

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、半導体デバイス等の製造において使用される反射型マスクブランク及び反射型マスクに関する。

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いては、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、半導体デバイスの製造プロセスにおいて、従来の波長193nmのArFエキシマレーザー光を用いた露光光源から、波長13.5nmのEUV露光光源に置き換わってきている。

[0003] EUV光は波長が短いので、ほとんどの物質が高い光吸収性を持つ。このため、EUV用のフォトマスク（EUVマスク）は、従来の透過型マスクと異なり、反射型マスクである（例えば、特許文献1、特許文献2を参照）。特許文献1には、EUVリソグラフィに用いられる反射型露光マスクにおいて、下地基板上に2種類以上の材料層を周期的に積層させた多層膜を形成し、その多層膜上に、窒化を含む金属膜からなるパターン、または窒化金属膜と金属膜の積層構造から成るマスクパターンを形成することが開示されている。

また、特許文献2には、多層反射膜上に吸収体膜として、位相制御膜と、該位相制御膜上に高屈折率材料層と低屈折率材料層とを交互に積層した積層構造とする反射型EUVマスクが開示されている。

[0004] EUVリソグラフィは、上述の通り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。このため、EUVフォトマスクへの入射光とEUVフォトマスクでの反射光

とが同軸上に設計できない問題があり、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度傾けてEUV光を入射し、マイナス6度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。

[0005] このように、EUVリソグラフィは、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「射影効果（シャドウイング効果）」と呼ばれる問題が発生することがある。

この問題に対し、特許文献1では、位相制御膜及び低屈折率材料層として、EUVに対する消衰係数 k を0.03以上とすることで従来よりも薄い吸収体層の膜厚（60nm以下）が可能となり、射影効果を低減できる方法が開示されている。

また、特許文献2では、吸収膜として高屈折率材料層と低屈折率材料を交互に積層することで、従来よりも薄い吸収体層の膜厚で、EUV光の反射率を2%以下にすることが可能になる方法が開示されている。

[0006] また、現在のEUV露光装置では、コンタミによるチャンバー内の汚染を防ぐため、水素ラジカルによるクリーニングが行われる。フォトマスクは水素ラジカル環境下に曝されるため、水素ラジカルに対する耐久性が低いとマスクの寿命が短くなってしまうことがある。そのため、フォトマスクは水素ラジカル耐性の高い化合物材料で形成される必要がある。

[0007] しかし、特許文献1及び特許文献2の方法では、水素ラジカル耐性については言及されておらず、長期間の使用に耐えうるフォトマスクであるか明らかになっていない。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特許第6408790号

特許文献2：特許第6661724号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] このように、従来技術に係る反射型マスクブランク及び反射型マスクには、射影効果を最小限に抑えつつ、EUVの反射率を低くし（吸収率を高め）、且つ水素ラジカルへの耐性を高めたものがなかった。

そこで、本発明は、水素ラジカルへの耐性が高く、且つ射影効果を最小限に抑えることで転写性に優れた反射型マスクブランク（EUVフォトマスクブランク）および反射型マスク（EUVフォトマスク）を提供することを目的とする。換言すると、本発明は、水素ラジカルへの耐性が高く、且つEUV反射率が低く、OD値が高いEUVフォトマスクブランク（反射型マスクブランク）およびEUVフォトマスク（反射型マスク）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

[0010] 本発明の一態様に係る反射型マスクブランクは、極端紫外線を光源としたパターン転写用の反射型マスクの製造に用いられる反射型マスクブランクであって、基板と、前記基板上に形成された多層膜と、前記多層膜上に形成され、前記多層膜を保護するキャッピング膜と、前記キャッピング膜上に形成された吸収膜とを少なくとも備え、前記吸収膜は、第1の吸収膜と、第2の吸収膜とを交互に積層したものであり、前記第1の吸収膜は、水素ラジカル耐性が高く、前記第1の吸収膜の消衰係数または屈折率は、前記第2の吸収膜の消衰係数または屈折率と異なり、前記第2の吸収膜のEUV光に対する消衰係数が0.04以上である。

[0011] 本発明の一態様に係る反射型マスクは、基板と、前記基板上に形成された多層膜と、前記多層膜上に形成され、前記多層膜を保護するキャッピング膜と、前記キャッピング膜上に形成され、パターン形成された吸収膜とを少なくとも備え、前記吸収膜は、第1の吸収膜と、第2の吸収膜とを交互に積層したものであり、前記第1の吸収膜は、水素ラジカル耐性が高く、前記第1の吸収膜の消衰係数または屈折率は、前記第2の吸収膜の消衰係数または屈折率と異なり、前記第2の吸収膜のEUV光に対する消衰係数が0.04以

上である。

発明の効果

- [0012] 本発明の一態様によれば、吸収膜として、水素ラジカル耐性の高い第1の吸収膜と、EUVの消衰係数が0.04以上である第2の吸収膜とを交互に積層することで、水素ラジカルへの耐性が高く、且つ射影効果を最小限に抑えることで転写性に優れたEUVフォトリソマスクブランケット（反射型マスクブランケット）およびEUVフォトリソマスク（反射型マスク）を提供することができる。より詳しくは、本発明の一態様によれば、吸収膜として水素ラジカル耐性の高い第1の吸収膜と、EUVの消衰係数が0.04以上である第2の吸収膜とを交互に積層することで、水素ラジカルへの耐性が高く、且つEUV反射率が低く、OD値が高いEUVフォトリソマスクブランケット（反射型マスクブランケット）およびEUVフォトリソマスク（反射型マスク）を提供することができる。

図面の簡単な説明

- [0013] [図1]本発明の実施形態に係る反射型フォトリソマスクブランケットの構成を模式的に示す断面図である。
- [図2]本発明の実施形態に係る反射型フォトリソマスクの構成を模式的に示す断面図である。
- [図3]EUV光の波長における各金属の光学定数を示すグラフである。
- [図4]本実施形態に係る水素ラジカル耐性評価方法を示す概念図である。
- [図5]本発明の実施形態に係る反射型フォトリソマスクの変形例を模式的に示す断面図である。

発明を実施するための形態

- [0014] 本発明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、本発明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、本発明の技術的思想は、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。本発明の技術的思想は、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。

[0015] (反射型フォトマスクの構成)

本発明の実施形態に係る反射型フォトマスクブランク（反射型マスクブランク）及び反射型フォトマスク（反射型マスク）の基本構成について、図1及び図2を用いて説明する。

図1は、本発明の実施形態に係る反射型フォトマスクブランク10を示す概略断面図である。また、図2は、本発明の実施形態に係る反射型フォトマスク20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20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10の反射層4をパターンニングして形成される。

[0016] 本発明の実施形態に係る反射型フォトマスクブランク10は、極端紫外線を光源としたパターン転写用の反射型フォトマスクの製造に用いられる反射型フォトマスクブランクであって、基板（低熱膨張膜）1と、基板1上に形成された多層反射膜（多層膜）2と、多層反射膜2上に形成され、多層反射膜2を保護するキャッピング膜（キャッピング層）3と、キャッピング膜3上に形成された低反射部（吸収膜）5とを少なくとも備えている。

低反射部5は、第1の吸収膜51と第2の吸収膜52とを交互に積層した積層体である。また、第1の吸収膜51は、水素ラジカル耐性が高い材料で形成された層である。また、第1の吸収膜51の消衰係数または屈折率は、第2の吸収膜52の消衰係数または屈折率と異なっている。さらに、第2の吸収膜52のEUV光に対する消衰係数は0.04以上である。

[0017] 以下、反射型フォトマスクブランク10及び反射型フォトマスク20の各構成について詳しく説明する。

[0018] 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10は、基板1上に多層反射膜2、多層反射膜2上にキャッピング層3を備えている。これにより、基板1上には多層反射膜2及びキャッピング層3を

有する反射層 4 が形成されている。

また、反射層 4 上に低反射部 5 を備えている。低反射部 5 は、例えば 4 層以上で構成された積層体であって、第 1 の層として水素ラジカル耐性の高い第 1 の吸収膜 5 1 と、第 2 の層として消衰係数が 0.04 以上である第 2 の吸収膜 5 2 とを交互に備えた積層体である。

[0019] (基板)

本発明の実施形態に係る基板 1 には、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、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、本発明ではこれらに限定されるものではない。

[0020] (多層反射膜)

本発明の実施形態に係る多層反射膜 2 は、露光光である EUV 光（極端紫外光）を反射するもので、EUV 光に対する屈折率が大きく異なる材料の組み合わせによる多層膜から構成されている。例えば、多層反射膜 2 としては、Mo（モリブデン）と Si（シリコン）、または Mo（モリブデン）と Be（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することができる。

[0021] (キャッピング層)

本発明の実施形態に係るキャッピング層（キャッピング膜）3 は、低反射部パターン 5 a の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、低反射部パターン 5 a をエッチングで形成する際に、多層反射膜 2 へのダメージを防ぐエッチングストッパとして機能するものである。ここで、多層反射膜 2 の材質やエッチング条件により、キャッピング層 3 は無くてもかまわない。

また、基板 1 上の多層反射膜 2 を形成していない面に裏面導電膜 6 を形成することができる。裏面導電膜 6 は、反射型フォトマスク 20 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。

[0022] (低反射部)

反射型フォトリソマスクブランク 10 の低反射部 5 の一部を除去することにより低反射部パターン 5 a が形成される。EUV リソグラフィにおいて、EUV 光は斜めに入射し、反射層 4 で反射されるが、低反射部パターン 5 a が光路の妨げとなる射影効果のため、ウェハ上への転写性能を悪化させる。この転写性能の悪化は EUV 光を吸収する低反射部 5（低反射部パターン 5 a）の厚さを薄くすることで低減される。低反射部 5（低反射部パターン 5 a）の厚さを薄くするためには、第 2 の吸収膜 5 2 に EUV 光に対する吸収性の高い材料、つまり波長 13.5 nm に対する消衰係数 k の高い材料を適用し、且つ第 1 の吸収膜 5 1 に第 2 の吸収膜 5 2 とは消衰係数または屈折率が異なる膜を適用し、交互に積層することで可能となる。

[0023] なお、本実施形態において「消衰係数 k が高い」とは、消衰係数 k が 0.04 以上であることを意味する。消衰係数 k が 0.04 以上である化合物材料で第 2 の吸収膜 5 2 を形成することで第 2 の吸収膜 5 2 の膜厚が薄くなり、その結果、低反射部 5 の厚さを薄くすることが可能となる。消衰係数 k が 0.04 以上である化合物材料には、例えば、図 3 に示す材料がある。消衰係数 k が 0.04 以上である化合物材料（第 2 の吸収膜材料群）としては、図 3 に示すように、例えば、錫、インジウム、プラチナ、ニッケル、テルル、銀、コバルト、タンタル、アンチモン、ビスマス、オスミウム、イリジウム、及びレニウムから選ばれる 1 種以上の元素を含有する材料がある。

なお、図 3 には、水素ラジカル耐性の高い材料群（第 1 の吸収膜材料群）として、タンタル、ケイ素、チタン、ニオブ、クロム、ハフニウム、ルテニウム、モリブデン、アルミニウム、ジルコニウムから選ばれる 1 種以上の元素を含有する材料が例示されている。

[0024] 本実施形態の低反射部 5 を構成する第 1 の吸収膜 5 1 の材料に水素ラジカル耐性の高い材料群を使用することで、低反射部 5 全体の水素ラジカル耐性を高くすることができる。

なお、本実施形態において「水素ラジカル耐性の高い材料」とは、例えば図 4 に示す装置を用い、水素の流量 100 s s c m、2.45 GHz の MW

P (Micro Wave Plasma : マイクロ波プラズマ) を使って電極 301 間の距離を 18 mm に設定した条件で励起された水素ラジカル環境下で、膜減り 1 nm 以下となる化合物材料を意味する。また、「水素ラジカル耐性に優れた膜（層）」とは、上記水素ラジカル環境下で、膜減りが 1 nm 以下である膜（層）を意味する。

[0025] 第 1 の吸収膜 51 は、タンタル、ケイ素、チタン、ニオブ、クロム、ハフニウム、ルテニウム、モリブデン、アルミニウム、ジルコニウムから選ばれる 1 種以上の元素を含有していれば好ましい。第 1 の吸収膜 51 が上記元素を含有していれば、第 1 の吸収膜 51 に優れた水素ラジカル耐性を付与することができる。

また、低反射部 5 の最表層は第 1 の吸収膜 51 であれば好ましい。低反射部 5 の最表層が第 1 の吸収膜 51 であれば、低反射部 5 全体に優れた水素ラジカル耐性を付与することができる。

[0026] 第 2 の吸収膜 52 は、錫、インジウム、プラチナ、ニッケル、テルル、銀、コバルト、タンタル、アンチモン、ビスマス、オスミウム、イリジウム、及びレニウムから選ばれる 1 種以上の元素を含有していれば好ましい。第 2 の吸収膜 52 が上記元素を含有していれば、第 2 の吸収膜 52 の消衰係数 k が 0.04 より大きくなり、射影効果を低減することができる。

[0027] また、第 2 の吸収膜 52 にも水素ラジカル耐性の高い上記材料を混合した場合には、更に水素ラジカル耐性を向上させることが可能であり、より好ましい。このとき、低反射部 5 全体の消衰係数 k が 0.04 以上であれば特に問題はない。また、第 2 の吸収膜 52 の消衰係数 k が 0.04 以上であれば特に問題はない。

なお、本実施形態では、各吸収膜の消衰係数及び屈折率の調整は、各吸収膜を構成する材料の組成比を適宜調整することで行ってもよい。

[0028] 更に、低反射部パターン 5a の側面における水素ラジカルによるダメージを抑制する必要がある場合は、不働態（不動態とも表記する）処理を行っても良い。不働態処理により図 5 に示すように第 2 の吸収膜 52 のパターン側

面に水素ラジカル耐性の高い不働態層 5 2 a を形成することができ、水素ラジカル耐性をより向上させることができる。例えば、第 2 の吸収膜 5 2 に、第 1 の吸収膜 5 1 を構成する水素ラジカル耐性が高い材料（高水素ラジカル耐性材料）を添加し、第 2 の吸収膜 5 2 のパターン側面に酸化被膜（不働態層 5 2 a）を形成してもよい。なお、第 2 の吸収膜 5 2 に添加する高水素ラジカル耐性材料の含有量は、第 2 の吸収膜 5 2 の消衰係数 k が 0.04 以上であれば、特に制限されるものではない。

[0029] この薄膜層（不働態層 5 2 a）は、耐性向上の観点からその膜厚（具体的には、パターン側面から厚み）が 0.5 nm 以上 8 nm 以下の範囲内であれば好ましく、転写性向上の観点からその膜厚が 0.5 nm 以上 5 nm 以下の範囲内であれば更に好ましく、耐性向上と転写性向上の両立の観点からその膜厚が 2 nm 以上 5 nm 以下の範囲内であればより好ましい。

[0030] 第 2 の吸収膜 5 2 のパターン側面に形成される不働態層 5 2 a の形成方法は、例えば SPM や APM などの薬液処理による処理方法で形成することができる。処理方法としては上記以外の薬液や、ガスを使用してもよい。また、不働態層 5 2 a は酸化膜となっても良く、上記に挙げた方法や自然酸化により酸化膜が形成していても問題ない。

[0031] また、不働態層 5 2 a の層厚については、キャッピング層 3 側に近い第 2 の吸収膜 5 2 で厚く、低反射部 5 の最表面側に近い第 2 の吸収膜 5 2 で薄くしてもよい。

また、不働態層 5 2 a の層厚については、キャッピング層 3 側に近い第 2 の吸収膜 5 2 で薄く、低反射部 5 の最表面側に近い第 2 の吸収膜 5 2 で厚くしてもよい。

なお、不働態層 5 2 a の層厚の調整は、上記処理時間や処理剤の種類を適宜調整することで行ってもよい。

[0032] 射影効果を低減するために、低反射部 5 の合計膜厚が 47 nm 以下になるように、且つパターン転写が可能なコントラストを維持するため、OD 値が 1.5 以上になるよう低反射部 5 を形成する材料の混合比を調整する必要がある。

る。混合比の下限値は、混合する材料の光学定数に依存するため、一概には決められないが、従来膜より射影効果を低減するためには、第2の吸収膜52を形成する材料群が、非金属元素を除いて少なくとも50原子%以上含有する化合物材料であることが望ましい。更に、微細なパターンを転写するためには、反射層4と低反射部5とでそれぞれ反射した光の強度のコントラストは高い方が望ましい。よって、低反射部5のOD値は2.0以上であることが、より好ましい。

[0033] ここで、反射層4と低反射部5との光強度のコントラストを表す指標である光学濃度（OD：Optical Density）値について説明する。反射層4からの反射光の強度を R_m とし、低反射部5からの反射光の強度を R_a としたとき、OD値は、以下の式（1）で規定される。

$$OD = -\log(R_a/R_m) \quad \cdots \text{式(1)}$$

OD値は大きいほうがコントラストは良く、高い転写性が得られる。反射型フォトリソマスクにおいてパターン転写には $OD > 1$ が必要であるが、従来膜より高い転写性能を得るために、OD値は1.5以上であると、更に好ましい。

[0034] 本実施形態においては、第1の吸収膜51と第2の吸収膜52との積層数は4以上であることが望ましい。積層数は4以上であれば、薄膜化が実現できる様々な材料や膜厚の組み合わせが可能となる。また、積層数が4以上40以下の範囲内であれば十分な薄膜化を実現することが可能であり、4以上16以下の範囲内であれば、より材料や膜厚の組み合わせが可能であるためより好ましい。

[0035] また、第1の吸収膜51の構成材料の屈折率は、0.85以上1以下の範囲内であれば好ましい。なお、第1の吸収膜51の構成材料の屈折率は、材料の組み合わせ数の観点から、第2の吸収膜52の構成材料と異なる屈折率であればより望ましい。

なお、第1の吸収膜51の構成材料の屈折率は、第2の吸収膜52の構成材料の屈折率よりも大きくてもよいし、小さくてもよい。

勿論、第1の吸収膜51の構成材料の屈折率は、第2の吸収膜52の構成材料の屈折率と同じであってもよい。

[0036] また、第1の吸収膜51の構成材料の消衰係数 k は、材料の組み合わせ数の観点から、第2の吸収膜52の構成材料と異なる消衰係数 k であればより望ましい。

なお、第1の吸収膜51の構成材料の消衰係数 k は、第2の吸収膜52の構成材料の消衰係数 k よりも大きくてもよいし、小さくてもよい。

勿論、第1の吸収膜51の構成材料の消衰係数 k は、第2の吸収膜52の構成材料の消衰係数 k と同じであってもよい。

[0037] また、各吸収膜の膜厚は0.1nm以上であれば良い。低反射部5の膜厚は、各吸収膜の合計膜厚が47nm以下になるように、かつ、OD値が1.5以上になるように第1の吸収膜51の膜厚と第2の吸収膜52の膜厚とを組み合わせれば、特に制限はない。

例えば、第1の吸収膜51の膜厚と第2の吸収膜52の膜厚とを同じにしてもよい。

また、第1の吸収膜51の膜厚を第2の吸収膜52の膜厚よりも薄くしてもよい。

また、第1の吸収膜51の膜厚を第2の吸収膜52の膜厚よりも厚くしてもよい。

また、各吸収膜の膜厚を、キャッピング層3側から離れる方向に向かって（低反射部5の最表面側に向かって）徐々に薄くしてもよいし、厚くしてもよい。

[0038] [実施例]

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

[0039] <実施例1>

基板として低熱膨張性を有する合成石英基板を用いた。基板の上に、多層反射膜としてシリコン（Si）とモリブデン（Mo）とを一对とする積層膜

を40枚積層して形成した。多層反射膜の膜厚は280nmとした。

[0040] 次に、多層反射膜上に、ルテニウム（Ru）を用いて膜厚が2.5nmになるようにキャッピング層を成膜した。

キャッピング層の上に、酸化錫（SnO）とタンタル（Ta）とを用いて第2の吸収膜を成膜した。このとき吸収膜の膜厚（単層）が11.4nmになるように成膜した。こうして成膜した第2の吸収膜の屈折率nは0.95であり、消衰係数kは0.050であった。

[0041] 次に、第2の吸収膜の上に、酸化タンタル（TaO）を用いて第1の吸収膜を成膜した。このとき吸収膜の膜厚（単層）が1.9nmになるように成膜した。こうして成膜した第1の吸収膜の屈折率nは0.96であり、消衰係数kは0.027であった。

[0042] 次に、第1の吸収膜と第2の吸収膜とを交互に積層して合計積層数が6である吸収膜（3層の第1の吸収膜と3層の第2の吸収膜からなる積層体）を形成した。こうして形成した吸収膜全体の合計膜厚は39.9nmであった。

[0043] 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（CrN）を100nmの厚さとなるように裏面導電膜を成膜した。

こうして実施例1に係る反射型フォトマスクブランクを作製した。

なお、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。

[0044] 次に、吸収膜上にポジ型化学増幅型レジスト（SEBP9012：信越化学工業株式会社製）を120nmの膜厚にスピコートで成膜し、110度で10分間ベークし、レジスト膜を形成した。

[0045] 次いで、電子線描画機（JBX3030：日本電子株式会社製）によってポジ型化学増幅型レジストに所定のパターンを描画した。

その後、110度、10分間ベーク処理を施し、次いでスプレー現像（SFG3000：シグマメルテック株式会社製）した。これによりレジストパターンを形成した。

[0046] 次に、レジストパターン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各吸収膜のパターニングを行い、吸収膜パターンを形成した。

次に、残ったレジストパターンの剥離を行った。こうして、吸収膜の表面及び側面が露出した吸収膜パターンを形成した。

本実施例において、吸収層パターンは、線幅 200 nm L/S （ラインアンドスペース）パターンとした。

こうして実施例1に係る反射型フォトマスクを作製した。

なお、実施例1の吸収膜について、多層反射膜領域の反射率 R_m と、吸収膜領域の反射率 R_a を、EUV光による反射率測定装置で測定した。その測定結果から、マスク特性であるOD値を計算した結果、表1に示すように、吸収膜領域におけるEUV反射率が0.70%、OD値が1.96に作製されていることが分かった。

[0047] <実施例2>

第2の吸収膜（単層）の膜厚を 11.1 nm とし、酸化ケイ素（ SiO_2 ）を用いて成膜した第1の吸収膜（単層）の膜厚を 2.5 nm とした以外は実施例1と同様にして、実施例2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を作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.97であり、消衰係数 k は0.013であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は 40.8 nm であった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.74%、OD値は1.94であった。

[0048] <実施例3>

第2の吸収膜（単層）の膜厚を 10.9 nm とし、酸化チタン（ TiO_2 ）を用いて成膜した第1の吸収膜（単層）の膜厚を 2.5 nm とした以外は実施例1と同様にして、実施例3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を作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.94であり、消衰係数 k は0.02であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は40.2nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.63%、OD値は2.01であった。

[0049] <実施例4>

第2の吸収膜（単層）の膜厚を11.0nmとし、酸化ニオブ（NbO）を用いて成膜した第1の吸収膜（単層）の膜厚を2.4nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例4に係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作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.010であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は40.2nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.61%、OD値は2.02であった。

[0050] <実施例5>

第2の吸収膜（単層）の膜厚を10.8nmとし、酸化クロム（CrO）を用いて成膜した第1の吸収膜（単層）の膜厚を2.6nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例5に係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作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.93であり、消衰係数 k は0.033であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は40.2nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.67%、OD値は1.99であった。

[0051] <実施例6>

第2の吸収膜（単層）の膜厚を11.1nmとし、酸化ハフニウム（HfO）を用いて成膜した第1の吸収膜（単層）の膜厚を2.2nmとした以外

は実施例 1 と同様にして、実施例 6 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を作製した。

なお、第 1 の吸収膜の屈折率 n は 0.95 であり、消衰係数 k は 0.034 であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は 39.9 nm であった。

また、吸収膜領域における EUV 反射率は 0.72%、OD 値は 1.95 であった。

[0052] <実施例 7>

第 2 の吸収膜（単層）の膜厚を 10.4 nm とし、ルテニウム（Ru）を用いて成膜した第 1 の吸収膜（単層）の膜厚を 2.6 nm とした以外は実施例 1 と同様にして、実施例 7 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を作製した。

なお、第 1 の吸収膜の屈折率 n は 0.89 であり、消衰係数 k は 0.017 であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は 39.0 nm であった。

また、吸収膜領域における EUV 反射率は 0.71%、OD 値は 1.96 であった。

[0053] <実施例 8>

第 2 の吸収膜（単層）の膜厚を 11.0 nm とし、モリブデン（Mo）を用いて成膜した第 1 の吸収膜（単層）の膜厚を 2.4 nm とした以外は実施例 1 と同様にして、実施例 8 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を作製した。

なお、第 1 の吸収膜の屈折率 n は 0.92 であり、消衰係数 k は 0.006 であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は 40.2 nm であった。

また、吸収膜領域における EUV 反射率は 0.37%、OD 値は 2.25 であった。

[0054] <実施例 9>

第2の吸収膜（単層）の膜厚を11.3 nmとし、ジルコニウム（Zr）を用いて成膜した第1の吸収膜（単層）の膜厚を2.1 nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例9に係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作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.96であり、消衰係数 k は0.004であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は40.2 nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.54%、OD値は2.08であった。

[0055] <実施例10>

インジウム（In）とタンタル（Ta）とを用いて成膜した第2の吸収膜（単層）の膜厚を11.5 nmとし、酸化ニオブ（NbO）とケイ素（Si）とを用いて成膜した第1の吸収膜（単層）の膜厚を2.2 nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例10に係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作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.94であり、消衰係数 k は0.058であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は41.1 nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.13%、OD値は2.71であった。

[0056] <実施例11>

ニッケル（Ni）とタンタル（Ta）とを用いて成膜した第2の吸収膜（単層）の膜厚を11.2 nmとし、酸化ニオブ（NbO）とケイ素（Si）とを用いて成膜した第1の吸収膜（単層）の膜厚を2.4 nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例11に係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作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.053であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は40.8nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.44%、OD値は2.17であった。

[0057] <実施例12>

テルル (Te) とタンタル (Ta) とを用いて成膜した第2の吸収膜 (単層) の膜厚を10.9nmとし、酸化ニオブ (NbO) とケイ素 (Si) とを用いて成膜した第1の吸収膜 (単層) の膜厚を2.3nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例12に係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作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.96であり、消衰係数 k は0.057であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は39.6nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.20%、OD値は2.51であった。

[0058] <実施例13>

銀 (Ag) とタンタル (Ta) とを用いて成膜した第2の吸収膜 (単層) の膜厚を11.4nmとし、酸化ニオブ (NbO) とケイ素 (Si) とを用いて成膜した第1の吸収膜 (単層) の膜厚を2.6nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例13に係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作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.92であり、消衰係数 k は0.060であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は42.0nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.06%、OD値は3.05であった。

[0059] <実施例14>

コバルト (Co) とタンタル (Ta) とを用いて成膜した第2の吸収膜 (単層) の膜厚を11.1nmとし、酸化ニオブ (NbO) とケイ素 (Si) とを用いて成膜した第1の吸収膜 (単層) の膜厚を2.4nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例14に係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作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.94であり、消衰係数 k は0.051であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は40.5nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.55%、OD値は2.07であった。

[0060] <実施例15>

アンチモン (Sb) とタンタル (Ta) とを用いて成膜した第2の吸収膜 (単層) の膜厚を11.1nmとし、酸化ニオブ (NbO) とケイ素 (Si) とを用いて成膜した第1の吸収膜 (単層) の膜厚を2.5nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例15に係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作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.94であり、消衰係数 k は0.053であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は40.8nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.41%、OD値は2.20であった。

[0061] <実施例16>

ビスマス(Bi)とタンタル(Ta)とを用いて成膜した第2の吸収膜(単層)の膜厚を11.1nmとし、酸化ニオブ(NbO)とケイ素(Si)とを用いて成膜した第1の吸収膜(単層)の膜厚を2.5nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例16に係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作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率nは0.95であり、消衰係数kは0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率nは0.94であり、消衰係数kは0.049であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は40.8nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.70%、OD値は1.97であった。

[0062] <実施例17>

イリジウム(Ir)とタンタル(Ta)とを用いて成膜した第2の吸収膜(単層)の膜厚を11.8nmとし、酸化ニオブ(NbO)とケイ素(Si)とを用いて成膜した第1の吸収膜(単層)の膜厚を2.0nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例17に係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作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率nは0.95であり、消衰係数kは0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率nは0.93であり、消衰係数kは0.043であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は41.4nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は1.13%、OD値は1.76

であった。

[0063] <実施例 18>

レニウム (Re) とタンタル (Ta) とを用いて成膜した第 2 の吸収膜 (単層) の膜厚を 11.7 nm とし、酸化ニオブ (NbO) とケイ素 (Si) とを用いて成膜した第 1 の吸収膜 (単層) の膜厚を 2.0 nm とした以外は実施例 1 と同様にして、実施例 18 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を作製した。

なお、第 1 の吸収膜の屈折率 n は 0.95 であり、消衰係数 k は 0.015 であった。

また、第 2 の吸収膜の屈折率 n は 0.93 であり、消衰係数 k は 0.040 であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は 41.1 nm であった。

また、吸収膜領域における EUV 反射率は 1.57%、OD 値は 1.61 であった。

[0064] <実施例 19>

白金 (Pt) とタンタル (Ta) とを用いて成膜した第 2 の吸収膜 (単層) の膜厚を 11.9 nm とし、酸化ニオブ (NbO) とケイ素 (Si) とを用いて成膜した第 1 の吸収膜 (単層) の膜厚を 2.1 nm とした以外は実施例 1 と同様にして、実施例 19 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を作製した。

なお、第 1 の吸収膜の屈折率 n は 0.95 であり、消衰係数 k は 0.015 であった。

また、第 2 の吸収膜の屈折率 n は 0.92 であり、消衰係数 k は 0.050 であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は 42.0 nm であった。

また、吸収膜領域における EUV 反射率は 0.38%、OD 値は 2.24 であった。

[0065] <実施例 20>

オスミウム (Os) とタンタル (Ta) とを用いて成膜した第2の吸収膜 (単層) の膜厚を 11.8 nm とし、酸化ニオブ (NbO) とケイ素 (Si) とを用いて成膜した第1の吸収膜 (単層) の膜厚を 2.0 nm とした以外は実施例1と同様にして、実施例20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を作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は 0.95 であり、消衰係数 k は 0.015 であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は 0.93 であり、消衰係数 k は 0.042 であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は 41.4 nm であった。

また、吸収膜領域における EUV 反射率は 1.19%、OD 値は 1.73 であった。

[0066] <実施例21>

酸化錫 (SnO) とタンタル (Ta) とを用いて成膜した第2の吸収膜 (単層) の膜厚を 3.4 nm とし、酸化ニオブ (NbO) とケイ素 (Si) とを用いて成膜した第1の吸収膜 (単層) の膜厚を 3.5 nm とした以外は実施例1と同様にして、実施例21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を作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は 0.95 であり、消衰係数 k は 0.015 であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は 0.95 であり、消衰係数 k は 0.050 であった。

また、第1の吸収膜と第2の吸収膜との合計積層数を 14 とし、吸収膜全体の合計膜厚は 48.3 nm であった。

また、吸収膜領域における EUV 反射率は 0.23%、OD 値は 2.45 であった。

[0067] <実施例22>

酸化錫 (SnO) とタンタル (Ta) とを用いて成膜した第2の吸収膜 (

単層)の膜厚を15.8nmとし、酸化ニオブ(NbO)とケイ素(Si)とを用いて成膜した第1の吸収膜(単層)の膜厚を4.3nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例22に係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作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.050であった。

また、第1の吸収膜と第2の吸収膜との合計積層数を4とし、吸収膜全体の合計膜厚は40.2nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.51%、OD値は2.11であった。

[0068] <実施例23>

酸化錫(SnO)とタンタル(Ta)とを用いて成膜した第2の吸収膜(単層)の膜厚を9.2nmとし、酸化ニオブ(NbO)とケイ素(Si)とを用いて成膜した第1の吸収膜(単層)の膜厚を2.5nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例23に係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作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.050であった。

また、第1の吸収膜と第2の吸収膜との合計積層数を8とし、吸収膜全体の合計膜厚は46.8nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.26%、OD値は2.39であった。

[0069] <実施例24>

酸化錫(SnO)とタンタル(Ta)とを用いて成膜した第2の吸収膜(

単層)の膜厚を4.4 nmとし、酸化ニオブ(NbO)とケイ素(Si)とを用いて成膜した第1の吸収膜(単層)の膜厚を1.4 nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例24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を作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.050であった。

また、第1の吸収膜と第2の吸収膜との合計積層数を16とし、吸収膜全体の合計膜厚は40.2 nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.25%、OD値は2.41であった。

[0070] <実施例25>

酸化錫(SnO)とタンタル(Ta)とを用いて成膜した第2の吸収膜(単層)の膜厚を13.9 nmとし、酸化ニオブ(NbO)とケイ素(Si)とを用いて成膜した第1の吸収膜(単層)の膜厚を1.7 nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例25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を作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.050であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は46.8 nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.22%、OD値は2.47であった。

[0071] <実施例26>

酸化錫(SnO)とタンタル(Ta)とを用いて成膜した第2の吸収膜(単層)の膜厚を4.4 nmとし、酸化ニオブ(NbO)とケイ素(Si)と

を用いて成膜した第1の吸収膜（単層）の膜厚を2.2 nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例26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を作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.050であった。

また、第1の吸収膜と第2の吸収膜との合計積層数を12とし、吸収膜全体の合計膜厚は33.0 nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は1.62%、OD値は1.60であった。

[0072] <実施例27>

鉛（Pb）とタングステン（W）とを用いて成膜した第2の吸収膜（単層）の膜厚を11.8 nmとし、酸化ニオブ（NbO）とケイ素（Si）とを用いて成膜した第1の吸収膜（単層）の膜厚を2.0 nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例27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を作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.93であり、消衰係数 k は0.042であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は41.4 nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は1.19%、OD値は1.73であった。

[0073] <実施例28>

酸化錫（SnO）とタンタル（Ta）とを用いて成膜した第2の吸収膜（単層）の膜厚を36.9 nmとし、ルテニウム（Ru）とケイ素（Si）とを用いて成膜した第1の吸収膜（単層）の膜厚を10.3 nmとした以外は

実施例 1 と同様にして、実施例 28 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を作製した。

なお、第 1 の吸収膜の屈折率 n は 0.90 であり、消衰係数 k は 0.015 であった。

また、第 2 の吸収膜の屈折率 n は 0.95 であり、消衰係数 k は 0.050 であった。

また、第 1 の吸収膜と第 2 の吸収膜との合計積層数を 2 とし、吸収膜全体の合計膜厚は 47.2 nm であった。

また、吸収膜領域における EUV 反射率は 0.24%、OD 値は 2.43 であった。

[0074] <実施例 29>

酸化錫 (SnO) とタンタル (Ta) とを用いて成膜した第 2 の吸収膜 (単層) の膜厚を 4.0 nm とし、ルテニウム (Ru) を用いて成膜した第 1 の吸収膜 (単層) の膜厚を 3.9 nm とした以外は実施例 1 と同様にして、実施例 29 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を作製した。

なお、第 1 の吸収膜の屈折率 n は 0.89 であり、消衰係数 k は 0.017 であった。

また、第 2 の吸収膜の屈折率 n は 0.95 であり、消衰係数 k は 0.050 であった。

また、第 1 の吸収膜と第 2 の吸収膜との合計積層数を 10 とし、吸収膜全体の合計膜厚は 39.5 nm であった。

また、吸収膜領域における EUV 反射率は 0.36%、OD 値は 2.25 であった。

なお、本実施例では、キャッピング層の上に第 1 の吸収膜を成膜し、第 1 の吸収膜の上に第 2 の吸収膜を成膜した。つまり、本実施例では、第 2 の吸収膜が最表層となるように吸収膜を成膜した。

[0075] <実施例 30>

酸化錫 (SnO) とタンタル (Ta) とを用いて成膜した第2の吸収膜 (単層) の膜厚を16.9 nmとし、アルミニウム (Al) とケイ素 (Si) とを用いて成膜した第1の吸収膜 (単層) の膜厚を5.5 nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例30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を作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は1.00であり、消衰係数 k は0.015であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.050であった。

また、第1の吸収膜と第2の吸収膜との合計積層数を4とし、吸収膜全体の合計膜厚は44.8 nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.75%、OD値は1.94であった。

[0076] <実施例31>

酸化錫 (SnO) とタンタル (Ta) とを用いて成膜した第2の吸収膜 (単層) の膜厚を10.8 nmとし、タングステン (W) を用いて成膜した第1の吸収膜 (単層) の膜厚を2.6 nmとした以外は実施例1と同様にして、実施例31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を作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.93であり、消衰係数 k は0.033であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.050であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は40.2 nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は0.67%、OD値は1.99であった。

なお、第1の吸収膜に用いたタングステン (W) は、水素ラジカル耐性を備えた材料である。

[0077] <比較例 1>

第2の吸収膜を設けず、酸化錫 (SnO) を用いて成膜した第1の吸収膜 (単層) の膜厚を 32.4 nm とした以外は実施例 1 と同様にして、比較例 1 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を作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は 0.93 であり、消衰係数 k は 0.070 であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は 32.4 nm であった。

また、吸収膜領域における EUV 反射率は 0.20% 、OD 値は 2.51 であった。

[0078] <比較例 2>

酸化錫 (SnO) とジルコニウム (Zr) とを用いて成膜した第2の吸収膜 (単層) の膜厚を 18.5 nm とし、酸化ニオブ (NbO) とケイ素 (Si) とを用いて成膜した第1の吸収膜 (単層) の膜厚を 1.6 nm とした以外は実施例 1 と同様にして、比較例 2 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を作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は 0.95 であり、消衰係数 k は 0.015 であった。

また、第2の吸収膜の屈折率 n は 0.95 であり、消衰係数 k は 0.030 であった。

また、第1の吸収膜と第2の吸収膜との合計積層数を 4 とし、吸収膜全体の合計膜厚は 40.2 nm であった。

また、EUV 反射率は 5.19% 、OD 値は 1.10 であった。

[0079] <参考例>

参考例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、従来技術に係る既存のタンタル (Ta) マスクブランク及び既存のタンタル (Ta) マスクである。

第2の吸収膜を設けず、窒化タンタル (TaN) と酸化タンタル (TaO) とを用いて成膜した第1の吸収膜 (単層) の膜厚を 60 nm とした以外は

実施例1と同様にして、参考例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を作製した。

なお、第1の吸収膜の屈折率 n は0.95であり、消衰係数 k は0.030であった。

また、吸収膜全体の合計膜厚は60.0nmであった。

また、吸収膜領域におけるEUV反射率は1.83%、OD値は1.54であった。

[0080] <評価>

上述した実施例1～31、比較例1～2、参考例で得られた反射型フォトマスクについて、以下の方法でEUV反射率、OD値及び水素ラジカル耐性の評価を行った。

[0081] [EUV反射率]

本実施例では、測定して得たEUV反射率について、1.80%以下であれば、既存のタンタル(Ta)マスクよりも性能が高まるため、合格とした。

[0082] [OD値]

本実施例では、測定して得たOD値について、1.5以上であれば、使用上問題がないため、合格とした。

[0083] [水素ラジカル耐性]

2.45GHzのMWP(Micro Wave Plasma:マイクロ波プラズマ)を使って、水素の流量100sccmを励起し、電極間距離18mmの片方の電極上に、作製した反射型フォトマスクを設置した。水素ラジカル処理後での吸収膜の膜厚変化を、原子間力顕微鏡(AFM)を用いて確認し、以下の◎、○、×の3段階で評価した。なお、測定は線幅200nm L/Sパターンで行った。

また、本実施例では、「◎」及び「○」を合格とした。

[0084] <評価基準>

◎：水素ラジカルに対して膜厚変化が見られなかった場合

○：水素ラジカルに対して僅かな膜厚変化が見られた場合

×：水素ラジカルに対して膜厚変化が見られた場合

以上の評価結果を表 1 に示す。

[0085]

[表1]

	第1の吸収膜				第2の吸収膜				積層数	合計膜厚 (nm)	EUV反射率	OD	水素ラジカル 耐性
	材料	n	k	膜厚 (nm)	材料	n	k	膜厚 (nm)					
実施例1	TaO	0.96	0.027	1.9	SnO+Ta	0.95	0.050	11.4	6	39.9	0.70%	1.96	○
実施例2	SiO	0.97	0.013	2.5	SnO+Ta	0.95	0.050	11.1	6	40.8	0.74%	1.94	○
実施例3	TiO	0.94	0.022	2.5	SnO+Ta	0.95	0.050	10.9	6	40.2	0.63%	2.01	○
実施例4	NbO	0.95	0.010	2.4	SnO+Ta	0.95	0.050	11.0	6	40.2	0.61%	2.02	○
実施例5	CrO	0.93	0.033	2.6	SnO+Ta	0.95	0.050	10.8	6	40.2	0.67%	1.99	○
実施例6	HfO	0.95	0.034	2.2	SnO+Ta	0.95	0.050	11.1	6	39.9	0.72%	1.95	○
実施例7	Ru	0.89	0.017	2.6	SnO+Ta	0.95	0.050	10.4	6	39.0	0.71%	1.96	○
実施例8	Mo	0.92	0.006	2.4	SnO+Ta	0.95	0.050	11.0	6	40.2	0.37%	2.25	○
実施例9	Zr	0.96	0.004	2.1	SnO+Ta	0.95	0.050	11.3	6	40.2	0.54%	2.08	○
実施例10	NbO+Si	0.95	0.015	2.2	In+Ta	0.94	0.058	11.5	6	41.1	0.13%	2.71	○
実施例11	NbO+Si	0.95	0.015	2.4	Ni+Ta	0.95	0.053	11.2	6	40.8	0.44%	2.17	○
実施例12	NbO+Si	0.95	0.015	2.3	Te+Ta	0.96	0.057	10.9	6	39.6	0.20%	2.51	○
実施例13	NbO+Si	0.95	0.015	2.6	Ag+Ta	0.92	0.060	11.4	6	42.0	0.06%	3.05	○
実施例14	NbO+Si	0.95	0.015	2.4	Co+Ta	0.94	0.051	11.1	6	40.5	0.55%	2.07	○
実施例15	NbO+Si	0.95	0.015	2.5	Sb+Ta	0.94	0.053	11.1	6	40.8	0.41%	2.20	○
実施例16	NbO+Si	0.95	0.015	2.5	Bi+Ta	0.94	0.049	11.1	6	40.8	0.70%	1.97	○
実施例17	NbO+Si	0.95	0.015	2.0	Ir+Ta	0.93	0.043	11.8	6	41.4	1.13%	1.76	○
実施例18	NbO+Si	0.95	0.015	2.0	Re+Ta	0.93	0.040	11.7	6	41.1	1.57%	1.61	○
実施例19	NbO+Si	0.95	0.015	2.1	Pt+Ta	0.92	0.050	11.9	6	42.0	0.38%	2.24	○
実施例20	NbO+Si	0.95	0.015	2.0	Os+Ta	0.93	0.042	11.8	6	41.4	1.19%	1.73	○
実施例21	NbO+Si	0.95	0.015	3.5	SnO+Ta	0.95	0.050	3.4	14	48.3	0.23%	2.45	○
実施例22	NbO+Si	0.95	0.015	4.3	SnO+Ta	0.95	0.050	15.8	4	40.2	0.51%	2.11	○
実施例23	NbO+Si	0.95	0.015	2.5	SnO+Ta	0.95	0.050	9.2	8	48.8	0.26%	2.39	○
実施例24	NbO+Si	0.95	0.015	1.4	SnO+Ta	0.95	0.050	4.4	16	40.2	0.25%	2.41	○
実施例25	NbO+Si	0.95	0.015	1.7	SnO+Ta	0.95	0.050	13.9	6	48.8	0.22%	2.47	○
実施例26	NbO+Si	0.95	0.015	2.2	SnO+Ta	0.95	0.050	4.4	12	33.0	1.62%	1.60	○
実施例27	NbO+Si	0.95	0.015	2.0	Pb+W	0.93	0.042	11.8	6	41.4	1.19%	1.73	○
実施例28	Ru+Si	0.90	0.015	10.3	SnO+Ta	0.95	0.050	36.9	2	47.2	0.24%	2.43	○
実施例29	Ru	0.89	0.017	3.9	SnO+Ta	0.95	0.050	4.0	10	39.5	0.36%	2.25	○
実施例30	Al+Si	1.00	0.015	5.5	SnO+Ta	0.95	0.050	16.9	4	44.8	0.75%	1.94	○
実施例31	W	0.93	0.033	2.6	SnO+Ta	0.95	0.050	10.8	6	40.2	0.67%	1.99	○
比較例1	SnO	0.93	0.070	32.4	-	-	-	-	-	32.4	0.20%	2.51	×
比較例2	NbO+Si	0.95	0.015	1.6	SnO+Zr	0.95	0.030	18.5	4	40.2	5.19%	1.10	○
参考例	TaN+TaO	0.95	0.03	60	-	-	-	-	-	60.0	1.83%	1.54	○

[0086] 表1中に表されるように、実施例1～31、比較例1～2、参考例の評価

結果から、吸収膜を第1の吸収膜と第2の吸収膜とを交互に積層した構成とし、第1の吸収膜が水素ラジカル耐性に優れた膜であり、第1の吸収膜の消衰係数 k または屈折率 n が第2の吸収膜の消衰係数 k または屈折率 n と異なり、且つ第2の吸収膜の消衰係数 k が0.04以上であ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、水素ラジカルへの耐性が高く、且つEUV反射率が低く、OD値が高い反射型フォトマスクブランク及び反射型フォトマスクを提供することができる。

[0087] なお、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、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。

符号の説明

- [0088] 1 : 基板（低熱膨張膜）
2 : 多層反射膜
3 : キャッピング層
4 : 反射層
5 : 低反射部（吸収膜）
5 a : 低反射部パターン
5 1 : 第1の吸収膜
5 2 : 第2の吸収膜
5 2 a : 不働態層
6 : 裏面導電膜
1 0 : 反射型フォトマスクブランク（反射型マスクブランク）
2 0 : 反射型フォトマスク（反射型マスク）
3 0 0 : チャンバー
3 0 1 : 電極
3 0 2 : サンプル

請求の範囲

- [請求項1] 極端紫外線を光源としたパターン転写用の反射型マスクの製造に用いられる反射型マスクブランクであって、
- 基板と、前記基板上に形成された多層膜と、前記多層膜上に形成され、前記多層膜を保護するキャッピング膜と、前記キャッピング膜上に形成された吸収膜とを少なくとも備え、
- 前記吸収膜は、第1の吸収膜と、第2の吸収膜とを交互に積層したものであり、
- 前記第1の吸収膜は、水素ラジカル耐性が高く、
- 前記第1の吸収膜の消衰係数または屈折率は、前記第2の吸収膜の消衰係数または屈折率と異なり、
- 前記第2の吸収膜のEUV光に対する消衰係数が0.04以上であることを特徴とする反射型マスクブランク。
- [請求項2] 前記第1の吸収膜は、タンタル、ケイ素、チタン、ニオブ、クロム、ハフニウム、ルテニウム、モリブデン、アルミニウム、ジルコニウムから選ばれる1種以上の元素を含有することを特徴とする請求項1に記載の反射型マスクブランク。
- [請求項3] 前記第2の吸収膜は、錫、インジウム、プラチナ、ニッケル、テルル、銀、コバルト、タンタル、アンチモン、ビスマス、オスミウム、イリジウム、及びレニウムから選ばれる1種以上の元素を含有することを特徴とする請求項1に記載の反射型マスクブランク。
- [請求項4] 前記吸収膜の合計膜厚は、47nm以下であることを特徴とする請求項1に記載の反射型マスクブランク。
- [請求項5] 前記第1の吸収膜と前記第2の吸収膜との積層数は、4以上であることを特徴とする請求項1に記載の反射型マスクブランク。
- [請求項6] 前記吸収膜の最表層は、前記第1の吸収膜であることを特徴とする請求項1に記載の反射型マスクブランク。
- [請求項7] 前記吸収膜と前記多層膜とから計算されるOD値（Optical

Density: 光学濃度) は、1.5 以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の反射型マスクブランク。

[請求項 8] 基板と、前記基板上に形成された多層膜と、前記多層膜上に形成され、前記多層膜を保護するキャッピング膜と、前記キャッピング膜上に形成され、パターン形成された吸収膜とを少なくとも備え、

前記吸収膜は、第 1 の吸収膜と、第 2 の吸収膜とを交互に積層したものであり、

前記第 1 の吸収膜は、水素ラジカル耐性が高く、

前記第 1 の吸収膜の消衰係数または屈折率は、前記第 2 の吸収膜の消衰係数または屈折率と異なり、

前記第 2 の吸収膜の E U V 光に対する消衰係数が 0.04 以上であることを特徴とする反射型マスク。

[請求項 9] 前記第 1 の吸収膜は、タンタル、ケイ素、チタン、ニオブ、クロム、ハフニウム、ルテニウム、モリブデン、アルミニウム、ジルコニウムから選ばれる 1 種以上の元素を含有することを特徴とする請求項 8 に記載の反射型マスク。

[請求項 10] 前記第 2 の吸収膜は、錫、インジウム、プラチナ、ニッケル、テルル、銀、コバルト、タンタル、アンチモン、ビスマス、オスmium、イリジウム、及びレニウムから選ばれる 1 種以上の元素を含有することを特徴とする請求 8 に記載の反射型マスク。

[請求項 11] 前記吸収膜の合計膜厚は、47 nm 以下であることを特徴とする請求項 8 に記載の反射型マスク。

[請求項 12] 前記第 1 の吸収膜と前記第 2 の吸収膜との積層数は、4 以上であることを特徴とする請求項 8 に記載の反射型マスク。

[請求項 13] 前記吸収膜の最表層は、前記第 1 の吸収膜であることを特徴とする請求項 8 に記載の反射型マスク。

[請求項 14] 前記吸収膜と前記多層膜とから計算される OD 値 (Optical Density: 光学濃度) は、1.5 以上であることを特徴とす

る請求項 8 に記載の反射型マスク。

[請求項15] パターン形成された前記第 2 の吸収膜の側面に水素ラジカル耐性が高い酸化被膜が形成されていることを特徴とする請求 8 に記載の反射型マスク。