

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5627394号
(P5627394)

(45) 発行日 平成26年11月19日 (2014.11.19)

(24) 登録日 平成26年10月10日 (2014.10.10)

(51) Int. Cl.	F I
G03F 1/70 (2012.01)	G03F 1/70
G03F 1/68 (2012.01)	G03F 1/68
H01L 21/027 (2006.01)	H01L 21/30 502G
G03F 7/20 (2006.01)	G03F 7/20 521

請求項の数 8 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2010-244368 (P2010-244368)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成22年10月29日 (2010.10.29)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2012-98397 (P2012-98397A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成24年5月24日 (2012.5.24)	(74) 代理人	100126240
審査請求日	平成25年10月17日 (2013.10.17)		弁理士 阿部 琢磨
		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	石井 弘之
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
			ノン株式会社内
		(72) 発明者	辻田 好一郎
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
			ノン株式会社内
		審査官	佐野 浩樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マスクのデータ及び露光条件を決定するためのプログラム、決定方法、マスク製造方法、露光方法及びデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マスクのパターンの像を基板に投影する投影光学系を用いて前記基板を露光する露光装置に用いられる前記マスクのデータおよび露光条件をコンピュータに決定させるプログラムであって、

前記マスクのパターンとして、前記基板に形成すべき目標パターンを解像するためのメインパターンと前記メインパターンの解像を補助する補助パターンとを設定し、前記メインパターンのパラメータの値と、前記補助パターンのパラメータの値を設定する設定ステップと、

前記マスクを照明する照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を設定するステップと、

該設定された前記メインパターンのパラメータおよび前記補助パターンのパラメータのそれぞれの値で定められる前記メインパターンおよび前記補助パターンを、該設定された前記照明光学系の瞳面の光強度分布で前記投影光学系を用いて投影した場合の前記メインパターンの像を計算する計算ステップと、

該計算された前記メインパターンの像を評価する評価ステップとを前記コンピュータに実行させ、

前記評価ステップにおける前記メインパターンの像の評価結果に基づいて前記メインパターンのパラメータの値、前記補助パターンのパラメータの値および前記照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を変更する変更ステップと、

10

20

前記変更ステップにおいて変更した後の前記メインパターンのパラメータの値、前記補助パターンのパラメータの値および前記照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を用いて前記計算ステップ及び前記評価ステップを行うステップと、を繰り返し前記コンピュータに実行させ、

当該繰り返しによって得られる前記メインパターンの像の評価結果に基づいて、前記メインパターンのパラメータの値、前記補助パターンのパラメータの値および前記照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を前記コンピュータに決定させることを特徴とするプログラム。

【請求項 2】

前記変更ステップは、該計算された前記メインパターンの像の評価結果が目標を満たすかどうかを判定する判定ステップを含み、

前記判定ステップにおいて、評価結果が目標を満たさないと判定した場合は、前記メインパターンのパラメータの値、前記補助パターンのパラメータの値および前記照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を前記コンピュータに変更させて前記計算ステップを実行させ、

前記判定ステップにおいて、評価結果が目標を満たすと判定した場合は、その場合に設定された前記メインパターンのパラメータの値、前記補助パターンのパラメータの値および前記照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を前記コンピュータに決定させることを特徴とする請求項 1 に記載のプログラム。

【請求項 3】

前記メインパターンは多角形の形状であり、前記メインパターンのパラメータは前記多角形に関するパラメータであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のプログラム。

【請求項 4】

前記補助パターンは多角形の形状であり、前記補助パターンのパラメータは前記多角形に関するパラメータであることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載のプログラム。

【請求項 5】

マスクのパターンの像を基板に投影する投影光学系を用いて前記基板を露光する露光装置に用いられる前記マスクのデータおよび露光条件をコンピュータにより決定する決定方法であって、

前記マスクのパターンとして、前記基板に形成すべき目標パターンを解像するためのメインパターンと前記メインパターンの解像を補助する補助パターンとを設定し、前記メインパターンのパラメータの値と、前記補助パターンのパラメータの値を設定する設定ステップと、

前記マスクを照明する照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を設定するステップと、

該設定された前記メインパターンのパラメータおよび前記補助パターンのパラメータのそれぞれの値で定められる前記メインパターンおよび前記補助パターンを、該設定された前記照明光学系の瞳面の光強度分布で前記投影光学系を用いて投影した場合の前記メインパターンの像を計算する計算ステップと、

該計算された前記メインパターンの像を評価する評価ステップとを有し、

前記評価ステップにおける前記メインパターンの像の評価結果に基づいて前記メインパターンのパラメータの値、前記補助パターンのパラメータの値および前記照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を変更する変更ステップと、

前記変更ステップにおいて変更した後の前記メインパターンのパラメータの値、前記補助パターンのパラメータの値および前記照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を用いて前記計算ステップ及び前記評価ステップを行うステップと、を繰り返し、

当該繰り返しによって得られる前記メインパターンの像の評価結果に基づいて、前記メインパターンのパラメータの値、前記補助パターンのパラメータの値および前記照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を決定することを特徴とする決定方法。

10

20

30

40

50

【請求項 6】

請求項 5 に記載の決定方法をコンピュータが実行することによりマスクのデータを作成するステップと、

該作成されたマスクのデータを用いてマスクを製造するステップとを有することを特徴とするマスク製造方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載のマスク製造方法を用いてマスクを製造するステップと、

該製造されたマスクのパターンの像を基板に投影して前記基板を露光するステップとを有することを特徴とする露光方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の露光方法を用いて基板を露光するステップと、

該露光された基板を現像するステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マスクのデータを作成するためのプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

IC、LSI などの半導体デバイスの製造工程において露光装置が使用されている。露光装置は、マスク（レチクル）を照明装置で照明し、そのマスクに描画されたパターンの像を投影光学系を用いて基板（ウエハ）に投影して基板を露光する。

【0003】

露光装置の解像性能を向上させる手法として超解像技術がある。例えば、マスクに、自身は解像しない補助パターンを設けて、基板上に形成すべきパターンを解像する技術がある。補助パターンの配置等を設計する方法として、インターフェアレソマップを利用する方法（非特許文献 1）と、インバースリソグラフィー（非特許文献 2）、特許文献 1 に記載の方法がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2009 - 093138 号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】Robert Socha, et. al., "Simultaneous Source Mask Optimization (SMO)," Proc. SPIE 5853, 180 - 193 (2005).

【非特許文献 2】Daniel S. Abrams, et. al., "Fast Inverse Lithography Technology," Proc. SPIE 6154, 61541J (2006).

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、非特許文献 1 では、パターン形状の最適化において、基板に転写されるべきメインパターンの形状と補助パターンの形状は別々に決定される。どちらの形状も基板上に投影される投影像に影響を与えるため、別々に決定する方法ではローカルミニマム（局所解）にトラップされやすく、マスクのパターンの最適な形状（最適解）が求めにくい。または、最適解を求めるのに必要な計算量が増えてしまうという欠点があった。

【0007】

また、特許文献 1 に記載の方法は、メインパターンと補助パターンを変形しながらマスクパターンを決定しているが、物理モデルに忠実に計算した厳密像ではなく、近似空中像

10

20

30

40

50

を用いている。そして、その近似空中像のみに従ってマスクのパターンを決定しているため、最適化結果に誤差を生じる可能性があった。また、近似空中像は複雑な模様を示すため、マスクパターンが複雑な形状となるおそれがある。

【 0 0 0 8 】

非特許文献 2 のインバースリソグラフィでは、メインパターンと補助パターンが一度に決定される。しかし、値が連続的に変化する複雑な模様を示す 2 次元のマッピングから、マスクパターンを作成するため、マスクのパターンが複雑になり、マスクの製造コストが高くなるという欠点があった。

【 0 0 0 9 】

そこで本発明は、解像性能とマスク製造コストの抑制とを両立できるマスクデータ作成プログラムや方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

本発明の一側面としてのプログラムは、マスクのパターンの像を基板に投影する投影光学系を用いて前記基板を露光する露光装置に用いられる前記マスクのデータおよび露光条件をコンピュータに決定させるプログラムであって、前記マスクのパターンとして、前記基板に形成すべき目標パターンを解像するためのメインパターンと前記メインパターンの解像を補助する補助パターンとを設定し、前記メインパターンのパラメータの値と、前記補助パターンのパラメータの値を設定する設定ステップと、前記マスクを照明する照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を設定するステップと、該設定された前記メインパターンのパラメータおよび前記補助パターンのパラメータのそれぞれの値で定められる前記メインパターンおよび前記補助パターンを、該設定された前記照明光学系の瞳面の光強度分布で前記投影光学系を用いて投影した場合の前記メインパターンの像を計算する計算ステップと、該計算された前記メインパターンの像を評価する評価ステップとを前記コンピュータに実行させ、前記評価ステップにおける前記メインパターンの像の評価結果に基づいて前記メインパターンのパラメータの値、前記補助パターンのパラメータの値および前記照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を変更する変更ステップと、前記変更ステップにおいて変更した後の前記メインパターンのパラメータの値、前記補助パターンのパラメータの値および前記照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を用いて前記計算ステップ及び前記評価ステップを行うステップと、を繰り返し前記コンピュータに実行させ、当該繰り返しによって得られる前記メインパターンの像の評価結果に基づいて、前記メインパターンのパラメータの値、前記補助パターンのパラメータの値および前記照明光学系の瞳面の光強度分布のパラメータの値を前記コンピュータに決定させることを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 1 】

本発明によれば、解像性能とマスク製造コストの抑制とを両立できるマスクデータ作成プログラムや方法を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】実施例 1 における決定方法のフローチャートである。

【図 2】実施例 1 における目標パターンを示した図である。

【図 3】実施例 1 におけるメインパターンの基本形状と基本配置とパラメータを示した図である。

【図 4】実施例 1 における補助パターンの基本形状と基本配置とパラメータを説明するための図である。

【図 5】実施例 1 における近似空中像の 2 階微分を示した図である。

【図 6】実施例 1 における有効光源分布のパラメータの設定を示した図である。

【図 7】実施例 1 におけるパターン像の評価位置の設定を示した図である。

【図 8】実施例 1 におけるパターン像の例を示した図である。

10

20

30

40

50

【図 9】実施例 1 において決定されたマスクパターンを示した図である。

【図 10】実施例 1 において決定された有効光源分布を示した図である。

【図 11】実施例 2 におけるマスクパターンの決定方法のフローチャートである。

【図 12】実施例 2 における目標パターンを示した図である。

【図 13】実施例 2 における有効光源分布を示した図である。

【図 14】実施例 2 におけるメインパターンの基本形状と基本配置とパラメータを示した図である。

【図 15】実施例 2 における補助パターンの基本形状と基本配置とパラメータを説明するための図である。

【図 16】実施例 2 における近似空中像の 2 階微分を示した図である。

10

【図 17】実施例 2 における評価位置の設定を示した図である。

【図 18】実施例 2 におけるパターン像の例を示した図である。

【図 19】実施例 2 において決定されたマスクパターンを示した図である。

【図 20】従来技術におけるマスクパターンを示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下に、本発明の好ましい実施例を添付の図面に基づいて詳細に説明する。

【実施例 1】

【0014】

図 1 は、マスクのパターンを決定する際のフローチャートである。なお、各ステップを実行するためのプログラムをコンピュータにインストールして、該プログラムをコンピュータに実行させることによりマスクのパターンを求める。

20

【0015】

第 1 の実施例では基板に転写すべきメインパターンと、基板に転写されない補助パターン (SRAF (Sub-Resolution Assist features) ともいう) の両方がマスク上に存在し、その両方のパターンの形状と位置とを決定する。さらに、メインパターンと補助パターンとを含むマスクのパターンの像をウエハ (基板) に投影してウエハを露光する場合の露光条件も決定する。

【0016】

本実施例のマスクパターンと露光条件の決定方法は、図 1 に示すように、まず、S102 ではメインパターンの基本形状と基本配置とを設定する。例えば、基本形状は長方形や正方形など、基本配置は左右対称などを表す。S104 では、メインパターンの形状と位置とを定めるためのパラメータを設定する。S106 では、補助パターンの基本形状と基本配置とを設定する。S108 では、補助パターンの形状と位置とを定めるためのパラメータを設定する。S110 では、マスクのパターンの像をウエハに投影して露光するときの露光条件を表すパラメータを設定する。S112 では、ウエハに投影されるパターンの像を評価する位置と評価項目を設定する。これらの設定は、ユーザーがデータを入力し、入力データをコンピュータ上で設定することにより行われてもよいし、プログラムに実装されたコードを実行することによりコンピュータで自動的に行ってもよい。

30

【0017】

S114 では、S104 と S108 と S110 で設定した各パラメータの初期値を決定する。S116 では、S114 で決定した初期値で表されるパターンと露光条件を用いて、該パターンを物体面に配置して該露光条件で投影光学系を用いて投影した場合、ウエハに投影されるパターンの像を算出する。像の算出には、アッペの結像理論や相互透過係数 (TCC) を用いる方法など既知の計算方法を用いることができる。S118 では、S116 で算出したパターンの像を評価して、評価結果を取得する。S120 では、S118 で取得された評価結果と目標とを比較し、評価結果が目標を満たすかどうかを判定する。S120 で目標を満たすと判定された場合は、S114 で決定した各パラメータの値を最終的な値として出力し (S122)、作業フローを終了する。S120 で目標を満たさないと判定した場合は、メインパターン、補助パターンおよび露光条件のうち少なくとも 1

40

50

つのパラメータの値を変更して (S 1 2 4)、各パラメータの値を再度決定して、S 1 1 6、S 1 1 8 および S 1 2 0 を再度実行する。そして、像の評価結果が目標を満足するまで S 1 1 6、S 1 1 8、S 1 2 0 および S 1 2 4 を繰り返し、S 1 2 0 で目標を満たすと判定した場合は、S 1 2 4 で決定した各パラメータの値を最終的な値として決定し、マスクのデータを作成する (S 1 2 2)。各パラメータの値で定められるマスクのパターンや露光条件のデータは記憶装置に記憶されてもよいし、表示装置に計算結果として表示してもよい。なお、S 1 1 6、S 1 1 8、S 1 2 0 および S 1 2 4 の繰り返しループにおいて、メインパターン、補助パターンおよび露光条件のパラメータの値が変更されて、パターンの像の計算および評価が行われる。

【 0 0 1 8 】

次に、具体例を挙げて説明する。まず、前提条件について示す。露光光は A r F エキシマーレーザー、投影光学系の N A は 1 . 3 5、投影光学系とウエハとの間に液体を満たして露光する、いわゆる液浸露光装置を想定する。マスクはバイナリーマスクで、ウエハ上に塗布されるレジストはポジ型を用いるとする。なお、本実施例は、投影光学系の投影倍率を 1 / 4 倍として、マスクパターンの座標は、便宜上、像面における座標に置き換えて、すなわち、投影倍率を乗じて表記することとする。

【 0 0 1 9 】

図 2 は、ウエハ上に形成すべき目標パターンの形状の中央部の拡大図である。斜線部は露光されない部分、白抜き部は露光される部分を示す。目標パターンは上下対称、左右対称である。上下の対称軸を x 軸とし、左右の対称軸を y 軸とする。ラインパターン 1 0 2 と 1 0 4 の幅 1 1 0 は 7 0 n m で、ラインエンド間距離 1 1 2 は 1 0 0 n m である。ラインパターン 1 0 2 と 1 0 4 の長さは十分に長いものとする。パターン 1 0 6 と 1 0 8 はラインパターンの周辺に配置された大きなパターンであり、横方向にも縦方向にも十分大きいとする。大きなパターン 1 0 6 と 1 0 8 との間隔 1 1 4 は 6 7 0 n m である。

【 0 0 2 0 】

マスクを照明する光学系 (照明光学系) の瞳面の光強度分布 (有効光源分布) は輪帯状とする。輪帯照明の詳細は後に述べる。また、投影光学系の収差は無視できるとする。

【 0 0 2 1 】

図 3 は、図 1 のフローチャートの S 1 0 2 と S 1 0 4 で設定するメインパターンの基本形状と基本配置、および、メインパターンの形状と位置を定めるパラメータを表わしている。図形 1 2 2、1 2 4、1 2 6、1 2 8 がメインパターンである。メインパターンの基本形状は x 軸および y 軸に平行な辺を有する長方形とした。また、目標パターンが上下、左右に対称で、有効光源分布も対称なため、メインパターンの基本配置も上下、左右に対称とした。1 3 0 はラインパターン 1 2 2 と 1 2 4 のマスク上の線幅を表わしている。1 3 2 はラインパターン 1 2 2 と 1 2 4 のマスク上の間隔を表わしている。1 3 4 は大きなパターン 1 2 6 と 1 2 8 の間隔を表わしている。1 3 0、1 3 2、1 3 4 の 3 つのパラメータの値が定まれば、上述したパターンの対称性からメインパターンの形状と位置が一意に定まる。従って、メインパターンのパラメータとして 1 3 0、1 3 2、1 3 4 の 3 つを設定する。

【 0 0 2 2 】

図 4 は、フローチャートの S 1 0 6 と S 1 0 8 で設定する補助パターンの基本形状と基本配置、および、補助パターンの形状と位置とを定めるパラメータを表わしている。図形 1 4 2、1 4 4、1 4 6、1 4 8、1 5 2、1 5 4、1 5 6、1 5 8、1 6 2、1 6 4、1 6 6、1 6 8 が補助パターンである。補助パターンの基本形状は x 軸および y 軸に平行な辺を有する長方形とした。また、目標パターンが上下、左右に対称であり、有効光源分布も対称であるため、補助パターンの基本配置も上下、左右に対称とした。1 7 0 は最も内側にある 1 番目の補助パターン 1 4 2 ~ 1 4 8 のマスク上の幅を表わしている。1 7 2 は 1 番目の補助パターンの X 方向の間隔を表わしている。1 7 4 は 1 番目の補助パターンの Y 方向の間隔を表わしている。この 3 つのパラメータの値が定まれば、パターンの対称性から 1 番目の補助パターンの形状と位置とが一意に定まる。同様に、2 番目の補助

10

20

30

40

50

パターン１５２～１５８に対しても、幅１７６、Ｘ方向の間隔１７８、Ｙ方向の間隔１８０の３つのパラメータ値が定まれば一意に定まる。３番目の補助パターン１６２～１６８に対しても同様で、幅１８２、Ｘ方向の間隔１８４、Ｙ方向の間隔１８６の３つのパラメータ値が定まれば一意に定まる。このように、補助パターンのパラメータとして、１７０から１８６の９つを設定する。

【００２３】

なお、上記のメインパターンと補助パターンの基本形状は長方形として設定したが、長方形に限られるものではない。例えばラインパターンの端をハンマーヘッド状にしても構わない。その場合、ハンマーヘッドの大きさをパターンのパラメータとして設定しても構わない。また、１つのパターンを複数の多角形の組み合わせで表わしても構わない。また、上記のメインパターンと補助パターンのパラメータの設定はひとつの例であり、パターンが一意に定まるならば他の設定でも構わない。基本形状が長方形であるならば長方形の中心座標と x 、 y それぞれの方向の幅を用いるなどしてもよいし、パターンの頂点座標を用いても構わない。

【００２４】

なお、本実施例では補助パターンの基本形状と基本配置は特開２００９－０９３１３８を参考にして決定した。図５は、特開２００９－０９３１３８に記載の近似空中像の２階微分（*Laplacian*）と、目標パターン（実線）を重ねて表わしている。目標パターン以外の部分の比較的暗い部分が補助パターンを置くのに適した場所である。

【００２５】

本実施例では特開２００９－０９３１３８の方法を参考にして補助パターンの基本形状と基本配置を決定したが、これに限られない。例えば、非特許文献１のインターフェレンスマップを参考にしても構わないし、非特許文献２のインバースリソグラフィの結果を参考にしても構わない。補助パターンの詳細な形状の決定は後述する。

【００２６】

次に、フローチャートのＳ１１０で露光条件のパラメータの設定を行う。本実施例では露光条件として有効光源分布を扱う。図６は有効光源分布と、そのパラメータの設定を表わしている。図６において、上側は有効光源分布を２次元マップとして表わしており、下側は x 軸を断面とした断面図で表わしている。上側の有効光源分布は黒色の濃さが光強度の大きさを表している。図中の r_a は輪帯状に光っている部分の半径に関するパラメータであり、 w_a は輪帯状の幅に関するパラメータである。具体的には光強度分布 I は、

【００２７】

【数１】

$$I = \exp\left(-\frac{2(r-r_a)^2}{w_a^2}\right) \quad (1)$$

【００２８】

と表わすことにする。ここで r は有効光源の中心からの距離である。つまり、有効光源分布を表わすパラメータとして r_a と w_a を設定する。本実施例では有効光源分布として滑らかに変化する関数を用いたが、これに限られない。例えば、有効光源分布をトップハット形状として、外側値と内側値を設定するなどしてもよい。なお、値とはコヒーレンスファクターのことである。さらには、有効光源分布内の偏光光の分布をパラメータとして設定してもよい。

【００２９】

本実施例では有効光源分布を露光条件として例示したが、他にも、投影光学系の NA 、投影光学系の収差に代表される瞳関数、露光波長のスペクトル分布、多重デフォーカス露光におけるデフォーカスレンジ、などを含めてもよい。また、投影光学系の収差のパラメータとしては、波面収差の $Zernike$ 係数を設定しても構わない。このように、さま

ざまな露光条件をパラメータとして設定することが可能である。

【0030】

図7はフローチャートのS112の評価位置の設定を表わしている。太線であらわされている192、194、196、198が、パターンの像を評価する位置である。192ではラインパターン122の像の幅を評価項目とする。さらに、192ではILS (Image Log Slope) も評価する。194ではラインパターン122、124の像のY方向の間隔を評価する。さらに、194ではILSも評価する。196では大きなパターン126、128の像の間隔を評価する。198は補助パターン上に設定されており、補助パターンは基板上に転写されるべきではないので、ここに像ができるかどうかを評価する。本実施例では目標パターンの形状、物体面のパターンの形状、有効光源分布が上下対称、左右対称であり、また、投影光学系の収差等がないとしているので像も上下対称、左右対称になる。それを考慮して評価位置を設定している。また、例えば、ラインパターンの幅を評価するための評価位置は192に限られるものではなく、必要に応じてY方向に平行移動したり、さらには、複数設定しても構わない。また、本実施例では評価項目として、像の幅とILSを設定したが、他にも、像の位置、焦点深度、ドーズ敏感度、プロセスウィンドウ、NILS、像のコントラスト、MEEF、さらには電気特性など様々なものが利用可能である。NILSは、Normalized Image Log Slopeを表す。

10

【0031】

S114では、各パラメータ130～134、170～186、 r_a 、 w_a の初期値を設定する。設定の方法としては、さまざまな方法が考えられる。例えば、各パラメータに上下限値を設定して乱数により決めても構わない。パラメータの初期値の決定方法は最適化手法に関係するものであり、本発明の主眼ではないので詳細には述べない。

20

【0032】

S116ではパターンの像を取得する。前提条件の波長やNA等と、S114で決められたパラメータ値によって定まるパターンと有効光源分布を用いて、シミュレーションによって該パターンの像を計算する。本実施例では空中像を求めてパターン像としたが、レジスト像やさらにはエッチング後のエッチング像を用いても構わない。図8はパターン像の例をコンター図で表したものである。本実施例では、S112で設定した全ての評価項目がデフォーカスがない状態での評価なので、取得する像はデフォーカスしていない像である。しかし、例えば焦点深度を評価する場合は、デフォーカスした像も取得する。一般的に言うならば、前提条件や評価項目に鑑みて必要な像を取得すべきである。

30

【0033】

S118では評価結果を取得する。S116で取得した像からS112で設定した評価位置において、S112で設定した評価項目を評価する。

【0034】

次に、S120において、評価項目が目標を満たしているかを判定する。本実施例で用いた目標はラインパターンの幅192に対して70nm、ラインパターンのY方向の間隔194に対しては100nm、大きなパターンの間隔196に対しては670nmにそれぞれなるべく近いこととした。目標の設定の仕方として、他に、例えば「 70 ± 2 nmであること」のように、値や範囲を指定する方法もある。また、評価位置198は像ができないことという目標を設定した。

40

【0035】

また、評価位置192と194のILS値の目標は、192と194のILS値の内、小さいほうのILS値がなるべく大きくなることとすることもできる。その場合、「なるべく大きくなること」という目標が入っているので、S120の判定は常にNoとなってしまう。これを解消するために、S120において、目標を満足するかどうかの判定に代えて、判定回数の最大回数をあらかじめ決めておき、最大回数に達した場合はYesと判定することもできる。

【0036】

50

S 1 2 0 の判定で N o となった場合は、メインパターン、補助パターンおよび露光条件のうち少なくとも 1 つのパラメータの値を変更して (S 1 2 4)、各パラメータの値を再度決定する。例えば、乱数を用いて決定してもよいし、これまでの計算結果を利用して、より改善すると思われる値に決定してもよい。決定のやり直し方は最適化手法に係るものであり、本発明の主眼ではないので詳細には述べない。パラメータ値の再決定後、S 1 1 6、S 1 1 8、S 1 2 0 が繰り返される。S 1 2 0 で Y e s と判定した場合、その場合の各パラメータの値を、各パラメータの最終的な値として決定し、計算結果として記憶装置や表示装置に出力する。

【 0 0 3 7 】

S 1 2 0 で判定回数が最大回数に達した場合に Y e s とする場合、それまでに評価された評価結果の中で、最も像性能が良いものに対応する各パラメータの値を各パラメータの最終的な値として決定する。

【 0 0 3 8 】

図 9 は S 1 2 2 で決定されたパラメータの最終的な値で定められたマスクのパターンを表わす図である。図 1 0 は S 1 2 2 で決定されたパラメータ r_a 、 w_a に基づいて描かれた有効光源分布を表わす図である。図 1 0 の上側の有効光源分布は黒色の濃さが光強度の大きさを表している。下側は断面における光強度分布を表している。図 8 に示すようなパターン像について、このときの各評価結果は、ラインパターンの幅 1 9 2 が 7 0 . 0 n m、ラインパターンの Y 方向の間隔 1 9 4 が 1 0 0 . 0 n m、大きなパターンの間隔 1 9 6 が 6 7 0 . 0 n m となり、十分に目標に近い結果となった。また、評価位置 1 9 8 には補助パターン

【 0 0 3 9 】

このように、本実施例によれば、メインパターン、補助パターンおよび露光条件のパラメータの値を変更しながら、メインパターンおよび補助パターンを含むパターンの像性能を評価している。そのため、目標パターンに近い像を得られる、解像性能の良いマスクのパターンおよび露光条件を求めることができる。さらに、予めマスクのパターンの基本形状や基本配置をシンプルに決めてから、その基本形状および基本配置に基づいてパラメータの最適化を行っているため、マスクのパターンがシンプルになり、従来技術よりもマスクの製造コストを抑えることができる。

【 0 0 4 0 】

本実施例に好適な適用例として、メモリーセルへの適用があげられる。メモリーセルにはサイズができるだけ小さいことが求められる。そのため、マスクパターンと同時に露光条件も最適化することには大きな利点がある。

【 0 0 4 1 】

また、本実施例に好適な適用例として、スタンダードセルライブラリーへの適用があげられる。スタンダードセルライブラリーとは、AND 回路や NAND 回路など、機能の限定された 1 つのセルのパターンをあらかじめ作り、複数集めたものである。主に、ロジックデバイスの設計を行うときに用いられ、論理設計を行った後に、スタンダードセルライブラリーを参照してマスク上のパターンを作成する。スタンダードセルライブラリーのパターンを作成するときに同時に有効光源分布に代表される露光条件も同時に最適化することができる。

【 0 0 4 2 】

マスクパターンと露光条件の同時最適化として、インバースリソグラフィがあるが、値が連続的に変化する複雑な模様を示す 2 次元のマップから、マスクパターンを作成するため、マスクのパターンが複雑になり、マスクの製造コストが高くなるという欠点がある。

【 0 0 4 3 】

本実施例ではマスクのパターンは 1 面であったが、これに限られず、同時に複数面のマスクパターンを決定しても構わない。すなわち、スタンダードセルライブラリーに含まれ

る全てのパターン、もしくは一部のパターンに対してマスクパターンと露光条件の決定を同時に行うことができる。

【実施例 2】

【0044】

つぎに、図 11 に基づいて第 2 の実施例のマスクパターンの決定方法について説明する。図 11 は第 2 の実施例におけるマスクのパターンを決定する際のフローチャートである。本実施例では基板上に転写すべきメインパターンと転写すべきでない補助パターンの両方を含むマスクのパターンとして、その両方のパターンの形状と位置とを決定する。ただし、露光条件は予め決められており変更しない。

【0045】

本実施例のマスクパターンの決定方法は、図 11 に示すように、まず、S202 でマスク上のメインパターンの基本形状と基本配置を設定する。S204 ではメインパターンのマスク上の形状と位置とを定めるためのパラメータを設定する。S206 では補助パターンのマスク上の基本形状と基本配置とを設定する。S208 では補助パターンのマスク上の形状と位置とを定めるためのパラメータを設定する。S212 では、ウエハ上にできるパターンの像の評価位置と評価項目を設定する。S214 では S204 と S208 で設定した各パラメータの初期値を決定する。S216 では S214 で決定した初期値で定められるパターンを照明してウエハ上（像面）に形成される該パターンの像を取得する。S218 では S216 で取得されたパターンの像を評価し評価結果を取得する。S220 では S218 で取得した評価結果と目標とを比較し、評価結果が目標を満たすかどうかを判定する。S220 で目標を満たすと判定した場合は、S214 で決定した各パラメータの値を最終的な値として決定し、出力する（S222）。S220 で評価結果が目標を満たさないと判定した場合は、メインパターンおよび補助パターンのうち少なくとも 1 つのパラメータの値を変更して（S224）、各パラメータの値を再度決定して、S216、S218 および S220 を再度実行する。そして、像の評価結果が目標を満足するまで S216、S218、S220 および S224 を繰り返し、S220 で目標を満たすと判定した場合は、S224 で決定した各パラメータの値を最終的な値として決定し、マスクのデータを作成する（S222）。

【0046】

次に具体的を挙げて説明する。ただし、実施例 1 と共通する部分は一部省略して説明する。前提条件は実施例 1 と同様で、露光光は ArF エキシマーレーザー、投影光学系の NA は 1.35、投影光学系とウエハとの間に液体を満たして露光する、いわゆる液浸露光装置を想定する。マスクはバイナリーマスクで、ウエハ上に塗布されるレジストはポジ型を用いるとする。

【0047】

図 12 はウエハ上に形成すべき目標パターンの形状の中央部の拡大図である。斜線部は露光されない部分、白抜き部は露光される部分を示す。目標パターンは上下対称、左右対称である。上下の対称軸を x 軸とし、左右の対称軸を y 軸とする。ラインパターン 202 と 204 の幅 210 は 70 nm で、ラインエンド間距離 212 は 100 nm である。ラインパターン 202 と 204 の長さは十分に長いものとする。パターン 206 と 208 はラインパターンの周辺に配置された大きなパターンであり、横方向にも縦方向にも十分大きいとする。大きなパターン 206 と 208 との間隔 214 は 550 nm である。なお、マスクはバイナリーマスクとする。図 13 は予め設定した有効光源分布を表わしている。設定した有効光源分布は外 が 0.98、内 が 0.80 のトップハット状の輪帯照明である。

【0048】

図 14 は図 11 のフローチャートの S202 と S204 で設定するメインパターンの基本形状と基本配置、および、メインパターンの形状と位置とを定めるパラメータを表わしている。222、224、226 および 228 がメインパターンである。メインパターンの基本形状は x 軸および y 軸に平行な辺をもつ長方形とした。また、目標パターンが上下

10

20

30

40

50

、左右に対称で、有効光源分布も対称なため、メインパターンの基本配置も上下、左右に対称とした。230はラインパターン222と224のマスク上の線幅を表わしている。232はラインパターン222と224のマスク上の間隔を表わしている。234は大きなパターン226と228の間隔を表わしている。230、232、234の3つのパラメータの値が定めれば、上に述べたパターンの対称性からメインパターンの形状と位置とが一意に定まる。従って、メインパターンのパラメータとして230、232、234の3つを設定する。

【0049】

図15はフローチャートのS206とS208で設定する補助パターンの基本形状と基本配置、および、補助パターンの形状と位置とを定めるパラメータを表わしている。242~258が補助パターンである。補助パターンの基本形状はx軸およびy軸に平行な辺をもつ長方形とした。また、目標パターンが上下、左右に対称であり、有効光源分布も対称であるため、補助パターンの基本配置も上下、左右に対称とした。270は内側の補助パターン242~248のマスク上の幅を表わしている。272は内側の補助パターンのX方向の間隔を表わしている。274は内側の補助パターンのY方向の間隔を表わしている。この3つのパラメータの値が定めれば、パターンの対称性から内側の補助パターンの形状と位置とが一意に定まる。同様にして、外側の補助パターンも幅276、X方向の間隔278、Y方向の間隔280の3つのパラメータ値が定めれば一意に定まる。このように、補助パターンのパラメータとして、270から280の6つを設定する。

【0050】

なお、本実施例では補助パターンの基本形状と基本配置は特開2009-093138を参考にして決定した。図16は特開2009-093138に記載の近似空中像の2階微分(Laplacian)と、目標パターン(実線)を重ねて表わしている。目標パターン以外の部分の比較的暗い部分が補助パターンを置くのに適した場所である。

【0051】

なお、本実施例では特開2009-093138の方法を参考にして補助パターンの基本形状と基本配置を決定したが、これに限られない。例えば非特許文献1のインターフェアレンスマップを参考にしても構わないし、非特許文献2のインパースリソグラフィーの結果を参考にしても構わない。

【0052】

図17はフローチャートのS212の評価位置の設定を表わしている。太線であらわされている292~298がパターンの像を評価する位置である。292ではラインパターンの像の幅を評価項目とする。さらに、292ではILS(Image Log Slope)も評価する。294ではラインパターンの像のY方向の間隔を評価する。さらに、294ではILSも評価する。296では大きなパターンの像の間隔を評価する。298は補助パターン上に設定されており、補助パターンは基板上に転写されるべきではないので、ここに像ができるかどうかを評価する。本実施例では目標パターン形状、物体面のパターンの形状、有効光源分布が上下対称、左右対称であり、また、投影光学系の収差等がないとしているので像も上下対称、左右対称になる。それを考慮して評価位置を設定している。また、本実施例は説明を簡単にするために評価位置を少なくしている。

【0053】

次に、S214で各パラメータ230~234、270~280の初期値を設定する。設定の方法としては、例えば、各パラメータに上下限値を設定して乱数により仮の値を決めても構わない。パラメータの仮の値の決定方法は最適化手法に関係するものであり、本発明の主眼ではないので詳細には述べない。

【0054】

次に、S216ではパターンの像を取得する。前提条件の波長やNAや有効光源分布等とS214で決定されたパラメータの値によって定まるパターンを用いて、シミュレーションによってパターンの像を計算する。図18はパターン像の例をコンター図で表したものである。本実施例では、S212で設定した全ての評価項目がデフォーカスがない状態

10

20

30

40

50

での評価なので、取得する像はデフォーカスしていない像である。

【0055】

次に、S218で評価結果を取得する。S216で取得した像についてS212で設定した評価位置において、S212で設定した評価項目を評価する。

【0056】

次に、S220において、評価項目が目標を満たしているかを判定する。本実施例で用いた目標はラインパターンの幅292に対して70nm、ラインパターンのY方向の間隔294に対しては100nm、大きなパターンの間隔296に対しては550nmにそれぞれなるべく近いこととした。また、評価位置292と294のILS値の目標は、292と294のILS値の内、小さいほうのILS値がなるべく大きくなることとした。また、評価位置298は像ができないことという目標を設定した。本実施例では「なるべく大きくなること」という目標が入っているので、S220の判定は常にNoとなってしまう。これを避けるために、本実施例では判定回数の最大回数をあらかじめ決めておき、最大回数に達した場合はYesと判定するようにした。

10

【0057】

S220の判定でNoとなった場合はS224に戻り、メインパターンおよび補助パターンのうち少なくとも1つのパラメータの値を変更し、各パラメータの値を再度決定する。仮決定のやり直し方は最適化手法に関係するものであり、本発明の主眼ではないので詳細には述べない。パラメータ値の再決定後、S216、S218、S220が繰り返される。この繰り返しループにおいて、メインパターンおよび補助パターンのパラメータの双方の値が変更されて、パターンの像の計算および評価が行われる。

20

【0058】

S220でYesと判定した場合、その場合の各パラメータの値を、各パラメータの最終的な値として決定し、計算結果として記憶装置や表示装置に出力する。本実施例の場合、S220での判定回数が最大回数に達した場合にYesとなるため、それまでに評価された評価結果の中で、最も良いものに対応するパラメータを最終的なパラメータの値として決定した。

【0059】

図19はS222で決定されたパラメータの最終的な値で定められたマスクのパターンを表わす図である。図8に示すようなパターン像について、このときの各評価結果はラインパターンの幅292は70.0nm、ラインパターンのY方向の間隔294は100.0nm、大きなパターンの間隔296は550.0nmとなり、十分に目標に近い結果となった。また、評価位置298には補助パターンの像はできていなかった。このとき、評価位置292と294のILS値はともに26.1だった。

30

【0060】

比較のために従来技術を用いた結果を示す。ここで示す従来例は特開2009-093138に記載の方法で補助パターンを作成する方法である。図20は従来例によるマスクパターンを示している。このときの各評価結果はラインパターンの幅292は70.0nm、ラインパターンのY方向の間隔294は100.0nm、大きなパターンの間隔296は550.0nmとなり、十分に目標に近い結果となった。また、評価位置298には補助パターンの像はできていない。このとき、評価位置292と294のILS値はそれぞれ26.1、25.0だった。本実施例と比較すると、ラインパターンの幅の部分292のILS値は同じだが、2本のラインの間隔の部分294のILS値は本実施例のほうがよい結果となった。また、図20に示す補助のパターンは複数の長方形で構成されており、複雑なパターンとなっている。それに比べ、図19に示す本実施例のマスクパターンはシンプルである。

40

【0061】

このように、本実施例によれば、メインパターンおよび補助パターンのパラメータの値を変更しながら、メインパターンおよび補助パターンを含むパターンの像性能を評価している。そのため、目標パターンに近い像を得られる、解像性能の良いマスクのパターンを

50

作成することができる。さらに、マスクのパラメータが少なくなるため、マスクのパターンがシンプルになり、従来技術よりもマスクの製造コストを抑えることができる。

【0062】

本実施例に好適な適用例として、デザインマニュアルの作成があげられる。集積回路の回路設計においては、多くの場合、最も微細なパターンに対して露光条件が最適化される。そのパターンと同時に露光されるそれ以外のパターンは、その露光条件で十分な露光余裕度が得られる。しかし、比較的粗いパターンでも、露光条件が適さなければ十分な露光余裕度が得られないパターンがある。そのようなパターンは回路設計において用いることはできない。例えばラインアンドスペースパターンにおいて、あるピッチのパターンでは十分な露光余裕度が得られるが、それよりも大きなピッチであるにもかかわらず十分な露光余裕度が得られないピッチ領域が存在する。このようなピッチ領域は禁止ピッチと呼ばれることがある。このように、回路設計に用いてよいパターンと、用いるべきでないパターンをあらかじめ調べて一覧表にしたものがデザインマニュアルである。

10

【0063】

デザインマニュアル、または、その一部分においては、露光条件が固定されており、実施例2の状況に一致する。従って、デザインマニュアルの作成に実施例2の方法を用いることができる。一方、従来技術のインバースリソグラフィーをデザインマニュアルの作成に用いることが考えられる。しかし、デザインマニュアル作成時と最終的にマスクを作成するときとで着目しているマスクパターンの周囲のマスクパターンが異なるため、デザインマニュアル作成時に出来上がったマスクパターンと、最終的なマスクパターンが大きく異なってしまう可能性がある。そのため、デバイス製造用の最終的なマスクパターンでは所望の像性能が得られないという問題がある。これに対し、実施例2の方法はS204、および、S208でマスク上のパターンをパラメータ化するときと、S214でパラメータの値を決定するときにはマスク上のパターンの形状と位置とを制御可能であり、その問題はない。

20

【0064】

また、本発明に好適な応用例として、スタンダードセルライブラリーへの適用があげられる。スタンダードセルライブラリーを作る場合、何らかの制約により露光条件が固定されている場合があり、実施例2の状況に一致する。従って、スタンダードセルライブラリーの作成に実施例2の方法を用いることができる。一方、従来技術のインバースリソグラフィーをスタンダードセルライブラリーの作成に用いることが考えられる。しかし、スタンダードセルライブラリー作成時と最終的にマスクを作成するときとで着目しているマスクパターンの周囲のマスクパターンが異なるため、該ライブラリー作成時に出来たマスクパターンと、最終的なマスクパターンが大きく異なってしまう可能性がある。そのため、デバイス製造用の最終的なマスクパターンでは所望の像性能が得られないという問題がある。これに対し、実施例2の方法はS204、および、S208でマスク上のパターンをパラメータ化するときと、S214でパラメータの値を決定するときにはマスクパターンの形状と位置とを制御可能であり、その問題はない。

30

【0065】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形および変更が可能である。

40

【実施例3】

【0066】

上述の実施例で決定されたマスクパターンのパラメータの値を含むマスクのデータはマスク製造装置（描画装置）に入力され、入力データに基づきパターンを描画してマスクを製造する。そして、実施例1で決定された露光条件や実施例2で予め設定された露光条件を露光装置に設定し、製造されたマスクを照明して、ウエハ上の感光剤（レジスト）にマスクのパターンの像を投影して、感光剤を露光する。

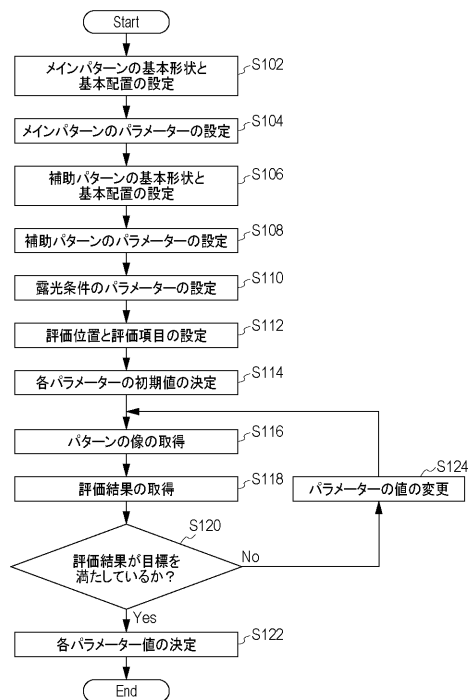
【0067】

次に、前述の露光方法を利用したデバイス（半導体IC素子、液晶表示素子等）の製造

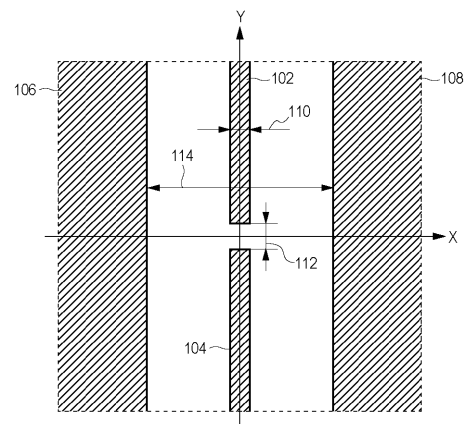
50

方法を説明する。デバイスは、前述の露光方法を使用して、感光剤が塗布された基板（ウェハ、ガラス基板等）を露光する工程と、その基板（感光剤）を現像する工程と、他の周知の工程と、を経ることにより製造される。他の周知の工程には、エッチング、レジスト剥離、ダイシング、ボンディング、パッケージング等が含まれる。本デバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。

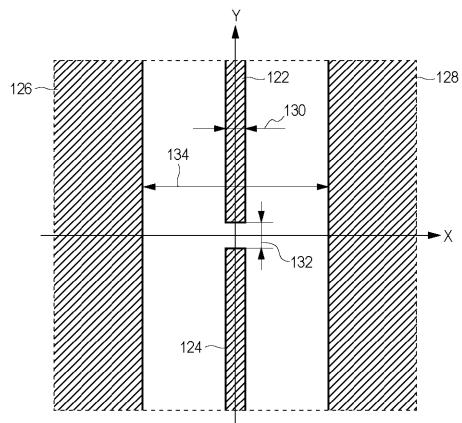
【図 1】



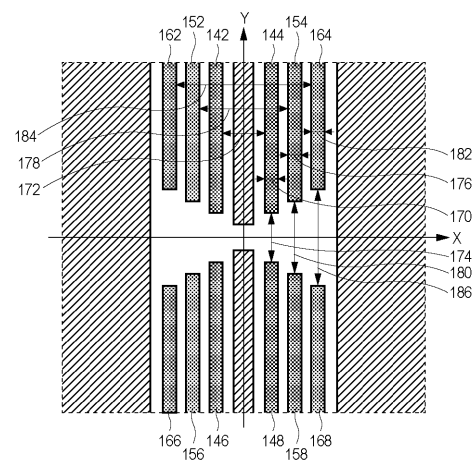
【図 2】



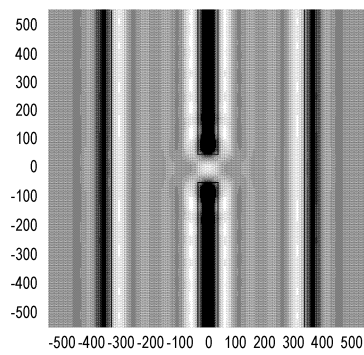
【図 3】



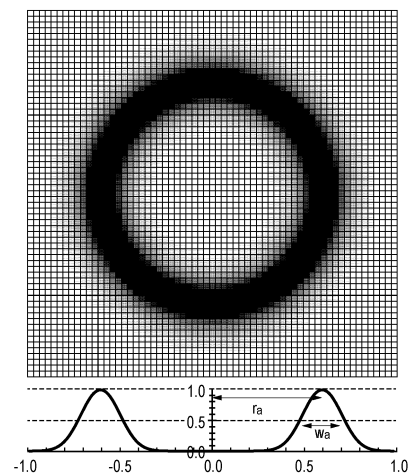
【図 4】



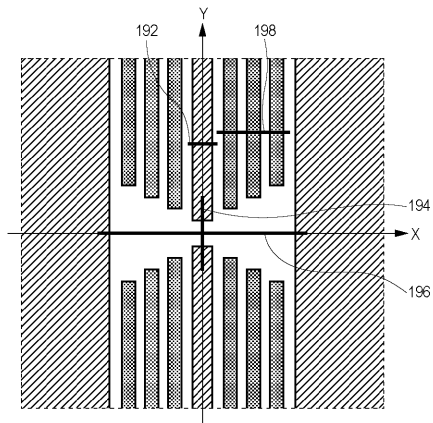
【図 5】



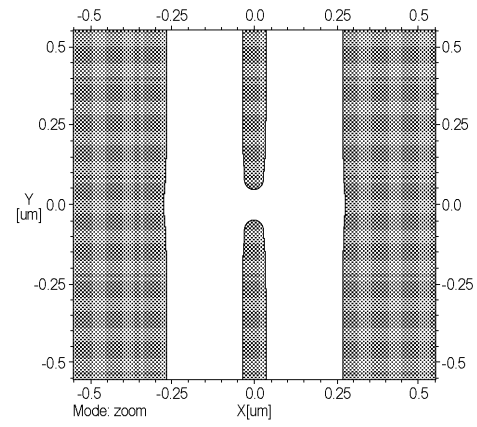
【図 6】



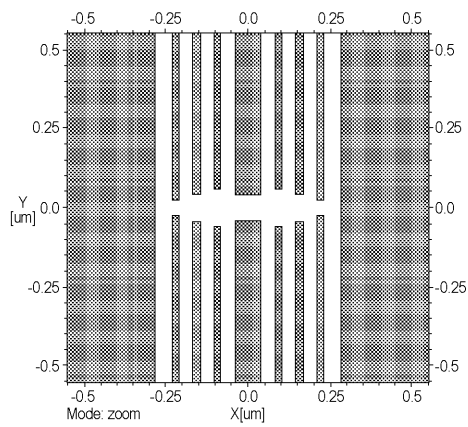
【図 7】



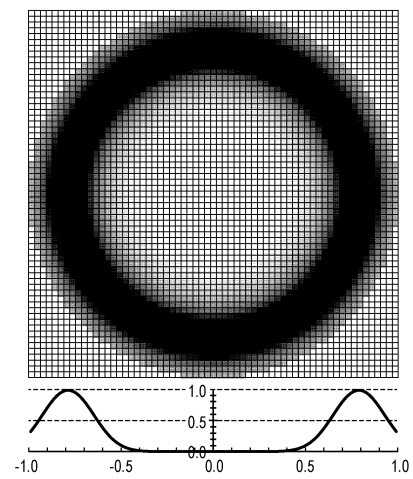
【図 8】



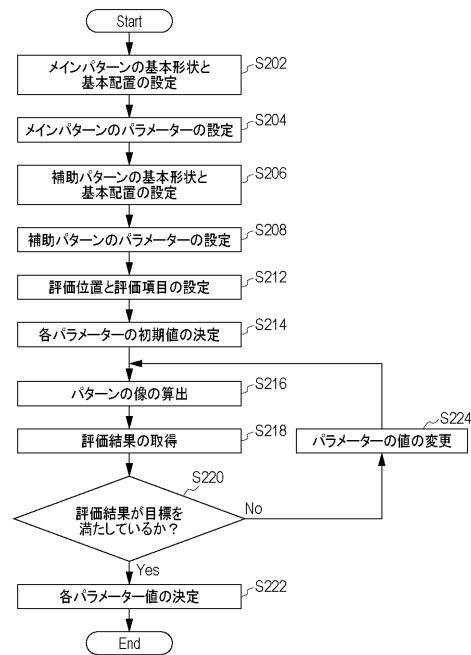
【図 9】



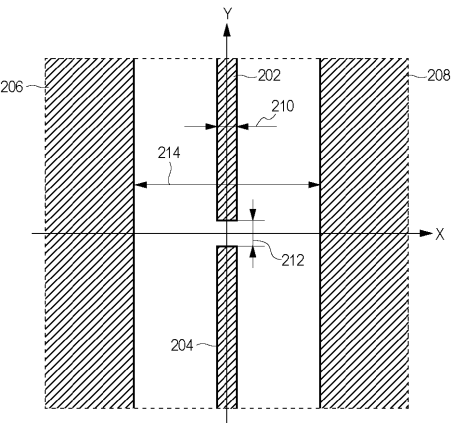
【図 10】



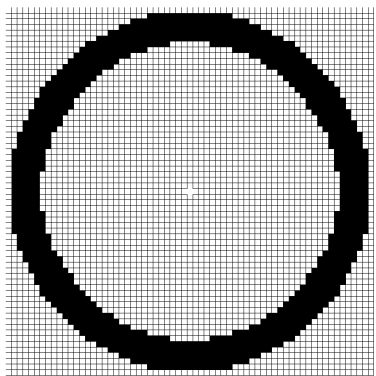
【図 1 1】



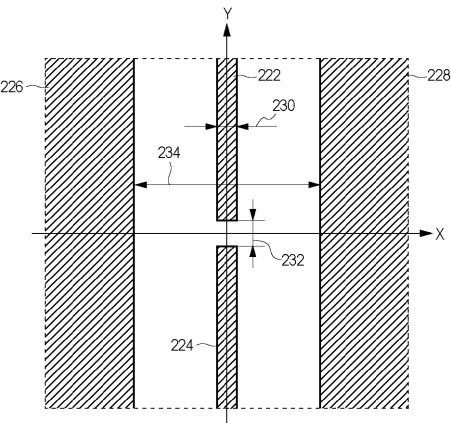
【図 1 2】



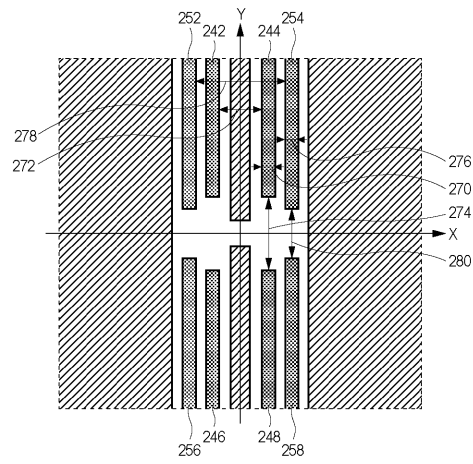
【図 1 3】



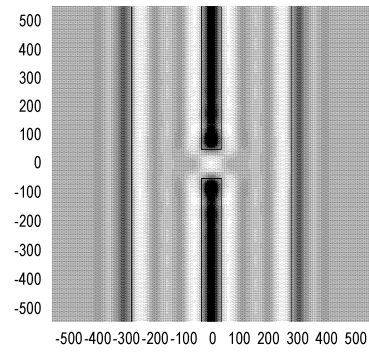
【図 1 4】



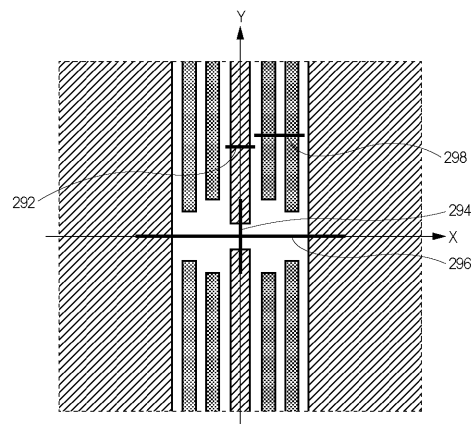
【図 15】



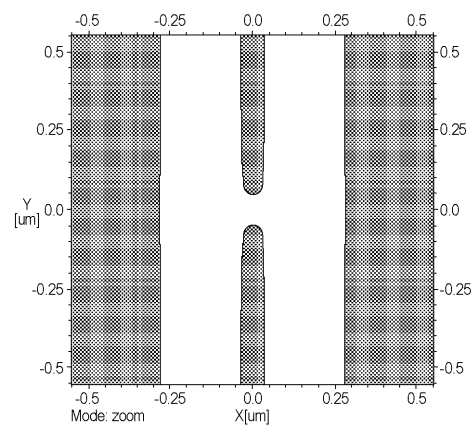
【図 16】



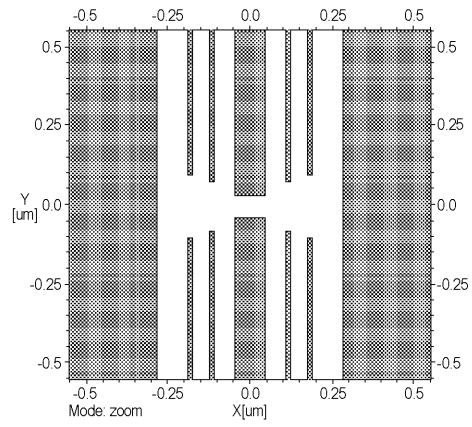
【図 17】



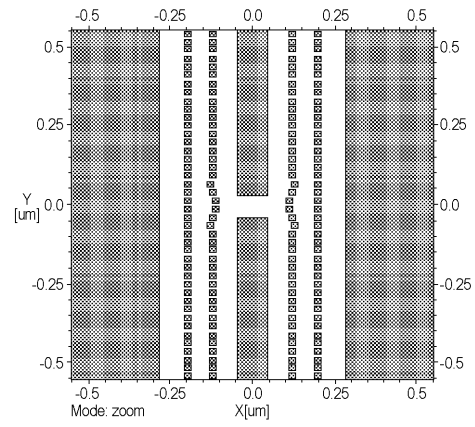
【図 18】



【図 19】



【図 20】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2003-318100(JP,A)
特開2005-026701(JP,A)
特開平08-076355(JP,A)
特開2009-093138(JP,A)
特開2008-040470(JP,A)
特表2009-510526(JP,A)
特開2006-309039(JP,A)
特開2004-266269(JP,A)
特開2006-313353(JP,A)
特開2004-071776(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 1/00 - 1/86 、 7/20 - 7/24 、
9/00 - 9/02 、
H01L 21/027、21/30