

明 細 書

発明の名称：

マスクブランク、位相シフトマスク及び半導体デバイスの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、位相シフトマスク用のマスクブランク、位相シフトマスク及び半導体デバイスの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体デバイスの製造工程では、フォトリソグラフィー法を用いて微細パターンの形成が行われている。また、この微細パターンの形成には通常何枚もの転写用マスクが使用される。半導体デバイスのパターンを微細化するに当たっては、転写用マスクに形成されるマスクパターンの微細化に加え、フォトリソグラフィーで使用される露光光源の波長の短波長化が必要となる。近年、半導体装置を製造する際の露光光源にArFエキシマレーザー（波長193nm）が適用されることが増えてきている。

[0003] 転写用マスクの一種に、クロムレス位相シフトマスク（CPLマスク）がある。CPLマスクとしては、透光性基板の上にエッチングストッパー膜を設け、このエッチングストッパー膜の上に、ケイ素および酸素を含有し、透光性基板とほぼ同等の透過率を有する位相シフト膜を設けた構成としたものが知られている。また、CPLマスクとして、露光光に対して透明な基板に掘込部と非掘込部を設け、掘込部と非掘込部とによって転写パターンを構成するものも知られている。

[0004] 例えば、特許文献1には、透明基板上に、エッチング停止層、位相シフト層パターンそして遮光層パターンがこの順に備えられ、エッチング停止層として窒化珪素膜（Si₃N₄膜）、位相シフト層としてSiO₂膜をこの順に設け、その上に遮光層として酸化クロム膜・金属クロム膜・酸化クロム膜をこの順に積層した低反射クロム遮光膜を設けた光学マスクブランクが開示されている。

また、特許文献2には、露光光に対して透明な基板に掘り込み部を設け、透過する光の位相を制御したクロムレス位相シフトマスクにおいて、前記基板掘り込み部に隣接する部分又は基板周辺部に設けられた遮光膜が、フッ素系ガスを主体とするエッチングガスを用いたエッチングプロセスにおいてエッチング可能な材料である MoSi 又は MoSi 化合物を主な材料とする膜Aを含むクロムレス位相シフトマスク用フォトマスクブランクが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開平7-128839号公報

特許文献2：特開2007-241136号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] CPLマスクは、基本的に平面視で掘込部が形成されている領域では、掘込部を透過する露光光と非掘込部を透過する露光光との間で生じる強い位相シフト効果のみで転写像を作り出す構成となっている。露光光に対する掘込部の透過率と非掘込部の透過率との差が小さいほど位相シフト効果は増強される。また、CPLマスクの場合、転写像のCD均一性(CD Uniformity)を高めるためには、面内での掘込部と非掘込部との間で生じる各位相シフト効果の差を小さくすることが望まれる。すなわち、面内に設けられる掘込部の深さを同じにすることが望まれる。従来のCPLマスクの掘込部は、透光性基板をドライエッチングで所定の深さまで掘り込むことによって形成される。しかし、透光性基板に設けられる各掘込部の深さをドライエッチングのエッチング時間等の制御によって同じにすることは難しい。また、ドライエッチングで掘込部の底面を平坦にすることも難しい。

[0007] そこで、これらの問題を解決するために、特許文献1に開示されているような透光性基板の上に、エッチングストッパー膜を介して、ケイ素と酸素と

からなる位相シフト膜を設けることを試みた。すなわち、従来のCPLマスクの掘込部に代わるものとして、ケイ素と酸素とからなる位相シフト膜にドライエッチングで微細パターンを形成することを検討した。露光光にArFエキシマレーザー光（以下、これをArF露光光という。）が適用されるCPLマスクの場合、所望の位相シフト効果を生じさせるためには、ケイ素と酸素とからなる位相シフト膜の厚さは、少なくとも170nm以上であることが求められる。同じ構造体である透光性基板を掘り込んで掘込部を形成する場合、その掘込部の深さが深くても、その掘込部のパターンが倒れにくく、あるいは脱落しにくい。これに対し、エッチングストッパー膜の上に設けられた位相シフト膜に微細パターンを形成する場合、エッチングストッパー膜と位相シフト膜のパターンとの間の密着性はそれほど高くないため、位相シフト膜のパターンが倒れやすい、あるいは脱落しやすいという問題があった。この問題は、透光性基板に接して位相シフト膜を設けた場合でも同様に発生する。

[0008] 本発明は、従来の課題を解決するためになされたものであり、ArFエキシマレーザーの露光光に対する透過率を高めることができるとともに所望の位相差の確保に必要な膜厚を抑制することができる位相シフト膜を備えたマスクブランクを提供することを目的としている。また、本発明は、ArFエキシマレーザーの露光光に対する透過率を高めることができるとともに所望の位相差の確保に必要な膜厚を抑制することができる転写パターンを有する位相シフト膜を備えた位相シフトマスクを提供することを目的としている。そして、本発明は、このような位相シフトマスクを用いた半導体デバイスの製造方法を提供する。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明は上記の課題を解決する手段として、以下の構成を有する。

[0010] （構成1）

透光性基板の主表面上に位相シフト膜を備えたマスクブランクであって、前記位相シフト膜は、ケイ素、酸素および窒素を含有し、

前記位相シフト膜のケイ素の含有量〔原子％〕に対する窒素の含有量〔原子％〕の比率は、0.20以上0.52以下であり、

前記位相シフト膜のケイ素の含有量〔原子％〕に対する酸素の含有量〔原子％〕の比率は、1.16以上1.70以下であり、

前記位相シフト膜のArFエキシマレーザーの露光光の波長に対する屈折率 n は、1.7以上2.0以下であり、

前記位相シフト膜の前記露光光の波長に対する消衰係数 k は、0.05以下である

ことを特徴とするマスクブランク。

[0011] (構成2)

前記位相シフト膜の酸素の含有量〔原子％〕に対する窒素の含有量〔原子％〕の比率は、0.12以上0.45以下であることを特徴とする構成1記載のマスクブランク。

(構成3)

前記位相シフト膜のケイ素の含有量は、30原子％以上であることを特徴とする構成1または2に記載のマスクブランク。

[0012] (構成4)

前記位相シフト膜は、前記露光光を70％以上の透過率で透過させる機能と、前記位相シフト膜を透過した前記露光光に対して前記位相シフト膜の厚さと同じ距離だけ空气中を通過した露光光との間で150度以上210度以下の位相差を生じさせる機能とを有することを特徴とする構成1から3のいずれかに記載のマスクブランク。

(構成5)

前記位相シフト膜は、厚さが140nm以下であることを特徴とする構成1から4のいずれかに記載のマスクブランク。

[0013] (構成6)

前記位相シフト膜の上に遮光膜を備えることを特徴とする構成1から5のいずれかに記載のマスクブランク。

(構成 7)

透光性基板の主表面上に、転写パターンを有する位相シフト膜を備えた位相シフトマスクであって、

前記位相シフト膜は、ケイ素、酸素および窒素を含有し、

前記位相シフト膜のケイ素の含有量〔原子％〕に対する窒素の含有量〔原子％〕の比率は、0.20以上0.52以下であり、

前記位相シフト膜のケイ素の含有量〔原子％〕に対する酸素の含有量〔原子％〕の比率は、1.16以上1.70以下であり、

前記位相シフト膜のArFエキシマレーザーの露光光の波長に対する屈折率 n は、1.7以上2.0以下であり、

前記位相シフト膜の前記露光光の波長に対する消衰係数 k は、0.05以下である

ことを特徴とする位相シフトマスク。

[0014] (構成 8)

前記位相シフト膜の酸素の含有量〔原子％〕に対する窒素の含有量〔原子％〕の比率は、0.12以上0.45以下であることを特徴とする構成 7 記載の位相シフトマスク。

[0015] (構成 9)

前記位相シフト膜のケイ素の含有量は、30原子％以上であることを特徴とする構成 7 または 8 に記載の位相シフトマスク。

(構成 10)

前記位相シフト膜は、前記露光光を70％以上の透過率で透過させる機能と、前記位相シフト膜を透過した前記露光光に対して前記位相シフト膜の厚さと同じ距離だけ空气中を通過した露光光との間で150度以上210度以下の位相差を生じさせる機能とを有することを特徴とする構成 7 から 9 のいずれかに記載の位相シフトマスク。

[0016] (構成 11)

前記位相シフト膜は、厚さが140nm以下であることを特徴とする構成

7 から 10 のいずれかに記載の位相シフトマスク。

(構成 12)

前記位相シフト膜の上に、遮光帯を含むパターンを有する遮光膜を備えることを特徴とする構成 7 から 11 のいずれかに記載の位相シフトマスク。

(構成 13)

構成 12 記載の位相シフトマスクを用い、半導体基板上のレジスト膜に転写パターンを露光転写する工程を備えることを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

発明の効果

[0017] 以上の構成を有する本発明のマスクブランクは、透光性基板の主表面上に位相シフト膜を備えたマスクブランクであって、前記位相シフト膜は、ケイ素、酸素および窒素を含有し、前記位相シフト膜のケイ素の含有量〔原子％〕に対する窒素の含有量〔原子％〕の比率は、0.20 以上 0.52 以下であり、前記位相シフト膜のケイ素の含有量〔原子％〕に対する酸素の含有量〔原子％〕の比率は、1.16 以上 1.70 以下であり、前記位相シフト膜の ArF エキシマレーザーの露光光の波長に対する屈折率 n は、1.7 以上 2.0 以下であり、前記位相シフト膜の前記露光光の波長に対する消衰係数 k は、0.05 以下であることを特徴とする。このため、ArF エキシマレーザーの露光光に対する透過率を高めることができるとともに所望の位相差の確保に必要な膜厚を抑制することができる転写パターンを有する位相シフト膜を備えた位相シフトマスクを製造することができる。さらに、この位相シフトマスクを用いた半導体デバイスの製造において、半導体デバイス上のレジスト膜等に精度良好にパターンを転写することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]マスクブランクの実施形態の断面概略図である。

[図2]位相シフトマスクの製造工程を示す断面概略図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、本発明の各実施の形態について説明するが、まず本発明に至った経

緯について説明する。CPLマスクの掘込部を位相シフト膜で形成する場合、強い位相シフト効果を生じさせるために、その位相シフト膜はArF露光光に対する高い透過率（例えば、70%以上）を有することが望まれる。透過率の観点だけで考えると位相シフト膜の材料には、透光性基板と同じ材料系のSiO₂が好適である。しかし、SiO₂で形成された位相シフト膜は、ArF露光光に対する屈折率nが小さい。その位相シフト膜に位相シフト効果を生じさせるためには膜厚を大幅に厚くする必要がある。

[0020] 位相シフト膜の屈折率nを大きくする観点では、ケイ素と酸素とからなる位相シフト膜にさらに金属元素を含有させることが好ましい。しかし、位相シフト膜に金属元素を含有させるに伴う消衰係数kの上昇度合いが大きく、高い透過率を確保することが難しい。一方、ケイ素と酸素とからなる位相シフト膜に窒素を含有させる（すなわち、ケイ素、酸素および窒素を主成分とするSiON系材料で位相シフト膜を形成する。）ことによっても、金属元素を含有させるほど顕著ではないが、その位相シフト膜の屈折率nを大きくすることができる。しかし、位相シフト膜中の窒素の含有量を増やすにつれ、位相シフト膜の屈折率nは徐々に上昇していくが、それと連動して位相シフト膜の消衰係数kが徐々に低下していく傾向がある。すなわち、SiON系材料の位相シフト膜は、窒素含有量が増えていくにつれて、強い位相シフト効果を生じさせるのに必要な膜厚が薄くなっていくが、透過率は低下していくというトレードオフの関係がある。このため、位相シフト膜をSiON系材料で形成する場合、強い位相シフト効果を生じさせるのに必要な膜厚を薄くできながらも、ArF露光光に対する高い透過率を確保できるような、窒素含有量と酸素含有量の範囲を見つけることが重要となる。

[0021] 一方、位相シフト膜は、アモルファス構造あるいは微結晶構造であることが好ましいため、スパッタリング法で形成することが一般的である。位相シフト膜を反応性スパッタリングで形成するときの成膜室内の圧力やスパッタ電圧を調整することで、位相シフト膜の内部構造をある程度疎な状態（隙間が多い状態）にすることは可能である。位相シフト膜の内部構造を疎な状態

することで、露光光に対する透過率をある程度高くすることはできる。これを利用すれば、SiON系材料膜の窒素含有量を多くすることによるArF透過率の低下を抑制できるように一見思える。しかし、このようなSiON系材料膜は、ドライエッチングで微細パターンを形成したとき後のパターンの物理的耐性が低く、耐薬性も低い。このようなSiON系材料膜は、位相シフト膜には適さない。

[0022] 本発明者らはさらなる鋭意検討を行った結果、CPLマスクの掘込部に代わる好適な位相シフト膜を見出すに至った。すなわち、その位相シフト膜は、ケイ素、窒素および酸素を含有する材料で形成する。その上で、その位相シフト膜のケイ素の含有量〔原子%〕に対する窒素の含有量〔原子%〕の比率は、0.20以上0.52以下としつつ、酸素の含有量〔原子%〕に対する窒素の含有量〔原子%〕の比率は、1.16以上1.70以下とする。さらに、位相シフト膜のArF露光光に対する屈折率 n を1.7以上2.0以下としつつ、ArF露光光に対する消衰係数 k を0.05以下となるようにする。このような構成とすることで、緻密な内部構造の位相シフト膜としつつ、ArF露光光に対する透過率が高いながらも、比較的薄い膜厚で強い位相シフト効果を生じさせることが可能となる。

[0023] 以下、図面に基づいて、上述した本発明の詳細な構成を説明する。なお、各図において同様の構成要素には同一の符号を付して説明を行う。

[0024] 〈マスクブランク〉

本発明の実施の形態に係るマスクブランクは、CPL (Chromelless Phase Lithography) マスク、すなわちクロムレス位相シフトマスクを製造するために使用されるマスクブランクである。CPLマスクは、転写パターン形成領域内は、大パターンの領域を除いて、基本的に遮光膜は設けられず、透光性基板の掘込部と非掘込部とによって転写パターンを構成するタイプの位相シフトマスクである。

図1に、マスクブランクの実施形態の概略構成を示す。図1に示すマスクブランク100は、透光性基板1における一方の主表面上に、位相シフト膜

2、遮光膜3、及び、ハードマスク膜4がこの順に積層された構成である。マスクブランク100は、必要に応じてハードマスク膜4を設けない構成であってもよい。また、マスクブランク100は、ハードマスク膜4上に、必要に応じてレジスト膜を積層させた構成であってもよい。以下、マスクブランク100の主要構成部の詳細を説明する。

[0025] [透光性基板]

透光性基板1は、リソグラフィーにおける露光工程で用いられる露光光に対して透過性が良好な材料からなる。このような材料としては、合成石英ガラス、アルミノシリケートガラス、ソーダライムガラス、低熱膨張ガラス（ $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ ガラス等）、その他各種のガラス基板を用いることができる。特に、合成石英ガラスを用いた基板は、ArFエキシマレーザー光（波長：約193nm）に対する透過性が高いので、マスクブランク100の透光性基板1として好適に用いることができる。

尚、ここで言うリソグラフィーにおける露光工程とは、このマスクブランク100を用いて作製された位相シフトマスクを使用したリソグラフィーにおける露光工程であり、露光光とは、特に断りの無い限り、ArFエキシマレーザー光（波長：193nm）を指すものとする。

透光性基板1を形成する材料の露光光における屈折率は、1.5以上1.6以下であることが好ましく、1.52以上1.59以下であるとより好ましく、1.54以上1.58以下であるとさらに好ましい。

[0026] [位相シフト膜]

位相シフト膜2は、露光光を70%以上の透過率で透過させる機能を有していることが好ましい。位相シフト膜2の内部を透過した露光光と空気中を透過した露光光との間で十分な位相シフト効果を生じさせるためである。位相シフト膜2は、露光光を75%以上の透過率で透過させる機能を有しているとより好ましい。また、位相シフト膜2の露光光に対する透過率は、93%以下であると好ましく、90%以下であるとより好ましい。位相シフト膜2の膜厚を、光学的な性能を確保できる適正な範囲に抑えるためである。

- [0027] 位相シフト膜2は、適切な位相シフト効果を得るために、この位相シフト膜2を透過した露光光に対し、この位相シフト膜2の厚さと同じ距離だけ空气中を通過した露光光との間で150度以上210度以下の位相差を生じさせる機能を有するように調整されていることが好ましい。位相シフト膜2における前記位相差は、155度以上であることがより好ましく、160度以上であるとさらに好ましい。他方、位相シフト膜2における位相差は、200度以下であることがより好ましく、190度以下であるとさらに好ましい。
- [0028] 位相シフト膜2の全体で、上記の透過率、位相差の各条件を少なくとも満たすために、露光光の波長に対する屈折率 n （以下、単に屈折率 n という。）は、1.7以上であることが好ましく、1.75以上であるとより好ましい。また、位相シフト膜2の屈折率 n は、2.0以下であることが好ましく、1.98以下であるとより好ましい。位相シフト膜2の露光光の波長に対する消衰係数 k （以下、単に消衰係数 k という。）は、0.05以下であると好ましく、0.04以下であるとより好ましい。また、位相シフト膜2の消衰係数 k は、0.005以上であると好ましく、0.007以上であるとより好ましい。なお、位相シフト膜2の屈折率 n および消衰係数 k は、位相シフト膜2の全体を光学的に均一な1つの層とみなして導出された数値である。
- [0029] 位相シフト膜2を含む薄膜の屈折率 n と消衰係数 k は、その薄膜の組成だけで決まるものではない。その薄膜の膜密度や結晶状態なども屈折率 n や消衰係数 k を左右する要素である。このため、反応性スパッタリングで薄膜を成膜するときの諸条件を調整して、その薄膜が所望の屈折率 n および消衰係数 k となるように成膜する。位相シフト膜2を、上記の屈折率 n と消衰係数 k の範囲にするには、反応性スパッタリングで成膜する際に、貴ガスと反応性ガス（酸素ガス、窒素ガス等）の混合ガスの比率を調整することだけに限られない。反応性スパッタリングで成膜する際における成膜室内の圧力、スパッタリングターゲットに印加する電力、ターゲットと透光性基板1との間

の距離等の位置関係など多岐にわたる。これらの成膜条件は成膜装置に固有のものであり、形成される薄膜が所望の屈折率 n および消衰係数 k になるように適宜調整されるものである。ただし、上記の理由から、位相シフト膜 2 に対し、その内部構造が疎な状態になってしまうような過度な調整は行わない。

[0030] 位相シフト膜 2 の膜厚は、パターン倒れの発生を低減するために、140 nm 以下であると好ましい。また、位相シフト膜 2 の膜厚は、所望の位相差を生じさせる機能を確保するために、95 nm 以上であることが好ましく、100 nm 以上であるとより好ましい。

[0031] 位相シフト膜 2 は、ケイ素、窒素および酸素を含有することが好ましい。位相シフト膜 2 は、ケイ素、窒素および酸素の合計含有量が 97 原子%以上であると好ましく、98 原子%以上であるとより好ましく、99 原子%以上であるとさらに好ましい。また、位相シフト膜 2 に対して X 線光電子分光分析による組成分析を行った場合、金属元素の含有量は 1 原子%未満であることが好ましく、検出下限値以下であることがより好ましい。位相シフト膜 2 に金属元素を含有させると消衰係数 k が上昇する要因となるためである。

[0032] 位相シフト膜 2 は、ケイ素、酸素および窒素からなる材料で形成されることが好ましく、または半金属元素および非金属元素から選ばれる 1 以上の元素とケイ素と酸素と窒素とからなる材料で形成されてもよい。半金属元素と非金属元素はある程度の含有量であれば、位相シフト膜 2 の光学特性に与える影響は軽微であるためである。一方、位相シフト膜 2 には、いずれの半金属元素を含有してもよい。この半金属元素の中でも、ホウ素、ゲルマニウム、アンチモンおよびテルルから選ばれる 1 以上の元素を含有させると、位相シフト膜 2 をスパッタリング法で成膜するときにターゲットとして用いるケイ素の導電性を高めることが期待できるため、好ましい。この位相シフト膜 2 は、フッ素系ガスを用いたドライエッチングによってパターンニングが可能であり、後述の遮光膜 3 に対して、十分なエッチング選択性を有する。

[0033] 位相シフト膜 2 の酸素の含有量は、透過率を高める観点から、42 原子%

以上であることが好ましく、43原子%以上であるとより好ましい。位相シフト膜2の酸素の含有量は、屈折率 n の低下を抑制する観点から、60原子%以下であることが好ましく、58原子%以下であるとより好ましい。

また、位相シフト膜2の窒素の含有量は、屈折率 n を高める観点から、6原子%以上であることが好ましく、7原子%以上であるとより好ましい。位相シフト膜2の窒素の含有量は、消衰係数 k の上昇を抑制する観点から、22原子%以下であることが好ましく、20原子%以下であるとより好ましい。

また、位相シフト膜2のケイ素の含有量は、物理的耐性を高める観点および耐薬性を高める観点から、30原子%以上であることが好ましく、33原子%以上であるとより好ましい。位相シフト膜2のケイ素の含有量は、透過率を高める観点から、40原子%以下であることが好ましく、38原子%以下であるとより好ましい。

[0034] また、位相シフト膜2におけるN/Si比率は、屈折率 n を高める観点から、0.20以上であることが好ましく、0.22以上であることがより好ましい。一方、このN/Si比率は、消衰係数 k の上昇を抑制する観点から、0.52以下であることが好ましく、0.51以下であることがより好ましい。

また、位相シフト膜2におけるO/Si比率は、透過率を高める観点から、1.16以上であることが好ましく、1.17以上であることがより好ましい。一方、このO/Si比率は、屈折率 n の低下を抑制する観点から、1.70以下であることが好ましく、1.69以下であることがより好ましい。

また、位相シフト膜2の酸素の含有量[原子%]に対する窒素の含有量[原子%]の比率（以下、N/O比率という。）は、屈折率 n を高める観点から、0.12以上であることが好ましく、0.13以上であることがより好ましい。一方、このN/O比率は、消衰係数 k の上昇を抑制する観点から、0.45以下であることが好ましく、0.44以下であることがより好まし

い。

なお、位相シフト膜2は、組成が均一な単層膜であることが好ましいが、必ずしもこれに限定されるものではなく、複数層で形成されるものであってもよく、厚さ方向で組成傾斜した構成であってもよい。

[0035] [遮光膜]

マスクブランク100は、位相シフト膜2上に遮光膜3を備える。一般に、位相シフトマスクでは、転写パターンが形成される領域（転写パターン形成領域）の外周領域は、露光装置を用いて半導体ウェハ上のレジスト膜に露光転写した際に外周領域を透過した露光光による影響をレジスト膜が受けないように、所定値以上の光学濃度（OD）を確保することが求められている。位相シフトマスクの外周領域は、ODが2.8以上であると好ましく、3.0以上であるとより好ましい。上述のように、位相シフト膜2は70%以上の透過率で露光光を透過する機能を有しており、位相シフト膜2だけでは所定値の光学濃度を確保することは困難である。このため、マスクブランク100を製造する段階で位相シフト膜2の上に、不足する光学濃度を確保するために遮光膜3を積層しておくことが必要とされる。このようなマスクブランク100の構成とすることで、位相シフトマスク200（図2参照）を製造する途上で、位相シフト効果を使用する領域（基本的に転写パターン形成領域）の遮光膜3を除去すれば、外周領域に所定値の光学濃度が確保された位相シフトマスク200を製造することができる。

[0036] 遮光膜3は、単層構造および2層以上の積層構造のいずれも適用可能である。また、単層構造の遮光膜3および2層以上の積層構造の遮光膜3の各層は、膜または層の厚さ方向でほぼ同じ組成である構成であっても、層の厚さ方向で組成傾斜した構成であってもよい。

[0037] 図1に記載の実施の形態におけるマスクブランク100は、位相シフト膜2の上に、他の膜を介さずに遮光膜3を積層した構成としている。この構成の場合の遮光膜3は、位相シフト膜2にパターンを形成する際に用いられるエッチングガスに対して十分なエッチング選択性を有する材料を適用する必

要がある。この場合の遮光膜3は、クロムを含有する材料で形成することが好ましい。遮光膜3を形成するクロムを含有する材料としては、クロム金属のほか、クロムに酸素、窒素、炭素、ホウ素およびフッ素から選ばれる一以上の元素を含有する材料が挙げられる。

[0038] 一般に、クロム系材料は、塩素系ガスと酸素ガスの混合ガスでエッチングされるが、クロム金属はこのエッチングガスに対するエッチングレートがあまり高くない。塩素系ガスと酸素ガスの混合ガスのエッチングガスに対するエッチングレートを高める点を考慮すると、遮光膜3を形成する材料としては、クロムに酸素、窒素、炭素、ホウ素およびフッ素から選ばれる一以上の元素を含有する材料が好ましい。また、遮光膜3を形成するクロムを含有する材料にモリブデン、インジウムおよびスズのうち一以上の元素を含有させてもよい。モリブデン、インジウムおよびスズのうち一以上の元素を含有させることで、塩素系ガスと酸素ガスの混合ガスに対するエッチングレートをより速くすることができる。

[0039] なお、本発明のマスクブランク100は、図1に示したものに限定されるものではなく、位相シフト膜2と遮光膜3の間に別の膜（エッチングマスク兼ストッパー膜）を介するように構成してもよい。この場合においては、前記のクロムを含有する材料でエッチングマスク兼ストッパー膜を形成し、ケイ素を含有する材料で遮光膜3を形成する構成とすることが好ましい。遮光膜3を形成するケイ素を含有する材料には、遷移金属を含有させてもよく、遷移金属以外の金属元素を含有させてもよい。遮光膜3に形成されるパターンは、基本的に外周領域の遮光帯パターンであり、転写用パターン領域に比べてA r F露光光の積算照射量が少ないことや、この外周領域に微細パターンが配置されていることは稀であり、A r F耐光性が低くても実質的な問題が生じにくいためである。また、遮光膜3に遷移金属を含有させると、含有させない場合に比べて遮光性能が大きく向上し、遮光膜3の厚さを薄くすることが可能となるためである。遮光膜3に含有させる遷移金属としては、モリブデン（Mo）、タンタル（Ta）、タングステン（W）、チタン（Ti

）、クロム（C r）、ハフニウム（H f）、ニッケル（N i）、バナジウム（V）、ジルコニウム（Z r）、ルテニウム（R u）、ロジウム（R h）、ニオブ（N b）、パラジウム（P d）等のいずれか1つの金属またはこれらの金属の合金が挙げられる。

[0040] 一方、遮光膜3として、位相シフト膜2側からクロムを含有する材料からなる層と遷移金属とケイ素を含有する材料からなる層がこの順に積層した構造を備えてもよい。この場合におけるクロムを含有する材料および遷移金属とケイ素を含有する材料の具体的な事項については、上記の遮光膜3の場合と同様である。

[0041] [ハードマスク膜]

ハードマスク膜4は、遮光膜3の表面に接して設けられている。ハードマスク膜4は、遮光膜3をエッチングする際に用いられるエッチングガスに対してエッチング耐性を有する材料で形成された膜である。このハードマスク膜4は、遮光膜3にパターンを形成するためのドライエッチングが終わるまでの間、エッチングマスクとして機能することができるだけの膜の厚さがあれば十分であり、基本的に光学特性の制限を受けない。このため、ハードマスク膜4の厚さは遮光膜3の厚さに比べて大幅に薄くすることができる。

[0042] このハードマスク膜4は、遮光膜3がクロムを含有する材料で形成されている場合は、ケイ素を含有する材料で形成されることが好ましい。なお、この場合のハードマスク膜4は、有機系材料のレジスト膜との密着性が低い傾向があるため、ハードマスク膜4の表面をHMDS（Hexamethyldisilazane）処理を施し、表面の密着性を向上させることが好ましい。なお、この場合のハードマスク膜4は、SiO₂、SiN、SiON等で形成されるとより好ましい。

[0043] また、遮光膜3がクロムを含有する材料で形成されている場合におけるハードマスク膜4の材料として、前記のほか、タンタルを含有する材料も適用可能である。この場合におけるタンタルを含有する材料としては、タンタル金属のほか、タンタルに窒素、酸素、ホウ素および炭素から選ばれる一以上

の元素を含有させた材料などが挙げられる。たとえば、Ta、Ta₂N、Ta₂O、TaON、TaBN、TaBO、TaBON、TaCN、TaCO、TaCON、TaBCN、TaBOCNなどが挙げられる。また、ハードマスク膜4は、遮光膜3がケイ素を含有する材料で形成されている場合、前記のクロムを含有する材料で形成されることが好ましい。

[0044] マスクブランク100において、ハードマスク膜4の表面に接して、有機系材料のレジスト膜が100nm以下の膜厚で形成されていることが好ましい。DRAM hp32nm世代に対応する微細パターンの場合、ハードマスク膜4に形成すべき転写パターン（位相シフトパターン）に、線幅が40nmのSRAF（Sub-Resolution Assist Feature）が設けられることがある。しかし、この場合でも、レジストパターンの断面アスペクト比が1：2.5と低くすることができるので、レジスト膜の現像時、リンス時等にレジストパターンが倒壊や脱離することを抑制できる。なお、レジスト膜は、膜厚が80nm以下であるとより好ましい。

[0045] [レジスト膜]

マスクブランク100において、ハードマスク膜4の表面に接して、有機系材料のレジスト膜が100nm以下の膜厚で形成されていることが好ましい。DRAM hp32nm世代に対応する微細パターンの場合、遮光膜3に形成すべき遮光パターンに、線幅が40nmのSRAF（Sub-Resolution Assist Feature）が設けられることがある。しかし、この場合でも上述のようにハードマスク膜4を設けたことによってレジスト膜の膜厚を抑えることができ、これによってこのレジスト膜で構成されたレジストパターンの断面アスペクト比を1：2.5と低くすることができる。したがって、レジスト膜の現像時、リンス時等にレジストパターンが倒壊や脱離することを抑制することができる。なお、レジスト膜は、膜厚が80nm以下であることがより好ましい。レジスト膜は、電子線描画露光用のレジストであると好ましく、さらにそのレジストが化学増幅型であるとより好ましい。

[0046] [エッチングストッパー膜]

図示はされていないが、マスクブランク 100において、透光性基板 1 と位相シフト膜 2 の間にエッチングストッパー膜を備えるようにしてもよい。このエッチングストッパー膜は、位相シフト膜 2 をパターニングするときのドライエッチングに対し、位相シフト膜 2 との間で十分なエッチング選択性を有することが求められる。さらに、このエッチングストッパー膜は、露光光に対する高い透過率を有することも求められる。エッチングストッパー膜は、アルミニウムおよびハフニウムから選ばれる 1 以上の元素と酸素とを含有する材料で形成することが好ましい。例えば、エッチングストッパー膜の材料としては、アルミニウムとケイ素と酸素を含有する材料、アルミニウムとハフニウムと酸素を含有する材料などが挙げられる。特に、エッチングストッパー膜は、アルミニウムとハフニウムと酸素を含有する材料で形成されることが好ましい。

[0047] エッチングストッパー膜は、露光光に対する透過率を高めてフッ素系ガスに対するドライエッチング耐性を高めることができるため、ハフニウムおよびアルミニウムの合計含有量に対するハフニウムの含有量の原子%による比率（以下、 $Hf / [Hf + Al]$ 比率と表記することもある。）が、0.86 以下であることが好ましく、0.80 以下であるとより好ましく、0.75 以下であるとさらに好ましい。

一方、薬液洗浄（特に、アンモニア過水や TMAH 等のアルカリ洗浄）に対する耐性の観点から、エッチングストッパー膜は、 $Hf / [Hf + Al]$ 比率が、0.40 以上であることが好ましい。また、SC-1 洗浄と称されるアンモニア水、過酸化水素水および脱イオン水の混合液を用いた薬液洗浄の観点からは、エッチングストッパー膜は、 $Hf / [Hf + Al]$ 比率が、0.60 以上であることがより好ましい。

[0048] エッチングストッパー膜は、アルミニウム及びハフニウム以外の金属の含有量を 2 原子%以下とすることが好ましく、1 原子%以下とするとより好ましく、X線光電子分光法による組成分析を行った時に検出下限値以下であるとさらに好ましい。エッチングストッパー膜がアルミニウム及びハフニウム

以外の金属を含有していると、露光光に対する透過率が低下する要因となるためである。また、エッチングストッパー膜は、アルミニウム及びハフニウムおよび酸素以外の元素の合計含有量が5原子%以下であることが好ましく、3原子%以下であるとより好ましい。

[0049] エッチングストッパー膜は、ハフニウム、アルミニウムおよび酸素からなる材料で形成するとよい。ハフニウム、アルミニウムおよび酸素からなる材料とは、これらの構成元素のほか、スパッタ法で成膜する際、エッチングストッパー膜に含有されることが不可避な元素（ヘリウム（H e）、ネオン（N e）、アルゴン（A r）、クリプトン（K r）およびキセノン（X e）等の貴ガス、水素（H）、炭素（C）等）のみを含有する材料のことをいう。エッチングストッパー膜中にハフニウムやアルミニウムと結合する他の元素の存在を極小にすることにより、エッチングストッパー膜中におけるハフニウムおよび酸素の結合とアルミニウムおよび酸素の結合の比率を大幅に高めることができる。これにより、フッ素系ガスによるドライエッチングのエッチング耐性をより高くし、薬液洗浄に対する耐性をより高め、露光光に対する透過率をより高めることができる。エッチングストッパー膜は、アモルファス構造とすることが好ましい。より具体的には、エッチングストッパー膜は、ハフニウムおよび酸素の結合とアルミニウムおよび酸素の結合を含む状態のアモルファス構造であることが好ましい。エッチングストッパー膜の表面粗さを良好なものとすることができつつ、露光光に対する透過率を高めることができる。

[0050] エッチングストッパー膜は、露光光に対する透過率が高いほど好ましいが、エッチングストッパー膜は、透光性基板1との間でフッ素系ガスに対する十分なエッチング選択性も同時に求められるため、露光光に対する透過率を透光性基板1と同じ透過率とすることは難しい（すなわち、露光光に対する透光性基板1（合成石英ガラス）の透過率を100%としたときのエッチングストッパー膜の透過率は、100%未満となる。）。露光光に対する透光性基板1の透過率を100%としたときのエッチングストッパー膜の透過率

は、85%以上であることが好ましく、90%以上であるとより好ましい。

[0051] エッチングストッパー膜は、酸素含有量が60原子%以上であることが好ましく、61.5原子%以上であることがより好ましく、62原子%以上であることがさらに好ましい。露光光に対する透過率を上記の数値以上とするには、エッチングストッパー膜中に酸素を多く含有させることが求められるためである。他方、エッチングストッパー膜は、酸素含有量が66原子%以下であることが好ましい。

[0052] エッチングストッパー膜は、厚さが2nm以上であることが好ましい。マスクブランクから転写用マスクを製造するまでに行われるフッ素系ガスによるドライエッチングによる影響、薬液洗浄による影響を考慮すると、エッチングストッパー膜の厚さは3nm以上あることがより好ましい。

[0053] エッチングストッパー膜は、露光光に対する透過率が高い材料を適用してはいるが、厚さが厚くなるにつれて透過率は低下する。また、エッチングストッパー膜は、透光性基板1を形成する材料よりも屈折率が高く、エッチングストッパー膜の厚さが厚くなるほど、位相シフト膜2に実際に形成するマスクパターン（Bias補正やOPCやSRAF等を付与したパターン）を設計する際に与える影響が大きくなる。これらの点を考慮すると、エッチングストッパー膜は、10nm以下であることが望まれ、8nm以下であると好ましく、6nm以下であるとより好ましい。

[0054] エッチングストッパー膜は、露光光に対する屈折率が2.90以下であると好ましく、2.86以下であるとより好ましい。位相シフト膜2に実際に形成するマスクパターンを設計する際に与える影響を小さくするためである。エッチングストッパー膜は、ハフニウムとアルミニウムを含有する材料で形成されるため、透光性基板1と同じ屈折率nとすることができない。エッチングストッパー膜は、屈折率が2.10以上であると好ましく、2.20以上であるとより好ましい。一方、エッチングストッパー膜は、露光光に対する消衰係数が0.30以下であると好ましく、0.29以下であるとより好ましい。エッチングストッパー膜の露光光に対する透過率を高くするため

である。エッチングストッパー膜は、消衰係数 k が 0.06 以上であることが好ましい。

[0055] エッチングストッパー膜は、厚さ方向で組成の均一性が高い（厚さ方向における各構成元素の含有量の差が 5 原子%以内の変動幅に収まっている。）ことが好ましい。他方、エッチングストッパー膜は、厚さ方向で組成傾斜した膜構造であってもよい。この場合、エッチングストッパー膜の透光性基板 1 側の $Hf / [Hf + Al]$ 比率を位相シフト膜 2 側の $Hf / [Hf + Al]$ 比率よりも低くなるような組成傾斜とすることが好ましい。エッチングストッパー膜は、位相シフト膜 2 側の方に薬液耐性が高いことが優先的に望まれる反面、透光性基板 1 側の方に露光光に対する透過率が高いことが望まれるためである。

[0056] 一方、エッチングストッパー膜は、アルミニウム、ケイ素および酸素からなる材料で形成してもよい。このエッチングストッパー膜は、アルミニウム以外の金属の含有量を 2 原子%以下とすることが好ましく、1 原子%以下とするとより好ましく、X線光電子分光法による組成分析を行ったときに検出下限値以下であるとさらに好ましい。また、このエッチングストッパー膜は、ケイ素、アルミニウムおよび酸素以外の元素の合計含有量が 5 原子%以下であることが好ましく、3 原子%以下であるとより好ましい。エッチングストッパー膜は、ケイ素、アルミニウムおよび酸素からなる材料で形成すると好ましい。ケイ素、アルミニウムおよび酸素からなる材料とは、これらの構成元素のほか、スパッタ法で成膜する際、エッチングストッパー膜に含有されることが不可避な元素（ヘリウム（He）、ネオン（Ne）、アルゴン（Ar）、クリプトン（Kr）およびキセノン（Xe）等の希ガス、水素（H）、炭素（C）等）のみを含有する材料のことをいう。

[0057] このエッチングストッパー膜は、酸素含有量が 60 原子%以上であることが好ましい。エッチングストッパー膜は、ケイ素（Si）およびアルミニウム（Al）の合計含有量 [原子%] に対するケイ素（Si）の含有量 [原子%] の比率（以下、「 $Si / [Si + Al]$ 比率」という。）が 4/5 以下

であることが好ましい。このエッチングストッパー膜における $\text{Si} / [\text{Si} + \text{Al}]$ 比率は $3/4$ 以下であるとより好ましく、 $2/3$ 以下であるとさらに好ましい。このエッチングストッパー膜は、ケイ素 (Si) およびアルミニウム (Al) の $\text{Si} / [\text{Si} + \text{Al}]$ 比率が $1/5$ 以上であることが好ましい。

[0058] [マスクブランクの製造手順]

以上の構成のマスクブランク 100 は、次のような手順で製造する。まず、透光性基板 1 を用意する。この透光性基板 1 は、端面及び主表面が所定の表面粗さ（例えば、一辺が $1\ \mu\text{m}$ の四角形の内側領域内において自乗平均平方根粗さ R_q が $0.2\ \text{nm}$ 以下）に研磨され、その後、所定の洗浄処理及び乾燥処理を施されたものである。

[0059] 次に、この透光性基板 1 上に、スパッタリング法によって位相シフト膜 2 を成膜する。位相シフト膜 2 を成膜した後は、所定の加熱温度でのアニール処理を適宜行う。次に、位相シフト膜 2 上に、スパッタリング法によって上記の遮光膜 3 を成膜する。そして、遮光膜 3 上にスパッタリング法によって、上記のハードマスク膜 4 を成膜する。スパッタリング法による成膜においては、上記の各膜を構成する材料を所定の組成比で含有するスパッタリングターゲット及びスパッタリングガスを用い、さらに必要に応じて上述の貴ガスと反応性ガスとの混合ガスをスパッタリングガスとして用いた成膜を行う。この後、このマスクブランク 100 がレジスト膜を有するものである場合には、必要に応じてハードマスク膜 4 の表面に対して HMD S (Hexamethyldisilazane) 処理を施す。そして、HMD S 処理がされたハードマスク膜 4 の表面上に、スピコート法等の塗布法によってレジスト膜を形成し、マスクブランク 100 を完成させる。

なお、マスクブランク 100 に上述したエッチングストッパー膜を構成する場合には、位相シフト膜 2 を成膜する前に、成膜室内にハフニウムおよび酸素の混合ターゲットとアルミニウムおよび酸素の混合ターゲットの 2 つのターゲットの少なくともいずれかを配置し、透光性基板 1 上にエッチングス

トッパ膜を反応性スパッタリングによって形成することが好ましい。

[0060] 〈位相シフトマスクの製造方法〉

図2に、上記実施形態のマスクブランク100から製造される本発明の実施形態に係る位相シフトマスク200とその製造工程を示す。図2(g)に示されているように、位相シフトマスク200は、マスクブランク100の位相シフト膜2に転写パターンである位相シフトパターン2aが形成され、遮光膜3に遮光帯を含むパターンを有する遮光パターン3bが形成されていることを特徴としている。マスクブランク100にハードマスク膜4が設けられている構成の場合、この位相シフトマスク200の作成途上でハードマスク膜4は除去される。

[0061] 本発明の実施形態に係る位相シフトマスク200の製造方法は、前記のマスクブランク100を用いるものであり、ドライエッチングにより遮光膜3に転写パターンを形成する工程と、転写パターンを有する遮光膜3をマスクとするドライエッチングにより位相シフト膜2に転写パターンを形成する工程と、遮光パターンを有するレジスト膜（レジストパターン6b）をマスクとするドライエッチングにより遮光膜3に遮光パターン3bを形成する工程とを備えることを特徴としている。以下、図2に示す製造工程にしたがって、本発明の位相シフトマスク200の製造方法を説明する。なお、ここでは、遮光膜3の上にハードマスク膜4が積層したマスクブランク100を用いた位相シフトマスク200の製造方法について説明する。また、遮光膜3にはクロムを含有する材料を適用し、ハードマスク膜4にはケイ素を含有する材料を適用した場合について述べる。

[0062] まず、マスクブランク100におけるハードマスク膜4に接して、レジスト膜をスピン塗布法によって形成する。次に、レジスト膜に対して、位相シフト膜2に形成すべき転写パターン（位相シフトパターン）である第1のパターンを電子線で露光描画し、さらに現像処理等の所定の処理を行い、位相シフトパターンを有する第1のレジストパターン5aを形成した（図2(a)参照）。続いて、第1のレジストパターン5aをマスクとして、フッ素系

ガスを用いたドライエッチングを行い、ハードマスク膜4に第1のパターン（ハードマスクパターン4 a）を形成した（図2（b）参照）。

[0063] 次に、レジストパターン5 aを除去してから、ハードマスクパターン4 aをマスクとして、塩素系ガスと酸素ガスの混合ガスを用いたドライエッチングを行い、遮光膜3に第1のパターン（遮光パターン3 a）を形成する（図2（c）参照）。続いて、遮光パターン3 aをマスクとして、フッ素系ガスを用いたドライエッチングを行い、位相シフト膜2に第1のパターン（位相シフトパターン2 a）を形成し、かつハードマスクパターン4 aを除去した（図2（d）参照）。

[0064] 次に、マスクブランク100上にレジスト膜をスピン塗布法によって形成した。次に、レジスト膜に対して、遮光膜3に形成すべきパターン（遮光パターン）である第2のパターンを電子線で露光描画し、さらに現像処理等の所定の処理を行い、遮光パターンを有する第2のレジストパターン6 bを形成した（図2（e）参照）。続いて、第2のレジストパターン6 bをマスクとして、塩素系ガスと酸素ガスの混合ガスを用いたドライエッチングを行い、遮光膜3に第2のパターン（遮光パターン3 b）を形成した（図2（f）参照）。さらに、第2のレジストパターン6 bを除去し、洗浄等の所定の処理を経て、位相シフトマスク200を得た（図2（g）参照）。

[0065] 前記のドライエッチングで使用される塩素系ガスとしては、C l が含まれていれば特に制限はない。たとえば、 C l_2 、 S i C l_2 、 C H C l_3 、 $\text{C H}_2\text{C l}_2$ 、 C C l_4 、 B C l_3 等があげられる。また、前記のドライエッチングで使用されるフッ素系ガスとしては、Fが含まれていれば特に制限はない。たとえば、 C H F_3 、 C F_4 、 C_2F_6 、 C_4F_8 、 S F_6 等があげられる。特に、Cを含まないフッ素系ガスは、ガラス基板に対するエッチングレートが比較的低いいため、ガラス基板へのダメージをより小さくすることができる。

[0066] 図2に示す製造方法によって製造された位相シフトマスク200は、透光性基板1上に、転写パターンを有する位相シフト膜2（位相シフトパターン2 a）を備えた位相シフトマスクである。

[0067] このように位相シフトマスク 200 を製造することにより、ArFエキシマレーザーの露光光に対する位相シフト効果を高めることができるとともに、膜厚を抑制することができる位相シフト膜 2 を備えた位相シフトマスク 200 を得ることができる。

なお、エッチングストッパー膜を備えたマスクブランクを用いて、図 2 に示す製造方法によって位相シフトマスクを製造することもできる。この場合において、エッチングストッパー膜は、位相シフトマスクから除去されずに残存している。

[0068] さらに、本発明の半導体デバイスの製造方法は、前記の位相シフトマスク 200 を用い、半導体基板上のレジスト膜に転写パターンを露光転写する工程を備えることを特徴としている。

[0069] 本発明の位相シフトマスク 200 やマスクブランク 100 は、上記の通りの効果を有するため、ArFエキシマレーザーを露光光とする露光装置のマスクステージに位相シフトマスク 200 をセットし、半導体デバイス上のレジスト膜に転写パターンを露光転写する際、半導体デバイス上のレジスト膜に、微細な転写パターンを転写することができる。このため、このレジスト膜のパターンをマスクとして、その下層膜をドライエッチングして回路パターンを形成した場合、配線短絡や断線のない高精度の回路パターンを形成することができる。

実施例

[0070] 以下、本発明の実施の形態をさらに具体的に説明するための、実施例 1 ～ 6 および比較例 1 ～ 3 について述べる。

[0071] 〈実施例 1〉

[マスクブランクの製造]

図 1 を参照し、主表面の寸法が約 152 mm × 約 152 mm で、厚さが約 6.35 mm の合成石英ガラスからなる透光性基板 1 を準備した。この透光性基板 1 は、端面及び主表面が所定の表面粗さ (R_q で 0.2 nm 以下) に研磨され、その後、所定の洗浄処理及び乾燥処理が施されている。分光エリ

プソメーター（J. A. Woollam社製 M-2000D）を用いて透光性基板1の各光学特性を測定したところ、波長193nmの光における屈折率は1.556、消衰係数は0.000であった。

[0072] 次に、枚葉式スパッタリング装置内に透光性基板1を設置し、Siターゲットを用い、クリプトン（Kr）ガス、酸素（O₂）ガス、窒素（N₂）ガスをスパッタリングガスとする反応性スパッタリングにより、透光性基板1上に、所望の位相差が得られるように、ケイ素、酸素及び窒素からなる位相シフト膜2を136.4nmの厚さで形成した。

[0073] 位相シフト量測定装置（レーザーテック社製 MPM193）を用いて、位相シフト膜2の波長193nmの光に対する透過率と位相差を測定したところ、透過率が92.0%、位相差が179.9度（deg）であった。また、分光エリプソメーター（J. A. Woollam社製 M-2000D）を用いて位相シフト膜2の各光学特性を測定したところ、波長193nmの光における屈折率nは1.709、消衰係数kは0.005であった。別の透光性基板上に同じ成膜条件で位相シフト膜を形成した。さらに、その位相シフト膜に対し、X線光電子分光法による分析（XPS分析）を行った。その結果、位相シフト膜の組成は、Si : N : O = 34.5 : 7.0 : 58.5（原子%比）であった。そして、N/O比率は0.120、O/Si比率は1.696、N/Si比率は0.203であった。一方、この位相シフト膜2に対してX線反射率法（XRR）を用いた測定装置（GX R-300リガク社製）を用いて膜密度を算出したところ、十分に緻密な膜であることが確認できた。

[0074] 次に、枚葉式スパッタ装置内に透光性基板1を設置し、クロム（Cr）ターゲットを用い、アルゴン（Ar）、二酸化炭素（CO₂）およびヘリウム（He）の混合ガス雰囲気中で反応性スパッタリングにより、位相シフト膜2の表面に接して、クロム、酸素および炭素からなる遮光膜3（CrOC膜 Cr : 71原子%, O : 15原子%, C : 14原子%）を59nmの膜厚で形成した。

- [0075] 次に、上記遮光膜（CrO₂膜）3が形成された透光性基板1に対して、加熱処理を施した。加熱処理後、位相シフト膜2及び遮光膜3が積層された透光性基板1に対し、分光光度計（アジレントテクノロジー社製 Cary 4000）を用い、位相シフト膜2と遮光膜3の積層構造のArFエキシマレーザーの光の波長（約193nm）における光学濃度を測定したところ、3.0以上であることが確認できた。
- [0076] 次に、枚葉式スパッタリング装置内に、位相シフト膜2及び遮光膜3が積層された透光性基板1を設置し、二酸化ケイ素（SiO₂）ターゲットを用い、アルゴン（Ar）ガスをスパッタリングガスとし、反応性スパッタリングにより遮光膜3の上に、ケイ素及び酸素からなるハードマスク膜4を12nmの厚さで形成した。さらに所定の洗浄処理を施し、実施例1のマスクブランク100を製造した。
- [0077] [位相シフトマスクの製造]
- 次に、この実施例1のマスクブランク100を用い、以下の手順で実施例1のハーフトーン型の位相シフトマスク200を製造した。最初に、ハードマスク膜4の表面にHMDS処理を施した。続いて、スピン塗布法によって、ハードマスク膜4の表面に接して、電子線描画用化学増幅型レジストからなるレジスト膜を膜厚80nmで形成した。次に、このレジスト膜に対して、位相シフト膜2に形成すべき位相シフトパターンである第1のパターンを電子線描画し、所定の現像処理及び洗浄処理を行い、第1のパターンを有するレジストパターン5aを形成した（図2（a）参照）。
- [0078] 次に、レジストパターン5aをマスクとし、CF₄ガスを用いたドライエッチングを行い、ハードマスク膜4に第1のパターン（ハードマスクパターン4a）を形成した（図2（b）参照）。
- [0079] 次に、レジストパターン5aを除去した。続いて、ハードマスクパターン4aをマスクとし、塩素ガス（Cl₂）と酸素ガス（O₂）の混合ガスを用いたドライエッチングを行い、遮光膜3に第1のパターン（遮光パターン3a）を形成した（図2（c）参照）。

[0080] 次に、遮光パターン3 aをマスクとし、フッ素系ガス ($\text{CF}_4 + \text{He}$) を用いたドライエッチングを行い、位相シフト膜2に第1のパターン（位相シフトパターン2 a）を形成し、かつ同時にハードマスクパターン4 aを除去した（図2（d）参照）。

[0081] 次に、遮光パターン3 a上に、スピン塗布法によって、電子線描画用化学増幅型レジストからなるレジスト膜を膜厚150 nmで形成した。次に、レジスト膜に対して、遮光膜に形成すべきパターン（遮光帯パターンを含むパターン）である第2のパターンを露光描画し、さらに現像処理等の所定の処理を行い、遮光パターンを有するレジストパターン6 bを形成した（図2（e）参照）。続いて、レジストパターン6 bをマスクとして、塩素ガス (Cl_2) と酸素ガス (O_2) の混合ガスを用いたドライエッチングを行い、遮光膜3に第2のパターン（遮光パターン3 b）を形成した（図2（f）参照）。さらに、レジストパターン6 bを除去し、洗浄等の所定の処理を経て、位相シフトマスク200を得た（図2（g）参照）。

[0082] [パターン転写性能の評価]

以上の手順を得て作製された位相シフトマスク200に対し、AIMS 193 (Carl Zeiss社製) を用いて、波長193 nmの露光光で半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したときにおける転写像のシミュレーションを行った。このシミュレーションの露光転写像を検証したところ、配線短絡や断線がなく、設計仕様を十分に満たしていた。この結果から、この実施例1の位相シフトマスク200を露光装置のマスクステージにセットし、半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したとしても、最終的に半導体デバイス上に形成される回路パターンは高精度で形成できるといえる。

[0083] 〈実施例2〉

[マスクブランクの製造]

実施例2のマスクブランク100は、位相シフト膜2以外については、実施例1と同様の手順で製造した。この実施例2の位相シフト膜2は、実施例1の位相シフト膜2とは成膜条件を変更している。具体的には、枚葉式スパ

ツタリング装置内に透光性基板1を設置し、Siターゲットを用い、酸素ガス、窒素ガスのガス流量を変更して、クリプトンガス、酸素ガス、窒素ガスをスパッタリングガスとする反応性スパッタリングを行った。これにより、透光性基板1上に、所望の位相差が得られるように、ケイ素、酸素及び窒素からなる位相シフト膜2を128.7nmの厚さで形成した。

[0084] 位相シフト量測定装置（レーザーテック社製 MPM193）を用いて、位相シフト膜2の波長193nmの光に対する透過率と位相差を測定したところ、透過率が89.5%、位相差が179.7度（deg）であった。また、分光エリプソメーター（J. A. Woollam社製 M-2000D）を用いて位相シフト膜2の各光学特性を測定したところ、波長193nmの光における屈折率nは1.750、消衰係数kは0.009であった。別の透光性基板上に同じ成膜条件で位相シフト膜を形成した。さらに、その位相シフト膜に対し、X線光電子分光法による分析（XPS分析）を行った。その結果、位相シフト膜の組成は、Si:N:O=34.6:8.8:56.6（原子%比）であった。そして、N/O比率は0.155、O/Si比率は1.636、N/Si比率は0.254であった。一方、この位相シフト膜2に対してX線反射率法（XRR）を用いた測定装置（GX R-300リガク社製）を用いて膜密度を算出したところ、十分に緻密な膜であることが確認できた。

[0085] [位相シフトマスクの製造と評価]

次に、この実施例2のマスクブランク100を用い、実施例1と同様の手順で、実施例2の位相シフトマスク200を製造した。実施例2の位相シフトマスク200に対し、実施例1と同様にAIMS193（Carl Zeiss社製）を用いて、波長193nmの露光光で半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したときにおける転写像のシミュレーションを行った。このシミュレーションの露光転写像を検証したところ、配線短絡や断線がなく、設計仕様を十分に満たしていた。この結果から、この実施例2の位相シフトマスク200を露光装置のマスクステージにセットし、半導体デバイス上

のレジスト膜に露光転写したとしても、最終的に半導体デバイス上に形成される回路パターンは高精度で形成できるといえる。

[0086] 〈実施例3〉

[マスクブランクの製造]

実施例3のマスクブランク100は、位相シフト膜2以外については、実施例1と同様の手順で製造した。この実施例3の位相シフト膜2は、実施例1の位相シフト膜2とは成膜条件を変更している。具体的には、枚葉式スパッタリング装置内に透光性基板1を設置し、Siターゲットを用い、酸素ガス、窒素ガスのガス流量を変更して、クリプトンガス、酸素ガス、窒素ガスをスパッタリングガスとする反応性スパッタリングを行った。これにより、透光性基板1上に、所望の位相差が得られるように、ケイ素、酸素及び窒素からなる位相シフト膜2を108.7nmの厚さで形成した。

[0087] 位相シフト量測定装置（レーザーテック社製 MPM193）を用いて、位相シフト膜2の波長193nmの光に対する透過率と位相差を測定したところ、透過率が80.9%、位相差が181.3度（deg）であった。また、分光エリプソメーター（J. A. Woollam社製 M-2000D）を用いて位相シフト膜2の各光学特性を測定したところ、波長193nmの光における屈折率nは1.890、消衰係数kは0.026であった。別の透光性基板上に同じ成膜条件で位相シフト膜を形成した。さらに、その位相シフト膜に対し、X線光電子分光法による分析（XPS分析）を行った。その結果、位相シフト膜の組成は、Si:N:O=35.9:14.8:49.3（原子%比）であった。そして、N/O比率は0.300、O/Si比率は1.373、N/Si比率は0.412であった。一方、この位相シフト膜2に対してX線反射率法（XRR）を用いた測定装置（GXRR-300 リガク社製）を用いて膜密度を算出したところ、十分に緻密な膜であることが確認できた。

[0088] [位相シフトマスクの製造と評価]

次に、この実施例3のマスクブランク100を用い、実施例1と同様の手

順で、実施例3の位相シフトマスク200を製造した。実施例3の位相シフトマスク200に対し、実施例1と同様にAIMS193（Carl Zeiss社製）を用いて、波長193nmの露光光で半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したときにおける転写像のシミュレーションを行った。このシミュレーションの露光転写像を検証したところ、配線短絡や断線がなく、設計仕様を十分に満たしていた。この結果から、この実施例3の位相シフトマスク200を露光装置のマスクステージにセットし、半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したとしても、最終的に半導体デバイス上に形成される回路パターンは高精度で形成できるといえる。

[0089] 〈実施例4〉

[マスクブランクの製造]

実施例4のマスクブランク100は、位相シフト膜2以外については、実施例1と同様の手順で製造した。この実施例4の位相シフト膜2は、実施例1の位相シフト膜2とは成膜条件を変更している。具体的には、枚葉式スパッタリング装置内に透光性基板1を設置し、Siターゲットを用い、酸素ガス、窒素ガスのガス流量を変更して、クリプトンガス、酸素ガス、窒素ガスをスパッタリングガスとする反応性スパッタリングを行った。これにより、透光性基板1上に、所望の位相差が得られるように、ケイ素、酸素及び窒素からなる位相シフト膜2を100、1nmの厚さで形成した。

[0090] 位相シフト量測定装置（レーザーテック社製 MPM193）を用いて、位相シフト膜2の波長193nmの光に対する透過率と位相差を測定したところ、透過率が75.4%、位相差が181.3度（deg）であった。また、分光エリプソメーター（J. A. Woollam社製 M-2000D）を用いて位相シフト膜2の各光学特性を測定したところ、波長193nmの光における屈折率nは1.973、消衰係数kは0.039であった。別の透光性基板上に同じ成膜条件で位相シフト膜を形成した。さらに、その位相シフト膜に対し、X線光電子分光法による分析（XPS分析）を行った。その結果、位相シフト膜の組成は、Si : N : O = 36.9 : 18.4 : 4

4.7 (原子%比)であった。そして、N/O比率は0.412、O/Si比率は1.211、N/Si比率は0.499であった。一方、この位相シフト膜2に対してX線反射率法(XRR)を用いた測定装置(GXR-300 リガク社製)を用いて膜密度を算出したところ、十分に緻密な膜であることが確認できた。

[0091] [位相シフトマスクの製造と評価]

次に、この実施例4のマスクブランク100を用い、実施例1と同様の手順で、実施例4の位相シフトマスク200を製造した。実施例4の位相シフトマスク200に対し、実施例1と同様にAIMS193(Carl Zeiss社製)を用いて、波長193nmの露光光で半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したときにおける転写像のシミュレーションを行った。このシミュレーションの露光転写像を検証したところ、配線短絡や断線がなく、設計仕様を十分に満たしていた。この結果から、この実施例4の位相シフトマスク200を露光装置のマスクステージにセットし、半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したとしても、最終的に半導体デバイス上に形成される回路パターンは高精度で形成できるといえる。

[0092] 〈実施例5〉

[マスクブランクの製造]

実施例5のマスクブランク100は、位相シフト膜2以外については、実施例1と同様の手順で製造した。この実施例5の位相シフト膜2は、実施例1の位相シフト膜2とは成膜条件を変更している。具体的には、枚葉式スパッタリング装置内に透光性基板1を設置し、Siターゲットを用い、酸素ガス、窒素ガスのガス流量を変更して、クリプトンガス、酸素ガス、窒素ガスをスパッタリングガスとする反応性スパッタリングを行った。これにより、透光性基板1上に、所望の位相差が得られるように、ケイ素、酸素及び窒素からなる位相シフト膜2を98.2nmの厚さで形成した。

[0093] 位相シフト量測定装置(レーザーテック社製 MPM193)を用いて、位相シフト膜2の波長193nmの光に対する透過率と位相差を測定したと

ころ、透過率が74.0%、位相差が181.7度(deg)であった。また、分光エリプソメーター(J. A. Woollam社製 M-2000D)を用いて位相シフト膜2の各光学特性を測定したところ、波長193nmの光における屈折率 n は1.994、消衰係数 k は0.043であった。別の透光性基板上に同じ成膜条件で位相シフト膜を形成した。さらに、その位相シフト膜に対し、X線光電子分光法による分析(XPS分析)を行った。その結果、位相シフト膜の組成は、Si:N:O=37.3:19.4:43.3(原子%比)であった。そして、N/O比率は0.448、O/Si比率は1.161、N/Si比率は0.520であった。一方、この位相シフト膜2に対してX線反射率法(XRR)を用いた測定装置(GXR-300 リガク社製)を用いて膜密度を算出したところ、十分に緻密な膜であることが確認できた。

[0094] [位相シフトマスクの製造と評価]

次に、この実施例5のマスクブランク100を用い、実施例1と同様の手順で、実施例5の位相シフトマスク200を製造した。実施例5の位相シフトマスク200に対し、実施例1と同様にAIMS193(Carl Zeiss社製)を用いて、波長193nmの露光光で半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したときにおける転写像のシミュレーションを行った。このシミュレーションの露光転写像を検証したところ、配線短絡や断線がなく、設計仕様を十分に満たしていた。この結果から、この実施例5の位相シフトマスク200を露光装置のマスクステージにセットし、半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したとしても、最終的に半導体デバイス上に形成される回路パターンは高精度で形成できるといえる。

[0095] <実施例6>

[マスクブランクの製造]

実施例6のマスクブランク100は、位相シフト膜2の膜厚以外については、実施例3と同様の手順で製造した。この実施例6の位相シフト膜2は、実施例3の位相シフト膜2と同じ成膜条件で反応性スパッタリングを行った

。これにより、透光性基板1上に、所望の位相差が得られるように、ケイ素、酸素及び窒素からなる位相シフト膜2を125.0nmの厚さで形成した。

[0096] 位相シフト量測定装置（レーザーテック社製 MPM193）を用いて、位相シフト膜2の波長193nmの光に対する透過率と位相差を測定したところ、透過率が73.2%、位相差が205.1度（deg）であった。また、分光エリプソメーター（J. A. Woollam社製 M-2000D）を用いて位相シフト膜2の各光学特性を測定したところ、波長193nmの光における屈折率 n は1.890、消衰係数 k は0.026であった。位相シフト膜の組成、N/O比率、O/Si比率、N/Si比率は、実施例3と同一であった。一方、この位相シフト膜2に対してX線反射率法（XRR）を用いた測定装置（GX R-300 リガク社製）を用いて膜密度を算出したところ、十分に緻密な膜であることが確認できた。

[0097] [位相シフトマスクの製造と評価]

次に、この実施例6のマスクブランク100を用い、実施例1と同様の手順で、実施例6の位相シフトマスク200を製造した。実施例6の位相シフトマスク200に対し、実施例1と同様にAIMS193（Carl Zeiss社製）を用いて、波長193nmの露光光で半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したときにおける転写像のシミュレーションを行った。このシミュレーションの露光転写像を検証したところ、配線短絡や断線がなく、設計仕様を十分に満たしていた。この結果から、この実施例6の位相シフトマスク200を露光装置のマスクステージにセットし、半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したとしても、最終的に半導体デバイス上に形成される回路パターンは高精度で形成できるといえる。

[0098] 〈比較例1〉

[マスクブランクの製造]

比較例1のマスクブランクは、位相シフト膜以外については、実施例1と同様の手順で製造した。この比較例1の位相シフト膜は、実施例1の位相シ

フト膜2とは成膜条件を変更している。具体的には、枚葉式スパッタリング装置内に透光性基板を設置し、Siターゲットを用い、酸素ガス、窒素ガスのガス流量を変更して、クリプトンガス、酸素ガス、窒素ガスをスパッタリングガスとする反応性スパッタリングを行った。これにより、透光性基板上に、所望の位相差が得られるように、ケイ素、酸素及び窒素からなる位相シフト膜を143.1nmの厚さで形成した。

[0099] 位相シフト量測定装置（レーザーテック社製 MPM193）を用いて、位相シフト膜の波長193nmの光に対する透過率と位相差を測定したところ、透過率が93.8%、位相差が180.5度（deg）であった。また、分光エリプソメーター（J. A. Woollam社製 M-2000D）を用いて位相シフト膜の各光学特性を測定したところ、波長193nmの光における屈折率nは1.676、消衰係数kは0.003であった。別の透光性基板上に同じ成膜条件で位相シフト膜を形成した。さらに、その位相シフト膜に対し、X線光電子分光法による分析（XPS分析）を行った。その結果、位相シフト膜の組成は、Si : N : O = 34.2 : 5.5 : 60.3（原子%比）であった。そして、N/O比率は0.091、O/Si比率は1.763、N/Si比率は0.161であった。一方、この位相シフト膜に対してX線反射率法（XRR）を用いた測定装置（GX R-300 リガク社製）を用いて膜密度を算出したところ、十分に緻密な膜であることが確認できた。

[0100] [位相シフトマスクの製造と評価]

次に、この比較例1のマスクブランクを用い、実施例1と同様の手順で、比較例1の位相シフトマスクを製造した。比較例1の位相シフトマスクに対し、実施例1と同様にAIMS193（Carl Zeiss社製）を用いて、波長193nmの露光光で半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したときにおける転写像のシミュレーションを行った。このシミュレーションの露光転写像を検証したところ、配線短絡や断線が発生しており、設計仕様を満たすものではなかった。この原因は、位相シフト膜のパターンの一部に

倒れや脱落が発生したことにありと推察される。この結果から、この比較例 1 の位相シフトマスクを露光装置のマスクステージにセットし、半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写した場合、最終的に半導体デバイス上に形成される回路パターンを高精度で形成することは困難であるといえる。

[0101] 〈比較例 2〉

[マスクブランクの製造]

比較例 2 のマスクブランクは、位相シフト膜、そして遮光膜の膜厚以外については、実施例 1 と同様の手順で製造した。この比較例 2 の位相シフト膜は、実施例 1 の位相シフト膜 2 とは成膜条件を変更している。具体的には、枚葉式スパッタリング装置内に透光性基板を設置し、Si ターゲットを用い、酸素ガス、窒素ガスのガス流量を変更して、クリプトンガス、酸素ガス、窒素ガスをスパッタリングガスとする反応性スパッタリングを行った。これにより、透光性基板上に、所望の位相差が得られるように、ケイ素、酸素及び窒素からなる位相シフト膜を 92.2 nm の厚さで形成した。

[0102] 位相シフト量測定装置（レーザーテック社製 MPM193）を用いて、位相シフト膜の波長 193 nm の光に対する透過率と位相差を測定したところ、透過率が 68.5%、位相差が 184.9 度（deg）であった。また、分光エリプソメーター（J. A. Woollam 社製 M-2000D）を用いて位相シフト膜の各光学特性を測定したところ、波長 193 nm の光における屈折率 n は 2.077、消衰係数 k は 0.058 であった。別の透光性基板上に同じ成膜条件で位相シフト膜を形成した。さらに、その位相シフト膜に対し、X 線光電子分光法による分析（XPS 分析）を行った。その結果、位相シフト膜の組成は、Si : N : O = 37.5 : 22.5 : 40.0（原子%比）であった。そして、N/O 比率は 0.563、O/Si 比率は 1.067、N/Si 比率は 0.600 であった。一方、この位相シフト膜に対して X 線反射率法（XRR）を用いた測定装置（GXRR-300 リガク社製）を用いて膜密度を算出したところ、十分に緻密な膜であることが確認できた。

[0103] [位相シフトマスクの製造と評価]

次に、この比較例2のマスクブランクを用い、実施例1と同様の手順で、比較例2の位相シフトマスクを製造した。比較例2の位相シフトマスクに対し、実施例1と同様にAIMS193(Carl Zeiss社製)を用いて、波長193nmの露光光で半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したときにおける転写像のシミュレーションを行った。このシミュレーションの露光転写像を検証したところ、設計仕様を満たすものではなかった。この原因は、位相シフト膜の透過率を十分に高くできず、パターン解像性が大幅に低下したことにあると推察される。この結果から、この比較例2の位相シフトマスクを露光装置のマスクステージにセットし、半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写した場合、最終的に半導体デバイス上に形成される回路パターンを高精度で形成することは困難であるといえる。

[0104] 〈比較例3〉

[マスクブランクの製造]

比較例3のマスクブランクは、位相シフト膜以外については、実施例1と同様の手順で製造した。この比較例3の位相シフト膜は、実施例1の位相シフト膜2とは成膜条件を変更している。具体的には、枚葉式スパッタリング装置内に透光性基板を設置し、Siターゲットを用い、窒素ガスを使用せず、酸素ガス、およびクリプトンガスをスパッタリングガスとする反応性スパッタリングを行った。これにより、透光性基板上に、所望の位相差が得られるように、ケイ素及び酸素からなる位相シフト膜を172.7nmの厚さで形成した。

[0105] 位相シフト量測定装置(レーザーテック社製 MPM193)を用いて、位相シフト膜の波長193nmの光に対する透過率と位相差を測定したところ、透過率が100.0%、位相差が180.4度(deg)であった。また、分光エリプソメーター(J. A. Woollam社製 M-2000D)を用いて位相シフト膜の各光学特性を測定したところ、波長193nmの光における屈折率 n は1.560、消衰係数 k は0.000であった。別の

透光性基板上に同じ成膜条件で位相シフト膜を形成した。位相シフト膜の組成は、 $\text{Si} : \text{O} = 33.4 : 66.6$ （原子％比）であった。そして、 N / O 比率は0.000、 O / Si 比率は1.994、 N / Si 比率は0.000であった。一方、この位相シフト膜2に対してX線反射率法（XRR）を用いた測定装置（GX R-300 リガク社製）を用いて膜密度を算出したところ、十分に緻密な膜であることが確認できた。

[0106] [位相シフトマスクの製造と評価]

次に、この比較例3のマスクブランクを用い、実施例1と同様の手順で、比較例3の位相シフトマスクを製造した。比較例3の位相シフトマスクに対し、実施例1と同様にAIMS193（Carl Zeiss社製）を用いて、波長193nmの露光光で半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写したときにおける転写像のシミュレーションを行った。このシミュレーションの露光転写像を検証したところ、配線短絡や断線が発生しており、設計仕様を満たすものではなかった。この原因は、位相シフト膜のパターンの一部に倒れや脱落が発生したことにあると推察される。この結果から、この比較例3の位相シフトマスクを露光装置のマスクステージにセットし、半導体デバイス上のレジスト膜に露光転写した場合、最終的に半導体デバイス上に形成される回路パターンを高精度で形成することは困難であるといえる。

符号の説明

- [0107] 1 透光性基板
2 位相シフト膜
2 a 位相シフトパターン
3 遮光膜
3 a, 3 b 遮光パターン
4 ハードマスク膜
4 a ハードマスクパターン
5 a レジストパターン
6 b レジストパターン

1 0 0 マスクブランク

2 0 0 位相シフトマスク

請求の範囲

- [請求項1] 透光性基板の主表面上に位相シフト膜を備えたマスクブランクであって、
- 前記位相シフト膜は、ケイ素、酸素および窒素を含有し、
- 前記位相シフト膜のケイ素の含有量〔原子％〕に対する窒素の含有量〔原子％〕の比率は、0.20以上0.52以下であり、
- 前記位相シフト膜のケイ素の含有量〔原子％〕に対する酸素の含有量〔原子％〕の比率は、1.16以上1.70以下であり、
- 前記位相シフト膜のA r Fエキシマレーザーの露光光の波長に対する屈折率 n は、1.7以上2.0以下であり、
- 前記位相シフト膜の前記露光光の波長に対する消衰係数 k は、0.05以下である
- ことを特徴とするマスクブランク。
- [請求項2] 前記位相シフト膜の酸素の含有量〔原子％〕に対する窒素の含有量〔原子％〕の比率は、0.12以上0.45以下であることを特徴とする請求項1記載のマスクブランク。
- [請求項3] 前記位相シフト膜のケイ素の含有量は、30原子％以上であることを特徴とする請求項1または2に記載のマスクブランク。
- [請求項4] 前記位相シフト膜は、前記露光光を70％以上の透過率で透過させる機能と、前記位相シフト膜を透過した前記露光光に対して前記位相シフト膜の厚さと同じ距離だけ空気中を通過した露光光との間で150度以上210度以下の位相差を生じさせる機能とを有することを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載のマスクブランク。
- [請求項5] 前記位相シフト膜は、厚さが140nm以下であることを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載のマスクブランク。
- [請求項6] 前記位相シフト膜の上に遮光膜を備えることを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載のマスクブランク。
- [請求項7] 透光性基板の主表面上に、転写パターンを有する位相シフト膜を備

えた位相シフトマスクであって、

前記位相シフト膜は、ケイ素、酸素および窒素を含有し、

前記位相シフト膜のケイ素の含有量〔原子％〕に対する窒素の含有量〔原子％〕の比率は、0.20以上0.52以下であり、

前記位相シフト膜のケイ素の含有量〔原子％〕に対する酸素の含有量〔原子％〕の比率は、1.16以上1.70以下であり、

前記位相シフト膜のArFエキシマレーザの露光光の波長に対する屈折率 n は、1.7以上2.0以下であり、

前記位相シフト膜の前記露光光の波長に対する消衰係数 k は、0.05以下である

ことを特徴とする位相シフトマスク。

[請求項8] 前記位相シフト膜の酸素の含有量〔原子％〕に対する窒素の含有量〔原子％〕の比率は、0.12以上0.45以下であることを特徴とする請求項7記載の位相シフトマスク。

[請求項9] 前記位相シフト膜のケイ素の含有量は、30原子％以上であることを特徴とする請求項7または8に記載の位相シフトマスク。

[請求項10] 前記位相シフト膜は、前記露光光を70％以上の透過率で透過させる機能と、前記位相シフト膜を透過した前記露光光に対して前記位相シフト膜の厚さと同じ距離だけ空気中を通過した露光光との間で150度以上210度以下の位相差を生じさせる機能とを有することを特徴とする請求項7から9のいずれかに記載の位相シフトマスク。

[請求項11] 前記位相シフト膜は、厚さが140nm以下であることを特徴とする請求項7から10のいずれかに記載の位相シフトマスク。

[請求項12] 前記位相シフト膜の上に、遮光帯を含むパターンを有する遮光膜を備えることを特徴とする請求項7から11のいずれかに記載の位相シフトマスク。

[請求項13] 請求項12記載の位相シフトマスクを用い、半導体基板上のレジスト膜に転写パターンを露光転写する工程を備えることを特徴とする半

導体デバイスの製造方法。