

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6315033号
(P6315033)

(45) 発行日 平成30年4月25日(2018.4.25)

(24) 登録日 平成30年4月6日(2018.4.6)

(51) Int.Cl. F 1
GO3F 1/38 (2012.01) GO3F 1/38
GO3F 1/32 (2012.01) GO3F 1/32

請求項の数 2 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2016-136462 (P2016-136462)	(73) 特許権者	000002897
(22) 出願日	平成28年7月9日(2016.7.9)		大日本印刷株式会社
(62) 分割の表示	特願2012-129866 (P2012-129866) の分割		東京都新宿区市谷加賀町一丁目1番1号
原出願日	平成24年6月7日(2012.6.7)	(74) 代理人	100122529 弁理士 藤栴 裕実
(65) 公開番号	特開2016-181008 (P2016-181008A)	(74) 代理人	100135954 弁理士 深町 圭子
(43) 公開日	平成28年10月13日(2016.10.13)	(74) 代理人	100119057 弁理士 伊藤 英生
審査請求日	平成28年7月9日(2016.7.9)	(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

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

A r F エキシマレーザを露光光源とし、露光光の波長を λ 、投影レンズの開口数を NA、ウェハ上に転写される最小のパターン寸法を R、定数を k_1 としたときに、 $R = k_1 \times \lambda / NA$ の関係が成り立ち、瞳フィルタを用いて斜入射光により露光するフォトリソグラフィ技術に用いられるフォトマスクにおいて、

前記フォトマスクが、透明基板上に前記露光光を所定の透過率で透過し位相を変える半透明膜パターンを設けてマスクパターンを形成したハーフトーン型位相シフトマスクであって、

前記半透明膜パターンの側壁が、前記露光光を減光する側壁減光膜で覆われており、前記側壁減光膜が、前記半透明膜パターンを構成する材料の酸化膜または窒化膜であることを特徴とするフォトマスク。

【請求項2】

前記側壁減光膜の前記半透明膜パターンの側壁からの厚さが $1 \text{ nm} \sim 60 \text{ nm}$ の範囲であり、前記側壁減光膜における前記露光光の透過率が $0\% \text{ 以上} \sim 50\% \text{ 以下}$ の範囲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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体素子のパターン形成に用いられるフォトリソグラフィ技術に使用されるフォトマスク、特に、高NA露光装置を使用し、フォトマスクパターンをウェハ上に縮小転写するフォトリソグラフィ技術に用いられる露光裕度を向上させたフォトマスクに関する。

【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45nmノードから32nmノードへと進展し、さらに22nmノード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193nm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。

10

【0003】

フォトリソグラフィ技術においては、投影露光装置で転写できる最小の寸法(解像度)Rは、以下の数式(1)に示されるように、露光に用いる光の波長に比例し、投影光学系のレンズの開口数(NA)に反比例するため、半導体素子の微細化への要求に伴い、露光光の短波長化及び投影光学系の高NA化が進んでいるが、短波長化及び高NA化だけでこの要求を満足するには限界となっている。 k_1 はプロセスに依存する定数(プロセス定数、あるいは k_1 ファクターとも言う。)である。

20

$$R = k_1 \times \lambda / NA \quad \dots (1)$$

【0004】

そこで解像度を上げるために、定数 k_1 (k_1 =解像線幅×レンズの開口数/露光波長)の値を小さくすることによって微細化を図る超解像技術(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線幅オフセット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とも称する。)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とも称する。)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。

30

【0005】

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記す)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(渋谷・レベンソン型とも称する。)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(以後、ハーフトーンマスクとも記す。)、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。

40

【0006】

上記の各種フォトマスクの中で、ハーフトーンマスクはマスク構造が簡素で、微細化、高精度化に対応したマスクの製造が比較的容易であり、よく用いられる位相シフトマスクである。ハーフトーンマスクは、フォトマスクのパターン部に露光光を所定の透過率で透過する材料を使用し、パターン部と非パターン部を透過した露光光に位相差を180度つける構造で、これにより露光裕度を向上させている。図14は、従来のハーフトーンマスクのパターンの一例を示す断面模式図である(特許文献1参照)。透明基板141上に露光光を所定の透過率で透過する半透明膜パターン142でフォトマスクのパターン(以後

50

、マスクパターンと言う)が形成されているマスクである。このハーフトーンマスクは、ハーフピッチ45nm以下のデザインルールを用いた半導体素子のパターン作成に用いられるようになっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2001-56544号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、ハーフピッチ45nm以下のデザインルールを用いた半導体素子のパターン寸法の微細化に伴い、露光波長193nmの半導体のフォトリソグラフィにおいては、パターンサイズが小さくなることにより、露光裕度が小さくなっており、従来のマスクパターンでは露光裕度が足りない状況が生じており、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低下するという問題が生じている。露光裕度(EL: Exposure Latitude)は、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り、フォトレジスト膜によるレ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。

【0009】

また、現在、ウェハ転写時の露光裕度の向上のために、露光機の照明系とマスクパターンを相互に最適化する手法であるSMO(Source Mask Optimization)や、マスクパターンのウェハ転写時の変形を予め補正しておくOPC(Optical Proximity Correction: 光近接効果補正)などの技術においては、高速処理が可能で処理負荷を低減できる2次元シミュレーションによる設計を用いている。しかし、フォトマスクのパターン部の膜厚などの3次元構造(立体構造)の影響により、2次元シミュレーションと実際のフォトマスクの転写特性との間に乖離が見られるようになり問題となっている。したがって、設計している露光裕度と実際の露光裕度との間に差が生じてしまい、半導体ウェハの歩留まりに影響を与えているという問題が生じている。

【0010】

しかしながら、3次元シミュレーションは高精度で、マスクの立体構造にも対応できるという利点はあるが、たとえ今後のシミュレーション装置の処理能力向上を考慮したとしても、LSIのフルチップ全てに3次元シミュレーションを採用するという事は、パラメータの増加と膨大な処理時間を必要とするために不可能に近いという問題がある。

【0011】

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、ArFエキシマレーザを露光光源とし、瞳フィルタを用いて斜入射光により露光するフォトリソグラフィ技術に用いられるフォトマスクにおいて、フォトマスクのパターンの膜厚などの3次元効果の影響を低減させ、半導体素子のフォトリソグラフィ工程における露光裕度を向上させることができるフォトマスクを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記の課題を解決するために、本発明の請求項1に記載の発明に係るフォトマスクは、ArFエキシマレーザを露光光源とし、露光光の波長を λ 、投影レンズの開口数をNA、ウェハ上に転写される最小のパターン寸法をR、定数を k_1 としたときに、 $R = k_1 \times \lambda / NA$ の関係が成り立ち、瞳フィルタを用いて斜入射光により露光するフォトリソグラフィ技術に用いられるフォトマスクにおいて、前記フォトマスクが、透明基板上に前記露光光を所定の透過率で透過し位相を変える半透明膜パターンを設けてマスクパターンを形成したハーフトーン型位相シフトマスクであって、前記半透明膜パターンの側壁が、前記露光

10

20

30

40

50

光を減光する側壁減光膜で覆われており、前記側壁減光膜が、前記半透明膜パターンを構成する材料の酸化膜または窒化膜であることを特徴とするものである。

【0013】

本発明の請求項2に記載の発明に係るフォトマスクは、ArFエキシマレーザを露光光源とし、露光光の波長を λ 、投影レンズの開口数をNA、ウェハ上に転写される最小のパターン寸法をR、定数を k_1 としたときに、 $R = k_1 \times \lambda / NA$ の関係が成り立ち、瞳フィルタを用いて斜入射光により露光するフォトリソグラフィ技術に用いられるフォトマスクにおいて、前記フォトマスクが、透明基板上に前記露光光を所定の透過率で透過し位相を変える半透明膜パターンを設けてマスクパターンを形成したハーフトーン型位相シフトマスクであって、前記半透明膜パターンの側壁が、前記露光光を減光する側壁減光膜で覆われており、前記側壁減光膜が、タンタルを含む材料から構成されていることを特徴とするものである。

10

【0014】

本発明の請求項3に記載の発明に係るフォトマスクは、請求項1または請求項2に記載のフォトマスクにおいて、前記側壁減光膜の前記半透明膜パターンの側壁からの厚さが1nm~60nmの範囲であり、前記側壁減光膜における前記露光光の透過率が0%以上で50%以下の範囲であることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0015】

本発明のハーフトーンマスクによれば、マスクパターンの側壁に側壁減光膜を設けることで、マスクパターンに入射した露光光に対して、マスクパターンの側壁を透過して射出する露光光を減光し、フォトマスクのパターンの膜厚などによる立体的な3次元効果の影響を低減させ、フォトマスクの3次元構造と2次元構造の転写特性シミュレーションの差であるEMFバイアス(Electro Magnetic Field Bias)を小さくし、シミュレーションと実際の露光結果とを近づける効果を示す。また、本発明のハーフトーンマスクは、ラインバイアスの値を小さくすることができ、フォトマスクの製造が容易になる。本発明の側壁減光膜を設けたハーフトーンマスクは、側壁減光膜を設けていない従来のハーフトーンマスクあるいは従来のバイナリマスクよりも高い露光裕度(コントラスト)を示し、半導体素子のフォトリソグラフィ工程における歩留まりを向上させる効果を奏する。

20

30

【0016】

本発明のハーフトーンマスクの製造方法によれば、比較的簡単な工程によりマスクパターンの側壁に側壁減光膜を設けて、露光裕度を向上させたハーフトーンマスクを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明のハーフトーンマスクの一例を示すマスクパターンの部分断面図である。

【図2】図1に示した本発明のハーフトーンマスクの製造工程を示す部分断面図である。

【図3】図2に続く図1に示した本発明のハーフトーンマスクの製造工程を示す部分断面図である。

40

【図4】図1及び図2における本発明のハーフトーンマスクの製造方法における側壁減光膜の形成方法の一方法を説明する工程断面図である。

【図5】図1に示す本発明のハーフトーンマスクのシミュレーションによるパターンの光強度断面図である。

【図6】従来のハーフトーンマスクのシミュレーションによるパターンの光強度断面図である。

【図7】従来のクロムバイナリマスクのシミュレーションによるパターンの光強度断面図である。

【図8】本発明のハーフトーンマスクの側壁減光膜の厚さを変えたときのウェハ上のパターンのピッチにおけるEMFバイアスを示す図である。

50

【図9】本発明のハーフトーンマスクの側壁減光膜の厚さを変えたときのウェハ上のパターンのピッチにおけるNILSの2次元と3次元のシミュレーション差を示す図である。

【図10】本発明のハーフトーンマスクの側壁減光膜の厚さを変えたときのウェハ上のパターンのピッチにおけるMEEFの2次元と3次元のシミュレーション差を示す図である。

【図11】本発明の側壁減光膜を追加したハーフトーンマスクと従来のハーフトーンマスクとクロムバイナリマスクのラインバイアスを変えたときのコントラストを示す図である。

【図12】バイアスを説明するための従来のハーフトーンマスクのパターンの断面模式図である。

【図13】本発明においてマスクの転写特性評価に用いた四重極(Cquad)の瞳フィルタの平面模式図である。

【図14】従来のハーフトーン型位相シフトマスクの一例を示すマスクパターンの部分断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

上記のように、半導体素子の微細化に伴い、半導体製造のフォトリソグラフィにおいて、開口レンズの高NA化が進み、マスクに入射する照明光の入射角度が大きくなって斜入射光が用いられ、瞳フィルタを用いた変形照明法によるフォトリソグラフィ技術が一般的に用いられるようになってきている。

【0019】

本発明においては、ArFエキシマレーザを露光光源とし、瞳フィルタを用いて斜入射光により露光するフォトリソグラフィ技術に用いられるフォトマスクにおいて、上記のフォトマスクが、透明基板上に露光光を所定の透過率で透過し位相を変える半透明膜を設けてマスクパターンを形成したハーフトーンマスクであって、マスクパターンの側壁部が露光光を減光する側壁減光膜で覆われているハーフトーンマスクである。以後、本発明のハーフトーンマスクを、側壁減光膜追加ハーフトーンマスク(側壁減光膜追加HTマスク)とも呼ぶ。

【0020】

本発明のハーフトーンマスクを用いた場合の露光裕度(EL)を調べるために、NILS(Normalized Image Log-Slope:正規化画像対数勾配)を指標とし、マスクパターンの転写特性を評価した。さらに、MEEF(Mask Error Enhancement Factor:マスク誤差増大因子)についても評価した。

【0021】

NILSは、下記の数式(2)で表される。NILSの値が大きいと、光学像は急峻となりレジストパターンの寸法制御性は向上する。一般的に、NILSは2以上が好ましいが、半導体素子の微細化に伴い、NILSが1.0程度以上でも解像するようなレジストプロセスが求められてきている。ここで、Iは光強度、xは位置を示し、(dI/dx)は空間像の勾配、Wは所望のパターン寸法、 I_{th} はWを与える光強度の閾値(Threshold)である。

$$NILS = (dI/dx) / (W \times I_{th}) \quad \dots \quad (2)$$

【0022】

NILSと露光裕度(EL)は、下記の数式(3)の一次関数で関連付けられる。なお、定数aとbはレジストプロセスなどによって変わる値である。数式(3)が示すように、NILSの値が大きいほど露光裕度は向上する。

$$EL(\%) = a \times (NILS - b) \quad \dots \quad (3)$$

【0023】

MEEFは、下記の数式(4)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

10

20

30

40

50

ウェハの重要な寸法 (Critical Dimension) を示す。数式 (4) 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 (4) が示すように、MEEF 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、MEEF 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。

$$MEEF = \text{ウェハ}CD / \text{マスク}CD / 4 \cdots (4)$$

【0024】

(シミュレーション条件)

本発明においては、側壁減光膜追加ハーフトーンマスクの露光裕度を見積もるために、側壁減光膜追加ハーフトーンマスクが効果を示す条件をシミュレーションにより求めた。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TEMPEST (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称する。) 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。

【0025】

(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、純水を用いた液浸露光とした。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3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つの光透過部は、XY軸上に瞳中心からの開口角が30度の扇型 (ポーラリゼーションはXY) をなし、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0.81とした。半透明膜よりなるマスクパターンは1対1のライン&スペースで、ウェハ上に転写したときのピッチは40nm~500nmの間で13点の値をとり、ターゲットとするラインCDはウェハ上で40nmとした。ハーフトーンマスクの半透明膜は単層とし、露光光透過率6%のモリブデンシリサイド (MoSi) 膜を想定した。露光光の斜入射光によるフォトマスクへの入射角度は16度とした。

【0026】

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。

【0027】

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。

【0028】

(フォトマスク)

以下、図面に基づいて、本発明の実施形態に係るハーフトーンマスクについて詳細に説明する。

【0029】

図1は、本発明のハーフトーンマスクの一例を示すマスクパターンの部分断面図である。図1に示すように、露光光を透過する透明基板11の一主面上に露光光を所定の透過率で透過し位相を変える半透明膜パターン12を設けてマスクパターン16を形成したハーフ

10

20

30

40

50

フトーンマスク10であって、マスクパターン16の側壁部が、該側壁部から射出される露光光を減光する側壁減光膜15で覆われているフォトマスクである。

【0030】

本発明において、透明基板11の露光光透過領域の光の透過率を100%としたとき、半透明膜パターン12は、露光光の透過率が1~85%の範囲にあるのが好ましく、通常は透過率6%の半透明膜パターン12がよく用いられる。半透明膜パターン12の露光光の透過率が高い方が、側壁減光膜15の効果はより大きくなる。

【0031】

本発明者は、マスクパターンの側壁を側壁減光膜で覆うことによる光強度の変化について比較した。図5は、図1に示す本発明のハーフトーンマスクのシミュレーションによるパターンの光強度断面図である。図6は、従来ハーフトーンマスクのシミュレーションによるパターンの光強度断面図である。図7は、従来クロムバイナリマスクのシミュレーションによるパターンの光強度断面図である。図6、図7において、図5と共通している同じ個所は同じ符号を用いている。図5~図7のいずれの図においても、(a)がマスクパターンの部分断面図、(b)がマスク断面のマスクパターン、及びマスクパターン周辺のパターンの存在しないスペース部の露光光の光強度を示す。光強度は規格化してあり、グレースケールの黒濃度が高い方は光強度が小さいことを示す。

10

【0032】

図5(b)に示すように、半透明膜の側面を側壁減光膜で覆った本発明の側壁減光膜追加ハーフトーンマスク(以後、「側壁減光膜追加HTマスク」とも記す)は、図6(b)に示す従来ハーフトーンマスク(「従来HTマスク」とも記す)及び図7(b)に示す従来クロムバイナリマスク(「Cr-BIM」とも記す)と比べ、マスクパターン周辺のスペース部の光強度の低下が少ない。

20

【0033】

本発明者は、透明基板11側からフォトマスクのパターン部の半透明膜パターン12に入射した露光光に対して、側壁減光膜追加HTマスクに設けられた側壁減光膜15が、ハーフトーンマスクの半透明膜パターン12の側壁から射出される位相のずれた光が半透明膜パターン12の周辺のスペース部の露光光と干渉するのを防ぐもしくは低減しているため、スペース部の光強度の低下が少なくなり、ハーフトーンマスクにおける3次元構造の露光光への悪影響を減少させているものと推測している。

30

【0034】

本発明において、図1に示す側壁減光膜15の半透明膜パターン12の側壁からの厚さ t (nm)は、後述するように、1nm~60nmの範囲が好ましく、特に20nm~40nmの範囲がより好ましい。したがって、マスクパターン16の寸法は、半透明膜12の寸法に側壁減光膜15の厚さ($2 \times t$)を加えた値となる。

【0035】

本発明において、側壁減光膜15は、パターン部の半透明膜12に入射した露光光に対して、パターン側壁から射出される光を転写に悪影響を与えないように減光できればよい。本発明では、側壁減光膜15の露光光の透過率の上限を50%としている。側壁減光膜15の露光光の透過率が50%を超えると、側壁減光膜15の厚さ t を厚くする必要が生じ、パターン寸法の調整が困難となるからである。一方、側壁減光膜15は、パターン側壁から射出される光を100%遮光(透過率は0%)してもよい。したがって、本発明では、側壁減光膜15の露光光の透過率は、0%以上で50%以下を好ましい範囲としている。ここで、透過率0%は、波長193nmの露光光が1回の露光で側壁から射出されないことを意味するものである。

40

【0036】

(側壁減光膜の膜厚を変えたときの転写特性)

本発明のハーフトーンマスクの転写特性を評価する手順として、側壁減光膜15の膜厚 t を変えたときの転写特性として、EMFバイアス、NILSの3次元シミュレーションと2次元シミュレーションによる相違、及びMEEFの3次元シミュレーションと2次元

50

シミュレーションによる相違を評価した。

【0037】

図8は、上記のシミュレーション条件、リソグラフィ条件により、本発明のハーフトーンマスクの側壁減光膜15の厚さ t を変えたときのウェハ上のパターンのピッチ $40\text{ nm} \sim 500\text{ nm}$ におけるEMFバイアスを示す図である。厚さ t (nm)は、 0 nm (側壁減光膜がない場合) $\sim 60\text{ nm}$ まで、 10 nm ごとに変えてウェハ上のEMFバイアスを求めた。上記のように、EMFバイアスは3次元構造(3D)と2次元構造(2D)の転写特性シミュレーションの差を示す。

【0038】

図8に示されるように、ウェハ上のパターンのピッチ $40\text{ nm} \sim 500\text{ nm}$ において、側壁減光膜15を設けることにより、側壁減光膜がない場合(側壁 0 nm)に比べて、EMFバイアスはより小さな値を示し、側壁減光膜15の厚さ t が $10\text{ nm} \sim 60\text{ nm}$ の範囲では、ウェハ上のEMFバイアスが、ほぼ $\pm 2\text{ nm}$ 以内に入ることが示されている。本発明者は、側壁減光膜15の厚さ t が 1 nm と極めて薄い場合でも、側壁が減光膜で覆われていれば、EMFバイアスの値を低下させる効果があることを確認した。さらに、側壁減光膜15の厚さ t が $20\text{ nm} \sim 40\text{ nm}$ の範囲では、ウェハ上のEMFバイアスは $\pm 1\text{ nm}$ 以内に入り、ほぼ一定しており、シミュレーションと実際の露光結果とを近づける効果が大きいことが示されている。したがって、本発明では、側壁減光膜15の厚さ t は、 $1\text{ nm} \sim 60\text{ nm}$ の範囲が好ましく、特に $20\text{ nm} \sim 40\text{ nm}$ の範囲がより好ましい。

【0039】

図9は、上記のシミュレーション条件、リソグラフィ条件により、本発明のハーフトーンマスクの側壁減光膜15の厚さ t を変えたときのウェハ上のパターンのピッチ $40\text{ nm} \sim 500\text{ nm}$ におけるNILSの3次元(3D)と2次元(2D)のシミュレーション差を示す図である。上記のように、NILSは数式(2)で表され、転写パターンの光学像の評価指標である。

【0040】

図9に示されるように、ウェハ上のパターンのピッチ $40\text{ nm} \sim 500\text{ nm}$ において、側壁減光膜15を設けることにより、側壁減光膜がない場合(側壁 0 nm)に比べて、NILSの3次元(3D)と2次元(2D)のシミュレーション差(3D - 2D)はより小さな値を示し、側壁減光膜15の厚さ t が $10\text{ nm} \sim 60\text{ nm}$ の範囲では、NILSのシミュレーション差が、ほぼ $0 \sim -0.2$ 以内に入ることが示されている。また、側壁減光膜15の厚さ t が 1 nm と極めて薄い場合でも、側壁が減光膜で覆われていれば、NILSの3Dと2Dのシミュレーション差を低下させる効果があることを確認した。さらに、側壁減光膜15の厚さ t が $20\text{ nm} \sim 40\text{ nm}$ の範囲では、NILSの3Dと2Dのシミュレーション差がほぼ $0 \sim -0.1$ 以内と一定しており、2Dシミュレーションと3Dシミュレーションとの間の乖離を低減する効果が大きい。したがって、本発明では、側壁減光膜15の厚さ t は、 $1\text{ nm} \sim 60\text{ nm}$ の範囲が好ましく、特に $20\text{ nm} \sim 40\text{ nm}$ の範囲がより好ましい。これは、ハーフトーンマスクの半透明膜パターンの側壁に厚さ $1\text{ nm} \sim 60\text{ nm}$ の範囲、より好ましくは $20\text{ nm} \sim 40\text{ nm}$ の範囲の側壁減光膜を設けることにより、マスクパターンによる3次元効果を抑制し、2Dシミュレーションと実際のマスクパターン転写(3D)との差を低減することで、高精度かつ短時間で解像力を向上させるRET技術を実現することが可能となることを示している。

【0041】

図10は、上記のシミュレーション条件、リソグラフィ条件により、本発明のハーフトーンマスク10の側壁減光膜の厚さ t を変えたときのウェハ上のパターンのピッチ $40\text{ nm} \sim 500\text{ nm}$ におけるMEEFの3次元(3D)と2次元(2D)のシミュレーション差を示す図である。上記のように、MEEFは数式(4)で表され、マスクパターンの転写特性を示す。

【0042】

図10に示されるように、ウェハ上のパターンのピッチ $40\text{ nm} \sim 500\text{ nm}$ において

10

20

30

40

50

、側壁減光膜 15 を設けることにより、側壁減光膜がない場合（側壁 0 nm）に比べて、M E E F の 3 次元（3 D）と 2 次元（2 D）のシミュレーション差（3 D - 2 D）はより小さな値を示し、側壁減光膜 15 の厚さ t が 10 nm ~ 60 nm の範囲では、M E E F のシミュレーション差は、- 0.1 ~ 0.5 以内に入ることが示されている。また、側壁減光膜 15 の厚さ t が 1 nm と極めて薄い場合でも、側壁が減光膜で覆われていれば、M E E F の 3 D と 2 D のシミュレーション差を低下させる効果があることを確認した。さらに、側壁減光膜 15 の厚さ t が 20 nm ~ 40 nm の範囲では、M E E F の 3 D と 2 D のシミュレーション差がほぼ小さい値で推移しており、2 D シミュレーションと 3 D シミュレーションとの間の乖離を低減する効果が大きい。したがって、上記と同様に、ハーフトーンマスクの半透明膜パターンの側壁に厚さ 1 nm ~ 60 nm の範囲、より好ましくは 20 nm ~ 40 nm の範囲の側壁減光膜を設けることにより、マスクパターンによる 3 次元効果を抑制し、2 D シミュレーションと実際のマスクパターン転写（3 D）との差を低減することで、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が示される。

10

【0043】

（側壁減光膜の作用効果）

次に、本発明のハーフトーンマスク 10 における側壁減光膜 15 の作用効果について説明する。

図 11 は、図 5 に示す本発明の側壁減光膜 15 を追加したハーフトーンマスク 10 と、図 6 に示す従来のハーフトーンマスクと、図 7 に示す従来のクロムバイナリマスクのラインバイアスを変えたときのコントラストを示す図である。

20

【0044】

ここで、本発明で用いているバイアスについて、図 12 に示す従来のハーフトーンマスクのパターンの断面模式図を例にして説明する。図 12 では、透明基板 121 上に半透明膜 122 よりなる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 C D（C r i t i c a l D i m e n s i o n）と称する）は、目標とするウェハ上の線幅寸法（ターゲット C D 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（ $x = \text{ターゲット C D} \times 4$ ）。

$$\text{バイアス}(d) = 2 \times a$$

図 12 において、バイアス d の値が + の場合はライン C D が広がる方向であり、 d の値が - の場合はライン C D が狭くなる方向を意味する。ただし、+ の場合には特に + の表示はしていない。本発明においては、マスクパターンのライン C D のバイアスをラインバイアスと称する。

30

【0045】

コントラストは従来ウェハ上の光強度の頂点を I_{top} 、光強度の底の値を I_{bottom} とし、下記の数式（5）で表される。コントラストが高いと（max. 1）、露光量裕度が広くなり、転写されるパターンのラインのエッジ・ラフネスが良化し、フォトリソグラフィ工程の歩留まりが改善される。

$$\text{コントラスト} = (I_{top} - I_{bottom}) / (I_{top} + I_{bottom}) \quad \dots (5)$$

【0046】

図 11 に示すラインバイアスを変えたときのコントラストにおいて、実線が本発明の側壁減光膜追加ハーフトーン（HT）マスク、点線が従来のハーフトーンマスク（HT）、一点鎖線が従来のクロムバイナリマスク（Cr-BIM）を示す。

40

【0047】

図 11 に示されるように、本発明の側壁減光膜追加ハーフトーンマスクは、従来のハーフトーンマスク及び従来のクロムバイナリマスクと比べ、コントラストがより高くなり、転写特性に向上が見られる。

【0048】

また、図 11 に示されるコントラストのピーク位置におけるラインバイアスの値は、点線で示す従来のハーフトーンマスクは - 10 nm 付近のマイナス側を示し、一点鎖線で示

50

す従来のクロムバイナリマスクは10 nm付近のプラス側を示しているのに対し、本発明の側壁減光膜追加ハーフトーンマスクは、コントラストのピーク位置におけるラインバイアスが、0 nm付近の値を示している。

【0049】

従来のハーフトーンマスクや従来のクロムバイナリマスクは、ある程度の大きさのラインバイアスを入れてマスクパターンを作成しないと、ウェハ上で設計通りの寸法が得られなかった。そのため、パターンの微細化に伴い、マイナス側のバイアスの場合には、透明基板に接する残しパターンの表面積が減少して密着不良によるパターン剥離を生じ、一方、プラス側のバイアスの場合には、バイアスのためのスペース部が小さくなってマスク製造が困難になるという問題が生じていた。

【0050】

これに対して、上記のように、本発明の側壁減光膜追加ハーフトーンマスクは、従来のハーフトーンマスクや従来のクロムバイナリマスクに比較して、ラインバイアスが少なくなる方向へシフトしている。したがって、本発明の側壁減光膜追加ハーフトーンマスクは、マスクパターンの設計において、補正值であるバイアスの値は従来のハーフトーンマスクやクロムバイナリマスクに比べて、小さくてよいことになる。その結果、ウェハへのマスクパターン転写特性の向上とともに、マスクパターン設計及びマスク製造がより容易になるという効果が得られる。

【0051】

(フォトマスク構成材料)

次に、本発明のフォトマスクを構成する材料について説明する。図1に示す本発明のハーフトーンマスク10を構成する透明基板11としては、従来公知の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ている合成石英ガラスがより好ましい。

【0052】

図1に示す本発明のハーフトーンマスク10を構成する半透明膜パターン12は、露光光を所定の透過率で透過し位相を変える薄膜であり、単層あるいは2層以上の多層で形成され、ハーフトーンマスク用の半透明膜として用いられる従来公知の材料が適用できる。例えば、半透明膜パターン12としては、クロム(Cr)、タンタル(Ta)などの金属元素の窒化物、酸化物、または酸化窒化物を主成分とする薄膜、あるいはモリブデンシリサイド(MoSi)、窒化モリブデンシリサイド(MoSiON)などのモリブデンシリサイド化合物の薄膜、酸化窒化シリコン(SiON)の薄膜などが挙げられる。

【0053】

半透明膜パターン12における露光光の透過率は、透明基板11の露光光透過領域の光の透過率を100%としたとき、1%~85%の範囲にあるのが好ましい。半透明膜パターン12の膜厚は、従来公知のハーフトーンマスクの半透明膜パターンの膜厚が適用でき、例えば50 nm~100 nmの範囲で用いることができるが、膜厚が厚くなると上記の立体効果による障害が大きくなるので薄い方が好ましい。

【0054】

図1に示す本発明のハーフトーンマスク10を構成する側壁減光膜15は、金属膜、金属酸化膜、金属窒化膜、金属酸化窒化膜のうちのいずれかの膜で形成されており、露光光の透過率が50%以下である薄膜層であり、側壁減光膜15の側壁の厚さtは、上記のように、1 nm~60 nmの範囲が好ましく、特に20 nm~40 nmの範囲がより好ましい。

【0055】

例えば、側壁減光膜15として、クロム(Cr)、タンタル(Ta)、モリブデン(Mo)、チタン(Ti)、ジルコニウム(Zr)などから選択された金属元素のいずれか1種を主成分とする薄膜、あるいは上記金属元素の窒化物、酸化物、または酸化窒化物のいずれかを主成分とする薄膜、あるいはモリブデンシリサイド(MoSi)薄膜などが挙げられる。

【 0 0 5 6 】

(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面を用いて説明する。

【 0 0 5 7 】

本発明のフォトマスクの製造方法は、A r Fエキシマレーザを露光光源とし、瞳フィルタを用いて斜入射光により露光するフォトリソグラフィ技術に用いられるフォトマスクの製造方法であり、上記のフォトマスクがハーフトーン型位相シフトマスクであって、主要な製造工程として、透明基板上に前記露光光を所定の透過率で透過し位相を変える半透明膜を形成する工程と、上記の半透明膜パターンの側壁に側壁減光膜を形成する工程とを含むものである。

10

【 0 0 5 8 】

図2及びそれに続く図3は、本発明のフォトマスクの製造方法の一例を示す工程断面図である。先ず、図2(a)に示すように、透明基板11上に露光光を所定の透過率で透過し位相を変える半透明膜12aを真空成膜法で形成し、次に、上記の半透明膜12a上に金属薄膜13aを形成する。次に、上記の金属薄膜13a上にレジスト膜14aを塗布形成する。金属薄膜13aは、レジストパターンだけでは半透明膜12aのドライエッチング耐性が不十分なので、レジストパターンを金属薄膜パターンに転換するために設けられる。

【 0 0 5 9 】

上記の金属薄膜12aとしては、半透明膜12aのエッチング時に半透明膜12aとエッチング選択比が十分にとれる材料が好ましく、例えば、クロム(Cr)、チタン(Ti)、タンタル(Ta)等の金属、あるいは窒化クロム(CrN)、酸化クロム(CrO)、酸窒化クロム(CrNO)等のクロム系化合物、酸化タンタル(TaO)、酸窒化タンタル(TaNO)、酸化硼化タンタル(TaBO)、酸窒化硼化タンタル(TaBNO)等のタンタル化合物等が、膜厚数nm~数10nm程度の範囲で用いられる。これらの中で、クロムは、半透明膜にモリブデンシリサイド(MoSi)を用いた時にドライエッチングに使用するフッ素系ガスのプラズマに対して強い耐性をもち、またウェットエッチングが容易であり、好ましい材料である。

20

【 0 0 6 0 】

次に、レジスト膜14aを電子ビーム等でパターン描画し、現像して、図2(b)に示すように、金属薄膜12a上にレジストパターン14を形成する。

30

【 0 0 6 1 】

次に、図2(c)に示すように、レジストパターン14をマスクにして金属薄膜13aをエッチングして金属薄膜パターン13を形成する。

【 0 0 6 2 】

次に、レジストパターン14を酸素プラズマなどで除去し、図2(d)に示すように、上記の金属薄膜パターン13をマスクにして半透明膜12aをエッチングし、透明基板11上に半透明膜パターン12を形成する。

【 0 0 6 3 】

次に、図3(e)に示すように、半透明膜パターン12の側壁に側壁減光膜15を形成し、上記の金属薄膜パターン13を除去し、図3(f)に示すように、半透明膜パターン12の側壁に側壁減光膜15を設けたマスクパターン16を有する本発明のハーフトーンマスク10を形成する。

40

【 0 0 6 4 】

ここで、上記の本発明のフォトマスクの製造方法における側壁減光膜15の形成方法について、2つの方法を説明する。

【 0 0 6 5 】

(側壁減光膜形成の第1の方法)

側壁減光膜形成の第1の方法は、側壁減光膜15の形成にALD法を用いる方法である。図4は、図2及び図3における本発明のハーフトーンマスクの製造方法における側壁減

50

光膜の形成方法の一方法を説明する工程断面図である。図4において、図2及び図3と同じ個所を示す場合には、同じ符号を用いている。

【0066】

図4(a)は、図2(d)と同じ図であり、透明基板11上に金属薄膜パターン13をマスクにしてエッチングして形成された半透明膜パターン12が設けられている。

【0067】

次に、図4(b)に示すように、半透明膜パターン12の側壁、及び金属薄膜パターン13、並びに透明基板11の上面を覆うようにALD(Atomic Layer Deposition)法を用いて被覆膜15aを形成する。

【0068】

被覆膜15aとしては、半透明膜パターン12に損傷を与えずに低温で成膜することができる材料が好ましい。被覆膜15aは側壁減光膜として用いるものであり、その材料としては、クロム(Cr)、タンタル(Ta)、チタン(Ti)、ハフニウム(Hf)、シリコン(Si)等の金属の薄膜、及びそれらの酸化物、窒化物、酸化窒化物、ホウ素窒化物が挙げられる。例えば、酸化シリコン(SiO₂)、窒化シリコン(SiN)、酸窒化シリコン(SiON)等のシリコン系、酸化ハフニウム(HfO)等のハフニウム系、窒化チタン(TiN)等のチタン系、窒化タンタル(TaN)、酸化タンタル(TaO)、酸窒化タンタル(TaON)、ホウ素窒化タンタル(TaBN)等の材料が挙げられる。被覆膜15aの膜厚は、必要とする側壁減光膜15の露光透過率に依存するが、例えば、数nm~50nm程度の範囲で用いられる。被覆膜15aを成膜するときの温度は、マスクパターンのピッチ等に影響を与えない温度範囲、例えば、100以下が好ましい。

【0069】

次に、図4(c)に示すように、成膜した被覆膜15aをエッチバックして、金属薄膜パターン13及び透明基板11を露出させるとともに、半透明膜パターン12の側壁に被覆膜15aを残して側壁減光膜15とする。

【0070】

エッチバックは、被覆膜15aの材料に応じて適切なエッチングガスを用いて行われる。例えば、金属薄膜パターン13がクロムで形成され、被覆膜15aが窒化硼化タンタル(TaBN)で形成されている場合には、フッ素系のCF₄、CHF₃、C₂F₆等のガス、あるいは塩素ガスがエッチングガスとして用いられる。クロムは上記のエッチングガスに対して強い耐性を有しているので、エッチングされずエッチング選択比は十分にとることができる。透明基板が石英基板である時には、塩素ガスを用いれば、クロムと石英基板の損傷を防ぐことができる。

【0071】

もしも、被覆膜15aが透明基板11と同じ系統の材料で形成されており、エッチング選択比が十分に取れない場合には、金属薄膜パターン13上の被覆膜15aを除去したときを被覆膜15aのエッチバックの終点とすればよい。また、本発明のフォトマスクの製造方法においては、半透明膜13aと透明基板11の間に、あらかじめ透明のエッチング停止層(図示せず)を設けておくことも可能である。

【0072】

図4(c)は、図3(e)と同じ図であり、半透明膜パターン12の側壁に側壁減光膜15が形成され、半透明膜パターン12の上には金属薄膜パターン13が設けられている。

次に、金属薄膜パターン13をエッチングして除去し、図3(f)に示すように、半透明膜パターン12の側壁に側壁減光膜15を設けた本発明のハーフトーンマスク10が形成される。

【0073】

金属薄膜パターン13はエッチバックにより露出されているので、エッチングによる除去は容易であり、ウェットエッチング、ドライエッチングのいずれかの方法が用いられる。例えば、金属薄膜パターン13がクロム(Cr)またはクロムを含む化合物の場合には

10

20

30

40

50

、硝酸第2セリウムアンモニウム水溶液によるウェットエッチング、あるいはエッチングガスに酸素と塩素との混合ガスを用いたドライエッチングで除去することができる。

【0074】

(側壁減光膜形成の第2の方法)

側壁減光膜形成の第2の方法は、図2(d)の工程の後に、酸素ガスまたは窒素ガス雰囲気下で半透明膜パターン12の側壁部を加熱もしくは光照射し、側壁部を変質させて、側壁部に半透明膜材料の酸化膜または窒化膜よりなる側壁減光膜15を形成する方法である。

【0075】

半透明膜パターンの上部は金属薄膜パターン13により保護されているので、酸化膜または窒化膜は形成されず、半透明膜パターンの側壁部のみに選択的に半透明膜材料の酸化膜または窒化膜が形成される。

10

【0076】

側壁減光膜15を形成した後は、金属薄膜パターン13をエッチングして除去し、図3(f)に示すように、半透明膜パターン12の側壁に側壁減光膜15を設けた本発明のハーフトーンマスク10が形成される。

次に、実施例により本発明をさらに詳しく説明する。

【0077】

光学研磨された大きさ6インチ角(厚さ0.25インチ)の合成石英基板の一方の主面上に、DCマグネトロンスパッタ法により、MoSiのターゲットを用いてArガス雰囲気下で、MoSi膜を成膜して半透明膜を形成した。エリプソメータ(ジェー・イー・ウーラム社製VUV-VASE)の測定より得たMoSiの半透明膜は、膜厚68nm、屈折率2.4、消衰係数0.6、ArF露光光(193nm)の透過率5.93%、位相差175.5°であった。

20

【0078】

次に、MoSiの半透明膜上に、DCマグネトロンスパッタ法により、Crターゲットを用いて、金属薄膜としてクロム膜を50nmの厚さに成膜し、マスクブランクスを形成した。

【0079】

次に、このマスクブランクスを用い、金属薄膜上に電子線レジストを塗布し、電子線描画装置でパターン描画し、現像して、ウェハ上に転写されたときにハーフピッチ40nmのライン/スペースパターンとなるレジストパターンを形成した。

30

【0080】

次に、レジストパターンをマスクにして、クロムの金属薄膜を塩素と酸素の混合ガスを用いてドライエッチングし、クロムの金属薄膜パターンを形成し、次いで、レジストパターンを酸素プラズマで除去した。

【0081】

次に、クロム金属薄膜パターンをマスクにしてCF₄ガスを用いて、MoSiの半透明膜をドライエッチングし、半透明膜パターンを形成した。

【0082】

次いで、半透明膜パターンの側壁、及びクロム金属薄膜パターン、並びに石英基板の上を覆うようにALD法を用いてTaBNの被覆膜を形成した。

40

【0083】

次に、CF₄ガスを用いて、TaBNの被覆膜をエッチバックして、クロム金属薄膜パターン及び石英基板を露出させるとともに、MoSiの半透明膜パターンの側壁にTaBNの側壁減光膜を形成し、側壁からの側壁減光膜の厚さを20nmとした。

【0084】

次に、クロム金属薄膜パターンを硝酸第2セリウムアンモニウム水溶液でウェットエッチングして除去し、MoSiの半透明膜パターンの側壁部が、露光光を減光するTaBNの側壁減光膜で覆われているハーフトーンマスクを形成した。

50

【 0 0 8 5 】

次に、上記の側壁減光膜追加ハーフトーンマスクを用いてフォトレジストを塗布したシリコンウェハに、波長193nmのArFエキシマレーザを露光光源とし、投影レンズの口径NAが1.35で、図13に示した四重極瞳フィルタを用いて斜入射により液浸露光し、現像し、ウェハ上にピッチ80nm(ハーフピッチ40nm)、ターゲットCD40nmのレジストパターンを形成した。

【 0 0 8 6 】

本実施例のハーフトーンマスクを用いることにより、従来の石英基板上にMOSiによる半透明膜を設けたハーフトーンマスクによる転写露光に比べ、露光時の露光裕度を示すコントラストが向上し、ラインバイアスも少なくてもよい方向へシフトした。さらに、フォトマスクの3次元構造と2次元構造の転写特性シミュレーションの差であるEMFバイアスは小さくなり、フォトマスクの3次元効果の影響が低減され、ウェハのフォトリソグラフィ工程の歩留が高められた。

10

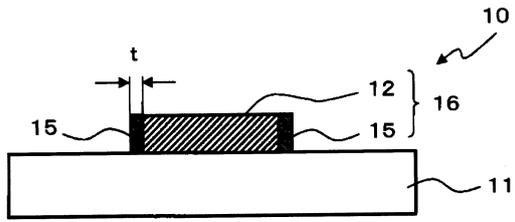
【符号の説明】

【 0 0 8 7 】

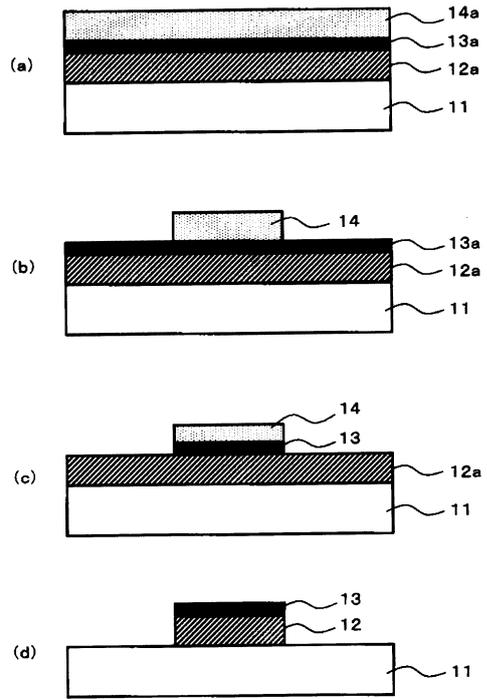
- 10 ハーフトーンマスク
- 11 透明基板
- 12 半透明膜パターン
 - 12a 半透明膜
- 13 金属薄膜パターン
 - 13a 金属薄膜
- 14 レジストパターン
 - 14a レジスト膜
- 15 側壁減光膜
- 16 マスクパターン
- 72 遮光膜
- 121、141 透明基板
- 122、142 半透明膜パターン

20

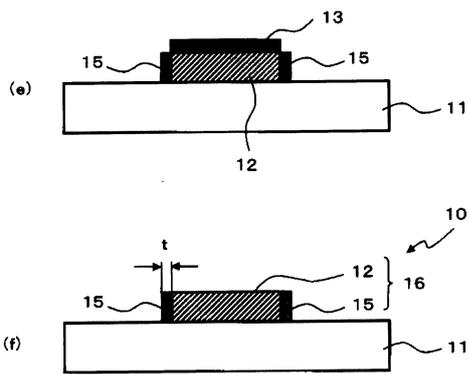
【図1】



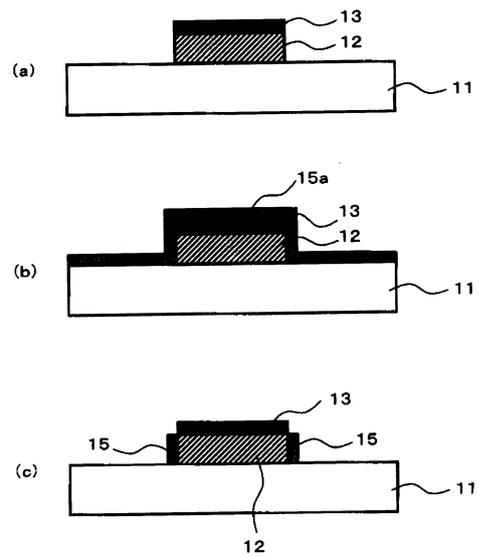
【図2】



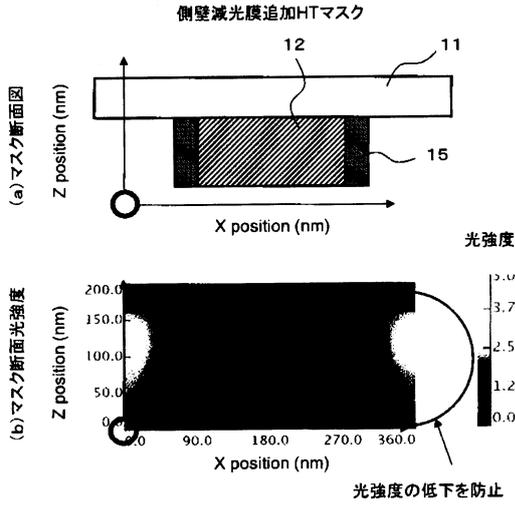
【図3】



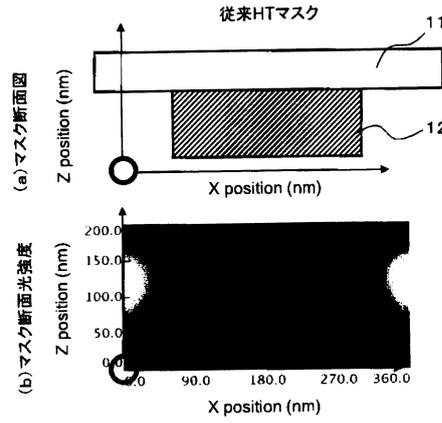
【図4】



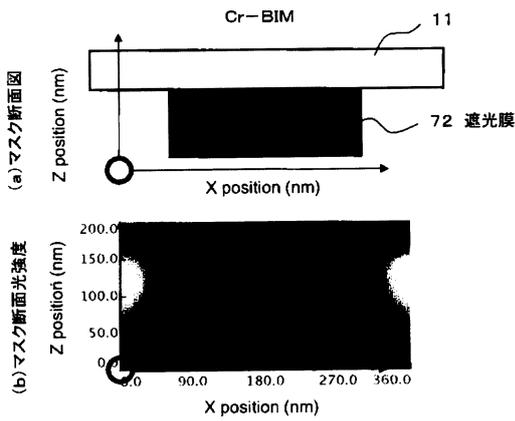
【 図 5 】



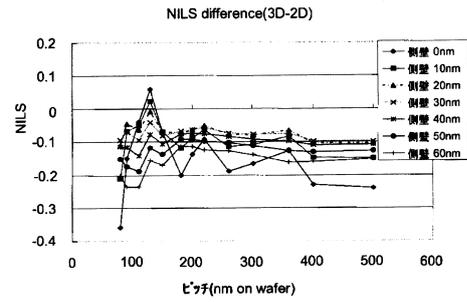
【 図 6 】



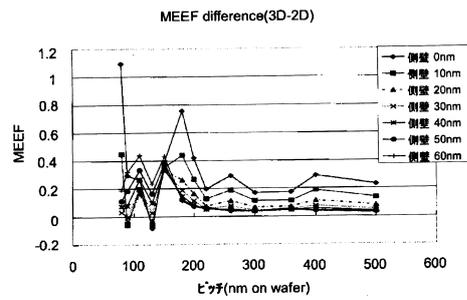
【 図 7 】



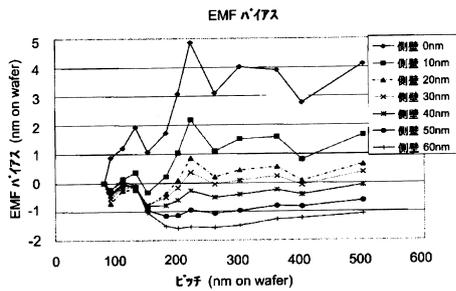
【 図 9 】



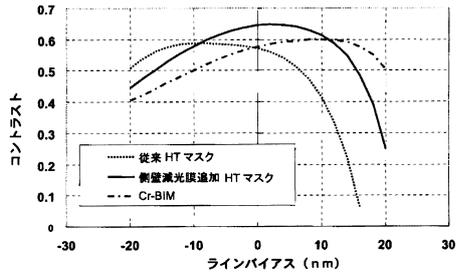
【 図 10 】



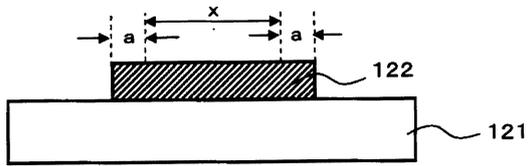
【 図 8 】



【図 1 1】



【図 1 2】

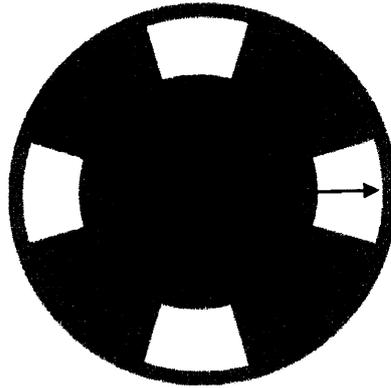


$$d = 2 \times a$$

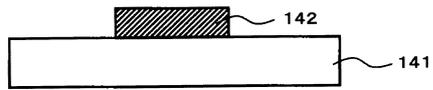
$$X = \text{ターゲットCD} \times 4$$

【図 1 3】

C-quad 30deg.



【図 1 4】



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 大川 洋平
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 召田 敬
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 小久保 晴夫
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 辻本 英二
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

審査官 新井 重雄

- (56)参考文献 特表平10-512683(JP,A)
特開平08-225936(JP,A)
特開平09-325469(JP,A)
特開平05-251312(JP,A)
特開平04-284618(JP,A)
特開2012-068296(JP,A)
特開2006-171335(JP,A)
特開2003-043662(JP,A)
特開2011-013283(JP,A)
国際公開第94/017450(WO,A1)
米国特許出願公開第2008/0311485(US,A1)
米国特許第05830332(US,A)
特開平05-273739(JP,A)
特開平05-197127(JP,A)
特開平09-090602(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 1/00-1/86