

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-13280

(P2006-13280A)

(43) 公開日 平成18年1月12日(2006.1.12)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30	5 3 1 M 2 H 0 9 5
GO 3 F 1/16 (2006.01)	GO 3 F 1/16	A 2 H 0 9 7
GO 3 F 7/20 (2006.01)	GO 3 F 7/20	5 0 3 5 F 0 4 6
G 2 1 K 1/06 (2006.01)	G 2 1 K 1/06	B
G 2 1 K 5/00 (2006.01)	G 2 1 K 1/06	C

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2004-190807 (P2004-190807)
 (22) 出願日 平成16年6月29日 (2004.6.29)

(71) 出願人 000113263
 HOYA株式会社
 東京都新宿区中落合2丁目7番5号
 (74) 代理人 100113343
 弁理士 大塚 武史
 (72) 発明者 細谷 守男
 東京都新宿区中落合2丁目7番5号 HOYA株式会社内
 (72) 発明者 笑喜 勉
 東京都新宿区中落合2丁目7番5号 HOYA株式会社内
 Fターム(参考) 2H095 BA10 BB29
 2H097 CA15 LA10
 5F046 GD10 GD16

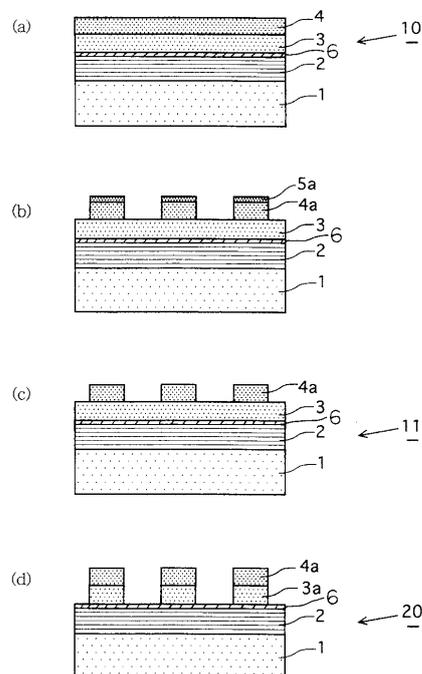
(54) 【発明の名称】 反射型マスクブランクス及び反射型マスク並びに半導体装置の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 Ru保護膜成膜時やその後の加熱処理等によって多層反射膜の最上層とRu保護膜との拡散層の形成を抑制させ、反射率の低下を防止した反射型マスクブランクス及び反射型マスクを提供する。

【解決手段】 基板1と、該基板の上に順次形成された、露光光を反射する多層反射膜2と、多層反射膜2上の保護膜6と、バッファ層3と、露光光を吸収する吸収体膜4とを有する反射型マスクブランクス10であって、前記保護膜6は実質的にルテニウムからなり、多層反射膜2の最上層表面は水素末端処理し、或いは多層反射膜2と保護膜6との間に水素化非晶質膜を形成する。反射型マスク20は、この反射型マスクブランクス10の吸収体膜4に転写パターン4aが形成されている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、該基板上に形成された露光光を反射する多層反射膜と、該多層反射膜上に形成された該多層反射膜を保護する保護膜と、該保護膜上に形成された露光光を吸収する吸収体膜とを有する反射型マスクブランクスであって、

前記保護膜は、実質的にルテニウム (Ru) からなる材料とし、前記多層反射膜の最上層表面が水素終端化処理されていることを特徴とする反射型マスクブランクス。

【請求項 2】

基板と、該基板上に形成された露光光を反射する多層反射膜と、該多層反射膜上に形成された該多層反射膜を保護する保護膜と、該保護膜上に形成された露光光を吸収する吸収体膜とを有する反射型マスクブランクスであって、

前記保護膜は、実質的にルテニウム (Ru) からなる材料とし、前記多層反射膜と前記保護膜との間に水素化非晶質膜が形成されていることを特徴とする反射型マスクブランクス。

【請求項 3】

前記保護膜と前記吸収体膜との間に、前記吸収体膜とエッチング特性が異なるクロム (Cr) を含有するバッファ層が形成されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の反射型マスクブランクス。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 の何れかに記載の反射型マスクブランクスの吸収体膜に、被転写体に対する転写パターンとなる吸収体膜パターンが形成されていることを特徴とする反射型マスク。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の反射型マスクを使用したリソグラフィ技術により半導体基板上に微細パターンを形成することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体装置製造等に使用される露光用反射型マスク、及びその原版である反射型マスクブランクス、並びに反射型マスクを使用して半導体装置を製造する半導体装置の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体産業において、半導体デバイスの微細化に伴い、極紫外 (Extreme Ultra Violet: 以下、EUVと称する) 光を用いた露光技術であるEUVリソグラフィが有望視されている。なお、ここで、EUV光とは、軟X線領域又は真空紫外線領域の波長帯の光を指し、具体的には波長が0.2～100nm程度の光のことである。この、EUVリソグラフィにおいて用いられるマスクとしては、たとえば下記特許文献1に記載された露光用反射型マスクが提案されている。

このような反射型マスクは、基板上に露光光を反射する多層反射膜が形成され、該多層反射膜上に露光光を吸収する吸収体膜がパターン状に形成されたものである。露光機 (パターン転写装置) に搭載された反射型マスクに入射した光は、吸収体膜のある部分では吸収され、吸収体膜のない部分では多層反射膜により反射された光像が反射光学系を通して半導体基板上に転写される。

【0003】

上記多層反射膜としては、例えば13～14nmのEUV光を反射するものとして、図5に示すように、数nmの厚さのMoとSiを交互に40乃至60周期程度積層させたものなどが知られている。そして、反射率を高めるためには、屈折率の大きなMo膜を最上層とする方が望ましいが、Moは大気に触れると酸化されやすく、その結果、反射率が低下してしまう。そこで、酸化防止のための保護膜として、例えばSi膜を最上層に設ける

10

20

30

40

50

ことが行われている。

また、下記特許文献 2 には、Mo 膜と Si 膜が交互に積層された多層反射膜と、吸収体パターンとの間に、ルテニウム (Ru) からなるバッファ層が形成された反射型マスクが記載されている。この反射型マスクでは、吸収体膜のエッチング加工における多層反射膜表面の損傷を防止するため、多層反射膜上に Ru 層を形成している。

【0004】

【特許文献 1】特公平 7 - 27198 号公報

【特許文献 2】特開 2002 - 122981 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0005】

従来の Si 膜を多層反射膜の最上層に保護膜として設けた場合、Si 膜の厚さが薄いと十分な酸化防止効果が得られないため、通常は酸化防止に十分な程度厚くすることが行われているが、Si 膜は僅かに EUV 光を吸収するため、厚くすると反射率が低下してしまうという問題を有していた。

また、上記特許文献 2 のように従来の多層反射膜と吸収体パターンとの間に形成された Ru 膜は以下の問題点を有していた。

(1) Ru 膜は通常、スパッタリング又はイオンビームスパッタリングにより成膜するのが一般的であるが、Ru 膜をスパッタ成膜する場合、成膜初期においては、Ru と下地の Si (多層反射膜の最上層である Si 膜) との相互拡散が生じやすいため、成膜時の基板表面への入射エネルギーの影響も受けて拡散層が形成され、反射率が低下する。

20

(2) Ru 膜は、上述の Ru 膜成膜時だけでなく、その後の加熱処理 (たとえば、レジスト膜のベーク (熱処理) プロセスなど) 等によって多層反射膜の最上層である Si 膜と拡散層を形成し易いため、この形成された拡散層により反射率が低下する。

【0006】

そこで本発明の目的は、第一に、実質的にルテニウム (Ru) からなる保護膜成膜時やその後の加熱処理等によって多層反射膜の最上層との拡散層の形成を抑制させ、反射率の低下を防止でき、加熱処理等に対する反射率の安定性が非常に高い反射型マスクブランクス及び反射型マスクを提供することであり、第二に、このような反射型マスクを使用したりソグラフィ技術により半導体基板上に微細パターンを形成する半導体装置の製造方法を提供することである。

30

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するため、本発明は以下の構成を有する。

(構成 1) 基板と、該基板上に形成された露光光を反射する多層反射膜と、該多層反射膜上に形成された該多層反射膜を保護する保護膜と、該保護膜上に形成された露光光を吸収する吸収体膜とを有する反射型マスクブランクスであって、前記保護膜は、実質的にルテニウム (Ru) からなる材料とし、前記多層反射膜の最上層表面が水素終端化処理されていることを特徴とする反射型マスクブランクス。

構成 1 によれば、多層反射膜の最上層表面を水素終端化処理することによって、実質的にルテニウム (Ru) からなる保護膜成膜時やその後の加熱処理等により、多層反射膜の最上層と Ru 膜による拡散層が形成されるのを防止することができるため、反射率の低下を防止することができ、加熱処理等に対する反射率の安定性が非常に高い。従って、高反射率を有し、しかも信頼性の高い反射型マスクブランクスが得られる。

40

【0008】

(構成 2) 基板と、該基板上に形成された露光光を反射する多層反射膜と、該多層反射膜上に形成された該多層反射膜を保護する保護膜と、該保護膜上に形成された露光光を吸収する吸収体膜とを有する反射型マスクブランクスであって、前記保護膜は、実質的にルテニウム (Ru) からなる材料とし、前記多層反射膜と前記保護膜との間に水素化非晶質膜が形成されていることを特徴とする反射型マスクブランクス。

50

構成 2 によれば、多層反射膜と保護膜との間に水素化非晶質膜を形成することによって、実質的にルテニウム (Ru) からなる保護膜成膜時やその後の加熱処理等により、多層反射膜の最上層と Ru 膜による拡散層が形成されるのを防止することができるため、反射率の低下を防止することができ、加熱処理等に対する反射率の安定性が非常に高い。従って、高反射率を有し、しかも信頼性の高い反射型マスクブランクスが得られる。

【0009】

(構成 3) 前記保護膜と前記吸収体膜との間に、前記吸収体膜とエッチング特性が異なるクロム (Cr) を含有するバッファ層が形成されていることを特徴とする構成 1 又は 2 に記載の反射型マスクブランクス。

構成 3 によれば、吸収体膜のパターン形成時、及びパターン修正時のエッチングによる多層反射膜のダメージが防止されるため、吸収体膜のパターン形成やパターン修正が容易となるので好ましい。また、クロム系材料からなるバッファ層は、高い平滑性が得られ、その上に形成される吸収体膜表面も高い平滑性が得られるので、パターンぼけを減少できる。

10

【0010】

(構成 4) 構成 1 乃至 3 の何れかに記載の反射型マスクブランクの吸収体膜に、被転写体に対する転写パターンとなる吸収体膜パターンが形成されていることを特徴とする反射型マスク。

上記構成 1 乃至 3 の何れかに記載の反射型マスクブランクスを用いて得られた反射型マスクは、反射型マスク製造工程時における多層反射膜の反射率低下が抑えられた安定性の非常に高い、高反射率の反射型マスクが得られる。

20

(構成 5) 構成 4 に記載の反射型マスクを使用したリソグラフィ技術により半導体基板上に微細パターンを形成することを特徴とする半導体装置の製造方法。

構成 4 に記載の反射型マスクを使用したリソグラフィ技術により、半導体基板上にパターン欠陥のない微細パターンが形成された半導体装置を製造することができる。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、実質的にルテニウム (Ru) からなる保護膜成膜時やその後の加熱処理等によって多層反射膜の最上層との拡散層の形成を抑制させ、反射率の低下を防止でき、加熱処理等に対する反射率の安定性が非常に高い反射型マスクブランクス及び反射型マスクが得られる。また、このような反射型マスクを使用したリソグラフィ技術により、半導体基板上にパターン欠陥なく微細パターンを形成した半導体装置が得られる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

以下、本発明を実施の形態により詳細に説明する。

(実施の形態 1)

本発明の反射型マスクブランクスの一実施の形態としては、図 1 (a) に示すように、基板 1 と、該基板 1 上に形成された露光光を反射する多層反射膜 2 と、該多層反射膜 2 上に形成された該多層反射膜 2 を保護する保護膜 6 と、該保護膜 6 上に形成されたバッファ層 3 と、該バッファ層 3 上に形成された露光光を吸収する吸収体膜 4 とを有する構造の反射型マスクブランクス 10 であって、前記保護膜 6 は、実質的にルテニウム (Ru) からなる材料とし、前記多層反射膜 2 の最上層表面が水素末端処理されている。

40

多層反射膜 2 の最上層表面を水素末端処理することによって、Ru 保護膜成膜時やその後の加熱処理等により、多層反射膜 2 の最上層と Ru 膜による拡散層が形成されるのを防止することができる。そのため、拡散層による反射率の低下を防止することができ、加熱処理等に対する反射率の安定性が非常に高くなる。従って、高反射率で、信頼性の高い反射型マスクブランクスが得られる。

【0013】

水素末端処理の方法としては、以下の方法で行うことができる。

(1) イオンビームスパッタ成膜装置で多層反射膜を成膜したとき、多層反射膜の最上層

50

の成膜終了直前、もしくは直後に、デポガンもしくはアシストガンに供給するガスに H_2 ガスを混合し、ガンの中でプラズマ化することにより活性水素を形成し、多層反射膜付き基板に供給することで多層反射膜の最上層表面の水素終端化処理を行う。

(2) イオンビームスパッタ成膜装置で多層反射膜を成膜したとき、多層反射膜の最上層の成膜終了直前にチャンパー内に H_2 ガスを導入し、多層反射膜の最上層表面に H_2 ガスを吸着させることで水素終端化処理を行う。

(3) スパッタ成膜装置で多層反射膜を成膜したとき、多層反射膜の最上層の成膜終了直前、もしくは直後にチャンパー内に H_2 ガスを導入してプラズマ化することにより活性水素を形成し、多層反射膜付き基板に供給することで多層反射膜の最上層表面の水素終端化処理を行う。

(4) スパッタ成膜装置で多層反射膜を成膜したとき、多層反射膜の最上層の成膜終了直後のスパッタ用プラズマが無い状態でチャンパー内に H_2 ガスを導入し、多層反射膜の最上層表面に H_2 ガスを吸着させることで水素終端化処理を行う。

【0014】

(実施の形態2)

本発明の反射型マスクブランクス他の実施の形態としては、基板1と、該基板1上に形成された露光光を反射する多層反射膜2と、該多層反射膜2上に形成された該多層反射膜2を保護する保護膜6と、該保護膜6上に形成されたバッファ層3と、該バッファ層3上に形成された露光光を吸収する吸収体膜4とを有する構造の反射型マスクブランクス10であって、前記保護膜6は、実質的にルテニウム(Ru)からなる材料とし、前記多層反射膜2と前記保護膜6との間に水素化非晶質膜が形成されている。

本実施の形態は、前述の図1(a)に示す実施の形態1と全体的な構成は同様であるが、図2に示すように多層反射膜2と保護膜6との間に水素化非晶質膜7を形成している。このように多層反射膜2と保護膜6との間に水素化非晶質膜7を形成することによって、前述の実施の形態1と同様、Ru保護膜成膜時やその後の加熱処理等により、多層反射膜2の最上層21とRu膜による拡散層が形成されるのを防止することができるため、拡散層による反射率の低下を防止することができ、加熱処理等に対する反射率の安定性が非常に高くなる。従って、本実施の形態によっても高反射率で、信頼性の高い反射型マスクブランクスが得られる。

【0015】

水素化非晶質膜の材料としては、光学特性(反射率)の点から多層反射膜の最上層の材料と光学定数が近い材料が好ましく、多層反射膜の最上層がSi膜の場合は、a-Si:H(水素化非晶質Si)膜が好ましい。

例えば水素化非晶質Si膜の形成方法としては、以下の方法で行うことができる。

(1) 多層反射膜の最上層に、化学気相成長(CVD)法で非晶質Si膜を成膜して、水素化非晶質Si膜を成膜する。

(2) 多層反射膜の最上層のSi膜をスパッタ成膜する際に水素ガスを供給して水素ラジカルを形成し、水素化非晶質Si膜を成膜する。

(3) 多層反射膜の最上層のSi膜をイオンビームスパッタ成膜する際に水素ガスを供給して水素ラジカルを形成し、水素化非晶質Si膜を成膜する。

水素化非晶質膜の膜厚は、拡散層の形成を抑制する効果が得られる限りにおいては、特に制約する必要はないが、光学特性(反射率)の観点からは、2.0~5.0nmの範囲とするのが適当である。

【0016】

上述の各実施の形態において、保護膜6は、実質的にルテニウム(Ru)からなる材料で形成される。ここで、実質的にルテニウム(Ru)からなるとは、ルテニウム(Ru)以外の成分を含まない、或いはルテニウム(Ru)以外の成分を含むとしても含有量が40%以下であることを言う。

本発明における保護膜6の膜厚は、反射率の点から1.0~4.0nmの範囲で適宜選定することができる。さらに好ましくは、反射領域の保護膜上で反射される光の反射率が最大と

10

20

30

40

50

なる膜厚とすることが望ましい。但し、反射型マスクの製造工程において、保護膜6上の例えばバッファ層3や吸収体膜4のエッチングによる物理的な膜減りを考慮する必要があり、このような膜減りが生じた際に反射率が最大となる膜厚を選定することが望ましい。本発明における保護膜6は、例えばスパッタリング法により成膜することができる。

図3は、上述の実施の形態1の水素終端化処理の有無による反射型マスクブランクス反射率のRu保護膜膜厚依存性を示したものであるが、多層反射膜の最上層表面を水素終端化処理することにより拡散層形成による反射率低下を防止し、高反射率が得られるのに対し、水素終端化処理をしないと、拡散層が形成されて反射率が低下してしまうことが分る。

【0017】

多層反射膜2は、前述したように、屈折率の異なる元素が周期的に積層された多層膜であり、一般的には、重元素又はその化合物の薄膜と、軽元素又はその化合物の薄膜とが交互に40~60周期程度積層された多層膜が用いられる。

例えば、波長13~14nmのEUV光に対する多層反射膜としては、前述のMo膜とSi膜を交互に40周期程度積層したMo/Si周期積層膜が好ましく用いられる。その他に、EUV光の領域で使用される多層反射膜として、Ru/Si周期多層膜、Mo/Be周期多層膜、Ru/Be周期多層膜、Mo化合物/Si化合物周期多層膜、Si/Nb周期多層膜、Si/Mo/Ru周期多層膜、Si/Mo/Ru/Mo周期多層膜、Si/Ru/Mo/Ru周期多層膜などがある。露光波長により、材質を適宜選択すればよい。尚、高反射率の点から、多層反射膜の最上層(保護膜直下)の材料は、屈折率の小さい例えば珪素(Si)とすることが好ましい。

多層反射膜2は、DCマグネトロンスパッタ法や、イオンビームスパッタ法などにより、各層を成膜することにより形成できる。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法により、まずSiターゲットを用いて厚さ数nm程度のSi膜を成膜し、その後Moターゲットを用いて厚さ数nm程度のMo膜を成膜し、これを一周期として、40~60周期積層した後、この多層反射膜の最上層表面を水素終端化処理し、又は水素化非晶質膜を形成し、最後に、多層反射膜の保護のため、実質的にルテニウム(Ru)からなる材料を用いた保護膜6を形成する。

【0018】

また、本発明では、上述の実施の形態のように、保護膜6と吸収体膜4との間に、該吸収体膜4とエッチング特性が異なるクロム(Cr)を含有するバッファ層3を形成してもよい。バッファ層3を形成することにより、吸収体膜4のパターン形成時、及びパターン修正時のエッチングによる多層反射膜2のダメージが防止されるため、吸収体膜4のパターン形成やパターン修正が容易となるので好ましい。バッファ層3としては、吸収体膜4とエッチング特性が異なる材料で、クロムを含む材料が好ましく挙げられる。クロム系材料からなるバッファ層は高い平滑性が得られ、その上に形成される吸収体膜表面も高い平滑性が得られるため、パターンばけを減少できる。

【0019】

クロム系バッファ層の材料としては、クロム(Cr)単体や、クロム(Cr)と窒素(N)、酸素(O)、炭素(C)から選ばれる少なくとも1種以上の元素を含む材料とすることができる。たとえば、窒素を含むことで平滑性に優れ、炭素を含むことで吸収体膜のドライエッチング条件でのエッチング耐性が向上し、酸素を含むことで膜応力低減ができる。具体的には、クロム、酸化クロム、窒化クロム、酸化窒化クロム、炭化クロム、酸化炭化クロム、窒化炭化クロム、酸化窒化炭化クロム等の材料が挙げられる。

バッファ層3は、DCスパッタ、RFスパッタ法以外に、イオンビームスパッタ等のスパッタ法で上記保護膜6上に形成することができる。

尚、バッファ層3の膜厚は、集束イオンビーム(FIB)を用いた吸収体膜パターンの修正を行う場合には、20~60nm程度とするのが好ましいが、FIBを用いない場合には、5~15nm程度とすることができる。

【0020】

また、吸収体膜4は、露光光である例えばEUV光を吸収する機能を有するもので、タ

10

20

30

40

50

ンタル (T a) 単体又は T a を主成分とする材料を好ましく用いることができる。 T a を主成分とする材料は、通常、 T a の合金である。このような吸収体膜の結晶状態は、平滑性、平坦性の点から、アモルファス状又は微結晶の構造を有しているものが好ましい。

T a を主成分とする材料としては、 T a と B を含む材料、 T a と N を含む材料、 T a と B を含み、更に O と N の少なくとも何れかを含む材料、 T a と S i を含む材料、 T a と S i と N を含む材料、 T a と G e を含む材料、 T a と G e と N を含む材料、等を用いることができる。 T a に B や S i 、 G e 等を加えることにより、アモルファス状の材料が容易に得られ、平滑性を向上させることができる。また、 T a に N や O を加えれば、酸化に対する耐性が向上するため、経時的な安定性を向上させることができるという効果が得られる。

10

【 0 0 2 1 】

この中でも特に好ましい材料として、例えば、 T a と B を含む材料 (組成比 T a / B が 8 . 5 / 1 . 5 ~ 7 . 5 / 2 . 5 の範囲である) 、 T a と B と N を含む材料 (N が 5 ~ 3 0 at % であり、残りの成分を 1 0 0 とした時、 B が 1 0 ~ 3 0 at %) が挙げられる。これらの材料の場合、容易に微結晶或いはアモルファス構造を得ることが出来、良好な平滑性と平坦性が得られる。

このような T a 単体又は T a を主成分とする吸収体膜は、マグネトロンスパッタリングなどのスパッタ法で形成するのが好ましい。例えば、 T a B N 膜の場合、タンタルとホウ素を含むターゲットを用い、窒素を添加したアルゴンガスを用いたスパッタ法で成膜することができる。スパッタ法で形成した場合には、スパッタターゲットに投入するパワーや投入ガス圧力を変化させることにより内部応力を制御できる。また、室温程度の低温での形成が可能であるので、多層反射膜等への熱の影響を少なくすることが出来る。

20

T a を主成分とする材料以外では、例えば、 W N 、 T i N 、 T i 等の材料が挙げられる。

なお、吸収体膜 4 は、複数層の積層構造としてもよい。

吸収体膜 4 の膜厚は、露光光である例えば E U V 光が十分に吸収できる厚みであれば良いが、通常 3 0 ~ 1 0 0 n m 程度である。

【 0 0 2 2 】

基板 1 としては、露光時の熱によるパターンの歪みを防止するため、 $0 \pm 1 . 0 \times 1 0^{-7} /$ の範囲内、より好ましくは $0 \pm 0 . 3 \times 1 0^{-7} /$ の範囲内の低熱膨張係数を有するものが好ましい。この範囲の低熱膨張係数を有する素材としては、アモルファスガラス、セラミック、金属の何れでも使用できる。例えばアモルファスガラスであれば、 S i O₂ - T i O₂ 系ガラス、石英ガラス、結晶化ガラスであれば、石英固溶体を析出した結晶化ガラス等を用いることができる。金属基板の例としては、インバー合金 (F e - N i 系合金) などが挙げられる。また、単結晶シリコン基板を使用することもできる。

30

また、基板 1 は、高反射率及び高転写精度を得るために、高い平滑性と平坦度を備えた基板が好ましい。特に、 0 . 2 n m R m s 以下の平滑な表面 (1 0 μ m 角エリアでの平滑性) と、 1 0 0 n m 以下の平坦度 (1 4 2 m m 角エリアでの平坦度) を有することが好ましい。また、基板 1 は、その上に形成される膜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、 6 5 G P a 以上の高いヤング率を有しているものが好ましい。

40

ここで、平滑性を示す単位 R m s は、二乗平均平方根粗さであり、原子間力顕微鏡で測定することができる。また平坦度は、 T I R (T o t a l I n d i c a t e d R e a d i n g) で示される表面の反り (変形量) を表す値で、基板表面を基準として最小自乗法で定められる平面を焦平面とし、この焦平面より上にある基板表面の最も高い位置と、焦平面より下にある基板表面の最も低い位置との高低差の絶対値である。

【 0 0 2 3 】

なお、本発明では、前記多層反射膜に加熱処理を施すことも好ましい。多層反射膜に加熱処理を施すことによって、多層反射膜の膜応力が低減し、高い平坦度を有する反射型マスクブランクスが得られる。従って、反射型マスクにしたときの多層反射膜表面の反りが

50

低減でき、半導体基板への転写時の転写精度が良好となる。多層反射膜に加熱処理を施す場合の加熱温度は、50以上が好ましく、上記の効果を得るためには、50以上150以下が望ましい。

尚、本発明では、多層反射膜の最上層表面を水素終端化处理し、又は多層反射膜と保護膜との間に水素化非晶質膜を形成したことにより、このような加熱処理を施しても、拡散層形成による反射率低下を防止できるため、加熱処理に対する反射率の安定性が非常に高い。

【0024】

上述の実施の形態では、反射型マスクブランク10は以上のごとく構成され、バッファ層3を有しているが、吸収体膜4へのパターン形成の方法や形成したパターンの修正方法によっては、バッファ層を設けない構成としてもよい。

10

また、上記反射型マスクブランク10は、吸収体膜4に所定の転写パターンを形成するためのレジスト膜が形成された状態であっても構わない。

従って、本発明の反射型マスクブランクを使用して得られる反射型マスクとしては、以下のような態様が挙げられる。

(1) 基板上に形成された多層反射膜上に、保護膜とバッファ層が形成され、バッファ層上に所定の転写パターンを有する吸収体膜パターンが形成された反射型マスク。

(2) 基板上に形成された多層反射膜上に保護膜が形成され、保護膜上に所定の転写パターンを有するバッファ層と吸収体膜のパターンが形成された反射型マスク。

(3) 基板上に形成された多層反射膜上に保護膜が形成され、保護膜上に所定の転写パターンを有する吸収体膜パターンが形成された反射型マスク。

20

【0025】

次に、反射型マスクブランク10を用いた反射型マスクの製造工程を図1にしたがって説明する。

反射型マスクブランク10(図1(a)参照)の各層の材料及び形成方法については上述した通りである。

そして、この反射型マスクブランク10の吸収体膜4に所定の転写パターンを形成する。まず、吸収体膜4上に電子線用レジストを塗布し、ベークを行う。次に、電子線描画機を用いて描画し、これを現像して、所定のレジストパターン5aを形成する。

【0026】

30

形成されたレジストパターン5aをマスクとして、吸収体膜4をドライエッチングして、所定の転写パターンを有する吸収体膜パターン4aを形成する(同図(b)参照)。吸収体膜4がTaを主成分とする材料からなる場合、塩素ガスを用いたドライエッチングを用いることができる。

なお、熱濃硫酸を用いて、吸収体膜パターン4a上に残ったレジストパターン5aを除去して、マスク11(同図(c)参照)を作製する。

通常はここで、吸収体膜パターン4aが設計通りに形成されているかどうかの検査を行う。吸収体膜パターン4aの検査には、例えば波長190nm~260nm程度のDUV光が用いられ、この検査光が吸収体膜パターン4aが形成されたマスク11上に入射される。ここでは、吸収体膜パターン4a上で反射される検査光と、吸収体膜4が除去されて露出したバッファ層3で反射される検査光とを検出し、そのコントラストを観察することによって、検査を行う。

40

【0027】

このようにして、例えば、除去されるべきでない吸収体膜が除去されたピンホール欠陥(白欠陥)や、エッチング不足により一部が除去されずに残っているエッチング不足欠陥(黒欠陥)を検出する。このようなピンホール欠陥や、エッチング不足による欠陥が検出された場合には、これを修正する。

ピンホール欠陥の修正には、例えば、FIBアシストデポジション法により炭素膜等をピンホールに堆積させるなどの方法がある。また、エッチング不足による欠陥の修正には、FIB照射による不要部分の除去を行うなどの方法がある。

50

こうして、パターン検査及び修正が終えた後、露出したバッファ層3を吸収体膜パターン4 aに従って除去し、バッファ層にパターン3 aを形成して、反射型マスク20を作製する(同図(d)参照)。ここで、例えばCr系材料からなるバッファ層の場合は、塩素と酸素を含む混合ガスでのドライエッチングを用いることができる。バッファ層3を除去した部分では、露光光の反射領域である多層反射膜2が露出する。露出した多層膜上には保護膜6が形成されている。このとき、保護膜6は、バッファ層3のドライエッチングに対して多層反射膜2を保護する。

【0028】

なお、上述のバッファ層3を除去しなくても必要な反射率が得られる場合には、バッファ層3を吸収体膜4と同様のパターン状に加工せず、保護膜6を備えた多層反射膜2

10

上に残すこともできる。最後に、仕様通りの寸法精度で吸収体膜パターン4 aが形成されているかどうかの最終的な確認の検査を行う。この最終確認検査の場合も、前述のDUV光が用いられる。

また、本発明により製造される反射型マスクは、EUV光(波長0.2~100nm程度)を露光光として用いた場合に特に好適であるが、他の波長の光に対しても適宜用いることができる。

【実施例】

【0029】

以下、実施例により、本発明の実施の形態を更に具体的に説明する。

(実施例1)

20

使用する基板は、SiO₂-TiO₂系のガラス基板(6インチ角、厚さが6.3mm)である。この基板の熱膨張係数は $0.2 \times 10^{-7} /$ 、ヤング率は67GPaである。そして、このガラス基板は機械研磨により、0.2nmRms以下の平滑な表面と、100nm以下の平坦度に形成した。

基板上に形成される多層反射膜は、13~14nmの露光光波長帯域に適した多層反射膜とするために、Mo膜/Si膜周期多層反射膜を採用した。即ち、多層反射膜は、MoターゲットとSiターゲットを使用し、イオンビームスパッタリングにより基板上に交互に積層して形成した。Si膜を4.2nm、Mo膜を2.8nm、これを一周期として、40周期積層した後、Si膜を3.5nm成膜した。多層反射膜の最上層であるSi膜成膜終了直前に、チャンパー内にH₂ガスを3.5sccm導入し、Si膜表面にH₂を吸着させて水素終端化処理を行った。最後に保護膜としてRuターゲットを用いてRu膜を4nm成膜して多層反射膜付き基板を得た。この多層反射膜に対し、13.5nmのEUV光を入射角6.0度で反射率を測定したところ、反射率は63.5%であった。

30

【0030】

また、上記多層反射膜付き基板を、多層反射膜の膜応力を低減させる目的で、ホットプレートに載せ、基板加熱温度100、15分間の熱処理を行った。また、透過型電子顕微鏡により、多層反射膜の最上層のSi膜とRu膜との界面を観察したところ、Si膜とRu膜とが混合した拡散層は確認できなかった。また、この多層反射膜付き基板を大気中に100日間放置したところ、反射率の変化は見られなかった。

次に、上述のようにして得られた多層反射膜付き基板の保護膜上に、バッファ層を形成した。バッファ層は、窒化クロム膜を20nmの厚さに形成した。クロム(Cr)ターゲットを用いて、スパッタガスとしてアルゴン(Ar)と窒素(N₂)の混合ガスを用いてDCマグネトロンスパッタリング法によって成膜した。成膜されたCrNx膜において、窒素(N)は10at%(x=0.1)とした。

40

次に、このバッファ層上に、吸収体膜として、TaとBとNを含む材料を80nmの厚さで形成した。即ち、Ta及びBを含むターゲットを用いて、アルゴン(Ar)に窒素(N₂)を10体積%添加して、DCマグネトロンスパッタリング法によって成膜し、本実施例の反射型マスクブランクスを得た。尚、成膜したTaBN膜の組成比は、Taが0.8at%、Bが0.1at%、Nが0.1at%であった。

【0031】

50

次に、この反射型マスクブランクスを用いて、デザインルールが $0.07\ \mu\text{m}$ の16Gbit-DRAM用のパターンを有するEUV露光用反射型マスクを以下のように作成した。

まず、上記反射型マスクブランクス上に電子線描画用レジストを形成し、電子線描画と現像によりレジストパターンを形成した。

このレジストパターンをマスクとして、塩素(Cl_2)ガスを用いて吸収体膜をドライエッチングし、吸収体膜に転写パターンを形成した。

さらに、塩素(Cl_2)と酸素(O_2)の混合ガス(塩素(Cl_2)と酸素(O_2)の混合比(体積比)は5:5を用いて、反射領域上(吸収体膜のパターンのない部分)に残存しているバッファー層を吸収体膜のパターンに従ってドライエッチングして除去し、多層反射膜を露出させ、反射型マスクを得た。なお、Ru保護膜の場合、上記バッファー層とのエッチング選択比は20:1である。

得られた反射型マスクの最終確認検査を行ったところ、デザインルールが $0.07\ \mu\text{m}$ の16Gbit-DRAM用のパターンを設計通りに形成できていることが確認できた。また、反射領域におけるEUV光の反射率は、上記バッファー層のエッチングによりRu保護膜の膜厚が減少した結果、多層反射膜付き基板で測定した反射率から増えて、65.5%であった。

【0032】

次に、得られた本実施例の反射型マスクを用いて、図4に示す半導体基板上へのEUV光によるパターン転写装置による露光転写を行った。

反射型マスクを搭載したパターン転写装置50は、レーザープラズマX線源31、縮小光学系32等から概略構成される。縮小光学系32は、X線反射ミラーを用いている。縮小光学系32により、反射型マスク20で反射されたパターンは通常1/4程度に縮小される。尚、露光波長として13~14nmの波長帯を使用するので、光路が真空中になるように予め設定した。

このような状態で、レーザープラズマX線源31から得られたEUV光を反射型マスク20に入射し、ここで反射された光を縮小光学系32を通してシリコンウエハ(レジスト層付き半導体基板)33上に転写した。

【0033】

反射型マスク20に入射した光は、吸収体パターン4a(図1参照)のある部分では、吸収体膜に吸収されて反射されず、一方、吸収体パターン4aのない部分に入射した光は多層反射膜2により反射される。このようにして、反射型マスク20から反射される光により形成される像が縮小光学系32に入射する。縮小光学系32を経由した露光光は、シリコンウエハ33上のレジスト層に転写パターンを露光する。そして、この露光済レジスト層を現像することによってシリコンウエハ33上にレジストパターンを形成した。

以上のようにして半導体基板上へのパターン転写を行ったところ、本実施例の反射型マスクの精度は70nmデザインルールの要求精度である16nm以下であることが確認できた。

【0034】

(実施例2)

実施例1と同じ基板上に、実施例1と同様にしてMo膜/Si膜周期多層反射膜を形成した。即ち、多層反射膜は、MoターゲットとSiターゲットを使用し、イオンビームスパッタリングにより基板上に交互に積層して形成した。但し、本実施例では、Si膜を4.2nm、Mo膜を2.8nm、これを一周期として、40周期積層した後、Si膜を1.2nm成膜した。多層反射膜の最上層であるSi膜成膜後、イオンビームスパッタ法により、a-S:H膜を膜厚2.0nm形成した。最後に保護膜としてRuターゲットを用いてRu膜を2nm成膜して多層反射膜付き基板を得た。この多層反射膜に対し、13.5nmのEUV光を入射角6.0度で反射率を測定したところ、反射率は63.7%であった。

また、上記多層反射膜付き基板を、多層反射膜の膜応力を低減させる目的で、ホットプレートに載せ、基板加熱温度100、15分間の熱処理を行った。また、透過型電子顕微鏡により、多層反射膜の最上層のSi膜とRu膜との界面を観察したところ、Si膜とRu膜とが混合した拡散層は確認できなかった。また、この多層反射膜付き基板を大気中に1

10

20

30

40

50

00日間放置したところ、反射率の変化は見られなかった。

【0035】

次に、上述のように得られた多層反射膜付き基板の保護膜上に、実施例1と同様にバッファ層と吸収体膜を形成して反射型マスクブランクスを得た。さらに、この反射型マスクブランクスを使用して実施例1と同様に反射型マスクを得た。得られた反射型マスクの最終確認検査を行ったところ、デザインルールが $0.07\mu\text{m}$ の16Gbit-DRAM用のパターンを設計通りに形成できていることが確認できた。また、反射領域におけるEUV光の反射率は、バッファ層のエッチングによりRu保護膜の膜厚が減少した結果、多層反射膜付き基板で測定した反射率から増えて、65.5%であった。

さらに前述の図4の装置を用いて半導体基板上へのパターン転写を行ったところ、本実施例の反射型マスクの精度は70nmデザインルールの要求精度である16nm以下であることが確認できた。

【0036】

(比較例)

実施例1と同じ基板上に、実施例1と同様にしてイオンビームスパッタリング法により、Si膜を4.2nm、Mo膜を2.8nm、これを一周期として、40周期積層した後、Si膜を4.2nm成膜し、最後に保護膜としてRu膜を4nm成膜して多層反射膜付き基板を得た。この多層反射膜に対し、13.5nmのEUV光を入射角6.0度で反射率を測定したところ、反射率は61.9%であった。

また、上記多層反射膜付き基板を、多層反射膜の膜応力を低減させる目的で、ホットプレートに載せ、基板加熱温度100、15分間の熱処理を行った。また、透過型電子顕微鏡により、多層反射膜の最上層のSi膜とRu膜との界面を観察したところ、SiとRuとが混合した約3.2nmの拡散層が認められ、反射率は60.8%まで減少した。

【0037】

次に、上述のように得られた多層反射膜付き基板の保護膜上に、実施例1と同様にバッファ層と吸収体膜を形成して反射型マスクブランクスを得た。さらに、この反射型マスクブランクスを使用して実施例1と同様に反射型マスクを得た。得られた反射型マスクの反射領域におけるEUV光の反射率は、バッファ層のエッチングによりRu保護膜の膜厚が減少した結果、63.5%と増加した。実施例1よりも反射率が低下した理由は、上記加熱処理、及びレジスト膜のプリベーク処理などの熱的要因により拡散層が拡大されたことが原因と考えられる。

さらに前述の図4の装置を用いて半導体基板上へのパターン転写を行ったが、上述の実施例と比べて反射率が低いため、パターン転写における露光時間が長くなりスループットが低下し、コントラスト(解像度)が低下した。

尚、上述の実施例では、反射型マスクブランクス、反射型マスクの具体例として保護膜と吸収体膜との間にバッファ層を形成したものしか掲げなかったが、これに限らず、バッファ層を形成していない反射型マスクブランクス、反射型マスクであっても構わない。

【図面の簡単な説明】

【0038】

【図1】反射型マスクブランクスの一実施の形態の構成及びこのマスクブランクスを用いて反射型マスクを製造する工程を示す断面図である。

【図2】反射型マスクブランクスの実施の形態の要部を示す断面図である。

【図3】水素終端化処理の有無による反射型マスクブランクス反射率のRu保護膜膜厚依存性を示す特性図である。

【図4】反射型マスクを搭載したパターン転写装置の概略構成を示す図である。

【図5】従来のMo膜/Si膜周期多層反射膜の断面図である。

【符号の説明】

【0039】

1 基板

10

20

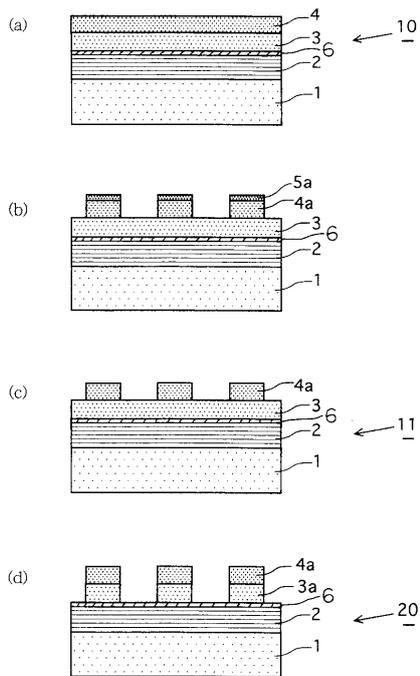
30

40

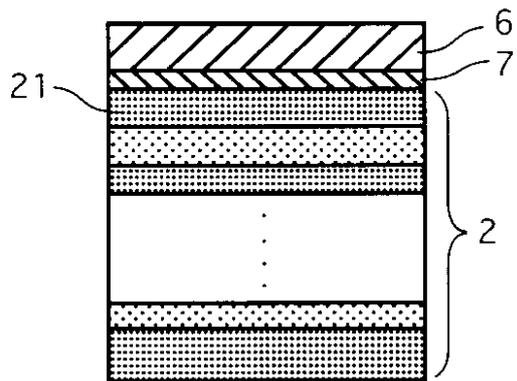
50

- 2 多層反射膜
- 3 バッファー層
- 4 吸収体膜
- 6 保護膜
- 7 水素化非晶質膜
- 10 反射型マスクブランクス
- 20 反射型マスク
- 50 パターン転写装置

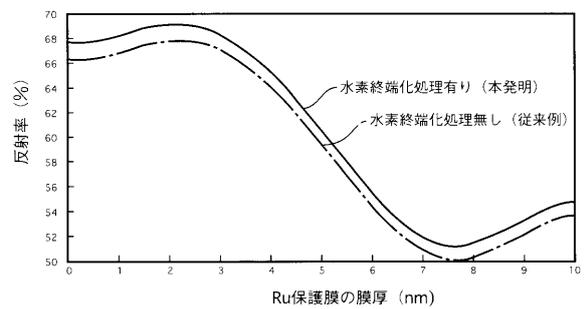
【図1】



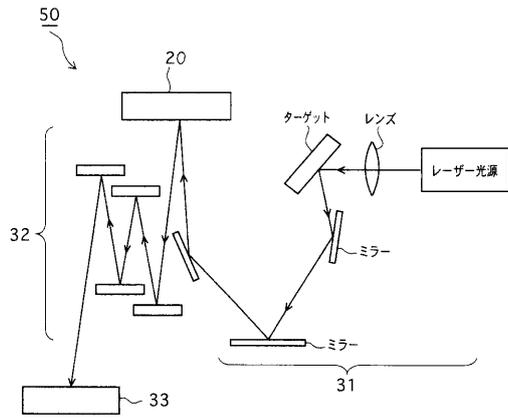
【図2】



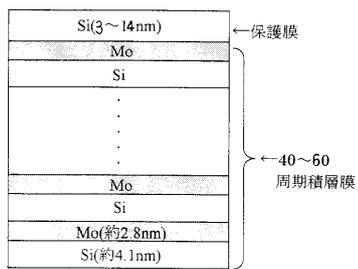
【図3】



【 図 4 】



【 図 5 】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード(参考)
G 2 1 K	5/02	(2006.01)	G 2 1 K	1/06		D
			G 2 1 K	5/00		Z
			G 2 1 K	5/02		X