【数11】

$$2a / L \geq \tan 15^\circ$$

10

数式 10 及び数式 11 を整理すると、導管部 150 の長さ L の取り得る範囲を導管部の半径 a で規定することができ、以下の数式 12 で表せる。

【0034】

【数12】

$$10^6 \cdot a^3 \leq L \leq 2a / \tan 15^\circ = 7.46a$$

数式 12 の不等式が成立する範囲を図 4 に示す。数式 12 の示す範囲は、図 4 の領域 A で、導管部 150 の半径 a 及び長さ L の寸法を最大限にしたとき、 $a = 2.76$ (mm)、 $L = 21$ (mm) となり、光軸のアライメントがかなり難しい。また、ビームサイズ b_{12} が 0.8 (mm) に対しても、あまり余裕がない。

20

【0035】

そこで、導管部 150 にディスク 310 を用いた場合、図 5 に示すように、8 つの開口部 310a の中心からの距離 r を 100 (mm)、開口部系を 2 (mm) としたとき、開と閉の時間比は、以下の数式 13 となる。

【0036】

【数13】

$$\text{開} : \text{閉} = 2 : 2\pi r / 8 = 1 : 3.9$$

30

よって、数式 10 の右辺を $1 / 3.9$ にすることができ、数式 12 は、以下の数式 14 となる。

【0037】

【数14】

$$2.56 \cdot 10^4 \cdot a^3 \leq L \leq 2a / \tan 15^\circ = 7.46a$$

40

数式 14 の成立する範囲を図 4 に示す。数式 14 の示す範囲は、図 4 の領域 B で、導管部 150 の半径 a 及び長さ L の寸法を最大限にしたとき、 $a = 17.3$ (mm)、 $L = 129$ (mm) となり、光軸のアライメントも困難ではなく、ビームサイズ b_{12} が 0.8 (mm) に対しても、十分余裕があると言える。従って、導管部 150 のコンダクタンスを更に小さくして、 10^3 Pa 以上の圧力差をつけることも可能であるし、真空ポンプ 113 及び 202 の排気速度を落として小型化することも可能である。ここで、図 4 は、導管部 150 の半径と長さの関係を示すグラフであり、図 5 は、ディスク 310 の設計例を示す説明図である。

【0038】

このように、導管部 150 にディスク 310 を用いることで、差動排気能力の向上や設計

50

の自由度を増やすことができる。

【 0 0 3 9 】

また、本実施例は、ポイントソース X 線源を用いたアプリケーション、例えば、反射率計測器、波面計測器、顕微鏡、形状計測器、医療器、組成分析器、構造解析器にも有用であることは言うまでもない。

【 0 0 4 0 】

一方、EUV 光 1 0 8 の発光とディスク 3 1 0 を同期させる（即ち、EUV 光の発光時にディスク 3 1 0 の開口部 3 1 0 a によって光源チャンバ 1 0 0 と照明系チャンバ 2 0 0 とを接続する）ためには、EUV 光 1 0 8 の発光をマスターとして、ディスク 3 1 0 を追従させる方法と、逆に、ディスク 3 1 0 をマスターとして、ディスク 3 1 0 を追従させる方法が考えられる。EUV 光 1 0 8 の発光をマスターとした場合、発光のタイミングでしか、パルスが出ないため、ディスク 3 1 0 m の位相差の情報が十分に得られない。また、ディスク 3 1 0 をマスターとした場合、回転ムラが発生すると EUV 光 1 0 8 の発光のタイミングがずれてしまい、露光量制御に悪影響が及んでしまう。

【 0 0 4 1 】

そこで、図 6 乃至図 1 1 を参照して、接続制御機構 3 0 0 のディスク 3 1 0 の回転を制御する制御方法 2 0 0 0 について説明する。図 6 は、接続制御機構 3 0 0 のディスク 3 1 0 の回転を制御する制御方法 2 0 0 0 を説明するためのフローチャートである。図 7 は、EUV 光 1 0 8 の発光とディスク 3 1 0 の位相を高精度に同期させるための制御ブロック図である。このように位相を調整する制御方法は、一般に、フェーズロックループ（PLL）と呼ばれている。

【 0 0 4 2 】

図 6 及び図 7 を参照するに、基準クロック（ブロック 1 0 0 1）から得られた信号を、EUV 光 1 0 8 の発光周波数となるように N t 分周器（ブロック 1 0 0 2）で分周し、EUV 光源（ブロック 1 0 0 3）にトリガー信号を与える。図 8 には、各信号の振る舞いが示してあり、クロックを分周して、トリガー信号が得られている様子を説明している。

【 0 0 4 3 】

一方、基準クロックを N r 分周器（ブロック 1 0 0 4）で分周し、ディスク 3 1 0 のリファレンス信号を生成する（ステップ 2 0 0 2）。かかる分周比は、位相の設定精度やずれた位相に追従したことを検出するセンサ 3 2 2 の動作範囲により決められる。図 1 に示すように、センサ 3 2 2 は、EUV 光 1 0 8 が通過する開口部 3 1 0 a と半回転ずれたところの開口部 3 1 0 a をモニタしているので、センサ 3 2 2 の動作範囲は、開口部 3 1 0 a の開口径で決まる。

【 0 0 4 4 】

ディスク 3 1 0 の回転（ブロック 1 0 0 8）は、エンコーダ（ブロック 1 0 0 9）でモニタされ、リファレンス信号と同様の周波数となるように設定された N e 分周器（ブロック 1 0 1 0）で分周される。二つの分周された信号は、位相比較器（ブロック 1 0 1 1）に入力される。位相比較器では、排他的論理和（Exclusive OR）演算がされ、図 8 の 5 段目に示すような波形が得られる。このパルス波形のデューティ比が位相差情報であるので、かかる信号にローパスフィルタをかけると、図 8 の 6 段目に示すような位相差信号が得られる（ステップ 2 0 0 4）。位相差信号は、図 7 に示すように、フィードバックされ、位相指令値（ブロック 1 0 0 5）との偏差が位相差として求められる（ステップ 2 0 0 6）。ここでは、位相差指令値は、90°に設定されており、位相コントローラでもある制御部 3 2 0（ブロック 1 0 0 6）により、位相差が位相設定値になるように制御されている。制御部 3 2 0 のハードは、アナログ回路もしくは DSP からなり、制御演算はアナログ回路の場合は、PDI 制御、DSP の場合は、PID 制御もしくは最適レギュレータ、H 制御などの現代制御で行われる。制御部 3 2 0 が出力する操作量に従って（即ち、位相差が位相設定値となるように）、モータ 3 1 4（ブロック 1 0 0 7）を駆動する（ステップ 2 0 0 8）。

【 0 0 4 5 】

なお、図10に示すように、ディスク310の周辺部に光学的もしくは磁気的なパターン310cを設けることにより、エンコーダで回転量を検出することができる。また、モータ軸のねじれが十分無視できる場合は、モータ314に直接取り付けられたエンコーダでも実現可能である。ここで、図10は、ディスク310の一例を示す概略平面図である。

【0046】

また、位相差が所定の閾値に入っていない場合は、EUV光108がディスク310の開口部310aに蹴られてしまい、光学的特性が保証できないことや、EUV光108の照射によりディスク310が損傷してしまうため、図11に示すように、シャッタ330を設けてもよい。図11は、差動排気システム1の例示の一形態を示す概略構成図である。

【0047】

シャッタ330は、制御部320に制御され、ディスク310の起動時は閉まっており、所定の閾値に入ったら開けることが可能となる。また、EUV光108を利用中に所定の閾値から外れると制御部320の指令によりシャッタ330は閉められる。即ち、シャッタ330は、EUV光108の発光時と、光源チャンバ100と照明系チャンバ200との接続が一致（即ち、EUV光の発光とディスク310の開口部310cが同期）するまで、導管部150にEUV光が入射することを防止する。

【0048】

更に、位相比較器として位相検波を用いた場合について説明する。即ち、図7において、エンコーダの出力はパルス信号であったが、エンコーダの原信号である正弦波を用いることも可能である。かかる信号は、図9の4段目に示されるように、 ± 1 Vで振れる信号である。原信号を利用することにより、エンコーダのパルス生成回路が省略することができる。リファレンス信号は、上述したのと同様に、パルスで与えられる。

【0049】

リファレンス信号とエンコーダの処理は、リファレンス信号がHi(+1)のとき、エンコーダ信号には1倍のゲインがかかり、Low(-1)のときには、-1倍のゲインがかかるようになっている。具体的な回路としては、アナログスイッチで非反転増幅器と反転増幅器を切り替えることで、容易に実現することができる。かかる処理をした信号が図9の5段目の信号である。この処理では、位相が0°だと、全波整流と同じ波面になり、ローパスフィルタで整流すると $1/\sqrt{2}$ Vになる。位相が180°ずれると $-1/\sqrt{2}$ Vとなり、90°だと0 Vとなる。図9の5段目の信号にローパスフィルタの処理をし、換算することで6段目の波形のように位相情報を得ることができる。

【0050】

また、リファレンス信号を正弦波で生成した場合でも、ミキサーとしてアナログ乗算器もしくはDSPを用いることにより、同様の結果を得ることができる。

【0051】

そこで、図24及び図25を参照して、ディスク310の別の回転制御方法について説明する。EUV露光装置では、露光量制御方式として、一定時間内に、所定のある露光量に達するようにパルス数を制御する必要がある。EUVパルス光源はパルス光毎の光量のバラツキをもっているため、光源発光周波数を可変にする必要がある。また露光量制御の精度を上げるためには、光源発光繰返し数を3 kHz以上にしなければならない。上述のレーザープラズマ光源及び回転体を有する差動排気システムを利用してEUV光を効率よく取り出すためには、露光装置内での露光量制御ファクターと、EUV光110の発光と回転ディスク310が同期する必要がある。EUV光110の発光をマスターとした場合、発光のタイミングでしか、パルスが出ないため、回転ディスクの位相差の情報が十分に得られない。また、回転ディスク310をマスターとした場合、回転ムラが発生すると発光のタイミングがずれてしまい、露光量制御に悪影響が及んでしまう。よって、本実施例では上記の問題を解決できる制御方法について説明する。

【0052】

図24はEUV光110の発光と回転ディスク310の位相を高精度に同期させるための制御ブロック図である。このように位相を調整する制御方法は一般にフェーズロックトル

10

20

30

40

50

ープ（PLL）と呼ばれている。図24での制御ブロックの上段側がEUV光源発光制御ループで、下段側が回転体制御ループとなっている。図25は波形図を示している。

【0053】

上段側制御ループでは露光器内で露光量指令値2101より露光量コントロール2102に指令値が入力されると、露光量コントロール2102から指令値に対応した値が出力される。その値が電圧制御発振器（VCO）2103に入力されると、露光量指令値と同期した基準クロック（周波数データ、図25の1段目）が出力される。この周波数データを用いてNt分周器2104から光源の発光を行うための発光クロック（図25の2段目）が生成される。EUV光源2105はこの発光クロックに同期したタイミングで発光され、照明系内に設置されている露光量（光エネルギー量もしくはそれに対応する値）を常時検出するLI（Light Integrate）センサ2106、ローパスフィルタ（LPF）2107を介して、制御演算2113にフィードバックされ、制御演算2113内でPID制御にて、所望の露光量を得るための高精度な光量調整が可能となる。露光量値に応じてパルス光源を発振させるタイミングを制御する方式は、上述の通りである。

10

【0054】

次に下段側制御ループでは、電圧制御発振器（VCO）2103から出力された基準クロック（図25の1段目）をNr分周器2108で分周し、回転ディスク310のリファレンス（図25の3段目）として使用している。この分周比は、位相の設定精度やずれた位相に追従したことを検出するセンサ322の動作範囲により決められる。図11でセンサ322はEUV光110が通っている穴と半回転ずれたところの穴をモニタしているので、センサ322の動作範囲は、穴径で決まる。

20

【0055】

図24で回転体2112の回転はエンコーダ2114でモニタされ、リファレンス信号（図25の3段目）と同様の周波数となるように設定されたNe分周器2115で分周され、エンコーダ信号（図25の4段目）となる。二つの分周された信号は、位相比較器2109に入力される。位相比較器2109で、排他的論理和（Exclusive OR）演算がされ、図25の5段目に示すような波形が得られる。このパルス波形のデューティ比が位相差情報なので、この信号にローパスフィルタをかけると、図25の6段目に示すような位相差信号が得られる。この位相差信号はフィードバックされ、指令値との偏差が位相エラーとして求められ、この位相エラーが所定値になるように制御されている。位相コントローラ2110のハードは、アナログ回路もしくはDSPからなり、制御演算はアナログ回路の場合は、PID制御、DSPの場合は、PID制御もしくは最適レギュレータ、H_∞制御などの現代制御で行われる。位相コントローラ2110が出力する操作量に従いモータ2111は駆動する。モータ2111としては、DCモータ、ACモータ、パルスモータ、超音波モータ等が利用される。モータ2111には制御対象である穴空き回転体2112が取り付けられている。回転ディスク310の周辺部には図11の310cのように光学的もしくは磁気的なパターンが設けられ、エンコーダ2114で回転量がモニタされる。また、モータ軸のねじれが十分無視できる場合は、モータに直接取り付けられたエンコーダ2114でも実現可能である。

30

【0056】

また、位相差が所定の閾値に入っていない場合は、EUV光110が回転ディスク310の穴に蹴られてしまい、光学的特性が保証できないことや、EUV光110の照射により、回転ディスク310が損傷してしまうため、シャッタ330が設けられている。シャッタ330は回転ディスク310の起動時は閉まっており、所定の閾値に入ったら、開けることが可能となる。また、EUV光110を利用中に所定の閾値から外れるとコントローラ320の指令によりシャッタ330は閉められる。

40

【0057】

以上のように、発光部のチャンバと光学素子のチャンバを接続する導管部に微小な隙間でシールされた集光サイズ程度の穴の空いた回転体を設けることにより、所望の圧力差を得ることができる差動排気システム及び、露光器側から指令される露光量を制御する信号が

50

ら基準信号を作り出し、この基準信号を用いてパルス光源であるEUV光の発光に使用する同期信号を作り出し、また、この基準信号を用いて回転体の制御を行い、発光時のみ開口し、それ以外のときは閉じることにより、周波数可変制御の場合でもEUV光の利用効率を損なうことなく、高い差動排気能力をもつ露光装置を提供するものである。

【0058】

以下、図12乃至図14を参照して、差動排気システム1の変形例である差動排気システム2について説明する。図12は、差動排気システム2の例示的一形態を示す概略構成図である。差動排気システム2は、差動排気システム1と同様であるが、接続制御機構300Aが異なる。より詳細には、差動排気システム2は、ディスク310の代わりに、導管部150に円筒状部材であるドラム350が設けられている。

10

【0059】

ドラム350は、図13に示すように、EUV光108が通過する開口部350aと、光源チャンバ100と照明系チャンバ200との接続を遮断する遮断部350bとを有し、モータ354によって軸352回りに回転駆動される。ドラム350は、ディスク310と同様に、制御部320により、レーザー発生装置101の発光周波数と同期して、EUV光108の発光時のみ光源チャンバ100と照明系チャンバ200とを接続するように回転される。ここで、図13は、図12に示すドラム350の一例を示す概略斜視図である。

【0060】

光源チャンバ100と照明系チャンバ200との接続を遮断する際、ドラム350の遮断部350bに当たった気体分子は飛ばされる。従って、導管部150において、ドラム350の遮断部350bによって気体分子が飛ばされる方向に排気口152を設け排気手段154で排気することで、効率よく排気することができる。また、ドラム350の内部まで到達した気体分子も排気することで、更に効率よく排気することができる。

20

【0061】

集光ミラー109の取り込み角が大きい場合、開口部350aの開口径が大きくなるため、ドラム350の径を小さくすることで、開口径を小さくし、回転数も高くすることができる。従って、EUV光108の発光周波数や集光ミラー109の取り込み角を考慮して、ドラム350の径を決めればよい。

【0062】

図14は、EUV光源の一方式でディスチャージ方式の一つであるZピンチ方式を用いた差動排気システム2の概略構成図である。図14を参照するに、高電圧源510のエネルギーをコンデンサ512に蓄え、スイッチ514を入れると、アノード516とカソード518の間にプラズマ107が発生し、中心付近に集まることで高密度化し、EUV光108が発光される。プラズマ源であるガスとしては、キセノン等の不活性ガスが用いられる。

30

【0063】

ディスチャージ方式は、レーザープラズマ方式のようにEUV光が放射されるのではなく、ある程度の指向性を有しているので、光学素子201を離して配置することができ、かかる間にドラム350を有する導管部150を配置することで、十分な差動排気能力が得ることができる。また、光学素子201の交換を考慮する必要がなくなる。

40

【0064】

ディスチャージ方式には、この他にプラズマ・フォーカス、キャピラリー・ディスチャージ、ホロウカソード・トリガードZピンチ等の方式があるが、同様に本発明の差動排気システムを実現することができる。

【0065】

ここでは、図24乃至図25の位相比較器として位相検波を用いた場合について説明する。図24において、エンコーダ2114の出力はパルス信号であったが、ここでは、エンコーダの原信号である正弦波（アナログ出力）を用いる。その信号は図26の4段目に示されるように±1Vで振れる信号である。原信号を利用することにより、エンコーダのパ

50

ルス生成回路が省略できる。レファレンスは、上述の実施例と同様にパルスで与えられる。

【0066】

リファレンスとエンコーダの処理だが、リファレンス信号が $H_i(+1)$ のとき、エンコーダ信号には1倍のゲインがかかり、 $L_o w(-1)$ のときには、-1倍のゲインがかかるようになっている。具体的な回路としては、アナログスイッチで非反転増幅器と反転増幅器を切り替えることで、容易に実現できる。その処理をした信号が図26の5段目の信号である。この処理では、位相が 0° だと、全波整流と同じ波形になり、ローパスフィルタで整流すると $1/\sqrt{2}V$ になる。位相が 180° ずれると $-1/\sqrt{2}V$ となり、 90° だと $0V$ となる。図3の5段目の信号にローパスフィルタの処理をし、換算することで6段目の波形のように位相情報を得ることができる。

10

【0067】

また、リファレンス信号も正弦波で生成した場合でも、ミキサーとしてアナログ乗算器もしくはDSPを用いることにより、同様の結果を得ることができる。

【0068】

以上のような、差動波排気システム、及び、露光器側から指令される露光量を制御する信号から基準信号を作り出し、この基準信号を用いてパルス光源であるEUV光の発光に使用する同期信号を作り出し、また、この基準信号を用いて回転体の制御を行い、発光時のみ開口し、それ以外のときは閉じることにより、周波数可変制御の場合でもEUV光の利用効率を損なうことなく、高い差動排気能力をもつ露光装置を提供するものである。

20

【0069】

以下、図15乃至図19を参照して、本発明の別の差動排気システム3について説明する。図15は、本発明の一側面としての差動排気システム3の例示的一形態を示す概略構成図である。差動排気システム3は、図1に示す差動排気システム1と同様であるが、接続制御機構600が異なる。

【0070】

接続制御機構600は、照明系チャンバ200の雰囲気を導管部150を介して光源チャンバ100に排気するポンプ610と、制御部620とを有する。ポンプ610は、固定翼612と回転翼614からなる。

【0071】

固定翼612には、図16に示すように、EUV光108が通過する第1の開口部612aを一つ有する。固定翼612は、EUV光108の光路上に第1の開口部612aがくるように、磁気軸受け616に固定されている。ここで、図16は、図15に示す固定翼612の一例を示す概略平面図である。

30

【0072】

回転翼614には、図17に示すように、EUV光108の発光の周期とポンプ610の回転数に応じた個数のEUV光108が通過する第2の開口部614aと、光源チャンバ100と照明系チャンバ200との接続を遮断する遮断部614bとを有する。回転翼614は、磁気軸受け614回りに回転可能に、磁気軸受け614と接続されている。ここで、図17は、図15に示す回転翼614の一例を示す概略平面図である。

40

【0073】

制御部620は、プラズマ107の発光時は光源チャンバ100と照明系チャンバ200とを接続し、プラズマ107の発光時以外は光源チャンバ100と照明系チャンバ200との接続を遮断するように、回転翼614を制御する。即ち、制御部620は、EUV光108が第2の開口部614aを通過するように、EUV光108の発光に同期して、回転翼614の回転を制御している。

【0074】

また、固定翼612及び回転翼614は、羽根に第1の開口部612a及び第2の開口部614aを設けると強度的に弱くなるため、EUV光108の通過する箇所には切り欠きを設けたり、EUV光108の通過する羽根を予め抜いておいたりすることでも実現可能で

50

ある。

【 0 0 7 5 】

差動排気システム 3 は、接続制御機構 6 0 0 をポンプ 6 1 0 で構成することにより、差動排気システム 1 及び 2 に比べて、照明系チャンバ 2 0 0 をより低い圧力にすること（即ち、より大きな差圧を設けること）が可能である。

【 0 0 7 6 】

図 1 8 は、差動排気システム 3 の設計例を示す説明図である。図 1 8 を参照するに、光源チャンバ 1 0 0 の圧力を p_1 (Pa)、照明系チャンバ 2 0 0 の圧力を p_2 (Pa) とし、光源チャンバ 1 0 0 を排気する真空ポンプ 1 1 3 の排気速度を S_1 (m^3/s)、照明系チャンバ 2 0 0 を排気する真空ポンプ 2 0 2 の排気速度を S_2 (m^3/s) とする。光源チャンバ 1 0 0 と照明系チャンバ 2 0 0 を接続する導管部 1 5 0 に設けられた接続制御機構 6 0 0 の排気速度を S_{12} (m^3/s) とする。また、光源チャンバ 1 0 0 から発生する脱ガス量を Q_1 ($Pa \cdot m^3/s$)、照明系チャンバ 2 0 0 から発生する脱ガス量を Q_2 ($Pa \cdot m^3/s$)、それぞれの真空ポンプ 1 1 3 及び 2 0 2 に排気される流量を Q_{10} ($Pa \cdot m^3/s$) 及び Q_{20} ($Pa \cdot m^3/s$) とし、導管部 1 5 0 を流れる流量を Q_{12} ($Pa \cdot m^3/s$) としたとき、これらは、以下の数式 1 5 乃至数式 1 9 で示す関係を満たす。

【 0 0 7 7 】

【数 1 5】

$$Q_1 + Q_2 = Q_{10} + Q_{20}$$

【数 1 6】

$$Q_{10} = Q_1 + Q_{12}$$

【数 1 7】

$$Q_{10} = S_1 \cdot p_1$$

【数 1 8】

$$Q_{20} = S_2 \cdot p_2$$

【数 1 9】

$$Q_{12} = S_{12} \cdot p_2$$

数式 1 5 乃至数式 1 9 から、 Q_{10} 、 Q_{20} 、 Q_{12} を消去して、 $Q_1 > Q_2$ として簡

略化し、 p_1 及び p_2 に関して整理すると、以下の数式 20 及び数式 21 となる。

【0078】

【数20】

$$p_1 = (S_2 \cdot Q_1 + S_{12} \cdot Q_1 + S_{12} \cdot Q_2) / (S_1 \cdot S_2 + S_1 \cdot S_{12})$$

$$\approx Q_1 / S_1$$

【数21】

$$p_2 = Q_2 / (S_2 + S_{12})$$

10

ここで、圧力 $p_1 = 10$ (Pa)、排気速度 $S_1 = S_2 = 1$ (m^3/s) (1000 $1/\text{s}$)、脱ガス量 $Q_1 = 10$ (Pa $\cdot\text{m}^3/\text{s}$)、 $Q_2 = 10^{-5}$ (Pa $\cdot\text{m}^3/\text{s}$) としたとき、 $p_2 = 10^{-5} / (1 + 0.3) = 7.7 \times 10^{-6}$ (Pa) となり、 $p_1 / p_2 = 10^6$ もの圧力差をつけることが可能となる。しかし、実際は、真空ポンプ 113 及び 202 の圧縮比が 10^5 程度だと、それが規律となり、 $p_1 / p_2 = 10^5$ 程度となる。

【0079】

図 19 を用いて、差動排気システム 3 における、EUV 光 108 の集光点 108a と導管部 150 との関係について説明する。図 19 は、差動排気システム 3 において、EUV 光 108 の集光点 108a と導管部 150 との関係を示す概略図である。

20

【0080】

図 19 を参照するに、EUV 光 108 の集光点 108a の位置にある第 1 の開口部 612a 又は第 2 の開口部 614a が最も開口径を小さくすることができ、集光点 108a から距離が離れるにつれて第 1 の開口部 612a 及び第 2 の開口部 614a の開口径が大きくなっていく。従って、導管部 150 の長さ L に対して、 $L/2$ の位置に集光点 108a を設けることによって、第 1 の開口部 612a 及び第 2 の開口部 614a 全体の開口径を小さくことができる。

【0081】

一方、光源チャンバ 100 の雰囲気は粘性流であるのに対し、照明系チャンバ 200 の雰囲気は分子流であるので、粘性流側、つまり、圧力の高い光源チャンバ 100 側の開口径を小さくする方が、より照明系チャンバ 200 を低い圧力にする（即ち、大きな差圧を設ける）ことが可能である。

30

【0082】

以上より、EUV 光 108 の集光点 108a は、導管部 150 の長さ L に対して、0 乃至 $L/2$ の間に最適値が存在する。従って、EUV 光 108 の集光点 108a を光源チャンバ 100 側に設けることで、照明系チャンバ 200 を低い圧力にすることができる。

【0083】

また、ポンプ 610 は、照明系チャンバ 200 側から光源チャンバ 100 側に排気を行っているので、光源チャンバ 100 側の導管部 150 に粗引きポンプ 158 を設けることにより、更に照明系チャンバ 200 を低い圧力にする（即ち、大きな差圧を得る）ことができる。

40

【0084】

以下、図 20 を参照して、本発明の差動排気システム 1 を適用した例示的な露光装置 800 について説明する。図 20 は、本発明の露光装置 800 の例示的一形態を示す概略構成図である。

【0085】

本発明の露光装置 800 は、露光用の照明光として EUV 光（例えば、波長 13.4 nm）を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式やステップ・アンド・リピート方式でマス

50

ク 8 2 0 に形成された回路パターンを被処理体 8 4 0 に露光する投影露光装置である。かかる露光装置は、サブミクロンやクォーターミクロン以下のリソグラフィ工程に好適であり、以下、本実施形態ではステップ・アンド・スキャン方式の露光装置（「スキャナー」とも呼ばれる。）を例に説明する。ここで、「ステップ・アンド・スキャン方式」とは、マスクに対してウェハを連続的にスキャン（走査）してマスクパターンをウェハに露光すると共に、1ショットの露光終了後ウェハをステップ移動して、次の露光領域に移動する露光方法である。「ステップ・アンド・リピート方式」は、ウェハの一括露光ごとにウェハをステップ移動して次のショットの露光領域に移動する露光方法である。

【 0 0 8 6 】

図 2 0 を参照するに、露光装置 8 0 0 は、照明装置 8 1 0 と、マスク 8 2 0 と、マスク 8 2 0 を載置するマスクステージ 8 2 5 と、投影光学系 8 3 0 と、被処理体 8 4 0 と、被処理体 8 4 0 を載置するウェハステージ 8 4 5 と、アライメント検出機構 8 5 0 と、フォーカス位置検出機構 8 6 0 とを有する。

10

【 0 0 8 7 】

照明装置 8 1 0 は、投影光学系 8 3 0 の円弧状の視野に対する円弧状の E U V 光（例えば、波長 1 3 . 4 n m ）によりマスク 8 2 0 を照明する照明装置であって、E U V 光源 8 1 2 と、照明光学系 8 1 4 とを有する。かかる照明装置 8 1 0 を構成する E U V 光源 8 1 2 と後段の照明光学系 8 1 4 との接続に本発明の差動排気システム 1 を適用することができ、差動排気システム 1 により E U V 光の利用効率を損なうことなく、照明光学系 8 1 4 を含む雰囲気低い圧力にして光学素子の反射率等の性能を維持することができる。なお、E U V 光源 8 1 2 は、上述した通りのいかなる形態をも適用可能であり、ここでの詳細な説明は省略する。

20

【 0 0 8 8 】

照明光学系 8 1 4 は、集光ミラー 8 1 4 a、オプティカルインテグレーター 8 1 4 b から構成される。集光ミラー 8 1 4 a は、レーザープラズマからほぼ等方的に放射される E U V 光を集める役割を果たす。オプティカルインテグレーター 8 1 4 b は、マスク 8 2 0 を均一に所定の開口数で照明する役割を持っている。また、照明光学系 8 1 2 は、マスク 8 2 0 と共役な位置に、マスク 8 2 0 の照明領域を円弧状に限定するためのアパーチャ 8 1 4 c が設けられている。

【 0 0 8 9 】

マスク 8 2 0 は、反射型マスクで、その上には転写されるべき回路パターン（又は像）が形成され、マスクステージに支持及び駆動されている。マスク 8 2 0 から発せられた回折光は、投影光学系 8 3 0 で反射されて被処理体 8 4 0 上に投影される。マスク 8 2 0 と被処理体 8 4 0 とは、光学的に共役の関係に配置される。露光装置 8 0 0 は、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置であるため、マスク 8 2 0 と被処理体 8 4 0 を走査することによりマスク 8 2 0 のパターンを被処理体 8 4 0 上に縮小投影する。

30

【 0 0 9 0 】

マスクステージ 8 2 5 は、マスク 8 2 0 を支持して図示しない移動機構に接続されている。マスクステージ 8 2 5 は、当業界周知のいかなる構造をも適用することができる。図示しない移動機構は、リニアモータなどで構成され、少なくとも X 方向にマスクステージ 8 2 5 を駆動することでマスク 8 2 0 を移動することができる。露光装置 8 0 0 は、マスク 8 2 0 と被処理体 8 4 0 を同期した状態で走査する。ここで、マスク 8 2 0 又は被処理体 8 4 0 面内で走査方向を X、それに垂直な方向を Y、マスク 8 2 0 又は被処理体 8 4 0 面内に垂直な方向を Z とする。

40

【 0 0 9 1 】

投影光学系 8 3 0 は、複数の反射ミラー（即ち、多層膜ミラー）8 3 0 a を用いて、マスク 8 2 0 面上のパターンを像面である被処理体 8 4 0 上に縮小投影する。複数のミラー 8 3 0 a の枚数は、4 枚乃至 6 枚程度である。少ない枚数のミラーで広い露光領域を実現するには、光軸から一定の距離だけ離れた細い円弧状の領域（リングフィールド）だけを用いて、マスク 8 2 0 と被処理体 8 4 0 を同時に走査して広い面積を転写する。投影光学系

50

８３０の開口数（ＮＡ）は、０．２乃至０．３程である。

【００９２】

被処理体８４０は、本実施形態ではウェハであるが、液晶基板その他の被処理体を広く含む。被処理体８４０には、フォトレジストが塗布されている。フォトレジスト塗布工程は、前処理と、密着性向上剤塗布処理と、フォトレジスト塗布処理と、プリベーク処理とを含む。前処理は、洗浄、乾燥などを含む。密着性向上剤塗布処理は、フォトレジストと下地との密着性を高めるための表面改質（即ち、界面活性剤塗布による疎水性化）処理であり、HMDS（Hexamethyl-disilazane）などの有機膜をコート又は蒸気処理する。プリベークは、ベーク（焼成）工程であるが現像後のそれよりもソフトであり、溶剤を除去する。

10

【００９３】

ウェハステージ８４５は、ウェハチャック８４５aによって被処理体８４５を支持する。ウェハステージ８４５は、例えば、リニアモータを利用してXYZ方向に被処理体８４０を移動する。マスク８２０と被処理体８４０は、同期して走査される。また、マスクステージ８２５の位置とウェハステージ８４５との位置は、例えば、レーザー干渉計などにより監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。

【００９４】

アライメント検出機構８５０は、マスク８２０の位置と投影光学系８３０の光軸との位置関係、及び、被処理体８４０の位置と投影光学系８３０の光軸との位置関係を計測し、マスク８２０の投影像が被処理体８４０の所定の位置に一致するようにマスクステージ８２

20

【００９５】

フォーカス位置検出機構８６０は、被処理体８４０面でZ方向のフォーカス位置を計測し、ウェハステージ８４５の位置及び角度を制御することによって、露光中、常時被処理体８４０面を投影光学系８３０による結像位置に保つ。

【００９６】

露光において、照明装置８１０から射出されたEUV光はマスク８２０を照明し、マスク８２０面上のパターンを被処理体８４０面上に結像する。本実施形態において、像面は円弧状（リング状）の像面となり、マスク８２０と被処理体８４０を縮小倍率比の速度比で走査することにより、マスク８２０の全面を露光する。また、回転翼６１４の回転速度を設定することで、広港体に要求される炉香料を調整することができる。その結果、露光装置８００は、EUV光の利用効率を高め、EUV光源８１２より後段を低い圧力（即ち、高真空度）にすることができ、光学素子の光学性能を維持して結像性能及びスループットの優れた露光を提供する。

30

【００９７】

次に、図２１及び図２２を参照して、上述の露光装置８００を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図２１は、デバイス（ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ１（回路設計）では、デバイスの回路設計を行う。ステップ２（マスク製作）では、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ３（ウェハ製造）では、シリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ４（ウェハプロセス）は、前工程と呼ばれ、マスクとウェハを用いてリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ５（組み立て）は、後工程と呼ばれ、ステップ４によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ６（検査）では、ステップ５で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、それが出荷（ステップ７）される。

40

【００９８】

図２２は、ステップ４のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ１１（

50

酸化)では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12(CVD)では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13(電極形成)では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14(イオン打ち込み)では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ15(レジスト処理)では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ16(露光)では、露光装置800によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17(現像)では、露光したウェハを現像する。ステップ18(エッチング)では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19(レジスト剥離)では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施例のデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。上述の露光装置の作用と同様の作用を奏するデバイス製造方法の請求項は、中間及び最終結果物であるデバイス自体にもその効力が及ぶ。また、かかるデバイスは、LSIやVLSIなどの半導体チップ、CCD、LCD、磁気センサ、薄膜磁気ヘッドなどを含む。このように、露光装置を使用するデバイス製造方法、並びに結果物としてのデバイスも本発明の一側面を構成する。

10

【0099】

以上、本発明の好ましい実施例を説明したが、本発明はこれらに限定されずその要旨の範囲内で様々な変形や変更が可能である。

【0119】

【発明の効果】

本発明によれば、極紫外パルス光の高い利用効率と光学素子の性能維持とを両立した露光装置を提供することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一側面としての差動排気システムの概略構成図である。

【図2】 図1に示すディスクの一例を示す概略平面図である。

【図3】 通常の差動排気システムの設計例を示す説明図である。

【図4】 図1に示す導管部の半径と長さの関係を示すグラフである。

【図5】 図1に示すディスクの設計例を示す説明図である。

【図6】 接続制御機構のディスクの回転を制御する制御方法を説明するためのフローチャートである。

【図7】 EUV光の発光とディスクの位相を高精度に同期させるための制御ブロック図である。

30

【図8】 デジタル回路による位相検波の波形図である。

【図9】 アナログ回路による位相検波の波形図である。

【図10】 図1に示すディスクの一例を示す概略平面図である。

【図11】 差動排気システムの例示的一形態を示す概略構成図である。

【図12】 本発明の一側面としての差動排気システムの例示的一形態を示す概略構成図である。

【図13】 図12に示すドラムの一例を示す概略斜視図である。

【図14】 EUV光源の一方式でディスチャージ方式の一つであるZピンチ方式を用いた差動排気システムの概略構成図である。

40

【図15】 本発明の一側面としての差動排気システムの例示的一形態を示す概略構成図である。

【図16】 図15に示す固定翼の一例を示す概略平面図である。

【図17】 図15に示す回転翼の一例を示す概略平面図である。

【図18】 図15に示す差動排気システムの設計例を示す説明図である。

【図19】 図15に示す差動排気システムにおいて、EUV光の集光点と導管部との関係を示す概略図である。

【図20】 本発明の露光装置の例示的一形態を示す概略構成図である。

【図21】 デバイス(ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等)の製造を説明するためのフローチャートである。

50

【図 2 2】 図 2 1 に示すステップ 4 のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

【図 2 3】 レーザープラズマ光源を用いた E U V 光源を示す概略構成図である。

【図 2 4】 図 7 とは異なる制御方法を実行するためのブロック図である。

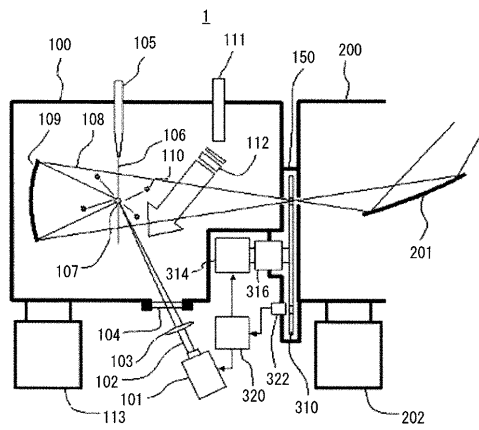
【図 2 5】 図 7 の制御方法の波形図である。

【図 2 6】 図 7 に示す制御方法を図 1 2 の構成に適用した場合の波形図である。

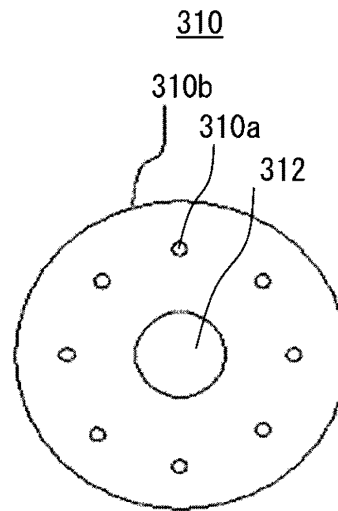
【符号の説明】

1、2、3	差動排気システム	
1 0 0	光源チャンバ	
1 0 1	レーザー発生装置	
1 0 8	E U V 光	10
1 0 9	集光ミラー	
1 5 0	導管部	
1 5 2	排気口	
1 5 4	排気手段	
2 0 0	照明系チャンバ	
3 0 0、3 0 0 A	接続制御機構	
3 1 0	ディスク	
3 1 0 a	開口部	
3 1 0 b	遮断部	
3 1 0 c	パターン	20
3 2 0	制御部	
3 2 2	センサ	
3 3 0	シャッタ	
3 5 0	ドラム	
3 5 0 a	開口部	
3 5 0 b	遮断部	
6 0 0	接続制御機構	
6 1 0	ポンプ	
6 1 2	固定翼	
6 1 2 a	第 1 の開口部	30
6 1 4	回転翼	
6 1 4 a	第 2 の開口部	
6 1 4 b	遮断部	
6 2 0	制御部	
2 1 0 1	露光量指令部	
2 1 0 2	露光量コントローラ	
2 1 0 3	電圧制御発信器	
2 1 0 4	1 / N t 分周器	
2 1 0 5	E U V 光源	
2 1 0 6	L I センサ	40
2 1 0 7	L P F	
2 1 0 8	1 / N r 分周器	
2 1 0 9	位相比較器	
2 1 1 0	位相コントローラ	
2 1 1 1	モータ	
2 1 1 2	回転体	
2 1 1 4	エンコーダ	
2 1 1 5	1 / N e 分周器	

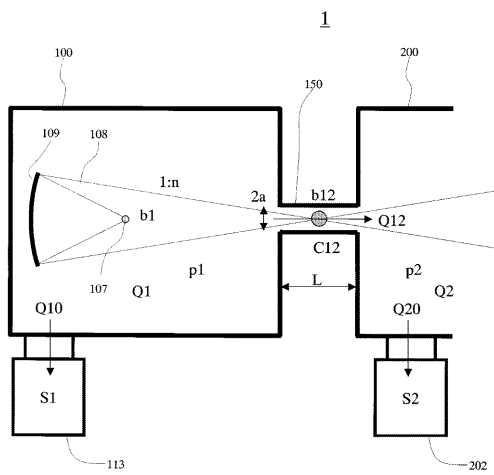
【図 1】



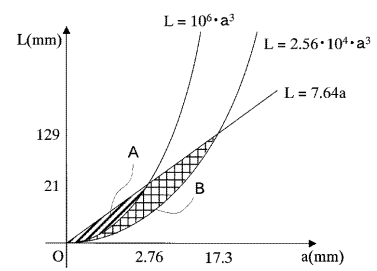
【図 2】



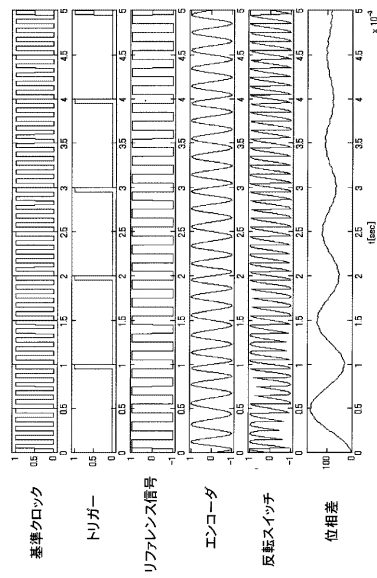
【図 3】



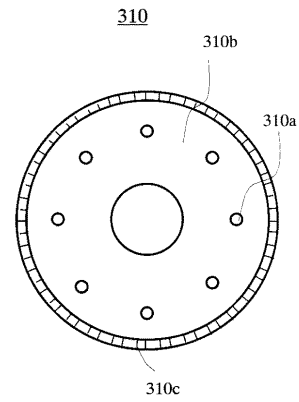
【図 4】



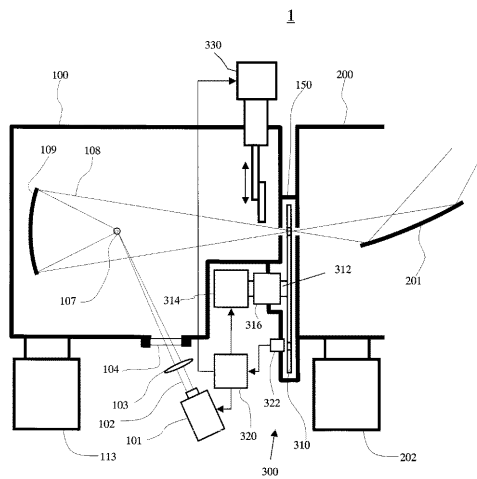
【 図 9 】



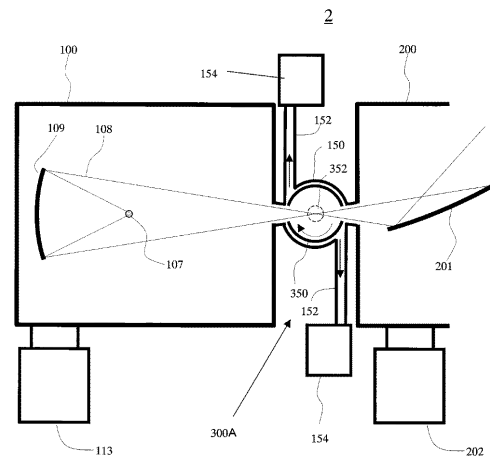
【 図 1 0 】



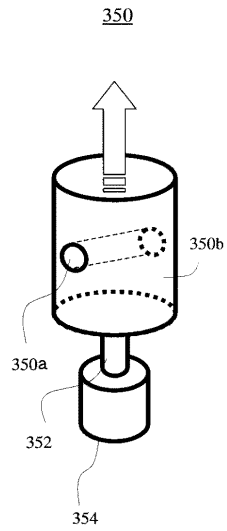
【 図 1 1 】



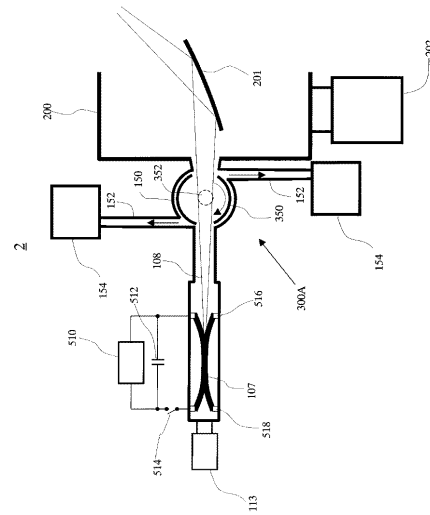
【 図 1 2 】



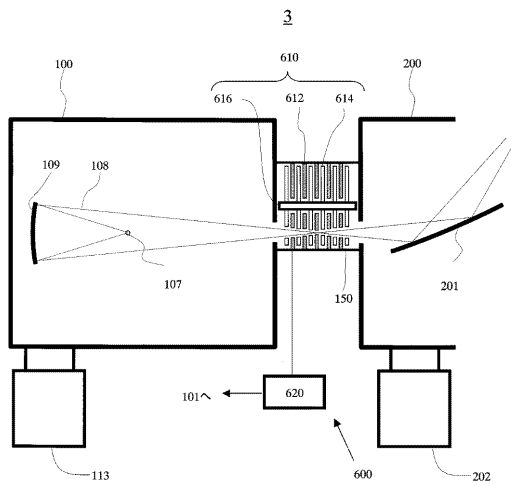
【図 13】



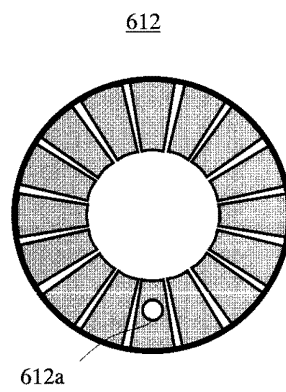
【図 14】



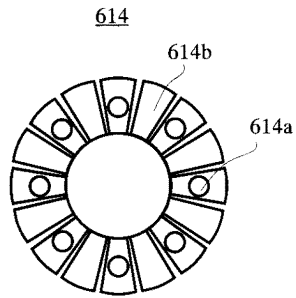
【図 15】



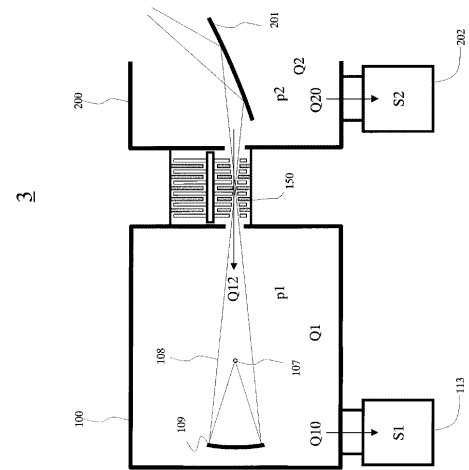
【図 16】



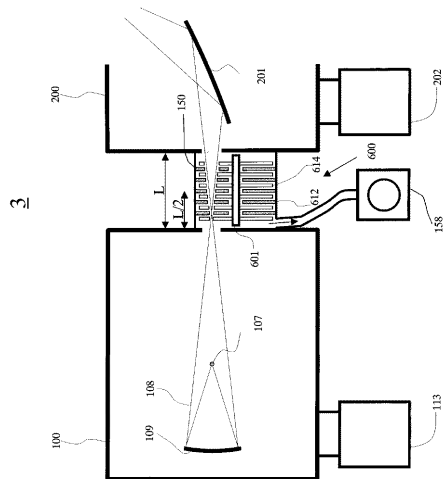
【図 17】



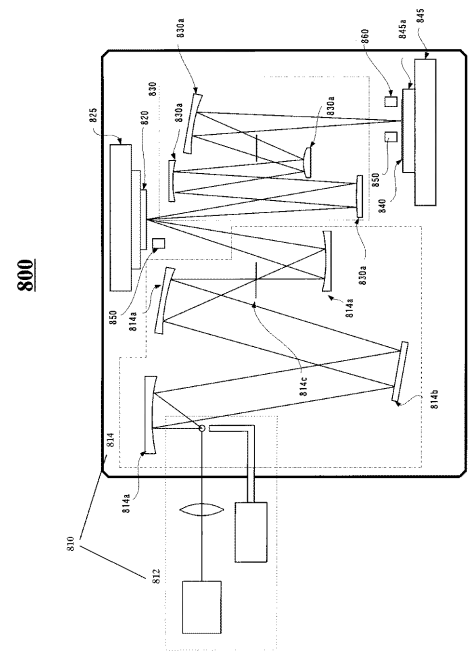
【図 18】



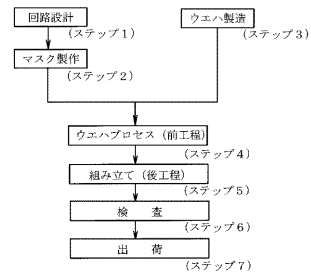
【図 19】



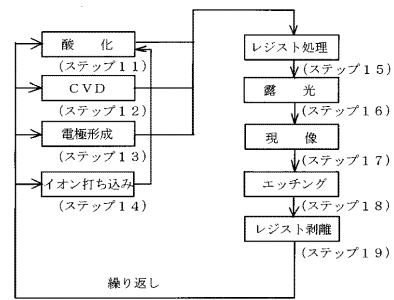
【図 20】



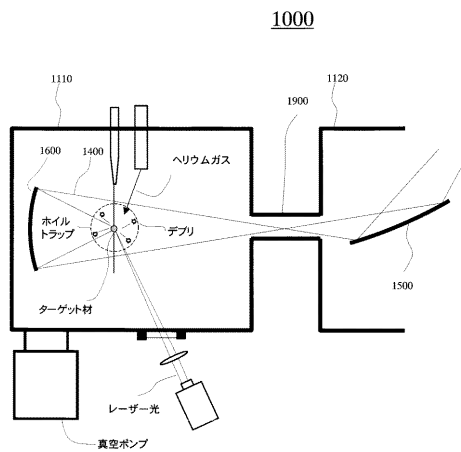
【図 2 1】



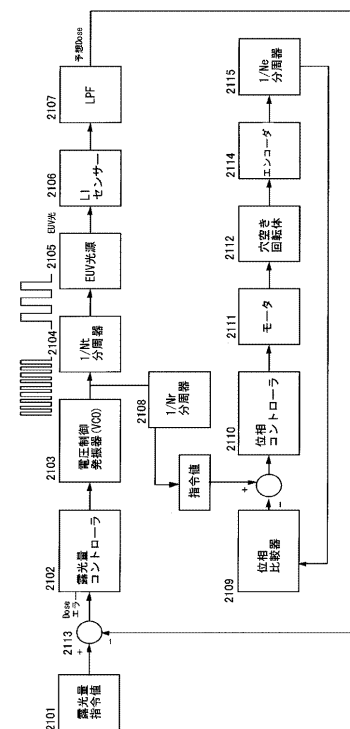
【図 2 2】



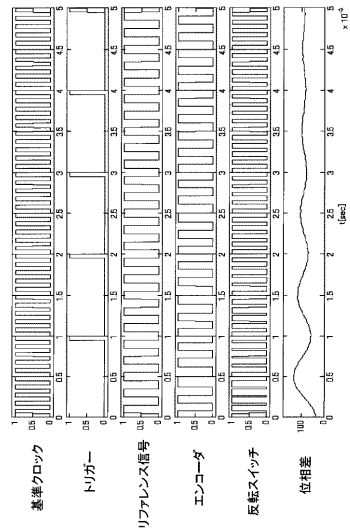
【図 2 3】



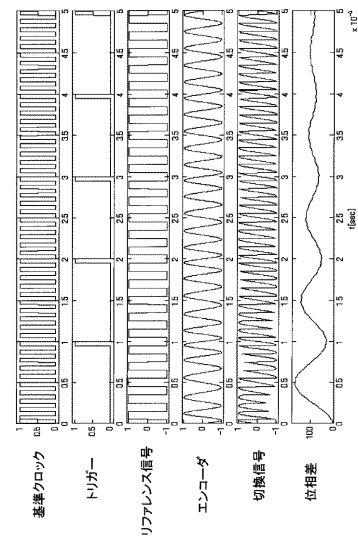
【図 2 4】



【図 25】



【図 26】



フロントページの続き

(72)発明者 長谷川 隆行
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 杉浦 淳

(56)参考文献 特開昭58-119000(JP,A)
特開平02-156200(JP,A)
特開昭62-159427(JP,A)
特開平07-074092(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G03F 7/20 - 7/24 , 9/00 - 9/02 ,
H01L21/027