

明 細 書

発明の名称：

マスクブランク用基板、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、透過型マスクブランク、透過型マスク、及び半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、マスクブランク用基板、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、透過型マスクブランク、透過型マスク、及び半導体装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 一般に、半導体装置の製造工程では、フォトリソグラフィ法を用いて微細パターンの形成が行われる。この微細パターンの形成には、通常何枚ものフォトマスクと呼ばれている転写用マスクが使用される。この転写用マスクは、一般に透光性のガラス基板上に、金属薄膜等からなる微細パターンを設けたものであり、この転写用マスクの製造においても、フォトリソグラフィ法が用いられている。

[0003] フォトリソグラフィ法による転写用マスクの製造には、ガラス基板等の透光性基板上に転写パターン（マスクパターン）を形成するための薄膜（例えば遮光膜など）を有するマスクブランクが用いられる。このマスクブランクを用いた転写用マスクの製造方法は、マスクブランク上に形成されたレジスト膜に対し、所望のパターン描画を施す描画工程と、描画後、前記レジスト膜を現像して所望のレジストパターンを形成する現像工程と、このレジストパターンをマスクとして前記薄膜をエッチングするエッチング工程と、残存するレジストパターンを剥離除去する工程とを有している。上記現像工程では、マスクブランク上に形成されたレジスト膜に対し、所望のパターンを描画した後、現像液を供給する。これにより、現像液に可溶なレジスト膜の部位が溶解するため、レジストパターンが形成される。上記エッチング工程で

は、このレジストパターンをマスクとして、ドライエッチング又はウェットエッチングによって、レジストパターンによって被覆されていない薄膜が露出した部位を除去する。これにより、所望のマスクパターンを透光性基板上に形成する。

[0004] 転写用マスクの種類としては、従来の透光性基板上にクロム系材料からなる遮光膜パターンを有するバイナリー型マスクのほかに、位相シフト型マスクが知られている。この位相シフト型マスクは、透光性基板と、透光性基板上に形成された位相シフト膜を有する。この位相シフト膜は、所定の位相差を有するものであり、例えばモリブデンシリサイド化合物を含む材料等によって形成される。また、モリブデン等の金属のシリサイド化合物を含む材料を遮光膜として用いるバイナリー型マスクも用いられるようになってきている。これら、バイナリー型マスク、位相シフト型マスクを総称して、本明細書では透過型マスクと称する。また、透過型マスクに使用される原版であるバイナリー型マスクブランク、位相シフト型マスクブランクを総称して、透過型マスクブランクと称する。

[0005] また、近年、半導体産業において、半導体デバイスの高集積化に伴い、従来の紫外光を用いたフォトリソグラフィ法の転写限界を上回る微細パターンが必要とされてきている。このような微細パターンの形成を可能とするため、極紫外（Extreme Ultra Violet：以下、「EUV」と呼ぶ。）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。このEUVリソグラフィーにおいて用いられる転写用マスクとして、反射型マスクが提案されている。このような反射型マスクは、基板上に露光光を反射する多層反射膜が形成され、該多層反射膜上に露光光を吸収する吸収体膜が形成されたものである。吸収体膜には、転写パターンが形成されている。

[0006] 特許文献1には、半導体製造工程のリソグラフィー工程に使用される反射型マスクの基材である低膨張ガラス基板であって、該低膨張ガラス基板の外

周に沿って形成される側面のうち、互いに対向する位置関係にある2つの側面の平坦度が各々 $25\mu\text{m}$ 以下であり、前記2つの側面の平行度が $0.01\text{mm}/\text{インチ}$ 以下である、反射型マスク用低膨張ガラス基板が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特許第5640744号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] ArFエキシマレーザーあるいはEUV (Extreme Ultra-Violet) を使用したリソグラフィーにおける急速なパターンの微細化に伴い、バイナリー型マスクや位相シフト型マスクのような透過型マスク（オプティカルマスクとも言う。）や、反射型マスクであるEUVマスクの欠陥サイズ (Defect Size) も年々微細になっている。このような微細な欠陥を発見するために、欠陥検査で使用する検査光源波長は、露光光の光源波長に近づきつつある。

[0009] マスクブランク用基板は、矩形状の板状体であり、2つの主表面と、4つの側面とを有する。2つの主表面は、この板状体の上面及び下面であり、互いに対向するように形成されている。2つの主表面の少なくとも一方は、転写パターンが形成されるべき主表面である。4つの側面は、2つの主表面の外周に沿って形成される。2つの主表面と4つの側面の間には、それぞれ面取り面が形成されている。

[0010] 半導体製造工程では、各種装置（例えば、成膜装置、洗浄装置）が使用される。これらの装置においてマスクブランク用基板を搬送する際に、搬送ロボットが基板を把持する。このとき、搬送ロボットが、基板の面取り面を把持することがある。

[0011] 従来のマスクブランク用基板では、搬送ロボットが基板の面取り面を把持する際に、搬送ロボットの把持部と面取り面とが接する箇所に局所的に圧力

がかかり、基板にキズが発生し、そこから発塵が起こってしまうことがあった。このような発塵は、マスクブランクに形成される微細なパターンに欠陥を生じさせる原因となるため、できるだけ抑制することが望ましい。

[0012] 本発明は上記のような事情に鑑みてなされたものであり、半導体製造工程の各種装置における搬送ロボットがマスクブランク用基板を把持する際に局所的に圧力が発生するのを防止し、把持部からの発塵を抑制するマスクブランク用基板、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、透過型マスクブランク、透過型マスク、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

[0013] 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)

互いに対向する第1及び第2の主表面(12a、12b)と、

前記第1及び第2の主表面(12a、12b)の外周に沿って形成された4つの側面(16a～16d)と、

前記第1の主表面(12a)と前記4つの側面(16a～16d)との間に形成された第1～第4の面取り面(18a～18d)と、

前記第2の主表面(12b)と前記4つの側面(16a～16d)との間に形成された第5～第8の面取り面(18a'～18d')と、を備えたマスクブランク用基板であって、

前記第1及び第2の主表面(12a、12b)、及び、互いに対向する2つの側面(16a、16c)に対して略垂直な断面(A)において、

前記第7の面取り面(18c')を基準面(Pc')としたときに、前記第7の面取り面(18c')の対角方向にある前記第1の面取り面(18a)の外形線(La)の平行度が0.02mm以下であり、

前記第1の面取り面(18a)を基準面(Pa)としたときに、前記第7の面取り面(18c')の外形線(Lc')の平行度が0.02mm以下である、マスクブランク用基板。

[0014] (構成2)

前記断面(A)において、

前記第3の面取り面(18c)を基準面(Pc)としたときに、前記第3の面取り面(18c)の対角方向にある第5の面取り面(18a')の外形線(La')の平行度が0.02mm以下であり、

前記第5の面取り面(18a')を基準面(Pa')としたときに、前記第3の面取り面(18c)の外形線(Lc)の平行度が0.02mm以下である、構成1に記載のマスクブランク用基板。

[0015] (構成3)

前記第1及び第2の主表面(12a、12b)、及び、前記互いに対向する2つの側面とは異なる互いに対向する2つの側面(16b、16d)に対して略垂直な断面(B)において、

前記第8の面取り面(18d')を基準面(Pd')としたときに、前記第8の面取り面(18d')の対角方向にある第2の面取り面(18b)の外形線(Lb)の平行度が0.02mm以下であり、

前記第2の面取り面(18b)を基準面(Pb)としたときに、前記第8の面取り面(18d')の外形線(Ld')の平行度が0.02mm以下である、構成1又は構成2に記載のマスクブランク用基板。

[0016] (構成4)

前記断面(B)において、

前記第4の面取り面(18d)を基準面(Pd)としたときに、前記第4の面取り面(18d)の対角方向にある第6の面取り面(18b')の外形線(Lb')の平行度が0.02mm以下であり、

前記第6の面取り面(18b')を基準面(Pb')としたときに、前記第4の面取り面(18d)の外形線(Ld)の平行度が0.02mm以下である、構成1乃至3のいずれかに記載のマスクブランク用基板。

[0017] (構成5)

構成1乃至4のいずれかに記載のマスクブランク用基板と、前記マスクブ

ランク用基板の前記第 1 及び第 2 の主表面のうち一方の主表面上に形成された E U V 光を反射する多層反射膜と、前記多層反射膜上に形成された保護膜とを含む、多層反射膜付き基板。

[0018] (構成 6)

構成 5 に記載の多層反射膜付き基板と、当該多層反射膜付き基板の保護膜上に形成された転写パターンとなる吸収体膜とを含む、反射型マスクブラン

[0019] (構成 7)

構成 5 に記載の多層反射膜付き基板と、当該多層反射膜付き基板の保護膜上に形成された吸収体膜パターンとを含む、反射型マスク。

[0020] (構成 8)

構成 1 乃至 4 のいずれかに記載のマスクブラン

[0021] (構成 9)

構成 1 乃至 4 のいずれかに記載のマスクブラン

[0022] (構成 10)

構成 7 に記載の反射型マスクを用いて、露光装置を使用したリソグラフィ

[0023] (構成 11)

構成 9 に記載の透過型マスクを用いて、露光装置を使用したリソグラフィ

発明の効果

[0024] 本発明によれば、半導体製造工程の各種装置における搬送ロボットがマス

クブランク用基板を把持する際に局所的に圧力が発生するのを防止し、把持部からの発塵を抑制するマスクブランク用基板、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、透過型マスクブランク、透過型マスク、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

[0025] [図1]マスクブランク用基板の斜視図である。

[図2]図1に示すマスクブランク用基板10のII-II線断面図である。

[図3]図1に示すマスクブランク用基板10のIII-III線断面図である。

[図4]平行度の測定方法の一例を示す斜視図である。

[図5]搬送ロボットのロボットアームによって基板が把持された状態の一例を示す上面図である。

[図6]搬送ロボットのロボットアームによって基板が把持された状態の一例を示す側面図である。

[図7]平行度を測定する断面Aを示す斜視図である。

[図8]第1の面取り面の拡大断面図である。

[図9]多層反射膜付き基板を示す模式図である。

[図10]反射型マスクブランクを示す模式図である。

[図11]反射型マスクを示す模式図である。

[図12]透過型マスクブランクを示す模式図である。

[図13]透過型マスクを示す模式図である。

[図14]外形線の説明図である。

発明を実施するための形態

[0026] 以下、本発明の実施形態について、詳細に説明する。なお、以下の実施形態は、本発明を具体化する際の形態であって、本発明をその範囲内に限定するものではない。

[0027] [マスクブランク用基板]

まず、本実施形態のマスクブランク用基板について説明する。

図1は、本実施形態に係るマスクブランク用基板10を示す斜視図である

。図2は、図1に示すマスクブランク用基板10のII-II線断面図である。図3は、図1に示すマスクブランク用基板10のIII-III線断面図である。

[0028] マスクブランク用基板10（以下、単に基板10と称することがある。）は、略四角形の板状体からなり、2つの主表面12（12a、12b）と、4つの側面16（16a～16d）を有する。互いに対向する2つの主表面12a、12bは、基板10の上面及び下面を構成する。2つの主表面12a、12bのうち少なくとも一方は、転写パターンとなる薄膜が形成される面である。

[0029] なお、本明細書において、「上」とあるのは、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。また、「下」とあるのは、必ずしも鉛直方向における下側を意味するものではない。これらの用語は、部材や部位の位置関係の説明のために便宜的に用いられているに過ぎない。

[0030] 4つの側面16a～16dは、略四角形の主表面12a、12bの外周に沿って形成されている。4つの側面16a～16dと、一方の主表面12aとの間には、第1～第4の面取り面18a～18dが形成されている。4つの側面16a～16dと、他方の主表面12bとの間には、第5～第8の面取り面18a'～18d'が形成されている。

[0031] 側面16（16a～16d）は、2つの主表面12a、12bに略垂直な面であり、「T面」と呼ばれることがある。

面取り面18（18a～18d、18a'～18d'）は、2つの主表面12a、12bと側面16a～16dとの間に形成された面であり、斜めに面取りされることで形成された面である。面取り面18は、「C面」と呼ばれることがある。

[0032] 本明細書において、第1及び第2の主表面12a、12b、及び、互いに対向する2つの側面16a、16cに対して略垂直な断面を、断面Aと呼ぶ。また、第1及び第2の主表面12a、12b、及び、互いに対向する2つの側面16b、16dに対して略垂直な断面を、断面Bと呼ぶ。断面Aは、図2に示す断面である。断面Bは、図3に示す断面である。断面Aと断面B

は、互いに直交している。断面Aは、2つの側面16a、16cの長手方向における任意の箇所の断面である。断面Bは、2つの側面16b、16dの長手方向における任意の箇所の断面である。ここで、「略垂直」とは、2つの面の直角度が 3.5×10^{-4} 以下であることを意味する。

[0033] 本実施形態のマスクブランク用基板10は、断面Aにおいて、第7の面取り面18c'を基準面Pc'としたときに、第7の面取り面18c'の対角方向にある第1の面取り面18aの外形線Laの平行度が0.02mm以下である。また、第1の面取り面18aを基準面Paとしたときに、第7の面取り面18c'の外形線Lc'の平行度が0.02mm以下である。これらの平行度は、0.01mm以下であることがより好ましい。ここで、「平行度」とは、基準面に対する直線形体のひらきの許容度を示す。

[0034] 図4は、平行度の測定方法の一例を示す斜視図である。

平行度を測定する際には、まず、図4に示すように、平面度が保証された定盤20に、第7の面取り面18c'が接するようにして基板10を載置する。定盤20に接する第7の面取り面18c'が、基準面Pc'となる。次に、第7の面取り面18c'の対角方向にある第1の面取り面18aの外形線Laの高さを、ダイヤルゲージとハイトゲージの組み合わせによって測定する。測定された外形線Laの高さの最小値と最大値の差が、平行度である。外形線Laの高さは、三次元座標測定機によって測定してもよい。

[0035] 第7の面取り面18c'を基準面Pc'としたときの第1の面取り面18aの平行度を測定する例について説明したが、逆についても同様である。すなわち、平面度が保証された定盤20に、第1の面取り面18aが接するようにして基板10を載置する。定盤20に接する第1の面取り面18aが、基準面Paとなる。次に、第1の面取り面18aの対角方向にある第7の面取り面18c'の外形線Lc'の高さを、ダイヤルゲージとハイトゲージの組み合わせによって測定する。測定された外形線Lc'の高さの最小値と最大値の差が、平行度である。外形線Lc'の高さは、三次元座標測定機によって測定してもよい。

- [0036] 図5は、搬送ロボットのロボットアームによって基板10が把持された状態の一例を示す上面図である。図6は、搬送ロボットのロボットアームによって基板10が把持された状態の一例を示す側面図である。
- [0037] 図5、6に示すように、4つのロボットアーム22a～22dによって基板10が保持された状態において、各ロボットアーム22a～22dの外周面は、基板10の4つの面取り面（第1の面取り面18a、第3の面取り面18c、第5の面取り面18a'、及び第7の面取り面18c'）に接触している。
- [0038] このように、搬送ロボットによって基板10を搬送する際には、ロボットアーム22a～22dによって保持した状態の基板10を移動させる。このとき、ロボットアーム22a～22dと面取り面との接触箇所に局所的に圧力がかかることがあり、基板10に傷が生じ、その傷が発塵の原因となっていた。
- [0039] 本発明者らは、基板10の任意の断面Aにおいて、第7の面取り面18c'（基準面Pc'）に対する第1の面取り面18aの外形線Laの平行度を0.02mm以下とし、かつ、第1の面取り面18a（基準面Pa）に対する第7の面取り面18c'の外形線Lc'の平行度を0.02mm以下とすることによって、基板10の面取り面に局所的に圧力がかかるのを防止し、把持部からの発塵を抑制できることを見出した。
- [0040] 本実施形態のマスクブランク用基板10は、断面Aにおいて、第3の面取り面18cを基準面Pcとしたときに、第3の面取り面18cの対角方向にある第5の面取り面18a'の外形線La'の平行度が0.02mm以下であることが好ましい。また、第5の面取り面18a'を基準面Pa'としたときに、第3の面取り面18cの外形線Lcの平行度が0.02mm以下であることが好ましい。これらの平行度は、0.01mm以下であることがより好ましい。これにより、把持部から発塵が発生するのをより抑制できる。平行度の測定方法は、上記した第7の面取り面18c'を基準面Pc'としたときの第1の面取り面18aの平行度を測定する例と同様である。

- [0041] 本実施形態のマスクブランク用基板10は、断面Bにおいて、第8の面取り面18d'を基準面Pd'としたときに、第8の面取り面18d'の対角方向にある第2の面取り面18bの外形線Lbの平行度が0.02mm以下であることが好ましい。また、第2の面取り面18bを基準面Pbとしたときに、前記第8の面取り面18d'の外形線Ld'の平行度が0.02mm以下であることが好ましい。これらの平行度は、0.01mm以下であることがより好ましい。これにより、基板10を90°回転させて把持した場合でも、基板10の面取り面に局所的に圧力がかかるのを防止し、把持部からの発塵を抑制できる。平行度の測定方法は、上記した第7の面取り面18c'を基準面Pc'としたときの第1の面取り面18aの平行度を測定する例と同様である。
- [0042] 本実施形態のマスクブランク用基板10は、断面Bにおいて、第4の面取り面18dを基準面Pdとしたときに、第4の面取り面18dの対角方向にある第6の面取り面18b'の外形線Lb'の平行度が0.02mm以下であることが好ましい。また、第6の面取り面18b'を基準面Pb'としたときに、第4の面取り面18dの外形線Ldの平行度が0.02mm以下であることが好ましい。これらの平行度は、0.01mm以下であることがより好ましい。これにより、基板10を90°回転させて把持した場合でも、把持部からの発塵をより抑制できる。平行度の測定方法は、上記した第7の面取り面18c'を基準面Pc'としたときの第1の面取り面18aの平行度を測定する例と同様である。
- [0043] ロボットアームが基板10を把持する箇所は、例えば、図5のL2（例えば基板10の端から15mm）を除くL1（例えば122mm）の範囲であるため、断面A及び断面Bは、このL1を含む範囲の断面であることが好ましい。
- [0044] 図7は、平行度を測定する断面Aを示す斜視図である。
図7に示すように、平行度を測定する任意の断面Aは、1面に限られない。例えば、第1の面取り面18aの長手方向（y方向）の中心位置をOとし

た場合に、中心Oからy 1での断面A 1と、中心Oからy 2での断面A 2の2面を、平行度を測定する断面Aとすることができる。y 1及びy 2は、ロボットアームが基板を把持する際の中心点とすることが好ましい。これにより、4つのロボットアームで基板を把持する場合に、より把持部からの発塵を抑制することが可能となる。平行度を測定する任意の断面Aは、3面以上であることが好ましい。断面Aについて説明したが、断面Bについても同様である。

[0045] 図2に示すように、第1の面取り面18aの幅W1及び幅W2は、各々 0.4 ± 0.2 mmの範囲であることが好ましく、 0.4 ± 0.1 mmの範囲であることがより好ましい。幅W1は、第1の面取り面18aを、第1の側面16a側から見たときの幅である。幅W2は、第1の面取り面18aを、第1の主表面12a側から見たときの幅である。第1の面取り面18aの幅W1、W2が上記の範囲であることにより、ロボットアームと第1の面取り面18aとの接触箇所に局所的に圧力がかかることをより効果的に防止することができる。その結果、ロボットアームの把持部からの発塵をより効果的に抑制することができる。第1の面取り面18aについて説明したが、第2～第8の面取り面18b～18d、18a'～18d'についても同様である。

[0046] 図8は、第1の面取り面18aの拡大断面図である。図8に示すように、第1の主表面12aを延長した仮想基準面24と、第1の面取り面18aを延長した仮想基準面26とのなす角を α とする。第1の側面16aを延長した仮想基準面28と、第1の面取り面18aを延長した仮想基準面26とのなす角を β とする。このとき、 $|\alpha - \beta| \leq 0 \sim 2^\circ$ であることが好ましい。角度 α と角度 β の差の絶対値が上記の範囲であることにより、ロボットアームと第1の面取り面18aとの接触箇所に局所的に圧力がかかることをより効果的に防止することができる。その結果、ロボットアームの把持部からの発塵をより効果的に抑制することができる。第1の面取り面18aについて説明したが、第2～第8の面取り面18b～18d、18a'～18d'

についても同様である。

[0047] また、パターンの転写精度及び／又は位置精度を高めるため、本実施形態のマスクブランク用基板10の転写パターンが形成される側の主表面は、高平坦度となるように表面加工されていることが好ましい。EUV露光用の反射型マスクブランク用基板の場合、基板10の転写パターンが形成される側の主表面の132mm×132mmの領域、または142mm×142mmの領域において、平坦度が0.1μm以下であることが好ましく、特に好ましくは0.05μm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、露光装置にセットする時の静電チャックされる面であって、142mm×142mmの領域において、平坦度が0.1μm以下、特に好ましくは0.05μm以下である。ArFエキシマレーザー露光用の透過型マスクブランクに使用するマスクブランク用基板10の場合、基板の転写パターンが形成される側の主表面の132mm×132mmの領域、または142mm×142mmの領域において、平坦度が0.3μm以下であることが好ましく、特に好ましくは、0.2μm以下である。

[0048] 本実施形態のマスクブランク用基板10は、透過型マスクブランク用基板であってもよく、反射型マスクブランク用基板であってもよい。

[0049] ArFエキシマレーザー露光用の透過型マスクブランク用基板の材料としては、露光波長に対して透光性を有するものであれば何でもよい。一般的には、合成石英ガラスが使用される。その他の材料としては、アルミノシリケートガラス、ソーダライムガラス、ホウケイ酸ガラス、無アルカリガラスであっても構わない。

[0050] EUV露光用の反射型マスクブランク用基板の材料としては、低熱膨張の特性を有するものが好ましい。例えば、SiO₂-TiO₂系ガラス（2元系（SiO₂-TiO₂）及び3元系（SiO₂-TiO₂-SnO₂等））、例えばSiO₂-Al₂O₃-Li₂O系の結晶化ガラスなどの所謂、多成分系ガラスを使用することができる。また、上記ガラス以外に、シリコンや金属などの基板を用いることもできる。前記金属基板の例としては、インバー合金（

Fe-Ni系合金)などが挙げられる。

[0051] 上述のように、EUV露光用のマスクブランク用基板の場合、基板に低熱膨張の特性が要求されるため、多成分系ガラス材料を使用する。しかし、多成分系ガラス材料は、合成石英ガラスと比較して高い平滑性を得にくいという問題がある。この問題を解決すべく、多成分系ガラス材料からなる基板上に、金属、合金、又はこれらのいずれかに酸素、窒素、炭素の少なくとも一つを含有した材料からなる薄膜(下地層)を形成してもよい。

[0052] 上記薄膜の材料としては、例えば、Ta(タンタル)、Taを含有する合金、又はこれらのいずれかに酸素、窒素、炭素の少なくとも一つを含有したTa化合物が好ましい。Ta化合物としては、例えば、TaB、Ta₂N、Ta₂O、TaON、TaCON、TaBN、TaBO、TaBON、TaBCON、TaHf、TaHfO、TaHfN、TaHfON、TaHfCON、TaSi、TaSiO、TaSiN、TaSiON、TaSiCONなどを適用することができる。これらTa化合物のうち、窒素(N)を含有するTa₂N、TaON、TaCON、TaBN、TaBON、TaBCON、TaHfN、TaHfON、TaHfCON、TaSiN、TaSiON、TaSiCONがより好ましい。

[0053] 本実施形態のマスクブランク用基板10において、上記に規定した平行度0.02mm以下を満たすための加工方法は、特に限定されるものではない。このような平行度は、面取り面の研削及び研磨を、基板10の角度を一定にして行うことにより、実現することができる。

[0054] [多層反射膜付き基板]

次に、本実施形態の多層反射膜付き基板について説明する。

図9は、本実施形態の多層反射膜付き基板30を示す模式図である。

本実施形態の多層反射膜付き基板30は、上記のマスクブランク用基板10の転写パターンが形成される側の主表面上に、多層反射膜32を形成した構成を有する。この多層反射膜32は、EUVリソグラフィー用反射型マスクにおいてEUV光を反射する機能を付与するものであり、屈折率の異なる

元素が周期的に積層された多層膜を含む。

[0055] 多層反射膜32は、EUV光を反射する限りその材質は特に限定されないが、その単独での反射率は通常65%以上であり、上限は通常73%である。このような多層反射膜32は、一般的には、高屈折率の材料からなる薄膜（高屈折率層）と、低屈折率の材料からなる薄膜（低屈折率層）とが、交互に40～60周期程度積層された多層反射膜を含む。

[0056] 例えば、波長13～14nmのEUV光に対する多層反射膜32としては、Mo膜とSi膜とを交互に40周期程度積層したMo/Si周期積層膜が好ましい。その他、EUV光の領域で使用される多層反射膜の例として、Ru/Si周期多層膜、Mo/Be周期多層膜、Mo化合物/Si化合物周期多層膜、Si/Nb周期多層膜、Si/Mo/Ru周期多層膜、Si/Mo/Ru/Mo周期多層膜、及びSi/Ru/Mo/Ru周期多層膜が挙げられる。

[0057] 多層反射膜32は、当該技術分野において公知の方法によって形成できる。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り、各層を形成することができる。上述したMo/Si周期多層膜の場合、例えば、イオンビームスパッタリング法により、まずSiターゲットを用いて厚さ数nm程度のSi膜を基板10上に形成し、その後、Moターゲットを用いて厚さ数nm程度のMo膜を形成し、これを一周期として、40～60周期積層して、多層反射膜32を形成することができる。

[0058] 上記で形成された多層反射膜32の上に、EUVリソグラフィー用反射型マスクの製造工程におけるドライエッチングやウェット洗浄からの多層反射膜32の保護のため、保護膜34（図10を参照）が形成されてもよい。

[0059] 保護膜34の材料の例として、Ru、Ru-(Nb, Zr, Y, B, Ti, La, Mo), Si-(Ru, Rh, Cr, B), Si, Zr, Nb, La, 及びBからなる群から選択される少なくとも1種を含む材料が挙げられる。これらのうち、ルテニウム（Ru）を含む材料を使用すると、多層反射膜の反射率特性が良好となる。具体的には、保護膜34の材料として、Ru、及

び、Ru-(Nb, Zr, Y, B, Ti, La, Mo)が好ましい。このような保護膜は、特に、吸収体膜がTa系材料を含み、Cl系ガスのドライエッチングで当該吸収体膜をパターンニングする場合に有効である。

[0060] 基板10の多層反射膜32と接する面と反対側の面には、静電チャックの目的のために裏面導電膜36（図10を参照）が形成されてもよい。尚、裏面導電膜36に求められる電気的特性（シート抵抗）は、通常100Ω/□以下である。裏面導電膜36は、公知の方法によって形成できる。例えば、裏面導電膜36は、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により、Cr、Ta等の金属やそれらの合金のターゲットを使用し形成することができる。

[0061] 基板10と多層反射膜32との間に、上述の下地層が形成されてもよい。下地層は、基板10の主表面の平滑性向上、欠陥低減、多層反射膜32の反射率向上、及び、多層反射膜32の応力低減等の目的で形成することができる。

[0062] [反射型マスクブランク]

次に、本実施形態の反射型マスクブランクについて説明する。

図10は、本実施形態の反射型マスクブランク40を示す模式図である。

本実施形態の反射型マスクブランク40は、上記の多層反射膜付き基板30の保護膜34上に、転写パターンとなる吸収体膜42を形成した構成を有する。

[0063] 吸収体膜42の材料は、EUV光を吸収する機能を有するものであればよく、特に限定されるものではない。例えば、Ta（タンタル）単体、又はTaを主成分とする材料を用いることが好ましい。Taを主成分とする材料は、例えば、Taの合金である。あるいは、Taを主成分とする材料の例として、TaとBを含む材料、TaとNを含む材料、TaとBを含み、更にOとNのうち少なくとも1つを含む材料、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、及び、TaとGeとNを含む材料を挙げることができる。

[0064] 本実施形態の反射型マスクブランクは、図10に示す構成に限定されるものではない。例えば、吸収体膜の42上に、吸収体膜42をパターニングするためのマスクとなるレジスト膜を形成してもよい。吸収体膜42の上に形成するレジスト膜は、ポジ型でも、ネガ型でもよい。また、吸収体膜42の上に形成するレジスト膜は、電子線描画用でも、レーザ描画用でもよい。さらに、吸収体膜42とレジスト膜との間に、ハードマスク（エッチングマスク）膜を形成してもよい。

[0065] [反射型マスク]

次に、本実施形態の反射型マスク50について説明する。

図11は、本実施形態の反射型マスク50を示す模式図である。

本実施形態の反射型マスク50は、上記の反射型マスクブランク40の吸収体膜42をパターニングして得られた吸収体膜パターン52を有する。本実施形態の反射型マスク50は、吸収体膜パターン52のある部分では露光光が吸収され、吸収体膜42が除去されることで多層反射膜32（あるいは保護膜34）が露出した部分では露光光が反射される。これにより、本実施形態の反射型マスク50は、例えばEUV光を露光光として用いるリソグラフィ用の反射型マスクとして使用することができる。

[0066] [透過型マスクブランク]

次に、本実施形態の透過型マスクブランク60について以下に説明する。

図12は、本実施形態の透過型マスクブランク60を示す模式図である。

本実施形態の透過型マスクブランク60は、上記のマスクブランク用基板10の転写パターンが形成される側の主表面上に、転写パターンとなる遮光性膜62を形成した構成を有する。

[0067] 透過型マスクブランク60は、例えば、バイナリー型マスクブランクでもよく、位相シフト型マスクブランクでもよい。遮光性膜62は、露光光を遮断する機能を有する遮光膜を含んでもよい。あるいは、遮光性膜62は、露光光を減衰させ、かつ露光光の位相をシフトさせるハーフトーン膜を含んでもよい。

[0068] バイナリー型マスクブランクは、マスクブランク用基板 10 上に、露光光を遮断する遮光膜を形成したものである。この遮光膜をパターンニングして、所望の転写パターンを形成することができる。遮光膜の例としては、Cr 膜、Cr に酸素、窒素、炭素、弗素を選択的に含む Cr 合金膜、これらの積層膜、MoSi 膜、MoSi に酸素、窒素、炭素を選択的に含む MoSi 合金膜、及び、これらの積層膜が挙げられる。遮光膜の表面には、反射防止機能を有する反射防止層が形成されてもよい。

[0069] 位相シフト型マスクブランクは、マスクブランク用基板 10 上に、露光光の位相を変化させる位相シフト膜を形成したものである。この位相シフト膜をパターンニングして所望の転写パターンを形成することができる。位相シフト膜の例として、位相シフト機能を有する SiO₂ 膜を挙げることができる。また、位相シフト膜の例として、位相シフト機能及び遮光機能を有する金属シリサイド酸化物膜、金属シリサイド窒化物膜、金属シリサイド酸化窒化物膜、金属シリサイド酸化炭化物膜、金属シリサイド酸化窒化炭化物膜（金属は、Mo、Ti、W、Ta などの遷移金属）、CrO 膜、CrF 膜、及び SiON 膜などのハーフトーン膜を挙げることができる。位相シフト膜の上に、上記の遮光膜を形成してもよい。

[0070] 本実施形態の透過型マスクブランクは、図 12 に示す構成に限定されるものではない。例えば、遮光性膜 62 の上に、遮光性膜 62 をパターンニングするためのマスクとなるレジスト膜を形成してもよい。

[0071] 遮光性膜 62 の上に形成するレジスト膜は、ポジ型でも、ネガ型でもよい。また、遮光性膜 62 の上に形成するレジスト膜は、電子線描画用でも、レーザー描画用でもよい。さらに、遮光性膜 62 とレジスト膜との間に、ハードマスク（エッチングマスク）膜を形成してもよい。

[0072] [透過型マスク]

次に、本実施形態の透過型マスクについて説明する。

図 13 は、本実施形態の透過型マスク 70 を示す模式図である。

本実施形態の透過型マスク 70 は、上記の透過型マスクブランク 60 の遮

光性膜 62 をパターンニングして得られた遮光性膜パターン 72 を有する。本実施形態の透過型マスク 70 は、バイナリー型マスクでもよく、位相シフト型マスクでもよい。

[0073] バイナリー型マスクにおいては、遮光性膜パターン 72 のある部分では、露光光が遮断される。遮光性膜 62 が除去されることでマスクブランク用基板 10 が露出した部分では、露光光が透過する。これにより、透過型マスク 70 は、例えば ArF エキシマレーザー光を露光光として用いるリソグラフィー用の透過型マスクとして使用することができる。

[0074] 位相シフト型マスクの一つであるハーフトーン型位相シフトマスクにおいては、遮光性膜 62 が除去されることでマスクブランク用基板 10 が露出した部分では、露光光が透過する。遮光性膜パターン 72 のある部分では、露光光が減衰するとともに、露光光の位相がシフトする。これにより、透過型マスク 70 は、例えば ArF エキシマレーザー光を露光光として用いるリソグラフィー用の位相シフト型マスクとして使用することができる。

[0075] [半導体装置の製造方法]

上記で説明した反射型マスク 50 または透過型マスク 70 と、露光装置を使用したリソグラフィープロセスにより、半導体装置を製造することができる。具体的には、半導体基板上に形成されたレジスト膜に、反射型マスク 50 の吸収体膜パターン 52、または、透過型マスク 70 の遮光性膜パターン 72 を転写する。その後、現像工程や洗浄工程等の必要な工程を経ることにより、半導体基板上にパターン（回路パターン等）が形成された半導体装置を製造することができる。

実施例

[0076] [実施例]

マスクブランク用基板 10 として、大きさが 154.2 ~ 154.4 mm 角、厚さが 7.4 mm の SiO₂-TiO₂ 系のガラス基板を複数枚準備した。準備したガラス基板の面取り面を研削し、その後、面取り面の研磨を行った。前記研削及び前記研磨は、当該ガラス基板の角度を一定にして行った。

その後、両面研磨装置を用いて、当該ガラス基板の表面及び裏面を、酸化セリウム砥粒やコロイダルシリカ砥粒により段階的に研磨した。その後、当該ガラス基板の表面を、低濃度のケイフッ酸で処理した。次に、当該ガラス基板の表面及び裏面の仕上げ研磨を、コロイダルシリカ砥粒を用いて行った。その後、ガラス基板をアルカリ水溶液（ NaOH ）で洗浄し、EUV露光用のマスクブランク用基板10を得た。

[0077] 得られたマスクブランク用基板10は、大きさが $152\text{ mm} \times 152\text{ mm}$ 角、厚さが 6.4 mm 、面取り面の幅 $W1$ 及び $W2$ が $0.4 \pm 0.2\text{ mm}$ の範囲内であった。

[0078] 得られたマスクブランク用基板10について、図7の断面A1及びA2における平行度を測定した。具体的には、図4に示すように、平面度が保証された定盤20に、基準面となる面取り面が接するように基板10を載置した。次に、その基準面の対角方向にある面取り面の外形線Laの高さを測定した。

[0079] ここで、「外形線」とは、基準面の対角方向にある面取り面と、断面A1または断面A2との交線であって、両端の曲線部分80a、80bを除いた直線部分のことをいう（図14を参照）。基準面の対角方向にある面取り面が「第1の面取り面18a」である場合を例に説明すると、曲線部分80aは、第1の主表面12aと第1の面取り面18aとの間の稜線部分である。曲線部分80bは、第1の面取り面18aと第1の側面16aとの間の稜線部分である。これらの稜線部分は、微視的に見るとその断面が曲線状になっているため、これらの曲線部分を除いた直線部分（外形線La）の、基準面からの高さを測定した。

[0080] 具体的には、ダイヤルゲージとハイトゲージを組み合わせ、外形線La上の 0.3 mm の測定範囲（図14参照）において、4点の高さを測定し、その最大値と最小値の差を平行度として算出した。平行度の許容度を満たすものを試料1～3として選択し、その結果を表1に示す。なお、断面A1及びA2は、第1の面取り面18aの長手方向（y方向）の中心位置をOとし

た場合に、中心Oから距離 $y_1 = y_2 = 2.1 \text{ mm}$ の位置とした。

[0081] [表1]

基準面	外形線	試料 1		試料 2		試料 3	
		断面A1での平行度 (mm)	断面A2での平行度 (mm)	断面A1での平行度 (mm)	断面A2での平行度 (mm)	断面A1での平行度 (mm)	断面A2での平行度 (mm)
P c'	L a	0.007	0.006	0.014	0.013	0.018	0.017
P a	L c'	0.006	0.008	0.013	0.013	0.019	0.018
P c	L a'	0.008	0.007	0.015	0.014	0.017	0.017
P a'	L c	0.009	0.008	0.014	0.015	0.016	0.015

[0082] 選択した3枚のマスクブランク用基板10について、各々表面の欠陥検査（1回目）を行った。欠陥検査には、検査光源波長 193 nm の高感度欠陥検査装置（KLA-Tencor社製「Teron600シリーズ」）を使用した。この欠陥検査装置を使用して、ガラス基板主表面における $132 \text{ mm} \times 132 \text{ mm}$ の領域を欠陥検査した。検査感度条件は、球相当直径SEVD（Sphere Equivalent Volume Diameter）で 20 nm サイズの欠陥を検出できる検査感度条件とした。尚、球相当直径SEVDは、欠陥の平面視面積を（S）、欠陥の高さを（h）としたときに、 $SEVD = 2(3S/4\pi h)^{1/3}$ の式により算出することができる（以下の比較例も同様。）。欠陥の面積（S）及び欠陥の高さ（h）は、原子間力顕微鏡（AFM）により測定することができる。その結果、表面の欠陥個数は、試料1が0個、試料2が2個、試料3が3個であり、発塵がほぼ見られなかった。

[0083] 上記の試料1～3について、断面A1または断面A2に直交する断面B1及び断面B2における平行度を測定した。断面B1及びB2は、第2の面取り面18bの長手方向（x方向）の中心位置をOとした場合に、中心Oから距離 $x_1 = x_2 = 2.1 \text{ mm}$ の位置とした。また、測定方法は、断面A1及び断面A2と同様とした。測定結果を表2に示す。

[0084]

[表2]

		試料 1		試料 2		試料 3	
基準面	外形線	断面B1での平行度 (mm)	断面B2での平行度 (mm)	断面B1での平行度 (mm)	断面B2での平行度 (mm)	断面B1での平行度 (mm)	断面B2での平行度 (mm)
P d'	L b	0.006	0.007	0.014	0.015	0.019	0.018
P b	L d'	0.008	0.009	0.013	0.014	0.017	0.016
P d	L b'	0.007	0.008	0.014	0.014	0.016	0.017
P b'	L d	0.007	0.006	0.015	0.014	0.018	0.017

[0085] 1 回目の欠陥検査を行ったときの状態から、マスクブランク用基板 10 を 90° 回転させた。回転させたマスクブランク用基板 10 を把持して、1 回目と同様の欠陥検査を行った。その結果、表面の欠陥個数は、試料 1 が 0 個、試料 2 が 2 個、試料 3 が 4 個であり、発塵はほぼ変わらなかった。

[0086] [比較例]

比較例では、ガラス基板の角度を管理せずに、面取り面の研削及び研磨を行った。それ以外については、上記実施例と同様の工程により、マスクブランク用基板 10 を得た。得られたマスクブランク用基板 10 について、図 7 の断面 A 1 及び A 2 における平行度を測定した。その結果を表 3 に示す。

[0087] [表3]

		試料 4		試料 5	
基準面	外形線	断面A1での平行度 (mm)	断面A2での平行度 (mm)	断面A1での平行度 (mm)	断面A2での平行度 (mm)
P c'	L a	0.06	0.05	0.10	0.10
P a	L c'	0.04	0.05	0.09	0.08
P c	L a'	0.05	0.06	0.11	0.10
P a'	L c	0.07	0.09	0.10	0.09

[0088] 得られた 2 枚のマスクブランク用基板 10 について、各々表面の欠陥検査を行った。その結果、表面の欠陥個数は、試料 4 が 13 個、試料 5 が 16 個であり、実施例と比較して多くの発塵が見られた。

符号の説明

- [0089] 1 0 マスクブランク用基板
- 1 2 a 第 1 の主表面
- 1 2 b 第 2 の主表面
- 1 6 a 第 1 の側面
- 1 6 b 第 2 の側面
- 1 6 c 第 3 の側面
- 1 6 d 第 4 の側面
- 1 8 a 第 1 の面取り面
- 1 8 b 第 2 の面取り面
- 1 8 c 第 3 の面取り面
- 1 8 d 第 4 の面取り面
- 1 8 a' 第 5 の面取り面
- 1 8 b' 第 6 の面取り面
- 1 8 c' 第 7 の面取り面
- 1 8 d' 第 8 の面取り面
- 2 0 定盤
- 2 2 a ~ 2 2 d ロボットアーム
- 3 0 多層反射膜付き基板
- 4 0 反射型マスクブランク
- 5 0 反射型マスク
- 6 0 透過型マスクブランク
- 7 0 透過型マスク

請求の範囲

- [請求項1] 互いに対向する第1及び第2の主表面と、
前記第1及び第2の主表面の外周に沿って形成された4つの側面と、
、
前記第1の主表面と前記4つの側面との間に形成された第1～第4の面取り面と、
前記第2の主表面と前記4つの側面との間に形成された第5～第8の面取り面と、を備えたマスクブランク用基板であって、
前記第1及び第2の主表面、及び、互いに対向する2つの側面に対して略垂直な断面（A）において、
前記第7の面取り面を基準面としたときに、前記第7の面取り面の対角方向にある前記第1の面取り面の外形線の平行度が0.02mm以下であり、
前記第1の面取り面を基準面としたときに、前記第7の面取り面の外形線の平行度が0.02mm以下である、マスクブランク用基板。
- [請求項2] 前記断面（A）において、
前記第3の面取り面を基準面としたときに、前記第3の面取り面の対角方向にある第5の面取り面の外形線の平行度が0.02mm以下であり、
前記第5の面取り面を基準面としたときに、前記第3の面取り面の外形線の平行度が0.02mm以下である、請求項1に記載のマスクブランク用基板。
- [請求項3] 前記第1及び第2の主表面、及び、前記互いに対向する2つの側面とは異なる互いに対向する2つの側面に対して略垂直な断面（B）において、
前記第8の面取り面を基準面としたときに、前記第8の面取り面の対角方向にある第2の面取り面の外形線の平行度が0.02mm以下

下であり、

前記第2の面取り面を基準面としたときに、前記第8の面取り面の外形線の平行度が0.02mm以下である、請求項1又は請求項2に記載のマスクブランク用基板。

[請求項4] 前記断面(B)において、

前記第4の面取り面を基準面としたときに、前記第4の面取り面の対角方向にある第6の面取り面の外形線の平行度が0.02mm以下であり、

前記第6の面取り面を基準面としたときに、前記第4の面取り面の外形線の平行度が0.02mm以下である、請求項1乃至3のいずれか一項に記載のマスクブランク用基板。

[請求項5] 請求項1乃至4のいずれか一項に記載のマスクブランク用基板と、前記マスクブランク用基板の前記第1及び第2の主表面のうち一方の主表面上に形成されたEUV光を反射する多層反射膜と、前記多層反射膜上に形成された保護膜とを含む、多層反射膜付き基板。

[請求項6] 請求項5に記載の多層反射膜付き基板と、当該多層反射膜付き基板の保護膜上に形成された転写パターンとなる吸収体膜とを含む、反射型マスクブランク。

[請求項7] 請求項5に記載の多層反射膜付き基板と、当該多層反射膜付き基板の保護膜上に形成された吸収体膜パターンとを含む、反射型マスク。

[請求項8] 請求項1乃至4のいずれか一項に記載のマスクブランク用基板と、前記マスクブランク用基板の前記第1及び第2の主表面のうち一方の主表面上に形成された転写パターンとなる遮光性膜とを含む、透過型マスクブランク。

[請求項9] 請求項1乃至4のいずれか一項に記載のマスクブランク用基板と、前記マスクブランク用基板の前記第1及び第2の主表面のうち一方の主表面上に形成された遮光性膜パターンとを含む、透過型マスク。

[請求項10] 請求項7に記載の反射型マスクを用いて、露光装置を使用したリソ

グラフィープロセスを行い、被転写体上に転写パターンを形成する工程を含む、半導体装置の製造方法。

[請求項11] 請求項9に記載の透過型マスクを用いて、露光装置を使用したリソグラフィープロセスを行い、被転写体上に転写パターンを形成する工程を含む、半導体装置の製造方法。