

明 細 書

発明の名称：

反射型フォトマスクブランク及び反射型フォトマスク

技術分野

[0001] 本開示は、反射型フォトマスクブランク及び反射型フォトマスクに関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスの製造プロセスにおいては、半導体デバイスの微細化に伴い、フォトリソグラフィ技術の微細化に対する要求が高まっている。フォトリソグラフィにおける転写パターンの最小現像寸法は、露光光源の波長に大きく依存し、波長が短いほど最小解像寸法を小さくできる。このため、先端の半導体デバイスの製造プロセスにおける露光光源は、従来の波長193nmのArFエキシマレーザー光から、波長13.5nmのEUV（Extreme Ultraviolet）に置き換わってきている。

[0003] ほとんどの物質がEUVに対して高い光吸収性をもつため、従来の光の透過を利用する屈折光学系が使用できないことから、露光機の光学系部材はレンズではなく、ミラーとなる。フォトマスクも従来の透過型から反射型のEUVフォトマスクとなる。EUVフォトマスクへの入射光と反射光が同軸上に設計できないことから、通常、EUVリソグラフィでは光軸をEUVフォトマスクの垂直方向から6°傾けてEUV光を入射し、マイナス6°の角度で反射する反射光を半導体基板に照射する手法が採用されている。しかし、光軸を傾斜させることから、EUVフォトマスクに入射するEUV光がEUVフォトマスクのパターン（吸収層パターン）の影を作ることにより、転写性能が悪化する問題がある。今後、更なる微細化を行う為には、転写性能の改善が課題となる。

[0004] 現在のEUVフォトマスクでは、光吸収層として膜厚60～90nmのタantal（Ta）を主成分とした膜が用いられている。このEUVフォトマス

クでパターン転写の露光を行った場合、入射方向とマスクパターンの向きの関係によっては、マスクパターンの影となるエッジ部分で、コントラストの低下を引き起こす恐れがある。これに伴い、半導体基板上の転写パターンのラインエッジラフネスの増加や、線幅が狙った寸法に形成できないなどの問題が生じ、転写性能が悪化する。

[0005] この課題に対し、吸収層に消衰係数 k が高い材料を用いて E U V 反射率を抑える手法 [例えば、特許文献 1 を参照] や、位相シフト効果を用いた手法 [例えば、特許文献 2 を参照] が提案されている。

[0006] 反射型位相シフトマスクでは、吸収層を通り減光した反射光は、開口部で反射される光と位相差を持つ。このような反射型位相シフトマスクは透過型位相シフトマスクと同様に、位相シフト効果を用いることにより、ウェハ上の光学像のコントラストが向上し、転写パターンの解像性を向上させることができる。

[0007] 例えば、特許文献 2 に記載の位相シフト効果を用いた反射型マスクは、位相差の最適値を $170 \sim 190$ 度としている。これは従来の透過型の位相シフトマスクの位相差の最適値の 180 度を含んだ値である。

[0008] しかし、反射型マスクの場合、E U V 光が傾いて入射するため、反射光の一部は吸収層パターンのエッジ部分を通る。エッジ部分に当たった反射光はパターン中心部の反射光と位相がずれてしまうため、吸収層の最適な位相差は 180 度と異なる。つまり、反射型マスクにおける吸収層の最適な位相差は、従来の設計思想で用いられてきた「 180 度」とは異なる値であることを本発明者は見出した。

このように、従来技術に係る反射型の位相シフトマスクでは、位相シフト効果を十分に活用（利用）できておらず、その転写性（特に解像性）は十分でなかった。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献 1：国際公開第 2018/159785 号

特許文献2：特許第6287099号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0010] 本開示は、位相シフト効果を最大限に活用し、高い転写性（特に解像性）を有する反射型フォトリソマスクブランク及び反射型フォトリソマス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

- [0011] 本発明は上記課題を解決するために成されたものであって、本発明の一態様に係る反射型フォトリソマスクブランクは、基板と、前記基板上に形成された多層膜構造を有するEUV光を反射する反射層と、前記反射層上に形成され、該反射層を保護する保護層と、前記保護層上に形成されたEUV光を吸収する吸収層と、を備え、前記吸収層は、200度以上280度以下の範囲内の位相差を有することを特徴とする反射型フォトリソマスクブランクである。
- [0012] また、本発明の一態様に係る反射型フォトリソマスクブランクにおける前記吸収層は、215度以上270度以下の範囲内の位相差を有してもよい。
- [0013] また、本発明の一態様に係る反射型フォトリソマスクブランクにおける前記吸収層は、230度以上260度以下の範囲内の位相差を有してもよい。
- [0014] また、本発明の一態様に係る反射型フォトリソマスクブランクにおける前記吸収層は、EUV光に対する屈折率 n が0.93より小さくてもよい。
- [0015] また、本発明の一態様に係る反射型フォトリソマスクブランクにおける前記吸収層は、EUV光に対する屈折率 n が0.92より小さくてもよい。
- [0016] また、本発明の一態様に係る反射型フォトリソマスクブランクにおける前記吸収層は、Ru、Rh、Mo、Pd、Ag、Pt、Au、Os、Ir、及びReのうち少なくとも1種類以上の元素を含む材料から構成されていてもよい。
- [0017] また、本発明の一態様に係る反射型フォトリソマスクブランクにおける前記吸収層は、EUV光に対する反射率が2%以上20%以下の範囲内であってもよい。

- [0018] また、本発明の一態様に係る反射型フォトマスクブランクにおける前記吸収層は、P t、A u、I r、及びR eのうち少なくとも1種類以上の元素を含む材料から構成されていてもよい。
- [0019] また、本発明の一態様に係る反射型フォトマスクブランクにおける前記吸収層は、M o、W、N b、H g、F e、T a、V、B i、T i、Z r、H f、C、B、B e、及びA lのうち少なくとも1種類以上の元素を含む材料から構成されていてもよい。
- [0020] 本発明の一態様に係る反射型フォトマスクは、基板と、前記基板上に形成された多層膜構造を有するE U V光を反射する反射層と、前記反射層上に形成され、該反射層を保護する保護層と、前記保護層上に形成され、パターンが形成されているE U V光を吸収する吸収パターン層と、を備え、前記吸収パターン層は、200度以上280度以下の範囲内の位相差を有することを特徴とする反射型フォトマスクである。
- [0021] また、本発明の一態様に係る反射型フォトマスクにおける前記吸収パターン層は、215度以上270度以下の範囲内の位相差を有してもよい。
- [0022] また、本発明の一態様に係る反射型フォトマスクにおける前記吸収パターン層は、230度以上260度以下の範囲内の位相差を有してもよい。
- [0023] また、本発明の一態様に係る反射型フォトマスクにおける前記吸収パターン層は、E U V光に対する屈折率 n が0.93より小さくてもよい。
- [0024] また、本発明の一態様に係る反射型フォトマスクにおける前記吸収パターン層は、E U V光に対する屈折率 n が0.92より小さくてもよい。
- [0025] また、本発明の一態様に係る反射型フォトマスクにおける前記吸収パターン層は、R u、R h、M o、P d、A g、P t、A u、O s、I r、及びR eのうち少なくとも1種類以上の元素を含む材料から構成されていてもよい。
- [0026] また、本発明の一態様に係る反射型フォトマスクにおける前記吸収パターン層は、E U V光に対する反射率が2%以上20%以下の範囲内であってもよい。

[0027] また、本発明の一態様に係る反射型フォトマスクにおける前記吸収パターン層は、P t、A u、I r、及びR eのうち少なくとも1種類以上の元素を含む材料から構成されていてもよい。

[0028] また、本発明の一態様に係る反射型フォトマスクにおける前記吸収パターン層は、M o、W、N b、H g、F e、T a、V、B i、T i、Z r、H f、C、B、B e、及びA lのうち少なくとも1種類以上の元素を含む材料から構成されていてもよい。

発明の効果

[0029] 本開示の一態様に係る反射型フォトマスクブランク及び反射型フォトマスクであれば、十分な位相シフト効果が得られ、ウェハ転写性能（特に解像性）を向上することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]本実施形態に係る反射型フォトマスクブランクの構造を示す断面図である。

[図2]本実施形態に係る反射型フォトマスクの構造を示す断面図である。

[図3]E U V光の波長における各金属材料の光学定数を示すグラフである。

[図4]本発明の実施例に係る反射型フォトマスクブランクの構造を示す概略断面図である。

[図5]本発明の実施例に係る反射型フォトマスクの製造工程を示す概略断面図である。

[図6]本発明の実施例に係る反射型フォトマスクの製造工程を示す概略断面図である。

[図7]本発明の実施例に係る反射型フォトマスクの製造工程を示す概略断面図である。

[図8]本発明の実施例に係る反射型フォトマスクの構造を示す概略断面図である。

[図9]本発明の実施例に係る反射型フォトマスクのN I L Sを示すグラフである。

[図10]本発明の実施例に係る反射型フォトマスクの位相差を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0031] 本開示の一実施形態について図面を参照しつつ説明する。

ここで、図面に示す構成は模式的なものであり、厚さと平面寸法との関係、各層の厚さの比率などは現実のものとは異なる。また、以下に示す実施形態は、本開示の技術的思想を具体化するための構成を例示するものであって、本開示の技術的思想は、構成部品の材質、形状、構造などが下記のものに限定されるものでない。本開示の技術的思想は、特許請求の範囲に記載された請求項が規定する技術的範囲内において、種々の変更を加えることができる。

[0032] (反射型フォトマスクブランク及び反射型フォトマスクの構成)

図1は、本発明の実施の形態に係る反射型フォトマスクブランク100を示す概略断面図である。図1に示すように、本発明の実施形態に係る反射型フォトマスクブランク100は、基板11と、基板11上に形成された反射層12と、反射層12の上に形成された保護層13と、保護層13の上に形成された吸収層14と、を備えている。また、図2は、本発明の実施の形態に係る反射型フォトマスク200を示す概略断面図である。ここで、図2に示す本発明の実施形態に係る反射型フォトマスク200は、図1に示す本発明の実施形態に係る反射型フォトマスクブランク100の吸収層14をパターンニングして形成されている。以下、各層について詳細に説明する。

[0033] (基板)

本発明の実施形態に係る基板11には、例えば、平坦なSi基板や合成石英基板等を用いることができる。また、基板11には、チタンを添加した低熱膨張ガラスを用いることができるが、熱膨張率の小さい材料であれば、本実施形態はこれらに限定されるものではない。

また、後述する図4に示すように、基板11の反射層12を形成していない面に裏面導電膜15を形成することができる。裏面導電膜15は、反射型

フォトマスク 200 を露光機に設置するときに静電チャックの原理を利用して固定するための膜である。

[0034] (反射層)

本発明の実施形態に係る反射層 12 は、露光光である E U V 光（極端紫外光）を反射するものであればよく、E U V 光に対する屈折率の大きく異なる材料の組み合わせによる多層反射膜（つまり、多層膜構造を有する E U V 光反射膜）であってもよい。多層反射膜を含む反射層 12 は、例えば、M o（モリブデン）と S i（シリコン）、または M o（モリブデン）と B e（ベリリウム）といった組み合わせの層を 40 周期程度繰り返し積層することにより形成したものであってもよい。

[0035] (保護層)

本発明の実施形態に係る保護層 13 は、吸収パターン層 14 a をエッチングにより形成する際に、反射層 12 へのダメージを防ぐエッチングストップとして機能する層である。なお、反射層 12 の材質やエッチング条件により、保護層 13 はなくてもかまわない。保護層 13 は、吸収層 14 のパターン形成の際に行われるドライエッチングに対して耐性を有する材質で形成されている。例えば、保護層 13 の材料はルテニウム（R u）であってもよい。

[0036] (吸収層及び吸収パターン層)

図 1 に示すように、吸収層 14 は、保護層 13 上に形成される層であり、露光光である E U V 光を吸収する層である。また、吸収層 14 は、転写するための微細パターンである吸収パターン層（転写パターン） 14 a を形成する層である。つまり、反射型フォトマスクブランク 100 の吸収層 14 の一部を除去することにより、即ち吸収層 14 をパターンングすることにより、図 2 に示す反射型フォトマスク 200 の吸収パターン（吸収パターン層 14 a）が形成される。

[0037] 吸収層 14（吸収パターン層 14 a）が形成されている部分では、E U V 光を吸収して一部の光を反射させる。一方、パターンの開口部（吸収層 14 がいない部分）では、E U V 光が保護層 13 を介して反射層 12 から反射する

。吸収層 14 が形成されている部分からの反射光は、開口部からの反射光と所望の位相差を形成する。

[0038] 一般に、吸収層 14 の、反射率及びパターンニングした結果生じる開口部との位相差は、反射型フォトマスクブランク及び反射型フォトマスクの各層の光学定数（屈折率 n 、消衰係数 k ）と膜厚、使用する光の波長が決まれば、一意に定まり、光学理論により計算で求めることができる（詳細は、例えば、応用物理工学選書 3、吉田貞史「薄膜」、培風館、1990 を参照）。つまり、本実施形態における「位相差」とは、吸収層 14 の反射光の位相と、反射層 12 の（開口部での）反射光の位相と、の差を意味する。

なお、本実施形態では、上記反射率及び上記位相差の算出に用いた屈折率 n 及び消衰係数 k の各値は、EUV 光を用いた実測値を用いた。

[0039] 反射型フォトマスク 200 を用いてウェハ転写した際のウェハパターンの NILS（規格化空間像対数傾斜）は、反射型フォトマスク 200 の位相差に依存する。図 9 は、吸収層 14（吸収パターン層 14a）を、ロジウム（Rh）とアルミニウム（Al）の混合材料を用いた単層膜として、開口数 NA が 0.33 の露光条件で、ウェハ上の 19 nm のホールパターンを露光した場合の NILS（規格化空間像対数傾斜）を、膜厚 38 nm、41 nm、47 nm、54 nm、の 4 水準で求めたグラフである。Rh は屈折率 $n = 0.875$ 、消衰係数 $k = 0.03$ であり、Al は屈折率 $n = 1.03$ 、消衰係数 $k = 0.03$ であるので、RhAl の組成を変えたとき、屈折率は $0.875 < n < 1.03$ の範囲内で変化し、消衰係数はおよそ $k = 0.03$ で一定である。また、同じ膜厚で比べた場合、RhAl の組成を変えたとき、すなわち屈折率 n を変えたとき、位相差が変化する。なお、図 9 では、横軸に位相差をとり、NILS との関係を示している。

[0040] NILS（規格化空間像対数傾斜）は、

$$\text{NILS} = w \times d \ln(I) / dx \quad \cdots \text{式 (1)}$$

で求められるコントラストの値であり、反射型フォトマスク 200 を用いてウェハパターンを形成した際のウェハパターンの解像性の指標になる。ここ

で「w」は線幅を表し、「I」はエネルギー潜像の強度を表す。なお、NILSの値が大きい程、転写パターンの解像性が高いことを意味する。

[0041] 図9に示すように、位相差とNILSには関係があり、位相差が230度から260度近傍でNILSは最大になる。

また、図9に示すように、膜厚が54nmであり、且つRhAIで形成された吸収パターン層14aの位相差が180度である場合のNILSの値は2.49である。

これに対し、位相差が200度である場合のNILSの値は2.60であり、位相差が280度である場合のNILSの値は2.60であり、いずれも位相差が180度である場合に比べてその値は約5%高くなっている。

また、位相差が215度である場合のNILSの値は2.68であり、位相差が270度である場合のNILSの値は2.67であり、いずれも位相差が180度である場合に比べてその値は約7%高くなっている。

また、位相差が230度である場合のNILSの値は2.72であり、位相差が260度である場合のNILSの値は2.71であり、いずれも位相差が180度である場合に比べてその値は約9%高くなっている。

さらに、位相差が240度である場合にNILSは最大となり、その値は2.74であり、位相差が180度である場合に比べてその値は約10%高くなっている。

[0042] このように位相差が180度である場合よりも、位相差が200度以上280度以下の範囲内であれば5%以上、位相差が215度以上270度以下の範囲内であれば7%以上、位相差が230度以上260度以下の範囲内であれば9%以上NILSが向上する。

[0043] また、図9に示すように、吸収パターン層14aの膜厚が47nmであり、位相差が240度である場合のNILSの値は2.76であり、位相差が180度である場合に比べてその値は約12%高くなっている。

また、図9に示すように、吸収パターン層14aの膜厚が41nmであり、位相差が240度である場合のNILSの値は2.78であり、位相差が

180度である場合に比べてその値は約13%高くなっている。

また、図9に示すように、吸収パターン層14aの膜厚が38nmであり、位相差が240度である場合のNILSの値は2.71であり、位相差が180度である場合に比べてその値は約31%高くなっている。

[0044] これらのことから、解像性を向上させるためには、吸収層14の位相差は、200度以上280度以下の範囲内が好ましく、215度以上270度以下の範囲内がさらに好ましく、230度以上260度以下の範囲内が最も好ましいことが分かる。

[0045] EUVリソグラフィにおいて、EUV光は斜めに入射し、反射層12で反射されるが、吸収層14（吸収パターン層14a）が光路の妨げとなる射影効果により、ウェハ（半導体基板）上への転写性能が悪化することがある。この転写性能の悪化は、EUV光を吸収する吸収層14の厚さを薄くすることで低減できることが知られている。

[0046] 吸収層14の膜厚は、60nm以下であることが好ましい。吸収層14の膜厚が60nm以下である場合、従来のTa系吸収膜と比較して十分に射影効果を低減し、転写性能を向上させることができる。

[0047] 図10は、EUV光に対する吸収層14の屈折率 n が0.90、0.91、0.92、0.93、0.94である場合における吸収層14の膜厚と位相差との関係をシミュレーションで算出したグラフである。

図10に示すように、EUV光に対する吸収層14の屈折率 n が小さければ小さいほど、所望の位相差を得るための膜厚を薄くすることができる。EUV光に対する吸収層14の屈折率 n が0.93の場合、230～260度の位相差を得るための最低膜厚は60nmであり、従来のTa系吸収膜の膜厚と同程度である。そのため、EUV光に対する吸収層14の屈折率 n は0.93より小さければ、膜厚を60nmより薄くすることができるため、好ましい。また、EUV光に対する吸収層14の屈折率 n が0.92より小さければ、230～260度の位相差を得るための最低膜厚が50nm以下になるため、さらに好ましい。

[0048] 図3は、各金属材料のEUV光の波長13.5nmに対する光学定数を示すグラフである。図3のグラフの横軸は屈折率 n を表し、縦軸は消衰係数 k を示している。図3より、Ru、Rh、Mo、Pd、Ag、Pt、Au、Os、Ir、Reのそれぞれは、屈折率 n が0.93より小さいため、これらの材料群を用いることにより射影効果を低減できることが分かる。なお、上述した「Ru、Rh、Mo、Pd、Ag、Pt、Au、Os、Ir、Re」を、以下便宜的に「第1の材料群」と定義する。

[0049] 吸収層14の材料は、第1の材料群の元素を含んでいれば混合物であってもよい。混合物であれば、組成を変えることによって吸収層14の光学定数（屈折率 n 、消衰係数 k ）を制御することができ、所望の位相差と反射率を得ることができる。つまり、吸収層14は、Ru、Rh、Mo、Pd、Ag、Pt、Au、Os、Ir、及びReのうち少なくとも1種類以上の元素を含む材料で構成されていれば好ましい。

[0050] 吸収層14の材料は、上述した第1の材料群に加えて、錫（Sn）、インジウム（In）、タンタル（Ta）、アルミニウム（Al）、ニオブ（Nb）、チタン（Ti）のうち少なくとも1種をさらに含んでも良い。Sn、In、Taの酸化物、窒化物もしくは酸窒化物であれば、高融点の為、耐熱性の更なる改善と既存エッチング装置での加工性向上が期待できる。また、Al、Nb、Tiであれば、不動態被膜形成による洗浄耐性の更なる改善が期待できる。

ここで、上述した「Sn、In、Ta、Al、Nb、Ti」を、便宜的に「第2の材料群」と定義した場合、吸収層14は、第1の材料群の元素のみで構成されていてもよいし、第1の材料群の元素と、第2の材料群の元素とで構成されていてもよい。また、吸収層14は、第1の材料群の元素と、第2の材料群の元素以外の他の元素とで構成されていてもよいし、第1の材料群の元素と、第2の材料群の元素と、第2の材料群の元素以外の他の元素とで構成されていてもよい。なお、吸収層14が第1の材料群の元素と第2の材料群の元素とで構成されている場合には、第1の材料群の元素の含有率が

吸収層 1 4 全体の元素の 7 0 原子%以上であれば好ましく、8 0 原子%以上であればより好ましく、9 0 原子%以上であればさらに好ましい。

[0051] 吸収層 1 4 の材料は、P t、A u、I r、及びR eのうち少なくとも1種類以上の元素を含む材料で構成されていれば好ましい。P t、A u、I r、及びR eは上述した第1の材料群の中でも既存エッチング装置での加工性向上が期待できる材料であり、かつ、E U V 露光装置のクリーニングの際に用いられる水素ラジカルに対する耐性が高い材料である。さらに屈折率 n が 0.9 2 よりも小さいため、射影効果の低減が期待できる。なお、上述した「P t、A u、I r、R e」を、以下便宜的に「第3の材料群」と定義する。

[0052] 吸収層 1 4 の材料は、上述した第3の材料群に加えて、M o、W、N b、H g、F e、T a、V、B i、T i、Z r、H f、C、B、B e、及びA lのうち少なくとも1種をさらに含んでも良い。ここで、「M o、W、N b、H g、F e、T a、V、B i、T i、Z r、H f、C、B、B e、A l」を「第4の材料群」と定義する。第4の材料群が含まれていれば、既存エッチング装置での加工性向上、水素ラジカル耐性の向上が期待できる。

[0053] 吸収層 1 4 は、第3の材料群の元素のみで構成されていてもよいし、第3の材料群の元素と、第4の材料群の元素とで構成されていてもよい。また、吸収層 1 4 は、第3の材料群の元素と、第4の材料群の元素以外の他の元素とで構成されていてもよいし、第3の材料群の元素と、第4の材料群の元素と、第4の材料群の元素以外の他の元素とで構成されていてもよい。なお、吸収層 1 4 が第3の材料群の元素と第4の材料群の元素とで構成されている場合には、第3の材料群の元素の含有率が吸収層 1 4 全体の元素の 2 0 原子%以上であれば好ましい。

[0054] 十分な位相シフト効果を得るためには吸収層 1 4 の反射率は、絶対反射率で 1 %以上 3 0 %以下が好ましく、2 %以上 2 0 %以下がさらに好ましい。ここで、「絶対反射率」とは、光源からの光を直接測定した光の量に対する実試料で反射した光の量の比率で計算された値をいう。つまり、入射光の強度を 1 0 0 %としたときの反射率を意味する。なお、本実施形態において「

絶対反射率」の用語を用いたのは、多層反射層（反射層 1 2）の反射率（約 6 6 %）と吸収層 1 4 の反射率との比を意味する「相対反射率」と区別するためである。このように、本実施形態における「絶対反射率」は、「相対反射率」とは異なる概念である。

[0055] また、吸収層 1 4 の上には、ハードマスク層を備えていても良い。ハードマスク層には、C r 系膜または S i 系膜など、ドライエッチングに耐性がある材料が用いられる。

[0056] [実施例]

以下、本開示を実施例によりさらに詳しく説明するが、本開示は実施例により何ら限定されるものではない。

[0057] <実施例 1>

図 4 に示す基板として、低熱膨張性を有する合成石英基板を用いた。その基板の上に、多層反射膜としてシリコン（S i）とモリブデン（M o）とを一对とする積層膜を 4 0 枚積層して形成した。多層反射膜の膜厚は 2 8 0 n m とした。

次に、多層反射膜上に、ルテニウム（R u）を用いて膜厚が 3. 5 n m になるようにキャッピング層（保護層）を成膜した。これにより、基板には多層反射膜及びキャッピング層を有する反射部が形成された。

キャッピング層の上に、ロジウム（R h）とアルミニウム（A l）とを含む吸収層を膜厚が 4 7 n m になるように成膜した。吸収層におけるロジウム（R h）とアルミニウム（A l）との原子数比率を X P S（X 線光電子分光法）で測定したところ、6 6 : 3 4 であった。また、吸収層の結晶性を X R D（X 線回析装置）で測定したところ、わずかに結晶性が見られるものの、アモルファスであることが分かった。

次に、基板の多層反射膜が形成されていない側に、窒化クロム（C r N）を用いて 1 0 0 n m の厚さとなるように裏面導電膜を成膜した。反射型フォトマスクブランク 1 0 0 を作成した。

[0058] 基板上へのそれぞれの膜の成膜は、多元スパッタリング装置を用いた。各

々の膜の膜厚は、スパッタリング時間で制御した。

[0059] 次に、反射型フォトマスク200の作製方法について、図5から図8を用いて説明する。図5に示すように、反射型フォトマスクブランク100の吸収層14の上に、ポジ型化学増幅型レジスト（SEBP9012：信越化学社製）を120nmの膜厚にスピコートで塗布し、110℃で10分ベークし、レジスト膜16を形成した。

次に、電子線描画機（JBX3030：日本電子社製）によってレジスト膜16に所定のパターンを描画した。

その後、110℃、10分のプリベーク処理を行い、次いでスプレー現像機（SFG3000：シグマメルテック社製）を用いて現像処理をした。これにより図6に示したように、レジストパターン16aを形成した。

[0060] 次に、レジストパターン16aをエッチングマスクとして、塩素系ガスを主体としたドライエッチングにより、吸収層14のパターニングを行った。これにより、図7に示すように、吸収層14に吸収パターン（吸収パターン層）14aを形成した。

次に、レジストパターン16aの剥離を行い、図8に示す、本実施例による反射型フォトマスク200を作製した。

本実施例において、吸収層14に形成した吸収パターン14aは、転写評価用の反射型フォトマスク200上で、76nmのホールパターンとした。

[0061] 上記のように形成した実施例1について、波長13.5nmのEUV光を用いて、吸収層の屈折率、消衰係数を測定（実測）した。その結果、実施例1の吸収層の屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.924$ 、 $k=0.03$ であった。

なお、以降の各実施例及び各比較例についても実施例1の場合と同様に、波長13.5nmのEUV光を用いて、吸収層の屈折率、消衰係数を測定（実測）した。

[0062] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は3.4%であり、位相差は205度であった。

[0063] <実施例 2>

吸収層の材料である R h A l の組成を原子数比率で $R h : A l = 70 : 30$ となるように変更し、膜厚 47 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 2 の反射型フォトマスクを作製した。

[0064] 上記のように形成した実施例 2 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.919$ 、 $k = 0.03$ であった。

[0065] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 3.7% であり、位相差は 220 度であった。

[0066] <実施例 3>

吸収層の材料である R h A l の組成を原子数比率で $R h : A l = 75 : 25$ となるように変更し、膜厚 47 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 3 の反射型フォトマスクを作製した。

[0067] 上記のように形成した実施例 3 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.912$ 、 $k = 0.03$ であった。

[0068] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 4.3% であり、位相差は 240 度であった。

[0069] <実施例 4>

吸収層の材料である R h A l の組成を原子数比率で $R h : A l = 82 : 18$ となるように変更し、膜厚 47 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 4 の反射型フォトマスクを作製した。

[0070] 上記のように形成した実施例 4 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.902$ 、 $k = 0.03$ であった。

[0071] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 5.3% であり、位相差は 265 度であった。

[0072] <実施例 5>

吸収層の材料である R h A l の組成を原子数比率で $R h : A l = 86 : 14$ となるように変更し、膜厚 47 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 5 の反射型フォトマスクを作製した。

[0073] 上記のように形成した実施例5の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.896$ 、 $k=0.03$ であった。

[0074] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は5.9%であり、位相差は275度であった。

[0075] <実施例6>

吸収層の材料であるRhAlの組成を原子数比率で $Rh:Al=67:3$ となるように変更し、膜厚54nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、実施例6の反射型フォトマスクを作製した。

[0076] 上記のように形成した実施例6の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.923$ 、 $k=0.03$ であった。

[0077] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は2.6%であり、位相差は240度であった。

[0078] <実施例7>

吸収層の材料であるRhAlの組成を原子数比率で $Rh:Al=84:1$ となるように変更し、膜厚41nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、実施例7の反射型フォトマスクを作製した。

[0079] 上記のように形成した実施例7の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.899$ 、 $k=0.03$ であった。

[0080] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は4.4%であり、位相差は240度であった。

[0081] <実施例8>

吸収層の材料であるRhAlの組成を原子数比率で $Rh:Al=98:2$ となるように変更し、膜厚38nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、実施例8の反射型フォトマスクを作製した。

[0082] 上記のように形成した実施例8の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.878$ 、 $k=0.03$ であった。

[0083] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は9.2%であり、位相差は240度であった。

[0084] <実施例 9>

吸収層の材料をロジウム (Rh) に変更し、膜厚 33 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 9 の反射型フォトマスクを作製した。

[0085] 上記のように形成した実施例 9 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.875$ 、 $k = 0.03$ であった。

[0086] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 11.0% であり、位相差は 240 度であった。

[0087] <実施例 10>

吸収層の材料をルテニウム (Ru) とニオブ (Nb) が 85 : 15 の原子数比率で均質となる混合材料 (RuNb) に変更し、膜厚 44 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 10 の反射型フォトマスクを作製した。

[0088] 上記のように形成した実施例 10 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.895$ 、 $k = 0.015$ であった。

[0089] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 17.0% であり、位相差は 240 度であった。

[0090] <実施例 11>

吸収層の材料をルテニウム (Ru) とアルミニウム (Al) が 59 : 41 の原子数比率で均質となる混合材料 (RuAl) に変更し、膜厚 72 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 11 の反射型フォトマスクを作製した。

[0091] 上記のように形成した実施例 11 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.940$ 、 $k = 0.023$ であった。

[0092] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 3.7% であり、位相差は 240 度であった。

[0093] <実施例 1 2>

吸収層の材料を酸化錫 (SnO) とルテニウム (Ru) が 20 : 80 の原子数比率で均質となる混合材料 (SnRuO) に変更し、膜厚 42 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 1 2 の反射型フォトマスクを作製した。

[0094] 上記のように形成した実施例 1 2 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.896$ 、 $k = 0.03$ であった。

[0095] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 3.1 % であり、位相差は 240 度であった。

[0096] <実施例 1 3>

吸収層の SnRuO の膜厚を 39 nm に変更して成膜した。それ以外は実施例 1 2 と同様の方法で、実施例 1 3 の反射型フォトマスクを作製した。

[0097] 上記のように形成した実施例 1 3 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.896$ 、 $k = 0.03$ であった。

[0098] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 8.9 % であり、位相差は 225 度であった。

[0099] <実施例 1 4>

吸収層の材料を酸化インジウム (InO) とルテニウム (Ru) が 15 : 85 の原子数比率で均質となる混合材料 (InRuO) に変更し、膜厚 42 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 1 4 の反射型フォトマスクを作製した。

[0100] 上記のように形成した実施例 1 4 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.895$ 、 $k = 0.03$ であった。

[0101] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 3.3 % であり、位相差は 240 度であった。

[0102] <実施例 1 5>

吸収層の InRuO の膜厚を 39 nm に変更して成膜した。それ以外は実施例 1 4 と同様の方法で、実施例 1 5 の反射型フォトマスクを作製した。

[0103] 上記のように形成した実施例 15 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.895$ 、 $k = 0.03$ であった。

[0104] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 9.3% であり、位相差は 225 度であった。

[0105] <実施例 16>

吸収層の材料をタンタル (Ta) とチタン (Ti) が 60 : 40 の原子数比率で均質となる混合材料 (TaTi) に変更し、膜厚 78 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 16 の反射型フォトマスクを作製した。

[0106] 上記のように形成した実施例 16 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.947$ 、 $k = 0.030$ であった。

[0107] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 1.2% であり、位相差は 212 度であった。

[0108] <実施例 17>

吸収層の材料をチタン (Ti) に変更し、膜厚 80 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 17 の反射型フォトマスクを作製した。

[0109] 上記のように形成した実施例 17 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.952$ 、 $k = 0.014$ であった。

[0110] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 6.5% であり、位相差は 212 度であった。

[0111] <実施例 18>

吸収層の材料をモリブデン (Mo) とパラジウム (Pd) が 40 : 60 の原子数比率で均質となる混合材料 (MoPd) に変更し、膜厚 45 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 18 の反射型フォトマスクを作製した。

[0112] 上記のように形成した実施例 18 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.896$ 、 $k = 0.03$ であった。

[0113] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 6.6% であり、位相差は 235 度であった。

[0114] <実施例 19>

吸収層の材料を白金 (Pt) に変更し、膜厚 45 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 19 の反射型フォトマスクを作製した。

[0115] 上記のように形成した実施例 19 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.890$ 、 $k = 0.06$ であった。

[0116] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 1.3% であり、位相差は 243 度であった。

[0117] <実施例 20>

吸収層の材料をイリジウム (Ir) と白金 (Pt) が 75 : 25 の原子数比率で均質となる混合材料 (IrPt) に変更し、膜厚 45 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 20 の反射型フォトマスクを作製した。

[0118] 上記のように形成した実施例 20 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.902$ 、 $k = 0.049$ であった。

[0119] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 2.2% であり、位相差は 234 度であった。

[0120] <実施例 21>

吸収層の材料をイリジウム (Ir) と金 (Au) が 40 : 60 の原子数比率で均質となる混合材料 (IrAu) に変更し、膜厚 45 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 21 の反射型フォトマスクを作製した。

[0121] 上記のように形成した実施例 21 の吸収層の波長 13.5 nm における屈

折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.901$ 、 $k = 0.049$ であった。

[0122] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 2.2% であり、位相差は 234 度であった。

[0123] <実施例 22>

吸収層の材料をレニウム (Re) と白金 (Pt) が $75:25$ の原子数比率で均質となる混合材料 (RePt) に変更し、膜厚 46 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 22 の反射型フォトマスクを作製した。

[0124] 上記のように形成した実施例 22 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.909$ 、 $k = 0.045$ であった。

[0125] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 2.2% であり、位相差は 240 度であった。

[0126] <実施例 23>

吸収層の材料をレニウム (Re) と金 (Au) が $40:60$ の原子数比率で均質となる混合材料 (ReAu) に変更し、膜厚 45 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 23 の反射型フォトマスクを作製した。

[0127] 上記のように形成した実施例 23 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.905$ 、 $k = 0.047$ であった。

[0128] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 2.8% であり、位相差は 227 度であった。

[0129] <実施例 24>

吸収層の材料を白金 (Pt) とモリブデン (Mo) が $20:80$ の原子数比率で均質となる混合材料 (PtMo) に変更し、膜厚 48 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 24 の反射型フォ

トマスクを作製した。

[0130] 上記のように形成した実施例24の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.918$ 、 $k=0.017$ であった。

[0131] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は7.8%であり、位相差は213度であった。

[0132] <実施例25>

吸収層の材料を白金(Pt)とモリブデン(Mo)が80:20の原子数比率で均質となる混合材料(PtMo)に変更し、膜厚45nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、実施例25の反射型フォトマスクを作製した。

[0133] 上記のように形成した実施例25の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.898$ 、 $k=0.049$ であった。

[0134] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は2.2%であり、位相差は234度であった。

[0135] <実施例26>

吸収層の材料を白金(Pt)とニオブ(Nb)が35:65の原子数比率で均質となる混合材料(PtNb)に変更し、膜厚47nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、実施例26の反射型フォトマスクを作製した。

[0136] 上記のように形成した実施例26の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.919$ 、 $k=0.024$ であった。

[0137] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は6%であり、位相差は214度であった。

[0138] <実施例27>

吸収層の材料を白金(Pt)とニオブ(Nb)が80:20の原子数比率

で均質となる混合材料（PtNb）に変更し、膜厚45nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、実施例27の反射型フォトマスクを作製した。

[0139] 上記のように形成した実施例27の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.900$ 、 $k=0.049$ であった。

[0140] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は2.2%であり、位相差は234度であった。

[0141] <実施例28>

吸収層の材料を金（Au）とモリブデン（Mo）が25：75の原子数比率で均質となる混合材料（AuMo）に変更し、膜厚49nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、実施例28の反射型フォトマスクを作製した。

[0142] 上記のように形成した実施例28の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.918$ 、 $k=0.018$ であった。

[0143] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は7.6%であり、位相差は209度であった。

[0144] <実施例29>

吸収層の材料を金（Au）とモリブデン（Mo）が95：5の原子数比率で均質となる混合材料（AuMo）に変更し、膜厚39nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、実施例29の反射型フォトマスクを作製した。

[0145] 上記のように形成した実施例29の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.900$ 、 $k=0.050$ であった。

[0146] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は2.7%であり、位相差は228度であった。

[0147] <実施例 30>

吸収層の材料を金 (Au) とニオブ (Nb) が 45 : 55 の原子数比率で均質となる混合材料 (AuNb) に変更し、膜厚 48 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 30 の反射型フォトリソマスクを作製した。

[0148] 上記のように形成した実施例 30 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.918$ 、 $k = 0.026$ であった。

[0149] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 4.5 % であり、位相差は 213 度であった。

[0150] <実施例 31>

吸収層の材料を金 (Au) とニオブ (Nb) が 90 : 10 の原子数比率で均質となる混合材料 (AuNb) に変更し、膜厚 45 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 31 の反射型フォトリソマスクを作製した。

[0151] 上記のように形成した実施例 31 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.903$ 、 $k = 0.047$ であった。

[0152] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 2.2 % であり、位相差は 234 度であった。

[0153] <実施例 32>

吸収層の材料を金 (Au) とチタン (Ti) が 65 : 35 の原子数比率で均質となる混合材料 (AuTi) に変更し、膜厚 47 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 32 の反射型フォトリソマスクを作製した。

[0154] 上記のように形成した実施例 32 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.918$ 、 $k = 0.039$ であった。

[0155] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 1.3% であり、位相差は 225 度であった。

[0156] <実施例 33>

吸収層の材料を金 (Au) とチタン (Ti) が 85 : 15 の原子数比率で均質となる混合材料 (AuTi) に変更し、膜厚 46 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 33 の反射型フォトマスクを作製した。

[0157] 上記のように形成した実施例 33 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.907$ 、 $k = 0.046$ であった。

[0158] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 2.2% であり、位相差は 240 度であった。

[0159] <実施例 34>

吸収層の材料を金 (Au) とジルコニウム (Zr) が 70 : 30 の原子数比率で均質となる混合材料 (AuZr) に変更し、膜厚 51 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 34 の反射型フォトマスクを作製した。

[0160] 上記のように形成した実施例 34 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.917$ 、 $k = 0.038$ であった。

[0161] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 2.1% であり、位相差は 218 度であった。

[0162] <実施例 35>

吸収層の材料を金 (Au) とジルコニウム (Zr) が 90 : 10 の原子数比率で均質となる混合材料 (AuZr) に変更し、膜厚 46 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 35 の反射型フォトマスクを作製した。

[0163] 上記のように形成した実施例 35 の吸収層の波長 13.5 nm における屈

折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.905$ 、 $k = 0.047$ であった。

[0164] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 2.5% であり、位相差は 248 度であった。

[0165] <実施例 36>

吸収層の材料をイリジウム (Ir) とモリブデン (Mo) が $30:70$ の原子数比率で均質となる混合材料 (IrMo) に変更し、膜厚 49 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 36 の反射型フォトマスクを作製した。

[0166] 上記のように形成した実施例 36 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.918$ 、 $k = 0.018$ であった。

[0167] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 7.6% であり、位相差は 209 度であった。

[0168] <実施例 37>

吸収層の材料をイリジウム (Ir) とモリブデン (Mo) が $90:10$ の原子数比率で均質となる混合材料 (IrMo) に変更し、膜厚 45 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 37 の反射型フォトマスクを作製した。

[0169] 上記のように形成した実施例 37 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.907$ 、 $k = 0.041$ であった。

[0170] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 3.7% であり、位相差は 227 度であった。

[0171] <実施例 38>

吸収層の材料をイリジウム (Ir) とタングステン (W) が $50:50$ の原子数比率で均質となる混合材料 (IrW) に変更し、膜厚 47 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 38 の反射型

フォトマスクを作製した。

[0172] 上記のように形成した実施例38の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.919$ 、 $k=0.039$ であった。

[0173] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は1.3%であり、位相差は225度であった。

[0174] <実施例39>

吸収層の材料をイリジウム(Ir)とタングステン(W)が90:10の原子数比率で均質となる混合材料(IrW)に変更し、膜厚46nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、実施例39の反射型フォトマスクを作製した。

[0175] 上記のように形成した実施例39の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.908$ 、 $k=0.044$ であった。

[0176] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は2.2%であり、位相差は240度であった。

[0177] <実施例40>

吸収層の材料をイリジウム(Ir)とニオブ(Nb)が50:50の原子数比率で均質となる混合材料(IrNb)に変更し、膜厚47nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、実施例40の反射型フォトマスクを作製した。

[0178] 上記のように形成した実施例40の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.920$ 、 $k=0.025$ であった。

[0179] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は6%であり、位相差は214度であった。

[0180] <実施例41>

吸収層の材料をイリジウム(Ir)とニオブ(Nb)が90:10の原子

数比率で均質となる混合材料（IrNb）に変更し、膜厚46nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、実施例41の反射型フォトマスクを作製した。

[0181] 上記のように形成した実施例41の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.908$ 、 $k=0.041$ であった。

[0182] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は3.1%であり、位相差は237度であった。

[0183] <実施例42>

吸収層の材料をイリジウム（Ir）とタンタル（Ta）が85：15の原子数比率で均質となる混合材料（IrTa）に変更し、膜厚45nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、実施例42の反射型フォトマスクを作製した。

[0184] 上記のように形成した実施例42の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.911$ 、 $k=0.044$ であった。

[0185] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は2.8%であり、位相差は219度であった。

[0186] <実施例43>

吸収層の材料をイリジウム（Ir）とタンタル（Ta）が95：5の原子数比率で均質となる混合材料（IrTa）に変更し、膜厚46nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、実施例43の反射型フォトマスクを作製した。

[0187] 上記のように形成した実施例43の吸収層の波長13.5nmにおける屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n=0.907$ 、 $k=0.045$ であった。

[0188] また、上記吸収層の波長13.5nmにおける絶対反射率は2.5%であり、位相差は248度であった。

[0189] <実施例 4 4>

吸収層の材料をイリジウム（I r）とバナジウム（V）が 6 5 : 3 5 の原子数比率で均質となる混合材料（I r V）に変更し、膜厚 4 5 n m になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 4 4 の反射型フォトマスクを作製した。

[0190] 上記のように形成した実施例 4 4 の吸収層の波長 1 3 . 5 n m における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0 . 9 1 8$ 、 $k = 0 . 0 3 8$ であった。

[0191] また、上記吸収層の波長 1 3 . 5 n m における絶対反射率は 3 . 4 % であり、位相差は 2 0 1 度であった。

[0192] <実施例 4 5>

吸収層の材料をイリジウム（I r）とバナジウム（V）が 9 0 : 1 0 の原子数比率で均質となる混合材料（I r V）に変更し、膜厚 4 6 n m になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 4 5 の反射型フォトマスクを作製した。

[0193] 上記のように形成した実施例 4 5 の吸収層の波長 1 3 . 5 n m における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0 . 9 0 9$ 、 $k = 0 . 0 4 3$ であった。

[0194] また、上記吸収層の波長 1 3 . 5 n m における絶対反射率は 2 . 2 % であり、位相差は 2 4 0 度であった。

[0195] <実施例 4 6>

吸収層の材料をレニウム（R e）とモリブデン（M o）が 4 5 : 5 5 の原子数比率で均質となる混合材料（R e M o）に変更し、膜厚 4 8 n m になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 4 6 の反射型フォトマスクを作製した。

[0196] 上記のように形成した実施例 4 6 の吸収層の波長 1 3 . 5 n m における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0 . 9 2 0$ 、 $k = 0 . 0 2 1$ であった。

[0197] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 7.8%であり、位相差は 213 度であった。

[0198] <実施例 47>

吸収層の材料をレニウム (Re) とモリブデン (Mo) が 90 : 10 の原子数比率で均質となる混合材料 (ReMo) に変更し、膜厚 47 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 47 の反射型フォトマスクを作製した。

[0199] 上記のように形成した実施例 47 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.916$ 、 $k = 0.037$ であった。

[0200] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 2.5%であり、位相差は 234 度であった。

[0201] <実施例 48>

吸収層の材料をレニウム (Re) とタングステン (W) が 75 : 25 の原子数比率で均質となる混合材料 (ReW) に変更し、膜厚 46 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 48 の反射型フォトマスクを作製した。

[0202] 上記のように形成した実施例 48 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.920$ 、 $k = 0.038$ であった。

[0203] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 2.4%であり、位相差は 216 度であった。

[0204] <実施例 49>

吸収層の材料をレニウム (Re) とタングステン (W) が 95 : 5 の原子数比率で均質となる混合材料 (ReW) に変更し、膜厚 46 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 49 の反射型フォトマスクを作製した。

[0205] 上記のように形成した実施例 49 の吸収層の波長 13.5 nm における屈

折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.916$ 、 $k = 0.040$ であった。

[0206] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 2.8% であり、位相差は 227 度であった。

[0207] <実施例 50>

吸収層の材料をレニウム (Re) とニオブ (Nb) が $75:25$ の原子数比率で均質となる混合材料 (ReNb) に変更し、膜厚 48 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 50 の反射型フォトマスクを作製した。

[0208] 上記のように形成した実施例 50 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.920$ 、 $k = 0.031$ であった。

[0209] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 2.5% であり、位相差は 213 度であった。

[0210] <実施例 51>

吸収層の材料をレニウム (Re) とニオブ (Nb) が $90:10$ の原子数比率で均質となる混合材料 (ReNb) に変更し、膜厚 46 nm になるように成膜した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 51 の反射型フォトマスクを作製した。

[0211] 上記のように形成した実施例 51 の吸収層の波長 13.5 nm における屈折率 n 、消衰係数 k は、それぞれ $n = 0.917$ 、 $k = 0.037$ であった。

[0212] また、上記吸収層の波長 13.5 nm における絶対反射率は 4% であり、位相差は 224 度であった。

[0213] <比較例 1>

比較例 1 では、従来のタンタル (Ta) を主材料とした既存膜を備えたフォトマスクを用いた。比較例 1 では、窒化タンタル (Ta_3N_5) を用いて膜厚 58 nm になるよう吸収層を形成し、酸化タンタル (Ta_2O_5) を用いて膜厚

2 nmになるよう最表層を形成して反射型フォトマスクを作製した。それ以外は、実施例1と同様の方法で比較例1の反射型フォトマスクを作製した。

[0214] 上記のように形成した比較例1の吸収層の波長13.5 nmにおける絶対反射率は1.3%であり、位相差は160度であった。

[0215] <比較例2>

吸収層の材料をロジウム(Rh)とアルミニウム(Al)が60:40の原子数比率で均質となる混合材料(RhAl)に変更し、膜厚47 nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、比較例2の反射型フォトマスクを作製した。

[0216] 上記のように形成した比較例2の吸収層の波長13.5 nmにおける屈折率n、消衰係数kは、それぞれ $n=0.932$ 、 $k=0.03$ であった。

[0217] また、上記吸収層の波長13.5 nmにおける絶対反射率は3.1%であり、位相差は180度であった。

[0218] <比較例3>

吸収層の材料のRhAlの組成を原子数比率で $Rh:Al=89:11$ となるように変更し、膜厚47 nmになるように成膜した。それ以外は実施例1と同様の方法で、比較例3の反射型フォトマスクを作製した。

[0219] 上記のように形成した比較例3の吸収層の波長13.5 nmにおける屈折率n、消衰係数kは、それぞれ $n=0.892$ 、 $k=0.03$ であった。

[0220] また、上記吸収層の波長13.5 nmにおける絶対反射率は6.3%であり、位相差は285度であった。

[0221] <評価>

上述した実施例1～51、比較例1～3で得られた反射型フォトマスクについて、以下の方法で転写性能の評価を行った。転写性能はウェハ露光評価により確認した。また、解像性は、NILS(Normalized Image Log-Slope:規格化空間像対数傾斜)値により評価した。

[0222] EUV露光装置(NXE3300B:ASML社製)を用いて、EUVポジ型化学増幅型レジストを塗布した半導体ウェハ上に、各実施例、比較例で

作製した反射型フォトマスクの吸収パターンを転写露光した。このとき、露光量は、ホールパターンが設計通りの19 nmに転写するように調節した。その後、電子線寸法測定機により転写されたレジストパターンの観察及び線幅測定を実施し、解像性を確認し、以下の「◎」、「○」、「△」、「×」の4段階で評価した。

<評価基準>

◎：NILS値が2.73より大きい場合

○：NILS値が2.48以上であり、2.73以下である場合

△：NILS値が2.40以上であり、2.48より小さい場合

×：NILS値が2.40より小さい場合

以上の評価結果を表1に示す。

[0223] なお、NILS値については、「○」以上の評価であれば、転写性能に問題はないたため、合格とした。

[0224]

[表1]

	材料(組成)	膜厚(nm)	n	k	位相差(度)	反射率(%)	NILS	評価
実施例1	RhAl(Al34%)	47	0.924	0.03	205	3.4	2.66	○
実施例2	RhAl(Al30%)	47	0.919	0.03	220	3.7	2.73	○
実施例3	RhAl(Al25%)	47	0.912	0.03	240	4.3	2.76	◎
実施例4	RhAl(Al18%)	47	0.902	0.03	265	5.3	2.67	○
実施例5	RhAl(Al14%)	47	0.896	0.03	275	5.9	2.56	○
実施例6	RhAl(Al33%)	54	0.923	0.03	240	2.6	2.74	◎
実施例7	RhAl(Al16%)	41	0.899	0.03	240	4.4	2.78	◎
実施例8	RhAl(Al2%)	38	0.878	0.03	240	9.2	2.71	○
実施例9	Rh	33	0.875	0.03	240	11.0	2.53	○
実施例10	RuNb(Nb15%)	44	0.895	0.015	240	17.0	2.48	○
実施例11	RuAl(Al41%)	73	0.940	0.023	240	3.7	2.73	○
実施例12	SnRuO(Ru80%)	42	0.896	0.03	240	3.1	2.78	◎
実施例13	SnRuO(Ru80%)	39	0.896	0.03	225	8.9	2.65	○
実施例14	InRuO(Ru85%)	42	0.895	0.03	240	3.3	2.78	◎
実施例15	InRuO(Ru85%)	39	0.895	0.03	225	9.3	2.64	○
実施例16	TaTi(Ti40%)	78	0.947	0.030	212	1.2	2.48	○
実施例17	Ti	80	0.952	0.014	212	6.5	2.56	○
実施例18	MoPd(Pd60%)	45	0.896	0.030	235	6.6	2.76	◎
実施例19	Pt	45	0.890	0.060	243	1.3	2.72	○
実施例20	IrPt(Pt25%)	45	0.902	0.049	234	2.2	2.74	◎
実施例21	IrAu(Au60%)	45	0.901	0.049	234	2.2	2.74	◎
実施例22	RePt(Pt25%)	46	0.909	0.045	240	2.2	2.75	◎
実施例23	ReAu(Au60%)	45	0.905	0.047	227	2.8	2.74	◎
実施例24	PtMo(Mo80%)	48	0.918	0.017	213	7.8	2.65	○
実施例25	PtMo(Mo20%)	45	0.898	0.049	234	2.2	2.74	◎
実施例26	PtNb(Nb65%)	47	0.919	0.024	214	6.0	2.68	○
実施例27	PtNb(Nb20%)	45	0.900	0.049	234	2.2	2.74	◎
実施例28	AuMo(Mo75%)	49	0.918	0.018	209	7.6	2.63	○
実施例29	AuMo(Mo5%)	39	0.900	0.050	228	2.7	2.75	◎
実施例30	AuNb(Nb55%)	48	0.918	0.026	213	4.5	2.71	○
実施例31	AuNb(Nb10%)	45	0.903	0.047	234	2.2	2.74	◎
実施例32	AuTi(Ti35%)	47	0.918	0.039	225	1.3	2.69	○
実施例33	AuTi(Ti15%)	46	0.907	0.046	240	2.2	2.75	◎
実施例34	AuZr(Zr30%)	51	0.917	0.038	218	2.1	2.67	○
実施例35	AuZr(Zr10%)	46	0.905	0.047	248	2.5	2.74	◎
実施例36	IrMo(Mo70%)	49	0.918	0.018	209	7.6	2.63	○
実施例37	IrMo(Mo10%)	45	0.907	0.041	227	3.7	2.74	◎
実施例38	IrW(W50%)	47	0.919	0.039	225	1.3	2.69	○
実施例39	IrW(W10%)	46	0.908	0.044	240	2.2	2.75	◎
実施例40	IrNb(Nb50%)	47	0.920	0.025	214	6.0	2.68	○
実施例41	IrNb(Nb10%)	46	0.908	0.041	237	3.1	2.76	◎
実施例42	IrTa(Ta15%)	45	0.911	0.044	219	2.8	2.71	○
実施例43	IrTa(Ta5%)	46	0.907	0.045	248	2.5	2.74	◎
実施例44	IrV(V35%)	45	0.918	0.038	201	3.4	2.60	○
実施例45	IrV(V10%)	46	0.909	0.043	240	2.2	2.75	◎
実施例46	ReMo(Mo55%)	48	0.920	0.021	213	7.8	2.65	○
実施例47	ReMo(Mo10%)	47	0.916	0.037	234	2.5	2.75	◎
実施例48	ReW(W25%)	46	0.920	0.038	216	2.4	2.71	○
実施例49	ReW(W5%)	46	0.916	0.040	227	2.8	2.74	◎
実施例50	ReNb(Nb25%)	48	0.920	0.031	213	2.5	2.70	○
実施例51	ReNb(Nb10%)	46	0.917	0.037	224	4.0	2.74	◎
比較例1	TaN+TaO	60	0.950	0.03	160	1.3	2.37	×
比較例2	RhAl(Al40%)	47	0.932	0.03	180	3.1	2.47	△
比較例3	RhAl(Al11%)	47	0.892	0.03	285	6.3	2.47	△

[0225] 表1に、実施例1～51、比較例1～3の評価結果を示す。

従来の膜厚60nmのタンタル(Ta)系吸収層を備えた比較例1の位相

差は160度であり、NILSは2.37であった。実施例1～51のように吸収パターン層の位相差が200度以上280度以下である場合には、比較例1と比べてNILSが大きく、解像性が向上することが分かった。

また、位相差が180度である比較例2、位相差が285度である比較例3と比べても、位相差が200度以上280度以下である実施例1～51はNILSが大きく、解像性が向上することが分かった。

以下、表1及び、図9に示すグラフを用いて、各実施例及び各比較例のNILSを比較した結果について、詳細に説明する。

[0226] 図9及び表1の実施例1～5、比較例2、3に示すように、膜厚が47nmであり、且つRhAIで形成された吸収パターン層14aの位相差が180度である比較例2のNILSの値は2.47である。これに対し、位相差が205度である実施例1のNILSの値は2.66であり、位相差が180度である場合（比較例2）に比べてその値は約7%高くなっている。

また、位相差が220度である実施例2のNILSの値は2.73であり、位相差が180度である場合（比較例2）に比べてその値は約10%高くなっている。

また、位相差が240度である実施例3のNILSの値は2.76であり、位相差が180度である場合（比較例2）に比べてその値は約12%高くなっている。

また、位相差が265度である実施例4のNILSの値は2.67であり、位相差が180度である場合（比較例2）に比べてその値は約8%高くなっている。

また、位相差が275度である実施例5のNILSの値は2.56であり、位相差が180度である場合（比較例2）に比べてその値は約4%高くなっている。

一方で、位相差が285度である比較例3のNILSの値は2.46であり、位相差が180度である場合（比較例2）と比べてほぼ同じ値である。

また、図9及び表1の実施例6に示すように、吸収パターン層14aの膜

厚が54 nmである場合、位相差が240度である実施例6のNILSの値は2.74であり、同じ膜厚で位相差が180度である場合に比べてその値は約10%高くなっている。

また、図9及び表1の実施例7に示すように、吸収パターン層14aの膜厚が41 nmである場合、位相差が240度である実施例7のNILSの値は2.78であり、同じ膜厚で位相差が180度である場合に比べてその値は約13%高くなっている。

また、図9及び表1の実施例8に示すように、吸収パターン層14aの膜厚が38 nmである場合、位相差が240度である実施例8のNILSの値は2.71であり、同じ膜厚で位相差が180度である場合に比べてその値は約31%高くなっている。

[0227] これらのことから、解像性を向上させるためには、位相差は200度以上280度以下の範囲内が好ましく、215度以上270度以下の範囲内がさらに好ましく、230度以上260度以下の範囲内が最も好ましいことが分かる。

つまり、反射型マスクにおける吸収層の好適な位相差の範囲は、従来の設計思想で用いられてきた「170度以上190度以下の範囲内」とは大きく異なり、「200度以上280度以下の範囲内」である。

[0228] 膜厚が33 nmのロジウム（Rh）で形成され、位相差が240度の実施例9のNILSは2.53であり、膜厚が44 nmのルテニウム（Ru）とニオブ（Nb）とを原子数比率が85：15となるように含有した材料で形成され、位相差が240度の実施例10のNILSは2.48であった。

[0229] 実施例6～10は、反射率がそれぞれ2.6%、4.4%、9.2%、11.0%、17.0%で異なる場合を示したが、反射率によらず、全ての場合で各比較例より良好な転写性が得られた。このことから、2%以上20%以下の範囲内の反射率であれば、十分な位相シフト効果が得られ、解像性が向上することが分かる。

[0230] 膜厚が72 nmのルテニウム（Ru）とアルミニウム（Al）とを原子数

比率が59 : 41となるように含有した材料で形成され、位相差が240度の実施例11のNILSは2.73であった。実施例11は屈折率 n が0.94と高いため、比較例1の従来膜の60 nmよりも膜厚が厚く、射影効果を低減できなかったが、位相シフト効果によりNILSは良好であった。

[0231] 膜厚が42 nmの酸化錫(SnO)とルテニウム(Ru)とを原子数比率が20 : 80となるように含有した材料で形成され、位相差が240度の実施例12のNILSは2.78であり、膜厚が39 nmの酸化錫(SnO)とルテニウム(Ru)とを原子数比率が20 : 80となるように含有した材料で形成され、位相差が225度の実施例13のNILSは2.65であり、膜厚が42 nmの酸化インジウム(InO)とルテニウム(Ru)とを原子数比率が15 : 85となるように含有した材料で形成され、位相差が240度の実施例14のNILSは2.78であり、膜厚が39 nmの酸化インジウム(InO)とルテニウム(Ru)とを原子数比率が15 : 85となるように含有した材料で形成され、位相差が225度の実施例15のNILSは2.64であった。

[0232] このように加工性に優れた錫(Sn)やインジウム(In)を含んだ材料で吸収層14(吸収パターン層14a)を形成した場合でも位相シフト効果が得られ、解像性が向上した。

[0233] 膜厚が78 nmのタンタル(Ta)とチタン(Ti)とを原子数比率が60 : 40となるように含有した材料で形成され、位相差が212度の実施例16のNILSは2.48であり、膜厚80 nmのチタン(Ti)で形成され、位相差が212度の実施例17のNILSは2.56であった。実施例16及び17は、屈折率 n がそれぞれ0.947、0.952と相対的に高いため、比較例1の従来膜の60 nmよりも膜厚が厚く、射影効果を低減できなかったが、位相シフト効果によりNILSは良好であった。また、実施例16及び17の反射率はそれぞれ1.2%、6.5%であり、反射率が2%以上20%以下の範囲内にある実施例17の方がよりNILSが良好であった。

[0234] 膜厚が45 nmのモリブデン (Mo) とパラジウム (Pd) とを原子数比率が40 : 60となるように含有した材料で形成され、位相差が235度の実施例18のNILSは2.76であり、膜厚45 nmの白金 (Pt) で形成され、位相差が243度の実施例19のNILSは2.72であった。実施例18及び19は、共に位相シフト効果によりNILSが良好であった。また、実施例18及び19の反射率はそれぞれ6.6%、1.3%であり、反射率が2%以上20%以下の範囲内にある実施例18の方がよりNILSが良好であった。

[0235] 膜厚が45 nmのイリジウム (Ir) と白金 (Pt) とを原子数比率が75 : 25となるように含有した材料で形成され、位相差が234度の実施例20のNILSは2.74であり、膜厚が45 nmのイリジウム (Ir) と金 (Au) とを原子数比率が40 : 60となるように含有した材料で形成され、位相差が234度の実施例21のNILSは2.74であり、膜厚が46 nmのレニウム (Re) と白金 (Pt) とを原子数比率が75 : 25となるように含有した材料で形成され、位相差が240度の実施例22のNILSは2.75であり、膜厚が45 nmのレニウム (Re) と金 (Au) とを原子数比率が40 : 60となるように含有した材料で形成され、位相差が227度の実施例23のNILSは2.74であった。

[0236] このように、屈折率 n が小さく、かつ加工性と水素耐性に優れた第3の材料群のみの元素で構成された吸収層14 (吸収パターン層14a) を形成した場合でも位相シフト効果が得られ、解像性が向上した。

[0237] 膜厚が48 nmの白金 (Pt) とモリブデン (Mo) とを原子数比率が20 : 80となるように含有した材料で形成され、位相差が213度の実施例24のNILSは2.65であり、膜厚が45 nmの白金 (Pt) とモリブデン (Mo) とを原子数比率が80 : 20となるように含有した材料で形成され、位相差が234度の実施例25のNILSは2.74であった。

また、膜厚が47 nmの白金 (Pt) とニオブ (Nb) とを原子数比率が35 : 65となるように含有した材料で形成され、位相差が214度の実施

例26のNILSは2.68であり、膜厚が45nmの白金(Pt)とニオブ(Nb)とを原子数比率が80:20となるように含有した材料で形成され、位相差が234度の実施例27のNILSは2.74であった。

[0238] また、膜厚が49nmの金(Au)とモリブデン(Mo)とを原子数比率が25:75となるように含有した材料で形成され、位相差が209度の実施例28のNILSは2.63であり、膜厚が39nmの金(Au)とモリブデン(Mo)とを原子数比率が95:5となるように含有した材料で形成され、位相差が228度の実施例29のNILSは2.75であった。

また、膜厚が48nmの金(Au)とニオブ(Nb)とを原子数比率が45:55となるように含有した材料で形成され、位相差が213度の実施例30のNILSは2.71であり、膜厚が45nmの金(Au)とニオブ(Nb)とを原子数比率が90:10となるように含有した材料で形成され、位相差が234度の実施例31のNILSは2.74であった。

[0239] また、膜厚が47nmの金(Au)とチタン(Ti)とを原子数比率が65:35となるように含有した材料で形成され、位相差が225度の実施例32のNILSは2.69であり、膜厚が46nmの金(Au)とチタン(Ti)とを原子数比率が85:15となるように含有した材料で形成され、位相差が240度の実施例33のNILSは2.75であった。

また、膜厚が51nmの金(Au)とジルコニウム(Zr)とを原子数比率が70:30となるように含有した材料で形成され、位相差が218度の実施例34のNILSは2.67であり、膜厚が46nmの金(Au)とジルコニウム(Zr)とを原子数比率が90:10となるように含有した材料で形成され、位相差が248度の実施例35のNILSは2.74であった。

[0240] また、膜厚が49nmのイリジウム(Ir)とモリブデン(Mo)とを原子数比率が30:70となるように含有した材料で形成され、位相差が209度の実施例36のNILSは2.63であり、膜厚が45nmのイリジウム(Ir)とモリブデン(Mo)とを原子数比率が90:10となるように

含有した材料で形成され、位相差が227度の実施例37のNILSは2.74であった。

また、膜厚が47nmのイリジウム(Ir)とタングステン(W)とを原子数比率が50:50となるように含有した材料で形成され、位相差が225度の実施例38のNILSは2.69であり、膜厚が46nmのイリジウム(Ir)とタングステン(W)とを原子数比率が90:10となるように含有した材料で形成され、位相差が240度の実施例39のNILSは2.75であった。

[0241] また、膜厚が47nmのイリジウム(Ir)とニオブ(Nb)とを原子数比率が50:50となるように含有した材料で形成され、位相差が214度の実施例40のNILSは2.68であり、膜厚が46nmのイリジウム(Ir)とニオブ(Nb)とを原子数比率が90:10となるように含有した材料で形成され、位相差が237度の実施例41のNILSは2.76であった。

また、膜厚が45nmのイリジウム(Ir)とタンタル(Ta)とを原子数比率が85:15となるように含有した材料で形成され、位相差が219度の実施例42のNILSは2.71であり、膜厚が46nmのイリジウム(Ir)とタンタル(Ta)とを原子数比率が95:5となるように含有した材料で形成され、位相差が248度の実施例43のNILSは2.74であった。

[0242] また、膜厚が45nmのイリジウム(Ir)とバナジウム(V)とを原子数比率が65:35となるように含有した材料で形成され、位相差が201度の実施例44のNILSは2.6であり、膜厚が46nmのイリジウム(Ir)とバナジウム(V)とを原子数比率が90:10となるように含有した材料で形成され、位相差が240度の実施例45のNILSは2.75であった。

また、膜厚が48nmのレニウム(Re)とモリブデン(Mo)とを原子数比率が45:55となるように含有した材料で形成され、位相差が213

度の実施例46のNILSは2.65であり、膜厚が47nmのレニウム（Re）とモリブデン（Mo）とを原子数比率が90：10となるように含有した材料で形成され、位相差が234度の実施例47のNILSは2.75であった。

[0243] また、膜厚が46nmのレニウム（Re）とタングステン（W）とを原子数比率が75：25となるように含有した材料で形成され、位相差が216度の実施例48のNILSは2.71であり、膜厚が46nmのレニウム（Re）とタングステン（W）とを原子数比率が95：5となるように含有した材料で形成され、位相差が227度の実施例49のNILSは2.74であった。

また、膜厚が48nmのレニウム（Re）とニオブ（Nb）とを原子数比率が75：25となるように含有した材料で形成され、位相差が213度の実施例50のNILSは2.7であり、膜厚が46nmのレニウム（Re）とニオブ（Nb）とを原子数比率が90：10となるように含有した材料で形成され、位相差が224度の実施例51のNILSは2.74であった。

[0244] このように、屈折率nが小さい第3の材料群の元素に加えて、加工性と水素耐性に優れた第4の材料群の元素を含んだ材料で吸収層14（吸収パターン層14a）を形成した場合でも位相シフト効果が得られ、解像性が向上した。また、第3の材料群の元素の含有率が吸収層14全体の元素の20原子%以上である場合、NILSは良好であった。また、吸収層14に含まれる第3の材料群の元素と第4の材料群の元素の組み合わせが同じ場合、第3の材料群の元素の含有率が多いほどNILSがより良好であった。

[0245] なお、本開示の反射型フォトマスクブランク及び反射型フォトマスクは、上記の実施形態及び実施例に限定されるものではなく、発明の特徴を損なわない範囲において種々の変更が可能である。

産業上の利用可能性

[0246] 本発明に係る反射型フォトマスクブランク及び反射型フォトマスクは、半導体集積回路などの製造工程において、EUV露光によって微細なパターン

を形成するために好適に用いることができる。

符号の説明

- [0247] 1 1 …基板
1 2 …反射層
1 3 …保護層
1 4 …吸収層
1 4 a …吸収パターン（吸収パターン層）
1 5 …裏面導電膜
1 6 …レジスト膜
1 6 a …レジストパターン
1 0 0 …反射型フォトマスクブランク
2 0 0 …反射型フォトマスク

請求の範囲

- [請求項1] 基板と、
前記基板上に形成された多層膜構造を有するEUV光を反射する反射層と、
前記反射層上に形成され、該反射層を保護する保護層と、
前記保護層上に形成されたEUV光を吸収する吸収層と、を備え、
前記吸収層は、200度以上280度以下の範囲内の位相差を有することを特徴とする反射型フォトリソマスクブランク。
- [請求項2] 前記吸収層は、215度以上270度以下の範囲内の位相差を有することを特徴とする請求項1に記載の反射型フォトリソマスクブランク。
- [請求項3] 前記吸収層は、230度以上260度以下の範囲内の位相差を有することを特徴とする請求項1に記載の反射型フォトリソマスクブランク。
- [請求項4] 前記吸収層は、EUV光に対する屈折率 n が0.93より小さいことを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の反射型フォトリソマスクブランク。
- [請求項5] 前記吸収層は、EUV光に対する屈折率 n が0.92より小さいことを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の反射型フォトリソマスクブランク。
- [請求項6] 前記吸収層は、Ru、Rh、Mo、Pd、Ag、Pt、Au、Os、Ir、及びReのうち少なくとも1種類以上の元素を含む材料から構成されることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の反射型フォトリソマスクブランク。
- [請求項7] 前記吸収層は、EUV光に対する反射率が2%以上20%以下の範囲内であることを特徴とする請求項1から請求項6のいずれか1項に記載の反射型フォトリソマスクブランク。
- [請求項8] 前記吸収層は、Pt、Au、Ir、及びReのうち少なくとも1種類以上の元素を含む材料から構成されることを特徴とする請求項1から請求項7のいずれか1項に記載の反射型フォトリソマスクブランク。

- [請求項9] 前記吸収層は、Mo、W、Nb、Hg、Fe、Ta、V、Bi、Ti、Zr、Hf、C、B、Be、及びAlのうち少なくとも1種類以上の元素をさらに含むことを特徴とする請求項6または請求項8に記載の反射型フォトリソマスク。
- [請求項10] 基板と、
前記基板上に形成された多層膜構造を有するEUV光を反射する反射層と、
前記反射層上に形成され、該反射層を保護する保護層と、
前記保護層上に形成され、パターンが形成されているEUV光を吸収する吸収パターン層と、を備え、
前記吸収パターン層は、200度以上280度以下の範囲内の位相差を有することを特徴とする反射型フォトリソマスク。
- [請求項11] 前記吸収パターン層は、215度以上270度以下の範囲内の位相差を有することを特徴とする請求項10に記載の反射型フォトリソマスク。
- [請求項12] 前記吸収パターン層は、230度以上260度以下の範囲内の位相差を有することを特徴とする請求項10に記載の反射型フォトリソマスク。
- [請求項13] 前記吸収パターン層は、EUV光に対する屈折率 n が0.93より小さいことを特徴とする請求項10から請求項12のいずれか1項に記載の反射型フォトリソマスク。
- [請求項14] 前記吸収パターン層は、EUV光に対する屈折率 n が0.92より小さいことを特徴とする請求項10から請求項12のいずれか1項に記載の反射型フォトリソマスク。
- [請求項15] 前記吸収パターン層は、Ru、Rh、Mo、Pd、Ag、Pt、Au、Os、Ir、及びReのうち少なくとも1種類以上の元素を含む材料から構成されることを特徴とする請求項10から請求項14のいずれか1項に記載の反射型フォトリソマスク。

- [請求項16] 前記吸収パターン層は、EUV光に対する反射率が2%以上20%以下の範囲内であることを特徴とする請求項10から請求項15のいずれか1項に記載の反射型フォトマスク。
- [請求項17] 前記吸収パターン層は、Pt、Au、Ir、及びReのうち少なくとも1種類以上の元素を含む材料から構成されることを特徴とする請求項10から請求項16のいずれか1項に記載の反射型フォトマスク。
- [請求項18] 前記吸収パターン層は、Mo、W、Nb、Hg、Fe、Ta、V、Bi、Ti、Zr、Hf、C、B、Be、及びAlのうち少なくとも1種類以上の元素をさらに含むことを特徴とする請求項15または請求項17に記載の反射型フォトマスク。