明　細　書

発明の名称 ：

反射型フォトマスクブランク、反射型フォトマスク及び反射型フォトマスクの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、反射型フォトマスクブランク、反射型フォトマスク及び反射型フォトマスクの製造方法に関する。

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解像寸法は、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、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　Ｕｌｔｒａ　Ｖｉｏｌｅｔ：極端紫外線）領域の光に置き換わってきている。

[0003] ＥＵＶ領域の光は、ほとんどの物質で高い割合で吸収されるため、ＥＵＶ露光用のフォトマスク（ＥＵＶマスク）としては、反射型のフォトマスクが使用される（例えば、特許文献１参照）。特許文献１には、ガラス基板上にモリブデン（Ｍｏ）層及びシリコン（Ｓｉ）層を交互に積層した多層膜からなる反射層を形成し、その上にタンタル（Ｔａ）を主成分とする光吸収層を形成し、この光吸収層にパターンを形成することで得られたＥＵＶフォトマスクが開示されている。

[0004] また、ＥＵＶリソグラフィは、前記のように、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もレンズではなく、反射型（ミラー）となる。このため、反射型フォトマスク（ＥＵＶマスク）への入射光とＥＵＶ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マスクの垂直方向から６度傾け

て入射し、マイナス６度の角度で反射する反射光を半導体基板に導く手法が採用されている。

[0005] このように、ＥＵＶリソグラフィではミラーを介し光軸を傾斜することから、ＥＵＶマスクに入射するＥＵＶ光がＥＵＶマスクのマスクパターン（パターン化された光吸収層）の影をつくる、いわゆる「射影効果」と呼ばれる問題が発生することがある。

現在のＥＵＶマスクブランクでは、光吸収層として膜厚６０～９０ｎｍのタンタル（Ｔａ）を主成分とした膜が用いられている。このマスクブランクを用いて作製したＥＵＶマスクでパターン転写の露光を行った場合、ＥＵＶ光の入射方向とマスクパターンの向きとの関係によっては、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ことがある。

[0006] そこで、光吸収層をタンタル（Ｔａ）からＥＵＶ光に対する吸収性（消衰係数）が高い材料への変更や、タンタル（Ｔａ）に吸収性の高い材料を加えた反射型フォトマスクブランクが検討されている。例えば、特許文献２では、光吸収層を、Ｐｔ、Ｚｎ、Ａｕ、ＮｉＯ、Ag_2O、Ｉｒ、Ｆｅ、SnO_2、Ｃｏなどから選ばれた少なくとも２つの材料を含む合金で構成された反射型フォトマスクブランクが記載されている。

[0007] しかしながら、ＥＵＶ光への吸収性の高い材料の中にはドライエッチングによる加工が難しい材料もあり、フォトマスクブランクを成膜（作製）しても、フォトマスクブランクに備わる光吸収層をパターニングができないという問題があった。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特許第５４１８２９３号

特許文献2：特表２０１９－５２７３８２号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 本開示は、以上のような事情の元になされ、極端紫外領域の波長の光を光源として使用するパターニング転写用の反射型フォトマスクであって、良好なパターン加工性を有する吸収層を備えた反射型フォトマスク及びその反射型フォトマスクを製造するために用いる反射型フォトマスクブランク並びにその反射型フォトマスクブランクを用いた反射型フォトマスク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

[0010] 本開示は上記課題を解決するために成されたものであって、本開示の一態様に係る反射型フォトマスクブランクは、極端紫外線を光源としたパターン転写用の反射型フォトマスクを作製するための反射型フォト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を含む反射層と、前記反射層の上に形成された吸収層と、を有し、前記吸収層は、プラチナ（Ｐｔ）を５０原子％以上含有し、且つタンタル（Ｔａ）を５原子％以上５０原子％未満の範囲内で含有する材料で形成され、前記吸収層の膜厚は、１７ｎｍ以上５０ｎｍ以下の範囲内であり、前記吸収層のＥＵＶ光に対する消衰係数は、０．０４９以上であり、前記吸収層の表面粗さは、０．４ｎｍ以下であることを特徴とする。

[0011] また、本開示の一態様に係る反射型フォトマスクは、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であって、基板と、前記基板上に形成された多層膜を含む反射層と、前記反射層上に形成された吸収パターン層と、を有し、前記吸収パターン層は、プラチナ（Ｐｔ）を５０原子％以上含有し、且つタンタル（Ｔａ）を５原子％以上５０原子％未満の範囲内で含有する材料で形成され、前記吸収パターン層の膜厚は、１７ｎｍ以上５０ｎｍ以下の範囲内であり、前記吸収層のＥＵＶ光に対する消衰係数は、０．０４９以上であり、前記吸収パターン層の表面粗さは、０．４ｎｍ以下であることを特徴とする。

[0012] また、本開示の一態様に係る反射型フォトマスクの製造方法は、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方法であって、基板上に多層膜を含む反射層を形成する工程と、前記反射層上に吸収パターン層を形成する工程と、を有し、前記吸収パターン層は、プラチナ（Ｐｔ）を５０原子％以上含有し、且つタンタル（Ｔａ）を５原子％以上５０原子％未満の範囲内で含有する材料で形成され、前記吸収パターン層の膜厚は、１７ｎｍ以上５０ｎｍ以下の範囲内であり、前記吸収パターン層のＥＵＶ光に対する消衰係数は、０．０４９以上であり、前記吸収パターン層の表面粗さは、０．４ｎｍ以下であることを特徴とする。

発明の効果

[0013] 本開示の一態様に係る反射型フォトマスクブランクであれば、良好なパターン加工性を有する吸収層の作成が可能になる。つまり、本開示の一態様に係る反射型フォトマスクブランクであれば、吸収層のパターン加工性に優れた反射型フォトマスクブランクを提供することができる。換言すると、本開示の一態様に係る反射型フォトマスクブランクであれば、良好なパターン加工性を得ることができ、且つ極端紫外領域の波長の光を光源としたパターニングにおいて半導体基板への転写性能の向上が期待できる吸収層を備えた反射型フォトマスクブランクを提供することができる。

[0014] また、本開示の一態様に係る反射型フォトマスクであれば、良好なパターン加工性を有する吸収層を備えた反射型フォトマスクを提供することができる。つまり、本開示の一態様に係る反射型フォトマスクであれば、極端紫外領域の波長の光を光源としたパターニングにおいて半導体基板への転写性能の向上が期待できる。

また、本開示の一態様に係る反射型フォトマスクの製造方法であれば、良好なパターン加工性を有する吸収層を備えた反射型フォトマスクを製造することができる。つまり、本開示の一態様に係る反射型フォトマスクの製造方法であれば、極端紫外領域の波長の光を光源としたパターニングにおいて半導体基板への転写性能の向上が期待できる反射型フォトマスクを製造できる

。

[0015] このように、本開示の一態様であれば、極端紫外領域の波長の光を光源として使用するパターニング転写用の反射型フォトマスクであって、良好なパターン加工性を有する吸収層を備えた反射型フォトマスク及びその反射型フォトマスクを製造するために用いる反射型フォトマスクブランク並びにその反射型フォトマスクブランクを用いた反射型フォトマスクの製造方法を提供することができる。

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2]本発明の実施形態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3]ＥＵＶ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]本発明の他の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ブランクの構造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製造工程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構造を示す概略断面図である。

[図10]本発明の実施例に係る反射型フォトマスクの設計パターンの形状を示す概略平面図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明の実施形態について図面を参照しつつ説明するが、本発明は以下に示す実施形態に限定されない。以下に示す実施形態では、本発明を実施するために技術的に好ましい限定がなされているが、この限定は本発明の必須要件ではない。

[0018] 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の構造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の構造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の吸収層４をパターニングして形成したものである。

[0019]（全体構造）

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と、基板１上に形成された反射層２と、反射層２の上に形成されたキャッピング層３と、キャッピング層３の上に形成された吸収層４と、を備えている。

[0020]（基板）

本発明の実施形態に係る基板１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１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、本発明はこれらに限定されるものではない。

[0021]（反射層）

本発明の実施形態に係る反射層２は、露光光であるＥＵＶ光（極端紫外光）を反射するものであればよく、ＥＵＶ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であってもよい。多層反射膜を含む反射層２は、例えば、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したものであってもよい。

[0022]（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３は、吸収層４に転写パターン（マスクパターン）を形成する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おり、吸収層４をエッチングする際に、反射層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。キャッピング層３は、例えば、Ｒｕ（ルテニウム）で形成されている。ここで、反射層２の材質やエッチング条件により、キャッピング層３は形成されていなくてもかまわない。また、図示しないが、基板１の反射層２を形成していない面に裏面導電膜を形成することができる。裏面導電膜は、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。

[0023]（吸収層）

図２に示すように、反射型フォトマスクブランク１０の吸収層４の一部を除去することにより、即ち吸収層４をパターニングすることにより、反射型フォトマスク２０の吸収パターン（吸収パターン層）４１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２で反射されるが、吸収パターン４１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４の厚さを薄くすることで低減される。吸収層４の厚さを薄くするためには、従来の材料よりＥＵＶ光に対する吸収性の高い材料、つまり波長１３．５ｎｍに対する消衰係数ｋの高い材料を適用することが好ましい。

[0024] 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の横軸は屈折率ｎを表し、縦軸は消衰係数ｋを示している。従来の吸収層４の主材料であるタンタル（Ｔａ）の消衰係数ｋは０．０４１である。それより大きい消衰係数ｋを有する化合物材料であれば、従来に比べて吸収層４の厚さを薄くすることが可能である。

[0025] 上記のような消衰係数ｋを満たす材料としては、図３に示すように、例えば、銀（Ａｇ）、プラチナ（Ｐｔ）、インジウム（Ｉｎ）、コバルト（Ｃｏ

）、錫（Ｓｎ）、ニッケル（Ｎｉ）、テルル（Ｔｅ）がある。しかしながら、これらの金属材料の一部は、フォトマスクが使用される環境下で必要とされる洗浄耐性や水素ラジカル耐性が低いという問題を有している。このため、これらの金属材料で形成された吸収層を備える反射型フォトマスクブランクを作製したとしても、その反射型フォトマスクブランクを用いて作製された反射型フォトマスクは露光環境下で使用することができない場合がある。

[0026] また、水素ラジカルに対する耐性面では問題がない材料であっても、その材料の多くは、ハロゲン化物の揮発性が低いためにドライエッチング性が悪いという問題を有している場合が多い。つまり、水素ラジカルに対しては耐性を有するがハロゲン化物の揮発性が低い材料で形成された吸収層は、吸収層のパターニングができず、その結果、反射型フォトマスクブランクを反射型フォトマスクに加工ができないという問題が生じ得る。

[0027] 上述の欠点を回避するため、本実施形態の反射型フォトマスクブランク１０の吸収層４または本実施形態の反射型フォトマスク２０の吸収パターン層４１は、プラチナ（Ｐｔ）とタンタル（Ｔａ）とを含む材料（合金）で形成されたものとする。プラチナ（Ｐｔ）単体は、フォトマスクの洗浄に用いられる液体に高い耐性を持っており、且つ水素ラジカルに対する耐性も高いが、ドライエッチング性が悪いということが知られている。

本願の発明者らは、吸収層４や吸収パターン層４１を形成する材料として、プラチナ（Ｐｔ）とタンタル（Ｔａ）とを特定の割合で含有する材料を用いることで高い水素ラジカル耐性を維持しつつ、ドライエッチングによる吸収層４の加工が可能となることを見出した。

[0028] なお、本実施形態において「ドライエッチング性が悪い」とは、吸収パターン層４１を形成した際に、反射層２の表面またはキャッピング層３の表面と、パターン形成部における吸収パターン層４１の側面とで形成される角度であって、反射層２の表面またはキャッピング層３の表面を基準にした仰角（いわゆる側壁角）が８０°未満である状態をいう。

また、本実施形態において「水素ラジカル耐性が高い」とは、マイクロ波

プラズマを使って、電力１ｋＷで水素圧力が０．３６ミリバール（ｍｂａｒ）以下の水素ラジカル環境下で、膜減り速さが０．０１ｎｍ／ｓ以下であることをいう。

[0029] 吸収層４を構成する材料は、吸収層４全体の構成原子数に対してプラチナ（Ｐｔ）を５０原子％以上含有している。なお、吸収層４を構成する材料は、吸収層４全体の構成原子数に対してプラチナ（Ｐｔ）を５０原子％以上９５原子％以下の範囲内で含有していれば好ましく、５５原子％以上９０原子％以下の範囲内で含有していればより好ましく、６０原子％以上８０原子％以下の範囲内で含有していればさらに好ましい。

また、吸収層４には、吸収層４全体の構成原子数に対してタンタル（Ｔａ）が５原子％以上５０原子％未満の範囲内で含有されている。これは、吸収層４にプラチナ（Ｐｔ）以外の成分が含まれていると、ＥＵＶ光吸収性が低下する可能性があるものの、プラチナ（Ｐｔ）以外の成分が５０原子％未満であれば、ＥＵＶ光吸収性の低下はごく僅かであり、ＥＵＶマスクの吸収層４としての性能の低下はほとんどないためである。

[0030] 更に、プラチナ（Ｐｔ）単体では、ドライエッチングによる加工が難しいものの、プラチナ（Ｐｔ）にタンタル（Ｔａ）を添加することによってドライエッチングによる加工性が向上し、塩素系ガスまたはフッ素系ガスまたは混合ガスを用いたドライエッチングが可能となるため、反射型フォトマスクブランクを反射型フォトマスクに加工することができる。具体的には、吸収層４に含まれるタンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の構成原子数に対して５原子％以上５０原子％未満の範囲内であれば、水素ラジカル耐性を維持しつつ、ドライエッチングによる吸収層４の加工性を向上できる。

[0031] なお、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の構成原子数に対して５原子％未満であるとドライエッチングによる吸収層４の加工性が向上し得ない場合がある。また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の構成原子数に対して５０原子％以上となるとＥＵＶ光の吸収性が低下し、吸収層４の薄膜化が望めなくなる場合がある。更に、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収

層４全体の構成原子数に対して５０原子％を超えると波長１９０～２６０ｎｍのＤＵＶ（Ｄｅｅｐ　Ｕｌｔｒａ　Ｖｉｏｌｅｔ）光におけるコントラストが低下するため、検査性が悪くなる場合がある。

したがって、タンタル（Ｔａ）の含有量は吸収層４全体の構成原子数に対して５原子％以上５０原子％未満の範囲内であることが好ましく、１０原子％以上４５原子％以下の範囲内であることがより好ましく、２０原子％以上４０原子％以下の範囲内であることがさらに好ましい。

[0032] 吸収層４を構成する材料の上記組成比は、ラザフォード後方散乱分析法（ＲＢＳ）による分析結果に基づき算出しており、分析手法によっては含有量が変動する可能性がある。例えば、プラチナ（Ｐｔ）の含有量がラザフォード後方散乱分析法（ＲＢＳ）で全金属元素中５０原子％～９９原子％の材料を、Ｘ線光電子分光法（ＸＰＳ）を用いて分析した結果、全金属元素中４０原子％～７５原子％となってもよく、エネルギー分散型Ｘ線分析法（ＥＤＸ）を用いて分析した結果、全金属元素中４５原子％～１００原子％となってもよい。

[0033] 吸収層４の加工性には、構成する材料の結晶性も影響する。さらに結晶性は膜の平滑性や形成された吸収パターン層４１のラインエッジラフネスにも影響する。本実施形態における吸収層４は、上記の理由のため結晶性の少ないアモルファスな膜で形成されていることが望ましい。結晶性の高い材料は結晶粒界の形成により表面粗さも大きくなる。従って吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）は０．４ｎｍ以下であること好ましく、０．２ｎｍ以下であることが更に好ましい。ここで、「吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）」とは、吸収層４（吸収パターン層４１）の反射層２側とは反対側の面（表面）における粗さ（ＲＭＳ）を意味する。

なお、本実施形態における表面粗さ（ＲＭＳ）の測定は、例えば、原子間力顕微鏡（ＡＦＭ）を用いて測定してもよい。

[0034] 前述の通り、吸収層４を構成する材料は、吸収層４全体の構成原子数に対して、プラチナ（Ｐｔ）を５０原子％以上含有し、且つタンタル（Ｔａ）を

５原子％以上５０原子％未満の範囲内で含有していることが好ましいが、プラチナ（Ｐｔ）とタンタル（Ｔａ）以外の材料として、例えば、ルテニウム（Ｒｕ）、イリジウム（Ｉｒ）、チタン（Ｔｉ）、クロム（Ｃｒ）、インジウム（Ｉｎ）、ニッケル（Ｎｉ）、コバルト（Ｃｏ）、ビスマス（Ｂｉ）、鉄（Ｆｅ）、金（Ａｕ）、銀（Ａｇ）、ヨウ素（Ｉ）、テルル（Ｔｅ）、ハフニウム（Ｈｆ）、タングステン（W）、パラジウム（Ｐｄ）、レニウム（Ｒｅ）、アルミニウム（ＡＩ）、窒素（Ｎ）、亜鉛（Ｚｎ）、ガリウム（Ｇａ）、及びホウ素（Ｂ）からなる群（以下、便宜的に「添加元素群」と称する）から選択された１種以上の元素をさらに含有していてもよい。つまり、吸収層４は、プラチナ（Ｐｔ）とタンタル（Ｔａ）以外に、上述した添加元素群から選択された１種以上の元素をさらに含有していてもよい。

[0035] 例えば、上述した添加元素群に含まれる元素のうち、テルル（Ｔｅ）、銀（Ａｇ）、ニッケル（Ｎｉ）、インジウム（Ｉｎ）を吸収パターン層４１に添加することで、ＥＵＶ光に対する吸収性をさらに向上させ、さらに薄膜化が可能となる。

あるいは、上述した添加元素群に含まれる元素のうち、鉄（Ｆｅ）、パラジウム（Ｐｄ）、金（Ａｕ）、コバルト（Ｃｏ）、イリジウム（Ｉｒ）を吸収パターン層４１に添加することで、ＥＵＶ光に対する高吸収性を確保しながら、吸収パターン層４１に導電性を付与することが可能となる。このため、マスクパターン検査において、検査性を高くすることが可能となる。

[0036] あるいは、上述した添加元素群に含まれる元素のうち、窒素（Ｎ）やハフニウム（Ｈｆ）、またはタングステン（W）、ヨウ素（Ｉ）、クロム（Ｃｒ）、ホウ素（Ｂ）、ルテニウム（Ｒｕ）を吸収層４に添加した場合、膜質をよりアモルファスにすることが可能となる。このため、ドライエッチング後の吸収層パターン（マスクパターン）４１のラフネスや面内寸法均一性、あるいは転写像の面内均一性を向上させることが可能となる。

[0037] なお、上述した添加元素群に含まれる元素の合計含有量は、タンタル（Ｔａ）の含有量と同じであってもよい。つまり、吸収層４や吸収パターン層４

１は、プラチナ（Ｐｔ）と、タンタル（Ｔａ）と、上述した添加元素群から選択された１種以上の元素とを含み、上述した添加元素群に含まれる元素の合計含有量は、タンタル（Ｔａ）の含有量以下であればよい。より好ましくは、上述した添加元素群に含まれる元素の合計含有量は、タンタル（Ｔａ）の含有量の０．９倍以下の範囲内であり、さらに好ましくは、上述した添加元素群に含まれる元素の合計含有量は、タンタル（Ｔａ）の含有量の０．６倍以下の範囲内である。上記構成であれば、優れた転写性能を備えつつ、吸収層４に優れたパターン加工性を付与し、さらに上述した種々の機能を付与することができる。

[0038] 以下、吸収パターン層４１におけるＯＤ値について説明する。

吸収層４の一部が除去されて反射層２やキャッピング層３が露出した領域である反射部からの反射光の強度をＲｍとし、吸収層４が残存した領域である吸収部からの反射光の強度をＲａとし、反射部と吸収部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）値は、（式１）で規定される。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、ＯＤ値が１未満の場合には十分なコントラストを得ることができず、転写性能が低下する傾向がある。パターン転写にはＯＤ＞１であることが好ましく、１．５以上であるとさらに好ましい。

よって、転写パターンが形成された吸収層４（吸収パターン層４１）のＯＤ値は、１．０以上であることが好ましく、１．５以上であるとさらに好ましい。

ＯＤ＝－ｌｏｇ（Ｒａ／Ｒｍ）　・・・（式１）

[0039] 従来のＥＵＶ反射型フォトマスクの吸収層４（吸収パターン層４１）には、上述のようにタンタル（Ｔａ）を主成分とする化合物材料で形成されてきた。この場合、１以上のＯＤ値を得るには、吸収層４の膜厚は４０ｎｍ以上必要である。従来材料の消衰係数ｋは０．０３１だが、単体で消衰係数ｋが０．０５８のプラチナ（Ｐｔ）を主成分として含む化合物材料で吸収層４を形成することで、１以上のＯＤ値であれば吸収層４の膜厚を１７ｎｍまで薄

膜化することが可能である。ただし、吸収層４全体における消衰係数ｋは、プラチナ（Ｐｔ）に対するタンタル（Ｔａ）の混合比率や、成膜された材料の結晶性によっても大きく変動し、吸収層４全体における消衰係数ｋが０．０４９未満であると十分な薄膜化効果が望めない場合が多い。そのため、従来よりも薄膜化を実現するため、吸収層４全体における消衰係数ｋは０．０４９以上が好ましく、０．０５１以上がさらに好ましい。

[0040] さらに、吸収層４の膜厚が５０ｎｍを超えると、従来のタンタル（Ｔａ）を主成分とした化合物材料で形成された膜厚６０ｎｍの吸収層と射影効果が同程度となってしまう。また、吸収層４の膜厚が５０ｎｍを超えると、吸収層４のパターン加工性が低下する場合がある。

そのため、本実施形態に係る吸収層４の膜厚は、１７ｎｍ以上５０ｎｍ以下の範囲内である。つまり、吸収層４の膜厚が１７ｎｍ以上５０ｎｍ以下の範囲内であると、タンタル（Ｔａ）を主成分とした化合物材料で形成された従来の吸収層に比べて、射影効果を十分に低減することができ、転写性能が向上する。

なお、吸収層４の膜厚は２５ｎｍ以上４０ｎｍ以下の範囲内であればより好ましい。吸収層４の膜厚が２５ｎｍ以上４０ｎｍ以下の範囲内であれば、従来の吸収層に比べて、射影効果をさらに低減することができ、転写性能がさらに向上する。

また、上述した「主成分」とは、吸収層全体の原子数に対して５０原子％以上含んでいる成分をいう。

[0041] また、吸収層４の上面、または吸収パターン層４１の上面および側面の少なくとも一方を酸化させて、酸化膜（図示せず）を形成してもよい。また、吸収層４の上面、または吸収パターン層４１の上面および側面の少なくとも一方に、酸化膜（図示せず）を別途形成してもよい。

この酸化膜の膜厚は、特に制限されるものではないが、例えば、１ｎｍ以上５ｎｍ以下の範囲内である。

なお、上述した酸化膜は、反射型フォトマスクブランク１０または反射型

フォトマスク２０を保管する際に、または反射型フォトマスクブランク１０または反射型フォトマスク２０を洗浄する際に自然に形成された自然酸化膜であってもよい。

[0042]（ハードマスク）

図４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、吸収層４の上にハードマスク５が形成されていてもよい。本実施形態に係るハードマスク５は吸収層４の上に形成することで、吸収層４の加工性をさらに高める機能を有する。

ハードマスク５を構成する材料は、吸収層４をドライエッチングする際に用いるガスと異なるガスによってドライエッチングできる材料であることが望ましい。つまり、吸収層４の形成材料であるプラチナ（Ｐｔ）とタンタル（Ｔａ）と含む材料を、塩素系ガスでエッチングする場合には、ハードマスク５のエッチングガスとして塩素系ガス以外のガスを用いることが好ましい。また、吸収層４の形成材料であるプラチナ（Ｐｔ）とタンタル（Ｔａ）と含む材料を、フッ素系ガスでエッチングする場合には、ハードマスク５のエッチングガスとしてフッ素系ガス以外のガスを用いることが好ましい。

[0043] そのため、ハードマスク５の構成材料は、例えば、ルテニウム（Ｒｕ）、チタン（Ｔｉ）、クロム（Ｃｒ）、ニッケル（Ｎｉ）、コバルト（Ｃｏ）、ビスマス（Ｂｉ）、鉄（Ｆｅ）、金（Ａｕ）、銀（Ａｇ）、ハフニウム（Ｈｆ）、タンタル（Ｔａ）、アルミニウム（Ａｌ）、及びシリコン（Ｓｉ）、並びにそれらの酸化物、窒化物、ホウ化物、酸窒化物、酸ホウ化物、及び酸窒化ホウ化物の群から選択された１種以上を含んでいれば好ましい。つまり、吸収層４が、プラチナ（Ｐｔ）と、タンタル（Ｔａ）と、上述した添加元素群から選択された１種以上の元素とを含み、且つハードマスク５が、ルテニウム（Ｒｕ）、チタン（Ｔｉ）、クロム（Ｃｒ）、ニッケル（Ｎｉ）、コバルト（Ｃｏ）、ビスマス（Ｂｉ）、鉄（Ｆｅ）、金（Ａｕ）、銀（Ａｇ）、ハフニウム（Ｈｆ）、タンタル（Ｔａ）、アルミニウム（Ａｌ）、及びシリコン（Ｓｉ）、並びにそれらの酸化物、窒化物、ホウ化物、酸窒化物、酸

ホウ化物、及び酸窒化ホウ化物からなる群から選択された１種以上の元素を含んでいてもよい。

[0044] 一般に、ドライエッチングは、プラズマ中で導入ガスが電子と衝突し、活性ラジカルや種々の形に解離した反応性イオンが発生してエッチングを引き起こす。そのため、エッチング表面に低沸点の揮発性生成物が形成されるほどエッチングされやすく、その指標となるのは、被エッチング材料と導入ガスによる反応生成物の沸点や蒸気圧である。すなわち、沸点が低い反応生成物ほど気化して蒸気圧は高くなり排気されやすい。

[0045] 反射型フォトマスク２０を作製する際の吸収層４のエッチングにおいては、前記の「エッチングされやすい」、あるいは「エッチングされにくい」の定義は、塩素系ガスに対してエッチングされやすい場合、エッチングによって生成する少なくとも一種の塩素系化合物の沸点が２５０℃以下であり、塩素系ガスに対してエッチングされにくい場合、エッチングによって生成する化学量論的にとり得る形態の塩化物の沸点が３００℃以上であることである。フッ素系ガスに対しても同様である。

そのため、ハードマスク５として使用する材料は、フッ素系ガスまたは塩素系ガスのエッチングされやすい材料、即ちフッ素系化合物または塩素系化合物の沸点が低い物質が望ましい。

[0046] 表１に、金属のハロゲン系化合物の沸点を示した。表１の数値は各種文献（ＣＲＣ Ｈａｎｄｂｏｏｋ ｏｆ Ｃｈｅｍｉｓｔｒｙ ａｎｄ Ｏｈｙｓｉｃｓ，９７ｔｈ Ｅｄｉｔｉｏｎ （２０１６）など）及びウェブサイトで見られる値をまとめたものである。表１に示すようにフッ素系ガスでエッチングされやすい混合材料としては、例えば、ルテニウム（Ｒｕ）、ビスマス（Ｂｉ）、タンタル（Ｔａ）、シリコン（Ｓｉ）がある。また、塩素系ガスでエッチングされやすい混合材料としては、例えば、チタン（Ｔｉ）、クロム（Ｃｒ）、金（Ａｕ）、タンタル（Ｔａ）、アルミニウム（Ａｌ）、シリコン（Ｓｉ）がある。またこれらの混合材料の酸化物、窒化物、酸窒化物、窒化ホウ素化物を用いても良い。

[0047] [表1]

	ハロゲン系化合物の沸点（℃）	
材料	フッ素系	塩素系
Ru	227	-
Ti	284	136.4
Cr	400	117
Ni	-	973
Co	1400	1049
Bi	230	447
Fe	1100	316
Au	300	200
Ag	1150	1550
Hf	968	316
Ta	229.5	242
Al	-	182.7
Si	-18.9	145

[0048] ただし、上記事項は、エッチングガス及びその反応性の一例であり、本実施形態におけるエッチングガスは、フッ素系ガス及び塩素系ガスの２種類に限定するものではない。フッ素系ガス及び塩素系ガスに加え、これらの混合ガスを用いてもよく、反応促進のために酸素ガスや水素ガス等の非ハロゲン系などのガスを含んでいてもよい。上記混合ガスを使用することで、フッ素系化合物または塩素系化合物の沸点が２５０℃以下でない材料もエッチングすることが可能である。

[0049] ハードマスク５は、吸収層４のエッチングが完了するまで吸収層４の上に残っている必要がある。ただし、ハードマスク５の膜厚が３０ｎｍを超えると微細なパターンの形成が困難となる場合がある。また、ハードマスク５の膜厚が２ｎｍ未満であると、ハードマスク５の膜厚が薄すぎて均一な膜厚を有するハードマスク５の成膜が困難となる場合がある。

したがって、ハードマスク５の膜厚は、２ｎｍ以上３０ｎｍ以下の範囲内であれば好ましく、５ｎｍ以上１０ｎｍ以下の範囲内であればさらに好ましい。

なお、本実施形態における吸収層４の加工は、ドライエッチングに限定す

るものではない。例えば原子層エッチング（ＡＬＥ）を用いて吸収層４の加工を行うことも可能である。

[0050] 以下、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の実施例について説明する。

[0051] ［実施例１］

最初に、反射型フォトマスクブランク１０の作製方法について図５を用いて説明する。

まず、図５に示すように、低熱膨張特性を有する合成石英の基板１の上に、シリコン（Ｓｉ）とモリブデン（Ｍｏ）とを一対とする積層膜が４０枚積層されて形成された反射層２を形成する。反射層２の膜厚は２８０ｎｍとした。

次に、反射層２上に、中間膜としてルテニウム（Ｒｕ）で形成されたキャッピング層３を、膜厚が３．５ｎｍになるように成膜した。

次に、キャッピング層３の上に、プラチナ（Ｐｔ）とタンタル（Ｔａ）とを含む吸収層４を膜厚が３３ｎｍになるように成膜した。成膜した吸収層４について、ラザフォード後方散乱分析法（ＲＢＳ）を用いて組成分析を行ったところ、吸収層４全体におけるプラチナ（Ｐｔ）の含有量は５５原子％、タンタル（Ｔａ）の含有量が４５原子％であった。

[0052] さらに、原子間力顕微鏡（ＡＦＭ）を用いて吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．１ｎｍであった。

また、吸収層４の結晶性をＸＲＤ（Ｘ線回析装置）で測定したところ、僅かに結晶性が見られるものの、アモルファスであった。

次に、基板１の反射層２が形成されていない側の面に、窒化クロム（ＣｒＮ）で形成された裏面導電膜６を１００ｎｍの厚さで成膜し、実施例１の反射型フォトマスクブランク１０を作成した。

基板１上へのそれぞれの膜の成膜（層の形成）は、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。

[0053] 次に、反射型フォトマスク２０の作製方法について図６から図９を用いて

説明する。

まず、図６に示すように、反射型フォトマスクブランク１０の吸収層４の上に、ポジ型化学増幅型レジスト（ＳＥＢＰ９０１２：信越化学社製）を１２０ｎｍの膜厚にスピンコートで塗布し、１１０℃で１０分間ベークし、レジスト膜７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７に所定のパターンを描画した。その後、１１０℃、１０分間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７に示すように、レジストパターン７１を形成した。

[0054] 次に、レジストパターン７１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４のパターニングを行った。これにより、図８に示すように、吸収層４に吸収パターン（吸収パターン層）４１を形成した。

次に、レジストパターン７１を洗浄工程にて剥離を行い、図９に示すように、本実施例の反射型フォトマスク２０を作製した。本実施例において、吸収層４に形成した吸収パターン４１は、転写評価用の反射型フォトマスク２０上で、線幅６４ｎｍＬＳ（ラインアンドスペース）パターン、ＡＦＭを用いた吸収層の膜厚測定用の線幅２００ｎｍＬＳパターン、ＥＵＶ反射率測定用の４ｍｍ角の吸収層除去部を含んでいる。本実施例では、ＥＵＶ照射による射影効果の影響が見えやすくなるように、線幅６４ｎｍＬＳパターンを、図１０に示すように、ｘ方向とｙ方向それぞれに設計した。

[0055] ［実施例２－１］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の９０原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の１０原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が２８ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．３ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、実施例１と同様の方法で、実施例２－１の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を作製した。

[0056] ［実施例２－２］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の９０原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の１０原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が２８ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．３ｎｍであった。

次に、吸収層４の上に、二酸化ケイ素（SiO_2）で形成されたハードマスク（ＨＤ：図示せず）を膜厚が１０ｎｍになるように成膜した。

なお、吸収層４の成膜以外は、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ブランク１０を作製した。

[0057] 次に、実施例１と同様の方法で、レジストパターン７１を形成した。その後、レジストパターン７１をエッチングマスクとして、フッ素系ガスを主体としたドライエッチングにより、ハードマスクのパターニングを行った。

次に、パターニングされたハードマスク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４のパターニングを行った。これにより、吸収層４に吸収パターン（吸収パターン層）４１を形成した。

次に、レジストパターン７１を洗浄工程にて剥離を行った。

最後に、フッ素系ガスを主体としたドライエッチングにより、エッチングマスクとして使用したハードマスクを除去した。

それ以外は、実施例１と同様の方法で、実施例２－２の反射型フォトマスク２０を作製した。

[0058] ［実施例３］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の６０原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の４０原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が３９ｎｍになるよ

うに成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．１ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、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ブランク１０及び反射型フォトマスク２０を作製した。

[0059]［実施例４］

キャッピング層３の上に、プラチナ（Ｐｔ）とタンタル（Ｔａ）とハフニウム（Ｈｆ）とを含む吸収層４を膜厚が４０ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．１ｎｍであった。また、成膜した吸収層４について、ラザフォード後方散乱分析法（ＲＢＳ）を用いて組成分析を行ったところ、吸収層４全体におけるプラチナ（Ｐｔ）の含有量は６０原子％、タンタル（Ｔａ）の含有量が３０原子％、ハフニウム（Ｈｆ）の含有量が１０原子％であった。

なお、吸収層４の成膜以外は、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ブランク１０及び反射型フォトマスク２０を作製した。

[0060]［実施例５］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の７０原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の３０原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が１９ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．２ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、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ブランク１０及び反射型フォトマスク２０を作製した。

[0061]［実施例６－１］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の７０原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の３０原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が３３ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．１ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、実施例１と同様の方法で、実施例６－１の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を作製した。

[0062] ［実施例６－２］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の７０原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の３０原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が３３ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．１ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、実施例２－２と同様の方法で、実施例６－２の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を作製した。

[0063] ［実施例７－１］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の７０原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の３０原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が４８ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．３ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、実施例１と同様の方法で、実施例７－１の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を作製した。

[0064] ［実施例７－２］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の７０原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の３０原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が４８ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．３ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、実施例２－２と同様の方法で、実施例７－２の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を作製した。

[0065] ［実施例８－１］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の９０原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の１０原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が４５ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．４ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、実施例１と同様の方法で、実施例８－１の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を作製した。

[0066] ［実施例８－２］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の９０原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の１０原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が４５ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．４ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、実施例２－２と同様の方法で、実施例８－２の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を作製した。

[0067] ［実施例９］

キャッピング層３の上に、プラチナ（Ｐｔ）とタンタル（Ｔａ）とヨウ素（Ｉ）とを含む吸収層４を膜厚が２６ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．１ｎｍであった。また、成膜した吸収層４について、ラザフォード後方散乱分析法（ＲＢＳ）を用いて組成分析を行ったところ、吸収層４全体におけるプラチナ（Ｐｔ）の含有量は７０原子％、タンタル（Ｔａ）の含有量が２０原子％、ヨウ素（Ｉ）の含有量が１０原子％であった。

なお、吸収層４の成膜以外は、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ブランク１０及び反射型フォトマスク２０を作製した。

[0068] ［実施例１０］

キャッピング層３の上に、プラチナ（Ｐｔ）とタンタル（Ｔａ）とコバルト（Ｃｏ）とを含む吸収層４を膜厚が３６ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．２ｎｍであった。また、成膜した吸収層４について、ラザフォード後方散乱分析法（ＲＢＳ）を用いて組成分析を行ったところ、吸収層４全体におけるプラチナ（Ｐｔ）の含有量は６０原子％、タンタル（Ｔａ）の含有量が２０原子％、コバルト（Ｃｏ）の含有量が２０原子％であった。

なお、吸収層４の成膜以外は、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ブランク１０及び反射型フォトマスク２０を作製した。

[0069] ［実施例１１］

キャッピング層３の上に、プラチナ（Ｐｔ）とタンタル（Ｔａ）とテルル（Ｔｅ）とを含む吸収層４を膜厚が２４ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．３ｎｍであった。また、成膜した吸収層４について、ラザフォード後方散乱分析法（ＲＢＳ）を用いて組成分析を行ったところ、吸収層４全体におけるプラチナ（Ｐｔ）の含有量は７０原子％、タンタル（Ｔａ）の含有量が１５原子％、テルル（Ｔｅ）の含有量が１５原子％であった。

なお、吸収層４の成膜以外は、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ブランク１０及び反射型フォトマスク２０を作製した。

[0070] ［実施例１２］

キャッピング層３の上に、プラチナ（Ｐｔ）とタンタル（Ｔａ）とホウ素（Ｂ）とを含む吸収層４を膜厚が４１ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．１ｎｍであった。また、成膜した吸収層４について、ラザフォード後方散乱分析法（ＲＢＳ）を用いて組成分析を行ったところ、吸収層４全体におけるプラチナ（Ｐｔ）の含有量は７０原子％、タンタル（Ｔａ）の含有量が２５原子％、ホウ素（Ｂ）の含有量が５原子％であった。

なお、吸収層４の成膜以外は、実施例１と同様の方法で、実施例１２の反

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を作製した。

[0071] ［実施例１３］

キャッピング層３の上に、プラチナ（Ｐｔ）とタンタル（Ｔａ）とレニウム（Ｒｅ）とを含む吸収層４を膜厚が３３ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．２ｎｍであった。また、成膜した吸収層４について、ラザフォード後方散乱分析法（ＲＢＳ）を用いて組成分析を行ったところ、吸収層４全体におけるプラチナ（Ｐｔ）の含有量は７５原子％、タンタル（Ｔａ）の含有量が１５原子％、レニウム（Ｒｅ）の含有量が１０原子％であった。

なお、吸収層４の成膜以外は、実施例１と同様の方法で、実施例１３の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を作製した。

[0072] ［比較例１］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の４５原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の５５原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が２９ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．２ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、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ブランク１０及び反射型フォトマスク２０を作製した。

[0073] ［比較例２］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の３０原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の７０原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が２８ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．３ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、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ブランク１０及び反射型フォトマスク２０を作製した。

[0074] ［比較例３］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の７０原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の３０原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が１５ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．２ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、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ブランク１０及び反射型フォトマスク２０を作製した。

[0075] ［比較例４］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の７０原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の３０原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が５５ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．４ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、実施例１と同様の方法で、比較例４の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を作製した。

[0076] ［比較例５］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の５５原子％となるように、また、タンタル（Ｔａ）の含有量が吸収層４全体の４５原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が３３ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．５ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、実施例１と同様の方法で、比較例５の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を作製した。

[0077] ［比較例６］

吸収層４のプラチナ（Ｐｔ）の含有量が吸収層４全体の１００原子％となるように、吸収層４を成膜した。また、吸収層４の膜厚が３３ｎｍになるように成膜した。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．６ｎｍであった。

なお、吸収層４の成膜以外は、実施例１と同様の方法で、比較例６の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を作製した。

[0078] 前述の実施例及び比較例とは別に、従来のタンタル（Ｔａ）系吸収パターン層であるＴａＢＯ／ＴａＢＮで構成された吸収パターン層を有する反射型フォトマスク（既存マスク）も参考例として比較した。反射型フォトマスクブランクは、前述の実施例及び比較例と同様に、低熱膨張特性を有する合成石英の基板上に、シリコン（Ｓｉ）とモリブデン（Ｍｏ）とを一対とする積層膜が４０枚積層されて形成された反射層と、膜厚３．５ｎｍのルテニウム（Ｒｕ）キャッピング層３とを有し、キャッピング層３上に形成された吸収層４は、膜厚５８ｎｍのＴａＢＮ上に膜厚２ｎｍのＴａＢＯを成膜したものである。こうして成膜した吸収層４の表面粗さ（ＲＭＳ）を測定したところ、０．１ｎｍであった。

また、前述の実施例及び比較例と同様に、吸収層４がパターニングされたものを評価に用いた。

前述の実施例及び比較例において、吸収層４の膜厚は、透過電子顕微鏡によって測定した。

[0079] 以下、本実施例で評価した評価項目について説明する。

（加工性）

前述の実施例及び比較例において、ＳＥＭによる解析を行い、吸収パターン層４１におけるパターンに断線や抜け不良（いわゆるパターン欠陥）がないか確認を行った。また、吸収パターン層４１におけるパターンの断面形状の確認も行った。

形成したパターンに異常がなければ、加工適正（転写性能）に問題はないとして、本評価では「合格（△）」とした。また、形成したパターンに異常がなく、且つ断面画像から確認できる側壁角（キャッピング層３の表面を基準にした仰角）が８０°以上である場合には、加工適正（転写性能）に何ら問題はないとして、本評価では「合格（〇）」とした。

つまり、実施例２－１、実施例６－１、実施例７－１、実施例８－１の各

形態においては、ハードマスク（ＨＤ）を設けることにより、加工適正（転写性能）が向上することが示唆される。

[0080]（反射率）

前述の実施例及び比較例において、作製した反射型フォトマスク２０の吸収パターン層４１領域（図１０を参照）の反射率ＲａをＥＵＶ光による反射率測定装置で測定した。また吸収パターン層４１が形成されていない反射部８（図１０を参照）における反射率ＲｍをＥＵＶ光による反射率測定装置で測定した。こうして、実施例及び比較例に係る反射型フォトマスク２０のＯＤ値を前述した式１を用いて算出した。

前述の通り、ＯＤ値が１．０未満の場合には、十分なコントラストを得ることができず、転写性能が低下する。したがって、ＯＤ値が１．０以上であれば転写性能に問題はないとして、本評価では「合格」とした。

[0081]（ウェハ露光評価）

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、実施例及び比較例で作製した反射型フォトマスク２０の吸収パターン４１を転写露光した。このとき、露光量は、図１０に示すｘ方向のＬＳパターンが設計通りに転写するように調節した。具体的には、本露光試験では、図１０に示すｘ方向のＬＳパターン（線幅６４ｎｍ）が、半導体ウェハ上で１６ｎｍの線幅となるように露光した。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、ＨＶバイアス値がどのように変化するかをシミュレーションにより比較した。

[0082] ＨＶバイアス値は、マスクパターンの向きに依存した転写パターンの線幅差、つまり、水平（Ｈｏｒｉｚｏｎｔａｌ：Ｈ）方向の線幅と垂直（Ｖｅｒｔｉｃａｌ：Ｖ）方向の線幅との差のことである。Ｈ方向の線幅は、入射光と反射光が作る面（以下、「入射面」と称する場合がある）に直交する線状パターンの線幅を示し、Ｖ方向の線幅は、入射面に平行な線状パターンの線幅を示している。つまり、Ｈ方向の線幅は、入射面に平行な方向の長さであ

り、Ｖ方向の線幅は、入射面に直交する方向の長さである。

[0083] 評価方法としては、表２に「既存マスク」として示した、既存のタンタル（Ｔａ）系フォトマスクのＨＶバイアス値を基準とし、ＨＶバイアス値の大小で評価した。つまり、ｘ方向のＬＳパターンが設計通りに転写するように調節した状態で、ｙ方向のＬＳパターンが設計通りに転写され、ＨＶバイアスが既存のタンタル（Ｔａ）系フォトマスクを用いた場合よりも小さい場合を本評価では「合格」とした。そして、ｘ方向のＬＳパターンが設計通りに転写するように調節した状態で、設計通りに転写されない場合（ｙ方向のＬＳパターンが解像しない場合）、あるいはＨＶバイアスが既存のタンタル（Ｔａ）系フォトマスクを用いた場合よりも大きい場合を本評価では「不合格」とした。

これらの評価結果を、表に示した。なお、表には、上記評価結果に加えて、屈折率ｎ及び消衰係数ｋも示す。

[0084]

[表2]

	組成	膜厚	n	k	表面粗さ	加工性	OD値	HVバイアス	総合判定
実施例1	PtTa（55:45）	33	0.916	0.050	0.1	○	1.67	1.47	○
実施例2-1	PtTa（90:10）	28	0.897	0.056	0.3	HMなし：△	1.39	1.78	○
実施例2-2	PtTa（90:10）	28	0.897	0.056	0.3	HMあり：○	1.39	—	○
実施例3	PtTa（60:40）	39	0.914	0.051	0.1	○	1.57	1.23	○
実施例4	PtTaHf（60:30:10）	40	0.914	0.051	0.1	○	1.95	1.18	○
実施例5	PtTa（70:30）	19	0.908	0.052	0.2	○	1.02	1.46	○
実施例6-1	PtTa（70:30）	33	0.908	0.052	0.1	HMなし：○	1.74	1.38	○
実施例6-2	PtTa（70:30）	33	0.908	0.052	0.1	HMあり：◎	1.74	—	○
実施例7-1	PtTa（70:30）	48	0.908	0.052	0.3	HMなし：△	2.67	0.85	○
実施例7-2	PtTa（70:30）	48	0.908	0.052	0.3	HMあり：○	2.67	—	○
実施例8-1	PtTa（90:10）	45	0.897	0.056	0.4	HMなし：△	1.58	0.77	○
実施例8-2	PtTa（90:10）	45	0.897	0.056	0.4	HMあり：○	1.58	—	○
実施例9	PtTaI（70:20:10）	26	0.912	0.054	0.1	○	1.46	1.43	○
実施例10	PtTaCo（50:20:20）	36	0.910	0.055	0.2	○	1.45	1.62	○
実施例11	PtTaTe（70:15:15）	24	0.912	0.058	0.3	○	1.13	1.44	○
実施例12	PtTaB（70:25:5）	41	0.907	0.053	0.1	○	2.46	1.15	○
実施例13	PtTaRe（75:15:10）	33	0.902	0.054	0.2	○	1.71	1.32	○
比較例1	PtTa（45:55）	29	0.922	0.048	0.2	○	1.00	1.85	×
比較例2	PtTa（30:70）	28	0.929	0.045	0.3	×	0.98	—	×
比較例3	PtTa（70:30）	15	0.908	0.052	0.2	×	0.57	—	×
比較例4	PtTa（70:30）	55	0.908	0.052	0.4	×	2.45	0.81	×
比較例5	PtTa（55:45）	33	0.916	0.050	0.5	×	1.67	1.47	×
比較例6	Pt	33	0.891	0.058	0.6	×	1.74	0.98	×
既存マスク	既存TaBO/TaBN	2/58nm	0.953	0.031	0.1	○	1.69	1.80	△

[0085] 表２において、各実施例及び各比較例のＯＤ値の比較を示す。前述の通り、ＯＤ値が１．０未満の場合には、十分なコントラストを得ることができず、転写性能が低下する。

従来の膜厚６０ｎｍのタンタル（Ｔａ）系吸収パターン層を備えた反射型フォトマスク（既存の反射型フォトマスク）のＯＤ値は１．６９であるのに対し、実施例１の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は１．６７であり、実施例２－１及び実施例２－２の反射型フォトマスク２０のＯＤ値はそれぞれ１．３９であり、実施例３の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は１．５７であり、実施例４の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は１．９５であり、実施例

５の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は１．０２であり、実施例６－１及び実施例６－２の反射型フォトマスク２０のＯＤ値はそれぞれ１．７４であり、実施例７－１及び実施例７－２の反射型フォトマスク２０のＯＤ値はそれぞれ２．６７であり、実施例８－１及び実施例８－２の反射型フォトマスク２０のＯＤ値はそれぞれ１．５８であり、実施例９の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は１．４６であり、実施例１０の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は１．４５であり、実施例１１の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は１．１３であり、実施例１２の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は２．４６であり、実施例１３の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は１．７１であった。また、比較例においては、比較例１の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は１．００であり、比較例２の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は０．９８であり、比較例３の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は０．５７であり、比較例４の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は２．４５であり、比較例５の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は１．６７であり、比較例６の反射型フォトマスク２０のＯＤ値は１．７４であった。すなわち、比較例２、３はＯＤ値がそれぞれ１．０未満であり、本評価における「合格」の基準を満たさなかった。

[0086] 表２において、各実施例及び各比較例のＨＶバイアスの比較を示す。

従来の膜厚６０ｎｍのタンタル（Ｔａ）系吸収パターン層を備えた反射型フォトマスクを用いたＥＵＶ光によるパターニングの結果、ＨＶバイアスは１．８０ｎｍであった。これに対し実施例１のＨＶバイアスは１．４７ｎｍであり、実施例２－１のＨＶバイアスは１．７８ｎｍであり、実施例３のＨＶバイアスは１．２３ｎｍであり、実施例４のＨＶバイアスは１．１８ｎｍであり、実施例５のＨＶバイアスは１．４６ｎｍであり、実施例６－１のＨＶバイアスは１．３８ｎｍであり、実施例７－１のＨＶバイアスは０．８５ｎｍであり、実施例８－１のＨＶバイアスは０．７７ｎｍであり、実施例９のＨＶバイアスは１．４３ｎｍであり、実施例１０のＨＶバイアスは１．６２ｎｍであり、実施例１１のＨＶバイアスは１．４４ｎｍであり、実施例１２のＨＶバイアスは１．１５ｎｍであり、実施例１３のＨＶバイアスは１．

３２ｎｍであった。また、比較例においては、比較例４のＨＶバイアスは０．８１ｎｍであり、比較例５のＨＶバイアスは１．４７ｎｍであり、比較例６のＨＶバイアスは０．９８ｎｍであり、本評価における「合格」の基準を満たした。

[0087] これに対し、比較例１のＨＶバイアスは１．８５ｎｍと、ＥＵＶ光によるパターニングの結果、従来のタンタル（Ｔａ）系フォトマスクと比較して転写性が悪化した。

なお、比較例２、３については、各ＯＤ値が小さく、吸収層４のパターン加工ができず、ＨＶバイアスを測定することができなかった。

[0088] ここで、本実施例では、実施例２－２、実施例６－２、実施例７－２、実施例８－２の各形態（つまり、ハードマスクを備えた形態）に対してはＨＶバイアスの評価を行わなかった。その理由は、優れた加工特性を備えており、ＨＶバイアスの評価も「合格」の基準を満たしている、実施例２－１、実施例６－１、実施例７－１、実施例８－１の各形態（つまり、ハードマスクを備えない形態）であれば、ハードマスクをさらに備えた各形態であってもＨＶバイアス値が低下することはなく、ＨＶバイアスの評価が「不合格」となることはないからである。

つまり、ハードマスクを備えた各形態（実施例２－２、実施例６－２、実施例７－２、実施例８－２）のＨＶバイアス値は、ハードマスクを備えない各形態（実施例２－１、実施例６－１、実施例７－１、実施例８－１）のＨＶバイアス値と同等であるため、表２ではその表記を省略している。

[0089] 表２において、加工性とＯＤ値とＨＶバイアスの総合的評価を示す。射影効果を抑制または軽減でき、且つ吸収層の加工性を有する反射型フォトマスク２０については、「判定」の欄に「〇」と記し、射影効果を十分に抑制または軽減できなかった、又は吸収層の加工性が低い反射型フォトマスク２０については、「判定」の欄に「×」と記した。従来のタンタル（Ｔａ）系フォトマスクは比較対象であるため、「判定」の欄に「△」と記した。

[0090] 更に、実施例１～１３及び比較例１～６の表面粗さ（ＲＭＳ）も補足とし

て確認している。測定には原子間力顕微鏡（ＡＦＭ）を用いた。ＥＵＶ光の反射率の影響を抑えるため、ＲＭＳが０．４ｎｍ以下を「合格」とした場合、実施例１～１３及び比較例１～４の反射型フォトマスク２０については、本評価における「合格」の基準を満たし、比較例５～６は「不合格」であった。

[0091] これにより、吸収パターン層４１が、プラチナ（Ｐｔ）を５０原子％以上含有し、且つタンタル（Ｔａ）を５原子％以上５０原子％未満の範囲内で含有する材料で形成され、吸収パターン層４１の膜厚が１７ｎｍ以上５０ｎｍ以下の範囲内であり、吸収パターン層４１のＥＵＶ光に対する消衰係数が０．０４９以上であり、吸収パターン層４１の表面粗さが０．４ｎｍ以下である反射型フォトマスクであれば、吸収層４の加工性（パターン加工性）、光学濃度（ＯＤ値）、ＨＶバイアスが共に良好であることから、反射型フォトマスクブランクに転写パターンを確実に形成することができ、射影効果を低減でき、且つ転写性能が高くなるという結果となった。

[0092] また、例えば、本開示に係る反射型フォトマスクブランク、反射型フォトマスク及び反射型フォトマスクの製造方法は、以下のような構成を取ることができる。

（１）

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を作製するための反射型フォト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を含む反射層と、

前記反射層の上に形成された吸収層と、を有し、

前記吸収層は、プラチナ（Ｐｔ）を５０原子％以上含有し、且つタンタル（Ｔａ）を５原子％以上５０原子％未満の範囲内で含有する材料で形成され、

前記吸収層の膜厚は、１７ｎｍ以上５０ｎｍ以下の範囲内であり、

前記吸収層のＥＵＶ光に対する消衰係数は、０．０４９以上であり、

前記吸収層の表面粗さは、０．４ｎｍ以下である反射型フォトマスクブランク。

（２）

前記吸収層は、前記タンタル（Ｔａ）を２０原子％以上４０原子％以下の範囲内で含有する材料で形成されている上記（１）に記載の反射型フォトマスクブランク。

（３）

前記吸収層は、ルテニウム（Ｒｕ）、イリジウム（Ｉｒ）、チタン（Ｔｉ）、クロム（Ｃｒ）、インジウム（Ｉｎ）、ニッケル（Ｎｉ）、コバルト（Ｃｏ）、ビスマス（Ｂｉ）、鉄（Ｆｅ）、金（Ａｕ）、銀（Ａｇ）、ヨウ素（Ｉ）、テルル（Ｔｅ）、ハフニウム（Ｈｆ）、タングステン（W）、パラジウム（Ｐｄ）、レニウム（Ｒｅ）、アルミニウム（Ａｌ）、窒素（Ｎ）、亜鉛（Ｚｎ）、ガリウム（Ｇａ）、及びホウ素（Ｂ）からなる群から選択された１種以上の元素をさらに含有する上記（１）または（２）に記載の反射型フォトマスクブランク。

（４）

前記吸収層の上にハードマスクを有し、

前記ハードマスクの膜厚は、２ｎｍ以上３０ｎｍ以下の範囲内である上記（１）から（３）のいずれか１項に記載の反射型フォトマスクブランク。

（５）

前記ハードマスクは、ルテニウム（Ｒｕ）、チタン（Ｔｉ）、クロム（Ｃｒ）、ニッケル（Ｎｉ）、コバルト（Ｃｏ）、ビスマス（Ｂｉ）、鉄（Ｆｅ）、金（Ａｕ）、銀（Ａｇ）、ハフニウム（Ｈｆ）、タンタル（Ｔａ）、アルミニウム（Ａｌ）、及びシリコン（Ｓｉ）、並びにそれらの酸化物、窒化物、ホウ化物、酸窒化物、酸ホウ化物、及び酸窒化ホウ化物の群から選択された１種以上からなる上記（１）から（４）のいずれか１項に記載の反射型フォトマスクブランク。

（６）

前記吸収層の上に酸化膜を有する上記（１）から（５）のいずれか１項に記載の反射型フォトマスクブランク。

（７）

前記反射層と前記吸収層との間にキャッピング層が形成されている上記（１）から（６）のいずれか１項に記載の反射型フォトマスクブランク。

（８）

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であって、

基板と、

前記基板上に形成された多層膜を含む反射層と、

前記反射層上に形成された吸収パターン層と、を有し、

前記吸収パターン層は、プラチナ（Ｐｔ）を５０原子％以上含有し、且つタンタル（Ｔａ）を５原子％以上５０原子％未満の範囲内で含有する材料で形成され、

前記吸収パターン層の膜厚は、１７ｎｍ以上５０ｎｍ以下の範囲内であり、

前記吸収層のＥＵＶ光に対する消衰係数は、０．０４９以上であり、

前記吸収パターン層の表面粗さは、０．４ｎｍ以下である反射型フォトマスク。

（９）

前記吸収パターン層は、タンタル（Ｔａ）を２０原子％以上４０原子％以下の範囲内で含有する材料で形成されている上記（８）に記載の反射型フォトマスク。

（１０）

前記吸収パターン層は、ルテニウム（Ｒｕ）、イリジウム（Ｉｒ）、チタン（Ｔｉ）、クロム（Ｃｒ）、インジウム（Ｉｎ）、ニッケル（Ｎｉ）、コバルト（Ｃｏ）、ビスマス（Ｂｉ）、鉄（Ｆｅ）、金（Ａｕ）、銀（Ａｇ）、ヨウ素（Ｉ）、テルル（Ｔｅ）、ハフニウム（Ｈｆ）、タングステン（Ｗ）、パラジウム（Ｐｄ）、レニウム（Ｒｅ）、アルミニウム（Ａｌ）、窒素

（Ｎ）、亜鉛（Ｚｎ）、ガリウム（Ｇａ）、及びホウ素（Ｂ）からなる群から選択された１種以上の元素をさらに含有する上記（８）または（９）に記載の反射型フォトマスク。

（１１）

前記吸収パターン層の上と前記吸収パターン層の側面の少なくとも一方に酸化膜を有する上記（８）から（１０）のいずれか１項に記載の反射型フォトマスク。

（１２）

前記反射層と前記吸収パターン層との間にキャッピング層が形成されている上記（８）から（１１）のいずれか１項に記載の反射型フォトマスク。

（１３）

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方法であって、

基板上に多層膜を含む反射層を形成する工程と、

前記反射層上に吸収パターン層を形成する工程と、を有し、

前記吸収パターン層は、プラチナ（Ｐｔ）を５０原子％以上含有し、且つタンタル（Ｔａ）を５原子％以上５０原子％未満の範囲内で含有する材料で形成され、

前記吸収パターン層の膜厚は、１７ｎｍ以上５０ｎｍ以下の範囲内であり、

前記吸収パターン層のＥＵＶ光に対する消衰係数は、０．０４９以上であり、

前記吸収パターン層の表面粗さは、０．４ｎｍ以下である反射型フォトマスクの製造方法。

産業上の利用可能性

[0093] 本発明にかかる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

[0094] １…基板

２…反射層

３…キャッピング層

４…吸収層

４１…吸収パターン（吸収パターン層）

５…ハードマスク

１０…反射型フォトマスクブランク

２０…反射型フォトマスク

６…裏面導電膜

７…レジスト膜

７１…レジストパターン

８…反射部

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フォトマスクを作製するための反射型フォト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を含む反射層と、

前記反射層の上に形成された吸収層と、を有し、

前記吸収層は、プラチナ（Ｐｔ）を５０原子％以上含有し、且つタンタル（Ｔａ）を５原子％以上５０原子％未満の範囲内で含有する材料で形成され、

前記吸収層の膜厚は、１７ｎｍ以上５０ｎｍ以下の範囲内であり、

前記吸収層のＥＵＶ光に対する消衰係数は、０．０４９以上であり、

前記吸収層の表面粗さは、０．４ｎｍ以下である反射型フォトマスクブランク。

[請求項2] 前記吸収層は、前記タンタル（Ｔａ）を２０原子％以上４０原子％以下の範囲内で含有する材料で形成されている請求項１に記載の反射型フォトマスクブランク。

[請求項3] 前記吸収層は、ルテニウム（Ｒｕ）、イリジウム（Ｉｒ）、チタン（Ｔｉ）、クロム（Ｃｒ）、インジウム（Ｉｎ）、ニッケル（Ｎｉ）、コバルト（Ｃｏ）、ビスマス（Ｂｉ）、鉄（Ｆｅ）、金（Ａｕ）、銀（Ａｇ）、ヨウ素（Ｉ）、テルル（Ｔｅ）、ハフニウム（Ｈｆ）、タングステン（W）、パラジウム（Ｐｄ）、レニウム（Ｒｅ）、アルミニウム（ＡＩ）、窒素（Ｎ）、亜鉛（Ｚｎ）、ガリウム（Ｇａ）、及びホウ素（Ｂ）からなる群から選択された１種以上の元素をさらに含有する請求項１に記載の反射型フォトマスクブランク。

[請求項4] 前記吸収層の上にハードマスクを有し、

前記ハードマスクの膜厚は、２ｎｍ以上３０ｎｍ以下の範囲内である請求項３に記載の反射型フォトマスクブランク。

[請求項5] 前記ハードマスクは、ルテニウム（Ｒｕ）、チタン（Ｔｉ）、クロム（Ｃｒ）、ニッケル（Ｎｉ）、コバルト（Ｃｏ）、ビスマス（Ｂｉ）、鉄（Ｆｅ）、金（Ａｕ）、銀（Ａｇ）、ハフニウム（Ｈｆ）、タンタル（Ｔａ）、アルミニウム（Ａｌ）、及びシリコン（Ｓｉ）、並びにそれらの酸化物、窒化物、ホウ化物、酸窒化物、酸ホウ化物、及び酸窒化ホウ化物の群から選択された１種以上からなる請求項４に記載の反射型フォトマスクブランク。

[請求項6] 前記吸収層の上に酸化膜を有する請求項３に記載の反射型フォトマスクブランク。

[請求項7] 前記反射層と前記吸収層との間にキャッピング層が形成されている請求項１～６のいずれか１項に記載の反射型フォトマスクブランク。

[請求項8] 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であって、

基板と、

前記基板上に形成された多層膜を含む反射層と、

前記反射層上に形成された吸収パターン層と、を有し、

前記吸収パターン層は、プラチナ（Ｐｔ）を５０原子％以上含有し、且つタンタル（Ｔａ）を５原子％以上５０原子％未満の範囲内で含有する材料で形成され、

前記吸収パターン層の膜厚は、１７ｎｍ以上５０ｎｍ以下の範囲内であり、

前記吸収パターン層のＥＵＶ光に対する消衰係数は、０．０４９以上であり、

前記吸収パターン層の表面粗さは、０．４ｎｍ以下である反射型フォトマスク。

[請求項9] 前記吸収パターン層は、タンタル（Ｔａ）を２０原子％以上４０原子％以下の範囲内で含有する材料で形成されている請求項８に記載の反射型フォトマスク。

[請求項10] 前記吸収パターン層は、ルテニウム（Ｒｕ）、イリジウム（Ｉｒ）、チタン（Ｔｉ）、クロム（Ｃｒ）、インジウム（Ｉｎ）、ニッケル（Ｎｉ）、コバルト（Ｃｏ）、ビスマス（Ｂｉ）、鉄（Ｆｅ）、金（Ａｕ）、銀（Ａｇ）、ヨウ素（Ｉ）、テルル（Ｔｅ）、ハフニウム（Ｈｆ）、タングステン（Ｗ）、パラジウム（Ｐｄ）、レニウム（Ｒｅ）、アルミニウム（Ａｌ）、窒素（Ｎ）、亜鉛（Ｚｎ）、ガリウム（Ｇａ）、及びホウ素（Ｂ）からなる群から選択された１種以上の元素をさらに含有する請求項９に記載の反射型フォトマスク。

[請求項11] 前記吸収パターン層の上と前記吸収パターン層の側面の少なくとも一方に酸化膜を有する請求項１０に記載の反射型フォトマスク。

[請求項12] 前記反射層と前記吸収パターン層との間にキャッピング層が形成されている請求項８～１１のいずれか１項に記載の反射型フォトマスク。

[請求項13] 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方法であって、

基板上に多層膜を含む反射層を形成する工程と、

前記反射層上に吸収パターン層を形成する工程と、を有し、

前記吸収パターン層は、プラチナ（Ｐｔ）を５０原子％以上含有し、且つタンタル（Ｔａ）を５原子％以上５０原子％未満の範囲内で含有する材料で形成され、

前記吸収パターン層の膜厚は、１７ｎｍ以上５０ｎｍ以下の範囲内であり、

前記吸収パターン層のＥＵＶ光に対する消衰係数は、０．０４９以上であり、

前記吸収パターン層の表面粗さは、０．４ｎｍ以下である反射型フォトマスクの製造方法。