

(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2010-79110

(P2010-79110A)

(43) 公開日 平成22年4月8日(2010.4.8)

(51) Int.Cl.		F I				テーマコード (参考)
G03F	1/08	(2006.01)	G03F	1/08	A	2H095
G03F	1/14	(2006.01)	G03F	1/14	G	

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2008-249338 (P2008-249338)	(71) 出願人	000113263
(22) 出願日	平成20年9月27日 (2008.9.27)		H O Y A 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	野澤 順
			東京都新宿区中落合2丁目7番5号 H O
			Y A 株式会社内
		Fターム(参考)	2H095 BB03 BB14 BB25 BC05 BC11
			BC17

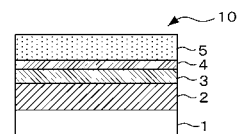
(54) 【発明の名称】 マスクブランク及び転写用マスクの製造方法

(57) 【要約】

【課題】良好な導電性とレジスト膜の濡れ性を有する積層構成のハードマスク膜を備え、とくにC D均一性に優れたマスク製造が可能であるマスクブランクを提供する。

【解決手段】透光性基板1上に、クロムを主成分とする材料で形成された遮光膜2を有し、該遮光膜2に転写用パターンを形成する際に電子線描画用レジスト膜5を用いるマスクブランク10であって、上記遮光膜2の上面に、ケイ素の窒化物又は酸窒化物を含む材料で形成されるエッチングマスク膜3が形成され、該エッチングマスク膜3の上面に、フッ素系ガス及び塩素と酸素の混合ガスによってドライエッチングが可能である導電性材料で形成される導電性マスク膜4が形成されている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

透光性基板上に、クロムを主成分とする材料で形成された遮光膜を有し、該遮光膜に転写用パターンを形成する際に電子線描画用レジスト膜を用いるマスクブランクであって、前記遮光膜の上面に設けられ、ケイ素の窒化物又は酸窒化物を含む材料で形成されるエッチングマスク膜と、

該エッチングマスク膜の上面に設けられ、フッ素系ガス及び塩素ガスによってドライエッチングが可能である導電性材料で形成される導電性マスク膜とを有することを特徴とするマスクブランク。

【請求項 2】

前記導電性マスク膜は、モリブデン、チタン、バナジウム、ニオブおよびタングステンのうち 1 以上の成分、あるいはその窒化物を含む導電性材料で形成され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】

透光性基板上に、順に、位相シフト膜と、クロムを主成分とする材料で形成された遮光膜とを有し、該遮光膜及び位相シフト膜に転写用パターンを形成する際に電子線描画用レジスト膜を用いるマスクブランクであって、

前記遮光膜の上面に設けられ、ケイ素を含む材料で形成されるエッチングマスク膜と、該エッチングマスク膜の上面に設けられ、フッ素系ガスによってドライエッチングが可能である導電性材料で形成される導電性マスク膜とを有することを特徴とするマスクブランク。

【請求項 4】

前記導電性マスク膜は、タンタル、モリブデン、チタン、バナジウム、ニオブおよびタングステンのうち 1 以上の成分、あるいはその窒化物を含む導電性材料で形成されることを特徴とする請求項 3 記載のマスクブランク。

【請求項 5】

前記位相シフト膜は、モリブデンシリサイドの酸化物、窒化物又は酸窒化物のいずれかを含む材料で形成されることを特徴とする請求項 3 又は 4 記載のマスクブランク。

【請求項 6】

前記導電性マスク膜は、膜厚が 2 nm ~ 20 nm であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載のマスクブランク。

【請求項 7】

前記導電性マスク膜の上面に、膜厚が 50 nm ~ 300 nm の電子線描画用レジスト膜が形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載のマスクブランク。

【請求項 8】

請求項 7 記載のマスクブランクを用いた転写用マスクの製造方法であって、

前記マスクブランクにおける電子線描画用レジスト膜に対して電子線描画及び現像処理を行ってレジストパターンを形成する工程と、

前記レジストパターンをマスクとして前記導電性マスク膜及び前記エッチングマスク膜をフッ素系ガスでドライエッチングして、導電性マスク膜パターン及びエッチングマスク膜パターンを形成する工程と、

前記導電性マスク膜パターン及びエッチングマスク膜パターンをマスクとして前記遮光膜を塩素と酸素の混合ガスでドライエッチングして、遮光膜パターンを形成する工程とを有することを特徴とする転写用マスクの製造方法。

【請求項 9】

前記導電性マスク膜パターン及びエッチングマスク膜パターンをマスクとして前記遮光膜を塩素と酸素の混合ガスでドライエッチングして、遮光膜パターンを形成しつつ、前記導電性マスク膜パターンを除去することを特徴とする請求項 8 記載の転写用マスクの製造方法。

10

20

30

40

50

【請求項 10】

前記遮光膜パターンをマスクとして前記位相シフト膜をフッ素系ガスでドライエッチングして、位相シフト膜パターンを形成しつつ、前記導電性マスク膜パターン及びエッチングマスク膜パターンを除去する工程をさらに有することを特徴とする請求項 8 記載の転写用マスクの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体装置製造の際に微細パターン転写に用いられる転写用マスク、およびその転写用マスクの原版であるマスクブランクに関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、半導体装置の製造工程では、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フォトマスク（転写用マスク）と呼ばれている基板が使用される。このフォトマスクは、一般に透光性のガラス基板上に、金属薄膜等からなる遮光性の微細パターンを設けたものであり、このフォトマスクの製造においてもフォトリソグラフィー法が用いられている。

【0003】

フォトリソグラフィー法によるフォトマスクの製造には、ガラス基板等の透光性基板上に遮光膜を有するマスクブランクが用いられる。このマスクブランクを用いたフォトマスクの製造は、マスクブランク上に形成されたレジスト膜に対し、所望のパターン描画を施す描画工程と、所望のパターン描画に従って前記レジスト膜を現像してレジストパターンを形成する現像工程と、レジストパターンに沿って前記遮光膜をエッチングするエッチング工程と、残存したレジストパターンを剥離除去する工程とを有して行われている。上記現像工程では、マスクブランク上に形成されたレジスト膜に対し所望のパターン描画を施した後に現像液を供給して、現像液に可溶性レジスト膜の部位を溶解し、レジストパターンを形成する。また、上記エッチング工程では、このレジストパターンをマスクとして、ドライエッチング又はウェットエッチングによって、レジストパターンの形成されていない遮光膜が露出した部位を溶解し、これにより所望のマスクパターン（遮光膜パターン）を透光性基板上に形成する。こうして、フォトマスクが出来上がる。

【0004】

半導体装置のパターンを微細化するに当たっては、フォト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波長の短波長化が必要となる。半導体装置製造の際の露光光源としては、近年では KrF エキシマレーザー（波長 248 nm）から、ArF エキシマレーザー（波長 193 nm）へと短波長化が進んでいる。

その一方で、フォトマスクやマスクブランクにおいては、フォトマスクに形成されるマスクパターンを微細化するに当たっては、マスクブランク上に形成するレジスト膜の薄膜化と、フォトマスク製造の際のパターニング手法として、ドライエッチング加工が必要である。

【0005】

しかし、レジスト膜の薄膜化とドライエッチング加工は、以下に示す技術的な問題が生じている。

一つは、マスクブランク上のレジスト膜の薄膜化を進める際、遮光膜の加工時間が 1 つの大きな制限事項となっていることである。遮光膜の材料としては、一般にクロムが用いられ、クロムのドライエッチング加工では、エッチングガスに塩素ガスと酸素ガスの混合ガスが用いられている。レジストパターンをマスクにして遮光膜をドライエッチングでパターニングする際、レジストは有機膜でありその主成分は炭素であるので、ドライエッチング環境である酸素プラズマに対しては非常に弱い。遮光膜をドライエッチングでパター

10

20

30

40

50

ニングする間、その遮光膜上に形成されているレジストパターンは十分な膜厚で残っていただければならない。一つの指標として、マスクパターンの断面形状を良好にするために、ジャストエッチングタイムの2倍(100%オーバーエッチング)程度を行っても残存するようなレジスト膜厚にしなければならない。例えば、一般には、遮光膜の材料であるクロムと、レジスト膜とのエッチング選択比は1以下となっているので、レジスト膜の膜厚は、遮光膜の膜厚の2倍以上の膜厚が必要となることになる。もちろんパターンのCD精度向上を実現するためには、レジスト膜の薄膜化が望ましいが、上述の理由からレジスト膜の膜厚を薄くするといっても限界がある。

【0006】

ところが近年の回路パターンの高精細化にともない、フォトマスクのCD精度に対して益々厳しい要求がなされるようになってきている。半導体集積回路の集積度が増加するにつれて半導体集積回路の製造過程でのデザインルールはさらに厳しくなり、特にフォトマスクのCDユニフォームリティ(CD均一性)やCDリニアリティに対する要求が益々厳しくなっている。また、回路パターンの高精細化にともない、露光光の回折が転写パターンの変形させ、パターン解像性が低下する問題が生じており、その解決手段として、その転写パターンの変形をあらかじめシミュレートで予測し、補正する光近接効果補正(Optical Proximity Correction: OPC)技術が多用されるようになってきている。このOPC技術では、転写パターンにさらに微細な補助パターンを設けることで転写パターンの変形を抑制することから、レジストパターンはさらに微細なものとなる。このため、レジストパターンのパターン線幅とレジスト膜厚との比(アスペクト比)が大きくなり、パターンの倒れや剥がれ、スペースパターンの解像性不足が生じ、問題となっていた。

【0007】

そこで、フォトマスクのCDユニフォームリティ(CD均一性)の向上やレジスト膜厚の薄膜化のために、クロム遮光層のドライエッチング時にレジストパターンの代りにハードマスクパターンを使用する方法が特許文献1に開示されている。特許文献1に開示された技術は、上記ハードマスクパターンの利点を有し、さらに導電性を有することから電子線描画を良好に実施でき、かつクロム遮光層に対してエッチング選択比が大きくとれる等の利点を有する導電性物質よりなるハードマスク層を備えたもので、ハードマスク層を構成する物質として、Mo, MoSi, MoSiON, HfまたはHf化合物、或いはZr, Sn, Fe, NiSi, CoSi及びそれらの化合物等を用いることが開示されている。

【0008】

【特許文献1】特開2005-62884号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、上記特許文献1では、ハードマスク層を構成する導電性物質として、MoSi, MoSiONが開示されているが、Si等を主成分とする物質は導電性が低く、これらの物質を用いてもハードマスク層の導電性は不十分であるという問題がある。ハードマスク層の導電性が不足していると、たとえば透光性基板上にクロム遮光層とハードマスク層とレジスト膜を有するマスクブランクを用いて、レジスト膜に対して電子線描画する際に、照射された電子がレジスト膜やハードマスク層に帯電してしまい、この帯電によって、照射される電子線が曲げられてしまい、本来電子線が描画すべき位置からずれて描画され、描画位置精度の悪化を招くという問題を生じる。そしてさらに帯電が進むと、チャージアップによる電子線描画ができなくなる現象が発生するという問題を生じる。

また、上記特許文献1に開示されているMoを用いた単一層のハードマスク層を形成した場合、Moはクロム遮光層のドライエッチングに用いる塩素と酸素の混合ガスでエッチングされる特性を有するため、クロム遮光層のドライエッチング時にハードマスク層とクロム遮光層とのエッチング選択比が小さく、ハードマスク層として十分に機能し得ないという問題がある。

10

20

30

40

50

【0010】

また、本発明者の検討によれば、上記特許文献1に開示されているHfまたはHf化合物、或いはZr, Sn, Fe, NiSi, CoSi及びそれらの化合物等を用いてハードマスク層を形成した場合、導電性は有するものの、これらのうち、Zr, Sn, Feは、酸化しやすく、酸化すると導電性が低下してしまう。また、NiSi, CoSiや、前記のMoSiやMoSiONのようなシリサイド系材料は、マスクブランクのハードマスク層の上面に形成する電子線描画用レジスト膜の濡れ性が特に悪く、そのため塗布したレジスト膜の膜厚が不均一であったり、たとえば描画後のレジスト膜の現像処理工程でレジスト膜が剥離、脱落してしまう場合のあることが判明した。なおこの場合、ハードマスク層を例えば市販のHMDS (Hexamethyldisilazane) 等を用いて予め表面処理することにより、レジスト膜の密着性を向上させる方法も考えられるが、製造工程が一つ増え、しかも大気中で実施するため、欠陥の発生率が上昇してしまい、歩留りが悪化するという不具合を生じる。

10

【0011】

そこで本発明は、上記従来のハードマスクにおける導電性とレジスト膜の濡れ性の2つの課題を解決するものであり、その目的とするところは、第一に、良好な導電性とレジスト膜の濡れ性を有する積層構成のハードマスク膜を備え、とくにCD均一性やCDリニアリティに優れたマスク製造が可能であるマスクブランクを提供することであり、第二に、上記マスクブランクを用いて、CD均一性やCDリニアリティに優れた転写マスクの製造方法を提供することである。

20

【課題を解決するための手段】

【0012】

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) 透光性基板上に、クロムを主成分とする材料で形成された遮光膜を有し、該遮光膜に転写用パターンを形成する際に電子線描画用レジスト膜を用いるマスクブランクであって、前記遮光膜の上面に設けられ、ケイ素の窒化物又は酸窒化物を含む材料で形成されるエッチングマスク膜と、該エッチングマスク膜の上面に設けられ、フッ素系ガス及び塩素ガスによってドライエッチングが可能である導電性材料で形成される導電性マスク膜とを有することを特徴とするマスクブランク。

(構成2) 前記導電性マスク膜は、モリブデン、チタン、バナジウム、ニオブおよびタングステンのうち1以上の成分、あるいはその窒化物を含む導電性材料で形成されることを特徴とする構成1記載のマスクブランク。

30

【0013】

(構成3) 透光性基板上に、順に、位相シフト膜と、クロムを主成分とする材料で形成された遮光膜とを有し、該遮光膜及び位相シフト膜に転写用パターンを形成する際に電子線描画用レジスト膜を用いるマスクブランクであって、前記遮光膜の上面に設けられ、ケイ素を含む材料で形成されるエッチングマスク膜と、該エッチングマスク膜の上面に設けられ、フッ素系ガスによってドライエッチングが可能である導電性材料で形成される導電性マスク膜とを有することを特徴とするマスクブランク。

40

【0014】

(構成4) 前記導電性マスク膜は、タンタル、モリブデン、チタン、バナジウム、ニオブおよびタングステンのうち1以上の成分、あるいはその窒化物を含む導電性材料で形成されることを特徴とする構成3記載のマスクブランク。

(構成5) 前記位相シフト膜は、モリブデンシリサイドの酸化物、窒化物又は酸窒化物のいずれかを含む材料で形成されることを特徴とする構成3又は4記載のマスクブランク。

【0015】

(構成6) 前記導電性マスク膜は、膜厚が2nm~20nmであることを特徴とする構成1乃至5のいずれか一項に記載のマスクブランク。

(構成7) 前記導電性マスク膜の上面に、膜厚が50nm~300nmの電子線描画用レジスト膜が形成されていることを特徴とする構成1乃至6のいずれか一項に記載のマスク

50

ブランク。

【 0 0 1 6 】

(構成 8) 構成 7 記載のマスクブランクを用いた転写用マスクの製造方法であって、前記マスクブランクにおける電子線描画用レジスト膜に対して電子線描画及び現像処理を行ってレジストパターンを形成する工程と、前記レジストパターンをマスクとして前記導電性マスク膜及び前記エッチングマスク膜をフッ素系ガスでドライエッチングして、導電性マスク膜パターン及びエッチングマスク膜パターンを形成する工程と、前記導電性マスク膜パターン及びエッチングマスク膜パターンをマスクとして前記遮光膜を塩素と酸素の混合ガスでドライエッチングして、遮光膜パターンを形成する工程とを有することを特徴とする転写用マスクの製造方法。

10

【 0 0 1 7 】

(構成 9) 前記導電性マスク膜パターン及びエッチングマスク膜パターンをマスクとして前記遮光膜を塩素と酸素の混合ガスでドライエッチングして、遮光膜パターンを形成しつつ、前記導電性マスク膜パターンを除去することを特徴とする構成 8 記載の転写用マスクの製造方法。

(構成 1 0) 前記遮光膜パターンをマスクとして前記位相シフト膜をフッ素系ガスでドライエッチングして、位相シフト膜パターンを形成しつつ、前記導電性マスク膜パターン及びエッチングマスク膜パターンを除去する工程をさらに有することを特徴とする請求項 8 記載の転写用マスクの製造方法。

20

【 発明の効果 】

【 0 0 1 8 】

本発明によれば、ハードマスクの機能を有し、さらに良好な導電性を有することから電子線描画を良好に実施でき、しかもレジスト膜の濡れ性が良好であることからマスクブランクとレジスト膜の密着性を向上できる利点を有するエッチングマスク膜と導電性マスク膜の積層構成のハードマスク膜を備えることにより、レジスト膜への電子線描画時の描画位置精度の悪化やチャージアップ現象を抑制でき、とくに C D 均一性や C D リニアリティに優れたマスク製造が可能であるマスクブランクを提供することができる。また、上記マスクブランクを用いて、C D 均一性や C D リニアリティに優れた転写マスクの製造方法を提供することができる。

30

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 9 】

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を詳述する。

(第 1 の実施の形態)

図 1 は本発明のマスクブランクの第 1 の実施の形態を示す断面図である。

図 1 のマスクブランク 1 0 は、透光性基板 1 上に、順に、遮光膜 2 と、エッチングマスク膜 3 と、導電性マスク膜 4 と、電子線描画用レジスト膜 5 とを有する形態のものである。ここで、透光性基板 1 としては、ガラス基板が一般的である。ガラス基板は、平坦度及び平滑度に優れるため、フォトリソマスクを使用して半導体基板上へのパターン転写を行う場合、転写パターンの歪み等が生じないで高精度のパターン転写を行える。

40

【 0 0 2 0 】

上記遮光膜 2 は、クロムを主成分とする材料で形成される。具体的な遮光膜 2 の材料としては、クロム単体のほか、クロムと、たとえばクロム単体よりもドライエッチング速度が速くなる添加元素とを含む材料が好ましく挙げられる。このようなクロム単体よりもドライエッチング速度が速くなる添加元素としては、例えば酸素及び / 又は窒素を含むことが好ましい。遮光膜 2 中に酸素を含む場合の酸素の含有量は、5 ~ 8 0 原子 % の範囲が好適である。酸素の含有量が 5 原子 % 未満であると、クロム単体よりもドライエッチング速度が速くなる効果が得られ難い。一方、酸素の含有量が 8 0 原子 % を超えると、波長 2 0 0 n m 以下の例えば A r F エキシマレーザー (波長 1 9 3 n m) における吸収係数が小さくなるため、所望の光学濃度を得るためには膜厚を厚くする必要が生じる。

50

【 0 0 2 1 】

また、遮光膜 2 中に窒素を含む場合の窒素の含有量は、20 ~ 80 原子%の範囲が好適である。窒素の含有量が20 原子%未満であると、クロム単体よりもドライエッチング速度が速くなる効果が得られ難い。また、窒素の含有量が80 原子%を超えると、波長200 nm以下の例えばArFエキシマレーザー（波長193 nm）における吸収係数が小さくなるため、所望の光学濃度を得るためには膜厚を厚くする必要があるが生じる。

【0022】

また、遮光膜 2 中に酸素と窒素の両方を含んでもよい。その場合の含有量は、酸素と窒素の合計が10 ~ 80 原子%の範囲とするのが好適である。また、遮光膜 2 中に酸素と窒素の両方を含む場合の酸素と窒素の含有比は、特に制約はされず、吸収係数等の兼ね合いで適宜決定される。

なお、酸素及び / 又は窒素を含む遮光膜 2 は、他に炭素、水素等の元素を含んでもよい。

また、上記遮光膜 2 は、単層であることに限られず、各層の組成が異なる多層構成としてもよい。また、上記遮光膜 2 は、その膜厚方向にそって段階的、又は連続的に組成傾斜した組成傾斜膜としても良い。

【0023】

上記遮光膜 2 の形成方法は、特に制約する必要はないが、なかでもスパッタリング成膜法が好ましく挙げられる。スパッタリング成膜法によると、均一で膜厚の一定な膜を形成することが出来るので、本発明には好適である。透光性基板 1 上に、スパッタリング成膜法によって上記遮光膜 2 を成膜する場合、スパッタターゲットとしてクロム（Cr）ターゲットを用い、チャンバー内に導入するスパッタガスは、アルゴンガスに酸素、窒素もしくは二酸化炭素等のガスを混合したものをを用いる。アルゴンガスに酸素ガス或いは二酸化炭素ガスを混合したスパッタガスを用いると、クロムに酸素を含む遮光膜を形成することができ、アルゴンガスに窒素ガスを混合したスパッタガスを用いると、クロムに窒素を含む遮光膜を形成することができる。

【0024】

上記遮光膜 2 の膜厚は、90 nm以下であることが好ましい。その理由は、近年におけるサブミクロンレベルのパターンサイズへのパターンの微細化に対応するためには、膜厚が90 nmを超えると、ドライエッチング時のパターンのマイクロローディング現象等によって、微細パターンの形成が困難となる場合が考えられるためである。膜厚をある程度薄くすることによって、パターンのアスペクト比（パターン幅に対するパターン高さ（深さ）の比）の低減を図ることができ、グローバルローディング現象及びマイクロローディング現象による線幅エラーを低減することができる。さらに、膜厚をある程度薄くすることによって、特にサブミクロンレベルのパターンサイズのパターンに対し、パターンへのダメージ（倒壊等）を防止することが可能になる。本発明における遮光膜 2 は、200 nm以下の露光波長においては、膜厚を90 nm以下の薄膜としても所望の光学濃度（通常3.0以上）を得ることができる。遮光膜 2 の膜厚の下限については、所望の光学濃度が得られる限りにおいては薄くすることができる。

【0025】

上記エッチングマスク膜 3 は、前記遮光膜 2 の上面に設けられ、ケイ素の窒化物又は酸窒化物を含む材料で形成される。具体的なエッチングマスク膜 3 の材料としては、例えば、SiN, SiON, MoSiN, MoSiON等の材料が好ましく挙げられる。このケイ素の窒化物又は酸窒化物を含む材料で形成されるエッチングマスク膜 3 は、クロムを主成分とする遮光膜 2 のドライエッチングに用いる塩素と酸素の混合ガスでエッチングされ難い特性を有するため、遮光膜 2 のドライエッチング時にエッチングマスク膜 3 と遮光膜 2 とのエッチング選択比が大きく、ハードマスクとして機能することができる。

【0026】

また後述するように、本実施の形態のマスクブランク 10 を用いて、その遮光膜 2 にパターンを形成してフォトマスクとした場合、上記エッチングマスク膜 3 は、パターンが形成された遮光膜 2 の上に残存するため、反射防止膜（つまり反射防止膜兼エッチングマス

10

20

30

40

50

ク膜)として機能する。遮光膜2の上にケイ素の窒化物又は酸窒化物を含む材料で形成される反射防止膜を有することによって、露光波長における反射率を例えば20%以下、好ましくは15%以下に抑えることができ、フォトマスク使用時の定在波の影響を低減する上で望ましい。さらに、マスクブランクやフォトマスクの欠陥検査に用いる波長(例えば257nm、364nm、488nm等)に対する反射率を例えば30%以下とすることができ、欠陥を高精度で検出する上で望ましい。特に、エッチングマスク膜3をSiON、MoSiON等の酸化窒化膜とすることにより、露光波長に対する反射率を低減させ、且つ、上記検査波長(特に257nm)に対する反射率を20%以下とすることができるので望ましい。

【0027】

上記導電性マスク膜4は、上記エッチングマスク膜3の上面に設けられ、フッ素系ガス及び塩素系ガスによってドライエッチングが可能である導電性材料で形成される。

このような導電性マスク膜4をエッチングマスク膜3の上面に設けることにより、遮光膜2上にハードマスク膜としてケイ素の窒化物又は酸窒化物を含む材料で形成される上記エッチングマスク膜3を設けた場合の導電性を向上させることができ、しかもマスクブランク10の上面、つまり導電性マスク膜4の上面に形成される電子線描画用レジスト膜5の濡れ性をも改善することができる。すなわち、エッチングマスク膜3と導電性マスク膜4の積層構成のハードマスク膜とすることにより、ハードマスクの機能を有し、さらに良好な導電性を有することから電子線描画を良好に実施でき、しかもレジスト膜の濡れ性が良好であることからマスクブランクとレジスト膜の密着性を向上させることができる。

【0028】

上記導電性マスク膜4は、モリブデン、チタン、バナジウム、ニオブおよびタングステンのうち1以上の成分、あるいはその窒化物を含む導電性材料で形成されるのが好ましく、具体的な材料としては、例えば、MoN、TiN、VN、NbN、WN、Mo、Ti、V、Nb等が好ましく挙げられる。

上記エッチングマスク膜3および導電性マスク膜4の形成方法は、特に制約する必要はないが、遮光膜2の場合と同様、スパッタリング成膜法が好ましく挙げられる。

【0029】

上記エッチングマスク膜3の膜厚は、膜厚の下限については、遮光膜2の膜厚との兼ね合いでエッチングマスクとして機能する限りにおいては薄くすることができる。また、エッチングマスク膜3の膜厚が厚いと、導電性マスク膜4とエッチングマスク膜3の積層膜にパターンを形成するためのレジスト膜の膜厚を厚くする必要が生じ、パターンの転写精度が低下するおそれがある。従って、エッチングマスク膜3の膜厚は、5nm~30nmであることが好ましい。

また、上記導電性マスク膜4の膜厚は、2nm~20nmの範囲であることが好ましい。その理由は、導電性マスク膜4の膜厚が2nm未満であると必要な導電性が十分に得られない場合があり、また、成膜時の膜厚ムラが大きくなってしまう。一方膜厚が20nmを超えると、導電性マスク膜4とエッチングマスク膜3の積層膜にパターンを形成するためのレジスト膜の膜厚を厚くする必要が生じ、パターンの転写精度が低下するおそれがあるからである。なお、エッチングマスク膜3と導電性マスク膜4の積層膜の膜厚は、7nm~32nmの範囲であることが望ましい。合計の膜厚が7nm未満であると、積層膜での遮光膜2のエッチングマスクとしての機能が不十分であり、合計の膜厚が32nmを超えると、レジスト膜の膜厚を厚くする必要が生じ、パターンの転写精度が低下するおそれがあるからである。

【0030】

また、本実施の形態のマスクブランクは、図1にあるように、上記導電性マスク膜4の上に、電子線描画用レジスト膜5を形成した形態であっても構わない。該レジスト膜5の膜厚は、導電性マスク膜4およびエッチングマスク膜3の積層膜のパターン精度(CD精度)を良好にするためには、できるだけ薄い方が好ましい。具体的には、レジスト膜5の膜厚は、300nm以下が好ましい。さらに好ましくは、200nm以下、さらに好ましく

10

20

30

40

50

は150nm以下とすることが望ましい。レジスト膜5の膜厚の下限は、レジストパターンをマスクにして上記導電性マスク膜4およびエッチングマスク膜3の積層膜をドライエッチングしたときに、レジスト膜が残存するように設定されるが、例えば50nm以上である。また、高い解像度を得るために、レジスト膜5の材料はレジスト感度の高い化学増幅型レジストが好ましい。また、化学増幅型レジストは、従来電子線描画で一般に使用されていた高分子型レジストに比べてドライエッチング耐性が良く、レジスト膜厚をさらに薄膜化することができる。

【0031】

次に、図1に示すマスクブランク10を用いたフォトマスク（転写用マスク）の製造方法を説明する。

図2は、マスクブランク10を用いたフォトマスクの製造工程を順に示す断面図である。

図1に示すマスクブランク10に形成されたレジスト膜5（ここではポジ型電子線描画用レジスト膜とする）に対し、電子線描画装置を用いて、所望のパターン描画を行い、描画後、レジスト膜5を現像処理してレジストパターン5aを形成する（図2（a）参照）。

本実施の形態においては、導電性マスク膜4の上面に形成される電子線描画用レジスト膜5の濡れ性が良好であることから、マスクブランクとレジスト膜の密着性を向上させることができる。また、本実施の形態では、遮光膜2上に、エッチングマスク膜3と導電性マスク膜4の積層構成のハードマスク膜を設けることにより、ハードマスクの機能を有し、しかも良好な導電性を有することから、レジスト膜5に対する電子線描画を良好に実施できる。

【0032】

次に、上記レジストパターン5aをマスクとして、前記導電性マスク膜4及びエッチングマスク膜3の積層膜をフッ素系ガス（例えば SF_6 等）でドライエッチングして、導電性マスク膜パターン4a及びエッチングマスク膜パターン3aを形成する（図2（b）参照）。本実施の形態の導電性マスク膜4及びエッチングマスク膜3はいずれもフッ素系ガスを用いて良好なドライエッチングが可能である。

次いで、残存する上記レジストパターン5aを剥離除去する（図2（c）参照）。

【0033】

次に、上記導電性マスク膜パターン4a及びエッチングマスク膜パターン3aをマスクとして、前記遮光膜2を塩素系（例えば Cl_2 、 SiCl_4 、 HCl 、 CCl_4 、 CHCl_3 等）と酸素の混合ガスでドライエッチングして、遮光膜パターン2aを形成する（図2（d）参照）。

なお、本実施の形態における導電性マスク膜3は、フッ素系ガスによっても塩素と酸素の混合ガスによってもドライエッチングが可能である導電性材料で形成されているため、上述の遮光膜2を塩素と酸素の混合ガスでドライエッチングした際に、遮光膜パターン2aを形成しつつ、導電性マスク膜パターン4aは除去される。

【0034】

こうして、図2（d）に示すような、透光性基板1上に、遮光膜パターン2aと反射防止機能を有するエッチングマスク膜パターン3aの積層膜からなるパターンが形成されたフォトマスク20ができあがる。

本発明によれば、遮光膜上に、ハードマスクの機能を有し、さらに良好な導電性を有することから電子線描画を良好に実施でき、しかもレジスト膜の濡れ性が良好であることからマスクブランクとレジスト膜の密着性を向上できるエッチングマスク膜と導電性マスク膜の積層構成のハードマスク膜を備えることにより、とくにCD均一性やCDリニアリティに優れたフォトマスク製造が可能である。

【0035】

（第2の実施の形態）

図3を用いて本発明のマスクブランクの第2の実施の形態を説明する。本実施の形態は

10

20

30

40

50

、位相シフトマスクブランクおよび該マスクブランクを用いて得られる位相シフトマスクに関するものである。

図3のマスクブランク30は、透光性基板1上に、位相シフト膜6と、その上の遮光膜2と、エッチングマスク膜3と、導電性マスク膜4と、電子線描画用レジスト膜5とを有する形態のものである。透光性基板1については、上記第1の実施の形態で説明したので省略する。

【0036】

上記位相シフト膜6は、実質的に露光に寄与しない強度の光（例えば、露光波長に対して1%～20%）を透過させるものであって、所定の位相差を有するものである。この位相シフト膜6は、該位相シフト膜6をパターンニングした光半透過部と、該位相シフト膜6が形成されていない実質的に露光に寄与する強度の光を透過させる光透過部とによって、光半透過部を透過した光の位相が光透過部を透過した光の位相に対して実質的に反転した関係になるようにすることによって、光半透過部と光透過部との境界部近傍を通過し回折現象によって互いに相手の領域に回りこんだ光が互いに打ち消しあうようにし、境界部における光強度をほぼゼロとし境界部のコントラスト即ち解像度を向上させるものである。

【0037】

この位相シフト膜6は、その上に形成される遮光膜2とエッチング特性が異なる材料とすることが好ましい。例えば、位相シフト膜6の材料としては、モリブデン、タンタル、タングステン、ジルコニウム等との金属シリサイドの酸化物、窒化物又は酸窒化物のいずれかを含む材料が好ましく挙げられる。さらに好ましくは、モリブデンシリサイドの酸化物、窒化物又は酸窒化物が挙げられる。また、位相シフト膜6は、単層でも多層構成であっても構わない。例えば、基板側から主として透過率調整機能を有すると、膜主として位相差調整機能を有する膜とが積層する2層構造の位相シフト膜が挙げられ、例えば、主として位相差調整機能を有するSiON膜と、主として透過率調整機能を有するTaHf膜の2層構造の位相シフト膜などがある。

なお、上記位相シフト膜6はたとえばスパッタリング成膜法によって形成され、その膜厚は、露光波長に対する透過率、位相差を考慮して適宜設定される。

【0038】

また、上記遮光膜2については、上記第1の実施の形態の場合と同様であるが、本実施の形態における遮光膜2は、表層部（上層部）に反射防止機能層を含むことが望ましい。その場合、反射防止機能層としては、例えばCrON、CrO、CrCO、CrCON等の材質が好ましく挙げられる。遮光膜2に反射防止機能層を含むことによって、露光波長における反射率を例えば20%以下、好ましくは15%以下に抑えることが、フォトリソマスク使用時の定在波の影響を低減する上で望ましい。さらに、マスクブランクやフォトリソマスクの欠陥検査に用いる波長（例えば257nm、364nm、488nm等）に対する反射率を例えば30%以下とすることが、欠陥を高精度で検出する上で望ましい。特に、反射防止機能層として炭素を含むことにより、露光波長に対する反射率を低減させ、且つ、上記検査波長（特に257nm）に対する反射率が20%以下とすることができる。

【0039】

本実施の形態では、上記エッチングマスク膜3は、前記遮光膜2の上面に設けられ、ケイ素を含む材料で形成される。具体的なエッチングマスク膜3の材料としては、ケイ素またはモリブデンシリサイドの酸化物、窒化物又は酸窒化物のいずれかを含む材料が挙げられ、例えば、SiN、SiON、MoSiN、MoSiON等の材料が好ましく挙げられる。

このケイ素を含む材料で形成されるエッチングマスク膜3は、クロムを主成分とする遮光膜2のドライエッチングに用いる塩素と酸素の混合ガスでエッチングされ難い特性を有するため、遮光膜2のドライエッチング時にエッチングマスク膜3と遮光膜2とのエッチング選択比が大きく、ハードマスクとして機能することができる。

なお、本実施の形態のマスクブランク30を用いて、フォトリソマスクとした場合、上記エッチングマスク膜3は、パターンが形成された遮光膜2の上に残存しないため、反射防止

10

20

30

40

50

機能を持たせることを考慮する必要はない。

【 0 0 4 0 】

本実施の形態では、上記導電性マスク膜 4 は、上記エッチングマスク膜 3 の上面に設けられ、フッ素系ガスによってドライエッチングが可能である導電性材料で形成される。

このような導電性マスク膜 4 をエッチングマスク膜 3 の上面に設けることにより、遮光膜 2 上にハードマスク膜としてケイ素を含む材料で形成される上記エッチングマスク膜 3 を設けた場合の導電性を向上させることができ、しかも導電性マスク膜 4 の上面に形成される電子線描画用レジスト膜 5 の濡れ性をも改善することができる。

【 0 0 4 1 】

本実施の形態では上記導電性マスク膜 4 は、少なくともフッ素系ガスによってドライエッチングが可能であればよいので、タンタル、モリブデン、チタン、バナジウム、ニオブおよびタングステンのうち 1 以上の成分、あるいはその窒化物を含む導電性材料で形成されるのが好ましく、具体的な材料としては、例えば、 TaN 、 MoN 、 TiN 、 VN 、 NbN 、 WN 、 TA 、 Mo 、 Ti 、 V 、 Nb 等が好ましく挙げられる。なお、このうちモリブデン、チタン、バナジウム、ニオブおよびタングステン、あるいはその窒化物は、フッ素系ガスだけでなく塩素と酸素の混合ガスによってもドライエッチングが可能である。

上記エッチングマスク膜 3 および導電性マスク膜 4 の形成方法、膜厚については、前述の第 1 の実施の形態の場合と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【 0 0 4 2 】

また、本実施の形態のマスクブランク 30 においても、図 3 にあるように、上記導電性マスク膜 4 の上に、電子線描画用レジスト膜 5 を形成した形態であっても構わない。該レジスト膜 5 の膜厚については、前述の第 1 の実施の形態の場合と同様である。

【 0 0 4 3 】

次に、図 3 に示すマスクブランク 30 を用いたフォトマスク（転写用マスク）の製造方法を説明する。

図 4 は、マスクブランク 30 を用いたフォトマスクの製造工程を順に示す断面図である。

図 3 に示すマスクブランク 30 に形成されたレジスト膜 5（ここではポジ型電子線描画用レジスト膜とする）に対し、電子線描画装置を用いて、所望のパターン描画を行い、描画後、レジスト膜 5 を現像処理してレジストパターン 5a を形成する（図 4（a）参照）。

【 0 0 4 4 】

本実施の形態においては、導電性マスク膜 4 の上面に形成される電子線描画用レジスト膜 5 の濡れ性が良好であることから、マスクブランクとレジスト膜の密着性を向上させることができる。また、本実施の形態では、遮光膜 2 上に、エッチングマスク膜 3 と導電性マスク膜 4 の積層構成のハードマスク膜を設けて機能分離させることにより、ハードマスクの機能を有するとともに、良好な導電性を有することから、レジスト膜 5 に対する電子線描画を良好に実施できる。

【 0 0 4 5 】

次に、上記レジストパターン 5a をマスクとして、前記導電性マスク膜 4 及びエッチングマスク膜 3 の積層膜をフッ素系ガス（例えば SF_6 等）でドライエッチングして、導電性マスク膜パターン 4a 及びエッチングマスク膜パターン 3a を形成する（図 4（b）参照）。本実施の形態の導電性マスク膜 4 及びエッチングマスク膜 3 はいずれもフッ素系ガスを用いて良好なドライエッチングが可能である。

次いで、残存する上記レジストパターン 5a を剥離除去する（図 4（c）参照）。

【 0 0 4 6 】

次に、上記導電性マスク膜パターン 4a 及びエッチングマスク膜パターン 3a をマスクとして、前記遮光膜 2 を塩素系（例えば Cl_2 、 $SiCl_4$ 、 HCl 、 CCl_4 、 $CHCl_3$ 等）と酸素の混合ガスでドライエッチングして、遮光膜パターン 2a を形成する（図 4（d）参照）。

10

20

30

40

50

なお、導電性マスク膜 3 が、前述のフッ素系ガスだけでなく塩素と酸素の混合ガスによってもドライエッチングが可能である導電性材料で形成されている場合、上述の遮光膜 2 を塩素と酸素の混合ガスでドライエッチングした際に、遮光膜パターン 2 a を形成しつつ、導電性マスク膜パターン 4 a は除去される。

【0047】

次に、上記遮光膜パターン 2 a をマスクとして、前記位相シフト膜 6 をフッ素系ガスでドライエッチングして、位相シフト膜パターン 6 a を形成する（図 4（e）参照）。この際、露出している導電性マスク膜パターン 4 a 及びエッチングマスク膜パターン 3 a（上記（c）工程で導電性マスク膜パターン 4 a がすでに除去されている場合は、エッチングマスク膜パターン 3 a のみ）についてもフッ素系ガスによってエッチングされて除去される。

10

【0048】

次に、再度、前記と同じレジスト膜を塗布し、転写領域内の不要な遮光膜パターンを除去するためのパターン露光を行った後、該レジスト膜を現像処理して、遮光膜パターン 2 a のうちの遮光帯として残す部分の表面にレジストパターン 5 b を形成する（図 4（f）参照）。次いで、塩素と酸素の混合ガスによるドライエッチングを用いて不要な部分を除去した遮光膜パターン 2 b を形成し（図 4（g）参照）、残存するレジストパターン 5 b を剥離して、位相シフトマスク 40 を得る。

こうして、図 4（h）に示すような、透光性基板 1 上に、位相シフト膜パターン 6 a とその位相シフト膜パターン 6 a 上の一部に遮光膜パターン 2 b が形成された位相シフトマスク 40 ができあがる。

20

【0049】

以上説明した本実施の形態によれば、遮光膜上に、ハードマスクの機能を有し、さらに良好な導電性を有することから電子線描画を良好に実施でき、しかもレジスト膜の濡れ性が良好であることからマスクブランクとレジスト膜の密着性を向上できるエッチングマスク膜と導電性マスク膜の積層構成のハードマスク膜を備えることにより、CD 精度の高い遮光膜パターンが形成され、さらにこの遮光膜パターンが位相シフト膜に転写されるので、とくに CD 均一性や CD リニアリティに優れた位相シフトマスク製造が可能である。

【実施例】

【0050】

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。併せて、実施例に対する比較例についても説明する。

30

（実施例 1）

石英ガラスからなる透光性基板上に、DC マグネトロンスパッタ装置を用いて、スパッタターゲットにクロムターゲットを使用し、アルゴンと窒素と二酸化炭素とヘリウムの混合ガス雰囲気（Ar：18 sccm、N₂：10 sccm、CO₂：18.8 sccm、He：32 sccm）中で、電力 1.8 kW の反応性スパッタリングを行い、膜厚 12 nm の CrOCN からなる裏面反射防止層を形成した。

続いて、クロムターゲットを使用し、アルゴンと一酸化窒素とヘリウムの混合ガス雰囲気（Ar：13 sccm、NO = 11.1 sccm、He：32 sccm）中で、電力 1.71 kW の反応性スパッタリングを行うことによって、膜厚 55 nm の CrON からなる遮光層を形成した。このようにして、総膜厚が 67 nm の裏面反射防止層及び遮光層からなる遮光膜が形成された。

40

【0051】

続いて、スパッタターゲットとして Mo と Si を含む混合ターゲット（Mo と Si の合計含有量に対する Mo 含有量が 9.5%）を使用し、アルゴンと一酸化窒素とヘリウムの混合ガス雰囲気（Ar：8 sccm、NO = 29 sccm、He：32 sccm）中で、電力 1.8 kW の反応性スパッタリングを行うことによって、膜厚 15 nm の MoSiON からなる反射防止膜兼エッチングマスク膜を形成した。

なお、反応性スパッタリング時には、DC 電源とスパッタリングカソードの間にパルス発

50

生ユニットを挿入し、DCパルススパッタリングを行った。

続いて、スパッターターゲットとしてMoターゲットを使用し、アルゴンと窒素の混合ガス雰囲気（Ar：24 sccm、N₂：3 sccm）中で、電力0.6 kWの反応性スパッタリングを行うことによって、膜厚3 nmのMoNからなる導電性マスク膜を形成した。

【0052】

上記のように作製した裏面反射防止層と遮光層と反射防止膜兼エッチングマスク膜との積層構造において、ArFエキシマレーザー（波長193 nm）に対する反射率は5.5%となっており、透光性基板の裏面側からの戻り光に対して反射を抑制しうる反射防止機能を有していた。また、上記裏面反射防止層と遮光層と反射防止膜兼エッチングマスク膜との積層構造において、ArFエキシマレーザー（波長193 nm）に対する光学濃度（OD：Optical Density）は3.0であった。

以上のようにしてバイナリマスクブランクを作製した。

【0053】

次に、上記バイナリマスクブランクを用いて、フォトマスクの製造を行った。

まず、上記マスクブランク上に、電子線描画用ポジ型レジスト膜（富士フィルムエレクトロニクスマテリアルズ社製 PRL009）を150 nmの膜厚に形成した。レジスト膜の形成は、スピナー（回転塗布装置）を用いて、回転塗布した。レジスト膜の濡れ性に問題はなかった。なお、上記レジスト膜を塗布後、加熱乾燥装置を用いて所定の加熱乾燥処理を行った。

次にマスクブランク上に形成されたレジスト膜に対し、電子線描画装置を用いて所望のパターン描画を行った後、所定の現像液で現像してレジストパターンを形成した。

【0054】

次に、上記レジストパターンをマスクとして、上記導電性マスク膜および反射防止膜兼エッチングマスク膜のドライエッチングを行って導電性マスク膜パターンおよび反射防止膜兼エッチングマスク膜パターンを形成した。ドライエッチングガスとして、フッ素系のSF₆ガスを用いた。

続いて、残存するレジストパターンを剥離後、上記反射防止膜兼エッチングマスク膜パターンをマスクとして、上記裏面反射防止層と遮光層とからなる遮光膜のドライエッチングを行って遮光膜パターンを形成した。ドライエッチングガスとして、Cl₂とO₂の混合ガス（Cl₂：O₂ = 4：1）を用いた。なお、この遮光膜のドライエッチングによって、上記導電性マスク膜パターンは除去されたため、遮光膜のドライエッチング終了後、形成されたパターンの表面には反射防止膜兼エッチングマスク膜パターンが露出していた。

以上のようにして本実施例のフォトマスクを得た。

【0055】

得られた本実施例のフォトマスクについては、パターン線幅の設計寸法と、得られた遮光膜パターンの実測値とのずれ量をCDリニアリティとして評価を行った。本実施例のフォトマスクのCDリニアリティは、3 nmであった。この値は、半導体デザインルールにおけるDRAMハーフピッチ32 nmでフォトマスクに求められるCDリニアリティ値を十分に満足するものであった。

また、上記導電性マスク膜の材料として上記MoNの代りに、WN，TiN，VN，NbN，Mo，Ti，V，Nbをそれぞれ使用したこと以外は上記実施例1と同様にして各マスクブランクを作製し、これら各マスクブランクを用いてフォトマスクを作製したところ、いずれのフォトマスクにおいても3 nm～4 nmと良好なCDリニアリティの遮光膜パターンが得られた。上記の各材質で導電性マスク膜の膜厚を2 nmとしたこと以外は実施例1と同様にして各マスクブランクを作製し、これら各マスクブランクを用いてフォトマスクを作製したところ、いずれのフォトマスクにおいても、CDリニアリティが4 nm以下と、DRAMハーフピッチ32 nmでフォトマスクに求められる値を十分に満足するものであった。それぞれのCD均一性についても十分に満足するものであった。

【0056】

(実施例2)

石英ガラスからなる透光性基板上に、DCマグネトロンスパッタ装置を用いて、スパッタターゲットとしてMoとSiを含む混合ターゲット(MoとSiの合計含有量に対するMo含有量が9.5%)を使用し、アルゴンと窒素とヘリウムの混合ガス雰囲気(Ar: 9 sccm、N₂: 81 sccm、He: 76 sccm)中で、電力2.8 kWの反応性スパッタリングを行うことによって、膜厚69 nmのMoSiNからなる位相シフト膜を形成した。なお、この位相シフト膜は、ArFエキシマレーザー(波長193 nm)において、透過率は6%、位相シフト量が略180度となっている。

【0057】

次に、上記位相シフト膜上に、同じくDCマグネトロンスパッタ装置を用いて、スパッタターゲットにクロムターゲットを使用し、アルゴンと二酸化炭素と窒素とヘリウムの混合ガス雰囲気(Ar: 20 sccm、CO₂: 35 sccm、N₂: 5 sccm、He: 30 sccm)中で、電力1.5 kWの反応性スパッタリングを行い、膜厚30 nmのCrOCNからなる裏面反射防止層を形成した。

続いて、クロムターゲットを使用し、アルゴンと窒素の混合ガス雰囲気(Ar: 25 sccm、N₂: 5 sccm)中で、電力1.7 kWの反応性スパッタリングを行い、膜厚4 nmのCrNからなる遮光層を形成した。

さらに続いて、クロムターゲットを使用し、アルゴンと二酸化炭素と窒素とヘリウムの混合ガス雰囲気(Ar: 20 sccm、CO₂: 35 sccm、N₂: 10 sccm、He: 30 sccm)中で、電力1.7 kWの反応性スパッタリングを行うことによって、膜厚14 nmのCrOCNからなる反射防止層を形成した。このようにして、総膜厚が48 nmの裏面反射防止層と遮光層と反射防止層とからなる遮光膜が形成された。

【0058】

続いて、スパッタターゲットとしてMoとSiを含む混合ターゲット(MoとSiの合計含有量に対するMo含有量が9.5%)を使用し、アルゴンと一酸化窒素とヘリウムの混合ガス雰囲気(Ar: 8 sccm、NO: 29 sccm、He: 32 sccm)中で、電力1.8 kWの反応性スパッタリングを行うことによって、膜厚12 nmのMoSiONからなるエッチングマスク膜を形成した。

なお、反応性スパッタリング時には、DC電源とスパッタリングカソードの間にパルス発生ユニットを挿入し、DCパルススパッタリングを行った。

続いて、スパッタターゲットとしてMoターゲットを使用し、アルゴンと窒素の混合ガス雰囲気(Ar: 24 sccm、N₂: 3 sccm)中で、電力0.6 kWの反応性スパッタリングを行うことによって、膜厚3 nmのMoNからなる導電性マスク膜を形成した。

【0059】

上記のように作製した位相シフト膜と遮光膜(裏面反射防止層と遮光層と反射防止層)との積層構造において、ArFエキシマレーザー(波長193 nm)に対する反射率は23.6%となっており、透光性基板の裏面側からの戻り光に対して反射を抑制しうる反射防止機能を有していた。また、上記位相シフト膜と遮光膜との積層構造において、ArFエキシマレーザー(波長193 nm)に対する光学濃度(OD: Optical Density)は3.1であった。

以上のようにしてハーフトーン型位相シフトマスクブランクを作製した。

【0060】

次に、上記位相シフトマスクブランクを用いて、位相シフトマスクの製造を行った。

まず、上記マスクブランク上に、電子線描画用ポジ型レジスト膜(富士フイルムエレクトロニクスマテリアルズ社製 PRL009)を150 nmの膜厚に形成した。レジスト膜の形成は、スピンナー(回転塗布装置)を用いて、回転塗布した。レジスト膜の濡れ性に問題はなかった。なお、上記レジスト膜を塗布後、加熱乾燥装置を用いて所定の加熱乾燥処理を行った。

次にマスクブランク上に形成されたレジスト膜に対し、電子線描画装置を用いて所望の

10

20

30

40

50

パターン描画を行った後、所定の現像液で現像してレジストパターンを形成した。

【0061】

次に、上記レジストパターンをマスクとして、上記導電性マスク膜およびエッチングマスク膜のドライエッチングを行って導電性マスク膜パターンおよびエッチングマスク膜パターンを形成した。ドライエッチングガスとして、フッ素系の SF_6 ガスを用いた。

続いて、残存するレジストパターンを剥離後、上記エッチングマスク膜パターンをマスクとして、上記裏面反射防止層と遮光層と反射防止層の積層からなる遮光膜のドライエッチングを行って遮光膜パターンを形成した。ドライエッチングガスとして、 Cl_2 と O_2 の混合ガス($\text{Cl}_2 : \text{O}_2 = 4 : 1$)を用いた。なお、この遮光膜のドライエッチングによって、上記導電性マスク膜パターンは除去されたため、遮光膜のドライエッチング終了後、形成された遮光膜パターンの表面にはエッチングマスク膜パターンが露出していた。

10

【0062】

次に、上述の遮光膜パターンをマスクとして、上記位相シフト膜のドライエッチングを行って位相シフト膜パターンを形成した。ドライエッチングガスとして、フッ素系の SF_6 ガスを用いた。なお、この位相シフト膜のドライエッチングによって、上記エッチングマスク膜パターンは除去されたため、位相シフト膜のドライエッチング終了後、遮光膜パターンが露出していた。

次に、再度前記と同じレジスト膜を塗布し、転写領域内の不要な遮光膜パターンを除去するためのパターン露光を行った後、該レジスト膜を現像してレジストパターンを形成した。次いで、 Cl_2 と O_2 の混合ガス($\text{Cl}_2 : \text{O}_2 = 4 : 1$)によるドライエッチングを用いて不要な遮光膜パターンを除去し、残存するレジストパターンを剥離して、本実施例の位相シフトマスクを得た。

20

【0063】

得られた本実施例の位相シフトマスクは、形成した位相シフト膜パターンのCDリニアリティは、3 nmであり、DRAMハーフピッチ32 nmでフォトマスクに求められる値を十分に満足するものであった。また、CD均一性についても十分に満足するものであった。また、実施例2と同様に、実施例1で行ったように、導電性マスク膜の材質を変えてマスクブランクおよびフォトマスクを作製したところ、いずれのフォトマスクにおいても3 nm~4 nmと良好なCDリニアリティの遮光膜パターンが得られた。さらに、上記の各材質で導電性マスク膜の膜厚を2 nmとし、エッチングマスク膜の膜厚を5 nmとしたこと以外は実施例2と同様にして各マスクブランクを作製し、これら各マスクブランクを用いてフォトマスクを作製したところ、いずれのフォトマスクにおいても、CDリニアリティが5 nm未満と、DRAMハーフピッチ32 nmでフォトマスクに求められる値を十分に満足するものであった。それぞれのCD均一性についても十分に満足するものであった。

30

【0064】

(実施例3)

実施例2の位相シフトマスクブランクにおけるMoNからなる導電性マスク膜に代えて、以下のように形成したTa₂Nからなる導電性マスク膜を適用したこと以外は、実施例2と同様にして本実施例の位相シフトマスクブランクを作製した。

40

スパッタターゲットとしてTaターゲットを使用し、キセノンと窒素の混合ガス雰囲気($\text{Xe} : 11 \text{ sccm}$ 、 $\text{N}_2 : 15 \text{ sccm}$)中で、電力1.5 kWの反応性スパッタリングを行うことによって、膜厚3 nmのTa₂Nからなる導電性マスク膜を形成した。

【0065】

得られた本実施例の位相シフトマスクブランクを用いて、実施例2と同様に位相シフトマスクの製造を行った。

得られた本実施例の位相シフトマスクは、形成した位相シフト膜パターンのCDリニアリティは、3 nmであり、DRAMハーフピッチ32 nmでフォトマスクに求められる値を十分に満足するものであった。また、CD均一性についても十分に満足するものであった。また、導電性マスク膜の膜厚を2 nmとし、エッチングマスク膜の膜厚を5 nmとし

50

たこと以外は実施例 3 と同様にして各マスクブランクを作製し、これら各マスクブランクを用いてフォトマスクを作製したところ、いずれのフォトマスクにおいても、CD リニアリティが 5 nm 未満と、DRAM ハーフピッチ 32 nm でフォトマスクに求められる値を十分に満足するものであった。CD 均一性についても十分に満足するものであった。

【0066】

(実施例 4)

実施例 2 の位相シフトマスクブランクにおける MoSiON からなるエッチングマスク膜に代えて、以下のように形成した SiON からなるエッチングマスク膜を適用したこと以外は、実施例 2 と同様にして本実施例の位相シフトマスクブランクを作製した。

スパッターターゲットとして Si ターゲットを使用し、アルゴンと一酸化窒素とヘリウムの混合ガス雰囲気 (Ar : 8 sccm、NO = 29 sccm、He : 32 sccm) 中で、電力 1.8 kW の反応性スパッタリングを行うことによって、膜厚 15 nm の SiON からなるエッチングマスク膜を形成した。

【0067】

得られた本実施例の位相シフトマスクブランクを用いて、実施例 2 と同様に位相シフトマスクの製造を行った。

得られた本実施例の位相シフトマスクは、形成した位相シフト膜パターンの CD リニアリティは、3 nm であり、DRAM ハーフピッチ 32 nm でフォトマスクに求められる値を十分に満足するものであった。また、CD 均一性についても十分に満足するものであった。また、実施例 4 と同様に、実施例 1 で行ったように、導電性マスク膜の材質を変えてマスクブランクおよびフォトマスクを作製したところ、いずれのフォトマスクにおいても 3 nm ~ 4 nm と良好な CD リニアリティの遮光膜パターンが得られた。さらに、上記の各材質で導電性マスク膜の膜厚を 2 nm とし、エッチングマスク膜の膜厚を 5 nm としたこと以外は実施例 4 と同様にして各マスクブランクを作製し、これら各マスクブランクを用いてフォトマスクを作製したところ、いずれのフォトマスクにおいても、CD リニアリティが 5 nm 未満と、DRAM ハーフピッチ 32 nm でフォトマスクに求められる値を十分に満足するものであった。それぞれの CD 均一性についても十分に満足するものであった。

【0068】

(実施例 5)

石英ガラスからなる透光性基板上に、DC マグネトロンスパッタ装置を用いて、スパッタターゲットとして Mo と Si を含む混合ターゲット (Mo と Si の合計含有量に対する Mo 含有量が 4%) を使用し、アルゴン、窒素、酸素およびヘリウムの混合ガス雰囲気 (Ar : 11.5 sccm、N₂ = 50 sccm、O₂ = 8.1 sccm、He : 100 sccm) 中で、反応性スパッタリングを行うことによって、膜厚 74 nm の MoSiON からなる位相シフト膜を形成した。なお、この位相シフト膜は、ArF エキシマレーザー (波長 193 nm) において、透過率は 20%、位相シフト量が 177.4 度となっている。

【0069】

次に、上記位相シフト膜上に、同じく DC マグネトロンスパッタ装置を用いて、スパッタターゲットにクロムターゲットを使用し、アルゴンと二酸化炭素と窒素とヘリウムの混合ガス雰囲気 (Ar : 18 sccm、CO₂ : 18.8 sccm、N₂ : 10 sccm、He : 32 sccm) 中で、電力 1.8 kW の反応性スパッタリングを行い、膜厚 28 nm の CrOCN からなる裏面反射防止層を形成した。

続いて、クロムターゲットを使用し、アルゴンと一酸化窒素とヘリウムの混合ガス雰囲気 (Ar : 13 sccm、NO : 11.1 sccm、He : 32 sccm) 中で、電力 1.71 kW の反応性スパッタリングを行い、膜厚 7 nm の CrON からなる遮光層を形成した。

さらに続いて、クロムターゲットを使用し、アルゴンと窒素と二酸化炭素とヘリウムの混合ガス雰囲気 (Ar : 18 sccm、N₂ : 10 sccm、CO₂ : 18.8 sccm、

10

20

30

40

50

He : 32 sccm) 中で、電力 1.8 kW の反応性スパッタリングを行い、膜厚 15 nm の CrON からなる反射防止層を形成した。このようにして、総膜厚が 50 nm の裏面反射防止層と遮光層と反射防止層とからなる遮光膜が形成された。

【0070】

次に、上記遮光膜上に、実施例 2 と同様の膜厚 15 nm の MoSiON からなるエッチングマスク膜および膜厚 3 nm の MoN からなる導電性マスク膜を形成した。

上記のように作製した位相シフト膜と遮光膜（裏面反射防止層と遮光層と反射防止層）との積層構造において、ArF エキシマレーザー（波長 193 nm）に対する反射率は 18.8% となっており、透光性基板の裏面側からの戻り光に対して反射を抑制しうる反射防止機能を有していた。また、上記位相シフト膜と遮光膜との積層構造において、ArF エキシマレーザー（波長 193 nm）に対する光学濃度（OD : Optical Density）は 3.0 であった。

以上のようにして本実施例のハーフトーン型位相シフトマスクブランクを作製した。

【0071】

得られた本実施例の位相シフトマスクブランクを用いて、実施例 2 と同様に位相シフトマスクの製造を行った。

得られた本実施例の位相シフトマスクは、形成した位相シフト膜パターンの CD リニアリティは、3 nm であり、DRAM ハーフピッチ 32 nm でフォトマスクに求められる値を十分に満足するものであった。また、CD 均一性についても十分に満足するものであった。また、実施例 5 と同様に、実施例 1 で行ったように、導電性マスク膜の材質を変えてマスクブランクおよびフォトマスクを作製したところ、いずれのフォトマスクにおいても 3 nm ~ 4 nm と良好な CD リニアリティの遮光膜パターンが得られた。さらに、上記の各材質で導電性マスク膜の膜厚を 2 nm とし、エッチングマスク膜の膜厚を 5 nm としたこと以外は実施例 5 と同様にして各マスクブランクを作製し、これら各マスクブランクを用いてフォトマスクを作製したところ、いずれのフォトマスクにおいても、CD リニアリティが 5 nm 未満と、DRAM ハーフピッチ 32 nm でフォトマスクに求められる値を十分に満足するものであった。それぞれの CD 均一性についても十分に満足するものであった。

【0072】

（比較例 1）

石英ガラスからなる透光性基板の上に、インライン型の DC マグネトロンスパッタ装置を用いて、裏面反射防止層と表面層（遮光層と反射防止層とを兼ねる層）とからなる総膜厚が 73 nm の遮光膜を連続成膜で形成した。

最初に、スパッターターゲットにクロムターゲットを使用し、アルゴンと窒素の混合ガス雰囲気（Ar : 72 sccm、N₂ : 28 sccm）中で、電力 1.7 kW の反応性スパッタリングを行い、CrN からなる裏面反射防止層を形成した。

続いて、クロムターゲットを使用し、アルゴンおよびメタンの混合ガスと、一酸化窒素と、ヘリウムの混合ガス雰囲気（Ar + CH₄ : 105 sccm、NO = 3 sccm、He : 40 sccm）中で、電力 1.7 kW の反応性スパッタリングを行い、下層に CrCN 層、上層に CrON 層の 2 層構造の表面層を形成した。

【0073】

続いて、スパッターターゲットとして Mo と Si を含む混合ターゲット（Mo と Si の合計含有量に対する Mo 含有量が 9.5%）を使用し、アルゴンと一酸化窒素とヘリウムの混合ガス雰囲気（Ar : 8 sccm、NO = 29 sccm、He : 32 sccm）中で、電力 1.8 kW の反応性スパッタリングを行うことによって、膜厚 15 nm の MoSiON からなるエッチングマスク膜を形成した。

【0074】

上記のように作製した裏面反射防止層と表面層との積層からなる遮光膜において、ArF エキシマレーザー（波長 193 nm）に対する反射率は 19.8% であった。また、ArF エキシマレーザー（波長 193 nm）に対する光学濃度（OD : Optical Density）は

10

20

30

40

50

3.0であった。

以上のようにして本比較例のバイナリマスクブランクを作製した。

【0075】

得られた本比較例のバイナリマスクブランクを用いて、実施例1と同様にフォトマスクの製造を行った。

得られた本比較例のフォトマスクは、形成した遮光膜パターンのCDリニアリティは、7nmであり、DRAMハーフピッチ32nmでフォトマスクに求められる値を満たすものにはならなかった。また、CD均一性についてもばらつきが大きく、求められる値を満たすものにはならなかった。

【0076】

10

(比較例2)

石英ガラスからなる透光性基板上に、DCマグネトロンスパッタ装置を用いて、スパッタターゲットとしてMoとSiを含む混合ターゲット(MoとSiの合計含有量に対するMo含有量が9.5%)を使用し、アルゴンと窒素とヘリウムの混合ガス雰囲気(Ar: 9sccm、N₂: 81sccm、He: 76sccm)中で、電力2.8kWの反応性スパッタリングを行うことによって、膜厚69nmのMoSiNからなる位相シフト膜を形成した。なお、この位相シフト膜は、ArFエキシマレーザー(波長193nm)において、透過率は6%、位相シフト量が略180度となっている。

【0077】

20

次に、上記位相シフト膜上に、インライン型のDCマグネトロンスパッタ装置を用いて、裏面反射防止層と表面層(遮光層と反射防止層とを兼ねる層)とからなる総膜厚が59nmの遮光膜を連続成膜で形成した。

最初に、スパッタターゲットにクロムターゲットを使用し、アルゴンと窒素の混合ガス雰囲気(Ar: 72sccm、N₂: 28sccm)中で、電力1.7kWの反応性スパッタリングを行い、CrNからなる裏面反射防止層を形成した。

続いて、クロムターゲットを使用し、アルゴンおよびメタンの混合ガスと、一酸化窒素と、ヘリウムの混合ガス雰囲気(Ar + CH₄: 95sccm、NO: 5sccm、He: 40sccm)中で、電力1.7kWの反応性スパッタリングを行い、下層にCrCN層、上層にCrON層の2層構造の表面層を形成した。

【0078】

30

続いて、スパッタターゲットとしてMoとSiを含む混合ターゲット(MoとSiの合計含有量に対するMo含有量が9.5%)を使用し、アルゴンと一酸化窒素とヘリウムの混合ガス雰囲気(Ar: 8sccm、NO: 29sccm、He: 32sccm)中で、電力1.8kWの反応性スパッタリングを行うことによって、膜厚12nmのMoSiONからなるエッチングマスク膜を形成した。

【0079】

上記のように作製した位相シフト膜と遮光膜(裏面反射防止層と表面層)との積層構造において、ArFエキシマレーザー(波長193nm)に対する光学濃度(OD: Optical Density)は3.1であった。

以上のようにしてハーフトーン型位相シフトマスクブランクを作製した。

40

【0080】

得られた本比較例のバイナリマスクブランクを用いて、実施例2と同様にフォトマスクの製造を行った。

得られた本比較例のフォトマスクは、形成した遮光膜パターンのCDリニアリティは、6nmであり、DRAMハーフピッチ32nmでフォトマスクに求められる値を満たすものにはならなかった。また、CD均一性についてもばらつきが大きく、求められる値を満たすものにはならなかった。

【図面の簡単な説明】

【0081】

【図1】本発明に係るマスクブランクの第1の実施の形態を示す断面図である。

50

【図 2】図 1 のマスクブランクを用いたフォトマスクを製造工程を示す断面図である。

【図 3】本発明に係るマスクブランクの第 2 の実施の形態を示す断面図である。

【図 4】図 3 のマスクブランクを用いたフォトマスクを製造工程を示す断面図である。

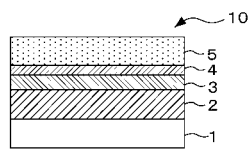
【符号の説明】

【 0 0 8 2 】

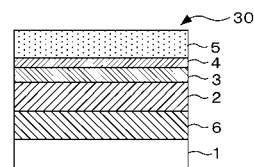
- 1 透光性基板
- 2 遮光膜
- 3 エッチングマスク膜
- 4 導電性マスク膜
- 5 レジスト膜
- 6 位相シフト膜
- 10 マスクブランク
- 20 フォトマスク
- 30 位相シフトマスクブランク
- 40 位相シフトマスク

10

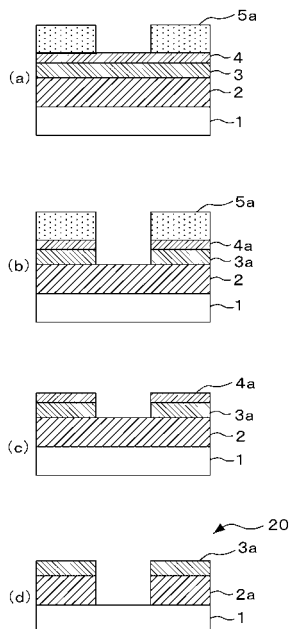
【図 1】



【図 3】



【図 2】



【図 4】

