

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-329368

(P2007-329368A)

(43) 公開日 平成19年12月20日(2007.12.20)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H01L 21/027 (2006.01)	H01L 21/30	531A 2H042
G03F 7/207 (2006.01)	G03F 7/207	H 5F046
G21K 1/06 (2006.01)	G21K 1/06	B
G02B 5/08 (2006.01)	G02B 5/08	A
	G02B 5/08	C
審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 20 頁)		

(21) 出願番号 特願2006-160512 (P2006-160512)
 (22) 出願日 平成18年6月9日(2006.6.9)

(71) 出願人 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 正木 文太郎
 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
 Fターム(参考) 2H042 AA02 AA25 DA08 DA12 DC09
 DC10 DE04
 5F046 GA03 GB01

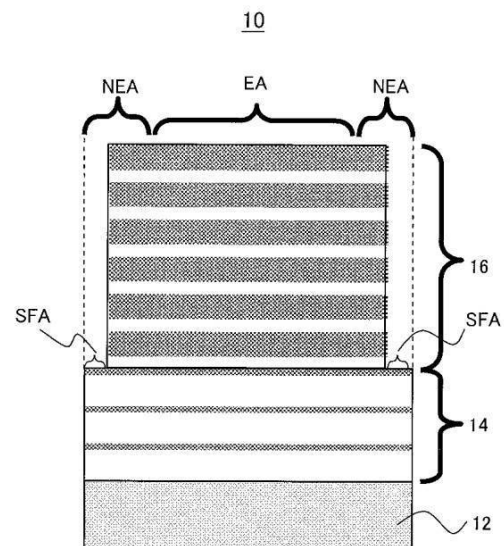
(54) 【発明の名称】 多層膜ミラー、評価方法、露光装置及びデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 応力緩和層を容易に検査（評価）することを可能とし、優れた光学性能（結像性能など）を実現する多層膜ミラー及び評価方法を提供する。

【解決手段】 E U V 光の波長帯域で用いられる多層膜ミラーであって、基板と、前記E U V 光を反射する反射層と、前記基板と前記反射層との間に形成され、前記反射層による前記基板の変形を緩和する応力緩和層とを有し、前記基板上において、前記応力緩和層が形成され、前記反射層が形成されていない第1領域が存在することを特徴とする多層膜ミラーを提供する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

E U V 光の波長帯域で用いられる多層膜ミラーであって、
基板と、
前記 E U V 光を反射する反射層と、
前記基板と前記反射層との間に形成され、前記反射層による前記基板の変形を緩和する
応力緩和層とを有し、
前記基板上において、前記応力緩和層が形成され、前記反射層が形成されていない第 1
領域が存在することを特徴とする多層膜ミラー。

【請求項 2】

10

前記第 1 領域には、前記応力緩和層のみが形成されていることを特徴とする請求項 1 記
載の多層膜ミラー。

【請求項 3】

前記第 1 領域における前記応力緩和層の層数は、前記反射層と前記応力緩和層の両者が
形成された第 2 領域における前記応力緩和層の層数と異なることを特徴とする請求項 1 又
は 2 記載の多層膜ミラー。

【請求項 4】

前記第 1 領域が前記基板上に複数存在することを特徴とする請求項 1 乃至 3 いずれかに
記載の多層膜ミラー。

【請求項 5】

20

前記複数の第 1 領域は、前記反射層の膜厚が周期的に変化する方向に沿って形成される
ことを特徴とする請求項 4 記載の多層膜ミラー。

【請求項 6】

E U V 光の波長帯域で用いられ、基板と、前記 E U V 光を反射する反射層と、前記基板
と前記反射層との間に形成され、前記反射層による前記基板の変形を緩和する応力緩和層
とを有し、前記応力緩和層が表面に露出した複数の第 1 領域を有する多層膜ミラーの評価
方法であって、

前記第 1 領域を用いて、前記応力緩和層の状態を評価するステップと、

前記評価ステップで検出された前記応力緩和層の状態に基づいて、前記多層膜ミラーが
使用可能であるか判断するステップとを有することを特徴とする評価方法。

30

【請求項 7】

前記評価ステップは、前記複数の第 1 領域を用いることを特徴とする請求項 6 記載の評
価方法。

【請求項 8】

光源からの E U V 光を、請求項 1 記載の多層膜ミラー又は請求項 5 記載の評価方法によ
って使用可能と評価された多層膜ミラーを介して被処理体に導光し、前記被処理体を露光
する露光装置であって、

前記 E U V 光が、前記基板のうち前記反射層と前記応力緩和層の両者が形成された第 2
領域に入射するように、前記多層膜ミラーを配置することを特徴とする露光装置。

【請求項 9】

40

前記 E U V 光が、前記第 1 領域に入射しないように、前記多層膜ミラーを配置するこ
とを特徴とする請求項 8 記載の露光装置。

【請求項 10】

請求項 8 又は 9 記載の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、

露光された前記被処理体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】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般には、多層膜ミラーに係り、特に、半導体ウェハ用の単結晶基板、液晶

50

ディスプレイ（LCD）用のガラス基板などの被処理体を露光する露光装置を構成する多層膜ミラーに関する。本発明は、例えば、露光光として極端紫外線（EUV：extreme ultraviolet）光を利用して露光する露光装置に好適である。

【背景技術】

【0002】

フォトリソグラフィ（焼き付け）技術を用いて微細な半導体素子を製造する際に、マスク（レチクル）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投影露光装置が従来から使用されている。

【0003】

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てきた。具体的には、超高圧水銀ランプ（i線（波長約365nm））、KrFエキシマレーザー（波長約248nm）、ArFエキシマレーザー（波長約193nm）と、露光光として用いられる紫外光の波長は短くなってきた。

【0004】

近年では、半導体素子は急速に微細化しており、紫外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、紫外光よりも更に波長が短い、波長10nm乃至15nm程度のEUV光を用いた投影露光装置（以下、「EUV露光装置」と称する。）が開発されている。

【0005】

EUV光の波長領域（波長帯域）では、物質による光の吸収が非常に大きくなる。従って、可視光や紫外線光で用いられるような光の屈折を利用した屈折型光学素子（屈折型光学系）は実用的ではない。そこで、EUV露光装置では、光の反射を利用した反射型光学素子（反射型光学素子）が用いられる。EUV露光装置を構成する反射型光学素子としては、斜入射全反射ミラーと多層膜ミラーとがある。

【0006】

EUV光の波長領域では、屈折率の実部は1より僅かに小さいので、入射角を大きくし、反射面すれすれにEUV光を入射させれば全反射となる。従って、斜入射全反射ミラーは、通常、反射面からの角度が数度乃至10数度以内の斜入射で80%以上の高い反射率を得ることができる。しかし、斜入射全反射ミラーは光学設計上の自由度が小さく、光学系も大型化してしまうために実際に用いることが難しい。

【0007】

そこで、EUV露光装置の反射型光学素子としては、ガラス基板に、光学定数の異なる2種類の物質（例えば、モリブデン（Mo）とシリコン（Si））を交互に積層した多層膜ミラーが用いられる。なお、2種類の物質の層の厚さを加えたものは、一般に、膜周期と呼ばれる。

【0008】

多層膜ミラーは、垂直入射に近い入射角度で使うことができ、高い反射率を得ることができる。例えば、多層膜ミラーにEUV光を入射させると、特定の波長のEUV光が反射される。換言すれば、多層膜ミラーは、波長選択性を有する。例えば、入射角を、EUV光の波長を、膜周期をd、次数をmとすると、近似的には、数式1で示されるブラッグ条件の関係を満足するような波長を中心として狭いバンド幅のEUV光だけが効率よく反射される。

【0009】

【数1】

$$2d \times \cos \theta = m \times \lambda$$

【0010】

また、EUV露光装置は、0.1μm以下の回路パターンの露光に使用されるため、多

10

20

30

40

50

層膜ミラー（特に、投影光学系に用いられる多層膜ミラー）の反射面（表面）形状は、非常に高い精度であることが要求される。例えば、投影光学系を構成する多層膜ミラーの数を n 、EUV 光の波長を λ とすると、多層膜ミラーに許容される形状誤差（rms 値）は、数式 2 で示されるマレシャルの式で与えられる。例えば、投影光学系を構成する多層膜ミラーが 4 つ、EUV 光の波長が 13 nm である場合、許容される形状誤差は 0.23 nm となる。

【0011】

【数 2】

$$\sigma = \frac{\lambda}{28 \times \sqrt{n}}$$

10

【0012】

EUV 露光装置を構成する多層膜ミラーの多層膜として用いられる Mo/Si 多層膜は、一般に、応力を有する。かかる応力は、多層膜ミラーの基板を変形させ、反射する光の波面（反射波面）に乱れを発生させてしまう。その結果、多層膜ミラーの光学性能（結像性能など）が劣化する。

【0013】

そこで、多層膜による多層膜ミラーの基板の変形を低減させるための技術が従来から幾つか提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。特許文献 1 は、図 13 に示すように、EUV 光を反射する多層膜（反射層）RL の応力の向きと反対の向きに応力（逆応力）を有する多層膜（応力緩和層）SRL を、基板 ST と反射層 RL との間に形成することによって、基板 ST の変形を抑えている。図 13 は、応力緩和層 SRL を有する従来の多層膜ミラーの構成を示す概略断面図である。

20

【特許文献 1】米国特許第 6134049 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

しかしながら、応力緩和層が所望の精度で形成されていない場合、反射層の応力を打ち消すことができず、基板の変形が残存したり、基板を更に変形させてしまったりする。また、基板 ST が所望の形状に維持されていても、図 14 に示すように、応力緩和層 SRL の膜周期が不均一である場合、反射面 RL から反射波面 RWS が乱れてしまう。従って、高い結像性能を実現するためには、応力緩和層が基板上に高精度に形成されていることが重要であり、かかる応力緩和層を検査（評価）する需要が存在する。但し、応力緩和層は基板と反射層との間に形成されているため、非破壊で応力緩和層を検査することが非常に困難である。

30

【0015】

また、多層膜ミラーは単体での反射波面評価が非常に困難であるため、多層膜ミラーを単体を容易に評価することができる評価方法も望まれている。

【0016】

そこで、本発明は、応力緩和層を容易に検査（評価）することを可能とし、優れた光学性能（結像性能など）を実現する多層膜ミラー及び評価方法を提供することを例示的目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0017】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての多層膜ミラーは、EUV 光の波長帯域で用いられる多層膜ミラーであって、基板と、前記 EUV 光を反射する反射層と、前記基板と前記反射層との間に形成され、前記反射層による前記基板の変形を緩和する応力緩和層とを有し、前記基板上において、前記応力緩和層が形成され、前記反射層が形成されていない第 1 領域が存在することを特徴とする。

【0018】

50

本発明の別の側面としての評価方法は、EUV光の波長帯域で用いられ、基板と、前記EUV光を反射する反射層と、前記基板と前記反射層との間に形成され、前記反射層による前記基板の変形を緩和する応力緩和層とを有し、前記応力緩和層が表面に露出した複数の第1領域を有する多層膜ミラーの評価方法であって、前記第1領域を用いて、前記応力緩和層の状態を評価するステップと、前記評価ステップで検出された前記応力緩和層の状態に基づいて、前記多層膜ミラーが使用可能であるか判断するステップとを有することを特徴とする。

【0019】

本発明の更に別の側面としての露光装置は、光源からのEUV光を、上述の多層膜ミラー又は上述の評価方法によって使用可能と評価された多層膜ミラーを介して被処理体に導光し、前記被処理体を露光する露光装置であって、前記EUV光が、前記基板のうち前記反射層と前記応力緩和層の両者が形成された第2領域に入射するように、前記多層膜ミラーを配置することを特徴とする。

10

【0020】

本発明の更に別の側面としてのデバイス製造方法は、上述の露光装置を用いて被処理体を露光するステップと、露光された前記被処理体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、磁気センサー、薄膜磁気ヘッドなどを含む。

【0021】

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。

20

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、応力緩和層を容易に検査（評価）することを可能とし、優れた光学性能（結像性能など）を実現する多層膜ミラー及び評価方法を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。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。

30

【0024】

図1は、本発明の一側面としての多層膜ミラー10の構成を示す概略断面図である。多層膜ミラー10は、EUV光を反射する（即ち、EUV光の波長領域で用いられる）ミラーであって、基板12と、応力緩和層14と、反射層16とを有する。ここでは、応力緩和層14と反射層16を模式的に示しているだけであって、実際には、応力緩和層は10～30層対程度、反射層は30～70層対程度形成されている。

【0025】

基板12は、低熱膨張ガラスやシリコンカーバイド等の剛性及び硬度が高く、熱膨張率が小さい材料からなる。基板12は、研削及び研磨によって形成された所定の反射面形状を表面に有する。

40

【0026】

応力緩和層14は、基板12上、即ち、基板12と後述する反射層16との間に形成される。応力緩和層14は、本実施形態では、基板12の全面に形成される。応力緩和層14は、反射層16の応力の向きと反対の向きに応力（逆応力）を有し、反射層16による基板12の変形を緩和する。換言すれば、応力緩和層14は、基板12の表面形状を所定の反射面形状に維持する。応力緩和層14は、多層膜で構成されるが、具体的な構成等については後述する。

【0027】

反射層16は、応力緩和層14上に形成され、EUV光に対して高い反射率を有し、EUV光を効率的に反射する。反射層16は、多層膜で構成されるが、具体的な構成等につ

50

いては後述する。反射層 16 は、基板 12 上に形成された応力緩和層 14 の全面に形成されるのではなく、多層膜ミラー 10 の有効領域 E A を覆うと共に、有効領域外の領域 N E A において、応力緩和層 14 の一部を露出させるように形成される。換言すれば、多層膜ミラー 10 は、有効領域外の領域 N E A において、応力緩和層 14 のみが形成された領域 S F A を基板 12 上に有する。また、多層膜ミラーは、有効領域 E A において、反射層 16 と応力緩和層 14 の両者が形成された領域（第 2 領域）を基板 12 上に有する。応力緩和層 14 のみが形成された領域（すなわち応力緩和層が露出している領域、第 1 領域）S F A は、反射層 16 が形成された後であっても、応力緩和層 14 を非破壊で検査（評価）することを可能にする。ここで、多層膜ミラー 10 の有効領域 E A とは、例えば、露光装置等に搭載する場合に E U V 光が照射される領域（照射領域）のことであり、有効領域外の領域とは、E U V 光が照射されない領域（非照射領域）のことである。 10

【0028】

以下、図 2 を参照して、多層膜ミラー 10 の評価方法 1000 について、多層膜 10 の製造方法と共に説明する。図 2 は、多層膜ミラー 10 の基板 12 の研磨から製造した多層膜ミラー 10 を露光装置に搭載するまでを説明するフローチャートである。

【0029】

まず、基板 12 を所定の反射面形状に研磨し（ステップ 1002）、所定の反射面形状に研磨された基板 12 上に応力緩和層 14 を形成する（ステップ 1004）。応力緩和層 14 の材料（多層膜の材料）は、特に限定しないが、成膜装置の簡略化の観点から反射層 16 と同じ材料を使うことが好ましい。反射層 16 が圧縮応力を有する場合には、応力緩和層 14 は、圧縮応力の逆応力である引っ張り応力を有する必要がある。 20

【0030】

M o / S i 多層膜は、厚さによって応力が変化するため、膜周期及び膜数を最適に調整することによって、反射層 16 として使用することもできるし、また、反射層 16 の応力を打ち消す（キャンセル）する応力緩和層 14 として使用することもできる。例えば、入射角度 5 度、波長 13.5 nm の E U V 光を効率よく反射するためには、反射層 16 として、膜周期 7 nm、膜数 40 層対の M o / S i 多層膜を用いる。この場合、応力緩和層 14 として、膜周期 11 nm、膜数 20 層対の M o / S i 多層膜を用いる。これにより、反射層 16 及び応力緩和層 14 でそれぞれ符号の違う応力が発生し、かかる応力の大きさは 400 M p a 程度である。 30

【0031】

基板 12 上に応力緩和層 14 を形成したら、応力緩和層 14 上に反射層 16 を形成する（ステップ 1006）。具体的には、応力緩和層 14 を形成した時点で、図 3 に示すように、応力緩和層 14 上の有効領域以外の領域 N E A にマスク M K を取り付ける。そして、マスク M K を取り付けた応力緩和層 14 上に反射膜 16 を形成し、反射膜 16 を形成したらマスク M K を取り外す。マスク M K が取り付けられた領域は、マスク M K によって反射層 16 が形成されていないため、図 4 に示すように、有効領域以外の領域 N E A において、応力緩和層 14 を露出した多層膜ミラー 10 が製造される。ここで、図 3 及び図 4 は、多層膜ミラー 10 の製造（ステップ 1006 における反射層 16 の形成）を説明するための図であって、図 3（a）及び図 4（a）は多層膜ミラー 10 の上面図、図 3（b）及び図 4（b）は多層膜ミラー 10 の側面図である。 40

【0032】

なお、マスク M K は、後述するステップ 1012 における応力緩和層 14 の状態の評価に必要な大きさであると共に、反射層 16 を形成した後に基板 12 の形状に影響を与えない程度の大きさである必要がある。なお、基板 12 の形状に与える影響は、形状変化による波面収差として、例えば、10 m 以下である必要がある。

【0033】

また、ステップ 1004 及び 1006 における応力緩和層 14 及び反射層 16 の形成は、図 5 に示すように、一般的な成膜装置 600 を用いる。図 5 は、成膜装置 600 の構成を示す概略斜視図である。成膜装置 600 は、基板 12 に形成する多層膜（応力緩和層 1 50

4 及び反射層 16) の材料を収納する蒸着源 610 と、シャッター 620 と、基板 12 を保持する基板ホルダ 630 とを有する。成膜装置 600 は、基板 12 上に応力緩和層 14 又は反射層 16 を形成する際、基板 12 の回転数 (基板ホルダ 630 の回転数) を上げることで、応力緩和層 14 又は反射層 16 (多層膜ミラー 10) の周方向の膜周期均一性を向上させることができる。また、成膜装置 600 は、基板 12 と蒸着源 610 との間に配置されたシャッター 620 によって応力緩和層 14 又は反射層 16 の周期分布を制御する。但し、ステップ 1004 及び 1006 における応力緩和層 14 及び反射層 16 の形成に使用可能な成膜装置の構成は、図 5 に示す構成に限定されず、当業界周知のいかなる構成をも適用することができる。

【0034】

10

図 2 に戻って、基板 12 上に応力緩和層 14 及び反射層 16 を形成したら、反射層 16 の状態を評価する (ステップ 1008) 。具体的には、AFM (原子間力顕微鏡) 、反射率計、X 線回折などを用いて、反射層 16 の表面粗さ、EUV 光に対する反射率、膜周期 (膜厚) のうち少なくとも一つを調べ (検出し) 、その結果に基づいて反射層 16 の膜を評価する。なお、反射層 16 の状態は、複数の位置で評価することが望ましい。

【0035】

次に、ステップ 1008 で評価した反射層 16 の状態に基づいて、反射層 16 が仕様の範囲内 (即ち、多層膜ミラー 10 として使用可能である) であるか判断する (ステップ 1010) 。具体的には、ステップ 1008 で評価した反射層 16 の表面粗さ、EUV 光に対する反射率、反射層 16 の膜周期と閾値とを比較する。具体的には、反射層の表面粗さ (表面形状) は、0.2 nm 以下 (好ましくは 0.1 nm 以下) であれば仕様範囲内で、0.2 nm を超えた場合には、許容範囲外となり、多層膜を除去し多層膜を塗布し直す。また、反射率は、所望の反射率 (55 % 以上、より好ましくは 60 % 以上) を得られているか否かで、仕様を満足しているか否かを判断する。換言すれば、ステップ 1008 及びステップ 1010 は、反射層 16 を評価する工程である。また、反射層の表面粗さではなく、反射層の膜周期を測定する場合には、その誤差は 0.1 nm 以下 (好ましくは 0.05 nm 以下) であることが望ましい。勿論、上述の評価の基準として用いた数値は、光学設計が異なれば若干変化するものであるが、投影光学系のミラーの枚数が 4 ~ 8 枚程度の光学系においては、上述の値を用いることができる。この点は、以下の応力緩和層の基準値に関しても同様である。

20

30

【0036】

ステップ 1010 において、反射層 16 が仕様の範囲内ではないと判断された多層膜ミラーは、基板 12 上に形成された応力緩和層 14 及び反射層 16 を除去し、ステップ 1002 に戻って基板 12 の研磨からやり直す。なお、反射層 16 が仕様の範囲内ではない多層膜ミラーとは、例えば、反射層 16 の表面粗さが閾値よりも粗い多層膜ミラー、反射層 16 の EUV 光に対する反射率が閾値よりも低い多層膜ミラーである。勿論、反射層 16 の膜周期にムラがある多層膜ミラー、設計された膜周期ではない多層膜ミラーも反射層 16 が仕様の範囲内ではない多層膜ミラーに含まれる。

【0037】

一方、ステップ 1010 において、反射層 16 が仕様の範囲内であると判断された多層膜ミラーについては、応力緩和層 14 の状態を評価する (ステップ 1012) 。応力緩和層 14 の状態の評価には、応力緩和層 14 が表面に露出した領域 (即ち、応力緩和層 14 のみが形成された第 1 領域 SFA) を用いる。本実施形態では、AFM (原子間力顕微鏡) 、反射率計、X 線回折などを用いて、応力緩和層 14 の表面粗さ、EUV 光に対する反射率、膜周期 (膜厚) のうち少なくとも一つを調べ (検出) 、その結果に基づいて応力緩和層の膜を評価する。具体的には、応力緩和層の表面粗さ (表面形状) は、反射層と同等の 0.1 nm 以下 (好ましくは 0.05 nm 以下) であれば仕様範囲内で、0.1 nm を超えた場合には、許容範囲外となり、多層膜を除去し多層膜を塗布し直す。また、応力緩和層自体の膜厚を測定する場合には、その膜厚の誤差は 0.08 nm 以下 (好ましくは 0.05 nm 以下) であることが望ましい。膜厚の誤差が 0.08 nm を超えた場合には、

40

50

多層膜を除去し多層膜を塗布し直す。また、応力緩和層の反射率は、応力緩和層の構成によって異なるが、所望の応力緩和層が理想的に形成された場合の反射率と比較して80%以上（好ましくは90%以上）の反射率が得られれば許容範囲内とする。応力緩和層の反射率の具体的な値としては、20%以上（好ましくは30%以上）であることが望ましい。応力緩和層14のみが形成された領域SFAは、基板12上に複数形成し、各領域で応力緩和層14の状態を評価することが好ましい。ここで、複数の領域SFAは、膜周期方向（膜厚が周期的に変化しており、その周期的な変化の方向）に沿って複数配置されている（複数並んでいる）。

【0038】

次に、ステップ1008で評価した応力緩和層14の状態に基づいて、応力緩和層14が仕様の範囲内（即ち、多層膜ミラー10として使用可能である）であるか判断する（ステップ1014）。具体的には、ステップ1012で評価した応力緩和層14の表面粗さ、EUV光に対する反射率、応力緩和層14の膜周期と閾値とを比較する。換言すれば、ステップ1012及びステップ1014は、応力緩和層14を評価する工程である。

【0039】

ステップ1014において、応力緩和層14が仕様の範囲内であると判断された多層膜ミラーは、露光装置に搭載される（ステップ1018）。

【0040】

一方、応力緩和層14が仕様を満たさない場合は、基板12の研磨ミスや応力緩和層14を形成する工程での不具合が考えられる。また、応力緩和層14の膜周期が仕様と達しない場合は、所期の応力を得ることができない。そこで、ステップ1014において、応力緩和層14が仕様の範囲内ではないと判断された多層膜ミラーは、更に、かかる多層膜ミラーを使用する装置等において又はそれ自身で補正可能かどうか判断する（ステップ1016）。ここで、多層膜ミラーの補正方法の一例について説明する。まず、ステップ1012での評価結果から応力緩和層14の膜周期を導出する。Mo/Si多層膜の応力は膜周期に依存するため、応力緩和層14の膜周期から応力緩和層14の応力を導出し、応力緩和層14及び反射層16の応力による基板12の変形量を見積もる。かかる基板12の変形量から多層膜ミラー10の（反射面の）表面形状の曲率の変化量を見積もる。多層膜ミラー10の表面形状の曲率の変化は、一般に、ミラー間の距離を調整することによって、補正することができる（即ち、露光装置の結像性能を維持することができる）。従って、多層膜ミラー10を露光装置に搭載する際に、露光装置の組み立て及び調整工程において、基板12の変形の影響を取り除くことができる。また、基板12（多層膜ミラー10）の裏面に取り付けられたアクチュエータを用いて基板12を変形させることによって、多層膜ミラーの表面形状の曲率を変化させてその変形を低減しても（取り除いても）よい。多層膜ミラー10の曲率以外の変形の場合は、多層膜ミラー（の裏面）に取り付けられたアクチュエータを用いて基板12を変形させることによって、基板12の変形を低減すれば（取り除けば）よい。ここで、多層膜ミラーの曲率変化量、ある軸に関する変形量、多層膜ミラーに対して加えるべき加重の値などのことを総称して補正量と称してもよい。また、多層膜ミラーの表面形状を調整することによって多層膜ミラーを使用可能にする場合には、補正量は多層膜ミラーの表面形状を調整する調整量である。

【0041】

ステップ1016において、補正可能であると判断された多層膜ミラー10は、露光装置に搭載される（ステップ1018）。一方、補正不可能であると判断された多層膜ミラーは、基板12上に形成された応力緩和層14及び反射層16を除去し、ステップ1002に戻って基板12の研磨からやり直す。

【0042】

このように、本発明の多層膜ミラー10は、反射層16を形成した後であっても応力緩和層14を容易に検査（評価）することができる。また、本発明の評価方法1000によって使用可能であると評価された多層膜ミラー10は、応力緩和層14及び反射層16共に仕様の範囲内であるため、優れた光学性能（結像性能）を実現することができる。更に

、本発明の評価方法 1000 は、応力緩和層 14 を検査することによって、多層膜ミラー 10 を単体で容易に評価することができる。

【0043】

なお、応力緩和層 14 は反射層 16 の応力と逆方向の応力を有しているため、基板 12 上に応力緩和層 14 のみが形成された領域 SFA が存在すると、基板 12 の形状に影響を及ぼす可能性がある。図 6 に示すように、反射層 16 の下に形成された応力緩和層 14a の膜数と、応力緩和層 14 だけが形成された領域 SFA を含む応力緩和層 14b の膜数とが異なる多層膜ミラー 10 を考える。図 6 は、多層膜ミラー 10 の構成を示す概略断面図である。

【0044】

図 6 を参照するに、応力緩和層 14 だけが形成された領域 SFA では、応力緩和層 14b の応力を打ち消す反射層 16 が形成されていないため、基板 12 が変形してしまうことが考えられる。上述したように、応力は膜数に依存し、膜数が増加するとそれに比例して大きくなるため、応力緩和層 14b の膜数は少ないことが好ましい。但し、応力緩和層 14b は、応力緩和層 14 (14b) の状態の評価に対して十分な膜数を有することが必要である。

【0045】

例えば、EUV 光に対する反射率を評価する場合、30% 程度の反射率を得ることができれば、必要な精度で多層膜ミラー 10 を評価することができる。具体的には、膜周期 11nm の応力緩和層 14 の場合、EUV 光の波長領域 (波長 10nm 乃至 20nm) での反射率は、10 層対で 30% 程度である。上述したように、膜周期 7nm の反射層 (40 層対) 16 の応力を打ち消すためには、膜周期 11nm の応力緩和層 14 が 20 層対必要であるが、応力緩和層 14b は、応力緩和層 14 の評価に必要な 10 層対だけを形成する。勿論、EUV 光に対する反射率の評価だけに限らず、応力緩和層 14 の状態を評価する際に用いられる応力緩和層 14b は、求められる評価の精度に必要な膜数だけを形成する。このように、応力緩和層 14b の膜数を減らすことで、基板 12 の形状に及ぼす影響を少なくすることができる。

【0046】

また、露光装置に搭載する多層膜ミラーは、反射面内で光線の入射角度が異なるため、反射層 16 は入射角度に応じた膜周期分布 (周期的に膜厚を変化させている) を有する。応力は膜周期に依存するため、反射層 16 の応力は面内で分布を有する。従って、応力緩和層 14 の膜周期も分布を有するように形成する必要がある。

【0047】

図 7 に示すような多層膜ミラー 10 を考える。図 7 に示す多層膜ミラー 10 は、ミラー外部に回転中心を有し、かかる回転中心を中心として応力緩和層 14 及び反射層 16 を形成する。反射層 16 は、径方向に膜周期の分布を有し、周方向には同じ膜厚の膜周期を有している。この場合、応力緩和層 14 も同様に径方向に膜周期分布 (周期的に膜厚を変化させている) を有し、周方向には同じ膜厚の膜周期を有するように形成する。

【0048】

なお、一般的に、周方向の膜周期均一性を維持することに比べて、径方向に所望の膜周期分布を形成することは困難である。図 7 に示す多層膜ミラー 10 は、多層膜ミラー 10 の評価の確実性を向上させるため、径方向に応力緩和層 14 の状態を評価することができる構成を有している。これにより、応力緩和層 14 の状態を評価した際に、応力緩和層 14 の膜周期分布が所望の分布になっているかどうかを確かめることができる。

【0049】

また、図 8 に示すように、反射層 16 が形成された領域と応力緩和層 14 が形成された領域とが異なる多層膜ミラー 10 を考える。図 8 は、反射層 16 が形成された領域と応力緩和層 14 が形成された領域とが異なる多層膜ミラー 10 の構成を示す図であって、図 8 (a) は上面図、図 8 (b) は側面図である。

【0050】

10

20

30

40

50

図 8 を参照するに、応力緩和層 1 4 のみが形成された領域 S F A には、応力緩和層 1 4 の応力を打ち消す反射層 1 6 が存在しないため、局所的に見ると応力の均衡が保たれていない。但し、多層膜ミラー 1 0 においては、反射層 1 6 を形成した基板 1 2 の形状、又は、有効領域 E A における基板 1 2 の形状が所定の反射面形状であればよい。従って、応力緩和層 1 4 が形成される領域と反射層 1 6 が形成される領域の違いを予め考慮し、それぞれの応力に基づいて、多層膜ミラー 1 0 の形状を最適化することが好ましい。即ち、応力緩和層 1 4 のみが形成された領域 S F A における応力緩和層 1 4 の層数は、反射層 1 6 と応力反射層 1 4 の両者が形成された領域における応力緩和層 1 4 の層数と異なってもよい。

【 0 0 5 1 】

10

以下、図 9 を参照して、評価方法 1 0 0 0 を用いた露光装置の投影光学系の評価方法 1 0 0 0 A について説明する。なお、本実施形態では、投影光学系が 2 つの多層膜ミラー M 1 及び M 2 で構成される場合を例に説明する。但し、評価方法 1 0 0 0 A は、光学系を構成する多層膜ミラーの数を 2 つに限定するものではなく、多層膜ミラーの数は 2 つ以上であってもよい。多層膜ミラー M 1 の応力緩和層を評価するまでのステップ（即ち、ステップ 1 0 1 2 A 乃至 1 0 1 4 A）は、評価方法 1 0 0 0 のステップ 1 0 0 2 乃至 1 0 1 4 と同じである。また、多層膜ミラー M 1 の応力緩和層を評価した結果、仕様の範囲内である場合には、多層膜ミラー M 2 に対して評価方法 1 0 0 0 と同様なステップ 1 0 0 2 B 乃至 1 0 1 6 B（ステップ 1 0 0 2 乃至 1 0 1 6 に相当）を実施する。多層膜ミラー M 2 の応力緩和層を評価した結果、仕様の範囲内である場合には、多層膜ミラー M 1 及び M 2 を露光装置に搭載する（ステップ 1 0 1 8）。一方、多層膜ミラー M 2 の応力緩和層を評価した結果、仕様の範囲内ではない場合には、ステップ 1 0 0 2 B に戻り、多層膜ミラー M 2 の基板の研磨からやり直す。

20

【 0 0 5 2 】

ステップ 1 0 1 4 A において、多層膜ミラー M 1 の応力緩和層を評価した結果、仕様の範囲内でない場合には、かかる応力緩和層が多層膜ミラー M 1 の反射波面に及ぼす影響を見積もる。そして、かかる影響を打ち消すために必要な多層膜ミラー M 2 の基板形状の修正量を導出する（ステップ 1 0 2 0）。例えば、多層膜ミラー M 1 の曲率が変わった場合には、その影響を打ち消すように多層膜ミラー M 2 の基板の曲率を変更する。

【 0 0 5 3 】

30

次に、ステップ 1 0 2 0 で導出した修正量に基づいて、多層膜ミラー M 2 の基板を研磨する（ステップ 1 0 2 2）。そして、多層膜ミラー M 2 の研磨が完了した後、応力緩和層及び反射層を形成し、形成した反射層及び応力緩和層を評価する（ステップ 1 0 2 4 乃至 1 0 3 6）。なお、多層膜ミラー M 2 の研磨以降のステップ 1 0 2 4 乃至 1 0 3 6 は、評価方法 1 0 0 0 のステップ 1 0 0 4 乃至 1 0 1 6 と同じである。

【 0 0 5 4 】

そして、多層膜ミラー M 2 の応力緩和層が仕様の範囲内である場合、又は、修正可能である場合には、多層膜ミラー M 1 及び M 2 を露光装置に搭載する（ステップ 1 0 1 8）。

【 0 0 5 5 】

このように、評価方法 1 0 0 0 A によれば、応力緩和層 1 4 及び反射層 1 6 共に仕様の範囲内である多層膜ミラー M 1 及び M 2 を用いて投影光学系を構成することができ、優れた光学性能（結像性能）を実現することができる。

40

【 0 0 5 6 】

なお、本実施形態では、多層膜ミラー M 2 の応力緩和層の評価において、補正不可能であると判断した場合には、多層膜ミラー M 2 の基板の研磨からやり直しているが、多層膜ミラー M 1 の基板の研磨からやり直してもよい。また、本実施形態では、多層膜ミラー M 1 の曲率変化を例としているが、それ以外の場合も多層膜ミラー M 2 の基板形状を修正することで反射波面への影響を低減することができる。即ち、局所的に多層膜ミラー M 1 の応力緩和層の膜周期が変わった場合、その影響を打ち消すように多層膜ミラー M 2 の基板を研磨すればよい。

50

【 0 0 5 7 】

以下、図 1 0 を参照して、本発明の例示的な露光装置 2 0 0 について説明する。ここで、図 1 0 は、本発明の露光装置 2 0 0 の概略断面図である。本発明の露光装置 2 0 0 は、露光光として E U V 光（例えば、波長 1 3 . 4 n m ）を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式の露光を行う投影露光装置である。

【 0 0 5 8 】

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

【 0 0 5 9 】

また、露光装置 2 0 0 は、図 1 0 に示すように、少なくとも、E U V 光が通る光路を真空環境とするため、真空チャンバ V C を設けている。E U V 光は、大気に対する透過率が低く、また、残留ガス（高分子有機ガスなど）成分との反応によりコンタミナントを生成してしまうからである。

【 0 0 6 0 】

照明装置 2 1 0 は、投影光学系 2 3 0 の円弧状の視野に対応して円弧状の E U V 光によりマスク 2 2 0 を照明する照明装置であって、E U V 光源 2 1 2 と、照明光学系 2 1 4 とを有する。

【 0 0 6 1 】

E U V 光源 2 1 2 は、例えば、レーザープラズマ光源が用いられる。これは、真空容器中の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る。当該プラズマから、例えば、波長 1 3 n m 程度の E U V 光が放射される。ターゲット材としては、金属膜、ガスジェット、液滴などが用いられる。放射される E U V 光の平均強度を高くするためにはパルスレーザーの繰り返し周波数は高い方がよい。当該繰り返し周波数は、通常数 k H z である。

【 0 0 6 2 】

照明光学系 2 1 4 は、集光ミラー 2 1 4 a、オプティカルインテグレーター 2 1 4 b から構成される。集光ミラー 2 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 2 1 4 b は、マスク 2 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 2 1 4 は、マスク 2 2 0 と共役な位置に、マスク 2 2 0 の照明領域を円弧状に限定するためのアパーチャを有してもよい。

【 0 0 6 3 】

照明光学系 2 1 4 を構成する集光ミラー 2 1 2 a は、本発明の評価方法 1 0 0 0 によって使用可能であると評価された多層膜ミラー 1 0 を使用する。勿論、照明光学系 2 1 4 は、本発明の評価方法 1 0 0 0 A によって使用可能と評価された多層膜ミラー 1 0 で構成されていてもよい。かかる多層膜ミラーは、反射層と応力緩和層の両者が形成された領域（第 2 領域）に E U V 光が照射（入射）されるように配置される。また、かかる多層膜ミラーは、応力緩和層のみが形成された領域（第 1 領域）には E U V 光が照射（入射）されないように配置される。これにより、照明光学系 2 1 4 は、優れた光学性能を発揮することができる。

【 0 0 6 4 】

マスク 2 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 2 2 5 により支持及び駆動される。マスク 2 2 0 から発せられた回折光は、投影光学系 2 3 0 で反射されて被処理体 2 4 0 上に投影される。マスク 2 2 0 と被処理体 2 4 0 とは、光学的に共役の関係に配置される。露光装置 2 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 2 2 0 と被処理体 2 4 0 とを走査することにより、マスク 2 2 0 のパターンを被処理体 2 4 0 上に縮小投影する。

【 0 0 6 5 】

マスクステージ 2 2 5 は、マスク 2 2 0 を支持し、図示しない移動機構に接続されてい

10

20

30

40

50

る。マスクステージ 225 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、リニアモーターなどで構成され、少なくとも X 方向にマスクステージ 225 を駆動することでマスク 720 を移動することができる。露光装置 200 は、マスク 220 と被処理体 240 とを同期した状態で走査する。ここで、マスク 220 又は被処理体 240 面内で走査方向を X、それに垂直な方向を Y、マスク 220 又は被処理体 240 面に垂直な方向を Z とする。

【0066】

投影光学系 230 は、複数の反射ミラー（即ち、多層膜ミラー）230a を用いて、マスク 220 面上のパターンを像面に配された被処理体 240 上に縮小投影する。複数の多層膜ミラー 230a の枚数は、4 枚乃至 8 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、マスク 220 と被処理体 240 とを同時に走査して広い面積を転写する。投影光学系 230 の開口数（NA）は、0.25 乃至 0.4 程である。

10

【0067】

投影光学系 230 を構成する多層膜ミラー 730a は、本発明の評価方法 1000 によって使用可能であると評価された多層膜ミラー 10 を使用する。勿論、投影光学系 230 は、本発明の評価方法 1000A によって使用可能であると評価された多層膜ミラー 10 で構成されていてもよい。かかる多層膜ミラーは、反射層と応力緩和層の両者が形成された領域（第 2 領域）に EUV 光が照射（入射）されるように配置される。また、かかる多層膜ミラーは、応力緩和層のみが形成された領域（第 1 領域）には EUV 光が照射（入射）されないように配置される。これにより、投影光学系 230 は、優れた光学性能を発揮することができる。

20

【0068】

被処理体 240 は、本実施形態では半導体ウェハであるが、液晶基板その他の被処理体を広く含む。被処理体 240 には、フォトリソグが塗布されている。

【0069】

ウェハステージ 245 は、ウェハチャック 245a を介して被処理体 240 を支持する。ウェハステージ 245 は、例えば、リニアモーターを利用して XYZ 方向に被処理体 240 を移動する。マスク 220 と被処理体 240 とは、同期して走査される。また、マスクステージ 225 の位置とウェハステージ 245 の位置とは、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。

30

【0070】

アライメント検出機構 250 は、マスク 220 の位置と投影光学系 230 の光軸との位置関係、及び、被処理体 240 の位置と投影光学系 230 の光軸との位置関係を計測する。更に、アライメント検出機構 250 は、マスク 220 の投影像が被処理体 240 の所定の位置に一致するようにマスクステージ 225 及びウェハステージ 245 の位置と角度を設定する。

【0071】

フォーカス位置検出機構 260 は、被処理体 240 面で Z 方向のフォーカス位置を計測し、ウェハステージ 245 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 240 面を投影光学系 230 による結像位置に保つ。

40

【0072】

露光において、照明装置 210 から射出された EUV 光はマスク 220 を照明し、マスク 220 面上のパターンを被処理体 240 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 220 と被処理体 240 を縮小倍率比の速度比で走査することにより、マスク 220 の全面を露光する。

【0073】

露光装置 200 が使用する照明光学系 214 及び投影光学系 230 は、本発明の評価方法 1000 で使用可能であると評価された多層膜ミラーを含み、又は、本発明の評価方法 1000A によって構成される。従って、照明光学系 214 及び投影光学系 230 は、E

50

UV光を高い反射率で反射し、優れた結像性能を有する。これにより、露光装置200は、高いスループットで経済性よく高品位なデバイス（半導体素子、LCD素子、撮像素子（CCDなど）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。

【0074】

次に、図11及び図12を参照して、上述の露光装置200を利用したデバイスの製造方法の実施例を説明する。図11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本発明の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、アッセンブリ工程（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、これが出荷（ステップ7）される。

10

【0075】

図12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（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、上述の露光装置200によってマスクの回路パターンをウェハに転写する。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。かかる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。このように、露光装置200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。

20

30

【0076】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0077】

【図1】本発明の一側面としての多層膜ミラーの構成を示す概略断面図である。

【図2】本発明の一側面としての多層膜ミラーの評価方法を説明するためのフローチャートである。

【図3】図1に示す多層膜ミラーの製造（図2に示すステップ1006における反射層の形成）を説明するための図であって、図3（a）は多層膜ミラーの上面図、図3（b）は多層膜ミラーの側面図である。

40

【図4】図1に示す多層膜ミラーの製造（図2に示すステップ1006における反射層の形成）を説明するための図であって、図3（a）は多層膜ミラーの上面図、図3（b）は多層膜ミラーの側面図である。

【図5】図2に示すステップ1004及び1006において使用される一般的な成膜装置の構成を示す概略斜視図である。

【図6】本発明の一側面としての多層膜ミラーの構成を示す概略断面図である。

【図7】本発明の一側面としての多層膜ミラーを示す概略平面図である。

【図8】本発明の一側面としての多層膜ミラーを示す図であって、図8（a）は上面図、図8（b）は側面図である。

50

【図 9】図 2 に示す評価方法を用いた露光装置の投影光学系の評価方法を説明するためのフローチャートである。

【図 10】本発明の一側面としての露光装置の構成を示す概略断面図である。

【図 11】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。

【図 12】図 11 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 13】応力緩和層を有する従来の多層膜ミラーの構成を示す概略断面図である。

【図 14】不均一な膜周期の応力緩和層を有する従来の多層膜ミラーを示す概略断面図である。

【符号の説明】

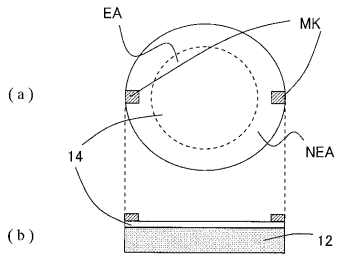
10

【 0 0 7 8 】

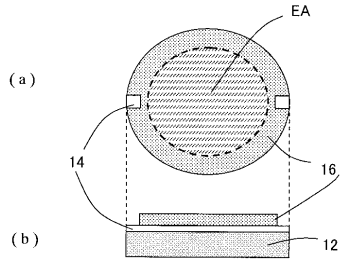
1 0	多層膜ミラー
1 2	基板
1 4	応力緩和層
1 6	反射層
E A	有効領域
N E A	有効領域以外の領域
S F A	応力緩和層のみが形成された領域
2 0 0	露光装置
2 1 0	照明装置
2 1 2	E U V 抗原
2 1 4	照明光学系
2 2 0	マスク
2 2 5	マスクステージ
2 3 0	投影光学系
2 4 0	被処理体
2 4 5	ウェハステージ
2 5 0	アライメント検出機構
2 6 0	フォーカス位置検出機構

20

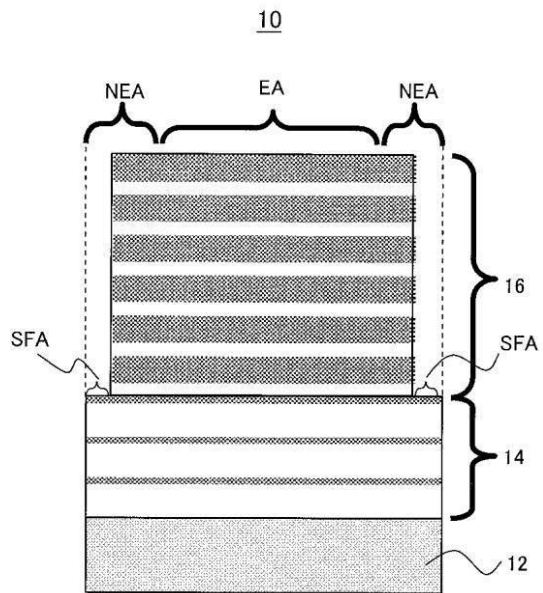
【図 3】



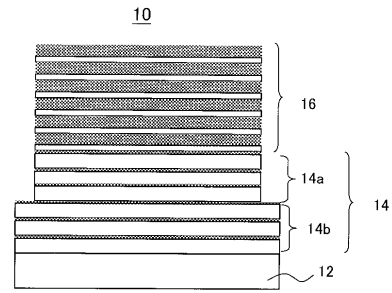
【図 4】



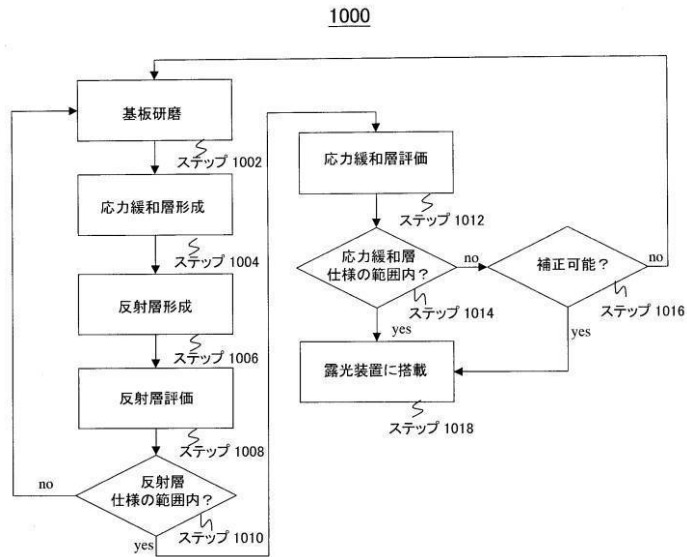
【図 1】



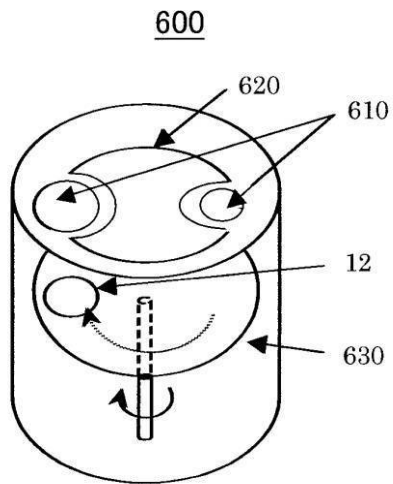
【図 6】



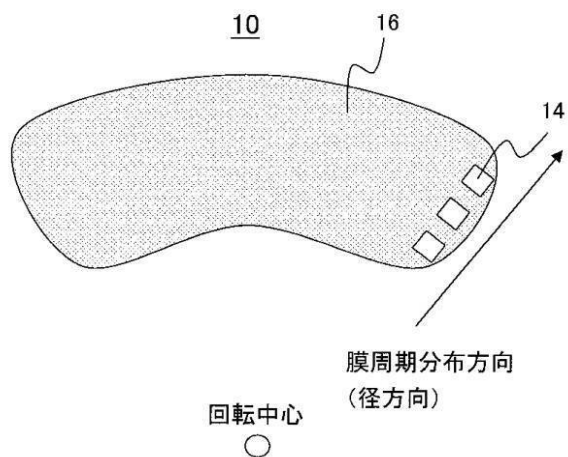
【図 2】



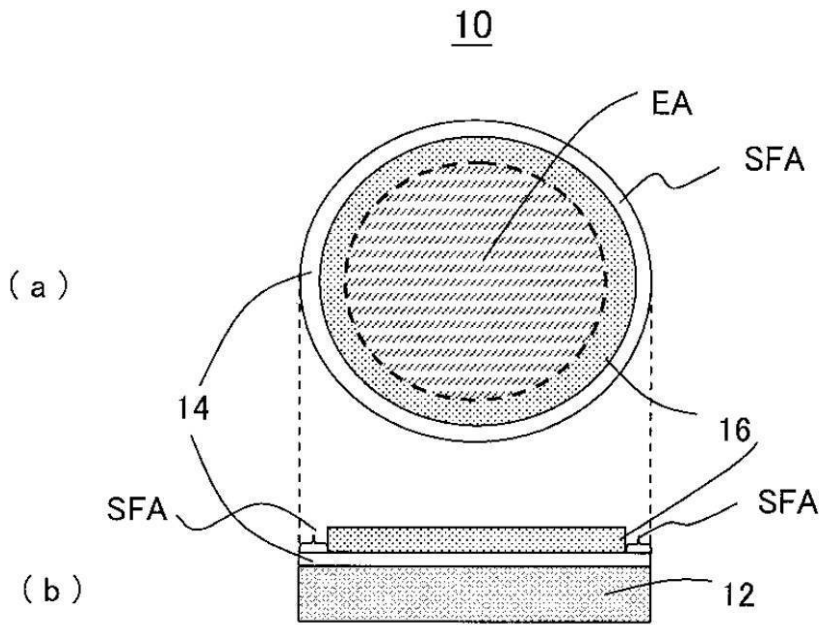
【図 5】



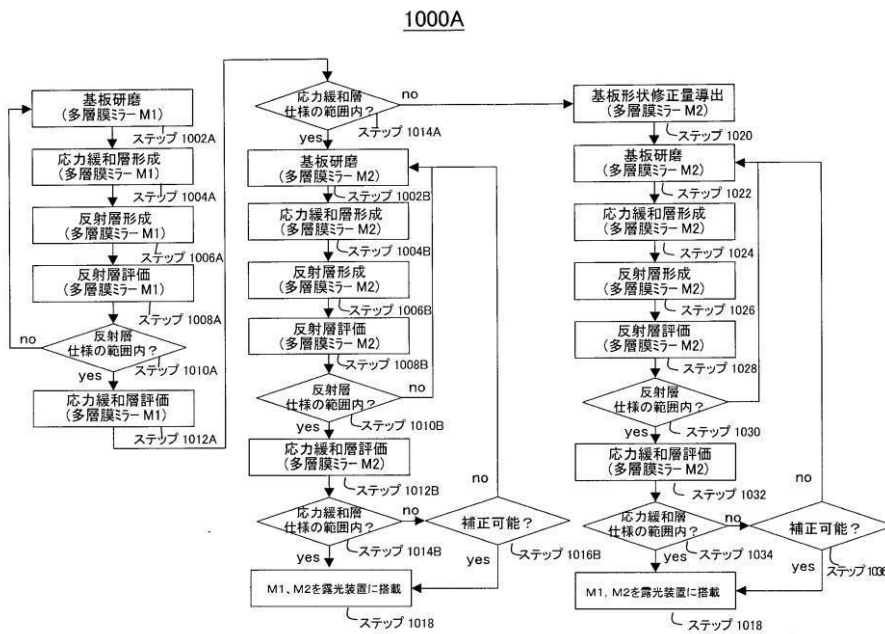
【図 7】



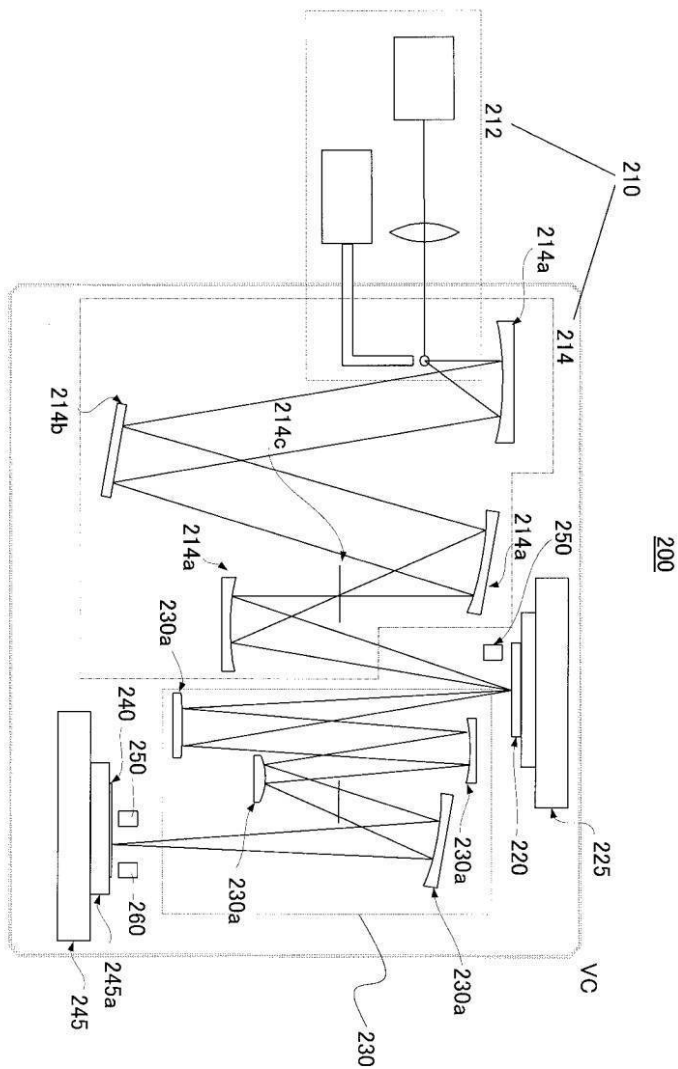
【図 8】



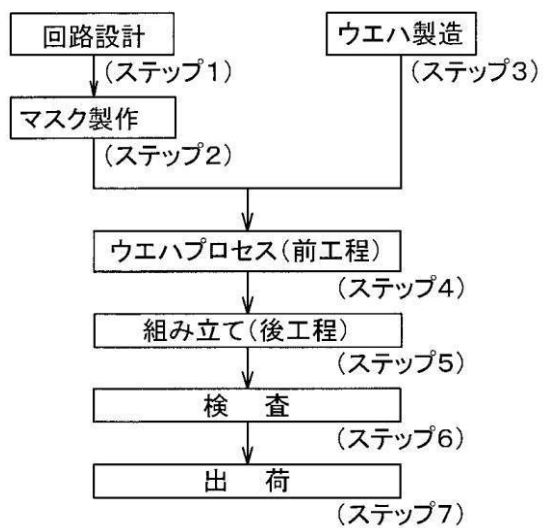
【図 9】



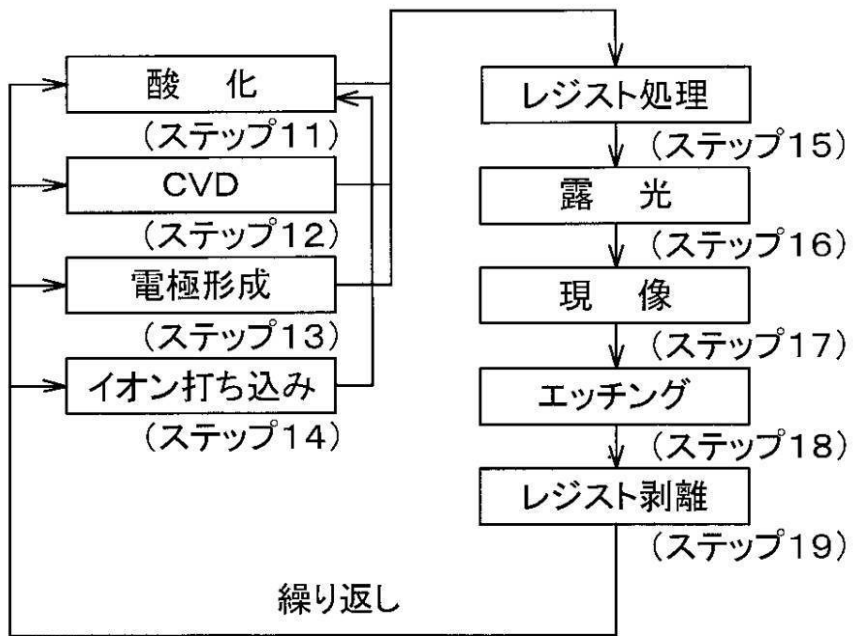
【図 10】



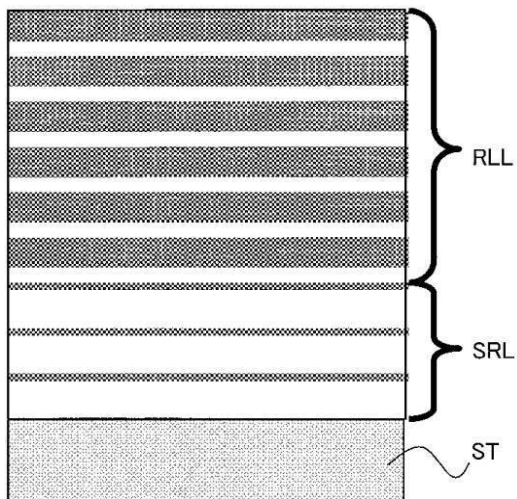
【図 11】



【図 1 2】



【図 1 3】



【 図 1 4 】

