

(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
2020年5月14日(14.05.2020)



(10) 国際公開番号

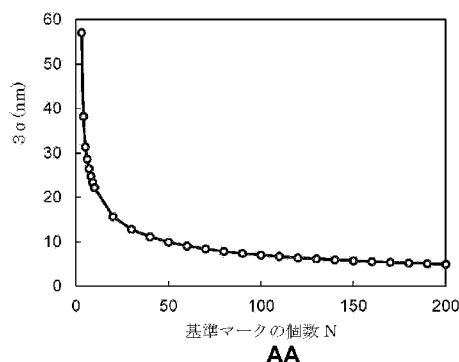
WO 2020/095959 A1

- (51) 国際特許分類:
G03F 1/24 (2012.01) *G03F 7/20* (2006.01)
G03F 1/84 (2012.01) *G01N 21/956* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/043546
- (22) 国際出願日: 2019年11月6日(06.11.2019)
- (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 2018-209973 2018年11月7日(07.11.2018) JP
- (71) 出願人: H O Y A 株 式 会 社 (**HOYA CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1608347 東京都新宿区西新宿六丁目 1 0 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 浜 本 和 宏 (**HAMAMOTO Kazuhiro**); 〒1608347 東京都新宿区西新宿六丁目 1 0 番 1 号 H O Y A 株 式 会 社 内 Tokyo (JP).
鈴木 宏太 (**SUZUKI Kota**); 〒1608347 東京都新宿区西新宿六丁目 1 0 番 1 号 H O Y A 株 式 会 社 内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人 津 国, 外 (**TSUKUNI & ASSOCIATES et al.**); 〒1020083 東京都千代田区麹町 5 - 3 - 1 麹町ビジネスセンター 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, DJ, DK, DM, DO,

(54) **Title:** MULTILAYER REFLECTION FILM-PROVIDED SUBSTRATE, REFLECTIVE MASK BLANK, REFLECTIVE MASK PRODUCING METHOD, AND SEMICONDUCTOR DEVICE PRODUCING METHOD

(54) 発明の名称: 多層反射膜付き基板、反射型マスクブランク、反射型マスクの製造方法、及び半導体装置の製造方法

【図8】



AA Number N of reference marks

(57) **Abstract:** The present invention allows improvement in the accuracy of conversion from a coordinate system of a defect inspection device for detecting defects on a multilayer reflection film into a coordinate system of a device other than the defect inspection device. This multilayer reflection film-provided substrate includes reference marks, the number of which is predetermined through steps (1) to (7). In step (1), the defect inspection device acquires first defect coordinates of defects and first reference mark coordinates of reference marks on a different multilayer reflection film-provided substrate. In step (2), a coordinate measurement device acquires second defect coordinates of the defects and second reference mark coordinates of the reference marks on the different multilayer reflection film-provided substrate. In step (3), a conversion coefficient for performing coordinate conversion from a coordinate system of the defect inspection device into a coordinate system of the coordinate measurement device is calculated on the basis of the first reference mark coordinates and the

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, 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))

second reference mark coordinates. In step (4), the first defect coordinates are converted into third defect coordinates with use of the conversion coefficient calculated in step (3). In step (5), the value of 3σ is obtained for the difference between the second defect coordinates and the third defect coordinates. In step (6), the correspondence relationship between the number of the reference marks and 3σ is acquired. In step (7), the number of the reference marks at which the value of 3σ becomes less than 50 nm, is determined.

(57) 要約: 多層反射膜上の欠陥を検出する欠陥検査装置の座標系から、それ以外の装置の座標系への変換精度を向上させる。多層反射膜付き基板は、手順(1)～(7)によって予め求められた個数の基準マークを備えている。(1) 欠陥検査装置によって、別の多層反射膜付き基板における欠陥の第1の欠陥座標、及び、基準マークの第1の基準マーク座標を取得する。(2) 座標計測器によって、別の多層反射膜付き基板における欠陥の第2の欠陥座標、及び、基準マークの第2の基準マーク座標を取得する。(3) 第1の基準マーク座標及び第2の基準マーク座標に基づいて、欠陥検査装置の座標系から、座標計測器の座標系へ座標を変換するための変換係数を算出する。(4) (3)で算出された変換係数を用いて、第1の欠陥座標を、第3の欠陥座標へ変換する。(5) 第2の欠陥座標と、第3の欠陥座標との間の差について、 3σ の値を求める。(6) 基準マークの個数と 3σ との対応関係を取得する。(7) 3σ の値が、50nm未満となる基準マークの個数を決定する。

明 細 書

発明の名称：

多層反射膜付き基板、反射型マスクブランク、反射型マスクの製造方法、及び半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、多層反射膜付き基板、反射型マスクブランク、反射型マスクの製造方法、及び半導体装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 近年における超ＬＳＩデバイスの高密度化、高精度化の更なる要求に伴い、極紫外（Extreme Ultra Violet、以下、ＥＵＶと称す）光を用いた露光技術であるＥＵＶリソグラフィーが有望視されている。ここで、ＥＵＶ光とは、軟Ｘ線領域又は真空紫外線領域の波長帯の光を指し、具体的には波長が０．２～１００ｎｍ程度の光のことである。ＥＵＶリソグラフィーにおいて用いられるマスクとして、反射型マスクが提案されている。反射型マスクは、ガラスやシリコンなどの基板上に、露光光を反射する多層反射膜が形成され、その多層反射膜の上に露光光を吸収する吸収体膜パターンが形成されたものである。パターン転写を行う露光機において、それに搭載された反射型マスクに入射した光は、吸収体膜パターンのある部分では吸収され、吸収体膜パターンのない部分では多層反射膜により反射される。そして反射された光像が、反射光学系を介してシリコンウエハ等の半導体基板上に転写される。

[0003] リソグラフィー工程での微細化に対する要求が高まることにより、リソグラフィー工程における課題が顕著になりつつある。その課題の１つが、リソグラフィー工程で用いられるマスクブランク用基板等の欠陥情報に関する問題である。

[0004] 従来は、ブランクス検査等において、基板の欠陥の存在位置を、基板センターを原点（０，０）とし、欠陥検査装置が管理する座標系を用いて、その原点からの距離で特定していた。このため、絶対値座標の基準が明確でなく

、位置精度が低く、装置間でも検出のばらつきがあった。また、パターン描画時に、欠陥を避けてパターン形成用薄膜にパターニングする場合でも、 μm オーダーでの欠陥の回避は困難であった。このため、パターンを転写する方向を変えたり、転写する位置を mm オーダーでラフにずらしたりして、欠陥を回避していた。

[0005] このような状況下、例えばマスクブランク用基板に基準マークを形成し、基準マークを基準として欠陥の位置を特定することが提案されている。マスクブランク用基板に基準マークを形成することにより、装置毎に欠陥の位置を特定するための基準がずれることが防止される。

[0006] 露光光としてEUV光を使用する反射型マスクにおいては、多層反射膜上の欠陥の位置を正確に特定することが特に重要である。なぜなら、多層反射膜に存在する欠陥は、修正がほとんど不可能である上に、転写パターン上で重大な位相欠陥となり得るためである。

[0007] 多層反射膜上の欠陥の位置を正確に特定するためには、多層反射膜を形成した後に欠陥検査を行うことで、欠陥の位置情報を取得することが好ましい。そのためには、基板上に形成された多層反射膜に、基準マークを形成することが好ましい。

[0008] 特許文献1には、球相当直径で30nm程度の微小な欠陥の位置を正確に特定できるように、EUVリソグラフィー用反射型マスクブランク用基板等に、大きさが球相当直径で30～100nmの少なくとも3つのマークを形成することが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：国際公開WO2008/129914号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] マスクブランクの欠陥データとデバイスパターンデータとを元に、欠陥が

存在している箇所に吸収体膜パターンが形成されるように描画データを補正して、欠陥を軽減させる技術（Defect mitigation technology）が提案されている。このような技術を実現するために、例えば、多層反射膜上に吸収体膜が形成された反射型マスクブランクにおいて、吸収体膜上に形成されたレジスト膜に電子線描画機を用いてパターンを描画する際に、電子線描画機においても電子線で基準マークを検出し、検出した基準点に基づいて、補正・修正した描画データを元にパターンを描画することが行われる。

[0011] マスクブランクの欠陥データを取得するための欠陥検査装置の座標系は、電子線描画機の座標系と異なっている。このため、欠陥検査装置で取得した基準マーク及び欠陥のデータを用いて電子線描画を行う際には、当該データを電子線描画機の座標系に変換する必要がある。

[0012] しかし、欠陥検査装置の座標系から電子線描画機の座標系への変換精度が悪いと、上述のDefect mitigation technologyを実施したときに、描画データの補正・修正を高精度で行うことができないという問題が生じる。

[0013] そこで、本発明は、多層反射膜上の欠陥を検出する欠陥検査装置の座標系から、それ以外の装置の座標系への変換精度を向上させることのできる多層反射膜付き基板、反射型マスクブランク、反射型マスクの製造方法、及び半導体装置の製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0014] 本発明者らは、多層反射膜上の欠陥を検出する欠陥検査装置の座標系から、それ以外の装置の座標系への変換精度を向上させることについて鋭意研究を行った。その結果、欠陥位置の基準となる基準マークの個数と、座標変換精度との間に相関があることを見出し、本発明を完成させた。

[0015] 上記課題を解決するため、本発明は以下の構成を有する。

（構成１）

基板と、該基板上に形成されたＥＵＶ光を反射する多層反射膜とを有する

多層反射膜付き基板であって、

前記多層反射膜付き基板における欠陥の位置の基準となる基準マークを備えており、

前記基準マークの個数は、以下の手順（１）～（７）によって予め求められた個数であることを特徴とする、多層反射膜付き基板。

（１）第１の座標系を有する欠陥検査装置によって、複数の基準マークを有する別の多層反射膜付き基板における欠陥の第１の欠陥座標、及び、基準マークの第１の基準マーク座標を取得する。

（２）第２の座標系を有する座標計測器によって、前記別の多層反射膜付き基板における前記欠陥の第２の欠陥座標、及び、前記基準マークの第２の基準マーク座標を取得する。

（３）前記第１の基準マーク座標及び前記第２の基準マーク座標に基づいて、前記第１の座標系から前記第２の座標系へ座標を変換するための変換係数を算出する。

（４）上記（３）で算出された変換係数を用いて、上記（１）において前記欠陥検査装置によって取得された前記第１の欠陥座標を、前記第２の座標系を基準とした第３の欠陥座標へ変換する。

（５）上記（２）において前記座標計測器によって取得された前記第２の欠陥座標と、上記（４）で変換された第３の欠陥座標との間の差について、 3σ の値を求める。

（６）基準マークの個数と 3σ との対応関係を取得する。

（７） 3σ の値が、 50 nm 未満となる基準マークの個数を決定する。

[0016] （構成２）

前記基準マークの個数は、８個以上である、構成１に記載の多層反射膜付き基板。

[0017] （構成３）

前記基準マークの個数は、１６個以上である、構成１または構成２に記載の多層反射膜付き基板。

[0018] (構成4)

構成1から構成3のうちいずれかに記載の多層反射膜付き基板と、該多層反射膜付き基板上に形成された積層膜とを有する反射型マスクブランク。

[0019] (構成5)

基板及び該基板上に形成されたEUV光を反射する多層反射膜を有する多層反射膜付き基板と、該多層反射膜付き基板上に形成された積層膜とを有する反射型マスクブランクであって、

前記多層反射膜付き基板は、該多層反射膜付き基板における欠陥の位置の基準となる基準マークを備えており、

前記積層膜は、前記基準マークが転写された転写基準マークを備えており、

前記基準マークの個数は、以下の手順(1)～(7)によって予め求められた個数であることを特徴とする、反射型マスクブランク。

(1) 第1の座標系を有する欠陥検査装置によって、複数の基準マークを有する別の多層反射膜付き基板における欠陥の第1の欠陥座標、及び、基準マークの第1の基準マーク座標を取得する。

(2) 第2の座標系を有する座標計測器によって、前記別の多層反射膜付き基板上に形成された積層膜を有する反射型マスクブランクにおける欠陥の第2の欠陥座標、及び、転写基準マークの第2の基準マーク座標を取得する。

(3) 前記第1の基準マーク座標及び前記第2の基準マーク座標に基づいて、前記第1の座標系から前記第2の座標系へ座標を変換するための変換係数を算出する。

(4) 上記(3)で算出された変換係数を用いて、上記(1)において前記欠陥検査装置によって取得された前記第1の欠陥座標を、前記第2の座標系を基準とした第3の欠陥座標へ変換する。

(5) 上記(2)において前記座標計測器によって取得された前記第2の欠陥座標と、上記(4)で変換された第3の欠陥座標との間の差について、

3 σ の値を求める。

(6) 基準マークの個数と3 σ との対応関係を取得する。

(7) 3 σ の値が、50nm未満となる基準マークの個数を決定する。

[0020] (構成6)

前記基準マークの個数は、8個以上である、構成5に記載の反射型マスクブランク。

[0021] (構成7)

前記基準マークの個数は、16個以上である、構成5または構成6に記載の反射型マスクブランク。

[0022] (構成8)

前記積層膜は、EUV光を吸収する吸収体膜を含む、構成4から構成7のうちいずれかに記載の反射型マスクブランク。

[0023] (構成9)

構成4または構成8に記載の反射型マスクブランクにおける前記積層膜に積層膜パターンを形成する工程を有する、反射型マスクの製造方法。

[0024] (構成10)

構成9に記載の反射型マスクの製造方法によって製造された反射型マスクを使用して、半導体基板上に転写パターンを形成する工程を有する、半導体装置の製造方法。

発明の効果

[0025] 本発明によれば、多層反射膜上の欠陥を検出するための欠陥検査装置の座標系から、それ以外の装置の座標系への変換精度を向上させることのできる多層反射膜付き基板及び反射型マスクブランクを提供することができる。また、本発明によれば、これら多層反射膜付き基板又は反射型マスクブランクを使用し、これらの欠陥情報に基づき、描画データの修正を行なうことで欠陥を低減させた反射型マスクの製造方法及び半導体装置の製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0026] [図1]多層反射膜付き基板の断面を示す模式図である。

[図2]多層反射膜付き基板の平面図、及び、基準マークの拡大図である。

[図3]反射型マスクブランクの断面を示す模式図である。

[図4]反射型マスクの製造方法を示す模式図である。

[図5]パターン転写装置を示している。

[図6]F Mの個数が8個の場合における、F Mの形成箇所を示す。

[図7]F Mの個数が3～8の場合における、 3σ の値を示すグラフである。

[図8]基準マークの個数Nを200まで増加させたときの 3σ の計算結果を示すグラフである。

[図9]F Mの個数が16個の場合における、F Mの形成箇所を示す。

[図10]A Mの個数が28個、F Mの個数が4個の場合における、A M及びF Mの形成箇所を示す。

[図11]F Mの個数が3個の場合における、F Mの形成箇所を示す。

発明を実施するための形態

[0027] (第1の実施形態)

以下、本発明の実施形態について詳細に説明する。

[多層反射膜付き基板]

図1は、本実施形態の多層反射膜付き基板の断面を示す模式図である。

図1に示すように、多層反射膜付き基板10は、基板12と、露光光であるEUV光を反射する多層反射膜14とを備えている。さらに、多層反射膜付き基板10は、多層反射膜14を保護するための保護膜18を備えてもよい。本実施形態では、基板12の上に多層反射膜14が形成されており、多層反射膜14の上に保護膜18が形成されている。後述するように、多層反射膜付き基板10は、欠陥位置の基準となる4個以上の基準マークを備えている。

[0028] なお、本明細書において、基板や膜の「上に」とは、その基板や膜の上面に接触する場合だけでなく、その基板や膜の上面に接触しない場合も含む。すなわち、基板や膜の「上に」とは、その基板や膜の上方に新たな膜が形成

される場合や、その基板や膜との間に他の膜が介在している場合等を含む。
また、「上に」とは、必ずしも鉛直方向における上側を意味するものではない。「上に」とは、基板や膜などの相対的な位置関係を示しているに過ぎない。

[0029] <基板>

本実施形態の多層反射膜付き基板 10 に使用される基板 12 としては、EUV 露光の場合、露光時の熱による吸収体膜パターンの歪みを防止するため、 $0 \pm 5 \text{ ppb}/^\circ\text{C}$ の範囲内の低熱膨張係数を有するものが好ましく用いられる。この範囲の低熱膨張係数を有する素材としては、例えば、 $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ 系ガラス、多成分系ガラスセラミックス等を用いることができる。

[0030] 基板 12 の転写パターン（後述の吸収体膜パターンがこれに対応する）が形成される側の主表面は、平坦度を高めるために加工されることが好ましい。基板 12 の主表面の平坦度を高めることによって、パターンの位置精度や転写精度を高めることができる。例えば、EUV 露光の場合、基板 12 の転写パターンが形成される側の主表面の $132 \text{ mm} \times 132 \text{ mm}$ の領域において、平坦度が $0.1 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、更に好ましくは $0.05 \mu\text{m}$ 以下、特に好ましくは $0.03 \mu\text{m}$ 以下である。また、転写パターンが形成される側と反対側の主表面は、露光装置に静電チャックによって固定される面であって、その $142 \text{ mm} \times 142 \text{ mm}$ の領域において、平坦度が $1 \mu\text{m}$ 以下、更に好ましくは $0.5 \mu\text{m}$ 以下、特に好ましくは $0.03 \mu\text{m}$ 以下である。なお、本明細書において平坦度は、TIR (Total Indicated Reading) で示される表面の反り（変形量）を表す値で、基板表面を基準として最小二乗法で定められる平面を焦平面とし、この焦平面より上にある基板表面の最も高い位置と、焦平面より下にある基板表面の最も低い位置との高低差の絶対値である。

[0031] EUV 露光の場合、基板 12 の転写パターンが形成される側の主表面の表面粗さは、二乗平均平方根粗さ (RMS) で 0.1 nm 以下であることが好ましい。なお表面粗さは、原子間力顕微鏡で測定することができる。

[0032] 基板 12 は、その上に形成される膜（多層反射膜 14 など）の膜応力による変形を防止するために、高い剛性を有していることが好ましい。特に、基板 12 は、65 GPa 以上の高いヤング率を有していることが好ましい。

[0033] <多層反射膜>

多層反射膜付き基板 10 は、基板 12 と、基板 12 の上に形成された多層反射膜 14 とを備えている。多層反射膜 14 は、例えば、屈折率の異なる元素が周期的に積層された多層膜からなる。多層反射膜 14 は、EUV 光を反射する機能を有している。

[0034] 一般的には、多層反射膜 14 は、高屈折率材料である軽元素又はその化合物の薄膜（高屈折率層）と、低屈折率材料である重元素又はその化合物の薄膜（低屈折率層）とが交互に 40～60 周期程度積層された多層膜からなる。

多層反射膜 14 を形成するために、基板 12 側から高屈折率層と低屈折率層をこの順に複数周期積層してもよい。この場合、1つの（高屈折率層／低屈折率層）の積層構造が、1周期となる。

多層反射膜 14 を形成するために、基板 12 側から低屈折率層と高屈折率層をこの順に複数周期積層してもよい。この場合、1つの（低屈折率層／高屈折率層）の積層構造が、1周期となる。

[0035] なお、多層反射膜 14 の最上層、すなわち多層反射膜 14 の基板 12 と反対側の表面層は、高屈折率層であることが好ましい。基板 12 側から高屈折率層と低屈折率層をこの順に積層する場合は、最上層が低屈折率層となる。しかし、低屈折率層が多層反射膜 14 の表面である場合、低屈折率層が容易に酸化されることで多層反射膜の反射率が減少してしまうので、その低屈折率層の上に高屈折率層を形成する。一方、基板 12 側から低屈折率層と高屈折率層をこの順に積層する場合は、最上層が高屈折率層となる。その場合は、最上層の高屈折率層が、多層反射膜 14 の表面となる。

[0036] 本実施形態において、高屈折率層は、Si を含む層であってもよい。高屈折率層は、Si 単体を含んでもよく、Si 化合物を含んでもよい。Si 化合

物は、S i と、B、C、N、及びOからなる群から選択される少なくとも1つの元素を含んでもよい。S i を含む層を高屈折率層として使用することによって、E U V 光の反射率に優れた多層反射膜が得られる。

[0037] 本実施形態において、低屈折率材料としては、M o、R u、R h、及びP t からなる群から選択される少なくとも1つの元素、あるいは、M o、R u、R h、及びP t からなる群から選択される少なくとも1つの元素を含む合金を使用することができる。

[0038] 例えば、波長13～14 nmのE U V 光のための多層反射膜14としては、好ましくは、M o膜とS i膜を交互に40～60周期程度積層したM o／S i多層膜を用いることができる。その他に、E U V 光の領域で使用される多層反射膜として、例えば、R u／S i周期多層膜、M o／B e周期多層膜、M o化合物／S i化合物周期多層膜、S i／N b周期多層膜、S i／M o／R u周期多層膜、S i／M o／R u／M o周期多層膜、S i／R u／M o／R u周期多層膜などを用いることができる。露光波長を考慮して、多層反射膜の材料を選択することができる。

[0039] このような多層反射膜14の単独での反射率は、例えば65%以上である。多層反射膜14の反射率の上限は、例えば73%である。なお、多層反射膜14に含まれる層の厚み及び周期は、ブラッグの法則を満たすように選択することができる。

[0040] 多層反射膜14は、公知の方法によって形成できる。多層反射膜14は、例えば、イオンビームスパッタ法により形成できる。

[0041] 例えば、多層反射膜14がM o／S i多層膜である場合、イオンビームスパッタ法により、M oターゲットを用いて、厚さ3 nm程度のM o膜を基板12の上に形成する。次に、S iターゲットを用いて、厚さ4 nm程度のS i膜を形成する。このような操作を繰り返すことによって、M o／S i膜が40～60周期積層した多層反射膜14を形成することができる。このとき、多層反射膜14の基板12と反対側の表面層は、S iを含む層（S i膜）である。1周期のM o／S i膜の厚みは、7 nmとなる。

[0042] <保護膜>

本実施形態の多層反射膜付き基板 10 は、多層反射膜 14 の上に形成された保護膜 18 を備えてもよい。保護膜 18 は、後述の吸収体膜のパターニングあるいはパターン修正の際に、多層反射膜 14 を保護する機能を有している。保護膜 18 は、例えば、多層反射膜 14 と吸収体膜との間に設けられる。

[0043] 保護膜 18 の材料としては、例えば、Ru、Ru-(Nb、Zr、Y、B、Ti、La、Mo、Co又はRe)化合物、Si-(Ru、Rh、Cr又はB)化合物、Si、Zr、Nb、La、B等の材料を使用することができる。また、これらに窒素、酸素又は炭素を添加した化合物を用いることができる。これらのうち、ルテニウム(Ru)を含む材料を適用すると、多層反射膜の反射率特性がより良好となる。具体的には、保護膜 18 の材料は、Ru、又は、Ru-(Nb、Zr、Y、B、Ti、La、Mo、Co又はRe)化合物であることが好ましい。保護膜 18 の厚みは、例えば、1 nm~5 nmである。保護膜 18 は、公知の方法によって形成できる。保護膜 18 は、例えば、マグネトロンスパッタリング法やイオンビームスパッタ法によって形成できる。

[0044] 多層反射膜付き基板 10 は、さらに、基板 12 の多層反射膜 14 が形成されている側とは反対側の主表面上に、裏面導電膜を有してもよい。裏面導電膜は、静電チャックによって多層反射膜付き基板 10 あるいは反射型マスクブランクを吸着する際に使用される。

[0045] 多層反射膜付き基板 10 は、基板 12 と多層反射膜 14 との間に形成された下地膜を備えてもよい。下地膜は、例えば、基板 12 の表面の平滑性向上の目的で形成される。下地膜は、例えば、欠陥低減、多層反射膜の反射率向上、多層反射膜の応力補正等の目的で形成される。

[0046] <基準マーク>

図 2 は、本実施形態の多層反射膜付き基板 10 の平面図である。

図 2 に示すように、略矩形状の多層反射膜付き基板 10 の 4 つの角部の近

傍には、基準マーク20がそれぞれ形成されている。基準マーク20は、欠陥情報における欠陥位置の基準として使用されるマークである。図2では、基準マーク20が4個形成されている例を示しているが、基準マーク20の個数は4個以上であってもよい。また、4個以上の基準マーク20は、少なくとも2軸上に配置されればよい。

[0047] 図2に示す多層反射膜付き基板10において、破線Aの内側の領域(132mm×132mmの領域)には、反射型マスクを製造するときに吸収体膜パターンが形成される。破線Aの外側の領域には、反射型マスクを製造するときに吸収体膜パターンが形成されない。基準マーク20は、好ましくは、吸収体膜パターンが形成されない領域、すなわち、破線Aの上、あるいは、破線Aの外側の領域に形成される。

[0048] 図2に示すように、基準マーク20は、略十字型形状を有している。略十字型形状を有する基準マーク20の幅W1、W2は、例えば、200nm以上10μm以下である。基準マーク20の長さLは、例えば、100μm以上1500μm以下である。図2では、略十字型形状を有する基準マーク20の例を示しているが、基準マーク20の形状はこれに限定されない。基準マーク20の形状は、例えば、平面視で略L字型、円形、三角形又は四角形等であってもよい。

[0049] 基準マーク20の断面形状は、例えば凹状である。ここでいう「凹状」とは、多層反射膜付き基板10の断面(多層反射膜付き基板10の主表面に垂直な断面)を見たときに、基準マーク20が下方に向けて例えば段差状あるいは湾曲状に凹むようにして形成されていることを意味する。凹状に形成された基準マーク20の深さDは、好ましくは、30nm以上である。基準マーク20の深さDは、基板12が露出する深さとしてもよいが、100nm以下が好ましく、50nm以下であることがより好ましい。深さDが小さい場合には、本発明の効果がより顕著に得られる。深さDとは、多層反射膜付き基板10の表面から、基準マーク20の底部の最も深い位置までの垂直方向の距離のことを意味する。

[0050] 基準マーク20の形成方法は、特に制限されない。基準マーク20は、例えば、多層反射膜付き基板10の表面にレーザ加工によって形成することができる。このとき、多層反射膜14を成膜した後に基準マーク20を形成し、その後保護膜18を成膜してもよいし、多層反射膜14及び保護膜18を成膜し、その後基準マーク20を形成してもよい。レーザ加工の条件は、例えば、以下の通りである。

レーザの種類（波長）：紫外線～可視光領域。例えば、波長405 nmの半導体レーザ。

レーザ出力：1～120 mW

スキャン速度：0.1～20 mm/s

パルス周波数：1～100 MHz

パルス幅：3 ns～1000 s

[0051] 基準マーク20をレーザ加工する際に使用するレーザは、連続波でもよく、パルス波でもよい。パルス波を用いた場合、連続波と比較して、基準マーク20の深さDが同程度であっても、基準マーク20の幅Wをより小さくすることが可能である。このため、パルス波を用いた場合、連続波と比較して、よりコントラストが大きく、欠陥検査装置や電子線描画装置によって検出し易い基準マーク20を形成することができる。

[0052] 基準マーク20の形成方法は、レーザに限定されない。基準マーク20は、例えば、フォトリソ法、FIB（集束イオンビーム）、ダイヤモンド針を走査しての加工痕、微小圧子によるインデント、インプリント法による型押しなどで形成することができる。

[0053] 基準マーク20の断面形状は、凹状に限定されない。例えば、基準マーク20の断面形状は、上方に突出する凸状であってもよい。基準マーク20の断面形状が凸状の場合、FIBやスパッタリング法などによる部分成膜などで形成することができる。凸状に形成された基準マーク20の高さHは、好ましくは、30 nm以上である。基準マーク20の高さHは、100 nm以下が好ましく、50 nm以下であることがより好ましい。高さHが小さい場

合には、本発明の効果がより顕著に得られる。高さHとは、多層反射膜付き基板10の表面から、基準マーク20の最も高い位置までの垂直方向の距離のことを意味する。

[0054] 多層反射膜付き基板10に基準マーク20を形成した場合には、欠陥検査装置によって、基準マーク20及び欠陥の座標を高精度に取得する。次に、多層反射膜付き基板10の保護膜18の上に、吸収体膜を形成する。次に、吸収体膜の上に、レジスト膜を形成する。吸収体膜とレジスト膜との間には、ハードマスク膜（あるいはエッチングマスク膜）が形成されてもよい。

[0055] 多層反射膜付き基板10に形成された凹状の基準マーク20は、吸収体膜及びレジスト膜に転写される。吸収体膜とレジスト膜との間にハードマスク膜が形成される場合、多層反射膜付き基板10に形成された凹状の基準マーク20は、吸収体膜、ハードマスク膜及びレジスト膜に転写される。

[0056] したがって、多層反射膜付き基板10に形成された基準マーク20は、欠陥検査装置によって検出可能な程度に高いコントラストを有している必要がある。欠陥検査装置としては、例えば、検査光源波長が266nmであるレーザーテック社製のEUV露光用のマスク・サブストレート／ブランク欠陥検査装置「MAGICSM7360」、検査光源波長が193nmであるKLATencor社製のEUV・マスク／ブランク欠陥検査装置「Teron600シリーズ、例えばTeron610」、あるいは、検査光源波長が露光光源波長の13.5nmと同じであるABI (Actinic Blank Inspection) 装置を用いることができる。

[0057] また、吸収体膜及び／又はその上のレジスト膜に転写された基準マーク20は、座標計測器及び／又は電子線描画装置によって検出可能な程度に高いコントラストを有している必要がある。座標計測器としては、例えば、波長365nmのレーザで座標計測を行うKLATencor社製の「LMS-IPRO4」、波長193nmのレーザで座標計測を行うCarl Zeiss社製の「PROVE」及び／又は、電子線描画装置に搭載されている座標計測器を用いることができる。座標計測器は、上記の欠陥検査装置と波

長が異なる方が本発明の効果がより顕著に得られる。

[0058] 基準マーク20は、例えば、FM（フィデュシャルマーク）として使用できる。FMとは、電子線描画装置によってパターンを描画する際に、欠陥座標の基準として使用されるマークである。FMは、通常、図2に示すような十字型形状である。

[0059] 基準マーク20をFMとして使用することにより、欠陥座標を高精度に管理することができる。電子線描画装置によってレジスト膜にパターンを描画する際、レジスト膜に転写された基準マーク20は、欠陥位置の基準であるFMとして使用される。例えば、電子線描画装置によってFMを検出することにより、欠陥検査装置で取得した欠陥座標を、電子線描画装置の座標系に変換することができる。これにより、例えば、欠陥が吸収体膜パターンの下に配置するように、電子線描画装置によって描画されるパターンの描画データを補正することができる。描画データを補正することによって、最終的に製造される反射型マスクへの欠陥による影響を低減することができる。

[0060] 基準マーク20は、AM（アライメントマーク）としても使用できる。AMは、欠陥検査装置で多層反射膜付き基板10上の欠陥を検査した際に、欠陥座標の基準として使用できるマークである。しかし、AMは、電子線描画装置によってパターンを描画する際には、直接使用されない。AMの平面視における形状は、例えば、円形、四角形、又は十字型である。

[0061] 多層反射膜付き基板10上にAMを形成した場合には、多層反射膜付き基板10上の後述の積層膜にFMを形成する。AMは、積層膜に転写されるが、AM上の積層膜を一部除去することにより、AMの検出精度を上げることができる。AMは、欠陥検査装置及び座標計測器で検出可能である。FMは、座標計測器及び電子線描画装置で検出可能である。AMとFMは共に座標計測器で検出することが可能であるため、これらの相対的な位置関係を高精度に管理することができる。したがって、欠陥検査装置によって取得されたAMを基準とする欠陥座標を、電子線描画装置で使用するFMを基準とする欠陥座標に高精度に変換することができる。なお、AMの個数は、FMの個

数よりも多い。

[0062] 本実施形態の多層反射膜付き基板 10 は、該多層反射膜付き基板 10 における欠陥の位置の基準となる 4 個以上（例えば N 個）の基準マーク 20（図 2 では 4 個の基準マーク）を備えており、以下の手順（1）～（5）によって求められる 3σ の値が、50 nm 未満である。

（1）第 1 の座標系を有する欠陥検査装置によって、多層反射膜付き基板 10 における欠陥の第 1 の欠陥座標、及び、基準マーク 20 の第 1 の基準マーク座標を取得する。

（2）第 2 の座標系を有する座標計測器によって、多層反射膜付き基板 10 における前記欠陥の第 2 の欠陥座標、及び、前記基準マーク 20 の第 2 の基準マーク座標を取得する。

（3）前記第 1 の基準マーク座標、及び、前記第 2 の基準マーク座標に基づいて、欠陥検査装置の第 1 の座標系から座標計測器の第 2 の座標系へ座標を変換するための変換係数を算出する。

（4）上記（3）で算出された変換係数を用いて、上記（1）において欠陥検査装置によって取得された第 1 の欠陥座標を、座標計測器の第 2 の座標系を基準とした第 3 の欠陥座標へ変換する。

（5）上記（2）において座標計測器によって取得された第 2 の欠陥座標と、上記（4）で変換された第 3 の欠陥座標との間の差について、 3σ の値を求める。

[0063] 上記手順（1）では、欠陥検査装置によって、多層反射膜付き基板 10 における欠陥の第 1 の欠陥座標、及び、N 個の基準マーク 20 の第 1 の基準マーク座標 (x, y) を取得する。欠陥検査装置としては、例えば、上述した欠陥検査装置を用いることができる。また、 3σ の値を求めるための欠陥の個数は、3 個以上が好ましく、9 個以上がより好ましく、15 個以上がさらに好ましい。また、N 個の基準マークの大きさのばらつきは、小さい方が好ましい。例えば、N 個の基準マークの大きさは、それらの平均値から $\pm 5\%$ 以内であることが好ましく、より好ましくは $\pm 3\%$ 以内である。ここでいう「

大きさ」は、例えば、基準マークの平面視における面積を意味する。

[0064] 上記手順（２）では、座標計測器によって、多層反射膜付き基板１０における欠陥の第２の欠陥座標、及び、 N 個の基準マーク２０の第２の基準マーク座標（ u , v ）を取得する。座標計測器としては、例えば、上述した座標計測器を用いることができる。

[0065] 上記手順（１）及び（２）において座標を検出する際には、例えば、基板の中心に原点を設定することができる。あるいは、基板の四辺の８箇所（一辺につき２箇所）のエッジ座標を取得し、適切なチルト補正を行った後、基板の任意の角部に原点を設定してもよい。

[0066] 図２に示すように、基準マーク２０の形状が十字型である場合、基準マーク２０の座標は、基準マーク２０のエッジを検出することにより、該エッジ間の幅 W_1 の中心線と、幅 W_2 の中心線との交点に設定することができる。

[0067] 上記手順（３）では、手順（１）で取得した N 個の基準マーク２０の第１の基準マーク座標（ x , y ）、及び、手順（２）で取得した N 個の基準マーク２０の第２の基準マーク座標（ u , v ）に基づいて、欠陥検査装置の第１の座標系から座標計測器の第２の座標系へ座標を変換するための変換係数を算出する。変換係数の算出には、例えば、線形変換（アフィン変換）を用いることができる。以下、アフィン変換を用いた変換係数の算出方法の一例について説明する。

[0068] 欠陥検査装置で取得した n 個の座標データ (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , $\dots$, (x_n, y_n) と、それに対応する座標計測器で取得した n 個の座標データ (u_1, v_1) , (u_2, v_2) , $\dots$, (u_n, v_n) があるとき、欠陥検査装置の第１の座標系から座標計測器の第２の座標系への変換には、アフィン変換を用いることができる。

[0069] アフィン変換は、 x と y に関する変換係数が独立なので、 x と y は別々に解くことができる。 x に関する式を例に挙げると、 i 番目の座標データをアフィン変換の式に代入すると、 $x_i = au_i + bv_i + c$ となるが、導かれる変換式には誤差が存在するために、この式は成立しない。その誤差量 δ_i は、単純に右辺から

左辺を引いたものとなり、 $\delta_i = au_i + bv_i + c - x_i$ となる。

[0070] ここで、 n 個の座標データがある場合、 n 個の誤差量に関する式をたてることができる。最小二乗法を使って、それらの誤差量が最小となる a , b , c を求める。ここで、二乗和の誤差関数 ϕ は、以下の式で表すことができる。

[0071] [数1]

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \delta_i^2 = \sum_{i=1}^n (au_i + bv_i + c - x_i)^2$$

[0072] この関数 ϕ は二次関数なので、この関数が最小となる a , b , c を求めるために、この式を a , b , c で偏微分する。偏微分すると、誤差関数の勾配を表す関数となるので、偏微分した関数が0となるところが極小値であり、それは最小値でもある。これを式で表すと、以下のとおりとなる。

[0073] [数2]

$$\frac{\partial \Phi}{\partial a} = \sum_{i=1}^n 2u_i(au_i + bv_i + c - x_i) = 0$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial b} = \sum_{i=1}^n 2v_i(au_i + bv_i + c - x_i) = 0$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial c} = \sum_{i=1}^n 2(au_i + bv_i + c - x_i) = 0$$

[0074] これらの式は、連立一次方程式なので、行列を用いて整理すると、以下の行列式を得ることができる。この連立方程式を解けば、誤差が最小となる a , b , c 、すなわち変換係数を求めることができる。 x について説明したが、 y についても同様に解くことができる。

[0075] [数3]

$$\begin{pmatrix} \sum u_i^2 & \sum u_i v_i & \sum u_i \\ \sum u_i v_i & \sum v_i^2 & \sum v_i \\ \sum u_i & \sum v_i & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum x_i u_i \\ \sum x_i v_i \\ \sum x_i \end{pmatrix}$$

[0076] 上記手順（４）では、上記（３）で算出された変換係数を用いて、上記（１）において欠陥検査装置によって取得された第１の欠陥座標を、座標計測器の第２の座標系へ変換する。座標の変換には、例えば、アフィン変換の式 $x_i = au_i + bv_i + c$ を用いることができる。

[0077] 上記手順（５）では、上記（２）において座標計測器によって取得された第２の欠陥座標と、上記（４）で変換された第３の欠陥座標との間の差について、 3σ の値を求める。つまり、座標計測器によって「実際に」取得された第２の欠陥座標と、変換係数を用いて座標計測器の第２の座標系へ変換された第３の欠陥座標との差について、 3σ の値を求める。 3σ は、標準偏差 σ の３倍である。 3σ が小さいということは、欠陥検査装置の第１の座標系から座標計測器の第２の座標系への変換精度が高いことを意味する。

[0078] 例えば、上記（２）において座標計測器によって取得された第２の欠陥座標が (s_j, t_j) であり、上記（４）において座標計測器の第２の座標系へ変換された第３の欠陥座標が (S_j, T_j) である場合、それらの座標の差は、 $(s_j - S_j, t_j - T_j)$ である。この場合、 x 座標と y 座標のそれぞれについて、例えば j 個分のデータの標準偏差 σ を計算することによって、 3σ の値を求めることができる。

[0079] 本発明者らは、後述するように、基準マーク２０の個数を N としたときに、 3σ が $N^{1/2}$ に反比例する傾向があることを見出した。すなわち、比例定数を α としたとき、以下の式が成立することを見出した。

[0080]
$$3\sigma = \alpha / N^{1/2} \quad \dots (1)$$

[0081] α の値は、実際に基準マーク２０の個数を変えて 3σ を測定した結果を上記式（１）に適用し、最小二乗法によって求めることができる。

[0082] これによると、基準マーク２０の個数が多い程、欠陥の座標の変換精度を向上させることができ、所望の 3σ に基づいて基準マーク２０の個数を決定することができる。基準マーク２０の個数は４個以上が好ましく、 3σ を 50 nm 未満とすることができる。また、基準マーク２０の個数は８個以上がより好ましく、 3σ を 25 nm 未満とすることができる。また、基準マーク

20の個数は16個以上がさらに好ましく、 3σ を20nm未満とすることができる。また、基準マーク20を形成するための工数が増えること、及び、基準マーク20が多すぎると欠陥が増加する観点から、基準マーク20の個数は、100個以下が好ましい。さらに、基準マーク20が60個を超える場合、 3σ の減少幅が小さくなる傾向があることから、基準マーク20の個数は、60個以下がより好ましい。

[0083] 本実施形態の多層反射膜付き基板10は、上記の手順(1)～(5)によって求められる 3σ の値が、50nm未満である。好ましくは、x座標及びy座標の両方のデータについて、 3σ の値が50nm未満である。 3σ の値が50nm未満であることにより、欠陥検査装置の第1の座標系から、座標計測器の第2の座標系への変換精度を向上させることができる。

[0084] これにより、多層反射膜付き基板10を提供されたユーザーは、欠陥検査装置により特定した欠陥位置と、描画データとを高精度に照合することが可能となり、最終的に製造される反射型マスクにおいて欠陥を確実に低減させることができる。

[0085] (第2の実施形態)

第2の実施形態は、別の多層反射膜付き基板を使用して、基準マークの個数と 3σ との対応関係を取得し、該対応関係に基づいて決定された個数の基準マークを有する多層反射膜付き基板である点が、第1の実施形態とは異なる。それ以外は、第1の実施形態と同様である。

すなわち、本実施形態の多層反射膜付き基板10は、該多層反射膜付き基板10における欠陥の位置の基準となる基準マーク20を備えており、該基準マーク20の個数は、以下の手順(1)～(7)によって予め求められた個数である。

(1) 第1の座標系を有する欠陥検査装置によって、複数の基準マークを有する別の多層反射膜付き基板における欠陥の第1の欠陥座標、及び、基準マークの第1の基準マーク座標を取得する。

(2) 第2の座標系を有する座標計測器によって、前記別の多層反射膜付

き基板における前記欠陥の第2の欠陥座標、及び、前記基準マークの第2の基準マーク座標を取得する。

(3) 前記第1の基準マーク座標及び前記第2の基準マーク座標に基づいて、前記第1の座標系から前記第2の座標系へ座標を変換するための変換係数を算出する。

(4) 上記(3)で算出された変換係数を用いて、上記(1)において前記欠陥検査装置によって取得された前記第1の欠陥座標を、前記第2の座標系を基準とした第3の欠陥座標へ変換する。

(5) 上記(2)において前記座標計測器によって取得された前記第2の欠陥座標と、上記(4)で変換された第3の欠陥座標との間の差について、 3σ の値を求める。

(6) 基準マークの個数と 3σ との対応関係を取得する。

(7) 所望の 3σ の値(例えば、50nm未満)となる基準マークの個数を決定する。

[0086] 上記手順(1)～(5)は、別の多層反射膜付き基板を用いる点が異なるだけで、第1の実施形態の手順(1)～(5)と同様である。

[0087] 別の多層反射膜付き基板における欠陥は、実欠陥でもよいし、プログラム欠陥でもよい。

また、別の多層反射膜付き基板は、N個の基準マークが形成された1つの多層反射膜付き基板であってもよい。この場合には、1つの多層反射膜付き基板に対して、上記手順(1)～(6)を行って基準マークの個数と 3σ との対応関係を取得し、手順(7)にて前記対応関係に基づいて基準マークの個数を決定する。

[0088] 別の多層反射膜付き基板は、互いに異なる4個～N個の基準マークが形成された複数の多層反射膜付き基板であってもよい。この場合には、各々の多層反射膜付き基板に対して上記手順(1)～(5)を行い、手順(6)で基準マークの個数と 3σ との対応関係を取得し、手順(7)にて前記対応関係に基づいて基準マークの個数を決定する。

本実施形態では、別の多層反射膜付き基板を用いて基準マークの個数を求めるため、基準マークの形状、欠陥検査装置及び／又は座標計測器に応じて、最適な個数の基準マーク 20 を有する多層反射膜付き基板 10 を得ることができる。

[0089] (第3の実施形態)

[反射型マスクブランク]

図3は、本実施形態の反射型マスクブランク 30 の断面を示す模式図である。上述の多層反射膜付き基板 10 の保護膜 18 上に積層膜 28 を形成することにより、本実施形態の反射型マスクブランク 30 を製造できる。特に制限するものではないが、積層膜 28 は、EUV 光を吸収する吸収体膜であってもよい。以下、積層膜 28 が吸収体膜である例について説明する。

[0090] 吸収体膜は、露光光である EUV 光を吸収する機能を有する。すなわち、多層反射膜 14 (保護膜 18 がある場合には保護膜 18 を含む) の EUV 光に対する反射率と、吸収体膜の EUV 光に対する反射率との差は、所定値以上となっている。例えば、吸収体膜の EUV 光に対する反射率は、0.1% 以上 40% 以下である。多層反射膜 14 で反射された光と、吸収体膜で反射された光との間には、所定の位相差があってもよい。なお、この場合、反射型マスクブランク 30 における吸収体膜は、位相シフト膜と呼ばれることがある。

[0091] 吸収体膜は、EUV 光を吸収する機能を有し、かつ、エッチング等により除去可能であることが好ましい。吸収体膜は、塩素 (Cl) 系ガスやフッ素 (F) 系ガスによるドライエッチングでエッチング可能であることが好ましい。このような機能を吸収体膜が有する限り、吸収体膜の材料は、特に制限されない。

[0092] 吸収体膜は、単層でもよく、積層構造を有してもよい。吸収体膜が積層構造を有する場合、同一材料からなる複数の膜が積層されてもよく、異なる材料からなる複数の膜が積層されてもよい。吸収体膜が積層構造を有する場合、材料や組成が膜の厚み方向に段階的及び／又は連続的に変化してもよい。

[0093] 吸収体膜の材料は、例えば、タンタル（Ta）単体、又は、Taを含む材料が好ましい。Taを含む材料は、例えば、TaとBを含む材料、TaとNを含む材料、TaとBと、O及びNのうち少なくとも1つとを含む材料、TaとSiを含む材料、TaとSiとNを含む材料、TaとGeを含む材料、TaとGeとNを含む材料、TaとPdを含む材料、TaとRuを含む材料、TaとTiを含む材料等である。

[0094] 吸収体膜は、例えば、Ni単体、Niを含む材料、Cr単体、Crを含む材料、Ru単体、Ruを含む材料、Pd単体、Pdを含む材料、Mo単体、及び、Moを含む材料からなる群から選択される少なくとも1つを含んでもよい。

[0095] 吸収体膜の厚みは、好ましくは、30nm～100nmである。

吸収体膜は、公知の方法、例えば、マグネトロンスパッタリング法や、イオンビームスパッタリング法などによって形成することができる。

[0096] 本実施形態の反射型マスクブランク30において、吸収体膜（積層膜28）の上に、レジスト膜32が形成されてもよい。図3にはこの態様が示されている。レジスト膜32に電子線描画装置によってパターンを描画及び露光した後、現像工程を経ることによって、レジストパターンを形成することができる。このレジストパターンをマスクとして吸収体膜にドライエッチングを行うことによって、吸収体膜にパターンを形成することができる。

[0097] 本実施形態の反射型マスクブランク30において、積層膜28は、吸収体膜と、該吸収体膜上に形成されたハードマスク膜とを含んでもよい。ハードマスク膜は、吸収体膜をパターンニングする際のマスクとして使用される。ハードマスク膜と吸収体膜は、エッチング選択性が互いに異なる材料によって形成される。吸収体膜の材料がタンタルあるいはタンタル化合物を含む場合、ハードマスク膜の材料は、クロム又はクロム化合物を含むことが好ましい。クロム化合物は、好ましくは、Crと、N、O、C、及びHからなる群から選択される少なくとも一つを含む。

[0098] 本実施形態の反射型マスクブランク30は、多層反射膜付き基板10にお

ける欠陥の位置の基準となる4個以上（例えばN個）の基準マーク20を備えている。多層反射膜付き基板10上に形成された吸収体膜（積層膜28）は、基準マーク20の形状が転写された転写基準マークを備えてもよい。例えば、基準マーク20が凹状である場合、その上に形成された吸収体膜（積層膜28）には、凹状の転写基準マークが形成される。また、基準マーク20が凸状である場合、その上に形成された吸収体膜（積層膜28）には、凸状の転写基準マークが形成される。

[0099] 本実施形態の基準マーク20は、第1の実施形態の基準マーク20と同様である。例えば、基準マーク20が略十字型形状の場合には、転写基準マークも略十字型形状となる。略十字型形状を有する転写基準マークの幅 $W1'$ 、 $W2'$ は、例えば、200nm以上10 μ m以下である。転写基準マークの幅 $W1'$ （ $W2'$ ）の、基準マーク20の幅 $W1$ （ $W2$ ）からのずれ ΔW （ $= (|W1 - W1'| / W1) \times 100$ ）は、10%以下であることが好ましい。また、ずれ ΔW が1%以上、さらには ΔW が3%以上である場合には、本発明の効果がより顕著に得られる。転写基準マークの長さ L' は、例えば、100 μ m以上1500 μ m以下である。転写基準マークの長さ L' の基準マーク20の長さ L からのずれ ΔL （ $= (|L - L'| / L) \times 100$ ）は、1%以下であることが好ましい。また、ずれ ΔL が0.05%以上である場合には、本発明の効果がより顕著に得られる。

[0100] また、例えば、基準マーク20が略円形形状の場合には、転写基準マークも略円形形状となる。転写基準マークの直径の、基準マーク20の直径からのずれ（絶対値）は、10%以下であることが好ましい。また、ずれが1%以上、さらにはずれが3%以上である場合には、本発明の効果がより顕著に得られる。

[0101] 基準マーク20が凹状（凸状）である場合、転写基準マークも凹状（凸状）となる。転写基準マークの深さ D' （高さ H' ）は、好ましくは、30nm以上である。深さ D' （高さ H' ）は、100nm以下が好ましく、50nm以下であることがより好ましい。転写基準マークの深さ D' （高さ H' ）

）の、基準マーク20の深さD（高さH）からのずれ ΔD （ ΔH ）は、10%以下であることが好ましい。また、ずれ ΔD （ ΔH ）が0.05%以上、さらには ΔD （ ΔH ）が1%以上である場合には、本発明の効果がより顕著に得られる。

[0102] 吸収体膜(積層膜28)が転写基準マークを備える場合、以下の手順(1)～(5)によって求められる 3σ の値が、50nm未満であってもよい。

(1) 第1の座標系を有する欠陥検査装置によって、多層反射膜付き基板10における欠陥の第1の欠陥座標、及び、基準マーク20の第1の基準マーク座標を取得する。

(2) 第2の座標系を有する座標計測器によって、反射型マスクブランク30における欠陥の第2の欠陥座標、及び、転写基準マークの第2の基準マーク座標を取得する。

(3) 前記第1の基準マーク座標、及び、前記第2の基準マーク座標に基づいて、欠陥検査装置の第1の座標系から座標計測器の第2の座標系へ座標を変換するための変換係数を算出する。

(4) 上記(3)で算出された変換係数を用いて、上記(1)において欠陥検査装置によって取得された第1の欠陥座標を、座標計測器の第2の座標系を基準とした第3の欠陥座標へ変換する。

(5) 上記(2)において座標計測器によって取得された第2の欠陥座標と、上記(4)で変換された第3の欠陥座標との間の差について、 3σ の値を求める。

[0103] 上記手順(1)～(5)は、上述した第1の実施形態の多層反射膜付き基板10における手順(1)～(5)と同様であるが、手順(2)において、座標計測器によって反射型マスクブランク30における欠陥の第2の欠陥座標、及び、転写基準マークの第2の基準マーク座標を取得している点が異なる。

[0104] 本発明者らは、後述の実施例1の表1及び図7に示されるように、基準マーク20の個数をNとしたときに、 3σ が $N^{1/2}$ に反比例する傾向があること

を見出した。すなわち、比例定数を α としたとき、以下の式が成立することを見出した。

[0105] $3\sigma = \alpha / N^{1/2} \quad \dots (1)$

[0106] 例えば、表1に示す結果を上記式(1)に適用し、最小二乗法により、 α の値を求めることができる。 α は装置によって異なる係数であり、この場合、 $\alpha = 70$ である。

[0107] 図8に、 $\alpha = 70$ を代入した上記式(1)のグラフを示す。

このグラフより、基準マーク20の個数が多い程、欠陥の座標の変換精度が向上することが分かる。基準マーク20の個数は、所望の 3σ に基づいて決定することができる。基準マーク20の個数は4個以上が好ましく、 3σ を50nm未満とすることができる。また、基準マーク20の個数は8個以上がより好ましく、 3σ を25nm未満とすることができる。また、基準マーク20の個数は16個以上がさらに好ましく、 3σ を20nm未満とすることができる。また、基準マーク20を形成するための工数が増えること、及び、基準マーク20が多すぎると欠陥が増加する観点から、基準マーク20の個数は、100個以下が好ましい。さらに、基準マーク20が60個を超える場合、 3σ の減少幅が小さくなる傾向があることから、基準マーク20の個数は、60個以下がより好ましい。

[0108] 本実施形態の反射型マスクブランク30において、上記の手順(1)～(5)によって求められる 3σ の値が、50nm未満である。好ましくは、x座標及びy座標の両方のデータについて、 3σ の値が50nm未満である。 3σ の値が50nm未満であることにより、欠陥検査装置の第1の座標系から、座標計測器の第2の座標系への変換精度を向上させることができる。

[0109] これにより、反射型マスクブランク30を提供されたユーザーは、欠陥検査装置により特定した欠陥位置と、描画データとを高精度に照合することが可能となり、最終的に製造される反射型マスクにおいて欠陥を確実に低減させることができる。

[0110] 本実施形態の反射型マスクブランク30では、上記手順(2)において、

吸収体膜（積層膜 28）に転写された転写基準マークの第 2 の基準マーク座標を取得している。電子線描画装置によってレジスト膜にパターンを描画する際には、吸収体膜上の F M を基準として用いるため、吸収体膜に転写された転写基準マークの第 2 の基準マーク座標を使用することにより、座標の変換精度をより向上させることができる。すなわち、基準マークの上に吸収体膜（積層膜 28）が形成されると、吸収体膜に転写された転写基準マークの幅や深さが変わることによって、検出される基準マークの位置が変わる場合がある。吸収体膜に転写された転写基準マークの第 2 の基準マーク座標を取得し、この取得した第 2 の基準マーク座標に基づいて変換係数を算出することによって、基準マークの位置ずれの影響を考慮した変換係数を算出することが可能となる。その結果、上記手順（4）における座標の変換精度をより向上させることが可能となる。

[0111] （第 4 の実施形態）

第 4 の実施形態は、別の多層反射膜付き基板と、該別の多層反射膜付き基板上に積層膜を有する別の反射型マスクブランクとを使用して、基準マークの個数と 3σ との対応関係を取得し、該対応関係に基づいて決定された個数の基準マークを有する反射型マスクブランク 30 である点が、第 3 の実施形態とは異なる。それ以外は、第 3 の実施形態と同様である。

[0112] すなわち、本実施形態の反射型マスクブランク 30 は、多層反射膜付き基板 10 における欠陥の位置の基準となる基準マーク 20 を備えている。多層反射膜付き基板 10 上に形成された吸収体膜（積層膜 28）は、基準マーク 20 の形状が転写された転写基準マークを備える。前記基準マーク 20 の個数は、以下の手順（1）～（7）によって予め求められた個数である。

（1）第 1 の座標系を有する欠陥検査装置によって、複数の基準マークを有する別の多層反射膜付き基板における欠陥の第 1 の欠陥座標、及び、基準マークの第 1 の基準マーク座標を取得する。

（2）第 2 の座標系を有する座標計測器によって、前記別の多層反射膜付き基板上に形成された積層膜を有する別の反射型マスクブランクにおける欠

陷の第2の欠陥座標、及び、転写基準マークの第2の基準マーク座標を取得する。

(3) 前記第1の基準マーク座標及び前記第2の基準マーク座標に基づいて、前記第1の座標系から前記第2の座標系へ座標を変換するための変換係数を算出する。

(4) 上記(3)で算出された変換係数を用いて、上記(1)において前記欠陥検査装置によって取得された前記第1の欠陥座標を、前記第2の座標系を基準とした第3の欠陥座標へ変換する。

(5) 上記(2)において前記座標計測器によって取得された前記第2の欠陥座標と、上記(4)で変換された第3の欠陥座標との間の差について、 3σ の値を求める。

(6) 基準マークの個数と 3σ との対応関係を取得する。

(7) 所望の 3σ の値(例えば、50nm未満)となる基準マークの個数を決定する。

上記手順(1)～(5)は、別の多層反射膜付き基板及び別の反射型マスクブランクを用いる点が異なるだけで、第3の実施形態の手順(1)～(5)と同様である。

別の多層反射膜付き基板は、第3の実施形態と同様である。別の反射型マスクブランクは、別の多層反射膜付き基板に形成された基準マークが転写された複数の転写基準マークを有する。

[0113] 本実施形態では、別の多層反射膜付き基板及び別の反射型マスクブランクを用いて基準マークの個数を求めるため、基準マークの形状、転写基準マークの形状、欠陥検査装置及び／又は座標計測器に応じて、最適な個数の基準マーク20を有する多層反射膜付き基板10を得ることができる。

[0114] [反射型マスクの製造方法]

本実施形態の反射型マスクブランク30を使用して、本実施形態の反射型マスク40を製造することができる。以下、反射型マスク40の製造方法について説明する。

[0115] 図4は、反射型マスク40の製造方法を示す模式図である。

図4に示すように、まず、基板12と、基板12の上に形成された多層反射膜14と、多層反射膜14の上に形成された保護膜18と、保護膜18の上に形成された吸収体膜（積層膜28）とを有する反射型マスクブランク30を準備する（図4（a））。つぎに、吸収体膜の上に、レジスト膜32を形成する（図4（b））。レジスト膜32に、電子線描画装置によってパターンを描画し、さらに現像・リンス工程を経ることによって、レジストパターン32aを形成する（図4（c））。

[0116] レジストパターン32aをマスクとして、吸収体膜（積層膜28）をドライエッチングする。これにより、吸収体膜のレジストパターン32aによって被覆されていない部分がエッチングされ、吸収体膜パターン28aが形成される（図4（d））。

[0117] なお、エッチングガスとしては、例えば、 Cl_2 、 SiCl_4 、 CHCl_3 、 CCl_4 等の塩素系ガス、これら塩素系ガス及び O_2 を所定の割合で含む混合ガス、塩素系ガス及び He を所定の割合で含む混合ガス、塩素系ガス及び Ar を所定の割合で含む混合ガス、 CF_4 、 CHF_3 、 C_2F_6 、 C_3F_6 、 C_4F_6 、 C_4F_8 、 CH_2F_2 、 CH_3F 、 C_3F_8 、 SF_6 、 F 等のフッ素系ガス、これらフッ素系ガス及び O_2 を所定の割合で含む混合ガス、フッ素系ガス及び He を所定の割合で含む混合ガス、フッ素系ガス及び Ar を所定の割合で含む混合ガス等を使用することができる。

[0118] 吸収体膜パターン28aが形成された後、例えば、レジスト剥離液によりレジストパターン32aを除去する。レジストパターン32aを除去した後、酸性やアルカリ性の水溶液を用いたウェット洗浄工程を経ることによって、本実施形態の反射型マスク40が得られる（図4（e））。

[0119] [半導体装置の製造方法]

本実施形態の反射型マスク40を使用したリソグラフィーにより、半導体基板上に転写パターンを形成することができる。この転写パターンは、反射型マスク40の吸収体膜パターン28aが転写された形状を有している。半

導体基板上に反射型マスク 40 によって転写パターンを形成することによって、半導体装置を製造することができる。

[0120] 図 5 を用いて、レジスト付き半導体基板 56 に E U V 光によってパターンを転写する方法について説明する。

[0121] 図 5 は、パターン転写装置 50 を示している。パターン転写装置 50 は、レーザープラズマ X 線源 52、反射型マスク 40、及び、縮小光学系 54 等を備えている。縮小光学系 54 としては、X 線反射ミラーが用いられている。

[0122] 反射型マスク 40 で反射されたパターンは、縮小光学系 54 により、通常 $1/4$ 程度に縮小される。例えば、露光波長として $13 \sim 14 \text{ nm}$ の波長帯を使用し、光路が真空中になるように予め設定する。このような条件で、レーザープラズマ X 線源 52 で発生した E U V 光を、反射型マスク 40 に入射させる。反射型マスク 40 によって反射された光を、縮小光学系 54 を介して、レジスト付き半導体基板 56 上に転写する。

[0123] 反射型マスク 40 に入射した光は、吸収体膜パターン 28 a のある部分では、吸収体膜に吸収されて反射されない。一方、吸収体膜パターン 28 a のない部分に入射した光は、多層反射膜 14 により反射される。

[0124] 反射型マスク 40 によって反射された光は、縮小光学系 54 に入射する。縮小光学系 54 に入射した光は、レジスト付き半導体基板 56 上のレジスト層に転写パターンを形成する。露光されたレジスト層を現像することによって、レジスト付き半導体基板 56 上にレジストパターンを形成することができる。レジストパターンをマスクとして半導体基板 56 をエッチングすることにより、半導体基板上に例えば所定の配線パターンを形成することができる。このような工程及びその他の必要な工程を経ることで、半導体装置が製造される。

[0125] 多層反射膜付き基板上に形成された基準マークが F M である場合、本実施形態の反射型マスクブランクは、例えば、上述の第 2 の実施形態又は第 4 の実施形態によって、F M の個数を決定し、以下の方法によって製造すること

ができる。

反射型マスクブランクの製造方法であって、

基板上に、多層反射膜を成膜して、多層反射膜付き基板を形成する工程と

、

前記多層反射膜付き基板の表面に、所望の 3σ に基づいて決定された個数のFMを形成する工程と、

欠陥検査装置を用いて、前記多層反射膜付き基板の表面の欠陥の第1の欠陥座標、及び、前記FMの第1のFM座標を取得することにより、前記第1のFM座標を基準とした第1の欠陥座標を示す欠陥マップを取得する工程と

、

前記多層反射膜付き基板の上に、前記FMが転写された転写FMを有する積層膜を成膜する工程と、を備える反射型マスクブランクの製造方法。

[0126] 上記反射型マスクブランク及び欠陥マップを提供されたユーザーは、転写FMに基づいて、欠陥検査装置により特定した欠陥位置と、描画データとを高精度に照合することが可能となり、最終的に製造される反射型マスクにおいて欠陥を確実に低減させることができる。

[0127] 多層反射膜付き基板上に形成された基準マークがAMである場合、本実施形態の反射型マスクブランクは、例えば、上述の第2の実施形態又は第4の実施形態によって、AMの個数を決定し、以下の方法によって製造することができる。

反射型マスクブランクの製造方法であって、

基板上に、多層反射膜を成膜して、多層反射膜付き基板を形成する工程と

、

前記多層反射膜付き基板の表面に、所望の 3σ に基づいて決定された個数のAMを形成する工程と、

欠陥検査装置を用いて、前記多層反射膜付き基板の表面の欠陥の第1の欠陥座標、及び、前記AMの第1のAM座標を取得することにより、第1のAM座標を基準とした第1の欠陥座標を示す第1の欠陥マップを取得する工程

と、

前記多層反射膜付き基板の上に、前記AMが転写された転写AMを有する積層膜を成膜する工程と、

前記積層膜の表面に、FMを形成する工程と、

座標計測器を用いて、前記転写AMの第2のAM座標及び前記FMのFM座標を取得することにより、前記第1の欠陥マップを、前記FM座標を基準とする第1の欠陥座標を示す第2の欠陥マップに変換する工程と、を備える反射型マスクブランクの製造方法。

[0128] 上記反射型マスクブランク及び第2の欠陥マップを提供されたユーザーは、FMに基づいて、欠陥検査装置により特定した欠陥位置と、描画データとを高精度に照合することが可能となり、最終的に製造される反射型マスクにおいて欠陥を確実に低減させることができる。

実施例

[0129] 以下、本発明のさらに具体的な実施例について説明する。

<実施例1>

SiO₂-TiO₂系のガラス基板（6インチ角、厚さが6.35mm）を準備した。このガラス基板の端面を面取り加工、及び研削加工し、更に酸化セリウム砥粒を含む研磨液で粗研磨処理した。これらの処理を終えたガラス基板を両面研磨装置のキャリアにセットし、研磨液にコロイダルシリカ砥粒を含むアルカリ水溶液を用い、所定の研磨条件で精密研磨を行った。精密研磨終了後、ガラス基板に対し洗浄処理を行った。得られたガラス基板の主表面の表面粗さは、二乗平均平方根粗さ（RMS）で、0.10nm以下であった。得られたガラス基板の主表面の平坦度は、測定領域132mm×132mmにおいて、30nm以下であった。

[0130] 上記のガラス基板の裏面に、以下の条件で、CrNからなる裏面導電膜をマグネトロンスパッタリング法により形成した。

（条件）：Crターゲット、Ar+N₂ガス雰囲気（Ar：N₂=90%：10%）、膜組成（Cr：90原子%、N：10原子%）、膜厚20nm

[0131] ガラス基板の裏面導電膜が形成された側と反対側の主表面上に、Mo膜／Si膜を周期的に積層することで多層反射膜を形成した。

[0132] 具体的には、MoターゲットとSiターゲットを使用し、イオンビームスパッタリング（Arを使用）により、基板上に、Mo膜及びSi膜を交互に積層した。Mo膜の厚みは、2.8 nmである。Si膜の厚みは、4.2 nmである。1周期のMo／Si膜の厚みは、7.0 nmである。このようなMo／Si膜を、40周期積層し、最後にSi膜を4.0 nmの膜厚で成膜し、多層反射膜を形成した。

[0133] 多層反射膜の上に、Ru化合物を含む保護膜を形成した。具体的には、RuNbターゲット（Ru：80原子%、Nb：20原子%）を使用し、Arガス雰囲気にて、DCマグネトロンスパッタリングにより、多層反射膜の上に、RuNb膜からなる保護膜を形成した。保護膜の厚みは、2.5 nmであった。

[0134] 保護膜の上に、レーザ加工によって、FMを形成した。

レーザ加工の条件は、以下の通りであった。

レーザの種類：波長405 nmの半導体レーザ

レーザの出力：20 mW（連続波）

スポットサイズ：430 nmφ

[0135] FMの形状及び寸法は、以下の通りであった。

形状：略十字型

深さD：40 nm

幅W1，W2：1 μm

長さL：1 mm

[0136] FMは、8個形成した。

FMの形成箇所は、図6に示す通りであり、132mm×132mmの有効領域（破線で示す領域）の外側であった。

[0137] 欠陥検査装置（レーザーテック株式会社製、ABI）を用いて、多層反射膜付き基板における欠陥の第1の欠陥座標、及び、FMの第1のFM座標を取得

した。欠陥の個数は、4個だった。

- [0138] 多層反射膜付き基板の保護膜の上に吸収体膜を形成し、反射型マスクブランクを製造した。具体的には、TaBN（厚み56nm）とTaBO（厚み14nm）の積層膜からなる吸収体膜を、DCマグネトロンスパッタリングにより形成した。TaBN膜は、TaBターゲットを使用し、ArガスとN₂ガスの混合ガス雰囲気における反応性スパッタリングにより形成した。TaBO膜は、TaBターゲットを使用し、ArガスとO₂ガスの混合ガス雰囲気における反応性スパッタリングにより形成した。積層膜には、FMが転写された転写FMが形成されていた。
- [0139] 座標計測器（KLA-Tencor社製LMS-IPRO4）を用いて、反射型マスクブランクにおける欠陥の第2の欠陥座標、及び、転写FMの第2のFM座標を取得した。
- [0140] 取得した第1のFM座標、及び、第2のFM座標を用いて、欠陥検査装置の第1の座標系から座標計測器の第2の座標系へ座標を変換するための変換係数を算出した。変換係数の算出には、上述のアフィン変換の式を用いた。
- [0141] 算出した変換係数を用いて、欠陥検査装置によって取得された第1の欠陥座標を、座標計測器の第2の座標系へ変換して第3の欠陥座標を取得した。
- [0142] 変換によって求められた第3の欠陥座標と、座標計測器によって取得された第2の欠陥座標との差を、X座標及びY座標それぞれについて求めた。すべての欠陥データについてこのような「差」（絶対値）を計算し、この「差」についての標準偏差 σ 、及び、 3σ を計算した。この結果、FMが8個の場合の 3σ は、X座標が24.2nm、Y座標が23.3nmであり、いずれも50nm未満であった。
- [0143] また、FMの個数を3～7の間で変化させて、上述のFMの個数が8個の場合と同様に、 3σ の値を計算した。FMの個数が3～8の場合の 3σ の計算結果を、以下の表1、及び、図7のグラフに示す。
- [0144]

[表1]

FMの個数 (N)	3σ (nm)	
	X	Y
3	62.2	57.6
4	38.9	37.6
5	33.5	34.2
6	28.8	30.1
7	26.3	28
8	24.2	23.3

[0145] 表1及び図7に示す通り、FMの個数が4個以上の場合、 3σ がX座標及びY座標ともに50nm未満であり、欠陥検査装置の第1の座標系から座標計測器の第2の座標系への変換精度が高かった。

[0146] 上記で製造した反射型マスクブランクの吸収体膜上に、レジスト膜を形成した。電子線描画装置を用いて、レジスト膜にパターンを描画した。パターンを描画する際には、4個の転写FMを欠陥座標の基準として使用した。パターンを描画した後、所定の現像処理を行い、吸収体膜上にレジストパターンを形成した。

[0147] レジストパターンをマスクとして、吸収体膜にパターンを形成した。具体的には、フッ素系ガス(CF₄ガス)により、上層のTaBO膜をドライエッチングした後、塩素系ガス(Cl₂ガス)により、下層のTaBN膜をドライエッチングした。

[0148] 吸収体膜パターン上に残ったレジストパターンを、熱硫酸で除去することで、実施例1に係る反射型マスクが得られた。この得られたEUV反射型マスクについてマスク欠陥検査装置(KLA-Tencor社製Teron600シリーズ)により検査したところ、吸収体膜パターンの多層反射膜の露出領域に欠陥は確認されなかった。

[0149] <実施例2>

FMの個数を8個から16個に変更した以外は、上記実施例1と同様に、多層反射膜付き基板及び反射型マスクブランクを製造した。

F Mの形成箇所は、図9に示す通りであり、132mm×132mmの有効領域（破線で示す領域）の外側であった。

[0150] 実施例1と同様にして 3σ を計算した。この結果、F Mが16個の場合の 3σ は、X座標が18.2nm、Y座標が18.0nmであり、いずれも50nm未満であった。

[0151] 実施例1と同様に、転写F Mを基準とする欠陥の位置情報に基づき、電子線描画装置によって、レジスト膜にパターンを描画することにより、実施例2の反射型マスクを得た。この得られたEUV反射型マスクについてマスク欠陥検査装置（KLA-Tencor社製Teron600シリーズ）により検査したところ、吸収体膜パターンの多層反射膜の露出領域に欠陥は確認されなかった。

[0152] <実施例3>

実施例1の8個のF Mが形成された多層反射膜付き基板及び反射型マスクブランクを別の多層反射膜付き基板及び別の反射型マスクブランクとして用いて、実施例3の多層反射膜付き基板及び反射型マスクブランクを作製した。

実施例1で求められたF Mの個数と 3σ との対応関係から、 3σ が30nm未満となるF Mの個数を算出し、F Mの個数を7個とした。

実施例1と同様にして、ガラス基板の裏面導電膜が形成された側と反対側の主表面上に多層反射膜及び保護膜を形成した。保護膜の上にレーザ加工によってF Mを形成し、7個のF Mを有する多層反射膜付き基板を作製した。

F Mの形状及び寸法は、以下の通りであった。

形状：略十字型

深さD：40nm

幅W1, W2：1 μ m

長さL：1m

[0153] 実施例1と同様にして、欠陥検査装置（レーザーテック株式会社製、ABI）を用いて、多層反射膜付き基板における欠陥の第1の欠陥座標、及び、F M

の第1のFM座標を取得し、第1のFM座標に対する第1の欠陥座標を示す欠陥マップを得た。欠陥の個数は、5個だった。

[0154] 実施例1と同様にして、保護膜の上に転写FMが形成された積層膜を成膜し、反射型マスクブランクを作製した。転写FMの深さ D' の、FMの深さ D からのずれ ΔD は、ほぼ0であった。転写FMの幅 $W1'$ 、 $W2'$ の、FMの幅 $W1$ 、 $W2$ からのずれ $\Delta W1$ 、 $\Delta W2$ は、各々7%であった。転写FMの長さ L' の、FMの長さ L からのずれ ΔL は、0.1%であった。

[0155] 座標計測器（KLA-Tencor社製LMS-IPRO4）を用いて、反射型マスクブランクにおける欠陥の第2の欠陥座標、及び、転写FMの第2のFM座標を取得した。実施例1と同様にして、第1の欠陥座標を、座標計測器の第2の座標系に変換し、変換によって求められた第3の欠陥座標と、座標計測器によって取得された第2の欠陥座標との差を、X座標及びY座標それぞれについて求めた。この結果、 3σ は30nm未満を満たしていた。

[0156] 上記で製造した反射型マスクブランクを用いて、実施例1と同様にして反射型マスクを作製した。この得られた反射型マスクについて、マスク欠陥検査装置（KLA-Tencor社製Teron600シリーズ）により検査したところ、吸収体膜パターンの多層反射膜の露出領域に欠陥は確認されなかった。

[0157] <実施例4>

上述の図8の結果に基づいて、 3σ が20nm未満となるAMの個数として28個を算出し、実施例4の多層反射膜付き基板及び反射型マスクブランクを作製した。

実施例1と同様にして、ガラス基板の裏面導電膜が形成された側と反対側の主表面上に多層反射膜及び保護膜を形成した。

[0158] 保護膜の上に、レーザ加工によって、AMを形成した。

レーザ加工の条件は、以下の通りであった。

レーザの種類：波長405nmの半導体レーザ

レーザの出力：20 mW（連続波）

スポットサイズ：430 nm ϕ

[0159] AMの形状及び寸法は、以下の通りであった。

形状：略円形

深さ：40 nm

直径：0.9 μ m

[0160] AMは、28個形成した。

AMの形成箇所は、図10に示す通りであり、132mm×132mmの有効領域（破線で示す領域）の外側であった。

[0161] 欠陥検査装置（レーザーテック株式会社製、ABI）を用いて、多層反射膜付き基板における欠陥の第1の欠陥座標、及び、28個のAMの第1のAM座標を取得した。

[0162] 多層反射膜付き基板の保護膜の上に吸収体膜を形成し、反射型マスクブランクを製造した。具体的には、TaBN（厚み56 nm）とTaBO（厚み14 nm）の積層膜からなる吸収体膜を、DCマグネトロンスパッタリングにより形成した。TaBN膜は、TaBターゲットを使用し、ArガスとN₂ガスの混合ガス雰囲気における反応性スパッタリングにより形成した。TaBO膜は、TaBターゲットを使用し、ArガスとO₂ガスの混合ガス雰囲気における反応性スパッタリングにより形成した。吸収体膜（積層膜）には、AMが転写された28個の転写AMが形成されていた。転写AMの深さD'の、AMの深さDからのずれ ΔD は、ほぼ0であった。転写AMの直径の、AMの直径からのずれは、6%であった。

[0163] 吸収体膜の表面に、FIB加工によって、FMを形成した。

FIB加工の条件は、以下の通りであった。

加速電圧：50 kV

ビーム電流値：20 pA

[0164] FMの形状及び寸法は、以下の通りであった。

形状：略十字型

深さD : 70 nm

幅W1, W2 : 5 μ m

長さL : 1 mm

[0165] FMは、4個形成した。

FMの形成箇所は、図10に示す通りであり、132mm×132mmの有効領域（破線で示す領域）の外側であった。

[0166] 座標計測器（KLA-Tencor社製LMS-IPRO4）を用いて、反射型マスクブランクにおける欠陥の第2の欠陥座標、及び、28個の転写AMの第2のAM座標を取得した。

[0167] 取得したAMの第1のAM座標、及び、転写AMの第2のAM座標を用いて、欠陥検査装置の第1の座標系から座標計測器の第2の座標系へ座標を変換するための変換係数を算出した。変換係数の算出には、上述のアフィン変換の式を用いた。

[0168] 算出した変換係数を用いて、欠陥検査装置によって取得された第1の欠陥座標を、座標計測器の第2の座標系へ変換し、第3の欠陥座標を取得した。

[0169] 変換によって求められた第3の欠陥座標と、座標計測器によって取得された第2の欠陥座標との差を、X座標及びY座標それぞれについて求めた。すべての欠陥データについてこのような「差」（絶対値）を計算し、この「差」についての標準偏差 σ 、及び、 3σ を計算した。この結果、AMの個数が28個の場合の 3σ は、X座標が14.9 nm、Y座標が14.1 nmであり、いずれも50 nm未満であった。

[0170] 上記で製造した反射型マスクブランクの吸収体膜上に、レジスト膜を形成した。電子線描画装置を用いて、レジスト膜にパターンを描画した。パターンを描画する際には、FMを欠陥座標の基準として使用した。具体的には、転写AMとFMの相対的な位置関係を、座標計測器によって取得した。この位置関係を用いて、AMを基準とする欠陥の位置情報を、FMを基準とする欠陥の位置情報に変換した。FMを基準とする欠陥の位置情報に基づき、電子線描画装置によって、レジスト膜にパターンを描画した。

[0171] レジストパターンをマスクとして、吸収体膜にパターンを形成した。具体的には、フッ素系ガス（ CF_4 ガス）により、上層のTaBO膜をドライエッチングした後、塩素系ガス（ Cl_2 ガス）により、下層のTaBN膜をドライエッチングした。

[0172] 吸収体膜パターン上に残ったレジストパターンを、熱硫酸で除去することで、実施例4に係る反射型マスクが得られた。この得られたEUV反射型マスクについてマスク欠陥検査装置（KLA-Tencor社製Teron600シリーズ）により検査したところ、吸収体膜パターンの多層反射膜の露出領域に欠陥は確認されなかった。

[0173] <比較例1>

FMの個数を8個から3個に変更した以外は、上記実施例1と同様に、多層反射膜付き基板及び反射型マスクブランクを製造した。

FMの形成箇所は、図11に示す通りであり、132mm×132mmの有効領域（破線で示す領域）の外側であった。

[0174] 実施例1と同様にして、 3σ を計算した。この結果、FMが3個の場合の 3σ は、X座標が62.7nm、Y座標が57.3nmであり、いずれも50nm以上であった。

[0175] 実施例1と同様に、転写FMを基準とする欠陥の位置情報に基づき、電子線描画装置によって、レジスト膜にパターンを描画することにより、比較例1の反射型マスクを得た。この得られたEUV反射型マスクについてマスク欠陥検査装置（KLA-Tencor社製Teron600シリーズ）により検査したところ、座標変換の精度が悪いため、吸収体膜パターンの下に欠陥を隠すことができず、多層反射膜の露出領域に欠陥が確認された。

符号の説明

[0176] 10 多層反射膜付き基板
12 基板
14 多層反射膜
18 保護膜

- 2 0 基準マーク
- 2 8 積層膜
- 3 0 反射型マスクブランク
- 4 0 反射型マスク
- 5 0 パターン転写装置
- 5 6 半導体基板

請求の範囲

- [請求項1] 基板と、該基板上に形成されたEUV光を反射する多層反射膜とを有する多層反射膜付き基板であって、
- 前記多層反射膜付き基板における欠陥の位置の基準となる基準マークを備えており、
- 前記基準マークの個数は、以下の手順（１）～（７）によって予め求められた個数であることを特徴とする、多層反射膜付き基板。
- （１）第１の座標系を有する欠陥検査装置によって、複数の基準マークを有する別の多層反射膜付き基板における欠陥の第１の欠陥座標、及び、基準マークの第１の基準マーク座標を取得する。
- （２）第２の座標系を有する座標計測器によって、前記別の多層反射膜付き基板における前記欠陥の第２の欠陥座標、及び、前記基準マークの第２の基準マーク座標を取得する。
- （３）前記第１の基準マーク座標及び前記第２の基準マーク座標に基づいて、前記第１の座標系から前記第２の座標系へ座標を変換するための変換係数を算出する。
- （４）上記（３）で算出された変換係数を用いて、上記（１）において前記欠陥検査装置によって取得された前記第１の欠陥座標を、前記第２の座標系を基準とした第３の欠陥座標へ変換する。
- （５）上記（２）において前記座標計測器によって取得された前記第２の欠陥座標と、上記（４）で変換された第３の欠陥座標との間の差について、 3σ の値を求める。
- （６）基準マークの個数と 3σ との対応関係を取得する。
- （７） 3σ の値が、50nm未満となる基準マークの個数を決定する。
- [請求項2] 前記基準マークの個数は、８個以上である、請求項１に記載の多層反射膜付き基板。
- [請求項3] 前記基準マークの個数は、１６個以上である、請求項１または請求

項 2 に記載の多層反射膜付き基板。

[請求項4] 請求項 1 から請求項 3 のうちいずれか 1 項に記載の多層反射膜付き基板と、該多層反射膜付き基板上に形成された積層膜とを有する反射型マスクブランク。

[請求項5] 基板及び該基板上に形成された E U V 光を反射する多層反射膜を有する多層反射膜付き基板と、該多層反射膜付き基板上に形成された積層膜とを有する反射型マスクブランクであって、

前記多層反射膜付き基板は、該多層反射膜付き基板における欠陥の位置の基準となる基準マークを備えており、

前記積層膜は、前記基準マークが転写された転写基準マークを備えており、

前記基準マークの個数は、以下の手順 (1) ~ (7) によって予め求められた個数であることを特徴とする、反射型マスクブランク。

(1) 第 1 の座標系を有する欠陥検査装置によって、複数の基準マークを有する別の多層反射膜付き基板における欠陥の第 1 の欠陥座標、及び、基準マークの第 1 の基準マーク座標を取得する。

(2) 第 2 の座標系を有する座標計測器によって、前記別の多層反射膜付き基板上に形成された積層膜を有する反射型マスクブランクにおける欠陥の第 2 の欠陥座標、及び、転写基準マークの第 2 の基準マーク座標を取得する。

(3) 前記第 1 の基準マーク座標及び前記第 2 の基準マーク座標に基づいて、前記第 1 の座標系から前記第 2 の座標系へ座標を変換するための変換係数を算出する。

(4) 上記 (3) で算出された変換係数を用いて、上記 (1) において前記欠陥検査装置によって取得された前記第 1 の欠陥座標を、前記第 2 の座標系を基準とした第 3 の欠陥座標へ変換する。

(5) 上記 (2) において前記座標計測器によって取得された前記第 2 の欠陥座標と、上記 (4) で変換された第 3 の欠陥座標との間の

差について、 3σ の値を求める。

(6) 基準マークの個数と 3σ との対応関係を取得する。

(7) 3σ の値が、50 nm未満となる基準マークの個数を決定する。

[請求項6] 前記基準マークの個数は、8個以上である、請求項5に記載の反射型マスクブランク。

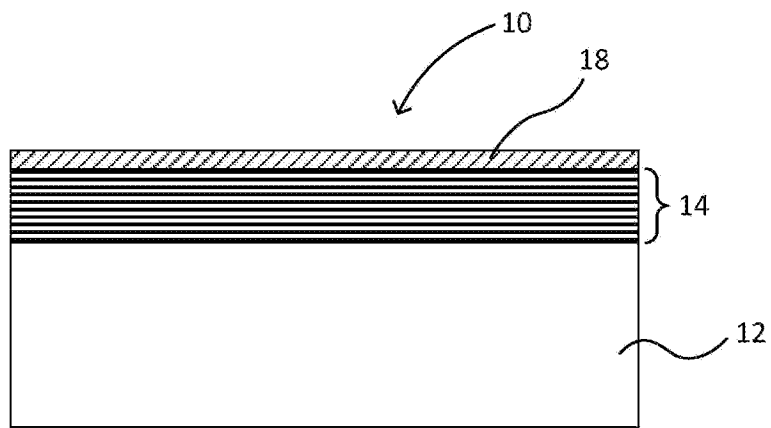
[請求項7] 前記基準マークの個数は、16個以上である、請求項5または請求項6に記載の反射型マスクブランク。

[請求項8] 前記積層膜は、EUV光を吸収する吸収体膜を含む、請求項4から請求項7のうちいずれか1項に記載の反射型マスクブランク。

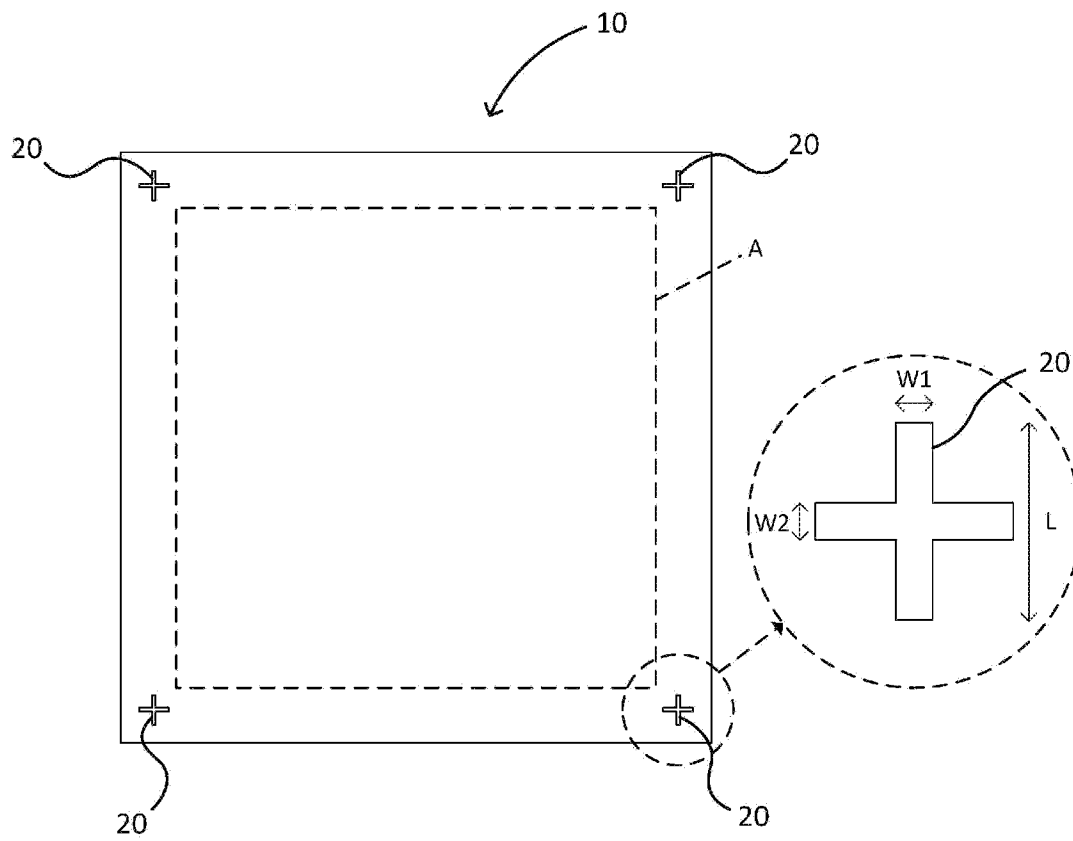
[請求項9] 請求項4または請求項8に記載の反射型マスクブランクにおける前記積層膜に積層膜パターンを形成する工程を有する、反射型マスクの製造方法。

[請求項10] 請求項9に記載の反射型マスクの製造方法によって製造された反射型マスクを使用して、半導体基板上に転写パターンを形成する工程を有する、半導体装置の製造方法。

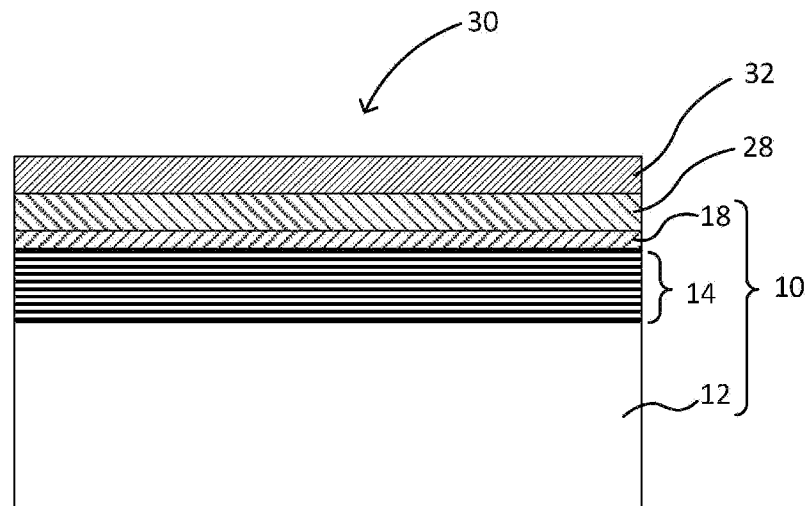
[図1]



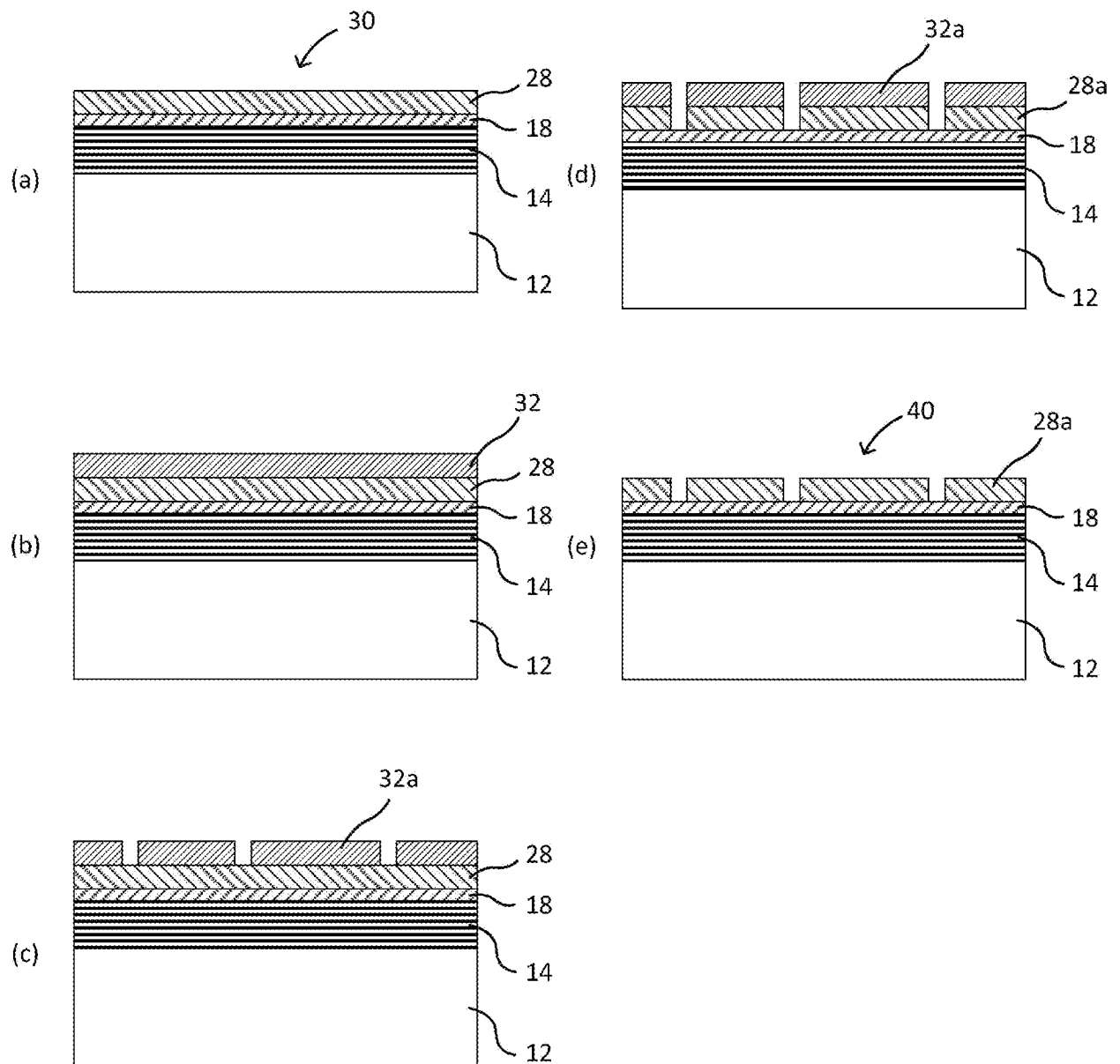
[図2]



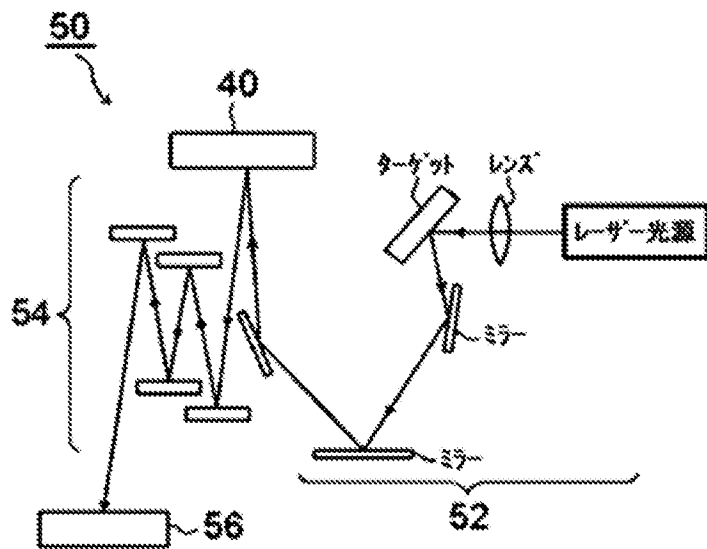
[図3]



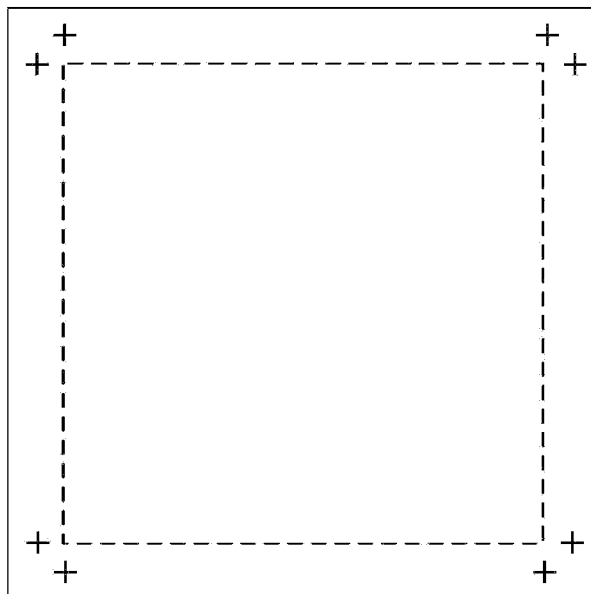
[図4]



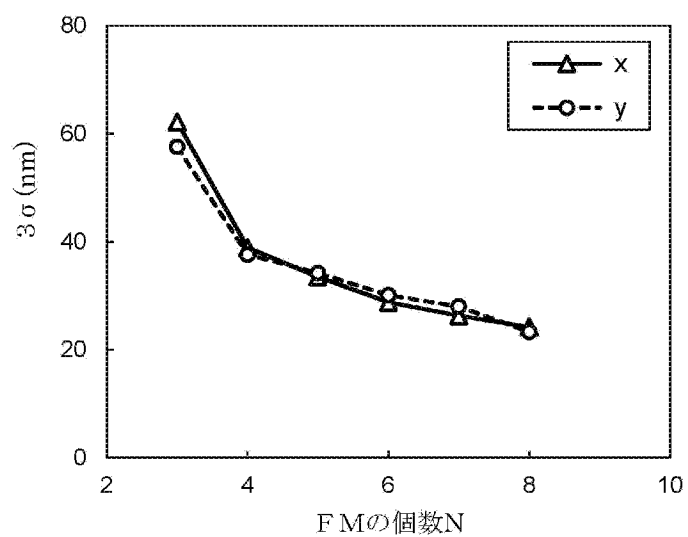
[図5]



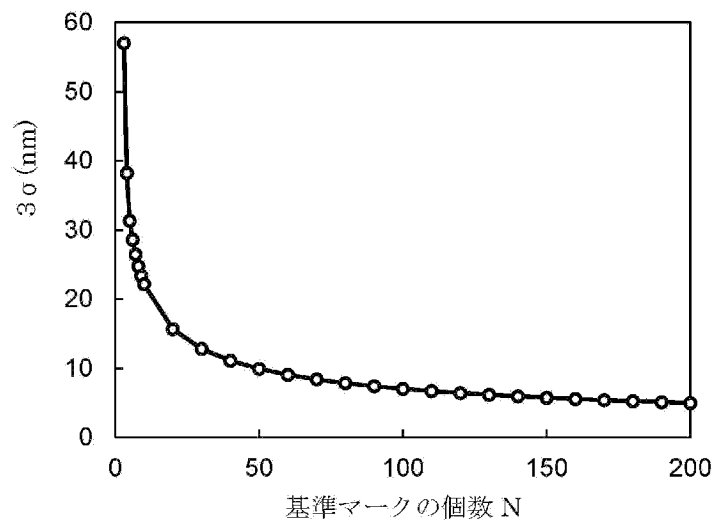
[図6]



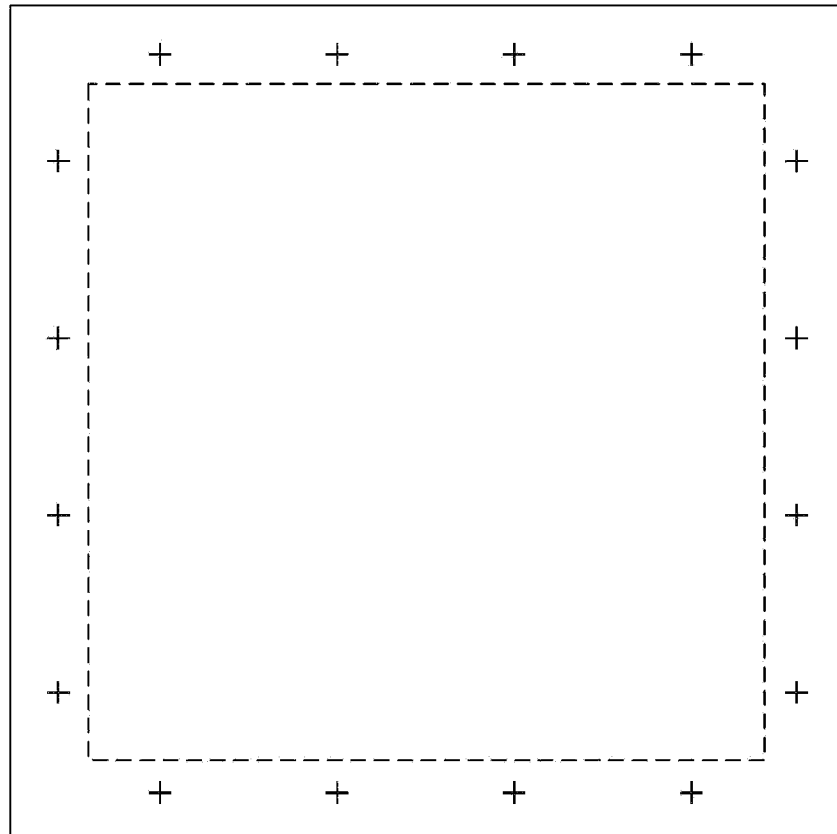
[図7]



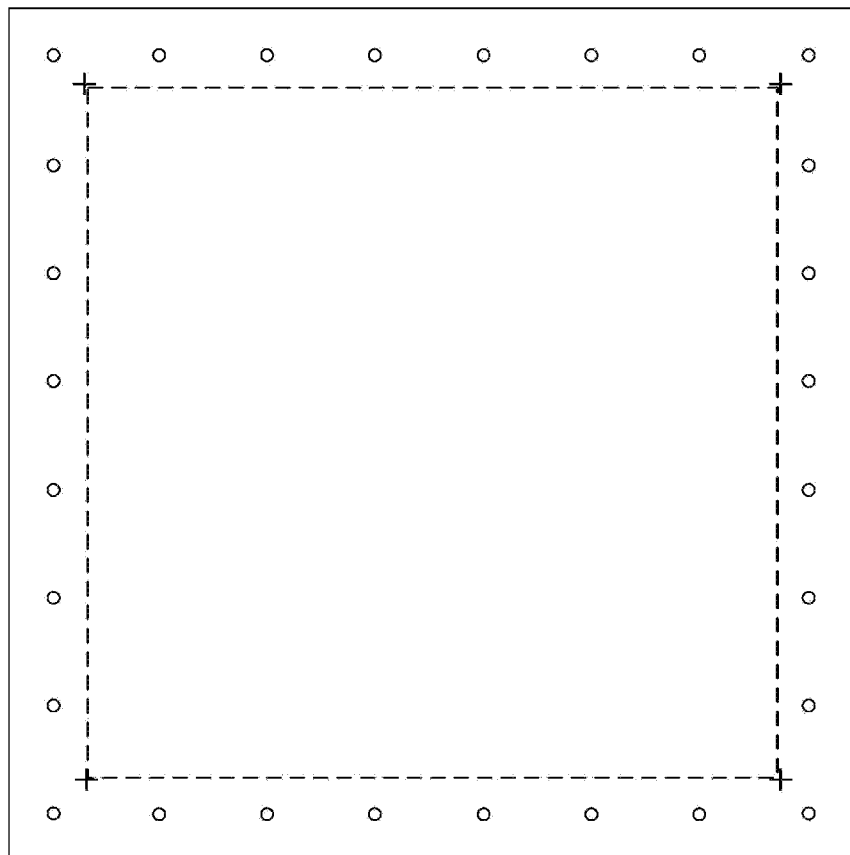
[図8]



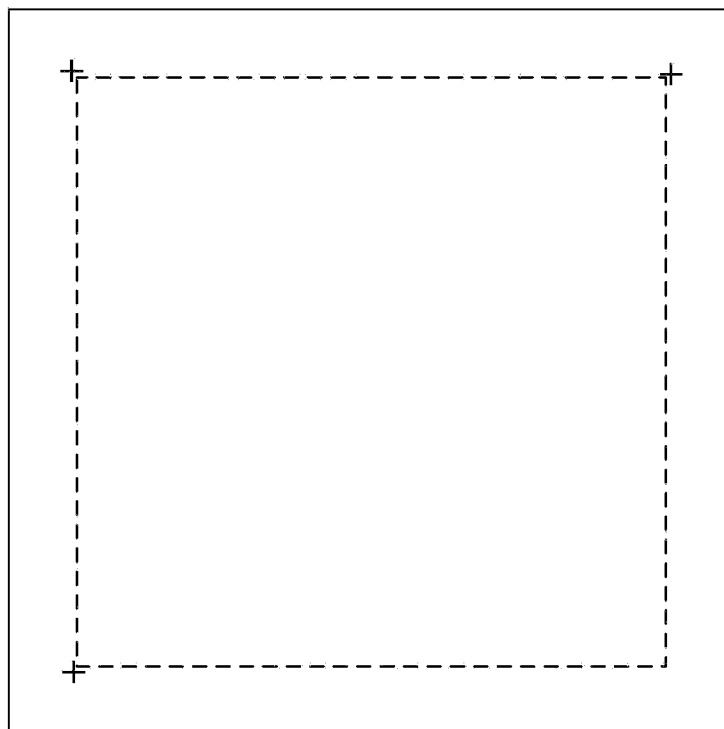
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/043546

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G03F 1/24(2012.01)i; G03F 1/84(2012.01)i; G03F 7/20(2006.01)i; G01N 21/956(2006.01)i

FI: G03F1/24; G03F1/84; G03F7/20 503; G03F7/20 521; G01N21/956 A

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)

G03F1/24; G03F1/84; G03F7/20; G01N21/956

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2015-090421 A (HOYA CORP.) 11.05.2015 (2015-05-11) paragraphs [0043]-[0046], [0050], [0082]-[0083], [0092], [0097], [0099], [0136], [0162], fig. 1, 5-6, 8, 14	1-10
A	JP 2003-248299 A (TOSHIBA CORP.) 05.09.2003 (2003-09-05) entire text, all drawings	1-10
A	JP 2013-191733 A (LASERTEC CORPORATION) 26.09.2013 (2013-09-26) entire text, all drawings	1-10
A	WO 2008/129914 A1 (ASAHI GLASS CO., LTD.) 30.10.2008 (2008-10-30) entire text, all drawings	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 January 2020 (07.01.2020)

Date of mailing of the international search report
28 January 2020 (28.01.2020)

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2019/043546

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2015-090421 A	11 May 2015	(Family: none)	
JP 2003-248299 A	05 Sep. 2003	US 2003/0184721 A1 entire text, all drawings CN 1441461 A KR 10-2003-0070841 A	
JP 2013-191733 A	26 Sep. 2013	US 2013/0245971 A1 entire text, all drawings	
WO 2008/129914 A1	30 Oct. 2008	TW 200849332 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G03F 1/24(2012.01)i; G03F 1/84(2012.01)i; G03F 7/20(2006.01)i; G01N 21/956(2006.01)i FI: G03F1/24; G03F1/84; G03F7/20 503; G03F7/20 521; G01N21/956 A														
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）） G03F1/24; G03F1/84; G03F7/20; G01N21/956														
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年													
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）														
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
X	JP 2015-090421 A (HOYA株式会社) 11.05.2015 (2015 - 05 - 11) 段落 [0043] - [0046]、[0050]、[0082] - [0083]、[0092]、[0097]、[0099]、[0136]、[0162]、図1、5-6、8、14	1-10												
A	JP 2003-248299 A (株式会社東芝) 05.09.2003 (2003 - 09 - 05) 全文、全図	1-10												
A	JP 2013-191733 A (レーザーテック株式会社) 26.09.2013 (2013 - 09 - 26) 全文、全図	1-10												
A	WO 2008/129914 A1 (旭硝子株式会社) 30.10.2008 (2008 - 10 - 30) 全文、全図	1-10												
☐ 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。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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	“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	“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	“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）	“&” 同一パテントファミリー文献	“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	
* 引用文献のカテゴリー	“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“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													
“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	“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													
“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）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“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														
国際調査を完了した日 07.01.2020		国際調査報告の発送日 28.01.2020												
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 今井 彰 2G 1129 電話番号 03-3581-1101 内線 3226												

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2019/043546

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2015-090421	A	11.05.2015	(ファミリーなし)	
JP	2003-248299	A	05.09.2003	US 2003/0184721	A1
				全文、全図	
				CN 1441461	A
				KR 10-2003-0070841	A
JP	2013-191733	A	26.09.2013	US 2013/0245971	A1
				全文、全図	
WO	2008/129914	A1	30.10.2008	TW 200849332	A