明　細　書

発明の名称 ：

マスクブランク、転写用マスク、及び半導体デバイスの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、マスクブランク、転写用マスク、及び半導体デバイスの製造方法に関するものである。

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転写用マスクが使用される。この転写用マスクは、一般に透光性のガラス基板上に、金属薄膜等からなる微細な転写パターンを設けたものである。この転写用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] 近年、半導体デバイスのパターンの微細化に伴い、転写用マスクに形成されるマスクパターンの微細化が進んできている。通常、転写用マスクは、基板上にパターン形成用の薄膜を備えるマスクブランクを用いて製造される。転写用マスクを露光装置のマスクステージにセットし、ＡｒＦエキシマレーザー等の露光光を照射することで、その転写用マスクの薄膜パターン（転写パターン）を透過した露光光によって、転写対象物（ウェハ上のレジスト膜等）にパターンが転写される。

[0004] 一般に、転写用マスクの基板上に欠陥が存在している場合、その転写用マスクを用いてウェハ上のレジスト膜に露光転写を行ったときに、その欠陥の像がそのレジスト膜に転写される現象が起こる。このため、マスクブランクから転写用マスクを製造した後には、マスク欠陥検査装置によるマスク欠陥検査が行われる。一方、以前より、転写用マスクを製造する原版となるマスクブランクにおいても、特に転写パターンが形成される領域では、基板上に欠陥がないことが望まれている。そのため、従来、マスクブランクにおいても、たとえばマスクブランクの製造過程で発生する欠陥の検査が行われてい

る（特許文献１等参照）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開２０１０－１７５６６０号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかし、近年、マスクブランクを欠陥検査する欠陥検査装置の性能が大きく向上してきており、従来では検出できないような大きさの欠陥を検出できるようになってきている。このため、従来よりも、欠陥検査時に欠陥が検出されるマスクブランクの比率が高くなってきている。マスクブランクの製造における欠陥検査工程で、基板上に欠陥がないマスクブランクのみを選定すると、製造歩留まりが大きく低下するという問題があった。

[0007] 本発明者らは、転写用マスクの基板上（基板の主表面）に欠陥が存在していても、その欠陥の条件によっては、マスク欠陥検査で検出されない場合があるという仮説を立てた。また、その基板上に欠陥が存在していても、その欠陥の条件によっては、転写像への影響の問題は生じない場合があるという仮説を立てた。あるいは、その影響が許容範囲内に収まるほど小さい場合があるという仮説を立てた。本発明者らはさらに、これらの仮説の検証を行い、一定の知見を得た。

[0008] 本発明の目的とするところは、第１に、マスクブランクの基板主表面上に欠陥が存在していても、その欠陥は転写用マスクによる転写像への影響がないものとして合格品とすることができるマスクブランクを提供することである。

本発明の目的とするところは、第２に、転写用マスクの基板主表面上に欠陥が存在していても、その欠陥は転写用マスクによる転写像への影響がないものとして合格品とすることができる転写用マスクを提供することである。

本発明の目的とするところは、第３に、かかる転写用マスクを用いて、微

細パターンの形成された高品質の半導体デバイスの製造方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明者らは、上記課題を解決するべく、以下のような検討を試みた。

欠陥検査装置で検出される、例えば転写用マスクの基板上に存在する欠陥には、様々な形状、平面視の大きさ、高さのものがある。本発明者らは、転写用マスクの基板上（基板の主表面）に欠陥が存在しても、その欠陥の条件によっては、マスク欠陥検査で検出されない場合があるという仮説を立てた。本発明者らはさらに、そのマスク欠陥検査によって検出されない欠陥が転写用マスクの基板上にあった場合であっても、その転写用マスクを用いてウェハ上のレジスト膜に露光転写を行ったときに、その欠陥の像がレジスト膜に転写されず、現像処理等を経てレジストパターンを形成したときにレジスト膜に欠陥の影響が現れない場合があるという仮説を立てた。あるいは、そのレジスト膜に欠陥が転写されたとしても、現像処理等を行ってレジストパターンを形成した時にその欠陥によってパターンの精度に与える影響が許容範囲内に収まるほどの小さい場合があるという仮説を立てた。

[0010] 本発明者らは、これらの仮説を検証するために、基板の主表面に異なる大きさと高さの凸欠陥（プログラム欠陥）を多数配置したプログラムマスクを製造した。このプログラムマスクに対し、マスク欠陥検査装置Teron（KLA Tencor社製）を用いて各凸欠陥の検出有無の検証を行った。さらに、このプログラムマスクに対し、AIMS193（Carl Zeiss社製）により、そのプログラムマスクを用いて露光転写を行ったときの転写像をシミュレーションし、各凸欠陥が転写像に与える影響を検証した。その結果、マスク欠陥検査で検出できなかった凸欠陥は、いずれも転写像に与える影響が小さく実質的に問題とならないということが判明した。すなわち、マスク欠陥検査で検出できない凸欠陥は、実際に存在していても、転写像への影響の問題は生じないということがわかった。

[0011] さらに、本発明者らは、これらの検証結果を基に、転写用マスクにおける

基板上の凸欠陥であって、マスク欠陥検査で検出されない凸欠陥は、その凸欠陥の幅と高さの関係が、所定の関係を満たすものであることを突き止めた。

そして、さらに検討の結果、マスクブランクの基板上に、幅と高さの関係が所定の関係を満たす欠陥が存在していても、その欠陥は転写像への影響がないものとして合格品にすることができるという結論に至り、以下の構成を有する発明を完成させたものである。

[0012] （構成１）

透光性基板の主表面上に、転写パターン形成用の薄膜を備えたマスクブランクであって、前記透光性基板の前記主表面に欠陥が存在し、前記欠陥は、前記主表面側から見たときの幅をｗ、前記主表面から垂直方向での前記欠陥の先端までの長さをＬとしたとき、

$L \leqq 97.9 \times w^{-0.4}$

の関係を満たすことを特徴とするマスクブランク。

[0013] （構成２）

前記欠陥の前記長さＬは、１３ｎｍ以下であることを特徴とする構成１に記載のマスクブランク。

（構成３）

前記欠陥の前記幅ｗは、２００ｎｍ以下であることを特徴とする構成１又は２に記載のマスクブランク。

[0014] （構成４）

前記欠陥は、前記薄膜に転写パターンが形成される領域内の前記透光性基板の主表面上に存在することを特徴とする構成１乃至３のいずれかに記載のマスクブランク。

（構成５）

前記欠陥は、ケイ素と酸素を含有していることを特徴とする構成１乃至４のいずれかに記載のマスクブランク。

[0015] （構成６）

前記薄膜は、ＡｒＦエキシマレーザーの露光光を２％以上の透過率で透過させる機能と、前記薄膜を透過した前記露光光に対して前記薄膜の厚さと同じ距離だけ空気中を通過した前記露光光との間で１５０度以上２００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乃至５のいずれかに記載のマスクブランク。

[0016]（構成７）

透光性基板の主表面上に、転写パターンが形成された薄膜を備えた転写用マスクであって、前記透光性基板の前記主表面に欠陥が存在し、前記欠陥は、前記主表面側から見たときの幅をｗ、前記主表面から垂直方向での前記欠陥の先端までの長さをＬとしたとき、

$L \leqq 97.9 \times w^{-0.4}$

の関係を満たすことを特徴とする転写用マスク。

[0017]（構成８）

前記欠陥の前記長さＬは、１３ｎｍ以下であることを特徴とする構成７に記載の転写用マスク。

（構成９）

前記欠陥の前記幅ｗは、２００ｎｍ以下であることを特徴とする構成７又は８に記載の転写用マスク。

[0018]（構成１０）

前記欠陥は、前記薄膜に転写パターンが形成されている領域内の前記透光性基板の主表面上に存在することを特徴とする構成７乃至９のいずれかに記載の転写用マスク。

（構成１１）

前記欠陥は、ケイ素と酸素を含有していることを特徴とする構成７乃至１０のいずれかに記載の転写用マスク。

[0019]（構成１２）

前記薄膜は、ＡｒＦエキシマレーザーの露光光を２％以上の透過率で透過させる機能と、前記薄膜を透過した前記露光光に対して前記薄膜の厚さと同

じ距離だけ空気中を通過した前記露光光との間で１５０度以上２００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乃至１１のいずれかに記載の転写用マスク。

[0020] （構成１３）

構成７乃至１２のいずれかに記載の転写用マスクを用い、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

[0021] 本発明によれば、マスクブランクの基板主表面上に欠陥が存在していても、その欠陥は転写用マスクによる転写像への影響がないものとして合格品とすることができるマスクブランクを提供することができる。

また、本発明によれば、転写用マスクの基板主表面上に欠陥が存在していても、その欠陥は転写用マスクによる転写像への影響がないものとして合格品とすることができる転写用マスクを提供することができる。

また、本発明により得られる転写用マスクを用いて、微細パターンの形成された高品質の半導体デバイスを製造することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]マスクブランクの断面概略図である。

[図2]マスクブランク用基板の断面図である。

[図3]転写用マスクの断面概略図である。

[図4]プログラム欠陥の構成を示す平面図である。

[図5]プログラム欠陥の構成を示す断面図である。

[図6]基板の主表面に凸欠陥（プログラム欠陥）を多数配置した複数枚のプログラムマスクに対し、マスク欠陥検査装置Teronによる各凸欠陥の検出有無の検証結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下、本発明を実施するための形態について図面を参照しながら詳述する。

前述のように、本発明者らは、転写用マスクの基板上（基板の主表面）に欠陥が存在していても、その欠陥の条件によっては、マスク欠陥検査で検出されない場合があるという仮説を立てた。本発明者らはまた、欠陥が存在していても、その欠陥の条件によっては、転写像への影響の問題は生じない、あるいはその影響が許容範囲内に収まるほど小さい場合があるという仮説を立てた。本発明者らはさらにこれらの仮説の検証を行い、得られた知見に基づき本発明を完成させた。以下に、詳しく説明する。

[0024] 本発明者らは、転写用マスクの基板上（基板の主表面）に欠陥が存在しても、その欠陥の条件によっては、マスク欠陥検査で検出されない場合があるとう仮説を立てた。本発明者らはさらに、そのマスク欠陥検査によって検出されない欠陥が転写用マスクの基板上に存在している場合であっても、その転写用マスクを用いてウェハ（半導体基板）上のレジスト膜に露光転写を行ったときに、その欠陥の像がレジスト膜に転写されず、現像処理等を経てレジストパターンを形成したときにレジスト膜に欠陥の影響が現れない場合があるという仮説を立てた。あるいは、そのレジスト膜に欠陥が転写されたとしても、現像処理等を行ってレジストパターンを形成した時にその欠陥によってパターンの精度に与える影響が許容範囲内に収まるほど小さい場合があるという仮説を立てた。

[0025] 本発明者らは、これらの仮説を検証するために、複数枚のプログラムマスクを製造した。各プログラムマスクには、基板の主表面上に多数の凸欠陥（プログラム欠陥）が配置されている。１枚のプログラムマスクに配置されている多数の凸欠陥の高さは、いずれも実質的に同じであるが、その多数の凸欠陥の大きさ（主表面側から見た（すなわち、平面視）ときの大きさ（例えば幅））は異なっている。また、その１枚のプログラムマスクには、その多数の凸欠陥の上にライン・アンド・スペースの薄膜パターン（転写パターン）が配置されている。さらに、各プログラムマスクの間での凸欠陥の高さはそれぞれ異なっている。

[0026] 図４は、このような各プログラムマスクに設けられたプログラム欠陥の構

成を示す平面図であり、図５は、プログラム欠陥の構成を示す断面図である。

[0027] 図４及び図５に示されるとおり、基板（ガラス基板）１の主表面上に同じ大きさ（幅）および高さの凸欠陥を等間隔で複数（９個）配置している。そして、これら９個の等間隔で配置された同じ大きさおよび高さの凸欠陥１ａ、１ｂ、・・・、１ｈ、１ｉ（以下、１ａ～１ｉと記載することもある。）の上に、これら凸欠陥１ａ～１ｉの間隔とわずかにラインパターン２ｂの間隔が異なるライン・アンド・スペースの薄膜パターン（転写パターン）２ａを配置している。これによって、凸欠陥１ａ～１ｉと上記ラインパターン２ｂとの重なり具合が異なる状態が作られている。プログラム欠陥は、このように凸欠陥とラインパターンとの異なる重なり具合の状態が、異なる大きさの凸欠陥（実質的に同じ高さ）ごとに作られたものである。そして、１枚のプログラムマスクには、凸欠陥が同じ高さのプログラム欠陥のみが設けられている。すなわち、凸欠陥の高さの異なるプログラム欠陥ごとに別々のプログラムマスクが製造されている。

[0028] このプログラム欠陥の具体例を挙げると、例えば、凸欠陥の大きさ（幅）ｗは３２ｎｍ～２００ｎｍの範囲で、異なる大きさであり、実質的に同じ高さｈ（４ｎｍ～２４ｎｍの範囲で）の複数の凸欠陥を配置する。そして、これらの凸欠陥上に、例えばピッチ３６０ｎｍのライン・アンド・スペースの薄膜パターン（転写パターン）２ａを配置し、凸欠陥１ａ～１ｉとラインパターン２ｂとの重なり具合（図５中に示す幅ｍ）を制御する。なお、図４中のＬ字マークＭは、マスク欠陥検査時にマスク欠陥検査装置がプログラムマスク上のプログラム欠陥の位置を検出しやすくするために設けたマークである。

[0029] 透光性基板上に凸欠陥が存在しているマスクブランクから転写用マスクを製造する場合、そのマスクブランクのパターン形成用の薄膜に形成するパターンの形状や、主表面上のパターンの配置によって、完成した転写用マスクの薄膜パターンと凸欠陥との位置関係（パターンエッジと凸欠陥との重なり

具合）は、様々な状態になりうる。上記のような、薄膜のラインパターンと凸欠陥との重なり具合が異なるプログラム欠陥を用いて、マスク欠陥検査装置TeronとAIMS193による検証を行うことで、薄膜パターンと凸欠陥との位置関係に関わらず、マスク欠陥検査で凸欠陥が検出されず、露光転写を行ったときに凸欠陥が転写像に与える影響が生じない、あるいは影響が許容範囲内である凸欠陥の範囲を特定することが可能となる。

[0030] 以上のようなプログラム欠陥は、以下のような方法で作製することができる。

まず、たとえばエッチング法で、ガラス基板上に異なる大きさの凸欠陥を形成する。次いで、基板全面にパターン形成用の薄膜を成膜した後、レジストパターンを用いたフォトリソグラフィー法により、所定のライン・アンド・スペースの薄膜パターンを形成することによって、凸欠陥とラインパターンとの重なり具合の異なる状態が、異なる大きさの欠陥ごとに作られたプログラム欠陥が作製される。なお、凸欠陥の高さについては、ガラス基板に対するエッチング時間等で調整する。

[0031] 次に、このようなプログラム欠陥を配置した複数のプログラムマスクに対し、マスク欠陥検査装置Teron（KLA Tencor社製）を用いて各凸欠陥の検出有無の検証を行った。その結果、所定の凸欠陥は検出できないことが判明した。図６は、異なる大きさ（幅）と同じ高さのプログラム欠陥を配置した複数のプログラムマスクに対し、マスク欠陥検査装置Teronによる各凸欠陥の検出有無の検証結果を示す図である。

[0032] さらに、この複数のプログラムマスクに対し、AIMS193（Carl Zeiss社製）により、各プログラムマスクを用いて露光転写を行ったときの転写像をシミュレーションし、各凸欠陥が転写像に与える影響を検証した。その結果、その転写像に与える影響が大きくて問題となる凸欠陥と、転写像に与える影響が小さくて実質的に問題とならない凸欠陥が存在することが判明した。

[0033] また、これらの検証データを照らし合わせた結果、マスク欠陥検査で検出できなかった凸欠陥は、いずれも転写像に与える影響が小さくて実質的に問

題とならないということが判明した。すなわち、マスク欠陥検査で検出できない凸欠陥は、実際に存在していても、転写像への影響の問題は生じないということがわかった。

[0034] さらに、本発明者らは、これらの検証結果を基に、マスクブランクまたは転写用マスクにおける基板上の凸欠陥であって、マスク欠陥検査で検出されない凸欠陥は、その凸欠陥の幅ｗと高さｈの関係が、

$$h \leqq 97.9 \times w^{-0.4}$$

の関係を満たすものであることを突き止めた。なお、前述の図６には、$h = 97.9 \times w^{-0.4}$ の関係を示す曲線を描いている。

[0035] そして、本発明者らは、以上の検証結果から、マスクブランクまたは転写用マスクにおける基板上に、たとえば上記の幅ｗと高さｈの関係を満たす凸欠陥が存在していても、その凸欠陥は転写像への影響がないものとして合格品にすることができるという結論に至り、本発明を完成させることができた。

なお、以上は、本発明の一実施形態として、凸欠陥に関する検証結果を説明したが、凹欠陥の場合でも同様の結論が成り立つ。

[0036] 本発明のマスクブランクは、透光性基板の主表面上に、転写パターン形成用の薄膜を備えたマスクブランクであって、前記透光性基板の前記主表面に欠陥が存在し、前記欠陥は、前記主表面側から見たときの幅をｗ、前記主表面から垂直方向での前記欠陥の先端までの長さをＬとしたとき、

$$L \leqq 97.9 \times w^{-0.4} \quad \cdots (1)$$

の関係を満たすことを特徴とするものである。

[0037] ここで、上記基板の主表面に存在する上記欠陥とは、凸欠陥と凹欠陥の両方を含むものである。また、上記の主表面から垂直方向での欠陥の先端までの長さＬとは、凸欠陥の場合は、その高さｈであり、凹欠陥の場合は、その深さｄのことである。また、上記基板主表面に存在する上記欠陥は、例えばケイ素と酸素を含有している。

[0038] 本発明のマスクブランクは、そのマスクブランクの基板上に凸欠陥又は凹

欠陥が存在しているが、その凸欠陥又は凹欠陥は、そのマスクブランクを用いて転写用マスクを製造し、その転写用マスクに対してマスク欠陥検査を行ったときに検出されない特定の関係（上記の欠陥の幅ｗと上記長さＬとの関係式（１））を満たす凸欠陥又は凹欠陥である。これにより、マスクブランクを製造する際の欠陥検査工程で凸欠陥又は凸欠陥が検出されたマスクブランクに対し、上記の関係式（１）を満たす凸欠陥又は凹欠陥である場合は、その凸欠陥又は凹欠陥が存在していても、これらの欠陥は転写像への影響がないものとして合格品とすることができる。このため、合格品となるマスクブランクの比率が高くなり、高い歩留まりでマスクブランクを提供することができる。

[0039] 本発明のマスクブランクにおいて、上記欠陥の長さＬは、１３ｎｍ以下であることが好ましい。上記欠陥の長さＬ、つまり凸欠陥の場合はその高さｈが、凹欠陥の場合はその深さｄが１３ｎｍを超えると、そのような欠陥は、上記の欠陥の幅ｗと上記長さＬとの関係式（１）を満たさないことが多く、そのため転写像に与える影響が大きくなる。なお、上記欠陥の長さＬは、１１ｎｍ以下であるとより好ましい。これは、欠陥の長さＬが１１ｎｍ以下であり、かつ欠陥の幅ｗが２００ｎｍ以下であれば、この欠陥はマスク欠陥検査で検出されないためである。さらに、上記欠陥の長さＬは、６ｎｍ以下であるとさらに好ましい。これは、欠陥の長さＬが６ｎｍ以下であり、かつ欠陥の幅ｗが１０００ｎｍ以下であれば、この欠陥はマスク欠陥検査で検出されないためである。

[0040] また、本発明のマスクブランクにおいて、上記欠陥の幅ｗは、２００ｎｍ以下であることが好ましい。上記欠陥の幅ｗが２００ｎｍを超えると、そのような欠陥は、上記欠陥の幅ｗと上記長さＬとの関係式（１）を満たさないことが多く、そのため転写像に与える影響が大きくなる。

[0041] 本発明のマスクブランクは、透光性基板１の主表面上に、転写パターン形成用の薄膜２を備えたマスクブランク１０である（図１、図２参照）。

[0042] 上記透光性基板１は、半導体装置製造用の転写用マスク（例えば、バイナ

リマスク、位相シフトマスク等の透過型マスクなど）に用いられる基板であれば特に限定されない。したがって、上記透光性基板１は、使用する露光波長に対して透明性を有するものであれば特に制限されず、合成石英基板や、その他各種のガラス基板（例えば、ソーダライムガラス、アルミノシリケートガラス等）が用いられる。この中でも合成石英基板は、微細パターン形成に有効なＡｒＦエキシマレーザー（波長１９３ｎｍ）又はそれよりも短波長の領域で透明性が高いので、特に好ましく用いられる。

[0043] 透過型マスク製造用のマスクブランクの場合、上記薄膜２は、遮光膜、半透過膜、位相シフト膜や、これらの膜の積層膜が用いられる。上記薄膜２が位相シフト膜である場合、たとえば、ＡｒＦエキシマレーザー（波長１９３ｎｍ）の露光光を２％以上の透過率で透過させる機能と、上記薄膜を透過した上記露光光に対して上記薄膜の厚さと同じ距離だけ空気中を通過した上記露光光との間で１５０度以上２００度以下の位相差を生じさせる機能と、を有することが好ましい。また、目的に応じてさらにハードマスク膜やエッチングストッパー膜などを追加してもよい。薄膜２は、単一膜でも、あるいは、同じ種類または異なる種類の膜の積層膜とすることもできる。薄膜２の材料としては、例えば、クロム（Ｃｒ）を含有する材料、ケイ素（Ｓｉ）を含有する材料、ケイ素（Ｓｉ）及び遷移金属（Ｍｏなど）を含有する材料や、タンタル（Ｔａ）を含有する材料を用いることができるが、もちろんこれらの材料に限定されるわけではない。

[0044] 図１に示すマスクブランク１０のような透光性基板１上に薄膜２を形成する方法は特に制約される必要はないが、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好適である。

[0045] マスクブランクを製造する際の欠陥検査工程で凸欠陥または凹欠陥が検出されたマスクブランクであっても、上記欠陥の幅ｗと上記長さＬとの関係式（１）を満たす欠陥である場合は、これらの欠陥は転写像への影響がないものとして、そのマスクブランクを、欠陥検査の合格品として判定することが

可能である。これにより、欠陥検査の合格品となるマスクブランクの比率が高くなり、マスクブランクの生産歩留まりを向上させることができる。

[0046] 本発明では、上記欠陥は、上記薄膜に転写パターンが形成される領域内の透光性基板の主表面上に存在する欠陥である。ここで、一辺が約１５２ｍｍの四角形の主表面を有する基板である場合、その基板の主表面の中心を基準とする一辺が１３２ｍｍの四角形の内側領域を薄膜に転写パターンが形成される領域とすることが好ましい。このため、この基板の主表面の中心を基準とする一辺が１３２ｍｍの四角形の内側領域内の基板主表面上に欠陥が存在していても、上記の関係式（１）を満たす欠陥である場合は、そのマスクブランクを、欠陥検査の合格品として判定することが可能である。

[0047] 本発明のマスクブランク１０の透光性基板１の主表面は、薄膜に転写パターンが形成される領域の外側領域である場合には、上記の関係式（１）を満たさない幅ｗと長さＬを有する欠陥が存在してもよい。これは、薄膜２に転写パターンが形成される領域の外側領域は、転写像に与える影響が実質的にないためである。一方、本発明のマスクブランク１０の透光性基板１の主表面であって、薄膜２に転写パターンが形成される領域に存在する欠陥の全てが上記関係式（１）を満たすことが好ましい。他方、透光性基板１の主表面の薄膜２に転写パターンが形成される領域に、上記の関係式（１）を満たさない幅ｗと長さＬを有する欠陥が存在するマスクブランクであって、その欠陥数が少なく、薄膜２に転写パターンを配置するときにその欠陥の影響を受けないように配置することが可能であれば、合格品とすることも可能である。

[0048] 本発明のマスクブランク１０の透光性基板１の主表面は、薄膜に転写パターンが形成される領域であっても、所定数以下であれば、上記の関係式（１）を満たさない幅ｗと長さＬを有する欠陥が存在してもよい。上記の関係式（１）を満たさない欠陥の数が非常に少なければ、薄膜に形成する転写パターンの主表面上の位置を、その欠陥を薄膜が覆うように配置することで、マスク欠陥検査でその欠陥を検出されないようにすることが可能であるためで

ある。また、その欠陥が転写像に与える影響も小さくすることが可能であるためである。上記の関係式（１）を満たさない欠陥が許容される所定数は、このマスクブランク１０から作製される転写用マスクの仕様によっても変わるが、例えば５個であると好ましく、３個であるとより好ましく、１個であるとさらに好ましい。

[0049] 一方、マスクブランク１０は、薄膜に転写パターンが形成される領域に存在する欠陥は、全て上記の関係式（１）を満たす幅ｗと長さＬを有することが好ましい。このようなマスクブランク１０を用いれば、いずれの仕様の転写用マスクを作製しても、マスク欠陥検査でその欠陥が検出されることはなく、またその欠陥が転写像に影響を与えることもないためである。

[0050] 以上説明したように、マスクブランクの基板上に凸欠陥又は凹欠陥が存在していても、上記欠陥の幅ｗと上記長さＬとの関係式（１）を満たす凸欠陥又は凹欠陥である場合は、これらの欠陥は転写像への影響がないものとして合格品とすることができる。このため、合格品となるマスクブランクの比率が高くなり、高い歩留まりでマスクブランクを提供することができる。

[0051] 本発明のマスクブランクを製造する方法については、例えば、以下のような製造方法が適用可能である。具体的には、透光性基板の主表面上に、転写パターン形成用の薄膜を備えたマスクブランクの製造方法であって、前記透光性基板を準備する工程と、前記透光性基板の転写パターンが形成される側の主表面に対して欠陥検査を行う工程と、前記欠陥検査で欠陥が検出されなかった透光性基板と、所定の関係を満たす欠陥のみが検出された透光性基板を合格品として選定する工程と、前記合格品の透光性基板の一方の主表面上に前記転写パターン形成用の薄膜を形成する工程とを含み、前記所定の関係を満たす欠陥は、前記主表面側から見たときの前記欠陥の幅をｗ、前記主表面から垂直方向での前記欠陥の先端までの長さをＬとしたとき、$L \leqq 97.9 \times w^{-0.4}$ の関係を満たすことを特徴とするマスクブランクの製造方法である。この製造方法を用いることによって、合格品となるマスクブランクの比率が高くなり、高い歩留まりでマスクブランクを提供することができる。

[0052] また、上記のマスクブランクの場合において説明した上記欠陥の幅ｗと上記長さＬとの関係式（１）は、転写用マスクの基板上に存在する欠陥についても同様に適用することができる。

[0053] 本発明の転写用マスクは、透光性基板の主表面上に、転写パターンが形成された薄膜を備えた転写用マスクであって、前記透光性基板の前記主表面に欠陥が存在し、前記欠陥は、前記主表面側から見たときの幅をｗ、前記主表面から垂直方向での前記欠陥の先端までの長さをＬとしたとき、

$L \leqq 97.9 \times w^{-0.4}$ ・・・（１）

の関係を満たすことを特徴とするものである。

[0054] ここで、上記基板の主表面に存在する上記欠陥とは、凸欠陥と凹欠陥の両方を含むものである。また、上記の主表面から垂直方向での欠陥の先端までの長さＬとは、凸欠陥の場合は、その高さｈであり、凹欠陥の場合は、その深さｄのことである。このことは、前述のマスクブランクの場合と同様である。

[0055] 上記転写用マスクは、透光性基板の主表面上に薄膜を形成してマスクブランクとし、さらにそのマスクブランクの薄膜に転写パターンを形成することにより製造される。例えば、図１に示すマスクブランク１０の薄膜２に転写パターンを形成することで、図３に示すような透光性基板１上に転写パターン２ａを備えた転写用マスク２０が得られる。転写用マスクの製造に用いるマスクブランクは、上述した本発明のマスクブランクであることが好適である。薄膜２に転写パターンを形成する方法としては、通常、フォトリソグラフィー法を用いるのが微細パターン形成の観点から好適である。なお、転写用マスクにおける上記透光性基板、薄膜の材質等については、前述のマスクブランクの場合と同様である。

[0056] 本発明の転写用マスクにおいても、その基板上に凸欠陥又は凹欠陥が存在している。その凸欠陥又は凹欠陥は、上記欠陥の幅ｗと上記長さＬとの関係式（１）を満たす凸欠陥又は凹欠陥である場合は、その凸欠陥又は凹欠陥が存在していても、これらの欠陥は転写像への影響がないものとして合格品と

することができる。なお、上記欠陥の幅ｗと上記長さＬとの関係式（１）を導き出すに至った経緯に関しては、前述のとおりである。

[0057] また、本発明の転写用マスクにおいても、上記欠陥の長さＬは、１３ｎｍ以下であることが好ましい。上記欠陥の長さＬ、つまり凸欠陥でその高さｈが１３ｎｍを超える場合、あるいは凹欠陥でその深さｄが１３ｎｍを超える場合、それらの欠陥は、上記欠陥の幅ｗと上記長さＬとの関係式（１）を満たさないことが多い。それらの欠陥は、転写像に与える影響が大きくなる。なお、前述のマスクブランクの場合と同様、上記欠陥の長さＬは、１１ｎｍ以下であるとより好ましい。これは、欠陥の長さＬが１１ｎｍ以下であり、かつ欠陥の幅ｗが２００ｎｍ以下であれば、マスク欠陥検査で検出されないためである。さらに、上記欠陥の長さＬは、６ｎｍ以下であるとさらに好ましい。これは、欠陥の長さＬが６ｎｍ以下であり、かつ欠陥の幅ｗが１０００ｎｍ以下であれば、マスク欠陥検査で検出されないためである。

[0058] また、本発明の転写用マスクにおいても、上記欠陥の幅ｗは、２００ｎｍ以下であることが好ましい。上記欠陥の幅ｗが２００ｎｍを超えると、そのような欠陥は、上記欠陥の幅ｗと上記長さＬとの関係式（１）を満たさないことが多い。そのような欠陥は、転写像に与える影響が大きくなる。

[0059] また、本発明の転写用マスクにおいても、上記欠陥は、上記薄膜に転写パターンが形成されている領域内の透光性基板の主表面上に存在する欠陥とすることができる。例えば一辺が約１５２ｍｍの四角形の主表面を有する透光性基板である場合、その透光性基板の主表面の中心を基準とする一辺が１３２ｍｍの四角形の内側領域を、薄膜に転写パターンが形成される領域とすることが好ましい。この透光性基板の主表面の中心を基準とする一辺が１３２ｍｍの四角形の内側領域内の基板主表面上に欠陥が存在していても、上記の関係式（１）を満たす欠陥である場合は、その転写用マスクを欠陥検査の合格品として判定することが可能である。

[0060] また、本発明の転写用マスクにおいても、上記薄膜に転写パターンが形成されている領域の外側領域には、上記の関係式（１）を満たさない幅ｗと長

さＬを有する欠陥が存在してもよい。これは、上記薄膜に転写パターンが形成されている領域の外側領域は、転写像に与える影響が実質的にないためである。一方、上記薄膜に転写パターンが形成されている領域に存在する欠陥の全てが上記関係式（１）を満たすことが好ましい。

[0061] 以上説明したように、本発明の転写用マスクは、その基板上に凸欠陥又は凹欠陥が存在している。その凸欠陥又は凹欠陥は、上記欠陥の幅ｗと上記長さＬとの関係式（１）を満たす凸欠陥又は凹欠陥である。そのような凸欠陥又は凹欠陥が存在していても、これらの欠陥は転写像への影響がないものとして合格品とすることができる。

[0062] また、本発明は、上記転写用マスクを用い、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有する半導体デバイスの製造方法についても提供する。本発明により得られる転写用マスクを用いて、微細パターンの形成された高品質の半導体デバイスを製造することができる。

実施例

[0063] 以下、本発明を実施例により具体的に説明する。

（実施例１）

本実施例１は、波長１９３ｎｍのＡｒＦエキシマレーザーを露光光として用いるハーフトーン型位相シフトマスクの製造に使用するマスクブランクに関するものである。

本実施例１に使用するマスクブランクは、透光性基板（ガラス基板）上に、光半透過膜、二層構造の遮光膜、ハードマスク膜を順に積層した構造を持つ。このマスクブランクは、以下のようにして作製した。

[0064] ガラス基板として合成石英基板（大きさ約１５２ｍｍ×１５２ｍｍ×厚み６．３５ｍｍ）を準備した。この合成石英基板に対してマスクブランク用欠陥検査装置であるＭ６６４０（レーザーテック社製）を用いた欠陥検査を行った。その結果、転写パターンが形成される領域（一辺が１３２ｍｍの四角形の内側領域）内のこの合成石英基板上に、７個の凸欠陥が検出され、４個の凹欠陥が検出された。この検出された全ての凸欠陥および凹欠陥に対し、

原子間力顕微鏡（ＡＦＭ）で各凸欠陥および各凹欠陥の幅ｗ、および高さｈまたは深さｄを測定した。その結果、いずれの凸欠陥についても、その幅ｗと高さｈの関係が、ｈ≦９７．９×ｗ$^{-0.4}$の関係を満たすものであること、さらにいずれの凹欠陥についても、その幅ｗと深さｄの関係が、ｄ≦９７．９×ｗ$^{-0.4}$の関係を満たすものであることが確認できた。

[0065] 次に、上記合成石英基板上に、モリブデン、シリコンおよび窒素からなるＭｏＳｉＮ光半透過膜（位相シフト膜）を６９ｎｍの厚さで形成した。具体的には、枚葉式ＤＣスパッタリング装置内に上記合成石英基板を設置し、モリブデン（Ｍｏ）とシリコン（Ｓｉ）との混合焼結ターゲット（Ｍｏ：Ｓｉ＝１２原子％：８８原子％）を用い、アルゴン（Ａｒ）、窒素（N_2）およびヘリウム（Ｈｅ）の混合ガス（流量比　Ａｒ：N_2：Ｈｅ＝８：７２：１００，圧力＝０．２Ｐａ）をスパッタリングガスとし、反応性スパッタリング（ＤＣスパッタリング）によってＭｏＳｉＮ光半透過膜を形成した。形成した光半透過膜の組成は、Ｍｏ：Ｓｉ：Ｎ＝４．１：３５．６：６０．３（原子％比）であった。この組成はＸ線光電子分光法（ＸＰＳ）により測定した。

[0066] 次に、スパッタリング装置から上記合成石英基板を取り出し、上記合成石英基板上の光半透過膜に対し、大気中での加熱処理を行った。この加熱処理は、４５０℃で３０分間行った。この加熱処理後の光半透過膜に対し、位相シフト量測定装置を使用してＡｒＦエキシマレーザーの波長（１９３ｎｍ）における透過率と位相シフト量を測定したところ、透過率は６．４４％、位相シフト量は１７４．３度であった。

[0067] 次に、上記光半透過膜を成膜した基板を再びスパッタリング装置内に投入し、上記光半透過膜の上に、ＣｒＯＣＮ膜からなる下層、およびＣｒＮ膜からなる上層の積層構造の遮光膜を形成した。具体的には、クロムからなるターゲットを用い、アルゴン（Ａｒ）と二酸化炭素（CO_2）と窒素（N_2）とヘリウム（Ｈｅ）の混合ガス雰囲気（流量比　Ａｒ：CO_2：N_2：Ｈｅ＝２０：２４：２２：３０、圧力０．３Ｐａ）中で、反応性スパッタリングを行うことにより、上記光半透過膜上に厚さ４７ｎｍのＣｒＯＣＮ膜からなる遮

光膜の下層を形成した。続いて、同じくクロムターゲットを用い、アルゴン（Ａｒ）と窒素（N_2）の混合ガス雰囲気（流量比　Ａｒ：N_2＝２５：５、圧力０．３Ｐａ）中で、反応性スパッタリングを行うことにより、上記下層の上に厚さ５ｎｍのＣｒＮ膜からなる遮光膜の上層を形成した。

[0068] 形成した遮光膜の下層のＣｒＯＣＮ膜の組成は、Ｃｒ：Ｏ：Ｃ：Ｎ＝４９．２：２３．８：１３．０：１４．０（原子％比）、遮光膜の上層のＣｒＮ膜の組成は、Ｃｒ：Ｎ＝７６．２：２３．８（原子％比）であった。これらの組成はＸＰＳにより測定した。

[0069] 次いで、上記遮光膜の上に、ＳｉＯＮ膜からなるハードマスク膜を形成した。具体的には、シリコンのターゲットを用い、アルゴン（Ａｒ）と一酸化窒素（ＮＯ）とヘリウム（Ｈｅ）の混合ガス雰囲気（流量比　Ａｒ：ＮＯ：Ｈｅ＝８：２９：３２、圧力０．３Ｐａ）中で、反応性スパッタリングを行うことにより、上記遮光膜の上に厚さ１５ｎｍのＳｉＯＮ膜からなるハードマスク膜を形成した。形成したＳｉＯＮ膜の組成は、Ｓｉ：Ｏ：Ｎ＝３７：４４：１９（原子％比）であった。この組成はＸＰＳにより測定した。

[0070] 上記光半透過膜と遮光膜の積層膜の光学濃度は、ＡｒＦエキシマレーザーの波長（１９３ｎｍ）において３．０以上（透過率０．１％以下）であった。

以上のようにして本実施例１のマスクブランクを作製した。

次に、作製した上記マスクブランクの欠陥検査を行った。欠陥検査に用いる欠陥検査装置は、マスクブランク用欠陥検査装置であるＭ６６４０（レーザーテック社製）を用いた。その結果、上記合成石英基板に対する欠陥検査で検出された凸欠陥と凹欠陥が、薄膜の同じ位置に全て検出された。しかし、それ以外の凸欠陥と凹欠陥が新たに検出されることはなかった。

[0071] 次に、このマスクブランクを用いて、ハーフトーン型位相シフトマスクを作製した。

まず、上記マスクブランクの上面にＨＭＤＳ(hexamethyldisilazane)処理を行い、スピン塗布法によって、電子線描画用の化学増幅型レジスト（富士

フィルムエレクトロニクスマテリアルズ社製　ＰＲＬ００９）を塗布し、所定のベーク処理を行って、膜厚１５０ｎｍのレジスト膜を形成した。

[0072] 次に、電子線描画機を用いて、上記レジスト膜に対して所定のデバイスパターンを描画した後、レジスト膜を現像してレジストパターンを形成した。所定のデバイスパターンは、光半透過膜（位相シフト膜）に形成すべき位相シフトパターンに対応するパターンであり、ライン・アンド・スペースを含む。

[0073] 次に、上記レジストパターンをマスクとして、ハードマスク膜のドライエッチングを行い、ハード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はフッ素系ガス（SF_6）を用いた。

上記レジストパターンを除去した後、上記ハードマスク膜パターンをマスクとして、上層及び下層の積層膜からなる遮光膜のドライエッチングを連続して行い、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はCl_2とO_2の混合ガス（Cl_2：O_2＝８：１（流量比））を用いた。

[0074] 続いて、上記遮光膜パターンをマスクにして、光半透過膜のドライエッチングを行い、光半透過膜パターン（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はフッ素系ガス（SF_6）を用いた。なお、この光半透過膜のエッチング工程において、表面に露出しているハードマスク膜パターンは除去された。

[0075] 次に、基板上の全面に、スピン塗布法により、前記レジスト膜を再び形成した。電子線描画機を用いて、所定のデバイスパターン（たとえば遮光帯パターンに対応するパターン）を描画した後、現像して所定のレジストパターンを形成した。続いて、このレジストパターンをマスクとして、露出している遮光膜パターンのエッチングを行うことにより、たとえば転写パターン形成領域内の遮光膜パターンを除去し、転写パターン形成領域の周辺部には遮光帯パターンを形成した。この場合のドライエッチングガスとしてはCl_2とO_2の混合ガス（Cl_2：O_2＝８：１（流量比））を用いた。

最後に、残存するレジストパターンを除去し、ハーフトーン型位相シフト

マスクを作製した。

[0076] そして、このハーフトーン型位相シフトマスクに対し、マスク欠陥検査装置Teron（KLA Tencor社製）を用い、マスク欠陥検査を行った。その結果、マスクブランクの欠陥検査で検出された基板上の凸欠陥および凹欠陥はいずれもマスク欠陥として検出されなかった。

[0077] 次に、このハーフトーン型位相シフトマスクに対し、AIMS193（Carl Zeiss社製）を用い、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、高精度で露光転写できることが確認できた。つまり、マスクブランクの基板上に欠陥が存在していても、その欠陥が上記幅ｗと高さｈ（または深さｄ）の関係を満たす欠陥であれば、その欠陥に起因する転写像への影響の問題は生じないことが確認できた。

[0078]（比較例１）

実施例１と同様にして、準備した合成石英基板（ガラス基板）に対し、マスクブランク用欠陥検査装置であるＭ６６４０（レーザーテック社製）を用いた欠陥検査を行った。その結果、転写パターンが形成される領域（一辺が１３２ｍｍの四角形の内側領域）内のこの合成石英基板上に、９個の凸欠陥が検出され、６個の凹欠陥が検出された。これらの検出された全ての凸欠陥および凹欠陥に対し、原子間力顕微鏡（ＡＦＭ）で各凸欠陥および各凹欠陥の幅ｗ、および高さｈまたは深さｄを測定した。その結果、全ての凸欠陥のうち、幅ｗと高さｈの関係が、ｈ≦９７．９×ｗ$^{-0.4}$の関係を満たさない凸欠陥が７個あることが確認された。さらに、全ての凹欠陥のうち、その幅ｗと深さｄの関係が、ｄ≦９７．９×ｗ$^{-0.4}$の関係を満たさない凹欠陥が３個あることが確認された。

[0079] 次に、欠陥検査を行った後の透光性基板（ガラス基板）上に、実施例１と同様の手順で光半透過膜、二層構造の遮光膜、ハードマスク膜を順に積層した構造のマスクブランクを作製した。

次に、作製した上記マスクブランクの欠陥検査を行った。欠陥検査に用い

る欠陥検査装置は、実施例１と同様のマスクブランク用欠陥検査装置であるＭ６６４０（レーザーテック社製）を用いた。その結果、上記の合成石英基板に対する欠陥検査で検出された凸欠陥と凹欠陥が、薄膜の同じ位置に全て検出された。また、それ以外の凸欠陥と凹欠陥が新たに検出されることはなかった。

[0080] 次に、このマスクブランクを用いて、実施例１と同様にしてハーフトーン型位相シフトマスクを作製した。

そして、作製したハーフトーン型位相シフトマスクに対し、マスク欠陥検査装置Teron（KLA Tencor社製）を用い、マスク欠陥検査を行った。その結果、転写パターン形成領域内に、凸欠陥及び凹欠陥がマスク欠陥として１０個検出された。これらの欠陥は、いずれも透光性基板の欠陥検査で検出された凸欠陥および凹欠陥のうち、上記幅ｗと高さｈ（または深さｄ）の関係を満たさない欠陥であった。一方、透光性基板の欠陥検査で検出された凸欠陥および凹欠陥のうち、上記幅ｗと高さｈ（または深さｄ）の関係を満たしている欠陥については、いずれもこのマスク欠陥検査では検出されなかった。

[0081] 次に、このハーフトーン型位相シフトマスクに対し、AIMS193（Carl Zeiss社製）を用い、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、上記マスク欠陥検査で検出された凸欠陥および凹欠陥に起因する転写不良が生じていた。一方、透光性基板の欠陥検査で検出されていたが、マスク欠陥検査で検出されなかった凸欠陥および凹欠陥については、いずれも転写不良は生じていなかった。

符号の説明

[0082] １　透光性基板

１ａ～１ｉ　凸欠陥

２　薄膜

２ａ　転写パターン

２ｂ　ラインパターン

１０　マスクブランク

２０　転写用マスク

請求の範囲

[請求項1] 透光性基板の主表面上に、転写パターン形成用の薄膜を備えたマスクブランクであって、

前記透光性基板の前記主表面に欠陥が存在し、

前記欠陥は、前記主表面側から見たときの幅をｗ、前記主表面から垂直方向での前記欠陥の先端までの長さをＬとしたとき、

$L \leqq 97.9 \times w^{-0.4}$

の関係を満たすことを特徴とするマスクブランク。

[請求項2] 前記欠陥の前記長さＬは、１３ｎｍ以下であることを特徴とする請求項１に記載のマスクブランク。

[請求項3] 前記欠陥の前記幅ｗは、２００ｎｍ以下であることを特徴とする請求項１又は２に記載のマスクブランク。

[請求項4] 前記欠陥は、前記薄膜に転写パターンが形成される領域内の前記透光性基板の主表面上に存在することを特徴とする請求項１乃至３のいずれか１項に記載のマスクブランク。

[請求項5] 前記欠陥は、ケイ素と酸素を含有していることを特徴とする請求項１乃至４のいずれか１項に記載のマスクブランク。

[請求項6] 前記薄膜は、ＡｒＦエキシマレーザーの露光光を２％以上の透過率で透過させる機能と、前記薄膜を透過した前記露光光に対して前記薄膜の厚さと同じ距離だけ空気中を通過した前記露光光との間で１５０度以上２００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乃至５のいずれか１項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、転写パターンが形成された薄膜を備えた転写用マスクであって、

前記透光性基板の前記主表面に欠陥が存在し、

前記欠陥は、前記主表面側から見たときの幅をｗ、前記主表面から垂直方向での前記欠陥の先端までの長さをＬとしたとき、

$L \leqq 97.9 \times w^{-0.4}$

の関係を満たすことを特徴とする転写用マスク。

[請求項8] 前記欠陥の前記長さＬは、１３ｎｍ以下であることを特徴とする請求項７に記載の転写用マスク。

[請求項9] 前記欠陥の前記幅ｗは、２００ｎｍ以下であることを特徴とする請求項７又は８に記載の転写用マスク。

[請求項10] 前記欠陥は、前記薄膜に転写パターンが形成されている領域内の前記透光性基板の主表面上に存在することを特徴とする請求項７乃至９のいずれか１項に記載の転写用マスク。

[請求項11] 前記欠陥は、ケイ素と酸素を含有していることを特徴とする請求項７乃至１０のいずれか１項に記載の転写用マスク。

[請求項12] 前記薄膜は、ＡｒＦエキシマレーザーの露光光を２％以上の透過率で透過させる機能と、前記薄膜を透過した前記露光光に対して前記薄膜の厚さと同じ距離だけ空気中を通過した前記露光光との間で１５０度以上２００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乃至１１のいずれか１項に記載の転写用マスク。

[請求項13] 請求項７乃至１２のいずれか１項に記載の転写用マスクを用い、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。