

明 細 書

発明の名称： 反射型マスクブランク及び反射型マスク

技術分野

[0001] 本発明は、半導体製造等における極端紫外線（EUV；Extreme Ultraviolet）リソグラフィに用いられる反射型マスクブランク、並びに、これを用いた反射型マスクに関する。

背景技術

[0002] EUVリソグラフィに用いられる反射型マスクは、波長13.5nm程度の短波長のEUV光を反射する多層反射膜の上に、EUV光を吸収する吸収層によるマスクパターンが設けられている。反射型マスクは、吸収層が厚いと、斜め（通常、入射角6°）に入射するEUV光及びその反射光が遮られる、いわゆるシャドーイングによって、転写パターンの寸法誤差が生じやすくなる。

[0003] このようなシャドーイングによる寸法誤差の抑制のため、マスクの吸収層の膜厚はできるだけ小さくすることが検討されている。また、EUV光を吸収するとともに、多層反射膜からの反射光とは位相が異なる反射光となるように形成された吸収層により、転写パターンのエッジ部の解像度を向上させる、位相シフトマスクの技術開発も進められている。

[0004] ところで、透過型の位相シフトマスクは、マスクパターンの透過部に、該透過部とは屈折率や透過率が異なる物質又は形状を付与して、この部分の透過光の位相を変化させて、解像度を向上させるものである。位相を変化させた領域では、位相差を有する透過回折光同士が干渉し合い、光強度が低下する。これにより、転写パターンのコントラストが向上し、結果的に転写時の焦点深度が拡大するとともに転写精度が向上する。

透過型の位相シフトマスクの一種であるハーフトーン型マスクは、透過光の位相を変化させる部分に、露光光に対する半透過性の薄膜が形成されている。ハーフトーン型マスクは、透過率を数%程度（通常、基板透過光に対し

て2.5～15.0%程度)まで減衰させつつ、位相を変化させて、パターンエッジ部の解像度を向上させることにより、転写精度を向上させることができる。

なお、位相差は、原理上、 180° が最良であるが、実質的に $175^\circ \sim 185^\circ$ 程度であれば、解像度の向上効果が得られることが知られている。

[0005] EUVリソグラフィ用反射型マスクにおいても、位相シフト効果による解像度向上の原理は同じであり、透過型マスクにおける「透過率」を「反射率」に置き換えればよいと考えられていた。すなわち、吸収層におけるEUV光の反射率が2.5～15.0%であり、かつ、反射層からのEUV光の反射光と、吸収層からのEUV光の反射光との位相差(以下、単に「位相差」とも言う。)が $175^\circ \sim 185^\circ$ であることが望ましいと考えられていた。

このため、従来の反射型マスクにおける位相シフトマスクは、位相差が 180° 前後(ほぼ反転)となるように設計されることが一般的であった(例えば、特許文献1参照)。

[0006] 一方で、反射型マスクにおいては、光が垂直に透過する透過型マスクとは異なり、光が斜めに入射することから、近年、最適な位相差は $216^\circ (= 1.2\pi)$ であるとの報告もある。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特開2011-29334号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] このため、反射型マスクの吸収層は、構成材料の屈折率(以下、 n と表す場合もある。)及び消衰係数(以下、 k と表す場合もある。)に基づいて、位相差が 180° 又は 216° になるように、膜厚を設定するという設計がなされてきたが、吸収層の反射率や位相差、膜厚の最適値は、露光条件や転写パターン形状等によって異なり、一概に決めることは難しい。

[0009] 一方で、半導体素子等の微細化に伴い、パターンの微細化の要求はさらに高まっており、パターン形成工程は、より複雑化している。これに十分に適應できる吸収層の改良は、未だ十分とは言えない。例えば、微細加工におけるライン状のパターンの寸法は、通常、転写パターンのハーフピッチ（ライン幅とライン間隔の合計長さの $1/2$ ；以下、HPと略称する。）が代表値として用いられ、HPが16nm以下の場合には、EUVリソグラフィにおいて、上記のような位相シフトマスクを用いても、解像度を向上させることは困難であった。

特に、LSIのパターンは、集積密度の上昇に伴って複雑化が進み、直交するライン状のパターンが複雑に入り組んだ構造を有しており、マスクパターンもこのような複雑な構造に対応する必要がある。

[0010] EUVリソグラフィ用反射型マスクにおいては、HPが小さいほど、特に、露光光の入射面とライン幅とが平行な方向でシャドーイングの影響を受けやすい。このため、転写精度に優れたマスクパターンを形成するためには、予め、最適な反射率や位相差が得られる吸収層を備えた位相シフトマスクの開発が求められている。

[0011] 本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、微細なライン状パターンにおいて、寸法精度の高い転写パターンを形成できるEUVリソグラフィ用反射型マスク、及びこれに用いられる反射型マスクブランク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

[0012] 本発明は、EUVリソグラフィにおける微細なライン状パターンにおいて、吸収層による位相差が従来よりも大きい場合に、高い寸法精度での転写パターンの形成が可能となることを見出したことに基づく。

[0013] 本発明は、以下の手段を提供する。

[1] 基板上に、EUV光を反射する多層反射膜と、EUV光を吸収する吸収層とが、この順に前記基板側から積層されたEUVリソグラフィ用反射型マスクブランクであって、前記吸収層は、波長13.5nmのEUV光の

屈折率が0.930以下、かつ、消衰係数が0.025以上であり、波長13.5nmのEUV光の入射光に対する、前記多層反射膜の表面からの反射光と前記吸収層の表面からの反射光との位相差が、220°～280°である、反射型マスクブランク。

〔2〕前記位相差が、225°～280°である、〔1〕に記載の反射型マスクブランク。

〔3〕前記吸収層に、互いのライン方向が直交する第1のライン状パターン及び第2のライン状パターンを含むマスクパターンを形成する、〔1〕又は〔2〕に記載の反射型マスクブランク。

〔4〕前記第1のライン状パターン及び前記第2のライン状パターンにより形成される転写パターンのハーフピッチが16nm以下である、〔3〕に記載の反射型マスクブランク。

〔5〕前記吸収層は、イリジウム(Ir)、レニウム(Re)、オスミウム(Os)、ルテニウム(Ru)、白金(Pt)、パラジウム(Pd)、金(Au)及び銀(Ag)から選ばれる1種以上の金属元素を含む、〔1〕～〔4〕のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

〔6〕前記吸収層は、白金(Pt)、パラジウム(Pd)、金(Au)及び銀(Ag)から選ばれる1種以上の金属元素を含む、〔1〕～〔4〕のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

〔7〕前記吸収層は、波長13.5nmのEUV光の消衰係数が0.025～0.040である、〔1〕～〔6〕のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

〔8〕前記吸収層は、2層以上の膜が積層されてなる、〔1〕～〔7〕のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

〔9〕前記吸収層は、総厚さが60nm以下である、〔1〕～〔8〕のいずれかに記載の反射型マスクブランク。

〔10〕前記多層反射膜と前記吸収層との間に、前記多層反射膜を保護する保護膜が形成されている、〔1〕～〔9〕のいずれかに記載の反射型マス

クブランク。

[0014] [11] 基板上に、EUV光を反射する多層反射膜とEUV光を吸収する吸収層とが、この順に前記基板側から積層されたEUVリソグラフィ用反射型マスクであって、前記吸収層は、波長13.5nmのEUV光の屈折率が0.930以下、かつ、消衰係数が0.025以上であり、波長13.5nmのEUV光の入射光に対する、前記多層反射膜の表面からの反射光と前記吸収層の表面からの反射光との位相差が、 $220^{\circ} \sim 280^{\circ}$ であり、前記吸収層にマスクパターンが形成されている、反射型マスク。

[12] 前記位相差が、 $225^{\circ} \sim 280^{\circ}$ である、[11]に記載の反射型マスク。

[13] 前記マスクパターンが、互いのライン方向が直交する第1のライン状パターン及び第2のライン状パターンを含む、[11]又は[12]に記載の反射型マスク。

[14] 露光光の入射面がライン幅に垂直であるライン状パターンの規格化像ログスロープを N_v 、露光光の入射面がライン幅に平行であるライン状パターンの規格化像ログスロープを N_h と表したとき、下記式(1)～(3)のすべてを満たす、[13]に記載の反射型マスク。

$$N_v \geq 2.80 \quad (1)$$

$$N_h \geq 2.80 \quad (2)$$

$$|N_v - N_h| / \min\{N_v, N_h\} < 0.060 \quad (3)$$

[15] 前記反射型マスクの第1のライン状パターン及び第2のライン状パターンにより形成される転写パターンのハーフピッチが16nm以下である、[13]又は[14]に記載の反射型マスク。

[16] 前記吸収層は、イリジウム(Ir)、レニウム(Re)、オスミウム(Os)、ルテニウム(Ru)、白金(Pt)、パラジウム(Pd)、金(Au)及び銀(Ag)から選ばれる1種以上の金属元素を含む、[11]～[15]のいずれかに記載の反射型マスク。

[17] 前記吸収層は、白金(Pt)、パラジウム(Pd)、金(Au)

及び銀（A g）から選ばれる１種以上の金属元素を含む、〔１１〕～〔１５〕のいずれかに記載の反射型マスク。

〔１８〕前記吸収層は、波長１３．５ｎｍのＥＵＶ光の消衰係数が０．０２５～０．０４０である、〔１１〕～〔１７〕のいずれかに記載の反射型マスク。

発明の効果

[0015] 本発明によれば、微細なライン状パターンにおいて、寸法精度の高い転写パターンを形成できるＥＵＶリソグラフィ用反射型マスク、及びこれに用いられる反射型マスクブランクが提供される。

図面の簡単な説明

[0016] [図１]本発明の実施形態に係る反射型マスクブランクを模式的に示した概略断面図である。

[図２]ラインアンドスペースパターンの転写パターンの概略平面図であり、（ａ）は第１のライン状転写パターン、（ｂ）は第２のライン状転写パターンを示したものである。

[図３]本発明の実施形態に係る反射型マスクを模式的に示した概略断面図である。

[図４]転写パターンにおける光強度分布を説明するための概略図である。

[図５]ＥＵＶリソグラフィにおける転写パターンについてのシミュレーション計算結果（ $NA=0.33$ 、 $HP=20$ [nm]）であり、（ａ）は、 n 及び k に対する $\min\{N_v, N_H\}$ の分布を等高線で表した図であり、（ｂ）は、このときの d 、 n 及び k の値から計算した位相差を等高線で表した図である。

[図６]ＥＵＶリソグラフィにおける転写パターンについてのシミュレーション計算結果（ $NA=0.55$ 、 $HP=12$ [nm]）であり、（ａ）は、 n 及び k に対する $\min\{N_v, N_H\}$ の分布を等高線で表した図であり、（ｂ）は、このときの d 、 n 及び k の値から計算した位相差を等高線で表した図である。

[図7] E U V リソグラフィにおける転写パターンについてのシミュレーション計算結果 ($NA = 0.33$ 、 $HP = 16 \text{ [nm]}$ 、 $n = 0.90$) に基づいて、 k と $|N_v - N_h| / \min \{N_v, N_h\}$ との関係を表したグラフである。

発明を実施するための形態

[0017] まず、本明細書における表記の説明を述べる。

基板上、層上及び膜上（以下、膜等上と略称する。）とは、膜等の上面に接する場合のみならず、膜等の上面に接していない上方も含む意味である。例えば、「膜A上の膜B」とは、膜Aと膜Bとが接していてもよく、膜Aと膜Bとの間に他の膜等が介在していてもよい。また、ここで言う「上」とは、必ずしも鉛直方向における高い位置を意味する場合に限られず、相対的な位置関係を示すものである。

成膜した膜等の厚さは、透過型電子顕微鏡やX線反射率法により測定できる。

好ましい数値範囲は、好ましい下限値及び上限値のそれぞれを任意に組み合わせることができる。

[0018] [反射型マスクブランク]

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。

図1に、本実施形態の反射型マスクブランクの断面を模式的に示す。図1に示す反射型マスクブランク10は、基板1上に、E U V光を反射する多層反射膜2と、E U V光を吸収する吸収層3とが、この順に基板1側から積層されている。

多層反射膜2と吸収層3との間には、マスクパターンを形成する際のドライエッチングから多層反射膜2を保護する保護膜4（キャップ層とも呼ばれる。）が形成されていてもよい。さらに、マスク加工後のパターン欠陥検査を容易にするための反射防止膜（図示せず）が、吸収層3上に形成され得る。

[0019] （基板）

基板1は、EUV露光時の熱による転写パターンの歪み防止の観点から、20℃における熱膨張係数が低いことが好ましく、好ましくは $0 \pm 0.05 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 、より好ましくは $0 \pm 0.03 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ である。また、基板1は、平滑性に優れ、平坦度が高く、かつ、反射型マスクの製造プロセスで使用される洗浄液への耐性（耐薬品性）に優れていることが好ましい。

基板1の材料としては、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が挙げられ、また、 β -石英固溶体が析出した結晶化ガラス、石英ガラス、シリコン、金属等も使用できる。

[0020] 基板1は、パターン転写を高反射率かつ高精度で行えるようにする観点から、平滑であることが好ましく、表面粗さ（RMS）が、好ましくは0.15nm以下、より好ましくは0.10nm以下である。同様の観点から、平坦度（TIR; Total Indicated Reading）は、好ましくは100nm以下、より好ましくは50nm以下、さらに好ましくは30nm以下である。

[0021] 基板1は、その上に積層される膜等の応力による変形を防止する観点から、高い剛性を有していることが好ましい。具体的には、ヤング率が65GPa以上であることが好ましい。

[0022] （多層反射膜）

多層反射膜2は、EUV光の反射率を高くする観点から、屈折率が異なる元素を主成分とする複数の層を周期的に積層させた構成であることが好ましい。一般に、多層反射膜2は、高屈折率層1層と低屈折率層1層との組を1周期とし、40～60周期程度積層された構造を有する。

高屈折率層／低屈折率層としては、Mo／Si多層反射膜が一般的であるが、これに限定されるものではなく、例えば、Ru／Si多層反射膜、Mo／Be多層反射膜、Mo化合物／Si化合物多層反射膜、Si／Mo／Ru多層反射膜、Si／Mo／Ru／Mo多層反射膜、MoRu／Si多層反射膜、Si／Ru／Mo多層反射膜、Si／Ru／Mo／Ru多層反射膜等も挙げられる。

[0023] 多層反射膜 2 は、波長 13.5 nm 付近の E U V 光の入射角 6° の入射光の反射率が、好ましくは 60% 以上、より好ましくは 65% 以上である。

多層反射膜 2 を構成する各膜の厚さ及び積層の繰り返し周期は、膜材料及び E U V 光の所望の反射率等に応じて適宜設定される。

[0024] 多層反射膜 2 は、例えば、マグネトロンスパッタ法、イオンビームスパッタ法等の公知の成膜方法を用いて、構成する各膜を所望の厚さで成膜することにより形成できる。

例えば、イオンビームスパッタ法で、Mo/Si 多層反射膜を形成する場合、アルゴン (Ar) ガス (ガス圧 $1.3 \times 10^{-2} \sim 2.7 \times 10^{-2}$ Pa) をスパッタガスとして、イオン加速電圧 300 ~ 1500 V、成膜速度 0.030 ~ 0.300 nm/sec で、まず、Si ターゲットを用いて、厚さ 4.5 nm になるように Si 膜を成膜し、次に、Mo ターゲットを用いて、厚さ 2.3 nm になるように Mo 膜を成膜する。これを 1 周期として、Mo 膜/Si 膜を 30 ~ 60 周期繰り返し積層させることにより、Mo/Si 多層反射膜を形成できる。

[0025] (保護膜)

多層反射膜 2 と吸収層 3 との間には、マスクパターンを形成する際のドライエッチングから多層反射膜 2 を保護する保護膜 4 が形成されていてもよい。保護膜 4 は、E U V 露光時に多層反射膜 2 が酸化して、E U V 光の反射率が低下することを防止する役割も有する。

[0026] 前記ドライエッチングにおけるエッチングガスによる吸収層 3 と保護膜 4 の膜厚方向のエッチング速度比 (吸収層 3 のエッチング速度/保護膜 4 のエッチング速度) が大きいほど、吸収層 3 の加工性に優れ、好ましくは 10 ~ 200、より好ましくは 30 ~ 100 である。

なお、エッチングガスとしては、通常、ハロゲン系ガス、酸素系ガス、又はこれらの混合ガスが用いられる。ハロゲン系ガスとしては、例えば、 Cl_2 、 SiCl_4 、 CHCl_3 、 CCl_4 及び BCl_3 から選ばれる 1 種以上を含む塩素系ガス； CF_4 、 CHF_3 、 SF_6 、 BF_3 及び XeF_2 から選ばれる 1 種以

上を含むフッ素系ガスが挙げられる。

[0027] 保護膜4は、例えば、Ru、Rh及びSiから選ばれる1種以上の元素を含むことが好ましい。保護膜4が、Rhを含む場合、Rhのみからなる膜でもよいが、Ru、Nb、Mo、Ta、Ir、Pd、Zr、Y及びTiから選ばれる1種以上の元素を含むことも好ましい。これらの元素のうち、エッチングガス、及び反射型マスクの洗浄等に用いられる硫酸過水に対する耐性を向上させる観点から、Ru、Ta、Ir、Pd及びYから選ばれる1種以上が好ましい。また、保護膜4の平滑性を向上させる観点から、N、O、C及びBから選ばれる1つ以上の元素を含んでもよい。

[0028] 保護膜4は、単層であってもよく、複数層からなる多層膜であってもよい。保護膜4が多層膜である場合、保護膜4の下層が、多層反射膜2の最上面に接触し、保護膜4の上層が、吸収層3の最下面に接触するように形成され得る。このように、保護膜4を複層構成とすることで、層毎に所定の機能に優れた材料を使用し、保護膜4全体の多機能化を図ることができる。例えば、保護膜4は、全体としてRh含有量が50at%以上である場合、Rhを含有しない層を有していてもよい。保護膜4が多層膜である場合、保護膜4の膜厚とは、多層膜の合計膜厚を意味する。

[0029] 保護膜4の膜厚は、多層反射膜2の反射性能を妨げることなく、上述した役割を十分に発揮できる範囲内であればよく、好ましくは1.0～10.0nm、より好ましくは2.0～3.5nmである。

同様の観点から、保護膜4は、二乗平均粗さ(RMS)が、好ましくは0.3nm以下、より好ましくは0.1nm以下であり、平滑であることが好ましい。

[0030] 保護膜4は、例えば、DCスパッタリング法、マグネトロンスパッタ法、イオンビームスパッタ法等の公知の成膜方法を用いて、所望の厚さで成膜することにより形成できる。

[0031] さらに、ドライエッチングや欠陥修正時に多層反射膜2を保護するための、バッファ層（図示せず）が、保護膜4と吸収層3との間に形成されてい

てもよい。バッファ層の構成材料は、特に限定されるものではないが、例えば、 SiO_2 、 Cr 、 Ta 等を主成分とした材料等が挙げられる。

[0032] (吸収層)

吸収層3は、波長13.5nmのEUV光の屈折率が0.930以下、かつ、消衰係数が0.025以上であり、波長13.5nmのEUV光の入射光に対する、多層反射膜2の表面からの反射光と吸収層3の表面からの反射光との位相差が、 $220^\circ \sim 280^\circ$ となるように形成される。

本実施形態の反射型マスクブランクは、吸収層3が、このような特性を有していることにより、微細なライン状パターンを高い寸法精度で転写できるEUVリソグラフィ用反射型マスクに好適である。

[0033] 吸収層3の波長13.5nmのEUV光の屈折率は、0.930以下であり、好ましくは0.925以下、より好ましくは0.920以下である。屈折率は、好ましくは0.850以上である。

屈折率が上記範囲内であることにより、位相差を大きくしやすく、微細なライン状パターンを高い寸法精度で転写できる位相シフトマスクが得られる。

[0034] 吸収層3の波長13.5nmのEUV光の消衰係数は、0.025以上であり、好ましくは0.028～0.065、より好ましくは0.030～0.050である。

消衰係数が上記範囲内であることにより、微細なライン状パターンを高い寸法精度で転写できる位相シフトマスクが得られる。

[0035] 位相シフトマスクとしての効果を十分に発揮させるためには、波長13.5nmのEUV光の入射光に対する、多層反射膜2の表面からの反射光と吸収層3の表面からの反射光との位相差が、 $220^\circ \sim 280^\circ$ であり、好ましくは $225^\circ \sim 280^\circ$ である。

上記範囲内の位相差であることにより、微細なライン状パターンを高い寸法精度で転写できる位相シフトマスクが得られる。

なお、本発明において、位相シフトマスクにおける多層反射膜2からの反

射光とは、吸収層 3 を透過することなく、マスクパターンの開口部を通過し、（保護膜 4 及び）多層反射膜 2 に直接入射した波長 13.5 nm の EUV 光が、多層反射膜 2 で反射され、再び吸収層 3 を透過することなく、マスクパターンの開口部を通過した反射光を意味する。また、吸収層 3 の表面からの反射光とは、波長 13.5 nm の EUV 光の入射光が、吸収層 3 で吸収されながら吸収層 3（及び保護膜 4）を透過し、多層反射膜 2 で反射され、再び吸収層 3 で吸収されながら吸収層 3 を透過した反射光を意味する。

[0036] EUV リソグラフィ用反射型マスクの吸収層は、上述したように、シャドウイングの抑制の観点から、薄いことが望ましく、構成材料及び構造も種々検討されており、また、位相差は 180° 又は 216° が最良であると考えられていた。位相差は、本発明においては、光学多層膜シミュレーションで計算した値を用いるが、概略的には、下記式（4）により表すことができる。

$$[0037] \quad \theta = 4\pi \{d/\lambda - d/(\lambda/n)\} \quad (4)$$

式（4）中、 θ は位相差、 d は吸収層 3 の膜厚、 λ は入射光の波長、 n は吸収層 3 の屈折率である。

本発明では、 $\lambda = 13.5$ [nm]、 $n < 1$ であることから、吸収層 3 は、膜厚が薄く、屈折率が大きいほど、位相差は小さくなる。

[0038] 反射型マスクブランク 10 の吸収層 3 に形成される微細なライン状パターンの好適な態様は、例えば、互いのライン方向が直交する第 1 のライン状パターン及び第 2 のライン状パターンを含むマスクパターンが挙げられる。反射型マスクブランク 10 の吸収層 3 に形成されるマスクパターンは、第 1 のライン状パターンにより、図 2（a）に示すような第 1 のライン状転写パターン L1 が被転写面 T に形成され、また、第 2 のライン状パターンにより、図 2（b）に示すような第 2 のライン状転写パターン L2 が被転写面 T に形成されるようなパターン転写を行うため、すなわち、ラインアンドスペースパターン（LS パターン）を形成するためのものであることが好ましい。

図 2（a）及び（b）に示す被転写面 T 上の第 1 のライン状転写パターン

L 1 及び第 2 のライン状転写パターン L 2 は、いずれも、ラインの幅と間隔とがいずれも等しいが、幅及び間隔のそれぞれ、また、幅と間隔とが異なってもよい。また、ライン同士が交差する部分を含んでいてもよい。

[0039] 反射型マスクブランク 10 は、第 1 のライン状パターン及び第 2 のライン状パターンにより形成される転写パターンが、例えば、HP が 18 nm 以下の微細なライン状パターンを含むものである場合に好適であり、より好ましくは HP が 16 nm 以下である。

上記範囲内の HP である場合に、寸法精度が高い位相シフトマスクとしてのより優れた効果が得られる。

EUV リソグラフィは縮小投影露光であり、マスクパターンに対する転写パターンの縮小率は、通常、4 倍であるため、例えば、転写パターンが、HP が 16 nm のライン幅とライン間隔が等しい LS パターンである場合、マスクパターンは、HP が 64 nm の LS パターンとなる。

なお、ライン幅とライン間隔が異なる LS パターンの場合は、解像限界におけるライン幅の限界寸法 (CD ; Critical Dimension) を、HP に相当するものとみなすことができる。

[0040] 吸収層 3 を構成する材料は、上記のような位相シフトマスクを形成し得るものであれば、特に限定されるものではないが、Ir、Re、Os、Ru、Pt、Pd、Au 及び Ag から選ばれる 1 種以上の金属元素を含むことが好ましい。金属元素は、1 種単独でも、2 種以上であってもよい。また、前記材料は、金属元素の単体でも、合金でもよく、また、例えば、酸素 (O)、窒素 (N)、炭素 (C)、ホウ素 (B)、水素 (H) 等を含む化合物でもよい。

[0041] 2 種の金属元素からなる材料としては、例えば、PdCr、IrMo、OsRu、RuPt、RuIr、OsRe 等の合金が挙げられる。2 種以上の金属元素を含む場合の各金属の組成比は、吸収層 3 の屈折率及び消衰係数が、上記数値範囲を満たす限り、特に限定されるものではない。

[0042] 例えば、吸収層 3 の構成材料が PdCr 合金の場合、Pd 含有量 [at %

］に対するCr含有量[at%]の比(Cr/Pd)は、吸収層3の結晶化を抑制しつつ、所望の光学特性を得る観点から、好ましくは0.01~20、より好ましくは0.1~10、さらに好ましくは0.2~4である。合金には、結晶性を制御する目的で、B、N、O、C等が含まれていてもよい。

[0043] 例えば、吸収層3の構成材料がIrMo合金の場合、Ir含有量[at%]に対するMo含有量[at%]の比(Mo/Ir)は、吸収層3の結晶化を抑制しつつ、所望の光学特性を得る観点から、好ましくは0.01~4、より好ましくは0.05~2、さらに好ましくは0.1~1である。合金には、結晶性を制御する目的で、B、N、O、C等が含まれていてもよい。

[0044] 例えば、吸収層3を構成材料がOsRu合金の場合、Os含有量[at%]に対するRu含有量[at%]の比(Ru/Os)は、吸収層3の結晶化を抑制しつつ、所望の光学特性を得る観点から、好ましくは0.01~4、より好ましくは0.05~2、さらに好ましくは0.1~1である。合金には、結晶性を制御する目的で、B、N、O、C等が含まれていてもよい。

[0045] 例えば、吸収層3を構成材料がRuPt合金の場合、Ru含有量[at%]に対するPt含有量[at%]の比(Pt/Ru)は、吸収層3の結晶化を抑制しつつ、所望の光学特性を得る観点から、好ましくは0.01~20、より好ましくは0.1~10、さらに好ましくは0.2~5である。合金には、結晶性を制御する目的で、B、N、O、C等が含まれていてもよい。

[0046] 例えば、吸収層3を構成材料がRuIr合金の場合、Ru含有量[at%]に対するIr含有量[at%]の比(Ir/Ru)は、吸収層3の結晶化を抑制しつつ、所望の光学特性を得る観点から、好ましくは0.01~20、より好ましくは0.2~10、さらに好ましくは0.4~4である。合金には、結晶性を制御する目的で、B、N、O、C等が含まれていてもよい。

[0047] 例えば、吸収層3を構成材料がOsRe合金の場合、Os含有量[at%]に対するRe含有量[at%]の比(Re/Os)は、吸収層3の結晶化を抑制しつつ、所望の光学特性を得る観点から、好ましくは0.01~20、より好ましくは0.05~10、さらに好ましくは0.1~5である。合

金には、結晶性を制御する目的で、B、N、O、C等が含まれていてもよい。

[0048] また、吸収層3は、2層以上の膜が積層されてなる複層構成であってもよい。複層構成であれば、各層を異なる材料による所定の機能層として、吸収層3全体を設計できる点で好ましい。機能層としては、例えば、パターンニングの際に反射層が受けるダメージを防止する目的で反射層と吸収層との間に必要に応じて成膜するバッファ層、マスクパターンの検査時のコントラストを向上させる目的で吸収層3の最上層に必要に応じて形成される低反射層（マスクパターンの検査光の波長域における低反射層）、EUV波長での反射率を制御する目的で形成される低反射層、EUV波長での位相を制御する目的で成膜される位相制御層等が挙げられる。

[0049] 複層構成における層の組み合わせとしては、例えば、Pt/Ru、Ir/Ru、Pt/Ta、Pt/Ta₂O₅、Ir/Cr、Ir/Ta₂O₅等が挙げられる。これらのPt、Ru、Ir、Ta、Ta₂O₅、Cr等の層の構成材料は、光学特性、結晶性、エッチング性、耐久性等の要求特性に応じて、合金、窒素物、酸窒化物、ホウ化物等であってもよい。積層順序は、いずれでもよく、例えば、上記の2層構成の場合、好ましくは1層目/2層目の順である。

複層構成の場合の屈折率及び消衰係数は、各層の屈折率及び消衰係数の各厚さを加味した加重平均値として求められる。

[0050] 吸収層3は、例えば、マグネトロンスパッタ法、イオンビームスパッタ法等の公知の成膜方法を用いて、構成する各膜を所望の厚さで成膜することにより形成できる。

[0051] 上記のような吸収層であれば、吸収層3の総厚さが60nm以下で、シャドーイングを抑制しつつ、微細なライン状パターンを高い寸法精度で転写できる位相シフトマスクとしての効果を発揮できる。吸収層3の総厚さは、吸収層3の成膜及びマスクパターン形成時のエッチングの効率の観点からも、薄いことが好ましく、好ましくは60nm以下、より好ましくは58nm以

下、さらに好ましくは45 nm以下である。また、吸収層3の総厚さは、EUV光の吸収効果の観点から、好ましくは20 nm以上である。

[0052] (反射防止膜)

吸収層3上には、検査工程で波長190～260 nmのDUV光（深紫外光）を使用する場合、反射を防止する反射防止膜（図示せず）が積層されていてもよい。

反射型マスクは、吸収層3に形成されたマスクパターンの欠陥を調べるマスク検査が行われることがある。このマスク検査は、主に検査光の反射光の光学データに基づいて、欠陥の有無等が判断されることから、マスクを透過する光は検査光として使用できず、DUV光が用いられる。正確な検査の観点から、吸収層3上には、検査光であるDUV光の反射を防止する反射防止膜を設けておくことが好ましい。

[0053] 反射防止膜は、上述した役割を果たすため、吸収層3よりもDUV光の屈折率が低い材料で形成されることが好ましい。反射防止膜の構成材料としては、例えば、Taを主成分とし、Ta以外に、Hf、Ge、Si、B、N、H及びOから選ばれる1種以上の成分を含む材料が挙げられる。具体例として、TaO、TaON、TaONH、TaHfO、TaHfON、TaBSiO、TaBSiON等が挙げられる。

[0054] 反射防止膜は、例えば、マグネトロンスパッタ法、イオンビームスパッタ法等の公知の成膜方法を用いて、所望の厚さで成膜することにより形成できる。

[0055] (その他の構成)

本実施形態の反射型マスクブランクは、上述した各膜及び層以外に、反射型マスクブランクにおいて公知の機能膜を設けてもよい。

例えば、反射型マスクブランク10を静電チャックの載置部等に吸着固定させるために、基板1の多層反射膜2とは反対側の面（裏面）に、裏面導電膜が形成されていてもよい。

裏面導電膜は、シート抵抗が100 Ω/□以下であることが好ましく、公

知の構成を適用することができる。裏面導電膜の構成材料としては、例えば、Si、TiN、Mo、Cr、TaSi等が挙げられる。裏面導電膜の厚さは、例えば、10～1000nmとすることができる。

裏面導電膜は、例えば、マグネトロンスパッタ法、イオンビームスパッタ法、化学気相成長法（CVD法）、真空蒸着法、電気メッキ法等の公知の成膜方法を用いて、所望の厚さで成膜することにより形成できる。

[0056] 本発明の反射型マスクブランクは、EUV光の反射率が、好ましくは0.1～20%、より好ましくは0.5～15%、さらに好ましくは1.0～10%、よりさらに好ましくは1.5～8.0%である。

[0057] [反射型マスク]

図3に、本実施形態の反射型マスクの断面を模式的に示す。図3に示す反射型マスク20は、基板1上に、EUV光を反射する多層反射膜2と、EUV光を吸収する吸収層3とが、この順に基板1側から積層されたEUVリソグラフィ用反射型マスクであって、吸収層3は、波長13.5nmのEUV光の屈折率が0.95以下、かつ、消衰係数が0.025以上であり、波長13.5nmのEUV光の入射光に対する、多層反射膜2の表面からの反射光と吸収層3の表面からの反射光との位相差が、220～280°、好ましくは225～280°であり、吸収層3にマスクパターンMが形成されているものである。

すなわち、本発明の反射型マスクは、本実施形態の反射型マスクブランク10の吸収層3にマスクパターンMが形成されているものである。したがって、反射型マスク20の各構成層の説明は、上記の反射型マスクブランク10についての説明と同様であるため、省略する。

[0058] マスクパターンMは、より複雑なパターンに対応するものとして、上記の反射型マスクブランク10の説明で述べたように、互いのライン方向が直交する第1のライン状パターン及び第2のライン状パターンを含むように構成され得る。すなわち、図2(a)及び(b)に示すような第1のライン状転写パターンL1及び第2のライン状転写パターンL2を含むLSパターン転

写を行うためのものであることが好ましい。

[0059] 反射型マスク20は、第1のライン状転写パターンL1及び第2のライン状転写パターンL2を含むLSパターンが、上記の反射型マスクブランク10の説明で述べたように、微細なライン状パターンを含む場合に好適であり、例えば、HPが、好ましくは18nm以下、より好ましくは16nm以下である。

上記範囲内のHPのライン状パターンを含む場合に、転写精度が高い位相シフトマスクとしてのより優れた効果が得られる。

[0060] 本発明において、反射型マスク20による転写精度が優れていることは、規格化像ログスロープ(NILS: Normalized Image Log Slope)により推定できる。NILSとは、転写パターンにおける光強度の明部と暗部のコントラストを示す特性値である。NILSの値が高いほど、転写パターンのコントラストが高く、転写精度が良好であると言える。NILSは、下記式(5)により求められる。

[0061] [数1]

$$NILS = CD \times \frac{\partial \ln I(x)}{\partial x} \quad (5)$$

[0062] 式(5)中、 $I(x)$ は転写パターンにおける光強度分布(最大強度で規格化した強度、無次元量)、 x は転写パターンのライン幅方向におけるピークの位置からの距離(単位: nm)、CDは転写パターンの解像限界でのライン幅の限界寸法(Critical Dimension)を表す。

[0063] 図4に、光強度分布 $I(x)$ の概略を示す。NILSは、図4に示すように、 $I(x)$ のピーク部における幅($x_2 - x_1$)がCDに等しくなるときの $\ln I(x)$ ($I(x)$ の自然対数)の傾きと、CDの積として求められる。

[0064] $I(x)$ は、公知の光学結像理論(例えば、松本宏一著、“リソグラフィー光学”、「光学」、日本光学会、2001年3月、第30巻、第3号、p. 40-47参照)に基づくリソグラフィシミュレーションで求められる。

シミュレーションには、市販のソフトウェア（例えば、リソグラフィシミュレータ「PROLITH」、KLA-Tencor社製；「Sentaurus Lithography」、Synopsis社製等）を用いることもできる。

[0065] 本発明では、EUV露光装置のレンズの開口数NAを、0.33、又は、パターンのさらなる微細化に向けた次世代型を考慮して0.55と仮定して、シミュレーションを行った。

NA=0.33の場合、マスクパターンの縮小倍率は、縦横とも4倍であり、反射型マスク20の吸収層3に形成される第1のライン状パターン及び第2のライン状パターンはいずれも、CDの4倍、すなわち、転写パターンのLSパターンのHPの4倍と仮定した。

NA=0.55の場合、マスクパターンの縮小倍率は縦（スキャン方向）8倍、横4倍であり、第1のライン状転写パターンL1に対応する第1のライン状パターンは、CDの8倍、すなわち、第1のライン状転写パターンのHPの8倍と仮定し、第2のライン状転写パターンL2に対応する第2のライン状パターンは、CDの4倍、すなわち、第2のライン状転写パターンのHPの4倍と仮定した。

[0066] 仮定した各HPの設定値において、屈折率nを0.88～0.96、消衰係数kを0.015～0.065、吸収層の膜厚dを20～80nmの範囲内で変化させて繰り返し計算を行い、所定のn及びkにおいて、NILSが最大となるd（最適値）を求めた。また、このときのd、n及びkの値から、位相差の最適値を求めた。

[0067] シミュレーションにおけるEUV露光装置についての設定条件を以下に示す。

<NA=0.33の場合>

EUV露光光： $\lambda = 13.5$ [nm]、入射角 6°

マスクパターンの縮小倍率：縦横とも4倍

HP (=CD) = 13～20 [nm]

照明系：二重極照明；各HPにおけるコヒーレンスファクター σ_{out} 及び σ_{in} の最適値を表1に示す。

[0068] <NA=0.55の場合>

EUV露光光： $\lambda=13.5$ [nm]、入射角 5.355°

マスクパターンの縮小倍率：縦8倍、横4倍

HP (=CD) = 8~14 [nm]

照明系：二重極照明；各HPにおけるコヒーレンスファクター σ_{out} 及び σ_{in} の最適値を表1に示す。

[0069] [表1]

表1

NA	HP [nm]	σ_{out}	σ_{in}
0.33	20	0.5	0.3
	18	0.6	0.4
	16	0.7	0.5
	15	0.8	0.6
	14	0.9	0.7
	13	0.9	0.7
0.55	14	0.5	0.3
	13	0.6	0.4
	12	0.7	0.5
	10	0.7	0.5
	9	0.8	0.6
	8	0.9	0.7

[0070] 図2に示すように、第1のライン状転写パターンL1及びこれに対応するマスクパターンの第1のライン状パターンは、ライン幅と露光光Iの入射面とが垂直である。一方、第2のライン状転写パターンL2及びこれに対応するマスクパターンの第2のライン状パターンは、ライン幅と露光光Iの入射面とが平行である。

[0071] 反射型マスク20は、第1のライン状転写パターンL1のNILSを N_v 、第2のライン状転写パターンL2のNILSを N_H と表したとき、下記式(1

) ~ (3) のすべてを満たすことが好ましい。

$$N_V \geq 2.80 \quad (1)$$

$$N_H \geq 2.80 \quad (2)$$

$$|N_V - N_H| / \min \{N_V, N_H\} < 0.060 \quad (3)$$

[0072] N_V 及び N_H は、高いほど好ましく、転写パターン良好的なコントラストの観点から、いずれも、好ましくは 2.80 以上であり、より好ましくは 2.85 以上である。

[0073] 図 5 に、 $NA = 0.33$ 、 $HP = 20$ [nm] の場合の計算結果のグラフを示す。図 5 (a) は、 N_V 又は N_H の低い方の値、すなわち、 $\min \{N_V, N_H\}$ を等高線で表した分布図である。 N_V 及び N_H のいずれもが、等高線で表される NILS の値以上であることを意味している。所定の n 及び k において、NILS が最大となる d (最適値) が求められる。図 5 (b) は、このときの d 、 n 及び k の値から計算した位相差を等高線で表したものである。

$HP = 20$ [nm] の場合は、図 5 (a) から、 n が低く、かつ、 k が高いほど NILS が高いが、図 5 (b) から、このときの好ましい位相差は、公知のとおり、 $180 \sim 216^\circ$ 程度の範囲内であると言える。

[0074] 図 6 に、 $NA = 0.55$ 、 $HP = 12$ [nm] の場合の計算結果のグラフを示す。図 6 (a) も、図 5 (a) と同様に、 $\min \{N_V, N_H\}$ を等高線で表したものであり、図 6 (b) は、このときの d 、 n 及び k の値から計算した位相差を等高線で表したものである。

$HP = 12$ [nm] の場合は、図 6 (a) から、 $n \leq 0.930$ 、かつ、 $k \geq 0.025$ の範囲で、 $NILS \geq 2.80$ 以上となり、また、図 6 (b) から、このときの位相差は、 $220 \sim 280^\circ$ の範囲内であることが確認された。

[0075] HP の値が小さい場合に、NILS が最大値となる位相差が大きくなる理由としては、以下のように考えられる。

LS パターンの反射型マスクでは、マスクパターンのスペースとライン (凹凸) の境界部で、光の電界が連続的に変化する。 HP の値が小さくなると

、マスクパターンの凹凸の連続周期が短くなり、これに伴い、マスクパターンの凹凸の境界部での光の電界は、HPの値が大きい場合に比べて、周期が短くなる。すなわち、HPの値が、EUV露光光の波長（13.5 nm）と同等程度又はより小さい場合は、マスクパターンにおける電界の歪みが大きくなり、結果的に、マスクパターンのスペースとラインとでの実際の位相差は、狙いよりも小さくなる現象が生じると考えられる。このため、HPの値が小さい場合には、予め吸収層3の厚さの調整等により、より大きな位相差を生じるように作製されたマスクブランクを用いることにより、位相シフトマスクの効果を実現できる。

[0076] NILSは、ライン状転写パターンの方向によって差があると、マスクパターンのライン方向ごとに、HPを調整して設計する必要が生じる。このため、マスクパターンの設計容易性の観点から、ライン方向を問わず、NILSの値は差が小さいことが好ましい。すなわち、 N_V と N_H との差が小さいほど、ライン状パターンの方向にかかわらず、転写パターンを高い寸法精度で形成できると言える。このような観点から、式（3）に示すように、 $|N_V - N_H| / \min\{N_V, N_H\}$ で表される差の割合は、好ましくは0.060未満、より好ましくは0.055以下、さらに好ましくは0.050以下である。

[0077] 図7に、 $NA=0.33$ 、 $HP=16$ [nm]、 $n=0.90$ の場合における計算結果に基づく、 k と $|N_V - N_H| / \min\{N_V, N_H\}$ との関係のグラフを示す。図7から、 k の値が高くなるにつれて、 $|N_V - N_H| / \min\{N_V, N_H\}$ の値が小さくなることが確認できる。この結果から、 $|N_V - N_H| / \min\{N_V, N_H\}$ の値を小さくするためには、 k が、好ましくは0.025以上、より好ましくは0.028以上、さらに好ましくは0.030以上であることが分かる。これは、 N_V 及び N_H のうち、 N_V に対する k の値の影響は小さいのに対して、 N_H は、 k が高くなるにつれて高くなり、 N_V と N_H との差が小さくなることとに起因している。

また、 k の値が低くなると、 N_H が低くなる要因として、以下の点も挙げら

れる。 N_H は、露光光 I の入射面がライン幅方向と平行であるとき（図2（b）参照）のNILSであり、マスクパターンへ入射する露光光 I の一部は、マスクパターンのスペース（凹部）の側壁に対して照射される。また、多層反射膜2からの反射光の一部も、マスクパターンの凹部の側壁に吸収される。このため、 N_H は、マスクパターンの凹凸構造によるシャドーイングの影響を受けて低下し、第2のライン状の転写パターン L_2 の方が、第1のライン状の転写パターン L_1 よりも、寸法精度が劣る傾向がある。

したがって、 k の値が高ければ、吸収層3における光吸収が大きくなり、シャドーイングによる散乱光の発生等の影響を抑制できる。

$NA=0.55$ の場合でも、同様な結果が得られる。

[0078] 本実施形態の反射型マスクブランク10の吸収層3を、具体的に、各種材料で構成した場合について、EUVリソグラフィによる転写パターン（LSパターン）が所定のHPのときの、位相差 θ 、NILS、及び吸収層3の総厚さ d （最適値）の光学シミュレーション結果を、表3及び4に示す。表2は、 $NA=0.33$ の場合、表3は、 $NA=0.55$ の場合を示す。

なお、表3及び4に示す吸収層3において、各金属元素の光学定数（ n 、 k ）は、表2に示す値を用い、各合金の組成は、 $Pd_{0.79}Cr_{0.21}$ 、 $Ir_{0.25}Mo_{0.75}$ 、 $Os_{0.14}Ru_{0.86}$ 、 $Ru_{0.5}Pt_{0.5}$ 、 $Ru_{0.3}Ta_{0.7}$ 、 $Ru_{0.55}Ir_{0.45}$ 、 $Os_{0.6}Re_{0.4}$ とした。合金の光学定数は、厳密には、密度や製膜条件の影響も受けるため、代表値を用いた。また、表3の Ir/Ta_2O_5 （10nm）とは、吸収膜3が、基板1側から1層目が Ir 膜、2層目が Ta_2O_5 膜（厚さ10nm）の2層構造で形成されていることを意味する。

[0079]

[表2]

表2

金属元素	屈折率 n	消衰係数 k
Pd	0.876	0.046
Cr	0.932	0.039
Ir	0.905	0.044
Mo	0.924	0.006
Os	0.904	0.043
Ru	0.886	0.017
Pt	0.891	0.060
Ta	0.957	0.034
Re	0.915	0.040

[0080]

[表3]

表3

NA=0.33

HP [nm]	吸収層				位相差 [°]	NILS		
	材料	n	k	d (最適値) [nm]		N _V	N _H	N _V -N _H / min{N _V ,N _H }
14	PdCr	0.920	0.040	53	246	2.89	2.97	0.027
15				53	246	2.93	3.02	0.028
16				47	225	2.98	3.03	0.015
18				46	216	3.04	3.10	0.018
14	Ir	0.905	0.044	46	248	2.91	3.00	0.033
15				40	230	2.95	3.02	0.021
16				40	230	2.99	3.06	0.023
18				39	216	3.05	3.10	0.015
14	IrMo	0.910	0.035	47	247	2.88	2.98	0.035
15				48	251	2.91	2.94	0.011
16				49	237	2.95	2.96	0.001
18				45	218	3.12	2.99	0.043
14	OsRu	0.900	0.040	40	237	2.91	3.00	0.031
15				40	237	2.94	3.05	0.039
16				40	237	2.97	3.08	0.034
18				39	223	3.12	3.03	0.031
14	RuPt	0.890	0.030	42	261	2.88	2.91	0.010
15				42	261	2.90	2.97	0.022
16				42	261	2.94	2.98	0.015
18				34	215	3.12	3.12	0.000
14	Ir/ Ta ₂ O ₅ (10nm)	0.914	0.041	54	255	2.90	2.91	0.004
15		0.915	0.041	49	229	2.95	2.95	0.001
16		0.915	0.041	50	229	2.98	3.01	0.007
18		0.916	0.041	47	220	3.05	3.07	0.009
15	TaBN	0.951	0.031	60	169	2.78	2.83	0.019
15	RuTa	0.907	0.022	49	251	2.84	3.01	0.060

[0081]

[表4]

表4

NA=0.55

HP [nm]	吸収層				位相差 [°]	NILS		
	材料	n	k	d (最適値) [nm]		N _V	N _H	N _V -N _H / min{N _V ,N _H }
9	Pt	0.891	0.060	33	230	2.94	2.97	0.011
10				40	273	3.00	3.01	0.003
12				46	273	2.99	2.99	0
13				46	273	2.99	2.99	0.001
9	Ir	0.905	0.044	47	268	2.92	2.95	0.010
10				47	268	3.03	2.97	0.019
12				47	268	3.01	2.94	0.024
13				46	248	3.08	2.94	0.047
9	RuIr	0.900	0.030	48	278	2.90	2.92	0.007
10				48	278	3.02	2.91	0.040
12				47	267	2.99	2.89	0.035
13				46	252	2.99	2.95	0.013
9	OsRe	0.910	0.040	47	252	2.94	2.93	0.004
10				47	252	3.06	2.93	0.046
12				47	252	3.05	2.94	0.035
13				46	237	3.10	2.93	0.058
12	TaBN	0.951	0.031	46	127	2.68	2.42	0.106
12	RuTa	0.907	0.022	48	253	3.07	2.83	0.087

[0082] 表3及び4から分かるように、屈折率が0.930よりも高いTaBNでは、吸収層を厚くしても、位相差が180°未満と小さく、コントラストの高い転写パターンは得られ難い。また、消衰係数が低いRuTaでは、N_VとN_Hとの差の割合が大きく、寸法精度が高い転写パターンを得られ難い。

また、屈折率が0.930以下、かつ、消衰係数が0.025以上であっても、転写パターンのHPが18nmのときは、位相差が220°未満でも、N_V及びN_Hが高い場合もある。一方、HPが16nm以下のときは、位相差が220～280°で、層厚さ60nm以下でも、寸法精度が高い転写パターンが得られると言える。

[0083] 反射型マスク20は、反射型マスクブランク10を用いて、公知のリソグ

ラフィ技術を適用して、マスクパターンMを形成することにより製造できる。例えば、反射型マスクブランク10の吸収層3上に、フォトレジスト膜を形成し、所望のパターン形状を有するレジストパターンに加工し、ドライエッチング等により吸収層3にエッチング処理を施した後、レジストパターンを含む不要なフォトレジストを除去することにより、吸収層3にマスクパターンMが形成された反射型マスク20を得ることができる。

符号の説明

- [0084]
- 1

基板
- 2

多層反射膜
- 3

吸収層
- 4

保護膜
- 10

反射型マスクブランク
- 20

反射型マスク
- I

露光光
- L1

第1のライン状転写パターン
- L2

第2のライン状転写パターン
- T

被転写面
- M

マスクパターン

請求の範囲

- [請求項1] 基板上に、EUV光を反射する多層反射膜と、EUV光を吸収する吸収層とが、この順に前記基板側から積層されたEUVリソグラフィ用反射型マスクブランクであって、
- 前記吸収層は、波長13.5nmのEUV光の屈折率が0.930以下、かつ、消衰係数が0.025以上であり、
- 波長13.5nmのEUV光の入射光に対する、前記多層反射膜の表面からの反射光と前記吸収層の表面からの反射光との位相差が、 20° ～ 280° である、
- 反射型マスクブランク。
- [請求項2] 前記位相差が、 225° ～ 280° である、請求項1に記載の反射型マスクブランク。
- [請求項3] 前記吸収層に、互いのライン方向が直交する第1のライン状パターン及び第2のライン状パターンを含むマスクパターンを形成する、請求項1又は2に記載の反射型マスクブランク。
- [請求項4] 前記第1のライン状パターン及び前記第2のライン状パターンにより形成される転写パターンのハーフピッチが16nm以下である、請求項3に記載の反射型マスクブランク。
- [請求項5] 前記吸収層は、イリジウム(Ir)、レニウム(Re)、オスミウム(Os)、ルテニウム(Ru)、白金(Pt)、パラジウム(Pd)、金(Au)及び銀(Ag)から選ばれる1種以上の金属元素を含む、請求項1又は2に記載の反射型マスクブランク。
- [請求項6] 前記吸収層は、白金(Pt)、パラジウム(Pd)、金(Au)及び銀(Ag)から選ばれる1種以上の金属元素を含む、請求項1又は2に記載の反射型マスクブランク。
- [請求項7] 前記吸収層は、波長13.5nmのEUV光の消衰係数が0.025～0.040である、請求項1又は2に記載の反射型マスクブランク。

- [請求項8] 前記吸収層は、2層以上の膜が積層されてなる、請求項1又は2に記載の反射型マスクブランク。
- [請求項9] 前記吸収層は、総厚さが60nm以下である、請求項1又は2に記載の反射型マスクブランク。
- [請求項10] 前記多層反射膜と前記吸収層との間に、前記多層反射膜を保護する保護膜が形成されている、請求項1又は2に記載の反射型マスクブランク。
- [請求項11] 基板上に、EUV光を反射する多層反射膜とEUV光を吸収する吸収層とが、この順に前記基板側から積層されたEUVリソグラフィ用反射型マスクであって、
前記吸収層は、波長13.5nmのEUV光の屈折率が0.930以下、かつ、消衰係数が0.025以上であり、
波長13.5nmのEUV光の入射光に対する、前記多層反射膜の表面からの反射光と前記吸収層の表面からの反射光との位相差が、220°～280°であり、
前記吸収層にマスクパターンが形成されている、
反射型マスク。
- [請求項12] 前記位相差が、225°～280°である、請求項11に記載の反射型マスク。
- [請求項13] 前記マスクパターンが、互いのライン方向が直交する第1のライン状パターン及び第2のライン状パターンを含む、請求項11又は12に記載の反射型マスク。
- [請求項14] 露光光の入射面がライン幅に垂直であるライン状パターンの規格化像ログスロープを N_v 、露光光の入射面がライン幅に平行であるライン状パターンの規格化像ログスロープを N_h と表したとき、下記式(1)～(3)のすべてを満たす、請求項13に記載の反射型マスク。
$$N_v \geq 2.80 \quad (1)$$
$$N_h \geq 2.80 \quad (2)$$

$$|N_V - N_H| / \min \{N_V, N_H\} < 0.060 \quad (3)$$

- [請求項15] 前記反射型マスクの第1のライン状パターン及び第2のライン状パターンにより形成される転写パターンのハーフピッチが16nm以下である、請求項13に記載の反射型マスク。
- [請求項16] 前記吸収層は、イリジウム（I r）、レニウム（R e）、オスミウム（O s）、ルテニウム（R u）、白金（P t）、パラジウム（P d）、金（A u）及び銀（A g）から選ばれる1種以上の金属元素を含む、請求項11又は12に記載の反射型マスク。
- [請求項17] 前記吸収層は、白金（P t）、パラジウム（P d）、金（A u）及び銀（A g）から選ばれる1種以上の金属元素を含む、請求項11又は12に記載の反射型マスク。
- [請求項18] 前記吸収層は、波長13.5nmのEUV光の消衰係数が0.025～0.040である、請求項11又は12に記載の反射型マスク。