

(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2014-191176

(P2014-191176A)

(43) 公開日 平成26年10月6日(2014.10.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G03F 1/54 (2012.01)	G03F 1/54	2H095
G03F 1/46 (2012.01)	G03F 1/46	
H01L 21/027 (2006.01)	H01L 21/30 502P	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2013-66234 (P2013-66234)
 (22) 出願日 平成25年3月27日 (2013. 3. 27)

(71) 出願人 000002897
 大日本印刷株式会社
 東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号
 (74) 代理人 100122529
 弁理士 藤枿 裕実
 (74) 代理人 100135954
 弁理士 深町 圭子
 (74) 代理人 100119057
 弁理士 伊藤 英生
 (74) 代理人 100131369
 弁理士 後藤 直樹
 (74) 代理人 100164987
 弁理士 伊藤 裕介
 (74) 代理人 100171859
 弁理士 立石 英之

最終頁に続く

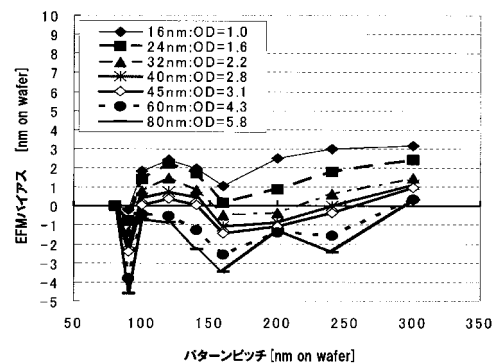
(54) 【発明の名称】 フォトマスクブランクス、フォトマスク及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】電磁界 (E M F) 効果の影響を低減して E M F パイアスの値を小さくし、遮光層の厚みを薄くしても露光光に対して高い遮光性を有し、パターン加工性に優れ、ウェハ上のハーフピッチ 40 nm 以降のリソグラフィ技術に適したバイナリ型フォトマスクブランクス、フォトマスク及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 A r F エキシマレーザ露光光に用いられ、透明基板上にマスクパターンを形成するための遮光膜を有するフォトマスクブランクスであって、上記遮光膜は、遮光層単層もしくは遮光層上に反射防止層を設けた二層構造からなり、露光光に対する光学濃度が 2 . 8 以上、かつ膜厚が 5 0 nm 以下であり、遷移金属を含まない単一の金属材料の膜から構成されていることを特徴とする。

【選択図】 図 5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

A r F エキシマレーザ露光光が適用されるバイナリ型フォトマスクを作製するために用いられ、透明基板上にマスクパターンを形成するための遮光膜を有するフォトマスクブランクスであって、

前記遮光膜は、遮光層単層もしくは遮光層上に反射防止層を設けた二層構造からなり、前記遮光層は、前記露光光に対する光学濃度が 2 . 8 以上、かつ膜厚が 5 0 n m 以下であり、遷移金属を含まない単一の金属材料の膜から構成されていることを特徴とするフォトマスクブランクス。

【請求項 2】

前記遮光層は、フッ素を含むエッチングガスに対して、荷電粒子の照射を受けない状態におけるエッチング速度が 0 . 2 n m / 秒以上であることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトマスクブランクス。

【請求項 3】

前記遮光層は、屈折率 n が 1 . 0 以下、かつ消衰係数 k が 2 . 0 以上の単一の金属材料の膜から構成され、

前記遮光膜を透過した露光光と前記遮光膜の膜厚と同じ距離だけ空气中を透過した露光光との間での位相差が 5 0 度以下であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 のいずれかに記載のフォトマスクブランクス。

【請求項 4】

前記遮光層は、シリコンの膜から構成されていることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 までのうちのいずれか 1 項に記載のフォトマスクブランクス。

【請求項 5】

前記遮光層は、前記 A r F エキシマレーザ露光光に対する耐光性及び同一洗浄条件における洗浄耐性が、モリブデンシリサイド (M o S i) を遮光層として用いた場合よりも大きいことを特徴とする請求項 1 から請求項 4 までのうちのいずれか 1 項に記載のフォトマスクブランクス。

【請求項 6】

前記反射防止層は、金属の酸化物または窒化物または酸窒化物から構成されていることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 までのうちのいずれか 1 項に記載のフォトマスクブランクス。

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 までのうちのいずれか 1 項に記載のフォトマスクブランクスの前記遮光膜上に、前記遮光膜をエッチングするときのハードマスク層を積層したことを特徴とするフォトマスクブランクス。

【請求項 8】

請求項 1 から請求項 7 までのうちのいずれか 1 項に記載のフォトマスクブランクスにおける前記遮光膜を、ドライエッチングによりパターンニングするエッチング工程を有することを特徴とするフォトマスクの製造方法。

【請求項 9】

請求項 8 に記載のフォトマスクの製造方法において、

前記遮光膜上に、前記遮光膜をドライエッチングするときのハードマスク層を積層し、エッチングガスによるサイドエッチングを用いて前記遮光膜のラインパターン寸法を、フォトマスク上で 4 0 n m 以下にすることを特徴とするフォトマスクの製造方法。

【請求項 10】

A r F エキシマレーザ露光光が適用されるバイナリ型のフォトマスクであって、

前記フォトマスクは、透明基板上にマスクパターンを設けた遮光膜を有し、

前記遮光膜は、遮光層単層もしくは遮光層上に反射防止層を設けた二層構造からなり、

前記遮光層は、前記露光光に対する光学濃度が 2 . 8 以上、かつ膜厚が 5 0 n m 以下であり、遷移金属を含まない単一の金属材料の膜から構成されていることを特徴とするフォ

10

20

30

40

50

トマスク。

【請求項 1 1】

前記遮光層は、屈折率 n が 1.0 以下、かつ消衰係数 k が 2.0 以上の単一の金属材料の膜から構成され、

前記遮光膜を透過した露光光と前記遮光膜の膜厚と同じ距離だけ空气中を透過した露光光との間での位相差が 50 度以下であることを特徴とする請求項 10 に記載のフォトマスク。

【請求項 1 2】

前記遮光層は、シリコンの膜から構成されていることを特徴とする請求項 10 または請求項 11 に記載のフォトマスク。

【請求項 1 3】

前記反射防止層は、金属の酸化物または窒化物または酸窒化物から構成されていることを特徴とする請求項 10 から請求項 12 までのうちのいずれか 1 項に記載のフォトマスク。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体素子の製造に用いられるフォトマスクブランクス、フォトマスク及びその製造方法に関し、特に、高 NA 露光装置を使用し、マスクパターンをウェハ上に転写するとき、ウェハ上のパターンのハーフピッチが 40 nm 以降のリソグラフィ技術に用いられるバイナリ型のフォトマスクブランクス、フォトマスク及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体素子の高集積化・微細化は、デザインルール 45 nm ノードから 32 nm ノードへと進展し、さらに 22 nm ノード以下の半導体素子の開発が進められている。これらの半導体素子の高集積化・微細化を実現するために、現在、露光波長 193 nm の ArF エキシマレーザを用いた光学式の投影露光装置により、フォトマスクを用いてウェハ上にパターン転写するフォトリソグラフィ技術が行なわれている。フォトリソグラフィ技術においては、露光装置での高解像技術として、投影レンズの開口数 (NA) を大きくした高 NA 露光技術、投影レンズと露光対象の間に高屈折率媒体を介在させて露光を行なう液浸露光技術、変形照明搭載露光技術などの開発、実用化が急速に進められている。

【0003】

そこで解像度を上げるために、超解像技術 (RET 技術: Resolution Enhancement Technique) が近年提案されている。このような超解像技術として、露光光学系の特性に応じてマスクパターンに補助パターンやバイアス (マスク線幅などの補正量) を与えてマスクパターンを最適化する方法、あるいは変形照明法 (斜入射照明法とも称する) と呼ばれる方法などがある。変形照明法には、通常、瞳フィルタを用いた輪帯照明、二重極 (ダイポール: Dipole と称する) の瞳フィルタを用いた二重極照明および四重極 (クォードラポール: C-quad と称する) の瞳フィルタを用いた四重極照明などが用いられている。

【0004】

一方、フォトリソグラフィ技術に用いられるフォトマスク (レチクルとも称する) における解像度向上策としては、透明基板上にクロムなどで遮光膜を形成し、光を透過させる部分と遮光する部分でパターンを構成した従来のバイナリ型のフォトマスク (以後、バイナリマスクとも言う) の微細化、高精度化とともに、光の干渉を利用した位相シフト効果により解像度向上を図るレベンソン型位相シフトマスク、光を透過させる部分と半透過させる部分で構成されたハーフトーン型位相シフトマスク、クロムなどの遮光層を設けないクロムレス型位相シフトマスクなどの位相シフトマスクの開発、実用化が進行している。

【0005】

半導体素子は、フォトマスク (以下、マスクとも称する) を使用したいわゆるリソグラ

10

20

30

40

50

フィ工程を繰り返すことによって製造される。パターンニング前のフォトマスク基板はフォトマスクブランクス（以後、ブランクスとも言う）として知られており、バイナリ型フォトマスク（バイナリマスク）ブランクスは透明基板上に、クロム（Cr）を主成分とする遮光膜からなる構造が代表的である。高精度な半導体素子を実現するために、フォトマスクブランクスは低欠陥で、エッチング制御性を向上させるための膜組成・膜構造、低応力、並びに露光波長に対する低反射率化といった種々の性能が要求される。これらの要求を満たすためにクロムを主成分とするフォトマスクブランクスにおいては、各種の膜組成、層構造、並びに成膜方法が提案・実用化されてきている。

【0006】

ところで、ウェハ上のパターンのハーフピッチ（hp）40nm以降のリソグラフィに用いられるバイナリマスクにおいては、リソグラフィに用いるArF露光光の波長193nmよりもフォトマスク上の転写されるマスクパターンの線幅の方が小さくなり、微細パターンを形成するために斜入射照明法や瞳フィルタなどを用いた超解像技術を採用していたことにより、マスクパターン領域の遮光膜パターンの膜厚が厚いと、電磁界（EMF：Electro Magnetic Field）効果に起因するマスクパターン線幅の補正量であるバイアス（EMFバイアスと言う）の値が大きくなるという問題が生じてきている。

【0007】

ここで、本発明で用いているフォトマスクのEMFバイアスについて、図13に示すバイナリ型フォトマスクのパターンの断面模式図を例にして説明する。図13では、透明基板131上に単層の遮光層133よりなる遮光膜のマスクパターンが示されている。通常、マスクは4倍体のレチクルが用いられるので、マスクパターンのライン部の寸法（ラインCD（Critical Dimension）と称する）は、目標とするウェハ上の線幅寸法（ターゲットCDと称する）の4倍の数値 x （nm）に、補正值であるバイアス d （nm）を加えた値として示される（ $x = \text{ターゲットCD} \times 4$ ）。

【0008】

$$\text{バイアス}(d) = 2 \times a$$

図13において、バイアス d の値が+の場合はラインCDが広がる方向であり、 d の値が-の場合はラインCDが狭くなる方向を意味する。ただし、本発明では、+の場合には特に+の表示はしていない。

【0009】

電磁界（EMF）効果に係るEMFバイアスは、ウェハ上のレジストへの転写パターン線幅の重要な寸法（CD）精度に大きな影響を与える。このため、フォトマスクの作製に際し、電磁界効果のシミュレーションを行い、電磁界（EMF）効果による影響を抑制するため、フォトマスクパターンの補正を行う必要がある。このマスクパターンの補正計算は、EMFバイアスが大きいほど複雑化する。また、補正後のマスクパターンもEMFバイアスが大きいほど複雑化していき、フォトマスク作製に大きな負荷がかかる。例えば、バイアス値が大きくなり、隣接するパターンとの関係でパターン補正できなくなるという問題も生じている。EMFバイアスの値は、0に近い値ほど補正が小さくてフォトマスク製造が容易になり、マスク製造歩留りが向上することになる。ところが、従来のクロム（Cr）を主成分とする遮光膜では、電磁界（EMF）効果の影響を低減した遮光層厚が薄くて光学濃度の高いマスクパターンを形成するのが困難となっている。

【0010】

上記の電磁界（EMF）効果に起因する課題に対して、マスク材料からの見直しが行われており、近年、クロム系以外のバイナリマスク材料として、モリブデンシリサイド（MoSi）系材料を用いたバイナリ型フォトマスクブランクス、及びそれを用いたバイナリ型フォトマスクが開発されている（例えば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

10

20

30

40

50

【特許文献1】特開2012-78441号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

しかしながら、特許文献1に記載されるような上記のモリブデンシリサイド(MoS₂)系材料を用いたバイナリ型フォトマスクは、マスク洗浄において、あるいはArFエキシマレーザ露光において、洗浄耐性(耐洗浄性とも言う)や耐光性が十分でなく、マスクパターンの寸法(CD寸法)変化が生じるという問題があった。

【0013】

そこで、本発明は、上記の問題点に鑑みてなされたものである。すなわち、本発明の目的は、電磁界(EMF)効果の影響を低減してEMFバイアスの値を小さくし、遮光層の厚みを薄くしても露光光に対して高い遮光性を有し、パターン加工性が良く、耐光性、洗浄耐性に優れ、ウェハ上のハーフピッチ40nm以降のリソグラフィ技術に適したバイナリ型フォトマスクブランク、フォトマスク及びそ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】

【0014】

上記の課題を解決するために、本発明の請求項1の発明に係るフォトマスクブランクは、ArFエキシマレーザ露光光が適用されるバイナリ型フォトマスクを作製するために用いられ、透明基板上にマスクパターンを形成するための遮光膜を有するフォトマスクブランクであって、前記遮光膜は、遮光層単層もしくは遮光層上に反射防止層を設けた二層構造からなり、前記遮光層は、前記露光光に対する光学濃度が2.8以上、かつ膜厚が50nm以下であり、遷移金属を含まない単一の金属材料の膜から構成されていることを特徴とするものである。

【0015】

本発明の請求項2の発明に係るフォトマスクブランクは、請求項1に記載のフォトマスクブランクにおいて、前記遮光層は、フッ素を含むエッチングガスに対して、荷電粒子の照射を受けない状態におけるエッチング速度が0.2nm/秒以上であることを特徴とするものである。

【0016】

本発明の請求項3の発明に係るフォトマスクブランクは、請求項1または請求項2に記載のフォトマスクブランクにおいて、前記遮光層は、屈折率nが1.0以下、かつ消衰係数kが2.0以上の単一の金属材料の膜から構成され、前記遮光膜を透過した露光光と前記遮光膜の膜厚と同じ距離だけ空気中を透過した露光光との間での位相差が50度以下であることを特徴とするものである。

【0017】

本発明の請求項4の発明に係るフォトマスクブランクは、請求項1から請求項3までのうちのいずれか1項に記載のフォトマスクブランクにおいて、前記遮光層は、シリコンの膜から構成されていることを特徴とするものである。

【0018】

本発明の請求項5の発明に係るフォトマスクブランクは、請求項1から請求項4までのうちのいずれか1項に記載のフォトマスクブランクにおいて、前記遮光層は、前記ArFエキシマレーザ露光光に対する耐光性及び同一洗浄条件における洗浄耐性が、モリブデンシリサイド(MoS₂)を遮光層として用いた場合よりも大きいことを特徴とするものである。

【0019】

本発明の請求項6の発明に係るフォトマスクブランクは、請求項1から請求項5までのうちのいずれか1項に記載のフォトマスクブランクにおいて、前記反射防止層は、金属の酸化物または窒化物または酸窒化物から構成されていることを特徴とするものである。

【0020】

10

20

30

40

50

本発明の請求項7の発明に係るフォトマスクブランクスは、請求項1から請求項6までのうちのいずれか1項に記載のフォトマスクブランクスの前記遮光膜上に、前記遮光膜をエッチングするときのハードマスク層を積層したことを特徴とするものである

本発明の請求項8の発明に係るフォトマスクの製造方法は、請求項1から請求項7までのいずれか1項に記載のフォトマスクブランクスにおける前記遮光膜を、ドライエッチングによりパターンニングするエッチング工程を有することを特徴とするものである。

【0021】

本発明の請求項9の発明に係るフォトマスクの製造方法は、請求項8に記載のフォトマスクの製造方法において、前記遮光膜上に、前記遮光膜をドライエッチングするときのハードマスク層を積層し、エッチングガスによるサイドエッチングを用いて前記遮光膜のラインパターン寸法を、フォトマスク上で40nm以下にすることを特徴とするものである。

10

【0022】

本発明の請求項10の発明に係るフォトマスクは、ArFエキシマレーザ露光光が適用されるバイナリ型のフォトマスクであって、前記フォトマスクは、透明基板上にマスクパターンを設けた遮光膜を有し、前記遮光膜は、遮光層単層もしくは遮光層上に反射防止層を設けた二層構造からなり、前記遮光層は、前記露光光に対する光学濃度が2.8以上、かつ膜厚が50nm以下であり、遷移金属を含まない単一の金属材料の膜から構成されていることを特徴とするものである。

20

【0023】

本発明の請求項11の発明に係るフォトマスクは、請求項10に記載のフォトマスクにおいて、前記遮光層は、屈折率 n が1.0以下、かつ消衰係数 k が2.0以上の単一の金属材料の膜から構成され、前記遮光膜を透過した露光光と前記遮光膜の膜厚と同じ距離だけ空气中を透過した露光光との間での位相差が50度以下であることを特徴とするものである。

【0024】

本発明の請求項12の発明に係るフォトマスクは、請求項10または請求項11に記載のフォトマスクにおいて、前記遮光層は、シリコンの膜から構成されていることを特徴とするものである。

【0025】

本発明の請求項13の発明に係るフォトマスクは、請求項10から請求項12までのうちのいずれか1項に記載のフォトマスクにおいて、前記反射防止層は、金属の酸化物または窒化物または酸窒化物から構成されていることを特徴とするものである。

30

【発明の効果】

【0026】

本発明のフォトマスクブランクスによれば、洗浄耐性、耐光性に優れ、パターンニング時のエッチング速度が速く、電磁界(EMF)効果の影響が低減され、遮光層の厚みを薄くしても露光光に対して高い遮光性を有し、ウェハ上のハーフピッチ40nm以降のリソグラフィ技術に適したバイナリ型フォトマスクブランクスを得ることができる。

【0027】

本発明のフォトマスクの製造方法によれば、フォトマスクブランクスの遮光膜がパターン加工性に優れ、フッ素を含むエッチングガスに対してエッチング速度が速いので、高精度の微細なパターンを容易に形成したフォトマスクを得ることができる。

40

【0028】

本発明のフォトマスクによれば、マスクパターンが50nm以下の膜厚であっても高い遮光性を有し、電磁界(EMF)効果の影響が低減され、洗浄耐性、耐光性が大きく、CDユニフォーミティに優れた高解像パターンを有するバイナリ型のフォトマスクを得ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0029】

50

【図 1】遮光膜がシリコン膜の遮光層単層で構成された本発明のバイナリ型フォトマスクブランクス（図 1（a））及びそれを用いて製造された本発明のフォトマスク（図 1（b））を示す断面模式図である。

【図 2】遮光層上に遮光層をエッチングするときのハードマスク層を積層した本発明のバイナリ型フォトマスクブランクスを示す断面模式図である。

【図 3】遮光膜が、遮光層と、該遮光層上に反射防止層を設けた二層構造からなる本発明のバイナリ型フォトマスクブランクス（図 3（a））及びそれを用いて製造された本発明のフォトマスク（図 3（b））を示す断面模式図である。

【図 4】遮光層と、該遮光層上に反射防止層を設けた二層構造からなる遮光膜上に、遮光膜をエッチングするときのハードマスク層を積層した本発明のバイナリ型フォトマスクブランクスを示す断面模式図である。

【図 5】本発明において、遮光層の厚みを変えたときのウェハ上のパターンピッチ（nm）と E M F バイアス（nm）との関係を示す図である。

【図 6】本発明のバイナリマスクと従来のバイナリマスクにおいて、ウェハ上のパターンピッチ（nm）と E M F バイアス（nm）との関係を示す図である。

【図 7】本発明のバイナリマスクと従来のバイナリマスクにおいて、ウェハ上のパターンピッチ（nm）と最大の露光裕度（%）との関係を示す図である。

【図 8】本発明のバイナリマスクと従来のバイナリマスクにおいて、ウェハ上のパターンピッチ（nm）と M E E F との関係を示す図である。

【図 9】本発明のバイナリマスクと従来のバイナリマスクの洗浄後のパターンの C D 変動量（nm）を示す図である。

【図 10】本発明のシリコン膜で構成された遮光層よりなるバイナリ型フォトマスクの各種パターンの上面からの S E M 写真像である。

【図 11】本発明の一実施形態に係るバイナリマスクブランクス及びバイナリマスクの製造工程を説明する断面模式図である。

【図 12】本発明においてマスクの転写特性評価に用いた四重極（C q u a d）の瞳フィルタの平面模式図である。

【図 13】バイアスを説明するためのバイナリマスクのパターンの断面模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

（フォトマスクブランクス及びフォトマスク）

本発明のフォトマスクブランクスは、A r F エキシマレーザ露光光が適用されるバイナリ型フォトマスクを作製するために用いられ、透明基板上にマスクパターンを形成するための遮光膜を有し、上記遮光膜は、遮光層単層もしくは遮光層上に反射防止層を設けた二層構造からなり、上記遮光膜は、露光光に対する光学濃度が 2 . 8 以上で、かつ膜厚が 5 0 n m 以下であり、遷移金属を含まない単一の金属材料の膜から構成されているブランクスである。

【0031】

また、本発明のフォトマスクは、A r F エキシマレーザ露光光が適用されるバイナリ型のフォトマスクであって、透明基板上にマスクパターンを設けた遮光膜を有し、上記遮光膜は、遮光層単層もしくは遮光層上に反射防止層を設けた二層構造からなり、上記遮光層は、露光光に対する光学濃度が 2 . 8 以上で、かつ膜厚が 5 0 n m 以下であり、遷移金属を含まない単一の金属材料の膜から構成されているフォトマスクである。

【0032】

以下、図面に基づいて、本発明の実施形態に係るバイナリ型フォトマスクブランクス、フォトマスク及びその製造方法について詳細に説明する。

（第 1 の実施形態）

図 1 は、本発明のフォトマスクブランクス第 1 の実施形態の一例として、遮光膜が、遮光層単層よりなるフォトマスクブランクス（図 1（a））およびそれを用いて製造された本実施形態のフォトマスク（図 1（b））を示す断面模式図である。図 1（a）に示す

10

20

30

40

50

ように、本実施形態のフォトマスクブランクス10は、透明基板11とその上に設けられた遮光膜としての単層の遮光層12からなり、遮光層12は、ArFエキシマレーザの露光光に対する光学濃度が2.8以上であり、かつ膜厚が50nm以下で、遷移金属を含まない単一の金属材料の膜から構成されているものである。

【0033】

本実施形態において、透明基板11としては、露光光を高透過率で透過する光学研磨された合成石英ガラス、蛍石、フッ化カルシウムなどを用いることができるが、通常、多用されており品質が安定し、短波長の露光光の透過率の高い合成石英ガラスがより好ましい。

【0034】

本実施形態において、遷移金属を含まない単一の金属材料の膜は、スパッタリング法などの通常の成膜方法で形成することができる。単一の金属材料の膜は、例えば、スパッタリング時に該単一の金属材料のターゲットを用いて成膜することができ、実質的に他の元素を含まない単一の金属材料の膜から構成される。本発明においては、遮光層は、単一の金属材料の膜形成以外に、他の金属の混入、あるいは酸化物や窒化物などの形成は意図しておらず、成膜時に酸素や窒素ガスの導入は行なわない。しかし、成膜された膜の表面などに装置内に残存していた微量の酸素などが意図せずに取り込まれている場合は、実質的に本発明の単一の金属材料よりなる遮光層として含まれるものである。

【0035】

本実施形態において、遮光層12は、フッ素を含むエッチングガスに対して、荷電粒子の照射を受けない状態におけるエッチング速度が0.2nm/秒以上である。遮光層12はフッ素系ガスを用いたエッチングにおいて、従来のモリブデンシリサイド系のバイナリ型フォトマスクブランクスよりも早いエッチング速度を示し、パターン加工が容易であり、レジストの薄膜化も可能なので、解像力の向上ができる。

【0036】

本実施形態において、遮光層12は、屈折率nが1.0以下、かつ消衰係数kが2.0以上の金属材料の膜から構成されており、より好ましくは、遮光層12はシリコンの膜から構成されているものである。

【0037】

本実施形態において、遮光層中に含まない遷移金属としては、モリブデン(Mo)、タンタル(Ta)、タングステン(W)などが挙げられるが、特に、モリブデン(Mo)が遮光層中に含まない遷移金属として挙げられる。

【0038】

上記のように、モリブデンはシリコンとモリブデンシリサイド化合物(MoSi)を形成し、バイナリ型フォトマスクブランクスとして用いられている。しかしながら、モリブデンシリサイド(MoSi)系材料を用いたバイナリ型フォトマスクは、洗浄耐性や耐光性が十分でなく、マスク洗浄やArFエキシマレーザ露光において、マスクパターンの寸法(CD寸法)変化が生じたりする。したがって、本発明のバイナリ型フォトマスクブランクスは、遮光層にモリブデンなどの遷移金属を含まない単一の金属材料の膜から構成されているものであり、より好ましくは遮光層がシリコン膜から構成されるものである。

【0039】

本発明のバイナリ型フォトマスクブランクスより作製したフォトマスクの特性を調べるため、シミュレーションによりEMFバイアスを従来のバイナリ型フォトマスクと比較して評価し、さらに最大の露光裕度(Max.EL: Exposure Latitude)、MEEF(Mask Error Enhancement Factor: マスク誤差増大因子)についても評価した。

【0040】

露光裕度(EL(%))は、ウェハ上のフォトレジスト膜パターンの寸法が許容される限界内に収まるような露光エネルギーの範囲であり、フォトリソグラフィにおける露光量(ドーズ量)の変動に対する裕度を示す値である。すなわち、フォトレジスト膜によるレ

10

20

30

40

50

ジストパターンの線幅寸法の変動量が所定の許容範囲内に入るような露光エネルギーの範囲である。露光裕度が大きければ、半導体素子製造のフォトリソグラフィ工程における歩留が向上することになる。

【0041】

M E E Fは、下記の数式(1)で表されており、マスク寸法変化量(マスクCD)に対するウェハ上のパターン寸法変化量(ウェハCD)の比で示される。CDはマスクやウェハの重要な寸法を示す。数式(1)の数値4はマスクの縮小比であり、一般的な4倍マスクを用いた場合を例示している。数式(1)が示すように、M E E Fの値は小さい方が、マスクパターンがウェハパターンに忠実に転写されることになり、M E E Fの値が小さくなればウェハ製造歩留りが向上する。また、その結果として、ウェハ製造に用いるマスク製造歩留りも向上することになる。

10

【0042】

$$M E E F = \text{ウェハCD} / \text{マスクCD} / 4 \cdots (1)$$

(シミュレーション条件)

シミュレーションは、下記の条件により行なった。シミュレーション・ソフトウェアとして、EM - Suite Version v6.00(商品名: Panoramic Technology社製)を用い、3次元(3Dとも記す)シミュレーション条件としては、シミュレーション・モードには3次元電磁界シミュレーションのTEMP EST(EM - Suiteオプション)によるFDTD法(時間領域差分法、有限差分時間領域法とも言う)を用い、グリッドサイズは1nm(4倍マスクにおいて)とした。2次元(2Dとも記す)シミュレーション条件としては、シミュレーション・モードにキルヒホッフ(Kirchhoff)法を用いた。

20

(リソグラフィ条件)

2次元及び3次元シミュレーションにおけるリソグラフィ条件として、露光光源はArFエキシマレーザで露光波長は193nm、投影レンズの開口数(NA)は本実施形態では1.35とした。照明系は瞳フィルタを用いた斜入射光による露光とし、図12に示す四重極(C - quad)の瞳フィルタを用いた四重極照明を設定した。C - quadの4つの光透過部121は、XY軸上に瞳中心からの開口角が20度の扇型をなし、縦・横のマスクパターンを高解像で転写し得るように、マスクパターンに対し光透過部121が0度、90度の配置(XYポーラリゼーション)をとり、瞳フィルタの半径を1としたとき、瞳中心からの距離の外径(外)を0.98、内径(内)を0.8とした。4つの光透過部121以外の箇所は遮光部122(斜線部分)としている。

30

【0043】

マスクパターンはラインアンドスペースパターンで、ウェハ上に転写したときのスルーピッチ(フルピッチ)は80nm~300nmの範囲で変えており、ターゲットとするラインCDはウェハ上で40nmとした。

【0044】

本実施形態のバイナリマスクは、遮光膜が単層の遮光層からなり、遷移金属を含まない単一の金属材料のシリコンの薄膜から構成されているマスクである。

【0045】

本実施形態において、投影レンズの開口数(NA)1.35は、微細な半導体デバイス用のマスクパターン転写に用いられていることにより、一例として用いたものであり、もとより本発明はそれに限定されることはなく、他の開口数のレンズを用いることが可能である。

40

【0046】

また、本実施形態の照明系として四重極照明を用いたのは、四重極照明は縦・横のパターンが同時に解像でき、普遍性が高くて一般的なマスクパターン転写に適用できるからである。ただし、四重極照明は実施形態の好ましい一例として用いたものであり、本発明のバイナリ型のフォトマスクにおいては、四重極照明以外の他の変形照明系、例えば、輪帯照明、二重極照明などにおいても同様に露光裕度の改善効果が得られるものである。

50

(E M F バイアス)

図 5 は、本発明のバイナリマスクにおいて、遮光層のシリコン薄膜の厚みを 16 nm から 80 nm まで変えたときのウェハ上のラインアンドスペースパターンのパターンピッチ (nm) と E M F バイアス (nm) との関係を示す。図 5 には、各膜厚における露光光に対する光学濃度 (O D : O p t i c a l D e n s i t y) も付記する。

【 0 0 4 7 】

図 5 に示されるように、遮光層の膜厚 32 nm 以下では露光光に対する光学濃度が 2 . 2 以下と不足しており、一方、膜厚 60 nm では光学濃度は 4 . 3 と高いが、E M F バイアスの値がマイナス側に大きくなり不適である。図 5 から、光学濃度 2 . 8 以上を確保し、E M F バイアスの値を適正な範囲にするには、遮光層の膜厚が 40 nm ~ 50 nm の範囲が好ましいことが判る。図 5 には、膜厚 50 nm のデータは記載されていないが、膜厚 45 nm と 60 nm の場合の間にあることは容易に推測される。

10

【 0 0 4 8 】

図 6 は、本発明のシリコン薄膜を遮光層とするバイナリマスク (シリコンバイナリマスクとも言う ; 実線で示す) とモリブデンシリサイド膜を遮光層とする従来のバイナリマスク (M o S i バイナリマスクとも言う ; 破線で示す) において、シミュレーションにより求めたウェハ上のパターンピッチ (nm) 80 nm ~ 300 nm の範囲におけるウェハ上の E M F バイアス (nm) の値を示す図である。遮光層の膜厚は、いずれも 45 nm である。

【 0 0 4 9 】

図 6 に示されるように、パターンピッチ 80 nm ~ 300 nm の範囲における E M F バイアスは、パターンピッチが 150 nm を越えた領域では、従来の M o S i バイナリマスクはバイアス値が増加していき、ピッチ 300 nm で 3 nm と大きな値を示すのに対し、本発明のシリコンバイナリマスクはピッチ 300 nm で 1 nm と M o S i バイナリマスクの 1 / 3 の小さい値にとどまっている。上記のように、シリコンバイナリマスクは、高密度ピッチの広い範囲において E M F バイアスが小さく、より好ましいマスクであることを示している。

20

(E L)

図 7 は、本発明のシリコン膜を遮光層とするバイナリマスク (シリコンバイナリマスク) とモリブデンシリサイド膜を遮光層とする従来のバイナリマスク (2 種類 ; マスク A とマスク B) (M o S i バイナリマスク) において、シミュレーションにより求めたウェハ上のパターンピッチ (nm) とウェハ上の C D が $\pm 10\%$ 内に入る最大の露光裕度 (M a x . E L (%)) との関係を示す図である。遮光層の膜厚は、いずれも 45 nm である。

30

【 0 0 5 0 】

図 7 に示されるように、パターンピッチ 80 nm ~ 300 nm の範囲において、M o S i バイナリマスクに比べて、本発明のシリコンバイナリマスクの最大の露光裕度 (M a x . E L (%)) は同等以上の大きい値を示している。上記のように、シリコンバイナリマスクは、高密度ピッチの広い範囲において露光裕度 (E L (%)) の大きい、フォトリソグラフィにより好ましいマスクであることを示している。

40

(M E E F)

図 8 は、本発明のシリコン膜を遮光層とするバイナリマスク (シリコンバイナリマスク) とモリブデンシリサイド膜を遮光層とする従来のバイナリマスク (2 種類 ; マスク A とマスク B) (M o S i バイナリマスク) において、シミュレーションにより求めたウェハ上のパターンピッチ (nm) 80 nm ~ 300 nm の範囲における M E E F の値を示す図である。遮光層の膜厚は、いずれも 45 nm である。

【 0 0 5 1 】

図 8 に示されるように、パターンピッチ 80 nm ~ 300 nm の範囲において、M o S i バイナリマスクに比べて、本発明のシリコンバイナリマスクは、ピッチ 120 nm 以下及び 150 nm ~ 300 nm の領域において、より小さい M E E F の値を示している。上記のように、シリコンバイナリマスクは、高密度ピッチの広い範囲において M E E F の値

50

が小さく、マスクパターンがウェハパターンに忠実に転写されることになり、ウェハ製造歩留りが向上し、フォトリソグラフィに好適なマスクであることを示している。

(洗浄耐性)

次に、本発明のシリコン膜を遮光層とするバイナリマスク(シリコンバイナリマスク)と、モリブデンシリサイド膜を遮光層とする従来のバイナリマスク(2種類;マスクAとマスクB)(MoSiバイナリマスク)とのマスク洗浄における耐性を、薬液を用いた実際のマスク洗浄ラインにより同一の洗浄条件で洗浄し、マスクパターンの寸法変動量により比較した。比較するマスクパターンは3種類とした。

【0052】

図9は、本発明のマスク(シリコンバイナリマスク)と従来のマスクAとマスクB(いずれもモリブデンシリサイド膜を遮光層とするバイナリマスク)の洗浄後のパターンのCD変動量(CD(W+)[nm]と記す)を示す。図9において、比較した3種類のマスクパターンのうち、ISは孤立スペースパターン、LSはラインアンドスペースパターン、ILは孤立ラインパターンを示す。図9に示すように、本発明のマスク(シリコンバイナリマスク)は従来のマスク(MoSiバイナリマスク)と比較し、洗浄後のパターンのCD変動量が低く抑えられ、洗浄耐性が2倍以上の高い性能を有しているマスクであることが示された。

(そのほかの特性)

図10は、本発明の単層のシリコン遮光層から構成されるシリコンバイナリマスクの各種パターン(左上から時計回りで順に、孤立ホールパターン;孤立スペースパターン;孤立ラインパターン;ラインアンドスペースパターン)の上面からのSEM写真像であり、いずれもマスク上で40nmを目標としたパターンを示す。図10に各種パターンの寸法計測値が示されるように、本発明のシリコンバイナリマスクは、どのパターンも解像力40nm程度を示し、パターン加工特性に優れたマスクであることを示している。

(第2の実施形態)

図2は、本発明のフォトマスクブランクの第2の実施形態の一例として、透明基板21上に設けられた遮光膜としての単層の遮光層22上に、該遮光層22をエッチングするときのハードマスク層24を積層したフォトマスクブランクス20である。図2において、透明基板21、遮光層22は、上記の図1における透明基板11、遮光層12と同じ材料が用いられるので、説明は省略する。

【0053】

ハードマスク層24は、遮光層22とエッチングの選択比が十分に取れる耐エッチング性を有する必要があるとともに、エッチング完了後には必要に応じて容易に取り除くことができる材料が好ましい。また、マスクパターンの光学検査時の検出感度を上げるために検査用反射防止層を兼ねられれば、後述する反射防止層の成膜とエッチング工程が短縮されて、より好ましい。ハードマスク層24の材料としては、例えば、酸化タンタル(TaO)、酸窒化タンタル(TaON)、酸化硼化タンタル(TaOB)などの酸素を含むタンタル化合物、あるいはクロム(Cr)、酸化クロム(CrO)、窒化クロム(CrN)、酸窒化クロム(CrON)などのクロム系材料などが用いられる。ハードマスク層24の膜厚は、1nm~10nm程度の範囲が好ましい。

【0054】

ハードマスク層24を設けることにより、フォトマスク製造時のレジスト膜厚をより薄くすることが可能となり、微細なマスクパターン形成が容易となる。マスクパターン形成後は、ハードマスク層24はエッチング除去され、図1(b)と同様のフォトマスクが形成される。したがって、本実施形態のバイナリ型フォトマスクブランクスより作製したフォトマスクは、上記の第1の実施形態で説明したフォトマスクと同じ特性を示す。

(第3の実施形態)

図3(a)は、本発明のフォトマスクブランクの第3の実施形態の一例として、透明基板31に設けられた遮光層32上に、ArFエキシマレーザ露光時における露光光の反射による影響を低減させる反射防止層36を設けて遮光膜を二層構造としたフォトマスク

10

20

30

40

50

ブランク 30 の一例である。図 3 (a) において、透明基板 31、遮光層 32 は、上記の図 1 における透明基板 11、遮光層 12 と同じ材料が用いられるので、説明は省略する。

【0055】

反射防止層 36 は、遮光層 32 の光学濃度を維持しながら、露光波長に対して低反射率を示すことにより、コントラストの高いマスク画像をウェハ上に転写することができる。さらに、マスク画像を構成する反射防止層 36 を、紫外から可視領域にかけても低反射率とすることにより、検査・計測で使用する可能性のある 193 nm ~ 400 nm 程度の波長域での反射率変動が緩やかになり、検査・計測において安定した検査・計測が可能となる。本発明において、反射防止層 36 は、金属の酸化物または窒化物または酸窒化物から構成されている。反射防止層 36 として、遮光層 32 のエッチング時にエッチングされない膜を用いる場合には、例えば遮光層 32 にシリコン膜を用いた場合、シリコン膜をエッチングするフッ素系ガスでエッチングされない酸化クロム (CrO) や窒化クロム (CrN) または酸窒化クロム (CrON) 系材料などを用いることができる。

10

【0056】

また、遮光層 32 にシリコン膜を用いた場合であっても、反射防止層 36 としてシリコンの酸化物 (SiO_x) または窒化物 (SiN) または酸窒化物 (SiON) を用いることにより、遮光層 32 に続けてガス雰囲気を変えて反射防止層 36 を成膜してブランク 35 を作製し、マスクパターン形成時には、反射防止層 36 と遮光層 32 を連続してフッ素系ガスでエッチングすることを可能とし、遮光膜の成膜工程とエッチング工程を短縮化することができる。

20

【0057】

反射防止層 36 の膜厚は、1 nm ~ 10 nm 程度の範囲が好ましい。

【0058】

マスクパターン形成後は、図 3 (b) に示す反射防止層パターン 37 を有するフォトマスク 35 が形成される。

【0059】

本実施形態のバイナリ型フォトマスクブランクより作製したフォトマスクは、遮光層上に反射防止層を設けて遮光膜を二層構造としたマスクパターンを有するマスクであり、遮光膜の光学濃度に寄与する割合の高い遮光層は、上記の第 1 の実施形態のフォトマスクと同じ遮光層を形成するものであり、本実施形態のフォトマスクは、第 1 の実施形態で説明したフォトマスクのマスク特性とほぼ同様のマスク特性を示し、かつ反射防止効果を有するものである。

30

(第 4 の実施形態)

図 4 は、本発明のフォトマスクブランクの第 4 の実施形態の一例として、透明基板 41 上に設けられた遮光膜としての単層の遮光層 42 上に、ArF エキシマレーザ露光時における露光光の反射による影響を低減させる反射防止層 46 を設けて遮光膜を二層構造とし、さらに該遮光膜をエッチングするときのハードマスク層 44 を積層したフォトマスクブランク 40 の一例である。図 4 において、透明基板 41、遮光層 42、反射防止層 46 及びハードマスク層 44 は、上記の図 1 における透明基板 11、遮光層 12、図 3 における反射防止層 36 及び図 2 におけるハードマスク層 44 と同じ材料が用いられるので、説明は省略する。

40

【0060】

本実施形態においては、フォトマスク 35 の製造において、上記のように、遮光膜の上に、遮光膜をエッチングするときのハードマスク層 44 を積層したフォトマスクブランクを用いることにより、フォトマスク製造時のレジスト膜厚をより薄くすることが可能となり、微細なマスクパターン形成が容易となる。マスクパターン形成後は、ハードマスク層 44 はエッチング除去され、図 3 (b) と同様のフォトマスクが形成される。したがって、本実施形態のバイナリ型フォトマスクブランクより作製したフォトマスクは、上記の第 3 の実施形態で説明したフォトマスクと同じ特性を示す。

50

(フォトマスクの製造方法)

次に、本発明のフォトマスクの製造方法について、図2に示すフォトマスクブランクスを用いた場合を例にして説明する。図11は、本発明の一実施形態に係る図2に示すフォトマスクブランクスを用いたフォトマスクの製造工程を説明する断面模式図である。

【0061】

図11(a)に示すように、透明基板21上に、スパッタリング法などによりシリコンなどの遷移金属を含まない単一の金属材料をターゲットとして遮光層22を形成し、次に、遮光層22上にクロムなどのハードマスク層24を形成し、フォトマスクブランクス20を作製する。

【0062】

次に、図11(b)に示すように、フォトマスクブランクス20のハードマスク層24上に電子線レジストなどを塗布してレジスト層26を設け、電子線描画装置などのパターン描画装置を用いて所定のマスクパターンを描画し、現像して、図11(c)に示すように、レジストパターン26aを形成する。

【0063】

次に、図11(d)に示すように、レジストパターン26aをマスクとして、下層のハードマスク層24をエッチングしてハードマスクパターン28を形成し、次いで、レジストパターン26aを剥離除去した後、ハードマスクパターン28をマスクにして遮光層22をドライエッチングし、図11(e)に示すように、遮光層パターン23を形成する。

【0064】

次に、ハードマスクパターン28をエッチング除去し、図11(f)に示すように、透明基板21上に遷移金属を含まない単一の金属材料の膜から構成される遮光層パターン23を設けたバイナリ型のフォトマスクが得られる。

【0065】

本発明においては、上記のフォトマスクの製造方法において、遮光層22上に、該遮光層22をドライエッチングするときのハードマスク層24を積層し、ハードマスクパターン28を形成後、遮光層22をドライエッチングする際に、エッチングガスによるサイドエッチングを用いて、遮光層22のスペース寸法が大きくなる、すなわちライン寸法が小さくなる方向に入ることにより、フォトマスク上で40nm以下の微小なラインパターンを形成することが可能となる。

【0066】

以下、実施例によりさらに詳しく説明する。

【実施例】

【0067】

(実施例1)

光学研磨した6インチ角、0.25インチ厚の透明な合成石英基板上に、不純物イオンを含まないシリコン結晶をターゲットとし、平行平板型DCマグネトロンスパッタリング装置を用いてArガス雰囲気下でシリコン膜を45nm成膜して遮光層としたバイナリ型フォトマスクブランクスを作製した。成膜は露光波長193nmの光学濃度(OD)がほぼ3になるよう膜厚を最適化した。

遮光層シリコンの光学濃度は大塚電子社製MCPD3000で測定し、光学定数はエリプソメーター(ジェー・エー・ウラム社製)の測定より得た。また、遮光膜の膜厚は成膜前に基板上にレジスト塗布した部位上の遮光膜を成膜後にレジスト剥膜することにより除去して段差を形成させ、AFM装置(エスアイアイ ナノテクノロジー社製)を用いて計測した。

【0068】

次に、上記のブランクス上に電子線レジストを塗布し、プリベーク後、電子線描画装置にてパターン露光し、レジスト専用の現像液により現像し、所望形状のレジストパターンを形成した。

【0069】

10

20

30

40

50

次に、上記のレジストパターンをマスクとして、ドライエッチング装置によりフッ素系ガスを用いて遮光膜をドライエッチングし、パターンニングした。最後にレジストを O_2 プラズマでアッシングして除去し、単層構造で良好な断面形状の微細なバイナリ型の遮光膜パターンを有するArFエキシマレーザ用バイナリ型フォトマスク（シリコンマスク）を得た。

【0070】

上記のシリコンマスクは、露光光における光学濃度が3.1で、ラインアンドスペースのスルーピッチ80nm～300nmにおけるEMFバイアス及びMEEFの値が小さく、露光裕度（EL）の最大値が大きく、ウェハ上に良好な転写パターンを形成できた。また、このシリコンマスクは、高い洗浄耐性、耐光性を示した。

10

（実施例2）

実施例1と同様にして、露光波長193nm用の blanks として、6インチ角の透明な合成石英基板上に、Arガス雰囲気下でスパッタリングによりシリコン膜を40nm成膜して遮光層とし、続いて、クロムをスパッタリングして5nm成膜したバイナリ型フォトマスク blanks を作製した。クロム膜は、シリコン遮光層をエッチングするときのハードマスク層とするものである。

【0071】

次に、上記の blanks 上に電子線レジストを塗布し、プリベーク後、電子線描画装置にてパターン露光し、現像し、所望形状のレジストパターンを形成した。

【0072】

次に、上記のレジストパターンをマスクとして、ドライエッチング装置により塩素と酸素の混合ガスでハードマスク層のクロム膜をエッチングし、次にレジストパターンを O_2 プラズマでアッシングして除去した後、フッ素系ガスを用いて遮光膜をドライエッチングし、パターンニングした。

20

【0073】

次に、塩素と酸素の混合ガスでハードマスク層のクロム膜パターンをエッチングして除去し、シリコン膜の単層構造で良好な断面形状の微細なバイナリ型の遮光膜パターンを有するArFエキシマレーザ用バイナリ型フォトマスクを得た。

【0074】

このシリコンマスクも実施例1と同様に良好なマスク特性を示した。

30

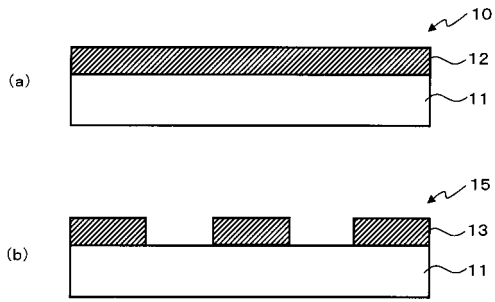
【符号の説明】

【0075】

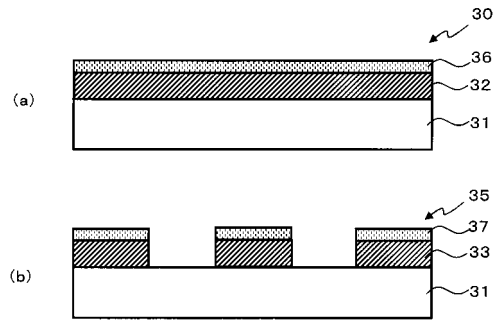
- 10、20、30、40 フォトマスク blanks
- 11、21、31、41 透明基板
- 12、22、32、42 遮光層
- 13、23、33 遮光層パターン
- 24、44 ハードマスク層
- 15、35 フォトマスク
- 26 レジスト層
- 26a レジストパターン
- 28 ハードマスクパターン
- 36 反射防止層
- 37 反射防止層パターン
- 121 光透過部
- 122 遮光部
- 131 透明基板
- 133 遮光層パターン

40

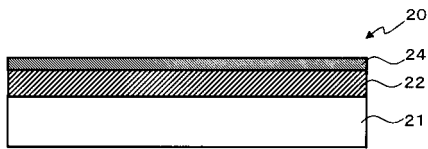
【図1】



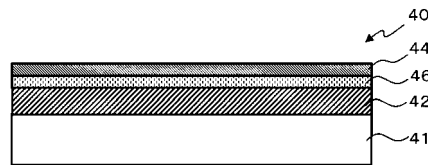
【図3】



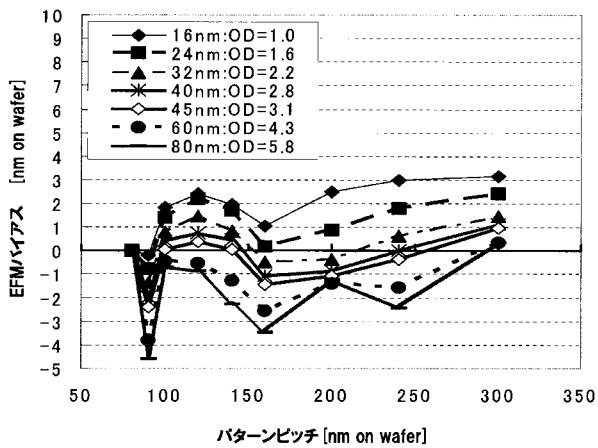
【図2】



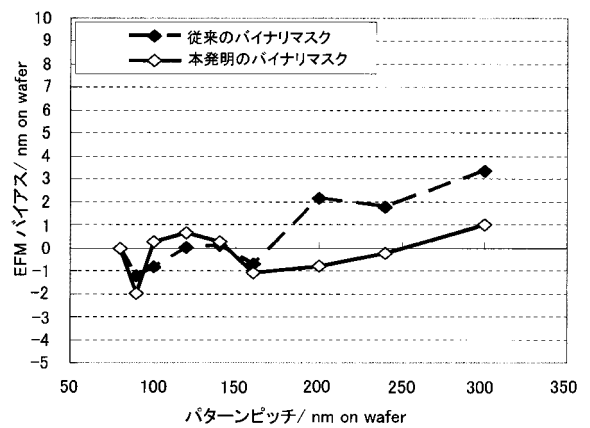
【図4】



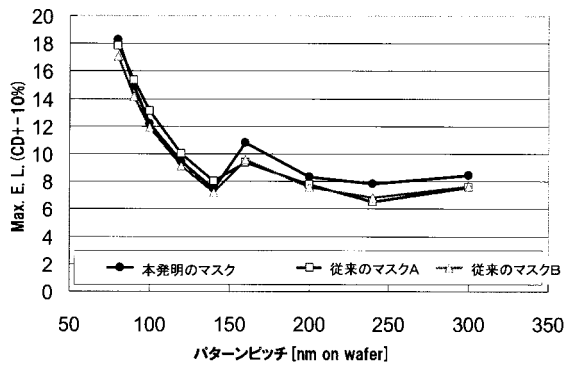
【図5】



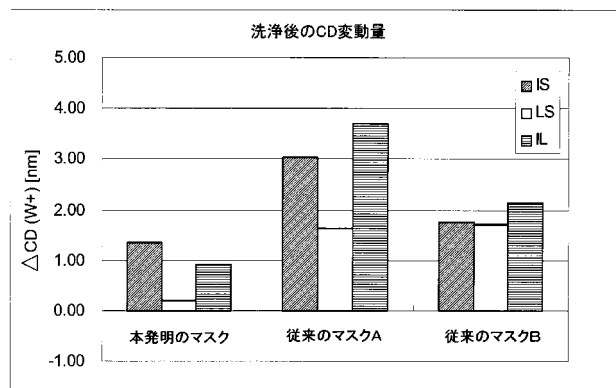
【図6】



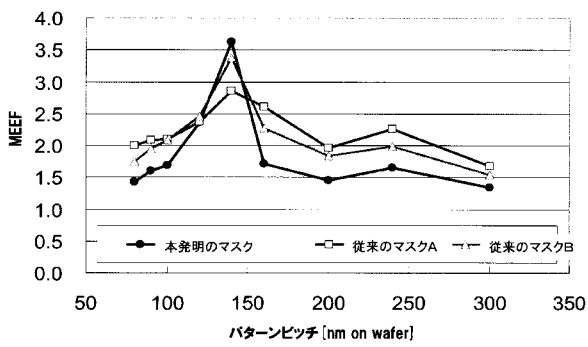
【 図 7 】



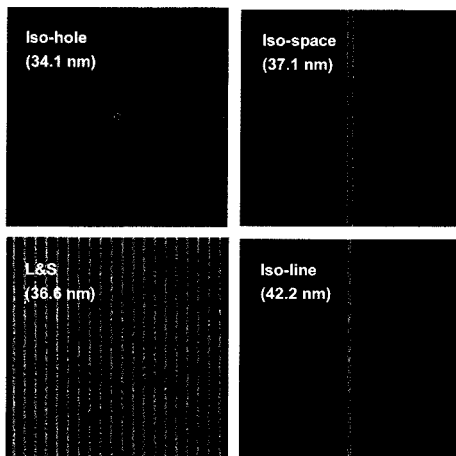
【 図 9 】



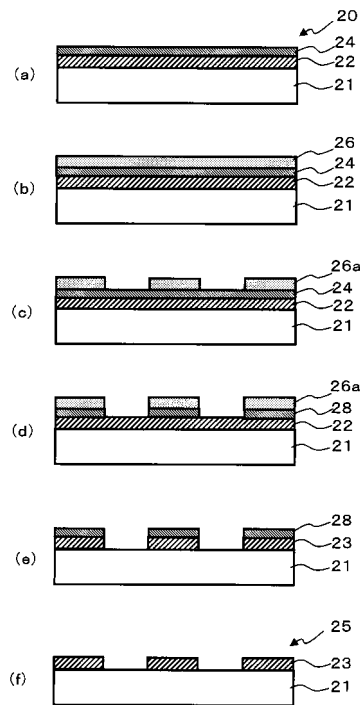
【 図 8 】



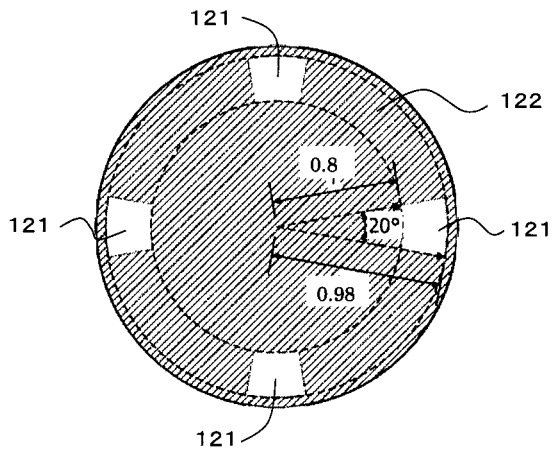
【 図 1 0 】



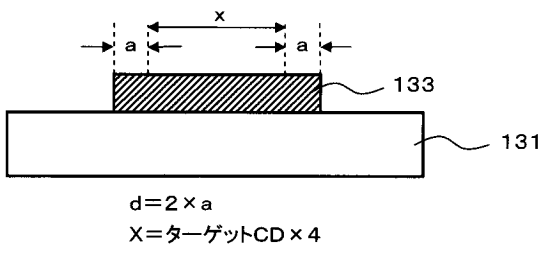
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

- (72)発明者 渡邊 浩司
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号 大日本印刷株式会社内
- (72)発明者 早野 勝也
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号 大日本印刷株式会社内
- (72)発明者 高見澤 秀吉
東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号 大日本印刷株式会社内
- Fターム(参考) 2H095 BB16 BB25 BC05 BC14