明　細　書

発明の名称 ：

反射型マスクブランク、反射型マスク及びその製造方法、並びに半導体装置の製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、半導体装置の製造などに使用される露光用マスクを製造するための原版である反射型マスクブランク、反射型マスク及びその製造方法、並びに半導体装置の製造方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体装置製造における露光装置の光源の種類は、波長４３６ｎｍのｇ線、同３６５ｎｍのｉ線、同２４８ｎｍのＫｒＦレーザ、同１９３ｎｍのＡｒＦレーザと、波長を徐々に短くしながら進化してきており、より微細なパターン転写を実現するため、波長が１３．５ｎｍ近傍の極端紫外線（ＥＵＶ：Ｅｘｔｒｅｍｅ　Ｕｌｔｒａ　Ｖｉｏｌｅｔ)を用いたＥＵＶリソグラフィーが開発されている。ＥＵＶリソグラフィーでは、ＥＵＶ光に対して透明な材料が少ないことから、反射型のマスクが用いられる。この反射型マスクでは、低熱膨張基板上に露光光を反射する多層反射膜が形成され、当該多層反射膜を保護するための保護膜の上に、所望の転写用パターンが形成されたマスク構造を基本構造としている。また、転写用パターンの構成から、代表的なものとして、ＥＵＶ光を十分吸収する比較的厚い吸収体パターンからなるバイナリー型反射マスクと、ＥＵＶ光を光吸収により減光させ、且つ多層反射膜からの反射光に対してほぼ位相が反転（約１８０°の位相反転）した反射光を発生させる比較的薄い吸収体パターンからなる位相シフト型反射マスク（ハーフトーン位相シフト型反射マスク）がある。この位相シフト型反射マスク（ハーフトーン位相シフト型反射マスク）は、透過型光位相シフトマスクと同様に、位相シフト効果によって高い転写光学像コントラストが得られるので解像度向上効果がある。また、位相シフト型反射マスクの吸収体パタ

ーン（位相シフトパターン）の膜厚が薄いことから、精度良く微細な位相シフトパターンを形成できる。

[0003] ＥＵＶリソグラフィーでは、光透過率の関係から多数の反射鏡からなる投影光学系が用いられている。そして、反射型マスクに対してＥＵＶ光を斜めから入射させて、これらの複数の反射鏡が投影光（露光光）を遮らないようにしている。入射角度は、現在、反射マスク基板垂直面に対して６°とすることが主流である。投影光学系の開口数（ＮＡ）の向上とともに８°程度のより斜入射となる角度にする方向で検討が進められている。

[0004] ＥＵＶリソグラフィーでは、露光光が斜めから入射されるため、シャドーイング効果と呼ばれる固有の問題がある。シャドーイング効果とは、立体構造を持つ吸収体パターンへ露光光が斜めから入射されることにより影ができ、転写形成されるパターンの寸法や位置が変わる現象のことである。吸収体パターンの立体構造が壁となって日陰側に影ができ、転写形成されるパターンの寸法や位置が変わる。例えば、配置される吸収体パターンの向きが斜入射光の方向と平行となる場合と垂直となる場合とで、両者の転写パターンの寸法と位置に差が生じ、転写精度を低下させる。

[0005] このようなＥＵＶリソグラフィー用の反射型マスク及びこれを作製するためのマスクブランクに関連する技術が特許文献１から特許文献３に開示されている。また、特許文献１には、シャドーイング効果についても、開示されている。従来、ＥＵＶリソグラフィー用の反射型マスクとして位相シフト型反射マスクを用いることで、バイナリー型反射マスクの場合よりも位相シフトパターンの膜厚を比較的薄くして、シャドーイング効果による転写精度の低下の抑制を図っている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開２０１０－０８０６５９号公報

特許文献2：特開２００４－２０７５９３号公報

特許文献3：特開２００４－３９８８４号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] パターンを微細にするほど、及びパターン寸法やパターン位置の精度を高めるほど半導体装置の電気特性性能が上がり、また、集積度向上やチップサイズを低減できる。そのため、ＥＵＶリソグラフィーには従来よりも一段高い高精度微細寸法パターン転写性能が求められている。現在では、ｈｐ１６ｎｍ（ｈａｌｆ　ｐｉｔｃｈ　１６ｎｍ）世代対応の超微細高精度パターン形成が要求されている。このような要求に対し、シャドーイング効果を小さくするために、更なる薄膜化が求められている。特に、ＥＵＶ露光の場合において、吸収体膜（位相シフト膜）の膜厚を６０ｎｍ未満、好ましくは５０ｎｍ以下とすることが要求されている。

[0008] 特許文献１乃至３に開示されているように、従来から反射型マスクブランクの吸収体膜（位相シフト膜）を形成する材料としてＴａが用いられてきた。しかし、ＥＵＶ光（例えば、波長１３．５ｎｍ）におけるＴａの屈折率ｎが約０．９４３であり、その位相シフト効果を利用しても、Ｔａのみで形成される吸収体膜（位相シフト膜）の薄膜化は６０ｎｍが限界である。より薄膜化を行うためには、例えば、屈折率ｎの小さい（位相シフト効果の大きい）金属材料を用いることができる。波長１３．５ｎｍにおける屈折率ｎが小さい金属材料としては、特許文献１の、例えば図５にも記載されているように、Ｍｏ（ｎ＝０．９２１）及びＲｕ（ｎ＝０．８８８）がある。しかし、Ｍｏは非常に酸化されやすく洗浄耐性が懸念され、Ｒｕはエッチングレートが低く、加工や修正が困難である。

[0009] 本発明は、上記の点に鑑み、反射型マスクのシャドーイング効果をより低減するとともに、微細で高精度な位相シフトパターンを形成できる反射型マスクブランク及びこれによって作製される反射型マスクの提供、並びに半導体装置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] 上記課題を解決するため、本発明は以下の構成を有する。

[0011]（構成１）

基板上に、多層反射膜及びＥＵＶ光の位相をシフトさせる位相シフト膜をこの順で有する反射型マスクブランクであって、

前記位相シフト膜は、単層膜又は２層以上の多層膜からなり、タンタル（Ｔａ）及びチタン（Ｔｉ）を含む材料からなることを特徴とする反射型マスクブランク。

[0012]（構成２）

前記位相シフト膜は、基板側から下層膜と上層膜とが順に積層した構造を有し、

前記下層膜は、タンタル（Ｔａ）、チタン（Ｔｉ）及び窒素（Ｎ）を含む材料からなり、

前記上層膜は、タンタル（Ｔａ）、チタン（Ｔｉ）及び酸素（Ｏ）を含む材料からなることを特徴とする構成１に記載の反射型マスクブランク。

[0013]（構成３）

前記位相シフト膜は、基板側から下層膜と上層膜とが順に積層した構造を有し、

前記下層膜は、タンタル（Ｔａ）、チタン（Ｔｉ）及び窒素（Ｎ）を含む材料からなり、

前記上層膜のＥＵＶ光における屈折率は、前記下層膜のＥＵＶ光における屈折率よりも大きく、１よりも小さいことを特徴とする構成１に記載の反射型マスクブランク。

[0014]（構成４）

前記上層膜は、ケイ素化合物を含む材料からなることを特徴とする構成３に記載の反射型マスクブランク。

[0015]（構成５）

前記多層反射膜と位相シフト膜との間に保護膜を更に有し、

前記保護膜は、ルテニウム（Ｒｕ）を含む材料からなることを特徴とする構成１乃至４の何れか一つに記載の反射型マスクブランク。

[0016] （構成６）

前記基板の多層反射膜が設けられた面に対して反対側の面に導電膜を更に有し、

前記導電膜は、少なくとも波長５３２ｎｍの光における透過率が２０％以上である材料からなることを特徴とする構成１乃至５の何れか一つに記載の反射型マスクブランク。

[0017] （構成７）

構成１乃至６の何れか一つに記載の反射型マスクブランクにおける前記位相シフト膜がパターニングされた位相シフトパターンを有することを特徴とする反射型マスク。

[0018] （構成８）

構成１乃至６の何れか一つに記載の反射型マスクブランクの前記位相シフト膜上にレジストパターンを形成し、

前記レジストパターンをマスクにして、実質的に酸素を含まない塩素系ガスを含むドライエッチングガスにより前記位相シフト膜をドライエッチングでパターニングして位相シフトパターンを形成することを特徴とする反射型マスクの製造方法。

[0019] （構成９）

ＥＵＶ光を発する露光光源を有する露光装置に、構成７に記載の反射型マスクをセットし、被転写基板上に形成されているレジスト膜に転写パターンを転写する工程を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

発明の効果

[0020] 本発明の反射型マスクブランク（これによって作製される反射型マスク）によれば、位相シフト膜の膜厚を薄くすることができて、シャドーイング効果を低減でき、且つ微細で高精度な位相シフトパターンを、側壁ラフネスの少ない安定した断面形状で形成できる。したがって、この構造の反射型マスクブランクを用いて製造された反射型マスクは、マスク上に形成される位相シフトパターン自体を微細で高精度に形成できるとともに、シャドーイング

による転写時の精度低下を防止できる。また、この反射型マスクを用いてＥＵＶリソグラフィーを行うことにより、微細で高精度な半導体装置の製造方法を提供することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]本発明に係る反射型マスクブランクの概略構成を説明するための要部断面模式図である。

[図2]反射型マスクブランクから反射型マスクを作製する工程を要部断面模式図にて示した工程図である。

[図3]位相シフト膜の厚さと波長１３．５ｎｍの光に対する相対反射率及び位相差の関係を示す図である。

[図4]本発明に係る反射型マスクブランクの概略構成を説明するための要部断面模式図である。

[図5]実施例１のシャドーイング効果を説明するための図で、（ａ）はマスクを上面から見たマスクパターンレイアウト図（平面図）、（ｂ）は転写されたレジストパターンを上面から見たレジストパターン平面図である。

[図6]Ｐｔ膜からなる裏面導電膜の各膜厚の透過率スペクトルを示す図である。

[図7]実施例５の位相シフト膜の厚さと波長１３．５ｎｍの光に対する相対反射率及び位相差の関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら具体的に説明する。なお、以下の実施形態は、本発明を具体化する際の一形態であって、本発明をその範囲内に限定するものではない。なお、図中、同一又は相当する部分には同一の符号を付してその説明を簡略化ないし省略することがある。

[0023] ＜反射型マスクブランクの構成及びその製造方法＞

図１は、本発明に係る反射型マスクブランクの構成を説明するための要部断面模式図である。同図に示されるように、反射型マスクブランク１００は、マスクブランク用基板１（単に、「基板１」ともいう。）と、第１主面（

表面）側に形成された露光光であるＥＵＶ光を反射する多層反射膜２と、当該多層反射膜２を保護するために設けられ、後述する位相シフト膜４をパターニングする際に使用するエッチャントや、洗浄液に対して耐性を有する材料で形成される保護膜３と、ＥＵＶ光を吸収する位相シフト膜４とを有し、これらがこの順で積層されるものである。また、基板１の第２主面（裏面）側には、静電チャック用の裏面導電膜５が形成される。

[0024] 本明細書において、「マスクブランク用基板１の主表面の上に、多層反射膜２を有する」とは、多層反射膜２が、マスクブランク用基板１の表面に接して配置されることを意味する場合の他、マスクブランク用基板１と、多層反射膜２との間に他の膜を有することを意味する場合も含む。他の膜についても同様である。例えば「膜Ａの上に膜Ｂを有する」とは、膜Ａと膜Ｂとが直接、接するように配置されていることを意味する他、膜Ａと膜Ｂとの間に他の膜を有する場合も含む。また、本明細書において、例えば「膜Ａが膜Ｂの表面に接して配置される」とは、膜Ａと膜Ｂとの間に他の膜を介さずに、膜Ａと膜Ｂとが直接、接するように配置されていることを意味する。

[0025] 本明細書において、位相シフト膜が、「タンタル（Ｔａ）及びチタン（Ｔｉ）を含む材料からなる」とは、位相シフト膜が、少なくとも、実質的に、タンタル（Ｔａ）及びチタン（Ｔｉ）を含む材料で構成されていることを意味する。また、位相シフト膜が、「タンタル（Ｔａ）及びチタン（Ｔｉ）を含む材料からなる」とは、位相シフト膜が、タンタル（Ｔａ）及びチタン（Ｔｉ）を含む材料のみからなることを意味する場合がある。また、いずれの場合も、不可避的に混入する不純物が、位相シフト膜に含まれることを含む。

[0026] 以下、各層ごとに説明をする。

[0027] ＜＜基板＞＞

基板１は、ＥＵＶ光による露光時の熱による位相シフトパターンの歪みを防止するため、０±５ｐｐｂ／℃の範囲内の低熱膨張係数を有するものが好ましく用いられる。この範囲の低熱膨張係数を有する素材としては、例えば

、SiO_2－TiO_2系ガラス、多成分系ガラスセラミックス等を用いることができる。

[0028] 基板１の転写パターン（後述の位相シフト膜がこれを構成する）が形成される側の第１主面は、少なくともパターン転写精度、位置精度を得る観点から高平坦度となるように表面加工されている。ＥＵＶ露光の場合、基板１の転写パターンが形成される側の主表面の１３２ｍｍ×１３２ｍｍの領域において、平坦度が０．１μｍ以下であることが好ましく、更に好ましくは０．０５μｍ以下、特に好ましくは０．０３μｍ以下である。また、吸収体膜が形成される側と反対側の第２主面は、露光装置にセットするときに静電チャックされる面であって、１３２ｍｍ×１３２ｍｍの領域において、平坦度が０．１μｍ以下であることが好ましく、更に好ましくは０．０５μｍ以下、特に好ましくは０．０３μｍ以下である。なお、反射型マスクブランク１００における第２主面側の平坦度は、１４２ｍｍ×１４２ｍｍの領域において、平坦度が１μｍ以下であることが好ましく、更に好ましくは０．５μｍ以下、特に好ましくは０．３μｍ以下である。

[0029] また、基板１の表面平滑度の高さも極めて重要な項目である。転写用位相シフトパターンが形成される基板１の第１主面の表面粗さは、二乗平均平方根粗さ（ＲＭＳ）で０．１ｎｍ以下であることが好ましい。なお、表面平滑度は、原子間力顕微鏡で測定することができる。

[0030] 更に、基板１は、その上に形成される膜（多層反射膜２など）の膜応力による変形を防止するために、高い剛性を有しているものが好ましい。特に、６５ＧＰａ以上の高いヤング率を有しているものが好ましい。

[0031] ＜＜多層反射膜＞＞

多層反射膜２は、反射型マスクにおいて、ＥＵＶ光を反射する機能を付与するものであり、屈折率の異なる元素を主成分とする各層が周期的に積層された多層膜の構成となっている。

[0032] 一般的には、高屈折率材料である軽元素又はその化合物の薄膜（高屈折率層）と、低屈折率材料である重元素又はその化合物の薄膜（低屈折率層）と

が交互に４０から６０周期程度積層された多層膜が、多層反射膜２として用いられる。多層膜は、基板１側から高屈折率層と低屈折率層をこの順に積層した高屈折率層／低屈折率層の積層構造を１周期として複数周期積層してもよいし、基板１側から低屈折率層と高屈折率層をこの順に積層した低屈折率層／高屈折率層の積層構造を１周期として複数周期積層してもよい。なお、多層反射膜２の最表面の層、即ち多層反射膜２の基板１と反対側の表面層は、高屈折率層とすることが好ましい。上述の多層膜において、基板１から高屈折率層と低屈折率層をこの順に積層した高屈折率層／低屈折率層の積層構造を１周期として複数周期積層する場合は最上層が低屈折率層となる。この場合、低屈折率層が多層反射膜２の最表面を構成すると容易に酸化されてしまい反射型マスクの反射率が減少する。そのため、最上層の低屈折率層上に高屈折率層を更に形成して多層反射膜２とすることが好ましい。一方、上述の多層膜において、基板１側から低屈折率層と高屈折率層をこの順に積層した低屈折率層／高屈折率層の積層構造を１周期として複数周期積層する場合は、最上層が高屈折率層となるので、そのままでよい。

[0033] 本実施形態において、高屈折率層としては、ケイ素（Ｓｉ）を含む層が採用される。Ｓｉを含む材料としては、Ｓｉ単体の他に、Ｓｉに、ボロン（Ｂ）、炭素（Ｃ）、窒素（Ｎ）、及び酸素（Ｏ）を含むＳｉ化合物でもよい。Ｓｉを含む層を高屈折率層として使用することによって、ＥＵＶ光の反射率に優れたＥＵＶリソグラフィー用反射型マスクが得られる。また、本実施形態において基板１としてはガラス基板が好ましく用いられる。Ｓｉはガラス基板との密着性においても優れている。また、低屈折率層としては、モリブデン（Ｍｏ）、ルテニウム（Ｒｕ）、ロジウム（Ｒｈ）、及び白金（Ｐｔ）から選ばれる金属単体、又はこれらの合金が用いられる。例えば波長１３ｎｍから１４ｎｍのＥＵＶ光に対する多層反射膜２としては、好ましくはＭｏ膜とＳｉ膜を交互に４０から６０周期程度積層したＭｏ／Ｓｉ周期積層膜が用いられる。なお、多層反射膜２の最上層である高屈折率層をケイ素（Ｓｉ）で形成し、当該最上層（Ｓｉ）とＲｕ系保護膜３との間に、ケイ素と酸素

とを含むケイ素酸化物層を形成するようにしてもよい。これにより、マスク洗浄耐性を向上させることができる。

[0034] このような多層反射膜２の単独での反射率は通常６５％以上であり、上限は通常７３％である。なお、多層反射膜２の各構成層の厚み、周期は、露光波長により適宜選択すればよく、ブラッグ反射の法則を満たすように選択される。多層反射膜２において高屈折率層及び低屈折率層はそれぞれ複数存在するが、高屈折率層同士、そして低屈折率層同士の厚みが同じでなくてもよい。また、多層反射膜２の最表面のＳｉ層の膜厚は、反射率を低下させない範囲で調整することができる。最表面のＳｉ（高屈折率層）の膜厚は、３ｎｍから１０ｎｍとすることができる。

[0035] 多層反射膜２の形成方法は当該技術分野において公知である。例えばイオンビームスパッタリング法により、多層反射膜２の各層を成膜することで形成できる。上述したＭｏ／Ｓｉ周期多層膜の場合、例えばイオンビームスパッタリング法により、先ずＳｉターゲットを用いて厚さ４ｎｍ程度のＳｉ膜を基板１上に成膜し、その後Ｍｏターゲットを用いて厚さ３ｎｍ程度のＭｏ膜を成膜し、これを１周期として、４０から６０周期積層して、多層反射膜２を形成する（最表面の層はＳｉ層とする）。また、多層反射膜２の成膜の際に、イオン源からクリプトン（Ｋｒ）イオン粒子を供給して、イオンビームスパッタリングを行うことにより多層反射膜２を形成することが好ましい。

[0036] ＜＜保護膜＞＞

保護膜３は、後述する反射型マスクの製造工程におけるドライエッチング及び洗浄から多層反射膜２を保護するために、多層反射膜２の上に形成される。また、電子線（ＥＢ）を用いた位相シフトパターンの黒欠陥修正の際の多層反射膜２の保護も兼ね備える。ここで、図１では保護膜３が１層の場合を示しているが、３層以上の積層構造とすることもできる。例えば、最下層と最上層を、上記Ｒｕを含有する物質からなる層とし、最下層と最上層との間に、Ｒｕ以外の金属、若しくは合金を介在させた保護膜３としても構わな

い。例えば、保護膜３は、ルテニウムを主成分として含む材料により構成されることができる。すなわち、保護膜３の材料は、Ｒｕ金属単体でもよいし、Ｒｕにチタン（Ｔｉ）、ニオブ（Ｎｂ）、モリブデン（Ｍｏ）、ジルコニウム（Ｚｒ）、イットリウム（Ｙ）、ホウ素（Ｂ）、ランタン（Ｌａ）、コバルト（Ｃｏ）、及びレニウム（Ｒｅ）などから選択される少なくとも１種の金属を含有したＲｕ合金であってよく、窒素を含んでいても構わない。このような保護膜３は、特に、位相シフト膜４をＴａＴｉ合金系材料とし、Ｃｌ系ガスのドライエッチングで当該位相シフト膜４をパターニングする場合に有効である。

[0037] このＲｕ合金のＲｕ含有比率は５０原子％以上１００原子％未満、好ましくは８０原子％以上１００原子％未満、更に好ましくは９５原子％以上１００原子％未満である。特に、Ｒｕ合金のＲｕ含有比率が９５原子％以上１００原子％未満の場合は、保護膜３への多層反射膜構成元素（ケイ素）の拡散を抑えつつ、ＥＵＶ光の反射率を十分確保しながら、マスク洗浄耐性、位相シフト膜をエッチング加工した時のエッチングストッパ機能、及び多層反射膜経時変化防止の保護膜機能を兼ね備えることが可能となる。

[0038] ＥＵＶリソグラフィーでは、露光光に対して透明な物質が少ないので、マスクパターン面への異物付着を防止するＥＵＶペリクルが技術的に簡単ではない。このことから、ペリクルを用いないペリクルレス運用が主流となっている。また、ＥＵＶリソグラフィーでは、ＥＵＶ露光によってマスクにカーボン膜が堆積したり、酸化膜が成長するといった露光コンタミネーションが起こる。そのため、ＥＵＶ反射型マスクを半導体装置の製造に使用している段階で、度々洗浄を行ってマスク上の異物やコンタミネーションを除去する必要がある。このため、ＥＵＶ反射型マスクでは、光リソグラフィー用の透過型マスクに比べて桁違いのマスク洗浄耐性が要求されている。Ｔｉを含有したＲｕ系保護膜を用いると、硫酸、硫酸過水（ＳＰＭ）、アンモニア、アンモニア過水（ＡＰＭ）、ＯＨラジカル洗浄水あるいは濃度が１０ｐｐｍ以下のオゾン水などの洗浄液に対する洗浄耐性が特に高く、マスク洗浄耐性の

要求を満たすことが可能となる。

[0039] このようなＲｕ又はその合金などにより構成される保護膜３の厚みは、その保護膜としての機能を果たすことができる限り特に制限されない。ＥＵＶ光の反射率の観点から、保護膜３の厚みは、好ましくは、１．０ｎｍから８．０ｎｍ、より好ましくは、１．５ｎｍから６．０ｎｍである。

[0040] 保護膜３の形成方法としては、公知の膜形成方法と同様のものを特に制限なく採用することができる。具体例としては、スパッタリング法及びイオンビームスパッタリング法が挙げられる。

[0041] ＜＜位相シフト膜＞＞

保護膜３の上に、ＥＵＶ光の位相をシフトする位相シフト膜４が形成される。位相シフト膜４が形成されている部分では、ＥＵＶ光を吸収して減光しつつパターン転写に悪影響がないレベルで一部の光を反射させて、保護膜３を介して多層反射膜２から反射してくるフィールド部からの反射光と所望の位相差を形成するものである。位相シフト膜４は、位相シフト膜４からの反射光と、多層反射膜２からの反射光との位相差が、１６０°から２００°となるように形成される。１８０°近傍の反転した位相差の光同士がパターンエッジ部で干渉し合うことにより、投影光学像の像コントラストが向上する。その像コントラストの向上にともなって解像度が上がり、露光量裕度、焦点裕度等の露光に関する各種裕度が拡がる。パターンや露光条件にもよるが、一般的には、この位相シフト効果を得るための位相シフト膜４の反射率の目安は、絶対反射率で１％以上、多層反射膜（保護膜付き）に対する反射比（相対反射率）で２％以上である。十分な位相シフト効果を得るためには、位相シフト膜４の反射率は、絶対反射率で２．５％以上が好ましい。

[0042] 位相シフト膜４の材料としては、タンタル（Ｔａ）及びチタン（Ｔｉ）を含むＴａＴｉ系材料が好ましい。ＴａＴｉ系材料は、ＴａＴｉ合金、並びに、該ＴａＴｉ合金に酸素、窒素、炭素及びホウ素のうち少なくとも一つを含有したＴａＴｉ化合物が挙げられる。ＴａＴｉ化合物としては、例えば、ＴａＴｉＮ、ＴａＴｉＯ、ＴａＴｉＯＮ、ＴａＴｉＣＯＮ、ＴａＴｉＢ、Ｔａ

ＴｉＢＮ、ＴａＴｉＢＯ、ＴａＴｉＢＯＮ、及びＴａＴｉＢＣＯＮなどを適用することができる。

[0043] Ｔａは、硫酸や硫酸過水（ＳＰＭ）等の洗浄に対する耐性が高く、フッ素系ガス及び塩素系ガスで容易にドライエッチングすることができる良好な加工特性を有しているため、位相シフト膜４の材料として優れている。Ｔａの屈折率（ｎ）は０．９４３であり、消衰係数（ｋ）は０．０４１である。そのため、薄膜で十分な位相シフト効果を得るためには、Ｔａと組み合わせる材料は、Ｔａよりも消衰係数（ｋ）が小さい材料又は屈折率（ｎ）が小さい材料である必要がある。ＴｉはＴａに比べて消衰係数が小さいため、位相シフト効果を得る上で十分な反射率を得ることができる。また、ＴｉＮは屈折率（ｎ）が０．９３２であり、消衰係数（ｋ）が０．０２０であり、Ｔａに比べて屈折率及び消衰係数が小さいため、ＴａとＴｉＮとを組み合わせた薄膜により、所望の位相差及び反射率を得ることができる。

[0044] 例えば、ＴａＴｉＮ膜の１３．５ｎｍにおける屈折率ｎは約０．９３７、消衰係数ｋは約０．０３０である。位相シフト膜４は、反射率及び位相差が所望の値となる膜厚を設定することができ、膜厚を６０ｎｍ未満、好ましくは５０ｎｍ以下とすることができる。図３に示すように、位相シフト膜４をＴａＴｉＮ膜で形成した場合、膜厚が４６．７ｎｍで、多層反射膜（保護膜付き）に対する相対反射率が５．４％、位相差が約１６９°となり、膜厚が５１．９ｎｍで、多層反射膜（保護膜付き）に対する相対反射率が６．６％、位相差が約１８０°となる。なお、相対反射率とは、ＥＵＶ光が多層反射膜（保護膜付き）に直接入射して反射した場合の絶対反射率を基準としたときの位相シフト膜のＥＵＶ光に対する反射率のことである。

[0045] また、ＴａＴｉ系材料は、実質的に酸素を含まない塩素（Ｃｌ）系ガスでドライエッチングすることが可能な材料である。上述したように、位相シフト効果が得られる材料として例えばＲｕが挙げられる。Ｒｕはエッチングレートが低く、加工や修正が困難であるため、ＴａＲｕ合金を含む材料で位相シフト膜を形成した場合、加工性に問題が生じる場合がある。

[0046] ＴａＴｉ系材料のＴａとＴｉとの比率は、４：１～１：４が好ましい。また、窒素を含む場合には、ＴａとＴｉＮとの比率は４：１～１：９が好ましい。

[0047] このようなＴａＴｉ系材料からなる位相シフト膜４は、ＤＣスパッタリング法及びＲＦスパッタリング法などのマグネトロンスパッタリング法といった公知の方法で形成することができる。また、ターゲットは、ＴａＴｉ合金ターゲットを用いてもよいし、Ｔａターゲットと Ｔｉターゲットを用いたコースパッタリングとすることもできる。

[0048] 位相シフト膜４は単層の膜であっても良いし、２層以上の複数の膜からなる多層膜であっても良い。単層膜の場合は、マスクブランク製造時の工程数を削減できて生産効率が上がるという特徴がある。なお、位相シフト膜が例えばＴａＴｉＮ膜等の酸素を実質的に含まない単層膜の場合、成膜後の位相シフト膜が大気中に曝されることによって表層に自然酸化膜が形成される。この場合には、後述の２層構造からなる位相シフト膜のエッチングと同様に、フッ素系ガスで自然酸化膜を除去し、その後、塩素系ガスでエッチングを行うことが好ましい。

[0049] 位相シフト膜４が多層膜の場合には、第１の材料層と第２の材料層とを交互に３層以上積層した積層構造とすることができる。第１の材料層は、Ｔａ及びＴａＢから選択され、第２の材料層は、ＴｉＮ、ＴｉＯ、ＴｉＯＮ及びＴｉＣＯＮから選択することができる。第１の材料層及び第２の材料層の膜厚を調整することにより、膜厚変動に対する位相差及び反射率の安定性を向上させることが可能となる。また、位相シフト膜４の最上層を第１の材料層とすることにより、洗浄耐性を向上させることが可能となる。

[0050] 位相シフト膜４が多層膜の場合には、例えば、図４に示すように、基板側から下層膜４１と上層膜４２からなる２層構造とすることができる。下層膜４１は、ＥＵＶ光の消衰係数が大きく、エッチング加工性が高いタンタル（Ｔａ）、チタン（Ｔｉ）及び窒素（Ｎ）を含む材料層とする。上層膜４２は、タンタル（Ｔａ）、チタン（Ｔｉ）及び酸素（Ｏ）を含む材料層とする。

上層膜４２は、例えばＤＵＶ光を用いたマスクパターン検査時の反射防止膜になるように、その光学定数と膜厚を適当に設定する。このことにより、ＤＵＶ光を用いたマスクパターン検査時の検査感度が向上する。また、上層膜４２は、下層膜４１がＴａＴｉＮ膜等の酸素を実質的に含まない場合に、酸化防止膜としても機能する。

[0051] また、ＥＵＶ光は波長が短いため、位相差及び反射率の膜厚依存性が大きい傾向にある。したがって、位相シフト膜４の膜厚変動に対する位相差及び反射率の安定性が求められる。しかしながら、図３に示すように、位相シフト膜４の膜厚に対して、位相差及び反射率は各々振動構造を示している。位相差及び反射率の振動構造が異なるため、位相差及び反射率を同時に安定させる膜厚とすることは困難である。

[0052] そこで、位相シフト膜４の膜厚が設計値に対して多少変動（例えば設計膜厚に対して±０．５％の範囲）した場合でも、位相差については、例えば面間の位相差ばらつきが１８０度±２度の範囲、反射率については、例えば面間の反射率ばらつきが６％±０．２％の範囲であることが望まれる。

[0053] 上層膜４２の最表面からのＥＵＶ光の反射光を抑制することにより、振動構造をなだらかにして膜厚変動に対して安定な位相差及び反射率を得ることが可能となる。このような上層膜４２の材料としては、下層膜４１のＥＵＶ光における屈折率よりも大きく、外界の屈折率（ｎ＝１）よりも小さい屈折率を有する材料が好ましい。また、上層膜の膜厚は、波長の１／４周期程度であることが好ましい。下層膜４１がタンタル（Ｔａ）及びチタン（Ｔｉ）を含む材料からなる場合、上層膜４２の材料としては、ケイ素化合物が好ましい。ケイ素化合物としては、ＳｉとＮ、Ｏ、Ｃ、Ｈから選ばれる少なくとも一つの元素とを含む材料が挙げられ、好ましくはSiO_2、ＳｉＯＮ及びSi_3N_4が挙げられる。下層膜４１がＴａＴｉＮ膜の場合、例えば上層膜４２はSiO_2膜とすることができる。

[0054] このように、位相シフト膜４を多層膜にすることによって、各層に様々な機能を付加させることが可能となる。

[0055] 上記の２層構造の位相シフト膜４の場合、上層膜４２のエッチングガスは、CF_4、CHF_3、C_2F_6、C_3F_6、C_4F_6、C_4F_8、CH_2F_2、CH_3F、C_3F_8、SF_6、F_2等のフッ素系のガス、並びにフッ素系ガスとO_2とを所定の割合で含む混合ガス等から選択したものを用いることができる。また、下層膜４１のエッチングガスは、Cl_2、$SiCl_4$、及び$CHCl_3$等の塩素系のガス、塩素系ガスとO_2とを所定の割合で含む混合ガス、塩素系ガスとＨｅとを所定の割合で含む混合ガス、塩素系ガスとＡｒとを所定の割合で含む混合ガスから選択したものを用いることができる。ここで、エッチングの最終段階でエッチングガスに酸素が含まれていると、Ｒｕ系保護膜３に表面荒れが生じる。このため、Ｒｕ系保護膜３がエッチングに曝されるオーバーエッチング段階では、酸素が含まれていないエッチングガスを用いることが好ましい。

[0056] 位相シフト膜４上にはエッチングマスク膜を形成してもよい。エッチングマスク膜の材料としては、エッチングマスク膜に対する位相シフト膜４のエッチング選択比が高い材料を用いる。ここで、「Ａに対するＢのエッチング選択比」とは、エッチングを行いたくない層（マスクとなる層）であるＡとエッチングを行いたい層であるＢとのエッチングレートの比をいう。具体的には「Ａに対するＢのエッチング選択比＝Ｂのエッチング速度／Ａのエッチング速度」の式によって特定される。また、「選択比が高い」とは、比較対象に対して、上記定義の選択比の値が大きいことをいう。エッチングマスク膜に対する位相シフト膜４のエッチング選択比は、１．５以上が好ましく、３以上が更に好ましい。

[0057] エッチングマスク膜に対する位相シフト膜４のエッチング選択比が高い材料としては、位相シフト膜４（又は上層膜４２）をフッ素系ガスでエッチングする場合には、クロムやクロム化合物の材料を使用することができる。クロム化合物としては、ＣｒとＮ、Ｏ、Ｃ、Ｈから選ばれる少なくとも一つの元素を含む材料が挙げられる。また、位相シフト膜４（又は上層膜４２）を、実質的に酸素を含まない塩素系ガスでエッチングする場合には、ケイ素や

ケイ素化合物の材料を使用することができる。ケイ素化合物としては、ＳｉとＮ、Ｏ、Ｃ及びＨから選ばれる少なくとも一つの元素とを含む材料、並びに、ケイ素又はケイ素化合物に金属を含む金属ケイ素（金属シリサイド）又は金属ケイ素化合物（金属シリサイド化合物）などの材料が挙げられる。金属ケイ素化合物としては、金属及びＳｉと、Ｎ、Ｏ、Ｃ及びＨから選ばれる少なくとも一つの元素とを含む材料が挙げられる。

[0058] エッチングマスク膜の膜厚は、転写パターンを精度よく位相シフト膜４に形成するエッチングマスクとしての機能を得る観点から、３ｎｍ以上であることが望ましい。また、エッチングマスク膜の膜厚は、レジスト膜の膜厚を薄くする観点から、１５ｎｍ以下であることが望ましい。

[0059] ＜＜裏面導電膜＞＞

基板１の第２主面（裏面）側（多層反射膜２形成面の反対側）には、一般的に、静電チャック用の裏面導電膜５が形成される。静電チャック用の裏面導電膜５に求められる電気的特性（シート抵抗）は通常１００Ω／□（Ω／Square）以下である。裏面導電膜５の形成方法は、例えばマグネトロンスパッタリング法やイオンビームスパッタリング法により、クロム、タンタル等の金属や合金のターゲットを使用して形成することができる。

[0060] 裏面導電膜５のクロム（Ｃｒ）を含む材料は、Ｃｒにホウ素、窒素、酸素、及び炭素から選択した少なくとも一つを含有したＣｒ化合物であることが好ましい。Ｃｒ化合物としては、例えば、ＣｒＮ、ＣｒＯＮ、ＣｒＣＮ、ＣｒＣＯＮ、ＣｒＢＮ、ＣｒＢＯＮ、ＣｒＢＣＮ及びＣｒＢＯＣＮなどを挙げることができる。

[0061] 裏面導電膜５のタンタル（Ｔａ）を含む材料としては、Ｔａ（タンタル）、Ｔａを含有する合金、又はこれらのいずれかにホウ素、窒素、酸素及び炭素の少なくとも一つを含有したＴａ化合物を用いることが好ましい。Ｔａ化合物としては、例えば、ＴａＢ、ＴａＮ、ＴａＯ、ＴａＯＮ、ＴａＣＯＮ、ＴａＢＮ、ＴａＢＯ、ＴａＢＯＮ、ＴａＢＣＯＮ、ＴａＨｆ、ＴａＨｆＯ、ＴａＨｆＮ、ＴａＨｆＯＮ、ＴａＨｆＣＯＮ、ＴａＳｉ、ＴａＳｉＯ、Ｔａ

ＳｉＮ、ＴａＳｉＯＮ、及びＴａＳｉＣＯＮなどを挙げることができる。

[0062] タンタル（Ｔａ）又はクロム（Ｃｒ）を含む材料としては、その表層に存在する窒素（Ｎ）が少ないことが好ましい。具体的には、タンタル（Ｔａ）又はクロム（Ｃｒ）を含む材料の裏面導電膜５の表層の窒素の含有量は、５原子％未満であることが好ましく、実質的に表層に窒素を含有しないことがより好ましい。タンタル（Ｔａ）又はクロム（Ｃｒ）を含む材料の裏面導電膜５において、表層の窒素の含有量が少ない方が、耐摩耗性が高くなるためである。

[0063] 裏面導電膜５は、タンタル及びホウ素を含む材料からなることが好ましい。裏面導電膜５が、タンタル及びホウ素を含む材料からなることにより、耐摩耗性及び薬液耐性を有する裏面導電膜５を得ることができる。裏面導電膜５が、タンタル（Ｔａ）及びホウ素（Ｂ）を含む場合、Ｂ含有量は５～３０原子％であることが好ましい。裏面導電膜５の成膜に用いるスパッタリングターゲット中のＴａ及びＢの比率（Ｔａ：Ｂ）は９５：５～７０：３０であることが好ましい。

[0064] 裏面導電膜５の厚さは、静電チャック用としての機能を満足する限り特に限定されないが、通常１０ｎｍから２００ｎｍである。また、この裏面導電膜５はマスクブランク１００の第２主面側の応力調整も兼ね備えていて、第１主面側に形成された各種膜からの応力とバランスをとって、平坦な反射型マスクブランクが得られるように調整されている。

[0065] また、近年、特許第５８８３２４９号に記載されているように、反射型マスク等の転写用マスクの位置合わせ等の誤差を補正するために、転写用マスクの基板に対してフェムト秒レーザパルスを局所的に照射することにより、基板表面又は基板内部を改質させ、転写用マスクの誤差を補正する技術がある。上記パルスを発生させるレーザビームとしては、例えば、サファイアレーザ（波長８００ｎｍ）又はＮｄ－ＹＡＧレーザ（５３２ｎｍ）等がある。

[0066] 上記技術を反射型マスク２００に適用する際には、基板１の第２主面（裏面）側からレーザビームを照射することが考えられる。しかしながら、上述

のタンタル（Ｔａ）又はクロム（Ｃｒ）を含む材料からなる裏面導電膜５の場合、レーザビームを透過しにくいという問題が生じる。この問題を解消するために、裏面導電膜５は、少なくとも波長５３２ｎｍの光における透過率が２０％以上である材料を用いて形成することが好ましい。

[0067] このような透過率の高い裏面導電膜（透明導電膜）５の材料としては、錫ドープ酸化インジウム（ＩＴＯ）、フッ素ドープ酸化錫（ＦＴＯ）、アルミニウムドープ酸化亜鉛（ＡＺＯ）又はアンチモンドープ酸化錫（ＡＴＯ）を用いることが好ましい。透明導電膜の膜厚を５０ｎｍ以上とすることにより、静電チャック用の裏面導電膜５に求められる電気的特性（シート抵抗）を１００Ω／□以下とすることができる。例えば、膜厚１００ｎｍのＩＴＯ膜は、５３２ｎｍの波長に対する透過率は約７９．１％であり、シート抵抗は５０Ω／□である。

[0068] また、透過率の高い裏面導電膜（透明導電膜）５の材料としては、白金（Ｐｔ）、金（Ａｕ）、アルミニウム（Ａｌ）又は銅（Ｃｕ）の金属単体を用いることが好ましい。また、所望の透過率及び電気的特性を満たす範囲内で、該金属にホウ素、窒素、酸素及び炭素の少なくとも一つを含有した金属化合物を用いることができる。これらの金属膜は、上記ＩＴＯ等と比較して電気伝導率が高いため薄膜化が可能となる。金属膜の膜厚は、透過率の観点からは５０ｎｍ以下が好ましく、２０ｎｍ以下がより好ましい。また、膜厚が薄すぎるとシート抵抗が急激に増加する傾向にあること、及び成膜の際の安定性の観点から、金属膜の膜厚は２ｎｍ以上が好ましい。例えば、膜厚１０．１ｎｍのＰｔ膜は、５３２ｎｍの波長に対する透過率は２０．３％であり、シート抵抗は２５．３Ω／□である。

[0069] 更に、裏面導電膜５は、単層膜又は２層以上の積層構造としてもよい。静電チャックを行う際の機械的耐久性を向上させたり、洗浄耐性を向上させたりするためには、最上層をＣｒＯ、ＴａＯ又はSiO_2とすることが好ましい。また、最上層を、上記金属膜の酸化膜、即ちＰｔＯ、ＡｕＯ、ＡｌＯ又はＣｕＯとしてもよい。最上層の厚さは、１ｎｍ以上であることが好ましく、

５ｎｍ以上、更には１０ｎｍ以上であるとより好ましい。裏面導電膜を透明導電膜とする場合には、透過率が２０％以上を満たす材料及び膜厚とする。

[0070] また、裏面導電膜５の基板側に、中間層を設けてもよい。中間層は、基板１と裏面導電膜５との密着性を向上させたり、基板１からの裏面導電膜５への水素の侵入を抑制したりする機能を持たせることができる。また、中間層は、露光源としてＥＵＶ光を用いた場合のアウトオブバンド光と呼ばれる真空紫外光及び紫外光（波長：１３０～４００ｎｍ）が基板１を透過して裏面導電膜５によって反射されるのを抑制する機能を持たせることができる。中間層の材料としては、例えば、Ｓｉ、SiO_2、ＳｉＯＮ、ＳｉＣＯ、ＳｉＣＯＮ、ＳｉＢＯ、ＳｉＢＯＮ、Ｃｒ、ＣｒＮ、ＣｒＯＮ、ＣｒＣ、ＣｒＣＮ、ＣｒＣＯ、ＣｒＣＯＮ、Ｍｏ、ＭｏＳｉ、ＭｏＳｉＮ、ＭｏＳｉＯ、ＭｏＳｉＣＯ、ＭｏＳｉＯＮ、ＭｏＳｉＣＯＮ、ＴａＯ及びＴａＯＮ等を挙げることができる。中間層の厚さは、１ｎｍ以上であることが好ましく、５ｎｍ以上、更には１０ｎｍ以上であるとより好ましい。裏面導電膜を透明導電膜とする場合には、中間層と透明導電膜とを積層したものの透過率が２０％以上を満たす材料及び膜厚とする。

[0071] 上述した通り、裏面導電膜５には、電気的特性（シート抵抗）及び裏面からレーザビームを照射する場合には透過率を所望の値にすることが求められるが、これらの要求を満たすために裏面導電膜５の膜厚を薄くすると、別の問題が生じる場合がある。通常、多層反射膜２は高い圧縮応力を有しているため、基板１の第１主面側が凸形状となり、第２主面（裏面）側が凹形状となる。一方、多層反射膜２のアニール（加熱処理）、及び裏面導電膜５の成膜によって応力調整がなされ、全体として平坦又は第２主面側が若干凹形状の反射型マスクブランクが得られるように調整されている。しかし、裏面導電膜５の膜厚が薄いとこのバランスがくずれ、第２主面（裏面）側の凹形状が大きくなり過ぎてしまう。この場合、静電チャックを行った際に、基板周縁部（特にコーナー部）にスクラッチが生じ、膜剥がれやパーティクル発生の問題が生じることがある。

[0072] この問題を解決するためには、裏面導電膜５が形成された導電膜付き基板の第２主面（裏面）側を凸形状にすることが好ましい。導電膜付き基板の第２主面（裏面）側を凸形状にする第１の方法としては、裏面導電膜５を成膜する前の基板１の第２主面側の形状を凸形状にするとよい。予め基板１の第２主面を凸形状とすることにより、膜厚が１０ｎｍ程度のＰｔ膜等からなる膜応力の小さい裏面導電膜５を成膜し、高い圧縮応力を有する多層反射膜２を成膜しても、第２主面側の形状を凸形状とすることができる。

[0073] また、導電膜付き基板の第２主面（裏面）側を凸形状にする第２の方法としては、多層反射膜２成膜後に１５０℃～３００℃でアニール（加熱処理）する方法が挙げられる。特に２１０℃以上の高温でアニールすることが好ましい。多層反射膜２はアニールすることにより、多層反射膜の膜応力を小さくすることができるが、アニール温度と多層反射膜の反射率とはトレードオフの関係にある。多層反射膜２の成膜の際に、イオン源からアルゴン（Ａｒ）イオン粒子を供給する従来のＡｒスパッタリングの場合には、高温でアニールすると所望の反射率が得られない。一方、イオン源からクリプトン（Ｋｒ）イオン粒子を供給するＫｒスパッタリングを行うことにより、多層反射膜２のアニール耐性を向上させることが可能となり、高温でアニールしても高い反射率を維持できる。したがって、Ｋｒスパッタリングで多層反射膜２を成膜後に１５０℃～３００℃でアニールすることにより、多層反射膜２の膜応力を小さくできる。この場合、膜厚が１０ｎｍ程度のＰｔ膜等からなる膜応力の小さい裏面導電膜５を成膜しても、第２主面側の形状を凸形状とすることができる。

[0074] 更に、上記第１の方法と第２の方法とを組み合わせてもよい。なお、裏面導電膜をＩＴＯ膜等の透明導電膜とする場合には、膜厚を厚くすることが可能である。そのため、電気的特性を満たす範囲で厚膜化することにより、導電膜付き基板の第２主面（裏面）側を凸形状とすることができる。

[0075] このように導電膜付き基板の第２主面（裏面）側を凸形状とすることにより、静電チャックを行った際に、基板周縁部（特にコーナー部）にスクラッ

チが生じるのを防止することが可能となる。

[0076] ＜反射型マスク及びその製造方法＞

本実施形態の反射型マスクブランク１００を使用して、反射型マスクを製造する。ここでは概要説明のみを行い、後に実施例において図面を参照しながら詳細に説明する。

[0077] 反射型マスクブランク１００を準備して、その第１主面の位相シフト膜４に、レジスト膜を形成し（反射型マスクブランク１００としてレジスト膜を備えている場合は不要）、このレジスト膜に所望のパターンを描画（露光）し、更に現像、リンスすることによって所定のレジストパターンを形成する。

[0078] 反射型マスクブランク１００の場合は、このレジストパターンをマスクとして位相シフト膜４をエッチングして位相シフトパターンを形成し、レジストパターンをアッシングやレジスト剥離液などで除去することにより、位相シフトパターンが形成される。最後に、酸性やアルカリ性の水溶液を用いたウェット洗浄を行う。

[0079] ここで、位相シフト膜４のエッチングガスとしては、Cl_2、$SiCl_4$、$CHCl_3$、及びCCl_4等の塩素系のガス、塩素系ガス及びＨｅを所定の割合で含む混合ガス、塩素系ガス及びＡｒを所定の割合で含む混合ガス等が用いられる。位相シフト膜４のエッチングにおいて、エッチングガスに実質的に酸素が含まれていないので、Ｒｕ系保護膜に表面荒れが生じることがない。この酸素を実質的に含まれていないガスとしては、ガス中の酸素の含有量が５原子％以下であるものが該当する。

[0080] 以上の工程により、シャドーイング効果が少なく、且つ側壁ラフネスの少ない高精度微細パターンを有する反射型マスクが得られる。

[0081] ＜半導体装置の製造方法＞

上記本実施形態の反射型マスク２００を使用してＥＵＶ露光を行うことにより、半導体基板上に反射型マスク２００上の位相シフトパターンに基づく所望の転写パターンを、シャドーイング効果による転写寸法精度の低下を抑

えて形成することができる。また、位相シフトパターンが、側壁ラフネスの少ない微細で高精度なパターンであるため、高い寸法精度で所望のパターンを半導体基板上に形成できる。このリソグラフィー工程に加え、被加工膜のエッチング、絶縁膜及び導電膜の形成、ドーパントの導入、並びにアニールなど種々の工程を経ることで、所望の電子回路が形成された半導体装置を製造することができる。

[0082] より詳しく説明すると、ＥＵＶ露光装置は、ＥＵＶ光を発生するレーザプラズマ光源、照明光学系、マスクステージ系、縮小投影光学系、ウエハステージ系、及び真空設備等から構成される。光源にはデブリトラップ機能と露光光以外の長波長の光をカットするカットフィルタ及び真空差動排気用の設備等が備えられている。照明光学系と縮小投影光学系は反射型ミラーから構成される。ＥＵＶ露光用反射型マスク２００は、その第２主面に形成された裏面導電膜５により静電吸着されてマスクステージに載置される。

[0083] ＥＵＶ光源の光は、照明光学系を介して反射型マスク垂直面に対して６°から８°傾けた角度で反射型マスク２００に照射される。この入射光に対する反射型マスク２００からの反射光は、入射とは逆方向にかつ入射角度と同じ角度で反射（正反射）し、通常１／４の縮小比を持つ反射型投影光学系に導かれ、ウエハステージ上に載置されたウエハ（半導体基板）上のレジストへの露光が行われる。この間、少なくともＥＵＶ光が通る場所は真空排気される。また、この露光にあたっては、マスクステージとウエハステージを縮小投影光学系の縮小比に応じた速度で同期させてスキャンし、スリットを介して露光を行うスキャン露光が主流となっている。そして、この露光済レジスト膜を現像することによって、半導体基板上にレジストパターンを形成することができる。本発明では、シャドーイング効果の小さな薄膜で、しかも側壁ラフネスの少ない高精度な位相シフトパターンを持つマスクが用いられている。このため、半導体基板上に形成されたレジストパターンは高い寸法精度を持つ所望のものとなる。そして、このレジストパターンをマスクとして使用してエッチング等を実施することにより、例えば半導体基板上に所定

の配線パターンを形成することができる。このような露光工程や被加工膜加工工程、絶縁膜や導電膜の形成工程、ドーパント導入工程、あるいはアニール工程等その他の必要な工程を経ることで、半導体装置が製造される。

実施例

[0084] 以下、実施例について図面を参照しつつ説明する。なお、実施例において同様の構成要素については同一の符号を使用し、説明を簡略化若しくは省略する。

[0085] [実施例１]

図２は、反射型マスクブランク１００から反射型マスク２００を作製する工程を示す要部断面模式図である。

[0086] 反射型マスクブランク１００は、裏面導電膜５と、基板１と、多層反射膜２と、保護膜３と、位相シフト膜４とを有する。位相シフト膜４はＴａＴｉ合金を含む材料からなる。そして、図２（ａ）に示されるように、位相シフト膜４上にレジスト膜１１を形成する。

[0087] 先ず、反射型マスクブランク１００について説明する。

[0088] 第１主面及び第２主面の両主表面が研磨された６０２５サイズ（約１５２ｍｍ×１５２ｍｍ×６．３５ｍｍ）の低熱膨張ガラス基板であるSiO_2－TiO_2系ガラス基板を準備し基板１とした。平坦で平滑な主表面となるように、粗研磨加工工程、精密研磨加工工程、局所加工工程、及びタッチ研磨加工工程よりなる研磨を行った。

[0089] SiO_2－TiO_2系ガラス基板１の第２主面（裏面）に、ＣｒＮ膜からなる裏面導電膜５をマグネトロンスパッタリング（反応性スパッタリング）法により下記の条件にて形成した。

裏面導電膜形成条件：Ｃｒターゲット、ＡｒとN_2の混合ガス雰囲気（Ａｒ：９０％、Ｎ：１０％）、膜厚２０ｎｍ。

[0090] 次に、裏面導電膜５が形成された側と反対側の基板１の主表面（第１主面）上に、多層反射膜２を形成した。基板１上に形成される多層反射膜２は、波長１３．５ｎｍのＥＵＶ光に適した多層反射膜とするために、ＭｏとＳｉ

からなる周期多層反射膜とした。多層反射膜２は、Ｍｏターゲットとシターゲットを使用し、Ａｒガス雰囲気中でイオンビームスパッタリング法により基板１上にＭｏ層及びＳｉ層を交互に積層して形成した。先ず、Ｓｉ膜を４．２ｎｍの厚みで成膜し、続いて、Ｍｏ膜を２．８ｎｍの厚みで成膜した。これを１周期とし、同様にして４０周期積層し、最後にＳｉ膜を４．０ｎｍの厚みで成膜し、多層反射膜２を形成した。ここでは４０周期としたが、これに限るものではなく、例えば６０周期でも良い。６０周期とした場合、４０周期よりも工程数は増えるが、ＥＵＶ光に対する反射率を高めることができる。

[0091] 引き続き、Ａｒガス雰囲気中で、Ｒｕターゲットを使用したイオンビームスパッタリング法によりＲｕ膜からなる保護膜３を２．５ｎｍの厚みで成膜した。

[0092] 次に、ＤＣマグネトロンスパッタリング法により、ＴａＴｉＮ膜からなる位相シフト膜４を形成した。ＴａＴｉＮ膜は、ＴａＴｉターゲットを用いて、ＡｒガスとＮ$_2$ガスの混合ガス雰囲気にて反応性スパッタリングで、５１．９ｎｍの膜厚で成膜した。ＴａＴｉＮ膜の含有比率は、Ｔａ：Ｔｉ：Ｎ＝１：１：１であった。

上記形成したＴａＴｉＮ膜の波長１３．５ｎｍにおける屈折率ｎ、消衰係数（屈折率虚部）ｋは、それぞれ以下であった。

ＴａＴｉＮ：ｎ＝０．９３７、ｋ＝０．０３０

[0093] なお、位相シフト膜の表層には、位相シフト効果に影響のない範囲の極薄の自然酸化膜（ＴａＴｉＯＮ膜）が形成されていた。

[0094] 上記のＴａＴｉＮ膜からなる位相シフト膜４の波長１３．５ｎｍにおける絶対反射率は、４．３％（保護膜付き多層反射膜面に対する反射率は６．６％に相当）であった。又、位相シフト膜４の膜厚は５１．９ｎｍであり、位相シフト膜をパターニングした時の位相差が１８０°に相当する膜厚である。後述する比較例におけるＴａＮ膜の位相シフト膜の膜厚６５ｎｍよりも約２０％薄くすることができ、シャドーイング効果を低減することができた。

このシャドーイング効果の低減に関しては、「半導体装置の製造」の項目で詳細を述べる。

[0095] 次に、上記反射型マスクブランク１００を用いて、反射型マスク２００を製造した。

[0096] 前述のように、反射型マスクブランク１００の位相シフト膜４の上に、レジスト膜１１を１００ｎｍの厚さで形成した（図２（ａ））。そして、このレジスト膜１１に所望のパターンを描画（露光）し、更に現像、リンスすることによって所定のレジストパターン１１ａを形成した（図２（ｂ））。次に、レジストパターン１１ａをマスクにして、位相シフト膜４の表層（自然酸化膜）を、CF_4ガスを用いてドライエッチング除去し、引き続きＴａＴｉＮ膜（位相シフト膜４）のドライエッチングを、Cl_2ガスを用いて行うことで、位相シフトパターン４ａを形成した（図２（ｃ））。

[0097] その後、レジストパターン１１ａをアッシングやレジスト剥離液などで除去した。最後に純水（ＤＩＷ）を用いたウェット洗浄を行って、反射型マスク２００を製造した（図２（ｄ））。なお、必要に応じてウェット洗浄後マスク欠陥検査を行い、マスク欠陥修正を適宜行うことができる。

[0098] 実施例１の反射型マスク２００では、位相シフト膜４がＴａＴｉ合金系材料であるため、塩素系ガスでの加工性が良く、高い精度で位相シフトパターン４ａを形成することができた。また、位相シフトパターン４ａの膜厚は５１．９ｎｍであり、従来のＴａ系材料で形成された吸収体膜よりも薄くすることができ、後述の通り、シャドーイング効果を低減することができた。

[0099] 実施例１で作製した反射型マスク２００をＥＵＶスキャナにセットし、半導体基板上に被加工膜とレジスト膜が形成されたウエハに対してＥＵＶ露光を行った。そして、この露光済レジスト膜を現像することによって、被加工膜が形成された半導体基板上にレジストパターンを形成した。この露光におけるシャドーイング効果を評価するために、マスクに入射してくる露光光に対して平行に配置されたパターンと垂直に配置されたパターンを用いて、その転写寸法の差を測定した。図５（ａ）はマスク上に配置された位相シフト

パターンの平面図であり、入射露光光５０に対して平行の向きに配置された位相シフトパターン４ｂと垂直の向きに配置された位相シフトパターン４ｃが示されている。位相シフトパターン４ｂと４ｃは、配置方向以外は同一形状のパターンであり、したがって位相シフトパターン４ｂの線幅ＬＭＰと位相シフトパターン４ｃの線幅ＬＭＮは同じ線幅である。露光光５０はマスク表面の法線方向に対して６°傾いた角度でマスクに入射する。図５（ｂ）は、露光、現像によりウエハ上に形成されたレジストパターンの平面図を示す。レジストパターン２４ｂ及び２４ｃは、それぞれ、位相シフトパターン４ｂ及び４ｃによって転写形成されたものである。転写形成されたレジストパターンの線幅ＬＰＰとＬＰＮの差ΔＬ（＝ＬＰＮ－ＬＰＰ）がシャドーイング効果を示す指標となる。一般に、この差のことは、シャドーイング効果による寸法ＸＹ差と呼ばれ、位相シフトパターンが壁になって生じた露光光の影により、ポジ型レジストを用いた場合、線幅ＬＰＮの方が線幅ＬＰＰに対して太くなる。

[0100] 実施例１で作成した反射型位相シフトマスクの場合、この寸法ＸＹ差ΔＬは２．０ｎｍであった。比較例の項目で改めて述べるが、膜厚６５ｎｍのＴａＮの単層膜位相シフト膜を用いた場合は、この寸法ＸＹ差ΔＬは２．６ｎｍであり、実施例１で作成した反射型位相シフトマスクを用いることによって、シャドーイング効果起因の転写精度低下を２０％以上改善できた。又、実施例１で作成した反射型位相シフトマスクは、位相シフトパターンの側壁ラフネスが少なく、断面形状も安定していることから、転写形成されたレジストパターンのＬＥＲや寸法面内バラつきが少ない、高い転写精度を持つものであった。加えて、前述のように、位相シフト面の絶対反射率は４．３％（保護膜付き多層反射膜面に対して６．６％の反射率）であるため、十分な位相シフト効果が得られ、露光裕度や焦点裕度の高いＥＵＶ露光を行うことができた。

[0101] このレジストパターンをエッチングにより被加工膜に転写し、また、絶縁膜及び導電膜の形成、ドーパントの導入、並びにアニールなど種々の工程を

経ることで、所望の特性を有する半導体装置を製造することができた。

[0102] [実施例２]

実施例２は、裏面導電膜５をＣｒＮ膜からＰｔ膜とした場合の実施例であって、それ以外は実施例１と同じである。

[0103] 即ち、SiO_2－TiO_2系ガラス基板１の第２主面（裏面）に、Ａｒガス雰囲気中でＰｔターゲットを使用したＤＣマグネトロンスパッタリング法によりＰｔ膜からなる裏面導電膜５を５．２ｎｍ、１０．１ｎｍ、１５．２ｎｍ、及び２０．０ｎｍの膜厚で各々成膜し、４枚の導電膜付き基板を作製した。

[0104] 作製された４枚の導電膜付き基板の第２主面（裏面）から波長５３２ｎｍの光を照射して透過率を測定したところ、図６に示すように、透過率は各々３９．８％、２０．３％、１０．９％、６．５％であり、膜厚が５．２ｎｍ及び１０．１ｎｍの導電膜付き基板が透過率２０％以上を満たすものであった。また、シート抵抗は、４端子測定法により測定したところ、各々５７．８Ω／□、２５．３Ω／□、１５．５Ω／□、及び１１．２Ω／□であり、何れも１００Ω／□以下を満たすものであった。

[0105] 膜厚が１０．１ｎｍの導電膜付き基板について、実施例１と同様の方法で反射型マスクブランク１００を作製し、その後反射型マスク２００を作製した。作製された反射型マスク２００の基板１の第２主面（裏面）側から波長５３２ｎｍのＮｄ－ＹＡＧレーザのレーザビームを照射したところ、裏面導電膜５が透過率の高いＰｔ膜で形成されているため、反射型マスク２００の位置合わせ誤差を修正することができた。

[0106] [実施例３]

実施例３は、位相シフト膜４をＴｉＮ膜とＴａ膜との多層膜で形成した場合の実施例であって、それ以外は実施例１と同じである。

[0107] ＤＣマグネトロンスパッタリング法により、ＴｉＮ膜を保護膜３上に形成した。ＴｉＮ膜は、Ｔｉターゲットを用いて、ＡｒガスとＮ$_2$ガスの混合ガス雰囲気にて反応性スパッタリングで、０．７ｎｍの膜厚で成膜した。次に、

ＤＣマグネトロンスパッタリング法により、Ｔａ膜をＴｉＮ膜上に形成した。Ｔａ膜は、Ｔａターゲットを用いて、Ａｒガス雰囲気によるスパッタリングで、１．６ｎｍの膜厚で成膜した。ＴｉＮ膜とＴａ膜とを交互に２５周期成膜し、最上層にＴａ膜を２．４ｎｍの膜厚で形成し、多層膜の膜厚を５８．３ｎｍとした。多層膜における各元素の含有比率は、Ｔａ：Ｔｉ：Ｎ＝７：３：６であった。

[0108] 上記形成したＴａ／ＴｉＮ多層膜の波長１３．５ｎｍにおける屈折率ｎ、消衰係数（屈折率虚部）ｋは、それぞれ以下であった。

Ｔａ／ＴｉＮ多層膜：ｎ＝０．９４３、ｋ＝０．０２８

[0109] 上記の多層膜からなる位相シフト膜４の波長１３．５ｎｍにおける相対反射率は６．３％であり、位相差は１８０度であった。

[0110] 実施例１と同様にして、上記反射型マスクブランク１００を用いて、反射型マスク２００を製造した。但し、実施例３における位相シフト膜４の最上層はＴａ膜のため、CF_4ガスを用いた自然酸化膜の除去工程は行わなかった。

[0111] 実施例３の反射型マスク２００では、位相シフト膜４がＴａ／ＴｉＮ多層膜であるため、塩素系ガスでの加工性が良く、高い精度で位相シフトパターン４ａを形成することができた。また、位相シフトパターン４ａの膜厚は５８．３ｎｍであり、後述する比較例におけるＴａＮ膜の位相シフト膜の膜厚６５ｎｍよりも約１０％薄くすることができ、シャドーイング効果を低減することができた。

[0112] 実施例３で作製した反射型マスク２００をＥＵＶ露光装置にセットし、半導体基板上に被加工膜とレジスト膜が形成されたウエハに対してＥＵＶ露光を行った。そして、この露光済レジスト膜を現像することによって、被加工膜が形成された半導体基板上にレジストパターンを形成した。

[0113] このレジストパターンをエッチングにより被加工膜に転写し、また、絶縁膜及び導電膜の形成、ドーパントの導入、並びにアニールなど種々の工程を経ることで、所望の特性を有する半導体装置を製造することができた。

[0114] [実施例４]

実施例４は、位相シフト膜４を下層膜４１と上層膜４２の２層構造にした場合の実施例であって、それ以外は実施例１と同じである。

[0115] ＤＣマグネトロンスパッタリング法により、ＴａＴｉＮ膜からなる下層膜４１を保護膜３上に形成した。ＴａＴｉＮ膜は、ＴａＴｉターゲットを用いて、ＡｒガスとＮ$_2$ガスの混合ガス雰囲気にて反応性スパッタリングで、４５．１ｎｍの膜厚で成膜した。ＴａＴｉＮ膜の含有比率は、Ｔａ：Ｔｉ：Ｎ＝６：５：８であった。

[0116] 上記形成したＴａＴｉＮ膜の波長１３．５ｎｍにおける屈折率ｎ、消衰係数（屈折率虚部）ｋは、それぞれ以下であった。

ＴａＴｉＮ：ｎ＝０．９４３、ｋ＝０．０２６

[0117] 次に、ＤＣマグネトロンスパッタリング法により、ＴａＴｉＯＮ膜からなる上層膜４２を下層膜４１上に形成した。ＴａＴｉＯＮ膜は、ＴａＴｉターゲットを用いて、ＡｒガスとＮ$_2$ガス及びＯ$_2$ガスの混合ガス雰囲気にて反応性スパッタリングで、１４．０ｎｍの膜厚で成膜した。ＴａＴｉＯＮ膜の含有比率は、Ｔａ：Ｔｉ：Ｏ：Ｎ＝８：６：１：２０であった。

[0118] 上記形成したＴａＴｉＯＮ膜の波長１３．５ｎｍにおける屈折率ｎ、消衰係数（屈折率虚部）ｋは、それぞれ以下であった。

ＴａＴｉＯＮ：ｎ＝０．９５５、ｋ＝０．０２２

[0119] 上記の２層膜からなる位相シフト膜４の波長１３．５ｎｍにおける相対反射率は７．２％であり、位相差は１８０度であった。また、ＤＵＶ光に対する反射率は、１９０～３００ｎｍにおいて２４．１％以下だった。

[0120] 次に、上記反射型マスクブランク１００を用いて、反射型マスク２００を製造した。

[0121] 前述のように、反射型マスクブランク１００の位相シフト膜４の上に、レジスト膜１１を１００ｎｍの厚さで形成した（図２（ａ））。そして、このレジスト膜１１に所望のパターンを描画（露光）し、更に現像、リンスすることによって所定のレジストパターン１１ａを形成した（図２（ｂ））。次

に、レジストパターン１１ａをマスクにして、位相シフト膜４の上層膜４２のドライエッチングを、CF_4ガスを用いて行い、引き続き下層膜４１のドライエッチングを、Cl_2ガスを用いて行うことで、位相シフトパターン４ａを形成した（図２（ｃ））。

[0122] その後、レジストパターン１１ａをアッシングやレジスト剥離液などで除去した。最後に純水（ＤＩＷ）を用いたウェット洗浄を行って、反射型マスク２００を製造した（図２（ｄ））。

[0123] 実施例４の反射型マスク２００では、上層膜４２であるＴａＴｉＯＮ膜が下層膜４１のエッチングマスクとなるため、高い精度で位相シフトパターン４ａを形成することができた。また、位相シフトパターン４ａの膜厚は５９．１ｎｍであり、後述する比較例におけるＴａＮ膜の位相シフト膜の膜厚６５ｎｍよりも約９％薄くすることができ、シャドーイング効果を低減することができた。

[0124] 実施例３と同様にして、本実施例で作製した反射型マスク２００を用いることにより、所望の特性を有する半導体装置を製造することができた。

[0125] [実施例５]

実施例５は、実施例４の下層膜４１の膜厚を変え、上層膜４２をSiO_2膜に変えた場合の実施例であって、それ以外は実施例４と同じである。

[0126] ＤＣマグネトロンスパッタリング法により、ＴａＴｉＮ膜からなる下層膜４１を保護膜３上に５０．６ｎｍの膜厚で成膜した。ＴａＴｉＮ膜の含有比率は、Ｔａ：Ｔｉ：Ｎ＝４：６：６であった。上記形成したＴａＴｉＮ膜の波長１３．５ｎｍにおける屈折率ｎ、消衰係数（屈折率虚部）ｋは、それぞれ以下であった。

ＴａＴｉＮ：ｎ＝０．９３６、ｋ＝０．０２８

[0127] 次に、ＲＦマグネトロンスパッタリング法により、SiO_2膜からなる上層膜４２を下層膜４１上に形成した。SiO_2膜は、SiO_2ターゲットを用いて、Ａｒガス雰囲気によるスパッタリングで、３．５ｎｍの膜厚で成膜した。したがって、位相シフト膜４（上層膜４２及び下層膜４１）の膜厚は、５

４．１ｎｍである。

[0128] 上記形成したＳｉＯ$_2$膜の波長１３．５ｎｍにおける屈折率ｎ、消衰係数（屈折率虚部）ｋは、それぞれ以下であった。

ＳｉＯ$_2$：ｎ＝０．９７４、ｋ＝０．０１３

[0129] 図７に示すように、上記の２層膜からなる位相シフト膜４の波長１３．５ｎｍにおける相対反射率は、±０．５％の膜厚変動に対して６．０％±０．０３％であった。また、位相差は、±０．５％の膜厚変動に対して１７９．４度±１．１度であった。これにより、高安定な位相シフト膜４が得られた。

[0130] 実施例４と同様にして、上記反射型マスクブランク１００を用いて、反射型マスク２００を製造した。

[0131] 本実施例の反射型マスク２００では、上層膜４２であるＳｉＯ$_2$膜が下層膜４１のエッチングマスクとなるため、高い精度で位相シフトパターン４ａを形成することができた。また、位相シフトパターン４ａの膜厚は５４．１ｎｍであり、後述する比較例におけるＴａＮ膜の位相シフト膜の膜厚６５ｎｍよりも約１７％薄くすることができ、シャドーイング効果を低減することができた。

[0132] 実施例３と同様にして、本実施例で作製した反射型マスク２００を用いることにより、所望の特性を有する半導体装置を製造することができた。

[比較例１]

[0133] 比較例では、位相シフト膜４として単層のＴａＮ膜を用いた以外、実施例１と同様の構造と方法で、反射型マスクブランク、反射型マスクを製造し、又、実施例１と同様の方法で半導体装置を製造した。

[0134] 単層のＴａＮ膜は、実施例１のマスクブランク構造の保護膜３の上に、ＴａＴｉＮ膜に代えて形成した。このＴａＮ膜の形成方法は、Ｔａをターゲットに用い、ＸｅガスとＮ$_2$ガスの混合ガス雰囲気にて反応性スパッタリングを行ってＴａＮ膜を成膜した。ＴａＮ膜の膜厚は６５ｎｍであり、この膜の元素比率は、Ｔａが８８原子％、Ｎが１２原子％である。

[0135] 上記のように形成したＴａＮ膜の波長１３．５ｎｍにおける屈折率ｎ、消衰係数（屈折率虚部）ｋは、それぞれ以下であった。

ＴａＮ：ｎ＝０．９４９、ｋ＝０．０３２

[0136] 上記の単層のＴａＮ膜からなる位相シフト膜の波長１３．５ｎｍにおける位相差は１８０°である。反射率は多層反射膜面に対して１．７％であった。比較例では位相シフト効果が少なく、投影光学像のコントラストを十分改善することはできなかった。

[0137] その後、実施例１と同様の方法で、レジスト膜を単層のＴａＮ膜からなる位相シフト膜上に形成し、所望のパターン描画（露光）及び現像、リンスを行ってレジストパターンを形成した。そして、このレジストパターンをマスクにして、ＴａＮ単層膜からなる位相シフト膜を、塩素ガスを用いたドライエッチングして、位相シフトパターンを形成した。レジストパターン除去やマスク洗浄なども実施例１と同じ方法で行い、反射型マスクを製造した。

[0138] 実施例１の半導体装置の製造方法の項目で述べたように、この反射型位相シフトマスクを用いてシャドーイング効果を調べたところ、寸法ＸＹ差ΔＬは２．６ｎｍであった。

符号の説明

[0139] １　基板

２　多層反射膜

３　保護膜

４　位相シフト膜

４１　下層膜

４２　上層膜

４ａ　位相シフトパターン

５　裏面導電膜

１１　レジスト膜

１１ａ　レジストパターン

１００　反射型マスクブランク

２００　反射型マスク

請求の範囲

[請求項1] 基板上に、多層反射膜及びＥＵＶ光の位相をシフトさせる位相シフト膜をこの順で有する反射型マスクブランクであって、

前記位相シフト膜は、単層膜又は２層以上の多層膜からなり、タンタル（Ｔａ）及びチタン（Ｔｉ）を含む材料からなることを特徴とする反射型マスクブランク。

[請求項2] 前記位相シフト膜は、基板側から下層膜と上層膜とが順に積層した構造を有し、

前記下層膜は、タンタル（Ｔａ）、チタン（Ｔｉ）及び窒素（Ｎ）を含む材料からなり、

前記上層膜は、タンタル（Ｔａ）、チタン（Ｔｉ）及び酸素（Ｏ）を含む材料からな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] 前記位相シフト膜は、基板側から下層膜と上層膜とが順に積層した構造を有し、

前記下層膜は、タンタル（Ｔａ）、チタン（Ｔｉ）及び窒素（Ｎ）を含む材料からなり、

前記上層膜のＥＵＶ光における屈折率は、前記下層膜のＥＵＶ光における屈折率よりも大きく、１よりも小さい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] 前記上層膜は、ケイ素化合物を含む材料からなることを特徴とする請求項３に記載の反射型マスクブランク。

[請求項5] 前記多層反射膜と前記位相シフト膜との間に保護膜を更に有し、

前記保護膜は、ルテニウム（Ｒｕ）を含む材料からなることを特徴とする請求項１乃至４の何れか一つに記載の反射型マスクブランク。

[請求項6] 前記基板の前記多層反射膜が設けられた面に対して反対側の面に導電膜を更に有し、

前記導電膜は、少なくとも波長５３２ｎｍの光における透過率が２

０％以上である材料からなることを特徴とする請求項１乃至５の何れか一つに記載の反射型マスクブランク。

[請求項7] 請求項１乃至６の何れか一つに記載の反射型マスクブランクにおける前記位相シフト膜がパターニングされた位相シフトパターンを有することを特徴とする反射型マスク。

[請求項8] 請求項１乃至６の何れか一つに記載の反射型マスクブランクの前記位相シフト膜上にレジストパターンを形成し、

前記レジストパターンをマスクにして、実質的に酸素を含まない塩素系ガスを含むドライエッチングガスにより前記位相シフト膜をドライエッチングでパターニングして位相シフトパターンを形成することを特徴とする反射型マスクの製造方法。

[請求項9] ＥＵＶ光を発する露光光源を有する露光装置に、請求項７に記載の反射型マスクをセットし、被転写基板上に形成されているレジスト膜に転写パターンを転写する工程を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。