

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出来る。そのため、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)の適用が始まっている。

[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としては、反射型のフォトマスク(EUV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マスクが開示されている。

[0004] また、上述した通り、EUVリソグラフィは、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、EUVマスクへの入射光と反射光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。

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、射影効果と呼ばれる問題が発生する。

[0005] 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EUV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、入射方向とマスクパターンの向きによっては、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。

[0006] そこで、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、吸収層を、Taを主成分として50原子%（at%）以上含み、さらにTe、Sb、Pt、I、Bi、Ir、Os、W、Re、Sn、In、Po、Fe、Au、Hg、Ga及びAlから選ばれた少なくとも一種の元素を含む材料で構成した反射型マスクブランクが記載されている。

[0007] さらに、更なる微細化に伴い、最近では位相シフト効果を用いた反射型マスクブランクの採用も検討されている。位相シフト効果とは、開口部に隣接する位相シフト部を通過した透過光の位相が開口部を通過した透過光の位相と反転するように調整することによって、透過光が干渉し合う部分の光強度を弱め、その結果として、転写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効果のことをいう。そのため、反射型マスクブランクにも位相シフト効果を用いることで、更なる転写性の向上が期待できる。

[0008] 例えば、特許文献3に記載の位相シフト効果を用いた反射型マスクブランクは、反射率とコントラストを向上させる位相差から、位相シフト層の膜厚や材料組成の組み合わせを限定している。これにより、位相シフト層を膜厚

60 nm以下に薄膜化し、シャドウイング効果を低減しつつ位相シフト効果が得られることが特許文献3に記載されている。しかし、特許文献3では、材料と目的とする反射率・位相差から膜厚を導出しており、その膜厚が従来よりも薄いことを主張しているが、実際の転写性については言及されていない。仮に、NiやCoなど、EUVの吸収が大きい材料で位相シフト膜を構成した場合、従来膜より薄くても、斜入射されたEUV光の強い妨げとなり転写性は向上しない場合がある。

先行技術文献

特許文献

[0009] 特許文献1：特開2011-176162号公報

特許文献2：特開2007-273678号公報

特許文献3：国際公開第2019/225737号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] 本発明は、位相シフト効果を最大限に活用し、射影効果の影響を抑制または軽減することで、高い転写性能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] 上記の課題を解決するために、本開示の一態様に係る反射型フォトリソマスクブランクは、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リソマスクを作製するための反射型フォトリソマスクブランクであって、基板と、前記基板上に形成されて入射した光を反射する反射部と、前記反射部の上に形成されて入射した光を吸収する低反射部と、を備え、前記低反射部は、吸収層と位相シフト層とを備える少なくとも2層以上の積層構造体であり、前記反射部の上に前記吸収層と、前記位相シフト層とがこの順番で積層され、前記吸収層を構成する材料の波長13.5 nmに対する光学定数は、消衰係数 $k > 0.04$ を満たし、前記位相シフト層を構成する材料の波長13.5 nmに対

する光学定数は、屈折率 $n < 0.94$ を満たし、且つ消衰係数 $k < 0.02$ を満たすことを特徴とする。

[0012] また、本開示の一態様に係る反射型フォトマスクブランクにおける前記吸収層は、テルル (Te)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、プラチナ (Pt)、銀 (Ag)、錫 (Sn)、インジウム (In)、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn)、ビスマス (Bi) 及びそれらの酸化物、窒化物、酸窒化物からなる群より選択される少なくとも一種類の原子、分子を合計して 50 原子% 以上含有していれば好ましい。

[0013] また、本開示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位相シフト層は、モリブデン (Mo)、ルテニウム (Ru)、ニオブ (Nb) 及びそれらの酸化物、窒化物、酸窒化物からなる群より選択される少なくとも一種類の原子、分子を合計して 50 原子% 以上含有していれば好ましい。

[0014] また、本開示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と前記位相シフト層から構成された前記低反射部は、前記反射部に対して位相差 $160 \sim 200$ 度を有し、前記吸収層と前記位相シフト層の膜厚比に応じた反射率 $1 \sim 40 \%$ を有していれば好ましい。

[0015] 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て入射した光を反射する反射部と、前記反射部の上に形成されて入射した光を吸収する低反射部と、を備え、前記低反射部は、吸収層と位相シフト層とを備える少なくとも 2 層以上の積層構造体であり、前記反射部の上に前記吸収層と、前記位相シフト層とがこの順番で積層され、前記吸収層を構成する材料の波長 13.5 nm に対する光学定数は、消衰係数 $k > 0.04$ を満たし、前記位相シフト層を構成する材料の波長 13.5 nm に対する光学定数は、屈折率 $n < 0.94$ を満たし、且つ消衰係数 $k < 0.02$ を満たすことを特徴とする。

発明の効果

[0016] 本開示の一態様に係る反射型フォトマスク、及びそれを作製するための反

射型フォトマスクブランクであれば、射影効果の影響を抑制しつつ、高い転写性能を備える反射型フォトマスク及び反射型フォトマスクブランクを提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本実施形態に係る反射型フォトマスクブランクの一構成例を模式的に示す断面図である。

[図2]本実施形態に係る反射型フォトマスクの一構成例を模式的に示す断面図である。

[図3]E U V 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5]本実施形態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]本実施形態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]本実施形態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]本実施形態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設計パターンを表す概略平面図である。

発明を実施するための形態

[0018] 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。

[0019] 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。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。なお、図2に示す本発明の実施の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の形態に係る反射型フォトマスクブランク100の低反射部18をパターンニングして形成される。

[0020] (反射型フォトマスクブランクの構成)

本開示の実施形態に係る反射型フォトマスクブランクの基本構成について、図1を用いて説明する。

図1に示すように、本開示の一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部17と、反射部17上に形成された低反射部18とを備えている。また、反射型フォトマスクブランク100は、反射部17において多層反射膜12と、キャッピング層13とを備えており、低反射部18において吸収層14と、位相シフト層15とを備えている。すなわち、反射型フォトマスク200は、基板11の一方の面側に、多層反射膜12、キャッピング層13、吸収層14、及び位相シフト層15がこの順に積層されている。以下、各層について詳細に説明する。

[0021] (基板)

基板11は、反射型フォトマスクブランク100の基材となる層である。本発明の実施形態に係る基板11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、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、本発明ではこれらに限定されるものではない。

また、図4に示すように、基板11の多層反射膜12を形成していない面に裏面導電膜16を形成することができる。裏面導電膜16は、反射型フォ

トマスクブランク１００を露光機に設置するとき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] （反射部）

反射部１７は、基板１１上に形成され、反射型フォトマスクブランク１００に入射した光を反射するために設けられている。反射部１７は、多層反射膜１２と、キャッピング層１３とを備えている。

[0023] （多層反射膜）

多層反射膜１２は、基板１１上に形成される層であり、反射型フォトマスクブランク１００において露光光であるＥＵＶ光（極端紫外光）を反射するために設けられた層である。

多層反射膜１２は、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複数の反射膜から構成されている。例えば、多層反射膜１２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。

[0024] （キャッピング層）

キャッピング層１３は、多層反射膜１２上に形成される層であり、吸収層パターンをドライエッチングする際に、多層反射膜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。本発明の実施形態に係るキャッピング層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、キャッピング層１３は一般的にルテニウム（Ｒｕ）が適用される。なお、多層反射膜１２の材質やエッチング条件により、キャッピング層１３はなくてもかまわない。

[0025] （低反射部）

低反射部１８は、反射部１７上に形成され、反射型フォトマスクブランク１００において露光光であるＥＵＶ光を吸収するために設けられた層である。低反射部１８は、吸収層１４と、位相シフト層１５とを備えている。なお、低反射部１８は少なくとも二層以上で構成されており、そのうちの一層を

吸収層 14 とし、吸収層 14 上に位相シフト層 15 を備えている。

[0026] (吸収層)

吸収層 14 は、キャッピング層 13 上に形成される層であり、少なくとも 1 層以上で構成される層である。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層パターン（転写パターン）を形成する層である。

図 2 に示すように、反射型フォトマスクブランクの吸収層 14 の一部を除去することにより、即ち吸収層 14 をパターンニングすることにより、反射型フォトマスク 200 の吸収パターン（吸収層パターン）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、反射部 17 で反射されるが、低反射部パターン 18a 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される。

低反射部 18 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 13.5 nm に対する消衰係数 k の高い材料を低反射部 18 に適用することが好ましい。

[0027] 図 3 は、各金属材料の EUV 光の波長 13.5 nm 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 に示すように、従来の吸収層 14 の主材料であるタンタル（Ta）の消衰係数 k は 0.041 である。吸収層 14 の主材料が、タンタル（Ta）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 14 の厚さを薄くすることが可能であり、射影効果を低減できる。なお、消衰係数 k が 0.06 以上であれば、吸収層 14 の厚さを十分に薄くすることが可能で、射影効果を低減できる。

[0028] 上記のような 0.041 以上の消衰係数 k を有する材料としては、図 3 に示すように、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）、銅（Cu）、亜鉛（Zn）及びビスマス（Bi）がある。そのため、吸収層 14 の材料としては、テルル（Te）、コバルト（Co）、ニッケル（Ni）、プラチ

ナ (Pt)、銀 (Ag)、錫 (Sn)、インジウム (In)、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn)、及びビスマス (Bi)、並びにそれらの酸化物、窒化物、及び酸窒化物からなる群より選択される少なくとも一種の元素を合計して50原子%以上含有することが好ましい。

[0029] 反射型フォトリソマスクブランクにおいて吸収層14は、容易にパターニング加工が可能である必要がある。上記材料のうち、酸化錫は、塩素系ガスでドライエッチング加工が可能であることが知られている。また、単体の錫 (Sn) は融点が低く、熱安定性が悪いが、酸化錫にすることで融点は上昇することが知られている。したがって、本実施形態においては、吸収層14は、錫 (Sn) 及び酸素 (O) を含むことが好ましい。

[0030] また、反射型フォトリソマスクは水素ラジカル環境下にさらされるため、吸収層14の材料は水素ラジカル耐性の高い吸収材料でなければ、フォトリソマスクは長期の使用に耐えられない。なお、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0.1nm/s以下の材料を、水素ラジカル耐性の高い材料とする。吸収層14の材料において、錫 (Sn) 単体では水素ラジカルへの耐性が低い、酸素を追加することによって水素ラジカル耐性が高くなる。具体的には、錫 (Sn) と酸素 (O) の原子数比が1:2を超えた材料で、水素ラジカル耐性が確認された。錫 (Sn) と酸素 (O) の原子数比が1:2以下の場合では錫の結合がすべて酸化錫 (SnO_2) にならないため、膜全体を酸化錫 (SnO_2) にするために1:2を超えた原子数比が必要である。なお上記原子数比は、膜厚1 μm に成膜された材料をEDX (エネルギー分散型X線分析) で測定した結果である。

[0031] 吸収層14を形成するための錫 (Sn) 及び酸素 (O) を含む材料は、化学量論的組成の酸化錫 (SnO_2) よりも酸素を多く含むことが好ましい。すなわち、吸収層の材料中の錫 (Sn) と酸素 (O) の原子数比は1:2を超えていることが好ましい。更に、錫 (Sn) と酸素 (O) の原子数比は1:4より小さいことが好ましく、1:3.5以下であることがより好ましい。

錫（S n）と酸素（O）の原子数比は1：3．5以下である場合、吸収層14の吸収性の低下を抑制することができる。

また、吸収層14の材料は、錫（S n）及び酸素（O）を合計で50原子%以上含有することが好ましい。これは、吸収層に錫（S n）と酸素（O）以外の成分が含まれているとEUV光吸収性と水素ラジカル耐性が低下する可能性があるものの、その成分が50原子%未満であれば、EUV光吸収性と水素ラジカル耐性の低下はごく僅かであり、EUVマスクの吸収層14としての性能の低下はほとんど無いためである。

[0032] 吸収層14において、錫（S n）と酸素（O）以外の材料として、タンタル（T a）、プラチナ（P t）、テルル（T e）、ジルコニウム（Z r）、ハフニウム（H f）、チタン（T i）、タングステン（W）、シリコン（S i）、クロム（C r）、インジウム（I n）、パラジウム（P d）、ニッケル（N i）、フッ素（F）、窒素（N）、炭素（C）や水素（H）が混合されていてもよい。例えば、インジウム（I n）を混合することで、高吸収性を確保しながら、膜の導電性を有することが可能となる。これにより、波長190～260nmのDUV（Deep Ultraviolet）光を用いた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。あるいは、窒素（N）やハフニウム（H f）を混合した場合、ドライエッチング後の吸収層パターンのラフネスや面内寸法均一性や転写像の面内均一性の向上のため、膜質をよりアモルファスにすることが可能となる。

[0033] （位相シフト層）

位相シフト層15は、吸収層14上に形成される層であり、入射光の位相を変化させることにより位相シフト効果を発現して高い解像性を得るために設けられた層である。位相シフト効果とは、位相シフト層15を通過した透過光の位相が、位相シフト層15を通過していない透過光の位相と反転するように調整することによって、透過光が干渉し合う部分の光強度を弱め、その結果として、転写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効果のことをいう。

[0034] また、位相シフト層 15 は、吸収層 14 と同様に位相シフト層 15 の一部を除去することにより、位相シフトパターン（位相シフト層パターン）が形成される。

本実施形態では、反射型フォトリソマスクにおいて、反射部の上に吸収層 14 と位相シフト層 15 とがこの順に積層されている。吸収層 14 の上層に、吸収の小さい位相シフト層 15 を形成することにより、シャドウイング効果を最小限に抑え、位相シフト効果を発現し、高い解像性を得ることができる。

[0035] また、反射型フォトリソマスクにおいて、反射部からの反射光と、低反射部からの反射光の位相差が $170 \sim 190^\circ$ になるよう、各層の膜厚を調節することで、位相シフト効果により高い解像性が得られる。位相シフト層 15 は、屈折率 $n < 1$ が好ましく、屈折率 $n < 0.94$ がより好ましい。位相シフト層 15 の屈折率 n が真空の屈折率 1 よりも小さい場合、膜厚による位相差の調節がしやすくなる。また、位相シフト層 15 の膜厚が厚くなると、低反射部 18 全体の膜厚が厚くなり、シャドウイング効果で解像性が悪化する。

[0036] 位相シフト層 15 の材料としては、位相シフト層 15 においてパターンニング加工を施すため、フッ素系ガスまたは塩素系ガスでエッチング可能な材料が好ましい。また、位相シフト層 15 の材料は、シャドウイング効果に影響しないように消衰係数 $k < 0.02$ である材料が好ましい。具体的には、位相シフト層 15 の材料としては、モリブデン (Mo)、ルテニウム (Ru)、及びニオブ (Nb)、並びにそれらの酸化物、窒化物、及び酸窒化物のうち少なくとも一種の元素を含有することが好ましい。なお、エッチング速度を低下させないために、位相シフト層 15 は、前記材料を少なくとも 50 % 以上含有する材料であることが望ましい。

[0037] また、吸収層 14 が塩素系ガスでエッチング可能な錫もしくはインジウム (In) を含む場合、位相シフト層 15 においても、同様に塩素系ガスでエッチング可能なモリブデン (Mo) を好適に選択することができる。この場合、1 回のプロセスで低反射部をエッチング加工できるため、プロセスの簡略化やコンタミの低減に期待できる。

上述した吸収層 14 と位相シフト層 15 とを備える低反射部 18 は、反射部 17 に対して位相差 160°～200°度を有し、且つ吸収層 14 と位相シフト層 15 との膜厚比に応じた反射率 1%～40%を有することが好ましい。なお、低反射部 18 は、反射部 17 に対して位相差 170°～190°度を有し、且つ吸収層 14 と位相シフト層 15 との膜厚比に応じた反射率 10%～40%を有することがより好ましい。

[0038] (反射型フォトマスクの製造方法)

次に、反射型フォトマスクの製造方法について図 4 から図 8 を用いて説明する。

図 4 に示すように、反射型フォトマスクブランク 100 に備えられた低反射部 18 の上に、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 120 nm の膜厚にスピコートで成膜した。その後、110℃で 10 分間ベークし、図 5 に示すように、レジスト膜 19 を形成した。

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で形成されたレジスト膜 19 に所定のパターンを描画した。その後、110℃、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、図 6 に示すように、レジストパターン 19a を形成した。

[0039] 次に、図 7 に示すようにレジストパターン 19a 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位相シフト層 15 のパターンニングを行い、位相シフト層パターンを形成した。

次に、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 のパターンニングを行い、吸収層パターンを形成した。これにより、位相シフト層パターン及び吸収層パターンを備える低反射部パターン 18a が形成された。

[0040] 次に、残存したレジストパターン 19a の剥離を行い、低反射部パターン 18a を露出させた。以上により本実施形態に係る反射型フォトマスク 200 を製造した。なお、低反射部 18 において形成された低反射部パターン 1

8aは、転写評価用の反射型フォトマスク200上で、線幅100nmLS（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角の低反射部除去部を含んでいる。線幅100nmLSパターンは、EUVの斜め照射による射影効果の影響が見えやすくなるように、図9に示すようにx方向とy方向それぞれに設計されている。なお、実施例1の低反射部パターンは、転写評価用の反射型フォトマスク上で、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角の低反射部除去部を含んでいる。この線幅64nmLSパターンは、EUVの斜め照射による射影効果の影響が見えやすくなるように、x方向とy方向にそれぞれ設計した。

[0041] <本実施形態の効果>

本実施形態に係る反射型フォトマスクブランク100及び反射型フォトマスク200は、以下の効果を有する。

(1) 本実施形態の反射型フォトマスクブランク100において、反射部17の上に吸収層14と、位相シフト層15とがこの順番で積層されている。

この構成によれば、射影効果を最小限に抑え、位相シフトの効果を発現し、高い解像性を得ることができる。

(2) 本実施形態の反射型フォトマスクブランク100において、吸収層14の波長13.5nmに対する消衰係数 k は、 $k > 0.04$ である。

この構成によれば、従来の材料よりEUV光に対する吸収性の高い材料を用いることにより、低反射部18を薄膜化でき、射影効果を低減できる。

(3) 本実施形態の反射型フォトマスクブランク100において位相シフト層15を構成する材料の波長13.5nmに対する光学定数は、屈折率 $n < 0.94$ を満たし、且つ消衰係数 $k < 0.02$ を満たす。

この構成によれば、膜厚による位相差の調節がしやすく、射影効果を低減できる。

実施例

[0042] 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。

[0043] <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、シリコン（Si）とモリブデン（Mo）とを一对とする積層膜を40枚積層して多層反射膜を形成した。多層反射膜の膜厚は280nmとした。

次に、多層反射膜上に、ルテニウム（Ru）を用いて膜厚3.5nmのキャッピング層を成膜した。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、錫（Sn）と酸素（O）とを含む吸収層を成膜した。吸収層の膜厚は17nmとした。錫（Sn）と酸素（O）との原子数比率は、EDX（エネルギー分散型X線分析）で測定したところ1：2.5であった。また、XRD（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。

[0044] 次に、吸収層上に、モリブデン（Mo）を用いて膜厚28nmの位相シフト層を成膜した。これにより、反射層上に吸収層と、位相シフト層とがこの順番に積層された厚さ45nmの低反射部が形成された。なお、反射部に対する低反射部の位相差は180度とした。

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（CrN）を用いて膜厚100nmの裏面導電膜を成膜した。以上により、反射型フォトマスクブランクを作製した。

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。吸収層は、反応性スパッタリング法により、スパッタリング中にチャンバーに導入する酸素の量を制御することで、O/Sn比が2.5になるように成膜した。

[0045] 次に、低反射部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。

次いで、電子線描画機（J B X 3 0 3 0：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度で10分間プリベーク処理を施し、次いでスプレー現像機（S F G 3 0 0 0：シグマメルテック株式会社製）を用いて現像処理をした。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、フッ素系ガスを主体としたドライエッチングにより位相シフト層のパターニングを行った。

次に、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のパターニングを行い、吸収層パターンを形成した。これにより、低反射部において吸収層パターンと、位相シフト層パターンとがこの順に積層された低反射部パターンが形成された。

次に、残ったレジストパターンの剥離を行った。以上により、実施例1の反射型フォトマスクを作製した。

なお、吸収層と位相シフト層の積層（即ち、低反射部）は、波長13.5 nmのEUV光に対して反射率が5%であった。

[0047] <実施例2>

吸収層と位相シフト層との積層の反射率を10%に変更した。なお10%の反射率を得るために、吸収層の膜厚を9 nmに変更し、位相シフト層の膜厚を36 nmに変更した。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。

<実施例3>

吸収層と位相シフト層との積層の反射率を15%に変更した。なお15%の反射率を得るために、吸収層の膜厚を8 nmに変更し、位相シフト層の膜厚を37 nmに変更した。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。

<実施例4>

吸収層の材料をテルル（Te）と酸素（O）に変更した。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。

[0048] <実施例 5>

吸収層の材料をコバルト（C o）と酸素（O）に変更した。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。

<実施例 6>

吸収層の材料をニッケル（N i）と酸素（O）に変更した。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。

<実施例 7>

吸収層の材料をプラチナ（P t）に変更した。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。

[0049] <実施例 8>

吸収層の材料を銀（A g）と酸素（O）に変更した。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。

<実施例 9>

吸収層の材料をインジウム（I n）と酸素（O）に変更した。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。

<実施例 1 0>

吸収層の材料を銅（C u）と酸素（O）に変更した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 1 0 の反射型フォトマスクを作製した。

[0050] <実施例 1 1>

吸収層の材料を亜鉛（Z n）と酸素（O）に変更した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 1 1 の反射型フォトマスクを作製した。

<実施例 1 2>

吸収層の材料をビスマス（B i）と酸素（O）に変更した。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。

<実施例 1 3>

吸収層の材料を鉄（F e）と酸素（O）に変更した。それ以外は実施例 1 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。

[0051] <実施例 1 4>

位相シフト層の材料を炭素（C）に変更した。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。

<実施例 1 5>

反射部に対する低反射部の位相差は 1 5 5 度とした。それ以外は実施例 1 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。

<実施例 1 6>

吸収層と位相シフト層との積層の反射率を 3 5 %に変更した。それ以外は実施例 1 と同様の方法で、実施例 1 6 の反射型フォトマスクを作製した。

[0052] <比較例 1>

反射型フォトマスクブランクの作製において、キャッピング層の上に、モリブデン（Mo）を用いて膜厚 2 4 n m の位相シフト層を成膜した。次に、位相シフト層上に、錫（Sn）と酸素（O）とを含む吸収層を成膜した。吸収層の膜厚は 2 1 n m とした。すなわち、反射層上に位相シフト層と、吸収層とがこの順番に積層された厚さ 4 5 n m の低反射部を形成した。

また、反射型フォトマスクの作製において、レジストパターン形成後に、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吸収層のパターニングを行い、吸収層パターンを形成した。

次に、フッ素系ガスを主体としたドライエッチングにより位相シフト層のパターニングを行った。すなわち、低反射部において位相シフト層パターンと、吸収層パターンとがこの順に積層された低反射部パターンを形成した。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。

[0053] <評価>

上述した実施例 1 から 1 6、比較例 1、で得られた反射型フォトマスクについて、以下の方法で射影効果の影響及び転写性能の評価を行った。また、転写性能はウェハ露光評価により確認した。

[0054] [射影効果の影響]

実施例 1 から 16 と比較例 1 において、転写パターンの光強度分布から明部と暗部の傾きを示す特性値である NILS (Normalized Image Log Slope) の値を算出した。なお、NILS の値が大きい方が、射影効果の影響をより低減できる。

[0055] [ウェハ露光評価]

EUV 露光装置 (NXE 3300B : ASML 社製) を用いて、EUV ボ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、比較例及び参考例で作製した反射型フォトマスクの吸収層パターンを転写露光した。このとき、露光量は、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。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、解像性と H-V バイアスを確認した。

以上の評価結果を表 1 に示す。

[0056] [表1]

	反射部			反射部に対する低反射部の位相差(度)	評価結果	
	上層 (材料)	下層 (材料)	反射率 (%)		NILS	H-V
実施例 1	Mo	Sn+O	5	180	1.45	6.7
実施例 2	Mo	Sn+O	10	180	1.42	4.4
実施例 3	Mo	Sn+O	15	180	1.40	3.9
実施例 4	Mo	Te+O	5	180	1.44	6.0
実施例 5	Mo	Co+O	5	180	1.46	5.3
実施例 6	Mo	Ni+O	5	180	1.44	5.8
実施例 7	Mo	Pt	5	180	1.46	5.3
実施例 8	Mo	Ag+O	5	180	1.42	5.6
実施例 9	Mo	In+O	5	180	1.43	5.9
実施例 10	Mo	Cu+O	5	180	1.44	6.4
実施例 11	Mo	Zn+O	5	180	1.43	6.7
実施例 12	Mo	Bi+O	5	180	1.43	6.3
実施例 13	Mo	Fe+O	5	180	1.45	5.5
実施例 14	C	Sn+O	5	180	1.37	8.0
実施例 15	Mo	Sn+O	5	155	1.30	7.2
実施例 16	Mo	Sn+O	35	180	1.23	0.8
比較例 1	Sn+O	Mo	5	180	1.45	8.4

[0057] 表 1 中に表されるように、実施例 1 から 16、比較例 1 の評価結果から、実施例 1 から 16 のように反射部の上に吸収層と、位相シフト層とがこの順

番で積層されている場合には、比較例 1 のように反射部の上に位相シフト層と、吸収層とがこの順番で積層されている場合と比べて、射影効果の影響を低減できることで、転写性に優れていることがわかった。特に、実施例 1 から実施例 16 の反射型フォトマスクは、比較例 1 の反射型フォトマスクと比較して、H-V バイアスの値が小さく、高い転写性を有することが明らかになった。

[0058] 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。

符号の説明

- [0059] 1 1 : 基板
1 2 : 多層反射膜
1 3 : キャッピング層
1 4 : 吸収層
1 5 : 位相シフト層
1 6 : 裏面導電膜
1 7 : 反射部
1 8 : 低反射部
1 8 a : 低反射部パターン
1 9 : レジスト膜
1 9 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] 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て入射した光を反射する反射部と、
前記反射部の上に形成されて入射した光を吸収する低反射部と、を備え、
前記低反射部は、吸収層と位相シフト層とを備える少なくとも2層以上の積層構造体であり、
前記反射部の上に前記吸収層と、前記位相シフト層とがこの順番で積層され、
前記吸収層を構成する材料の波長13.5nmに対する光学定数は、消衰係数 $k > 0.041$ を満たし、
前記位相シフト層を構成する材料の波長13.5nmに対する光学定数は、屈折率 $n < 0.94$ を満たし、且つ消衰係数 $k < 0.02$ を満たすことを特徴とする反射型フォトマスクブランク。
- [請求項2] 前記吸収層は、テルル (Te)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、プラチナ (Pt)、銀 (Ag)、錫 (Sn)、インジウム (In)、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn)、及びビスマス (Bi)、並びにそれらの酸化物、窒化物、及び酸窒化物からなる群より選択される少なくとも一種の元素を合計して50原子%以上含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マスクブランク。
- [請求項3] 前記位相シフト層は、モリブデン (Mo)、ルテニウム (Ru)、及びニオブ (Nb)、並びにそれらの酸化物、窒化物、及び酸窒化物からなる群より選択される少なくとも一種の原子、分子元素を合計して50原子%以上含有することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の反射型フォトマスクブランク。
- [請求項4] 前記吸収層と前記位相シフト層とを備える前記低反射部は、前記反

射部に対して位相差 $160 \sim 200$ 度を有し、且つ前記吸収層と前記位相シフト層との膜厚比に応じた反射率 $1\% \sim 40\%$ を有する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マスクブランク。

- [請求項 5] 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て入射した光を反射する反射部と、
 - 前記反射部の上に形成されて入射した光を吸収する低反射部と、を備え、
 - 前記低反射部は、吸収層と位相シフト層とを備える少なくとも 2 層以上の積層構造体であり、
 - 前記反射部の上に前記吸収層と、前記位相シフト層とがこの順番で積層され、
 - 前記吸収層を構成する材料の波長 13.5 nm に対する光学定数は、消衰係数 $k > 0.041$ を満たし、
 - 前記位相シフト層を構成する材料の波長 13.5 nm に対する光学定数は、屈折率 $n < 0.94$ を満たし、且つ消衰係数 $k < 0.02$ を満たすことを特徴とする反射型フォトマスク。