

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4804294号
(P4804294)

(45) 発行日 平成23年11月2日 (2011. 11. 2)

(24) 登録日 平成23年8月19日 (2011. 8. 19)

(51) Int. Cl.

F I

G O 3 F 1/08 (2006. 01)
H O 1 L 21/027 (2006. 01)G O 3 F 1/08 A
H O 1 L 21/30 5 O 2 P

請求項の数 8 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2006-254980 (P2006-254980)
 (22) 出願日 平成18年9月20日 (2006. 9. 20)
 (65) 公開番号 特開2008-76682 (P2008-76682A)
 (43) 公開日 平成20年4月3日 (2008. 4. 3)
 審査請求日 平成21年9月24日 (2009. 9. 24)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100076428
 弁理士 大塚 康德
 (74) 代理人 100112508
 弁理士 高柳 司郎
 (74) 代理人 100115071
 弁理士 大塚 康弘
 (74) 代理人 100116894
 弁理士 木村 秀二
 (72) 発明者 山添 賢治
 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 原版データ作成プログラム、原版データ作成方法、原版作成方法、露光方法及びデバイスの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

照明光学系により照明され投影光学系を介して感光剤に潜像を形成するのに用いられる
 原版のデータをコンピュータに作成させる原版データ作成プログラムであって、

有効光源の強度分布を示す関数をフーリエ変換して、前記原版が配置される前記投影光
 学系の物体面における可干渉性の分布を示すコヒーレントマップを生成するマップ生成ス
 テップと、

1以上の要素を有するパターンデータを処理対象として、ある要素を注目要素として選
 択し、前記マップ生成ステップで生成されたコヒーレントマップの原点を前記パターンデ
 ータの注目要素へ重ね合わせたときに前記コヒーレントマップによって与えられる、原点
 に対する可干渉性が設定された値以上である領域を決定し、前記決定された領域に補助パ
 ターンを配置することにより、前記原版のデータを得る配置ステップと、
 を前記コンピュータに行わせることを特徴とする原版データ作成プログラム。

【請求項 2】

前記マップ生成ステップでは、有効光源の強度分布を示す関数に偏光に起因する因子を
 かけてフーリエ変換する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の原版データ作成プログラム。

【請求項 3】

前記注目要素は、コンタクトホールのパターンであり、

前記補助パターンの寸法は、前記コンタクトホールのパターンの寸法の 50% から 85

10

20

%の範囲内の値である

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の原版データ作成プログラム。

【請求項 4】

照明光学系により照明され投影光学系を介して感光剤に潜像を形成するのに用いられる原版のデータを作成する原版データ作成方法であって、

コンピュータが、有効光源の強度分布を示す関数をフーリエ変換して、前記原版が配置される前記投影光学系の物体面における可干渉性の分布を示すコヒーレントマップを生成するマップ生成ステップと、

前記コンピュータが、1 以上の要素を有するパターンデータを処理対象として、ある要素を注目要素として選択し、前記マップ生成ステップで生成されたコヒーレントマップの原点を前記パターンデータの注目要素へ重ね合わせたときに前記コヒーレントマップによって与えられる、原点に対する可干渉性が設定された値以上である領域を決定し、前記決定された領域に補助パターンを配置することにより、前記原版のデータを得る配置ステップと、

を備えることを特徴とする原版データ作成方法。

【請求項 5】

前記パターンデータは、複数の要素を有し、

前記原版データ作成方法は、

前記コンピュータが、前記マップ生成ステップで用いるべき有効光源の強度分布を示す関数を設定する設定ステップと、

前記コンピュータが、前記パターンデータを処理対象として、前記マップ生成ステップで生成された前記コヒーレントマップの原点を前記パターンデータの前記複数の要素における注目要素へ重ね合わせたときに前記コヒーレントマップによって与えられる、原点に対する可干渉性が前記設定された値以上である複数の領域を決定し、前記決定された複数の領域におけるいずれかの領域が前記複数の要素における他の要素の位置に重なるか否かを判定する判定ステップと、

をさらに備え、

前記設定ステップでは、前記コンピュータが、前記決定された複数の領域におけるいずれかの領域が前記複数の要素における前記他の要素の位置に重ならないと前記判定ステップで判定された場合、新たな有効光源の強度分布を示す関数を設定し、

前記マップ生成ステップでは、前記コンピュータが、前記新たな有効光源の強度分布を示す関数をフーリエ変換して、新たなコヒーレントマップを生成し、

前記配置ステップでは、前記コンピュータが、前記決定された複数の領域におけるいずれかの領域が前記複数の要素における前記他の要素の位置に重なりと前記判定ステップで判定された場合、前記決定された複数の領域のうち前記他の要素と重ならない領域に前記補助パターンを配置することにより、前記原版のデータを得る

ことを特徴とする請求項 4 に記載の原版データ作成方法。

【請求項 6】

請求項 4 又は 5 に記載の原版データ作成方法により作成された原版のデータを用いて原版を作成することを特徴とする原版作成方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の原版作成方法により作成された原版を照明する照明ステップと、

投影光学系を介して前記原版のパターンの像を感光剤に露光して、前記感光剤に潜像を形成する形成ステップと、

を備えることを特徴とする露光方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載された露光方法により前記原版のパターンの像を前記感光剤に露光する露光ステップと、

前記潜像を現像する現像ステップと、

を備えることを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、原版データ作成プログラム、原版データ作成方法、原版作成方法、露光方法及びデバイスの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

原版（マスク、レチクル）に描画された回路パターンを投影光学系によってウェハ等に露光する投影露光装置は従来から使用されており、高解像度を実現可能な露光装置が益々要求されている。高解像度を実現する露光方法として、投影光学系の開口数（NA）を増加する方法、露光波長（ ）を短波長化する方法、及びk1ファクタを小さくする方法が知られている。

10

【0003】

回路パターンを大別すると、配線パターン（ラインパターン）とコンタクトホールパターンとに分けることができる。一般的に、細いラインパターンを露光するより微細なコンタクトホールパターンを露光するほうが困難であると言われる。

【0004】

そこで、露光方法を工夫して微細なコンタクトホールパターンを露光する様々な試みがなされている。代表的な技術は、転写すべきコンタクトホールパターンが描画された原版に、解像しない大きさの補助パターンを挿入する方法である。この方法は、k1ファクタを小さくする方法の1つである。

20

【0005】

特許文献1及び特許文献2に示す技術では、どのように補助パターンを挿入すべきかを数値計算で導出する方法が示されている。これらの技術によれば、近似的な像面強度（振幅）の分布を数値計算で求め、インターフェレンスマップ（Interference map、以下、干渉マップと呼ぶ）を導出している。すなわち、干渉マップは、近似的な像面強度（振幅）の分布を示すマップである。

【0006】

具体的には、Transmission Cross Coefficient（以下、TCCと呼ぶ）を導出する。そして、TCCの結果により、空中像をN種類の像（固有関数と呼ばれる）に分解（特異値分解（Singular value decomposition; SVD））する。この手法は、Sum of Coherent System Decomposition（以下、SOCSDと呼ぶ）と呼ばれる。

30

【0007】

SOCSDで分解したN種類の固有関数は、それぞれ正負の値を持つ。N種類の固有関数を強度にして足し合わせて、空中像を得る。より厳密には、i番目の固有関数に対応した固有値（i番目の固有値）と、i番目の固有関数の強度とを掛け合わせて得られたN種類の関数を足し合わせて、空中像を得る。

【0008】

ここで、一番大きい固有値を第一の固有値とし、対応する固有関数を第一の固有関数とすれば、第一の固有関数は空中像の形成に対する寄与が一番大きい。そこで、第一の固有関数を空中像であると近似する。この近似により像面強度（振幅）の分布を導出することが可能となる。すなわち、干渉マップを求めることができる。

40

【0009】

干渉マップで正の値を持つ箇所には、コンタクトホールパターンを透過した露光光の位相と、補助パターンを透過した露光光の位相とが等しくなるような補助パターンを挿入する。干渉マップで負の値を持つ箇所には、コンタクトホールパターンを透過した露光光の位相と、補助パターンを透過した露光光の位相との差が180度になるように補助パターンを配置する。

【特許文献1】特開2004-221594号公報

50

【特許文献2】特開2005-183981号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、特許文献1及び特許文献2に示す技術では、干渉マップを導出するために、TCCや固有関数を求める必要があり、数値計算が全体的に複雑になりやすい。これにより、原版のデータの作成時間が長くなることがある。

【0011】

そこで、本発明の目的は、原版のデータの作成時間を短縮することにある。

【課題を解決するための手段】

10

【0012】

本発明の第1側面に係る原版データ作成プログラムは、照明光学系により照明され投影光学系を介して感光剤に潜像を形成するのに用いられる原版のデータをコンピュータに作成させる原版データ作成プログラムであって、有効光源の強度分布を示す関数をフーリエ変換して、前記原版が配置される前記投影光学系の物体面における可干渉性の分布を示すコヒーレントマップを生成するマップ生成ステップと、前記コヒーレントマップにおいて、原点に主パターンを配置し、原点に対する可干渉性が設定された値以上の領域に補助パターンを配置する配置ステップとを前記コンピュータに行わせることを特徴とする。

【0013】

本発明の第2側面に係る原版データ作成方法は、照明光学系により照明され投影光学系を介して感光剤に潜像を形成するのに用いられる原版のデータを作成する原版データ作成方法であって、有効光源の強度分布を示す関数をフーリエ変換して、前記原版が配置される前記投影光学系の物体面における可干渉性の分布を示すコヒーレントマップを生成するマップ生成ステップと、前記コヒーレントマップにおいて、原点に主パターンを配置し、原点に対する可干渉性が設定された値以上の領域に補助パターンを配置する配置ステップとを備えることを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、原版のデータの作成時間を短縮することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

30

【0015】

本発明は、特に、IC、LSIなどの半導体チップ、液晶パネルなどの表示素子、磁気ヘッドなどの検出素子、CCDなどの撮像素子といった各種デバイスやマイクロメカニクスで用いる原版のデータを作成する際に適用可能である。ここで、マイクロメカニクスは、半導体集積回路製造技術を微細構造体の製作に応用し、高度な機能を持ったミクロン単位の機械システムやそれを作る技術をいう。本発明は、例えば、液体を介して感光剤に潜像を形成するいわゆる液浸露光に好適である。

【0016】

本発明で開示する概念は、数学的にモデル化することができる。そのため、コンピュータ・システムのソフトウェア機能として実装可能である。ここで、コンピュータ・システムのソフトウェア機能は、実行可能なコードを含んだプログラミングを含み、補助パターン挿入を実施することができる。ソフトウェア・コードは、汎用コンピュータで実行可能である。ソフトウェア・コード動作中に、コード、もしくは、関連データ記録は、汎用コンピュータ・プラットフォーム内に格納される。しかし、その他の場合、ソフトウェアは他の場所に格納されるか、もしくは、適切な汎用コンピュータ・システムにロードされることもある。したがって、ソフトウェア・コードは、1つまたは複数のモジュールとして、少なくとも1つの機械可読媒体で保持可能である。以下に述べる発明は、上述のコードという形式で記述され、1つまたは複数のソフトウェア製品として機能させることができる。ソフトウェア・コードは、コンピュータ・システムのプロセッサにより実行される。コンピュータ・プラットフォームは、本明細書で述べ、かつ、実施例で示す方法、カタロ

40

50

グ、または、ソフトウェア・ダウンロード機能を実施することができる。

【 0 0 1 7 】

次に、本発明の実施形態に係る原版データ作成プログラムを実行するためのコンピュータの構成を、図 1 を用いて説明する。

【 0 0 1 8 】

コンピュータ 1 は、バス配線 1 0、制御部 2 0、表示部 3 0、記憶部 4 0、入力部 6 0 及び媒体インターフェース 7 0 を備える。

【 0 0 1 9 】

制御部 2 0、表示部 3 0、記憶部 4 0、入力部 6 0 及び媒体インターフェース 7 0 は、バス配線 1 0 を介して相互に接続されている。媒体インターフェース 7 0 は、記録媒体 8 0 を接続可能に構成されている。

10

【 0 0 2 0 】

記憶部 4 0 には、パターンデータ 4 1、コヒーレントマップ 4 2、マスクのデータ 4 3、有効光源情報 4 4、N A 情報 4 5 が記憶されている。記憶部 4 0 には、情報 4 6、及び、マスクのデータを作成するプログラムである原版データ作成プログラム 4 7 が記憶されている。パターンデータ 4 1 は、集積回路などの設計においてレイアウト設計されたパターン（以下、レイアウトパターンと呼ぶ）のデータである。コヒーレントマップ 4 2 は、後述のように、マスクが配置される面（投影光学系の物体面）における可干渉性の分布を示したものである。マスクのデータ 4 3 は、マスクに C r 等のパターンが描画されるためのデータである。有効光源情報 4 4 は、後述の露光装置 1 0 0（図 2 8 参照）の投影光学系の瞳面 1 4 2（図 2 8 参照）に形成される光の強度分布に関する情報である。N A 情報 4 5 は、露光装置 1 0 0 の投影光学系の像側開口数 N A に関する情報である。情報 4 6 は、露光装置 1 0 0 の露光光の波長に関する情報である。原版データ作成プログラム 4 7 は、マスク（原版）のデータを作成するためのプログラムである。

20

【 0 0 2 1 】

制御部 2 0 は、例えば、C P U、G P U、D S P 又はマイコンなどであり、一時記憶のためのキャッシュメモリをさらに含む。表示部 3 0 は、例えば、C R T ディスプレイや液晶ディスプレイなどの表示デバイスである。記憶部 4 0 は、例えば、メモリやハードディスクなどである。入力部 6 0 は、例えば、キーボードやマウスなどである。媒体インターフェース 7 0 は、例えば、フロッピー（登録商標）ディスクドライブ、C D - R O M ドライブや U S B インターフェースなどである。記録媒体 8 0 は、フロッピー（登録商標）ディスク、C D - R O M や U S B メモリなどである。

30

【 0 0 2 2 】

次に、本発明の実施形態におけるコヒーレントマップ 4 2 の構成を説明する。

【 0 0 2 3 】

露光装置 1 0 0（図 2 8 参照）の露光光の波長を λ とし、投影光学系の像側開口数を N A とする。照明光学系よりマスク面に入射する光束がなす開口数と投影光学系の物体側開口数との比を λ とする。

【 0 0 2 4 】

露光装置では様々な N A と λ とを取りうるため、パターンの寸法を $(\lambda / N A)$ で規格化すると便利である。例えば、 λ が 2 4 8 n m で N A が 0 . 7 3 のとき、1 0 0 n m を上述のように規格化すると 0 . 2 9 となる。このような規格化を本明細書では k 1 換算と呼ぶことにする。

40

【 0 0 2 5 】

なお、マスクに描画された C r 等のパターン（以下、マスクパターンとする）の大きさと、ウェハ面上に結像されるパターン（以下、ウェハパターンとする）の大きさは、投影光学系の倍率分だけ異なる。以下では、話を簡単にするため、マスクパターンの大きさに投影光学系の倍率をかけたウェハパターンの大きさに換算した大きさをマスク面上の長さ（座標）を表し、マスクパターンの大きさとウェハパターンの大きさとを 1 : 1 で対応させる。ここで、マスク面とは投影光学系の物体面を表し、この面にマスクが配置される

50

。

【 0 0 2 6 】

半導体露光装置におけるマスクパターンとウェハパターンとの関係は、部分コヒーレント結像の関係にある。部分コヒーレント結像では、マスク面での可干渉性を知るために、有効光源の情報（有効光源情報 4 4）が必要となる。ここで、可干渉性とは、マスク面上の距離に応じた干渉の度合いである。例えば、マスクパターンにおける 2 つの要素を可干渉性が 0 の距離に配置すれば、2 つの要素で回折された光は干渉することがない。

【 0 0 2 7 】

可干渉性は、Van Cittert - Zernike の定理により、有効光源の強度分布をフーリエ変換することで得ることができる。より厳密には、可干渉性は、有効光源の強度分布をフーリエ変換したものの絶対値で与えられる。以下では、有効光源の強度分布をフーリエ変換しその絶対値を取ったものを、便宜的に、コヒーレントマップと呼ぶ。

10

【 0 0 2 8 】

コヒーレントマップ 4 2 は、マスク面における可干渉性の分布を示したものであり、常に正の値を持つ。それに対して、背景技術の欄で説明した干渉マップは、近似的な像面強度（振幅）を示したものであり、正負の値をもつ。そのため、コヒーレントマップ 4 2 と干渉マップとは、全く異なる物理量を扱ったものであり、その性質も全く異なるものである。

【 0 0 2 9 】

図 3 に有効光源の強度分布（有効光源情報 4 4）の例を示し、図 4 にコヒーレントマップ 4 2 の例を示す。

20

【 0 0 3 0 】

図 3 は、マスクがないときに、照明光学系が投影光学系の瞳面上に形成する光の強度分布を示す。図 3 では、投影光学系の瞳の半径を 1 に正規化している。白抜き部は光照射領域を表し、白線で描かれた半径 1 の円は $r = 1$ を示している。ここで、露光装置の NA（投影光学系の像側開口数）を 0.73、波長を 248 nm とする。

【 0 0 3 1 】

図 4 は、図 3 の有効光源の強度分布を示す関数をフーリエ変換して求められたコヒーレントマップ 4 2 を示している。図 4 の横軸は、マスク面の x 座標を nm 単位で表し、縦軸は、マスク面の y 座標を nm 単位で表している。原点を (0 nm, 0 nm) としたとき、図 4 は、マスク面における原点に対する可干渉性を表す。

30

【 0 0 3 2 】

図 4 では、最も明るい所を 1 とした場合における値（色の濃淡で表される値）が 1 に近いほど原点との可干渉性が高いことを意味し、その値が 0 に近いほど原点との可干渉性が低いことを意味する。例えば、マスク面で (±310 nm, 0 nm)、(0 nm, ±310 nm)、(±310 nm, ±310 nm) の位置では原点との可干渉性が高い。

【 0 0 3 3 】

次に、上記のコヒーレントマップ 4 2 を用いて作成するマスクのデータ 4 3 について説明する。

【 0 0 3 4 】

40

例えば、パターンデータ 4 1 の一例として、図 5 に示す（微細な）孤立した正方形のコンタクトホールのパターンデータを考える。露光装置の NA を 0.73、露光光の波長を 248 nm とする。コンタクトホールの寸法を 120 nm とする。コンタクトホールを露光する際、通常、図 5 に示すように遮光部と開口部（透光部）とからなるマスクパターンを使用する。図 5 は、遮光部と開口部（透光部）とからなるバイナリーマスク（黒塗りした部分が遮光部を示し、白抜きした部分が透光部を示す）で、開口部の 1 辺の長さは 120 nm である。

【 0 0 3 5 】

ここで、仮に、図 5 に示すパターンデータ 4 1（レイアウトパターンのデータ）をそのままマスクのデータ 4 3 として、マスクに Cr 等のパターンを描画するとする。そして、

50

露光の際、マクスパターンで回折された光がウェハ面の感光剤に結像されるが、光強度分布の勾配がなだらかになることがある。これにより、微細パターンを精度良く形成できないおそれがある。

【0036】

それに対して、本実施形態では、図5に示すパターンデータ41（レイアウトパターンのデータ）を処理対象として、その要素であるコンタクトホールのパターンを注目要素として選択する。そして、図4に示すコヒーレントマップ42の原点を図5に示すパターンデータ41のコンタクトホールの位置へ重ね合わせて、コンタクトホールのパターンを主パターンとする。さらに、例えば、可干渉性が設定された値（例えば、0.7）以上の領域である（ $\pm 310\text{ nm}$, 0 nm ）、（ 0 nm , $\pm 310\text{ nm}$ ）及び（ $\pm 310\text{ nm}$, $\pm 310\text{ nm}$ ）の近傍領域のそれぞれに補助パターンを配置する。すなわち、図6に示すように、コンタクトホールのパターンである主パターンMP1の周りに補助パターンSP1～SP8を配置する。ここで、主パターンMP1と補助パターンSP2, SP4, SP5, SP7との間隔 $d = 310\text{ nm}$ となるようにする。また、補助パターンSP1, SP3, SP6, SP8と、隣接した補助パターンSP2, SP5, SP4, SP7との間隔 $d = 310\text{ nm}$ となるようにする。そして、図6に示すデータをマスクのデータ43として、マスクにCr等のパターンを描画する（原版作成）。このとき、露光の際、マスクパターン（主パターン及び補助パターン）で回折された光が可干渉性の強い状態でウェハ面の感光剤に結像される。これにより、結像した光強度分布の勾配が急になる。そのため、微細パターンを精度良く形成できる。

【0037】

図6に示すようなマスクのデータ43において、補助パターンの寸法は、解像しない程度に小さいことが好ましく、例えば、主パターン（コンタクトホールのパターン）の寸法の75%近傍がよい。ここで、寸法とは、面積ではなく、パターンの一辺の長さである。図5の場合、主パターン（コンタクトホールのパターン）の寸法は、例えば、 120 nm である。すなわち、1辺が 120 nm の正方形のパターンを主パターンとしてマスクのデータ43に含める。よって、補助パターンの寸法（1辺の長さ）は、 $120\text{ nm} \times 75\% = 90\text{ nm}$ 程度がよい。しかしながら、本実施形態では、補助パターンが可干渉性が高い領域に追加して配置されている。そのため、補助パターンが配置されれば、少なからず解像力向上につながる。その意味で、補助パターンの寸法は、主パターン（コンタクトホールのパターン）の寸法の75%近傍に限定されない。本発明者が調べたところ、補助パターンの寸法を主パターン（コンタクトホールのパターン）の寸法の50～85%にした場合も、十分な効果を得ることができる。すなわち、この場合も、補助パターンを、解像させずに、主パターンが精度よくウェハ面上に結像されるように補助させることができる。

【0038】

なお、補助パターンは、長さの異なる $120\text{ nm} \times 50 \sim 85\%$ の辺と $120\text{ nm} \times 50 \sim 85\%$ の辺とを有する長方形形状のパターンであっても良い。

【0039】

例えば、パターンデータ41の別の一例として、（微細な）孤立した長方形のコンタクトホールのパターンデータを考える。このとき、長方形の補助パターンを追加して配置すればよい。例えば、主パターン（コンタクトホールのパターン）の寸法は、長辺がAであり、短辺がB（ $< A$ ）であるとする。このとき、補助パターンの寸法は、長辺が $A \times 50 \sim 85\%$ であり、短辺が $B \times 50 \sim 85\%$ であることが好ましい。

【0040】

例えば、パターンデータ41のさらに別の一例として、（微細な）孤立したラインのパターンデータを考える。このとき、ラインの補助パターンを追加して配置すればよい。例えば、主パターン（ラインのパターン）の寸法は、長さがCであり、幅がD（ $< C$ ）であるとする。このとき、ラインのパターンがコンタクトホールのパターンに比べて解像しやすいので、補助パターンの寸法は、幅が $D \times 35 \sim 70\%$ であることが好ましく、長さに関してはCと同程度でよい。

【 0 0 4 1 】

マスクのデータ 4 3 において、補助パターンの形状は、主パターンの形状と略相似であることが好ましい。例えば、主パターン（例えば、コンタクトホールのパターン）が正方形のとき、略正方形の補助パターンをマスクのデータに追加して配置することが好ましい。主パターン（コンタクトホールのパターン）が長方形のとき、長方形の補助パターンをマスクのデータに追加して配置することが好ましい。別の補助パターン形状の決定方法は後述の実施例で明らかにされる。

【 0 0 4 2 】

次に、原版データ作成プログラムを実行してマスクのデータを作成する処理の流れを、図 2 に示すフローチャートを用いて説明する。

10

【 0 0 4 3 】

ステップ S 1 では、コンピュータ 1 の制御部 2 0 は、有効光源の強度分布を決定する。

【 0 0 4 4 】

すなわち、入力部 6 0 には、利用者により、あらかじめ、有効光源の強度分布（例えば、図 3 ）に関する情報が入力される。制御部 2 0 は、有効光源の強度分布に関する情報を、受け取り、有効光源情報 4 4 として記憶部 4 0 に記憶させる。同様に、パターンデータ 4 1、NA 情報 4 5、情報 4 6 も、利用者によりあらかじめ入力部 6 0 に入力され、制御部 2 0 を介して記憶部 4 0 に記憶される。

【 0 0 4 5 】

また、原版データ作成プログラム 4 7 が記録された記録媒体 8 0 が、媒体インターフェース 7 0 に接続される。そして、原版データ作成プログラム 4 7 は、インストールされ、制御部 2 0 を介して記憶部 4 0 に記憶される。

20

【 0 0 4 6 】

入力部 6 0 には、利用者により、原版データ作成プログラム 4 7 の起動命令が入力される。制御部 2 0 は、原版データ作成プログラム 4 7 の起動命令を受け取り、その起動命令に基づいて、記憶部 4 0 を参照し、原版データ作成プログラム 4 7 を起動する。制御部 2 0 は、原版データ作成プログラム 4 7 に従い、有効光源情報 4 4 を表示部 3 0 に表示させる。有効光源情報 4 4 を閲覧した利用者により、有効光源の強度分布を選択する命令が入力部 6 0 に入力される。制御部 2 0 は、有効光源情報 4 4 と有効光源の強度分布を選択する命令とに基づいて、有効光源の強度分布（図 3 参照）を決定し、決定した有効光源の強度分布の情報を保持する。

30

【 0 0 4 7 】

ステップ S 2 では、コンピュータ 1 の制御部 2 0 は、コヒーレントマップ 4 2 を生成する。

【 0 0 4 8 】

すなわち、入力部 6 0 には、利用者により、コヒーレントマップ 4 2 の生成命令が入力される。制御部 2 0 は、コヒーレントマップ 4 2 の生成命令を受け取り、コヒーレントマップ 4 2 の生成命令に基づいて、記憶部 4 0 を参照し、NA 情報 4 5 及び 情報 4 6 を受け取る。制御部 2 0 は、有効光源の強度分布の情報に基づいて、有効光源の強度分布を示す関数を生成する。制御部 2 0 は、NA 情報 4 5 及び 情報 4 6 に基づいて、有効光源の強度分布を示す関数をフーリエ変換して、コヒーレントマップ 4 2 （図 4 参照）を生成する。さらに、制御部 2 0 は、コヒーレントマップ 4 2 を表示部 3 0 に表示させる。

40

【 0 0 4 9 】

ステップ S 3 では、コンピュータ 1 の制御部 2 0 は、コヒーレントマップ 4 2 の原点をシフトする。

【 0 0 5 0 】

すなわち、入力部 6 0 には、利用者により、パターンデータ 4 1 の表示命令が入力される。制御部 2 0 は、パターンデータ 4 1 の表示命令を受け取り、パターンデータ 4 1 の表示命令に基づいて、記憶部 4 0 を参照し、パターンデータ 4 1 を表示部 3 0 に表示させる。これにより、表示部 3 0 は、パターンデータ 4 1 とコヒーレントマップ 4 2 とを同時に

50

表示している。パターンデータ 4 1 とコヒーレントマップ 4 2 とを閲覧した利用者により、入力部 6 0 には、(パターンデータ 4 1 における)注目要素の選択命令が入力される。制御部 2 0 は、注目要素の選択命令を受け取り、注目要素の選択命令に基づいて、コヒーレントマップ 4 2 の原点をパターンデータ 4 1 の注目要素の中心へシフトして重ね合わせる。さらに、制御部 2 0 は、パターンデータ 4 1 と、原点をシフトさせたコヒーレントマップ 4 2 とを、表示部 3 0 に表示させる。また、制御部 2 0 は、注目要素を主パターンとしてマスクのデータ 4 3 を生成し、そのマスクのデータ 4 3 を記憶部 4 0 に記憶させる。

【0051】

ステップ S 4 では、コンピュータ 1 の制御部 2 0 は、補助パターンを配置する。

【0052】

すなわち、パターンデータ 4 1 と原点をシフトさせたコヒーレントマップ 4 2 とを閲覧した利用者により、入力部 6 0 には、補助パターンの配置命令が入力される。制御部 2 0 は、補助パターンの配置命令を受け取り、補助パターンの配置命令に基づいて、可干渉性が設定された値以上の領域に補助パターンを追加して配置する。制御部 2 0 は、記憶部 4 0 を参照し、マスクのデータ 4 3 に補助パターンの情報を含めたものを新たにマスクのデータ 4 3 とする。そして、制御部 2 0 は、パターンデータ 4 1 に代えて、マスクのデータ 4 3 を表示部 3 0 に表示させる。また、制御部 2 0 は、マスクのデータ 4 3 を記憶部 4 0 に記憶させる。

【0053】

以上のように、本実施形態の原版データ作成プログラム 4 7 による処理では、コヒーレントマップ 4 2 を用いて補助パターンを適切な位置に配置したマスクのデータ 4 3 を作成できる。すなわち、TCC や固有関数を求めることなく、補助パターンを適切な位置に配置したマスクのデータ 4 3 を作成できるので、数値計算を全体的に簡素化できる。これにより、マスクデータ 4 3 の作成時間を短縮することができる。

【0054】

また、EB 描画装置にマスクのデータ 4 3 を入力として与えれば、マスクのデータ 4 3 に応じた Cr 等のパターンをマスク 1 3 0 に描画することができる。これにより、マスク 1 3 0 を作成することができる。

【0055】

次に、本発明の実施例を説明する。

【実施例 1】

【0056】

例えば、パターンデータ 4 1 の一例として、図 5 に示す(微細な)孤立した正方形のコンタクトホールのパターンデータを考える。露光装置 1 0 0 (図 2 8 参照)の NA を 0.73、露光光の波長を 248 nm とする。コンタクトホールの寸法を 120 nm とする。有効光源の強度分布は図 7 のようであるとする。図 7 の白線で描かれた半径 1 の円は、 $\rho = 1$ を表している。白抜き部は光照射部で、本明細書ではボールと呼ぶ。 $\rho = 0$ から各ボール中心への距離は、横軸 x 方向の距離 $b_x = 0.55$ (換算)、縦軸 y 方向の距離 $b_y = 0.55$ (換算)である。各ボールの直径 a は換算で 0.2 とする。ここで、換算の値は、投影光学系の瞳の半径を 1 に正規化したときの大きさを表す。

【0057】

まず、制御部 2 0 は、図 9 に示すようなコヒーレントマップ 4 2 を生成する。図 9 の目盛は図 4 に示した目盛と同様である。次に、制御部 2 0 は、可干渉性の閾値(設定された値)を決める。制御部 2 0 は、例えば、可干渉性の設定された値を 0.5 とする。コヒーレントマップ 4 2 において、可干渉性が 0.5 (設定された値)を超えている領域を図示すれば、図 1 0 に示すようになる。可干渉性が閾値(設定された値)を超えていて、かつ、ピークをとる位置は、マスク上で $(\pm 310 \text{ nm}, 0 \text{ nm})$ 、 $(0 \text{ nm}, \pm 310 \text{ nm})$ 、 $(\pm 310 \text{ nm}, \pm 310 \text{ nm})$ の位置である。そこで、制御部 2 0 は、図 8 に示すマスクのデータ 4 3 において、原点に主パターン MP 1 0 1 を配置し、間隔 $d = 310 \text{ nm}$ として補助パターン SP 1 0 1 ~ SP 1 0 8 を配置する。

【 0 0 5 8 】

次に、補助パターンがないマスクと、本実施例の補助パターン挿入方法によるマスクとの結像特性のシミュレーション結果を比較する。

【 0 0 5 9 】

図 1 1 は、結像特性のシミュレーション結果である。図 1 1 の横軸はデフォーカス量であり、縦軸はホール径 (C D ; C r i t i c a l D i m e n s i o n) である。補助パターンがないマスクによる結像性能と、本実施例のマスクデータ作成方法によるマスクによる結像性能とを比較すれば、本実施例のマスクデータ作成方法によるマスクのほうがデフォーカスに対してホール径の変動が劇的に少なくなっている。すなわち、結像特性が向上しており、微細パターンを精度よく形成するのに有利になっている。

10

【 0 0 6 0 】

したがって、本実施例において、コヒーレントマップ 4 2 を求め、可干渉性が閾値 (設定された値) を超え、かつ、ピークになる位置に補助パターンを配置すれば、結像特性が向上する。これにより、微細パターンを精度よく形成することができる。

【 実施例 2 】

【 0 0 6 1 】

実施例 1 では、パターンデータ 4 1 に含まれる要素が 1 つの場合を説明したが、実施例 2 では、パターンデータ 4 1 に含まれる要素が複数の場合を説明する。

【 0 0 6 2 】

例えば、パターンデータ 4 1 において n 個のコンタクトホールのパターンが点在する場合を考える。

20

【 0 0 6 3 】

コヒーレントマップ 4 2 は、原点との干渉の度合いを見積もったものである。すなわち、ある点と原点との可干渉性を表すものである。このコヒーレントマップ 4 2 を利用すれば、結像性能を向上できることは実施例 1 に示したとおりである。

【 0 0 6 4 】

複数個 (ここでは n 個とする。 n は 2 以上の自然数とする。) のコンタクトホールのパターンがあるときは、 n 個のコンタクトホールのそれぞれを注目要素として処理を行う。すなわち、原版データ作成プログラムを実行してマスクのデータを作成する処理の流れが、図 1 2 に示すように、次の点で図 2 に示す処理の流れと異なる。図 1 2 は、原版データ作成プログラムを実行してマスクのデータを作成する処理の流れを示すフローチャートである。

30

【 0 0 6 5 】

ステップ S 1 3 では、パターンデータ 4 1 とコヒーレントマップ 4 2 とを閲覧した利用者により、入力部 6 0 には、 n 個のコンタクトホールのうち未選択のコンタクトホールを注目要素とする注目要素の選択命令が入力される。また、制御部 2 0 は、注目要素の中心へ原点をシフトさせたコヒーレントマップ 4 2 を合成コヒーレントマップ 4 2 i (i は自然数) に足し合わせて新たな合成コヒーレントマップ 4 2 i + 1 を生成する。ここで、合成コヒーレントマップ 4 2 i は、 i 個の注目要素についてコヒーレントマップ 4 2 を足し合わせたものである。他の点は、図 2 に示すステップ S 3 と同様である。

40

【 0 0 6 6 】

ステップ S 1 5 では、制御部 2 0 は、パターンデータ 4 1 の全ての要素、すなわち、 n 個のコンタクトホールの全てを選択したか否かを判断する。制御部 2 0 は、 n 個のコンタクトホールの全てを選択したと判断した場合、処理をステップ S 4 へ進め、 n 個のコンタクトホールの全てを選択していないと判断した場合、処理をステップ S 1 3 へ進める。

【 0 0 6 7 】

図 1 2 の処理を数式で表すと数式 1 のようになる。すなわち、コヒーレントマップ 4 2 を $f(x, y)$ 、 i 番目のコンタクトホールパターンの中心座標を (x_i, y_i) としたとき、

$$F1(x, y) = f(x - x_i, y - y_i) \cdots \text{数式 1}$$

50

として $i = 1 \sim n$ について合計した $F_1(x, y)$ を合成コヒーレントマップ $4_2 n$ にすればよい。後は実施例 1 で述べたように、 $F_1(x, y)$ が一定の閾値を超え、かつ、ピークになる位置に補助パターンを配置すれば結像特性が向上する。

【0068】

このように、複数の要素に対応した合成コヒーレントマップを生成して、その合成コヒーレントマップを用いて補助パターンを配置するので、複数の要素を含む微細パターンを精度よく形成することができる。

【実施例 3】

【0069】

実施例 1 では、パターンデータ 4_1 に含まれる要素が正形状のパターンである場合を説明したが、実施例 3 では、パターンデータ 4_1 に含まれる要素が長形状又はライン状のパターンである場合を説明する。

【0070】

まず、長形状又はライン状のパターンを正形状のパターンの集まりとして捉えて、補助パターンを配置する方法を説明する。

【0071】

制御部 2_0 が選択する注目要素は、正方形のコンタクトホールのパターンに限定されない。注目要素は、例えば、長方形のコンタクトホールのパターンやラインパターンであってもよい。

【0072】

例えば、注目要素が長方形のコンタクトホールのパターンである場合、コンタクトホールのパターンを線とみなせばよい。ただし、線はパターンの短手方向の中央を通り、かつ、長手方向に伸びているとする。線の長さは、マスクパターンの長手方向の長さと同じとする。

【0073】

例えば、図 1_3 のような長方形のコンタクトホールのパターン MP 2_0_1 に対しては、制御部 2_0 は、図 1_4 のような線 L を作成する。こうして求めた線 L に沿って、制御部 2_0 は、コヒーレントマップ 4_2 を足し合わせて、合成コヒーレントマップ $4_2 L$ を生成する。

【0074】

すなわち、線 L を関数 $l(x, y)$ で表す。ただし、 $l(x, y)$ は線上で 1 であるが、線以外の場所では 0 である関数とする。コヒーレントマップ 4_2 を $f(x, y)$ とすれば、合成コヒーレントマップ $4_2 L$ は

$$F_2(x, y) = f(lx, ly) d l x d l y \cdots \text{数式 2}$$

となる。数式 2 では、線 L を示す関数 $l(x, y)$ において重積分している。

【0075】

後は実施例 1 で述べたように、 $F_2(x, y)$ が一定の閾値を超え、かつ、ピークになる位置に補助パターンを挿入すれば結像特性が向上する。

【0076】

次に、長形状又はライン状のパターンに適した有効光源の強度分布に基づいて、補助パターンを配置する方法を説明する。

【0077】

例えば、露光装置 1_0_0 (図 2_8 参照) の NA を 0.73、露光光の波長 λ を 248 nm とする。コンタクトホールの短辺は 110 nm であるとする。制御部 2_0 は、図 1_5 のようなダイポールタイプの有効光源を決定する。白抜き部は光照射領域を表し、白線で描かれた半径 1 の円は $r = 1$ を示している。 $r = 0$ から各ポールの中心までの距離は横軸方向に r 換算で 0.8、ポールの直径は r 換算で 0.3 である。

【0078】

制御部 2_0 は、NA 情報 4_5 及び λ 情報 4_6 に基づいて、図 1_5 に示す有効光源の強度分布を示す関数をフーリエ変換して、図 1_6 に示すコヒーレントマップ 4_2 を生成する。

図 16 の目盛は図 4 に示した目盛と同様である。図 16 のコヒーレントマップ 42 では、横軸 x 方向に周期 213 nm で可干渉性のピークが平行な線状に現れている。

【0079】

制御部 20 は、図 16 に示すコヒーレントマップ 42 の原点を図 13 に示すパターンデータ 41 の注目要素（コンタクトホールのパターン MP 201）の位置へ重ね合わせる。そして、制御部 20 は、マスクのデータ 43 において、原点に主パターン MP 201 を配置し、可干渉性が設定された値以上の領域に補助パターン SP 201 ~ SP 204 を配置する。これにより、図 17 に示すように、マスクのデータ 43 では、主パターン MP 201 の両側に周期 $d = 213 \text{ nm}$ で補助パターン SP 201 ~ SP 204 が配置されたものとなる。

10

【0080】

このように、長方形状又はライン状の要素に対応したコヒーレントマップを生成して、そのコヒーレントマップを用いて補助パターンを配置するので、長方形状又はライン状の微細なパターンを精度よく形成することができる。

【実施例 4】

【0081】

数式 1 と数式 2 で定義されるコヒーレントマップ 42 は、点又は線に対して導出されている。すなわち、上記の実施例では、正方形のコンタクトホールのパターンを点とみなし、長方形のコンタクトホールのパターン又はラインパターンを線とみなして、コヒーレントマップ 42 を導出している。この方法は、対象とするコンタクトホールの大きさが小さいとき、もしくは、ラインの幅が細いときに有効な手段である。

20

【0082】

しかしながら、実際にはコンタクトホールは有限の大きさを持っているし、ラインも有限の幅を持っている。そこで、有限の大きさを考慮したコヒーレントマップ 42（以下では、有限サイズコヒーレントマップと呼ぶ）の導出方法について説明する。

【0083】

初めに、1 辺の長さが e の正方形のコンタクトホールのパターンを考える。正方形のコンタクトホールのパターンは、 $\text{Rect}(x/e, y/e)$ で表現できる。ここで、 $\text{Rect}(x, y)$ は、 $|x| \leq 1/2$ 、かつ、 $|y| \leq 1/2$ のとき 1 で、それ以外では 0 になる関数であり、正方形のコンタクトホールのパターンを示す関数である。

30

【0084】

正方形のコンタクトホールのパターンに対する有限サイズコヒーレントマップ 42 を示す $F_3(x, y)$ を導出するには、コヒーレントマップ 42 を示す関数を $f(x, y)$ として、

$$F_3(x, y) = \text{Rect}(x/e, y/e) f(x, y) dx dy \cdots \text{数式 3}$$

とすればよい。すなわち、制御部 20 は、点に対して定義されていたコヒーレントマップ 42 を、正方形のコンタクトホールのパターンを示す関数と掛け合わせて積分して、有限サイズコヒーレントマップ 42 を示す関数 $F_3(x, y)$ を求める。

【0085】

40

正方形のコンタクトホールのパターンが n 個あるときは、制御部 20 は、数式 1 で $f(x, y)$ を $F_3(x, y)$ に置き換えた演算を行う。これにより、 $F_1(x, y)$ で示されるコヒーレントマップ 42、すなわち、 n 個の正方形のコンタクトホールのパターンからなる有限サイズコヒーレントマップ 42 を得ることができる。

【0086】

制御部 20 は、長方形のコンタクトホールのパターンに対する有限サイズコヒーレントマップ 42 を示す $F_3(x, y)$ を導出してよい。このとき、長方形の x 方向の辺の長さを e_1 、 y 方向の辺の長さを e_2 とすれば、数式 3 の $\text{Rect}(x/e, y/e)$ を $\text{Rect}(x/e_1, y/e_2)$ に置き換えて、 $F_3(x, y)$ を導出する。これにより、長方形のコンタクトホールのパターンに対する有限サイズコヒーレントマップ 42 を求め

50

ることができる。

【0087】

長方形のコンタクトホールのパターンが n 個あるときは、制御部 20 は、数式 1 で $f(x, y)$ を $F_3(x, y)$ に置き換えた演算を行う。これにより、 $F_1(x, y)$ で示されるコヒーレントマップ 42、すなわち、 n 個の長方形のコンタクトホールのパターンからなる有限サイズコヒーレントマップ 42 を得ることができる。

【0088】

制御部 20 は、長方形のコンタクトホールのパターンを正方形のコンタクトホールのパターンの集まりとして、有限サイズコヒーレントマップ 42 を求めても良い。すなわち、制御部 20 は、仮に e_1 が e_2 より短いとしたとき、数式 3 で、 $Rect(x/e, y/e)$ を $Rect(x/e_1, y/e_1)$ に置き換える。そして、制御部 20 は、正方形のコンタクトホールのパターンに対する有限サイズコヒーレントマップ 42 を示す $F_4(x, y)$ を求める。次に、制御部 20 は、パターンの短手方向の中央を通り、かつ、長手方向に伸びている長さ e_2 の線を用意する。制御部 20 は、数式 2 で、 $l(x, y)$ を長さ e_2 の線を示す関数とし、 $f(x, y)$ を $F_4(x, y)$ に置き換え、長方形のコンタクトホールのパターンに対する有限サイズコヒーレントマップ 42 を示す $F_2(x, y)$ を求める。

【0089】

制御部 20 は、同様にして、ラインパターンを正方形のコンタクトホールのパターンの集まりとして、有限サイズコヒーレントマップ 42 を求めても良い。

【0090】

別の形態として、制御部 20 は、レイアウトパターンの辺を示す関数とコヒーレントマップ 42 を示す関数とを掛け合わせて積分することにより、マスクパターンの辺を強調することができる有限サイズコヒーレントマップ 42 を導出してもよい。

【0091】

このように、要素の有限の大きさを考慮した場合でも、有限の大きさの要素に対応したコヒーレントマップを用いて補助パターンを配置するので、ウェハ上に微細なパターンを精度よく形成することができる。

【実施例 5】

【0092】

通常の $van\ Cittert - Zernike$ の定理では偏光の影響は考慮されていない。しかしながら、近年、 k_1 が小さいパターンを露光する際には偏光の影響が無視できなくなっている。

【0093】

そこで、本発明者は、 $van\ Cittert - Zernike$ の定理に偏光の効果を組み込む方法を提案する。具体的には、制御部 20 は、有効光源の に投影光学系の NA を対応させ、集光する偏光を 3 次元的に表現して $van\ Cittert - Zernike$ の定理を導出する。すなわち、制御部 20 は、有効光源の強度分布を示す関数に偏光に起因する因子をかけて、フーリエ変換する。偏光に起因する因子は、 x 偏光が x 偏光になる効果の因子、 x 偏光が y 偏光なる効果の因子、 x 偏光が z 偏光になる効果の因子、 y 偏光が x 偏光になる効果の因子、 y 偏光が y 偏光なる効果の因子、及び y 偏光が z 偏光になる効果の因子を含んでいる。ここで、有効光源の強度分布を示す関数に偏光に起因する因子をかけて得られる関数において、有効光源の強度分布の特徴は維持されている。

【0094】

次に、偏光の効果を組み込んだコヒーレントマップ 42 の例を説明する。

【0095】

露光装置の NA を 0.73、露光光の波長 が 248 nm の場合を考える。図 18 のようなダイポールタイプの有効光源を仮定する。白抜き部は光照射領域を表し、白線で描かれた半径 1 の円は $= 1$ を示している。 $= 0$ から各ポール中心までの距離は横軸方向に換算で 0.8、ポールの直径は 換算で 0.3 である。

【0096】

例えば、制御部20は、有効光源の強度分布を示す関数にy偏光（S偏光）に起因する因子をかけてフーリエ変換して、図19に示すコヒーレントマップ42を生成する。図19の目盛は図4に示した目盛と同様である。例えば、制御部20は、有効光源の強度分布を示す関数にx偏光（P偏光）に起因する因子をかけてフーリエ変換して、図20に示すコヒーレントマップ42を生成する。図20の目盛は図19に示した目盛と同様である。図19に示すコヒーレントマップ42と図20に示すコヒーレントマップ42とを比較すると、可干渉性が高い領域と低い領域とは、y偏光のときにははっきりしているのに対し、x変更のときにははっきりしない。これにより、y偏光に対して、可干渉性が高い領域に補助パターンを配置すれば、微細パターンを精度よく形成することができる。一方、x偏光に対して、補助パターンを配置することは効果的でないことがわかる。

10

【0097】

なお、偏光状態には、無偏光状態（すなわち、偏光がランダムに変化している）も含む。さらに、従来のスカラー近似によるコヒーレントマップ42は、偏光を含まないとして偏光の効果を組み込んだコヒーレントマップ42とみなすこともできる。

【0098】

このように、本実施例では、偏光の影響を考慮してコヒーレントマップを生成し、そのコヒーレントマップを用いて補助パターンを配置するので、ウェハ上に微細なパターンを精度よく形成することができる。

20

【実施例6】

【0099】

制御部20は、さらに、有効光源の強度分布を最適化してもよい。すなわち、制御部20は、コヒーレントマップ42のピーク（設定された値以上の領域）がパターンデータ41の要素の位置に重なるように、有効光源の強度分布を決定する。これにより、有効光源の強度分布が、微細パターンを精度よく形成するのに適したものになる。

【0100】

例えば、露光装置100（図28参照）のNAを0.73、露光光の波長を248nmとする。図22に示すような間隔 $d = 310\text{ nm}$ のレイアウトパターン（パターンデータ41）に対する最適な有効光源の強度分布を求める場合を考える。図22は、本発明の実施例6におけるパターンデータを示す図である。図23の白線で描かれた半径1の円は、 $r = 1$ を表し、白抜き部は光照射部を示す。 $r = 0$ から各ポール中心への距離を、横軸x方向には換算で0.55（図23に示す b_x ）、縦軸y方向には換算で0.55（図23に示す b_y ）に設定し、各ポールの直径aを換算で0.2と設定する。

30

【0101】

制御部20は、図23のような有効光源の強度分布を示す関数をフーリエ変換して、図24に示すように、マスク面における原点に対するコヒーレントマップ42を生成する。図24の目盛は図4に示した目盛と同様である。図24のコヒーレントマップ42では、周期310nmで可干渉性が高い領域が現れている。図22のコヒーレントマップは、図20のマスクパターンに好適であることは明らかである。なぜならば、図20のマスクパターンは、隣合うコンタクトホールの間隔 $d = 310\text{ nm}$ だからである。

40

【0102】

制御部20は、コヒーレントマップ42の原点をパターンデータ41の注目要素MP301～MP303のいずれかの位置へシフトして重ね合わせる。制御部20は、コヒーレントマップ42が設定された値以上でピークを持つ位置に補助パターンを配置する。そして、これをMP301～MP303の全てについて行い、補助パターンSP301～SP312を配置すれば、図25に示すような最適なマスクのデータ43を求めることができる。これにより、図25に示すマスクのデータ43を用いれば、微細パターンを精度良く形成することができる。

【0103】

また、原版データ作成プログラムを実行してマスクのデータを作成する処理の流れが、

50

図 2 1 に示すように、次の点で、図 2 に示す処理の流れと異なる。

【 0 1 0 4 】

ステップ S 2 1 では、制御部 2 0 が、有効光源の強度分布を設定する。制御部 2 0 は、有効光源の強度分布を示す関数のデータベース（図示せず）を参照して、有効光源の強度分布を示す関数を選択して設定する。

【 0 1 0 5 】

ステップ S 2 4 において、制御部 2 0 は、可干渉性が設定された値以上となる領域が主パターン MP 3 0 1 ~ MP 3 0 3 の位置に重なるか否かを判定する。重なると判定した場合は、ステップ S 2 5 において、制御部 2 0 は、可干渉性が設定された値以上となる領域で且つ MP 3 0 1 ~ MP 3 0 3 と重ならない位置に、補助パターン SP 3 0 1 ~ SP 3 1 2 を配置する。そして、マスクのデータ 4 3 を生成する。例えば、制御部 2 0 は、図 2 5 に示すマスクのデータ 4 3 を生成する。

【 0 1 0 6 】

ステップ S 2 4 において、重ならないと判定した場合、処理を S 2 1 へ進め、改めて有効光源の強度分布を設定する。

【 0 1 0 7 】

なお、最適な有効光源を求めるにあたっては、図 2 1 に示すステップ S 2 1 ~ S 2 4 を繰り返す必要がある。このループを速く終わらせるには有効光源の強度分布の初期設定値が重要である。そこで、以下では、簡易に、かつ、高速に有効光源の強度分布の初期設定値を求める方法を説明する。

【 0 1 0 8 】

マスクパターンで回折された光は、投影光学系の瞳面上で回折光分布を形成する。回折光分布を $O(f_x, f_y)$ とする。なお、瞳面での座標 (f_x, f_y) は、瞳半径が 1 になるように規格化されているとする。 $\text{circ}(f_x - a, f_y - b)$ は、 (a, b) を中心に半径 1 以内では 1 で、それ以外では 0 の関数とする。さらに回折光の重み関数を $w(f_x, f_y)$ とする。まず、制御部 2 0 は、

$$S_{raw}(f_x, f_y) = w(f_x, f_y) O(f_x, f_y) \text{circ}(f_x - a, f_y - b) \text{dadb} \cdots \text{数式 4}$$

の重積分を、 $|a|$ 、 $|b|$ の範囲で演算する。さらに、制御部 2 0 は、

$$S(f_x, f_y) = S_{raw}(f_x, f_y) \text{circ}(f_x, f_y) \cdots \text{数式 5}$$

を演算する。制御部 2 0 は、数式 5 で求めた $S(f_x, f_y)$ を、有効光源の強度分布の設定値とする。

【 0 1 0 9 】

例えば、パターンデータ 4 1 において、図 2 6 のように、5 行 5 列のコンタクトホールが縦横方向に周期 310 nm で並んでいるとする。図 2 6 は、本発明の実施例 6 における別のパターンデータを示す図である。図 2 6 の縦軸はマスク面の y 座標であり、横軸はマスク面の x 座標であり、それぞれの単位は nm である。露光装置 1 0 0（図 2 8 参照）の NA を 0.73、露光光の波長を 248 nm とする。このとき、制御部 2 0 は、数式 4 及び数式 5 に従い、有効光源の強度分布を示す関数 $S(f_x, f_y)$ を演算する。制御部 2 0 が求めた関数 $S(f_x, f_y)$ により示される有効光源の強度分布は、図 2 7 に示すような分布になる。ただし、重み関数 $w(f_x, f_y)$ は 2 次関数的なものとした。図 2 7 では、投影光学系の瞳の半径を 1 に正規化して横軸及び縦軸を示し、濃淡は光強度の大小を示す。図 2 7 では、光強度が連続的に変わっている。図 2 7 の有効光源の強度分布は、図 2 3 の有効光源の強度分布に近い。すなわち、有効光源を最適化するループ S 2 1 ~ S 2 4 におけるステップ S 2 1 の初期値（有効光源の強度分布の設定値）として好適である。

【 0 1 1 0 】

このように、本実施例によれば、パターンデータに適した有効光源の強度分布を設定することができるので、ウェハ上に微細なパターンを精度良く形成することができる。

【 0 1 1 1 】

次に、前述の実施例 1 ~ 6 のいずれかにより作成されたマスクを用いて、ウェハ上にマスクのパターンの像を投影する露光装置 100 の実施形態について、図 28 を用いて説明する。ここで、図 28 は、露光装置 100 の概略ブロック図である。

【0112】

露光装置 100 は、照明装置 110 と、マスクステージ 132 と、投影光学系 140 と、主制御ユニット 150 と、モニタ及び入力装置 152 と、ウェハステージ 176 とを備える。マスク 130 は、前述の実施例 1 ~ 6 のいずれかにより作成されたマスクである。この露光装置 100 は、投影光学系 140 の最終面とウェハ 170 が液体 180 に浸漬し、液体 180 を介してマスクパターンをウェハ 170 に露光する液浸露光装置である。露光装置 100 は、ステップアンドスキャン方式の投影露光装置であるが、ステップアンド

10

【0113】

照明装置 110 は、転写用の回路パターンが形成されたマスク 130 を照明し、光源部と照明光学系とを有する。

【0114】

光源部は、光源としてのレーザー 112 と、ビーム整形系 114 とを含む。本実施形態では、レーザー 112 として、波長 248 nm の KrF エキシマレーザーを使用している。ただし、波長約 193 nm の ArF エキシマレーザー、波長約 157 nm の F2 エキシマレーザーを使用することができる。

【0115】

20

ビーム整形系 114 は、レーザー 112 からの平行光の断面形状を整形し、その整形した光を後述するオプティカルインテグレーター 118 に導く。

【0116】

照明光学系は、マスク 130 を照明する光学系である。本実施形態では、照明光学系は、集光光学系 116、偏光制御手段 117、オプティカルインテグレーター 118、開口絞り 120、集光レンズ 122、折り曲げミラー 124、マスキングブレード 126、結像レンズ 128 を含む。照明光学系は、通常照明、図 7 又は図 18 に示す変形照明など様々な照明モードも実現することができる。

【0117】

集光光学系 116 は、複数の光学素子から構成され、オプティカルインテグレーター 118 に所望の形状の光束を効率よく導入する。例えば、集光光学系 116 はズームレンズシステムを含み、オプティカルインテグレーター 118 への入射ビームの形および角度の分配をコントロールする。

30

【0118】

集光光学系 116 は、マスク 130 への照明光の露光量を照明毎に変更可能な露光量調整部を含む。

【0119】

偏光制御手段 117 は、例えば、偏光素子を含み、投影光学系 140 の瞳 142 とほぼ共役な位置に配置される。偏光制御手段 117 は、図 7 で説明したように、瞳 142 に形成される有効光源の所定の領域の偏光状態を制御する。複数種類の偏光素子からなる偏光制御手段 117 が図示しないアクチュエータによって回転可能なターレット上に設けられて主制御ユニット 150 がかかるアクチュエータの駆動を制御してもよい。

40

【0120】

オプティカルインテグレーター 118 はマスク 130 に照明される照明光を均一化するための部材である。本実施形態では、オプティカルインテグレーター 118 としてハエの目レンズを用いる。但し、オプティカルインテグレーター 118 としては、光学ロッド、回折光学素子、マイクロレンズアレイなどを用いることができる。

【0121】

オプティカルインテグレーター 118 の出射面の直後には、形状及び径が固定された開口絞り 120 が設けられている。開口絞り 120 は、投影光学系 140 の瞳 142 とほぼ

50

共役な位置に配置される。開口絞りの１２０の開口形状は、投影光学系１４０の瞳面１４２に形成される図７、または、図１８などに示される有効光源の強度分布に相当する。開口絞り１２０は有効光源の強度分布を制御する。

【０１２２】

開口絞り１２０は、照明条件に応じて絞り交換機構（アクチュエータ）１２１によって、開口絞りが光路中に位置するように切り替え可能となっている。アクチュエータ１２１の駆動は、主制御ユニット１５０によって制御される駆動制御ユニット１５１によって制御される。なお、開口絞り１２０は、偏光制御手段１１７と一体に構成されてもよい。

【０１２３】

集光レンズ１２２はオブティカルインテグレーター１１８の射出面近傍の２次光源から射出し、開口絞り１２０を透過した複数の光束を集光し、ミラー１２４で反射させて被照斜面としてのマスキングブレード１２６面を均一にケーラー照明する。

10

【０１２４】

マスキングブレード１２６は、複数の可動遮光板より構成され、矩形の開口形状を有する視野絞りである。

【０１２５】

結像レンズ１２８は、マスキングブレード１２６の開口形状をマスク１３０面上に照射する。

【０１２６】

マスク１３０は、転写されるべきパターンと補助パターンが形成され、マスクステージ１３２に支持及び駆動される。マスク１３０から発せられた回折光は投影光学系１４０を通りウェハ１７０に投影される。マスク１３０とウェハ１７０とは光学的に共役の関係に配置される。マスク１３０は、バイナリーマスク、ハーフトーンマスク、位相シフトマスクのいずれも使用することができる。

20

【０１２７】

投影光学系１４０は、マスク１３０に形成されたパターンをウェハ１７０上に投影する。投影光学系１４０としては、複数のレンズ素子のみからなる屈折光学系、複数のレンズ素子と少なくとも一枚の凹面鏡とを有する反射屈折光学系を使用することができる。

【０１２８】

主制御ユニット１５０は、各部の駆動制御を行うが、特に、モニタ及び入力装置１５２の入力装置から入力される情報、照明装置１１０からの情報に基づいて照明制御を行う。主制御ユニット１５０による制御情報やその他の情報はモニタ及び入力装置１５２のモニタに表示される

30

ウェハ１７０ではフォトレジスト１７２が基板１７４上に塗布されている。なお、ウェハ１７０は、液晶基板その他の被露光体に置き換えられても良い。

【０１２９】

ウェハ１７０はウェハステージ１７６に支持される。

【０１３０】

液体１８０には、露光波長の透過率がよく、投影光学系に汚れを付着させず、レジストプロセスとのマッチングが良い物質が選択される。本実施形態では純水を使用している。

40

【０１３１】

露光において、レーザー１１２から発せられた光束は、ビーム整形系１１４によりそのビーム形状が整形された後で、集光光学系１１６を介して、オブティカルインテグレーター１１８に導入される。オブティカルインテグレーター１１８は照明光を均一化し、開口絞り１２０は、図７又は図１８に示すような有効光源の強度分布を設定する。かかる照明光は集光レンズ１２２、折り曲げミラー１２４、マスキングブレード１２６、結像レンズ１２８を介してマスク１３０を最適な照明条件で照明する。マスク１３０を通過した光束は投影光学系１４０によって、ウェハ１７０上に所定倍率で縮小投影される。

【０１３２】

投影光学系１４０の最終面とウェハ１７０とは空気よりも屈折率の高い液体１８０に浸

50

漬されているので、投影光学系 140 の NA は高くなり、ウェハ 170 に形成される解像度も微細になる。また、偏光制御により、レジスト 172 上にはコントラストの高い像が形成される。ただし、本実施形態では、液体 180 を用いた液浸露光装置について説明したが、液体 180 がいない場合でもよい。

【0133】

次に、前述の実施例 1～6 のいずれかに作成されたマスク 130 が適用される露光装置 100 を利用したデバイスの製造方法を、図 29 及び図 30 を用いて説明する。図 29 は、デバイス（IC や LSI などの半導体チップ、LCD、CCD 等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。

【0134】

ステップ 1（回路設計）では、デバイスの回路設計を行う。具体的には、機能仕様を基に、スキマティックレベルの設計を行い、その後、レイアウト設計を行う。レイアウト設計では、CAD ソフトを用いて、上記のようなレイアウトパターンを設計し、パターンデータ 41 を生成する。

【0135】

ステップ 2（マスク製作）では、設計した回路パターン形成に適したマスクを製作する。具体的には、本発明の方法により、マスクのデータ 43 を作成する。そして、EB 描画装置にマスクのデータ 43 を入力として与え、マスクのデータ 43 に応じた Cr 等のパターンをマスク 130 に描画する。これにより、マスク 130 を作成する。

【0136】

ステップ 3（ウェハ製造）では、シリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ 4（ウェハプロセス）は、前工程と呼ばれ、マスクとウェハとを用いて本発明のリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ 5（組み立て）は、後工程と呼ばれ、ステップ 4 によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ 6（検査）では、ステップ 5 で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、この半導体デバイスが出荷（ステップ 7）される。

【0137】

図 30 は、ステップ 4 のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ 11（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ 12（CVD）では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ 13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ 14（イオン打ち込み）では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ 15（レジスト処理）では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ 16（露光）では、露光装置 100 によってマスクの回路パターンをウェハに露光する。ステップ 17（現像）では、露光したウェハを現像する。ステップ 18（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ 19（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。

【0138】

このデバイス製造方法によれば、デバイスの製造における歩留まりを向上させることができる。

【0139】

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ないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。例えば、本実施例ではバイナリーマスクによる露光方法を紹介したが、ハーフトーンマスクでも同様の補助パターン挿入方法が適用可能である。ここで、ハーフトーンマスクとは、バイナリーマスクの遮光部が半透光部材になっていて、かつ、開口部に対して位相差 180 度を設ける種類のマスクである。ただし、ハーフトーンマスクを使用する場合は、マスクパターンのサイズは、露光すべきパターンのサイズよりも大きくする必要がある。

10

20

30

40

50

【図面の簡単な説明】

【 0 1 4 0 】

【図 1】本発明の実施形態におけるコンピュータの構成図。

【図 2】原版データ作成プログラムを実行してマスクのデータを作成する処理の流れを示すフローチャート（実施例 1）。

【図 3】本発明の実施形態における有効光源の強度分布を示す図。

【図 4】本発明の実施形態におけるコヒーレントマップを示す図。

【図 5】本発明の実施形態におけるパターンデータを示す図。

【図 6】本発明の実施形態におけるマスクのデータを示す図。

【図 7】本発明の実施例 1 における有効光源の強度分布を示す図。

10

【図 8】本発明の実施例 1 におけるマスクのデータを示す図。

【図 9】本発明の実施例 1 におけるコヒーレントマップを示す図。

【図 10】本発明の実施例 1 におけるコヒーレントマップで設定された値以上の領域を示す図。

【図 11】本発明の実施例 1 における結像特性のシミュレーション結果を示す図。

【図 12】原版データ作成プログラムを実行してマスクのデータを作成する処理の流れを示すフローチャート（実施例 2）。

【図 13】本発明の実施例 3 におけるパターンデータを示す図。

【図 14】本発明の実施例 3 におけるパターンデータを示す図。

【図 15】本発明の実施例 3 における有効光源の強度分布を示す図。

20

【図 16】本発明の実施例 3 におけるコヒーレントマップを示す図。

【図 17】本発明の実施例 3 におけるマスクのデータを示す図。

【図 18】本発明の実施例 5 における有効光源の強度分布を示す図。

【図 19】本発明の実施例 5 におけるコヒーレントマップを示す図。

【図 20】本発明の実施例 5 におけるコヒーレントマップを示す図。

【図 21】原版データ作成プログラムを実行してマスクのデータを作成する処理の流れを示すフローチャート（実施例 6）。

【図 22】本発明の実施例 6 におけるパターンデータを示す図。

【図 23】本発明の実施例 6 における有効光源の強度分布を示す図。

【図 24】本発明の実施例 6 におけるコヒーレントマップを示す図。

30

【図 25】本発明の実施例 6 におけるマスクのデータを示す図。

【図 26】本発明の実施例 6 におけるパターンデータを示す図。

【図 27】本発明の実施例 6 における有効光源の強度分布の初期設定値を示す図。

【図 28】露光装置の概略ブロック図。

【図 29】露光装置を利用したデバイスの製造方法を示すフローチャート。

【図 30】露光装置を利用したデバイスの製造方法を示すフローチャート。

【符号の説明】

【 0 1 4 1 】

1 コンピュータ

4 1 パターンデータ

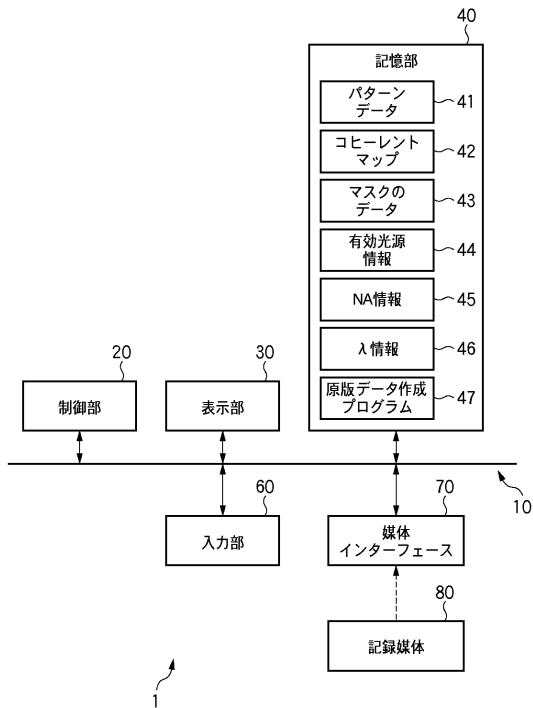
40

4 2 コヒーレントマップ

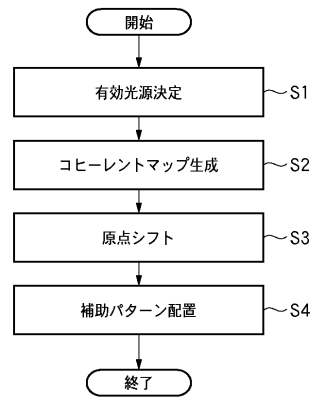
4 3 マスクのデータ

4 7 原版データ作成プログラム

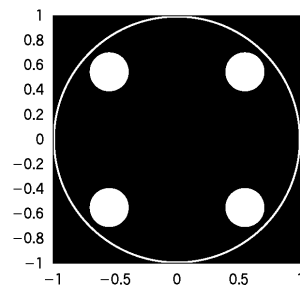
【図 1】



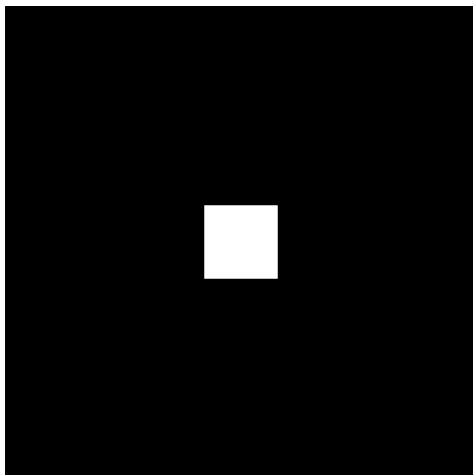
【図 2】



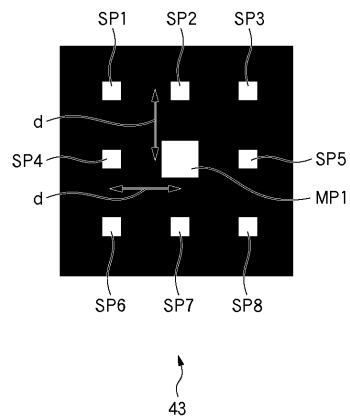
【図 3】



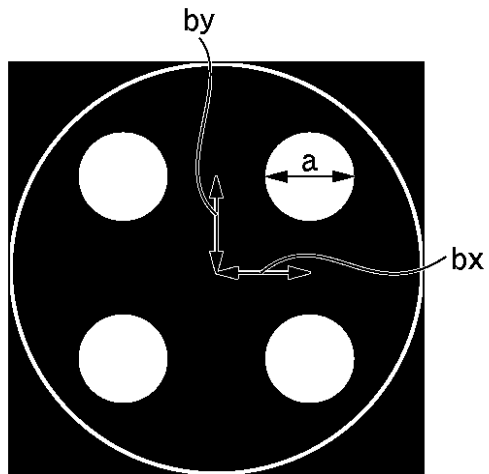
【図 5】



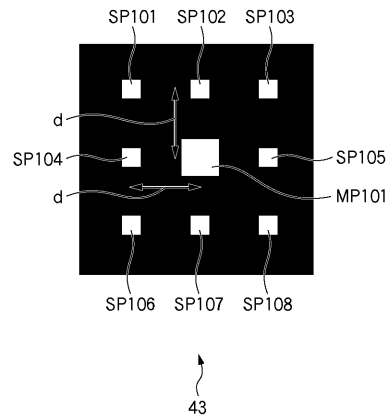
【図 6】



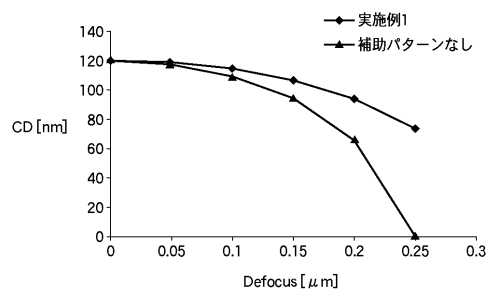
【図 7】



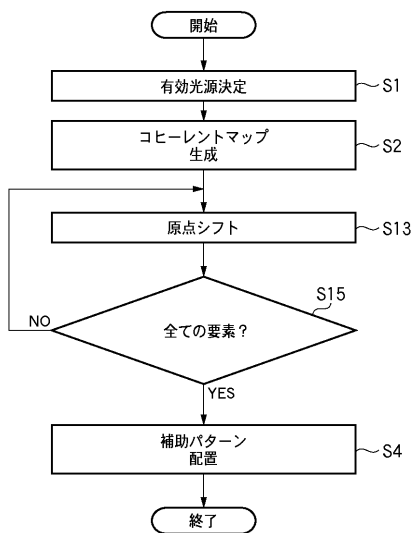
【図 8】



【図 11】



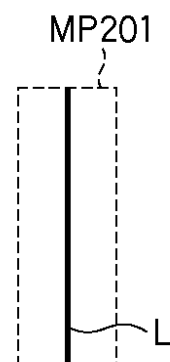
【図 12】



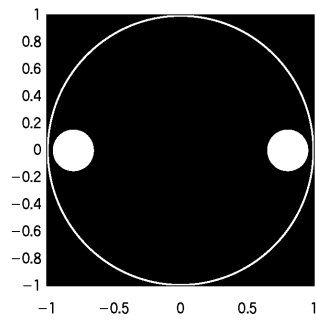
【図 13】



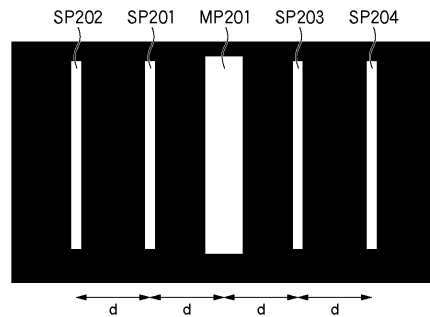
【図 14】



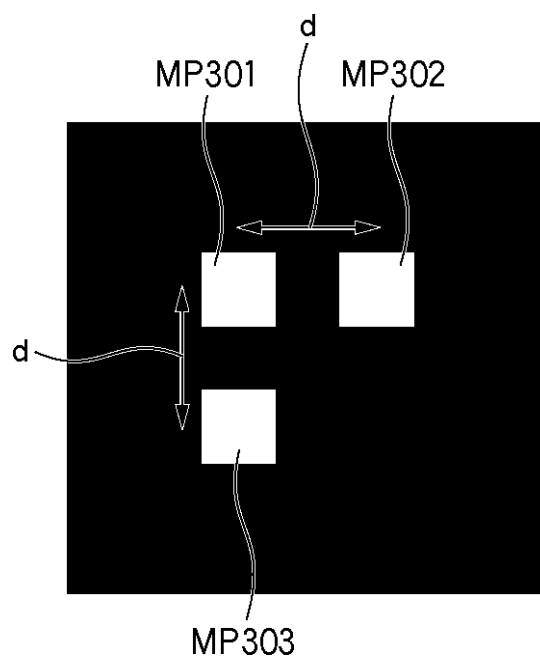
【図 15】



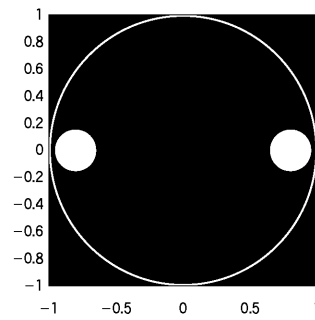
【図 17】



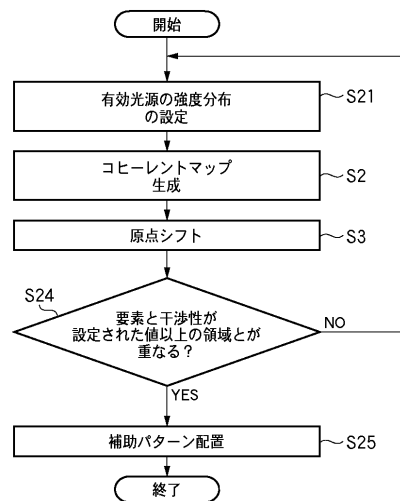
【図 22】



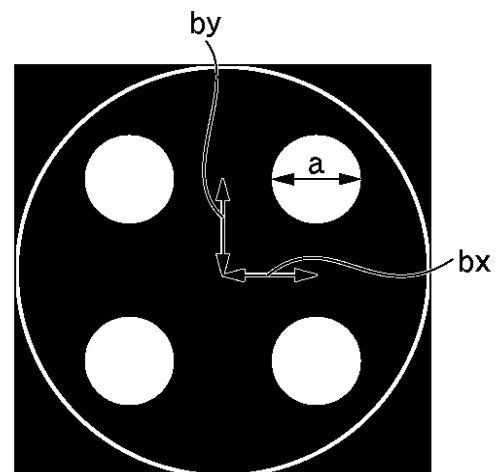
【図 18】



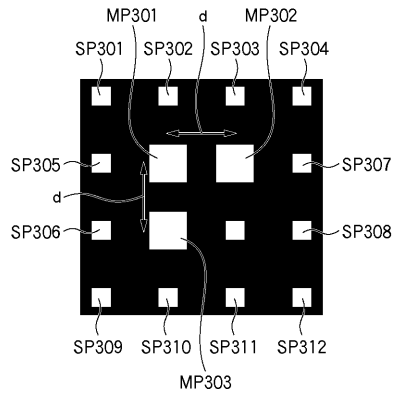
【図 21】



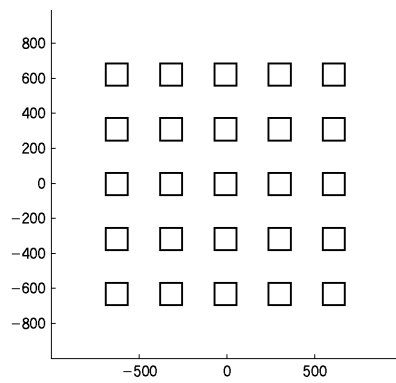
【図 23】



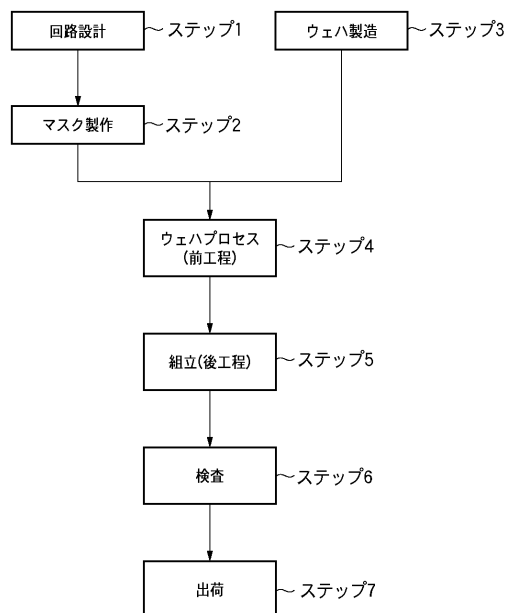
【図 25】



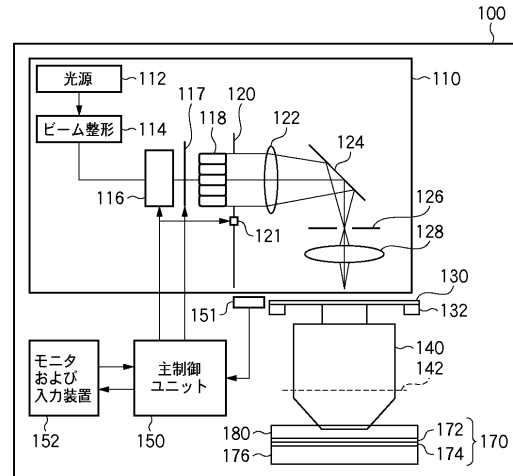
【図 26】



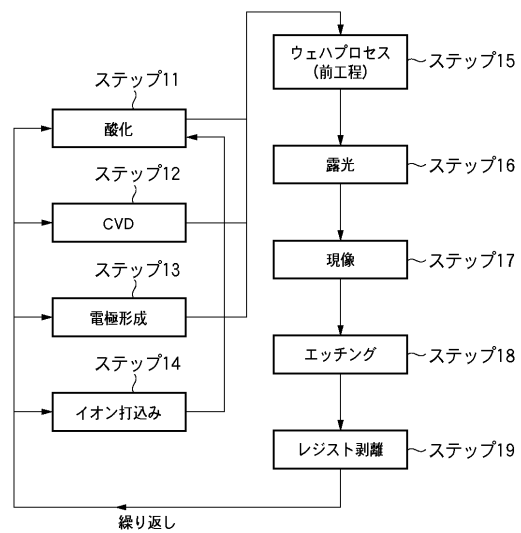
【図 29】



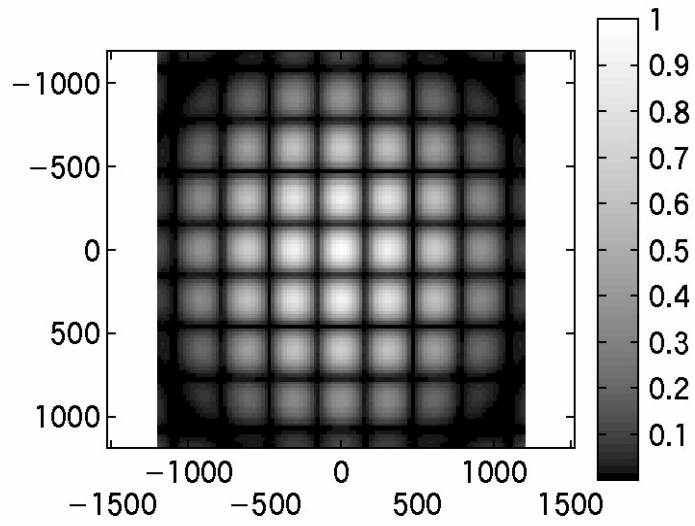
【図 28】



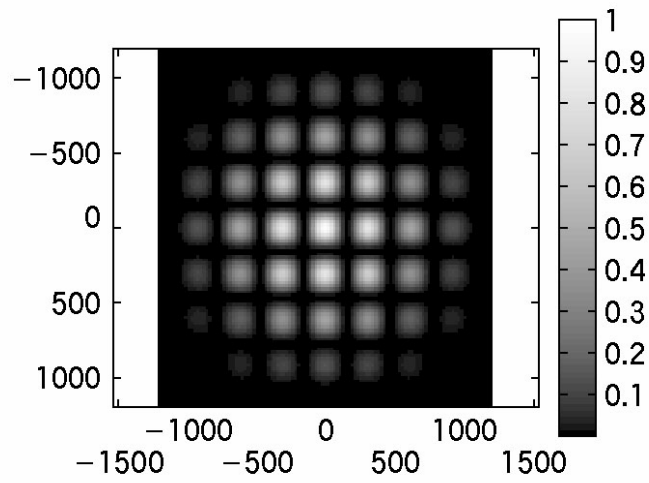
【図 30】



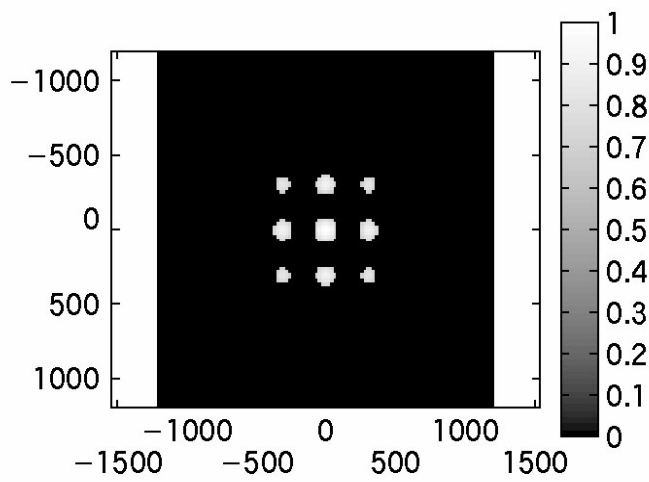
【図 4】



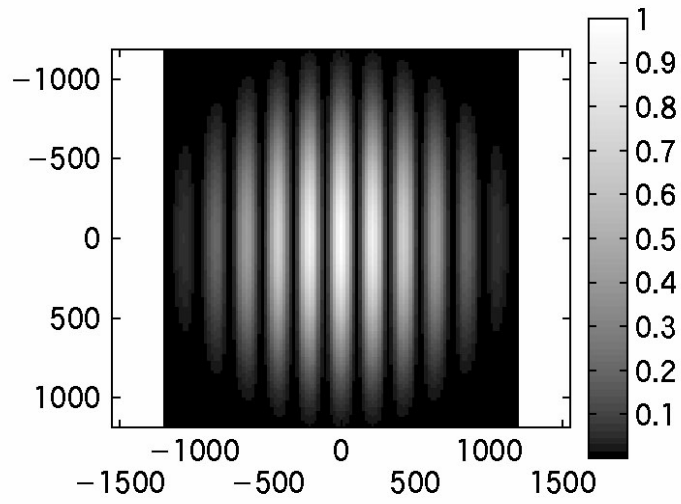
【図 9】



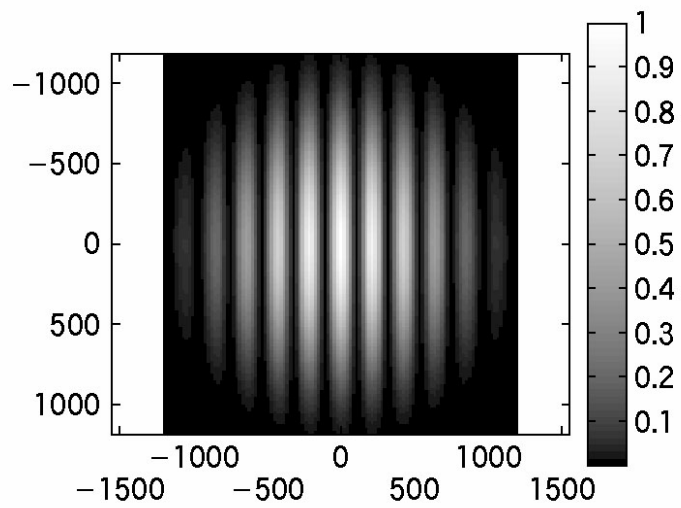
【図 10】



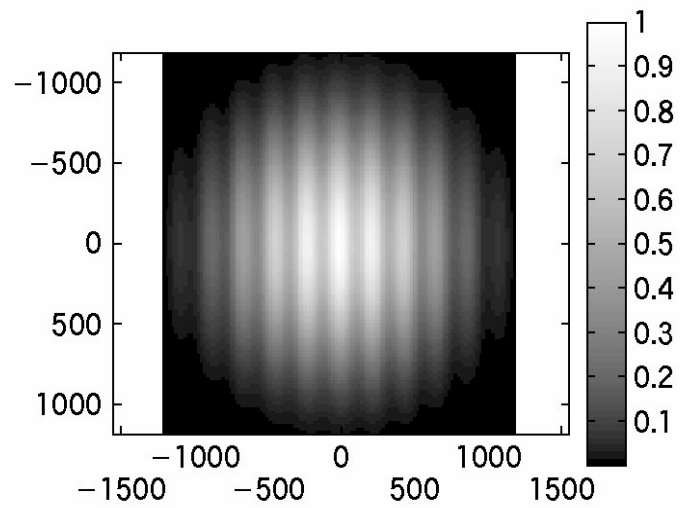
【図 16】



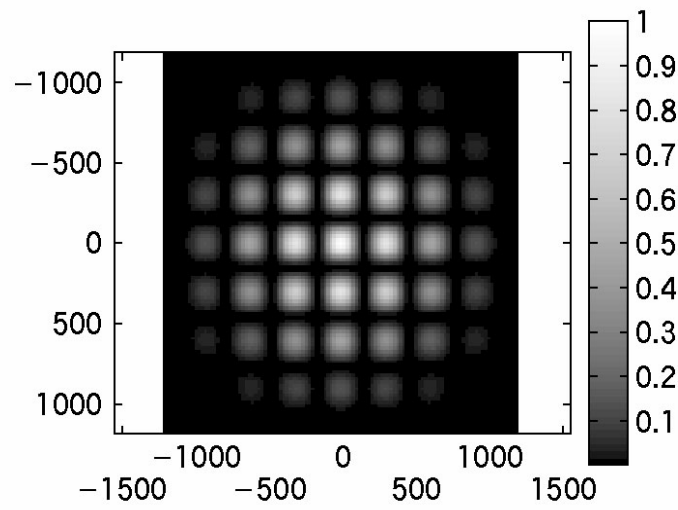
【図 19】



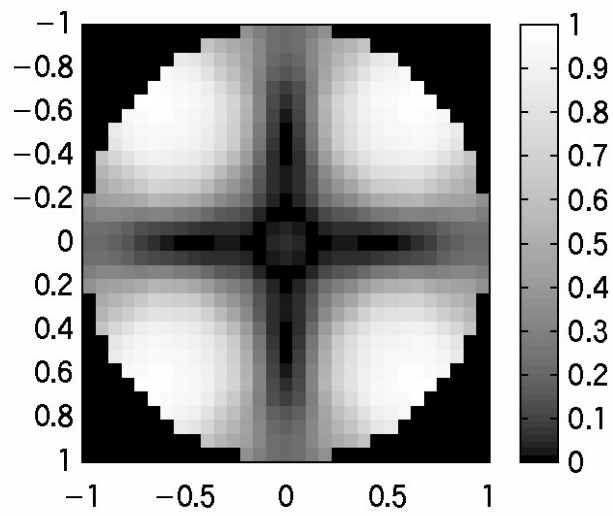
【図 20】



【図 2 4】



【図 2 7】



フロントページの続き

審査官 佐藤 海

(56)参考文献 特開2004-220034(JP,A)
特開平04-273428(JP,A)
特開2005-141241(JP,A)
特開2005-183981(JP,A)
特開2004-221594(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G03F 1/00 - 1/16
H01L 21/027