

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5988569号
(P5988569)

(45) 発行日 平成28年9月7日(2016.9.7)

(24) 登録日 平成28年8月19日(2016.8.19)

(51) Int.Cl.

G03F 1/68 (2012.01)
G03F 7/20 (2006.01)

F 1

G03F 1/68
G03F 7/20 504

請求項の数 7 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2011-268368 (P2011-268368)
 (22) 出願日 平成23年12月7日 (2011.12.7)
 (65) 公開番号 特開2013-120290 (P2013-120290A)
 (43) 公開日 平成25年6月17日 (2013.6.17)
 審査請求日 平成26年12月8日 (2014.12.8)

(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 康徳
 (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
 (74) 代理人 100130409
 弁理士 下山 治
 (74) 代理人 100134175
 弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】決定方法、決定装置およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

投影光学系を有する露光装置において前記投影光学系の物体面に配置して使用されるマスクのパターンをコンピュータを用いて決定する決定方法であって、
 マスクを製造するためにマスクプランクに暫定パターンを描画するためのコストを評価するための第1評価関数の値を計算する第1計算工程と、
 前記暫定パターンを有するマスクを前記投影光学系の前記物体面に配置したときに前記投影光学系の像面に形成される前記暫定パターンの像を評価するための第2評価関数の値を計算する第2計算工程と、
 前記暫定パターンを変更する変更工程と、を含み、

10

前記変更工程を経て、前記第1計算工程および前記第2計算工程が繰り返され、前記第1計算工程で計算された前記第1評価関数の値および前記第2計算工程で計算された前記第2評価関数の値が所定の基準を満たす場合の前記暫定パターンを前記マスクのパターンとして決定し、

前記第1評価関数は、前記暫定パターンの描画に使用する描画ショットの寸法の最小値を与える関数、又は、前記暫定パターンの描画に使用する描画ショットの寸法の種類の数を与える関数である、

ことを特徴とする決定方法。

【請求項 2】

前記変更工程において、前記暫定パターンを有するマスクを照明する照明条件を変更し、

20

前記第1計算工程で計算された前記第1評価関数の値および前記第2計算工程で計算された前記第2評価関数の値が所定の基準を満たす場合の前記照明条件を、前記マスクの決定されたパターンを用いて基板を露光するときの照明条件として決定する、ことを特徴とする請求項1に記載の決定方法。

【請求項3】

前記変更工程において、前記マスクプランクに対するパターンの描画条件を変更し、前記第1計算工程で計算された前記第1評価関数の値および前記第2計算工程で計算された前記第2評価関数の値が所定の基準を満たす場合の前記描画条件を、前記マスクのパターンとして決定されたパターンをマスクプランクに描画する際の描画条件として決定する、

10

ことを特徴とする請求項1又は2に記載の決定方法。

【請求項4】

前記第1計算工程で計算された前記第1評価関数の値が第1の基準を満たし且つ前記第2計算工程で計算された前記第2評価関数の値が第2の基準を満たす場合の前記暫定パターンを前記マスクのパターンとして決定する、

ことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の決定方法。

【請求項5】

投影光学系を有する露光装置において前記投影光学系の物体面に配置して使用されるマスクを製造するための描画装置をコンピュータを用いて決定する決定方法であって、

20

マスクを製造するためにマスクプランクにパターンを描画するためのコストを当該製造のために使用する暫定描画装置に基づいて評価するための第1評価関数の値を計算する第1計算工程と、

前記パターンを有するマスクを前記投影光学系の前記物体面に配置したときに前記投影光学系の像面に形成される前記パターンの像を評価するための第2評価関数の値を計算する第2計算工程と、

前記暫定描画装置を変更する変更工程と、を含み、

前記変更工程を経て、前記第1計算工程および前記第2計算工程が繰り返され、前記第1計算工程で計算された前記第1評価関数の値および前記第2計算工程で計算された前記第2評価関数の値が所定の基準を満たす場合の前記暫定描画装置を、前記マスクを製造するために使用する描画装置として決定する、

30

ことを特徴とする決定方法。

【請求項6】

請求項1乃至5のいずれか1項に記載の決定方法をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項7】

請求項1乃至5のいずれか1項に記載の決定方法を実行する決定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、パターンを決定する決定方法、描画装置を決定する決定方法、パターン又は描画装置を決定する決定装置およびプログラムに関する。

40

【背景技術】

【0002】

半導体デバイス等のデバイスを製造するためのリソグラフィー工程において、基板上にデバイスパターンを形成するために露光装置が使用される。露光装置は、投影光学系を有し、該投影光学系の物体面に配置されたマスク（原版）のパターンが該投影光学系によって基板に投影される。マスクは、それに形成すべきパターンを描画装置によってマスクプランクに描画する工程を経て製作される。描画装置としては、描画ビームとして電子線を使用する電子線描画装置や、描画ビームとしてレーザー光を使用するレーザー描画装置を挙げることができる。先端の半導体デバイスの製造のためのマスクは、電子線描画装置を

50

用いて製造されることが多い。

【0003】

電子線描画装置における主な描画方式として、ラスター方式とVSB (Variable-shaped Beam) 方式とを挙げることができる。ラスター方式は、マスクブランクの全面をラスター走査しながらパターンを描画する方式である。VSB方式は、ラスター方式よりも広い面積を持つ電子線を生成し、その電子線をアバーチャーで遮ることによって描画すべきパターンに応じた面積を有する長方形形状の描画ショットを形成し、当該描画ショットでパターンを描画する方式である。なお、描画ショットとは、マスクブランクへの1回の描画ビーム(電子線)の照射で当該マスクブランクが露光される領域を意味する。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】米国特許公開第2011/0107277号

【特許文献2】米国特許第6792592号

【特許文献3】米国特許第6931617号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

マスクのパターンの形状を計算機によって調整する技術が採用されている。そのような技術の例として、OPC (Optical Proximity Correction) や、ILT (Inverse Lithography Technology) を挙げができる。デバイスの微細化に伴い、OPCを施したパターンやILTに基づくアルゴリズムによって計算されるパターンは、曲線部を含むような複雑なものになることがある。

20

【0006】

計算によって決定されたパターンを、例えばVSB方式の描画装置でマスクブランクに描画する際は、そのままでは描画ができないので、パターンを複数の描画ショットあるいは部分(主に長方形)に分割する必要がある。この操作のことをFracturingと言い、これを行うための市販のソフトウェアも存在する。しかしながら、複雑なパターンにFracturingを行えば、生成される描画ショットの数が爆発的に増加したり、描画ショットのサイズが極端に小さくなったりしうる。描画ショット数が増加すればするほど、一枚のマスクブランクにパターンを描画するために描画装置を長時間にわたって稼働させなければならず、マスクの価格が上昇する一因となる。また、描画ショットのサイズが小さくなるほど、描画装置での描画位置や描画ドーズ(強度)をより高精度で制御しなければならなくなり、マスク作製の歩留まりが低下する要因になるし、歩留り向上のために先端の描画装置が必要になることもある。こうした理由から、近年はマスクの価格が非常に高価になってきており、半導体産業において大きな問題となっている。

30

【0007】

また、ラスター方式の描画装置においても、電子線の走査位置に応じた要因(例えば、収差に起因する要因)によってビームの位置や強度に誤差が生じうる。また、個々のパターンが微小であればあるほど、ビームの位置や強度等を精度良く制御しなければならず、マスクの歩留まりが悪くなったり、マスク作製のスループットが落ちたりする。したがって、当然のことながら、複雑なマスクパターンはマスクコストの上昇につながる。

40

【0008】

特許文献1には、マスクパターンをパラメータ化することで、シンプルな形状でマスクパターンを決定(最適化)する手法が開示されている。また、特許文献1には、照明形状もパラメータ化し、マスクパターンと同時に照明形状も最適化する手法も開示されている。これは、SMO (Source Mask Optimization) と呼ばれる技術の一つの例である。特許文献1の手法を用いれば、OPCやILTよりも、単純な矩形

50

形状でマスクパターンを最適化することができる。しかしながら、特許文献1では、描画装置によってパターンを描画する際のコストは、何ら考慮されていない。

【0009】

特許文献2には、描画装置の特性を考慮したOPCの手法が開示されている。しかしながら、この手法は描画装置の特性を制約条件としてOPCを実行するものにすぎず、マスクの描画条件を決定することはできない。加えて、特許文献2の手法では、ウェハ上の転写位置の正確性を上げるための手段としてのOPCを行っているだけであり、マスクパターンをウェハ上に転写した際の像特性は考慮されておらず、信頼に足るマスクパターンを提供しているとは言い難い。

【0010】

特許文献3には、マスクのコストを考慮してレイアウトを定める方法が開示されている。しかしながら、特許文献3においては、あらかじめ入力した複数のセル・ライブラリ(論理回路のブロック)を統合する際にコストを考慮しているにすぎない。したがって、マスクパターンを最適化しているわけではないし、ウェハ上の像の性能も考慮されてもいいない。

【0011】

また、一般的な技術としてのFracturingの手法は、入力されたマスクパターンを複数のショットに分割しているだけであり、マスクパターンの形状そのものを最適化することはできない。

【0012】

本発明は、以上の背景に基づいてなされたものであり、マスクの製造の効率化に有利な技術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】

【0013】

本発明の1つの側面は、投影光学系を有する露光装置において前記投影光学系の物体面に配置して使用されるマスクのパターンをコンピュータを用いて決定する決定方法に係り、前記決定方法は、マスクを製造するためにマスクプランクに暫定パターンを描画するためのコストを評価するための第1評価関数の値を計算する第1計算工程と、前記暫定パターンを有するマスクを前記投影光学系の前記物体面に配置したときに前記投影光学系の像面に形成される前記暫定パターンの像を評価するための第2評価関数の値を計算する第2計算工程と、前記暫定パターンを変更する変更工程と、を含み、前記変更工程を経て、前記第1計算工程および前記第2計算工程が繰り返され、前記第1計算工程で計算された前記第1評価関数の値および前記第2計算工程で計算された前記第2評価関数の値が所定の基準を満たす場合の前記暫定パターンを前記マスクのパターンとして決定し、前記第1評価関数は、前記暫定パターンの描画に使用する描画ショットの寸法の最小値を与える関数、又は、前記暫定パターンの描画に使用する描画ショットの寸法の種類の数を与える関数である。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、マスクの製造の効率化に有利な技術が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】第1、第3実施形態におけるマスクパターン決定方法を示すフローチャート。

【図2】第1実施形態におけるパターンを示す図。

【図3】第1、第3実施形態におけるマスクパターン決定方法を示すフローチャート。

【図4】マスクプランクにパターン(暫定パターン)を描画するためのコストを評価するための第1評価関数としての第1メリット関数 M_M を計算する例を示す図。

【図5】照明形状を示す図。

【図6】第2実施形態におけるマスクパターン決定方法を示すフローチャート。

【図7】第2実施形態におけるパターンを示す図。

10

20

30

40

50

【図8】第2実施形態におけるマスクパターン決定方法を示すフローチャート。

【図9】第3実施形態におけるパターンを示す図。

【図10】第3実施形態における目標パターンを示す図。

【図11】マスクプランクにパターン（暫定パターン）を描画するためのコストを評価するための第1評価関数としての第1メリット関数 M_M を計算する例を示す図。

【図12】マスクプランクにパターン（暫定パターン）を描画するためのコストを評価するための第1評価関数としての第1メリット関数 M_M を計算する例を示す図。

【図13】マスクプランクにパターン（暫定パターン）を描画するためのコストを評価するための第1評価関数としての第1メリット関数 M_M を計算する例を示す図。

【図14】結像特性を評価するための第2評価関数としての第2メリット関数 M_I の値を計算する例を示す図。 10

【図15】照明形状を示す図。

【図16】本発明の実施形態のパターン描画システム（マスク製造システム）の構成を示す図。

【図17】露光シミュレーションにおける条件を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、添付図面を参照しながら本発明の実施形態を説明する。図16は、本発明の実施形態のパターン描画システム（マスク製造システム）1の構成を示す図である。パターン描画システム1は、パターン決定装置として構成されたコンピュータ100と、描画装置200とを含みうる。コンピュータ100は、メモリ10と、プロセッサ20とを含む。コンピュータ100は、コンピュータ読み取り可能な記録媒体に格納されたパターン決定プログラム18がインストールされうる。具体的には、コンピュータ100は、該記録媒体に格納されたパターン決定プログラム18を読み取ってメモリ10にパターン決定プログラム16として格納する。コンピュータ100は、パターン決定プログラム16に従つてパターン決定方法を実行するパターン決定装置として動作する。パターン決定装置として動作するコンピュータ100は、基板の上に形成すべきパターンを示すパターンデータ12を処理して、マスクを製造するためのマスクプランクに対して描画すべきパターンを示すパターンデータ14を生成する。 20

【0017】

描画装置200は、コンピュータ100によって生成されたパターンデータ14に基づいてマスクプランクに対してパターンを描画する。マスクプランクには感光材が塗布されていて、マスクプランクへのパターンの描画によって該感光材に潜像が形成される。パターンが描画されたマスクプランクを現像することによって、物理的なパターンを有するマスクが得られる。このようにして形成されたマスクは、半導体デバイス等のデバイスの製造のためのリソグラフィー工程において、露光装置の投影光学系の物体面に配置される。露光装置において、物体面に配置されたマスクは、設定された照明モードで照明系によって照明され、該マスクのパターンは、投影光学系によって基板に投影され、これによって基板が露光される。 30

【0018】

コンピュータ100において実施されるパターン決定方法は、露光装置において投影光学系の物体面に配置して使用されるマスクのパターンを決定する。該パターン決定方法は、第1計算工程と、第2計算工程と、判定工程と、決定工程と、変更工程とを含み、典型的には、最適化計算を通して、入力されたパターンデータ12から結果物としてのパターンデータ14を生成する。前記第1計算工程では、マスクを製造するためにマスクプランクに暫定パターンを描画するためのコストを評価するための第1評価関数の値を計算する。前記第2計算工程では、前記暫定パターンを有するマスクを投影光学系の物体面に配置したときに投影光学系の像面に形成される像を評価するための第2評価関数の値を計算する。前記判定工程では、前記第1計算工程および前記第2計算工程の計算結果が終了条件を満たさない場合に、前記暫定パターン、前記露光装置における照明条件、および、マ 40

スクープランクに対するパターンの描画条件の少なくとも1つを変更する。このパターン決定方法では、前記判定工程において前記暫定パターンについての前記第1計算工程および前記第2計算工程の計算結果が前記終了条件を満たすと判定されるまで、前記変更工程を経て、前記第1計算工程および前記第2計算工程が繰り返される。そして、前記計算結果が前記終了条件を満たす場合に、最新の前記暫定パターンがマスクのパターンとして決定される。

【0019】

マスクを製造するためにマスクプランクに暫定パターンを描画するためのコストは、例えば、マスクプランクにパターンを描画するための要する描画ショット数でありうる。該コストとしては、その他、例えば、マスクプランクにパターンを描画するための時間を挙げることができる。10

【0020】

ここで、「暫定パターン」は、パターン決定方法において最終的に決定されるパターンと区別するための便宜上の表現であり、「暫定パターン」と「パターン」との間に技術的な相違点はない。例えば、第1評価関数の値を計算している時点および第2評価関数の値を計算している時点では、まだパターンが確定していないので、当該時点におけるパターンは、暫定パターンとして表現されている。

【0021】

以下、本発明の実施形態をより具体的に説明する。図1は、本発明の第1実施形態におけるマスクパターン決定方法を示すフローチャートであり、このマスクパターン決定方法は、パターン決定プログラム16に従ってコンピュータ100によって実施されうる。20

【0022】

まず、S102では、コンピュータ100は、露光装置の投影光学系の物体面に配置されるマスクのパターンに関するパラメータ（マスクパラメータ）を設定する。ここでは、図2に示すようなパターンを仮定する。図2に例示されたパターンのデータは、前述のパターンデータ12に相当する。図2に例示されたパターンは、3種類のホールパターン群PAT1、PAT2およびPAT3を含む。S102では、コンピュータ100は、ホールパターンPAT1、PAT2およびPAT3の形状を規定するマスクパラメータM1、M2およびM3を設定する。

【0023】

第1実施形態において説明する例では、マスクパラメータM1は、X方向およびY方向とともにピッチが120nmのホールパターン群PAT1の寸法（横幅および縦幅）を規定する。また、マスクパラメータM2は、X方向およびY方向とともにピッチが140nmのホールパターン群PAT2の寸法（横幅および縦幅）を規定する。また、マスクパラメータM3は、X方向およびY方向とともにピッチが160nmのホールパターン群PAT3の寸法（横幅および縦幅）を規定する。また、M1、M2およびM3に対して、一般性が十分に保たれる程度に、以下に示す上限値および下限値を制約条件として与える。30

【0024】

20	M1	100 (nm)
25	M2	105 (nm)
30	M3	110 (nm)

なお、図2では、説明を簡単にするために、マスクのパターンを投影光学系によって基板に投影した像における寸法が示されている。即ち、投影光学系の物体面における寸法と投影光学系の像面における寸法とが等しい（即ち、投影光学系の倍率が1倍である）ものと仮定している。ただし、実際には投影光学系の倍率は4倍もしくは5倍である場合が多いので、投影光学系の倍率を考慮してマスクのパターンを設定する必要がある。

【0025】

マスクのパターンには、一般には様々なパターンが含まれている。S102では、マスクのパターンに含まれる全てのパターンに関するマスクパラメータを設定してもよいし、一部のパターンのみに関するマスクパラメータを設定してもよい。また、ここでは、マス4050

クのパターンをホールパターンとしているが、他のパターン（ライン・パターン）でもあってもよい。更に、ここでは、マスクの種類をバイナリ・マスクとしているが、マスクの種類は位相シフト・マスクなど他の種類のマスクであってもよい。

【0026】

次に、S104では、コンピュータ100は、描画装置200によるマスクプランクに対するパターンの描画条件を設定する。一般的に、描画装置200の仕様に応じた様々な描画条件（制約条件）が存在しうる。描画条件は、例えば、描画ショットの寸法、位置、形状、方向、精度等を含みうる。以下、これらの描画条件について説明する。

【0027】

まず、描画ショットの寸法について説明する。描画装置によってマスクプランクにパターンを描画する際は、特定の寸法の描画ショットで描画することが好ましい場合がある。描画装置には、固定的な1又は複数の寸法の描画ショットでしかパターンを描画できないものもある。あるいは、描画ショットの寸法を連続的に変更可能な描画装置を使用する場合においても、使用する描画ショットの寸法を離散的な複数の寸法に限定した方が、スループットが向上することもある。あるいは、特定のサイズの描画ショットについてのみドーズ量などの調整（条件出し）がなされた描画装置を使用する場合には、特定のサイズの描画ショットのみを使うことが要求されうる。

【0028】

描画ショットの位置は、電子線などのビームが照射される位置である。描画ショットの位置を予め定義されたグリッド上に制限した方が、スループットが向上する場合がある。描画ショットの形状としては、例えば、長方形、三角形、円形などを挙げることができる。描画ショットの方向は、描画ショットが線状形状を有する場合においてその線状形状が延びる方向を意味する。描画ショットの精度は、描画ショットの寸法、位置、形状、方向などについての精度である。

【0029】

以下では、より具体的な例を提供するために、描画装置200が使用可能な描画ショットの寸法のリストをS104で描画条件として与え、このリストに含まれる寸法の描画ショットしか使用できないものとして説明を続ける。具体的には、X方向およびY方向ともに8nm、4nm、2nm、0.5nm、0.1nmの5種類を使用可能な描画ショットの寸法とする。言い換えれば、X方向およびY方向ともに、これら5種類の寸法の描画ショットしか使用することができず、合計で25通りの描画ショットのみの使用が許可される。なお、S104においても、S102と同様に、簡略化のため、投影光学系の倍率を1倍であるものとして描画装置200が使用可能な描画ショットの寸法が決定されている。

【0030】

S106では、コンピュータ100は、マスクプランクにパターン（暫定パターン）を描画するためのコストを評価するための第1評価関数としての第1メリット関数 M_M を設定する。メリット関数とは、最適化計算を行う際に使用される評価関数であり、このメリット関数の値が終了条件を満たした時点で最適化計算が終了する。ここで、終了条件をメリット関数の値が最小または最大になることと定めることもできるが、この場合には最適化計算に長時間を要する可能性がある。そこで、終了条件を許容範囲または許容値を満たすことと定めることが好ましい。

【0031】

S106において、コンピュータ100は、例えば、S104で設定した描画条件に基づいて第1メリット関数 M_M を設定してもよい。以下、より具体的な例の提供のために、(1)式のような第1メリット関数 M_M を設定するものとして説明を続ける。

【0032】

【数1】

$$M_M = \sum_{X=1}^3 shot(X)$$

… (1)

【0033】

ここで、 $shot(X)$ ($X = 1, 2, 3$) は、図2に例示される各パターン群PAT_X ($X = 1, 2, 3$) における1つのホールパターンを描画するために必要な描画ショット数を意味する。なお、(1)式の具体的な計算例については後述する。

【0034】

次に、S108では、コンピュータ100は、暫定パターンを有するマスクを投影光学系の物体面に配置したときに該投影光学系の像面に形成される像を評価するための第2評価関数としての第2メリット関数 M_I を設定する。図2に例示されるパターン群PAT1、PAT2およびPAT3は、いずれも9行×9列で配列されたホールを含み、この例では、第2メリット関数 M_I として、中心のホール（即ち、第5行の第5列に配置されたホール）の像を評価するメリット関数を設定する。また、パターン群PAT1、PAT2およびPAT3の中心のホールの像の幅の目標値を60nm、70nm、80nmとする。また、露光シミュレーション（投影光学系の像面に形成される像を計算するシミュレーション）における、それら3つのホールの寸法予測値と、それぞれの目標値との差分の絶対値を、線幅エラーと呼ぶことにする。

【0035】

この例における第2メリット関数 M_I の定義を説明する。図17に示す7つの条件（条件1～7）において、それぞれ露光シミュレーションを行い、線幅エラーを計算する。条件1は標準条件である。条件2はパターンの寸法を0.5nm大きくした条件（マスクエラー）であり、条件3はパターンの寸法を0.5nm小さくした条件（マスクエラー）である。条件4は投影光学系の焦点位置に+40nmのエラーを与えた条件（焦点位置エラー）であり、条件5は投影光学系の焦点位置に-40nmのエラーを与えた条件（焦点位置エラー）である。条件6は露光量に+3%のエラーを与えた条件（露光量エラー）であり、条件7は露光量に-3%のエラーを与えた条件（露光量エラー）である。以上のようにして合計で21個の線幅エラーの値を計算し、その中で（絶対値が）最大の値を第2メリット関数 M_I の値として定義する。

【0036】

上記のようにマスクエラー（条件2、3）、焦点位置エラー（条件4、5）および露光量エラー（条件6、7）を考慮した露光シミュレーションによる結像特性の評価量は、PV-Band（Process Variation Band）と呼ばれる。PV-Bandを用いた評価方法に関しては、様々な方法がある。この例では、全ての条件における最大の線幅エラー値を用いているが、線幅のエラーではなく、像のエッジ位置のエラー（エッジ・プレースメント・エラーと呼ばれる）を用いるケースもある。また、全ての条件におけるエラー値の最大値を用いるのではなく、各条件のエラーの値の絶対値の和を求める関数をメリット関数としてもよい。

【0037】

この例では、PV-Bandを用いて像性能に関するメリット関数を定義しているが、他の結像特性の指標であってもよい。例えば、DOF（焦点深度）、NILS（Normalized Image Log Slope）、露光余裕度やMEEF（Mask Error Enhancement Factor）などでもよい。

【0038】

S110（最適化工程）では、コンピュータ100は、第1メリット関数 M_M と第2メリット関数 M_I の値を用いながら、S102で設定したマスクパラメータの値の最適化（調整）を行う。この最適化方法の手法（アルゴリズム）は、特定のアルゴリズムに限定されるものではなく、どのような手法であってもよい。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 9 】

以下、図3を参照しながらS1110（最適化）における処理の具体例を説明する。まず、S11110（変更工程）では、コンピュータ100は、S102で設定されたマスクパラメータの値を調整（変更）する。ここで、マスクパラメータの最初の値は、乱数に従って決定される。

【 0 0 4 0 】

S11112（第1計算工程）では、コンピュータ100は、S1110で調整されたマスクパラメータの値とS104で設定された描画装置200による描画条件とを用いて、S106で設定された第1メリット関数 M_M の値を計算する。図4を参照しながら第1メリット関数 M_M の値の計算方法を説明する。ここでは、S11110において $M_1 = 40\text{ nm}$ となつたときを仮定する。このとき、1つのホールパターンは 40 nm 角の正方形となる。この正方形ホールを、S104で設定された描画ショットの寸法のリストにある描画ショットの寸法で描画するには、図4のように、縦 8 nm 、横 8 nm の描画ショットで25回の描画を行えばよい。したがって、1つのホールを描画するために、25回の描画ショットが必要である。S102で設定されたマスクのパターンには、他にPAT2およびPAT3のホールパターンも存在する。そこで、これらについても同様の計算を行えば、PAT1、PAT2およびPAT3のそれぞれのパターンを描画するために必要な描画ショットの数、即ち第1メリット関数 M_M の値を計算することができる。

【 0 0 4 1 】

S11114（第2計算工程）では、コンピュータ100は、S108で設定された第2メリット関数 M_I の値を計算する。ここでは、一例として、照明形状を固定し、その照明形状を用いてS11110で調整（変更）されたパターンを投影光学系の物体面に配置した際ににおける投影光学系の結像性能を評価する。このような露光シミュレーションは、市販の露光シミュレータを使って容易に行うことができる。

【 0 0 4 2 】

この例では、半導体デバイス等のデバイスの製造のためのリソグラフィー工程において、基板を露光する際の照明条件として、図5に示された照明（有効光源分布）が使用されるものとする。図5に示す照明は、ウインドミル形状と呼ばれる照明形状であり、四重極発光部21と、円状発光部22を有する。四重極発光部21は、外シグマS1、内シグマS2、角度S3および発光強度S4（図5には不掲載）で規定され、円状発光部22は、シグマS5および発光強度S6（図5には不掲載）で規定される。以下では、四重極発光部は $S_1 = 0.9$ 、 $S_2 = 0.54$ 、 $S_3 = 40$ （度）、 $S_4 = 1$ 、円状発光部は $S_5 = 0.2$ 、 $S_6 = 0.6$ であるものとして説明する。

【 0 0 4 3 】

なお、ここではウインドミル形状の照明（有効光源分布）を採用した例を説明するが、照明の形状はこれに限定されず、輪帯形状、二重極形状、ブルズ・アイ形状等、いかなるものであっても構わない。また、発光部を格子に分割した照明形状のような自由度の高い照明形状を設定してもよい。

【 0 0 4 4 】

第1実施形態では、S11110（変更工程）において、マスクパラメータ（パターン）、露光装置における照明条件、および、マスクプランクに対するパターンの描画条件のうちマスクパラメータを調整（変更）する例を説明する。しかしながら、本発明は、S11110（変更工程）において、マスクパラメータ（パターン）、露光装置における照明条件、および、マスクプランクに対するパターンの描画条件の少なくとも1つを調整（変更）することに適用可能である。なお、第2実施形態では、S11110（変更工程）において、マスクパラメータ（パターン）、および、露光装置における照明条件のうち少なくとも1つを変更する例を説明する。

【 0 0 4 5 】

露光シミュレーションを行う際には、シミュレータに対して露光波長（）、露光装置の投影光学系の開口数（NA）、露光装置における照明の偏光状態を入力することができます。

10

20

30

40

50

る。この例では、 $\lambda = 193$ (nm)、NA = 1.35 とし、偏光状態をタンジェンシャル偏光とした。ここで挙げた項目以外においても、露光シミュレーションを行う際には、マスクの3次元構造、投影光学系の収差およびフレア、レジストの積層構造、レジストモデル等を入力することができる。必要であればこうした項目を入力（設定）しても構わない。

【0046】

S1116（判定工程）では、コンピュータ100は、最適化工程を終了するかどうかを判定する。ここで、コンピュータ100は、S1112の計算結果およびS1114の計算結果が終了条件を満たす場合に、最適化工程を終了すると判定する。終了条件は、第1メリット関数 M_M が第1基準を満たし、第2メリット関数 M_I の値が第2基準を満たすことである。ここで、S1110、S1112、S1114の計算回数が所定回数を超えた場合に最適化工程を終了してもよい。この場合には、条件（例えば、照明条件、第1基準、第2基準など）を変更した上で図1、図2に示すマスクパターン決定方法を再実行する必要がある。

10

【0047】

S1116においてS1112の計算結果およびS1114の計算結果が終了条件を満たさないと判定された場合には、コンピュータ100は、S1110、S1112、S1114を再度実行する。このようにして、コンピュータ100は、終了条件が満たされるまでS1110、S1112、S1114を繰り返して実行する。

20

【0048】

S1110（変更工程）においてマスクパラメータを調整する際のアルゴリズムとして、この例では、ネルダーミード法を用いるが、他の方法であってもよい。

【0049】

S1116においてS1112の計算結果およびS1114の計算結果が終了条件を満たさないと判定された場合には、最新（即ち直前）のマスクパラメータの値が最終的なマスクパラメータの値となる。ここで、マスクパラメータの値が決定されることとは、マスクのパターンが決定されることと等価である。

【0050】

以下に、上記の例における最適化結果をパラメータ群1として示す。

（パラメータ群1）

30

$$M_1 = 59.5 \text{ (nm)}, M_2 = 64.1 \text{ (nm)}, M_3 = 73.1 \text{ (nm)}$$

$$M_I = 2.99 \text{ (nm)}, M_M = 346$$

ここで、比較例1として、描画装置200による描画条件やマスクを描画するためのコストを考慮せずに結像特性（第2メリット関数 M_I で評価）だけを考慮して最適化した際の結果を示す。つまり、図1のフローチャートにおいて、S104、S106を行わず、S110においては M_I のみを考慮して最適化をした際の結果である。マスクパラメータの設定S102、 M_I の定義S108、S110の最適化アルゴリズムおよび固定した照明形状は、上記の第1実施形態の計算例と同一である。この最適化結果をパラメータ群2として示す。

（パラメータ群2）

40

$$M_1 = 63.6 \text{ (nm)}, M_2 = 68.6 \text{ (nm)}, M_3 = 78.3 \text{ (nm)}$$

$$M_I = 2.79 \text{ (nm)}$$

最適化された結果に従って M_M を計算したところ、 $M_M = 486$ であった。

【0051】

第1実施形態で得られた最適化結果より、比較例1の結果と比べて M_I の値、即ち結像特性は殆ど変わらないが、 M_M の値、即ちマスクプランクにパターンを描画するための描画ショット数が大幅に小さくなっていることが分かる。したがって、第1実施形態の決定方法を用いれば、露光工程における基板へのマスクのパターンの転写に関する歩留りをほとんど悪化させることなく、そのマスクを作製する際のコスト（例えば描画ショット数）を低減することができる。

50

【0052】

以下、本発明の第2実施形態を説明する。第1実施形態1においては、露光装置の照明条件(形状)を固定してマスクのパターンの最適化を行なうが、前述のように、これは本発明の1つの実施形態に過ぎない。本発明は、前述のように、マスクパラメータ(パターン)、露光装置における照明条件、および、マスクプランクに対するパターンの描画条件の少なくとも1つを調整(変更)、即ち最適化することに適用可能である。第2実施形態では、変更工程において、マスクパラメータおよび照明条件の少なくとも一方を調整(変更)しながらマスクパラメータおよび照明条件を最適化する。

【0053】

ここで、第1実施形態のように露光条件(照明形状)を固定して行う最適化にも、第2実施形態のように露光条件(照明形状)を固定せずに行う最適化にもニーズが存在する。一般的に、マスクは様々なパターンを含み、その中のクリティカルなパターンによって使用すべき照明形状があらかじめ規定されうる。このような場合において、例えばクリティカルではないパターンのみを最適化したい場合は、照明形状をあらかじめ固定しておく必要があるかもしれない。また別の例としては、露光装置の照明光学系にDOE(回折光学素子)を用いる場合は照明形状を大きく調整するのが困難なので、やはり照明形状を固定しておく必要がある。これらの場合には第1実施形態の最適化が有効である。

10

【0054】

一方、照明形状は照明光学系内のズームレンズやアパーチャー等を用いて形状が調整できるので、照明形状自身もある程度の自由度を持っている。また、自在に照明形状を調整できる機構を備えた露光装置も近年開発されており、照明形状とマスクのパターンの両方を最適化したいというニーズも存在しうる。これらのケースにおいては、第2実施形態のように、マスクのパターンと露光条件(照明形状)の両方を最適化することが有効となる。

20

【0055】

図6は、本発明の第2実施形態におけるマスクパターン決定方法を示すフローチャートであり、このマスクパターン決定方法は、パターン決定プログラム16に従ってコンピュータ100によって実施されうる。

【0056】

まず、S202では、コンピュータ100は、露光装置の投影光学系の物体面に配置されるマスクのパターンに関するパラメータ(マスクパラメータ)を設定する。ここでは、図7に示すようなパターンを仮定する。図7に例示されたパターンのデータは、前述のパターンデータ12に相当する。図7に例示されたパターンは、図2と同様に遮光部と透過部で構成され、5種類のパターンPAT21、PAT22、PAT23、PAT24およびPAT25を含む。PAT21、PAT22、PAT23、PAT24およびPAT25は、X方向・Y方向ともにピッチがそれぞれ120nm、140nm、160nm、180nmおよび200nmの密集ホールパターンである。この例では、マスクパラメータM1は、PAT21の寸法(横幅および縦幅)を規定する。同様に、マスクパラメータM2、M3、M4およびM5は、それぞれPAT22、PAT23、PAT24およびPAT25の寸法(横幅および縦幅)を規定する。また、M1、M2、M3、M4およびM5に対して、一般性が十分保たれる程度に、以下に示す上限値および下限値を制約条件として与える。

30

【0057】

20	M1	100 (nm)
25	M2	105 (nm)
30	M3	110 (nm)
35	M4	115 (nm)
40	M5	120 (nm)

また、S202では、コンピュータ100は、露光装置の露光条件を示すパラメータとして、図5に例示されるような照明形状パラメータを設定する。即ち、第2実施形態では

40

50

、照明形状をウインドミル形状で規定し、照明形状パラメータとして S 1、S 2、S 3、S 4、S 5 および S 6 を用いて照明形状を定義する。照明形状パラメータの S 1、S 2、S 3 および S 4 は、四重極部のそれぞれ外シグマ、内シグマ、角度、強度を表し、S 5 および S 6 は、円状発光部のそれぞれシグマ、強度を表す。なお、S 4 と S 6 の値はそれらの比（強度比）が重要であり、数値の大きさ自体には意味が無い。換言すれば、たとえば、(S 4, S 6) = (1, 0.5) のケースと、(S 4, S 6) = (0.5, 0.25) のケースでは、結果的に得られる露光シミュレーションは全く同一になる。したがって、最適化を行う際に新たに媒介パラメータ S 7 を導入し、以下のように定義したうえで S 7 の値を最適化しても、全く一般性を失わない。

【0058】

0 S 7 1
S 4 = S 7
S 6 = 1 - S 7

10

この照明形状パラメータの設定は、ウインドミル形状ではあるものの、輪帯形状や、四重極形状等、他の照明形状をも包含される形になっており、一般性を失っていない。照明形状パラメータの設定方法は、他の方法でも良い。第 1 実施形態ではこれら照明形状パラメータの値を全て規定（固定）したうえで最適化計算を行ったのに対し、第 2 実施形態では以下のように各照明形状パラメータを変数として定義し、最適化計算を行う。

【0059】

0.5 S 1 0.98
0.5 S 2 0.9
0 S 3 90 (度)
0 S 5 0.5
0 S 7 1

20

S 204、S 206 は、それぞれ第 1 実施形態 1 における S 104、S 106 と同様である。

【0060】

S 208 では、コンピュータ 100 は、暫定パターンを有するマスクを投影光学系の物体面に配置したときに該投影光学系の像面に形成される像を評価するための第 2 評価関数としての第 2 メリット関数 M_I を設定する。ここでは、第 2 メリット関数 M_I として D O F (焦点深度) を評価するメリット関数を設定する。以下、D O F (焦点深度) を評価する第 2 メリット関数 M_I について例示的に説明する。

30

【0061】

まず、P A T 2 1 の中心ホール、P A T 2 2 の中心ホール、P A T 2 3 の中心ホール、P A T 2 4 の中心ホールおよび P A T 2 5 の中心ホールのそれぞれの光学像（投影光学系の像面に形成される像。）の目標値を（縦横ともに）60 nm、70 nm、80 nm、90 nm、100 nm と設定する。そして、P A T 2 1、P A T 2 2、P A T 2 3、P A T 2 4 および P A T 2 5 のそれぞれの中心部のホールのパターンの全てにおいて、露光シミュレーションによる光学像の線幅が、目標線幅に対して ± 10 % 以内の誤差に収まるような露光条件を決定する。ここで言う露光条件とは、露光量と焦点位置の組み合わせを意味する。このような露光条件の領域は、一般的にプロセスウィンドウと呼ばれる。次に、このプロセスウィンドウにおいて、共通の露光量マージンとして 10 % 以上を得ることができる焦点位置の範囲を決定する。この焦点位置の範囲を第 2 実施形態における D O F (焦点深度) として定義する。

40

【0062】

S 208 について、S 210 が実行される。以下、図 8 を参照しながら S 210（最適化工程）における処理を説明する。まず、S 2110（変更工程）では、コンピュータ 100 は、S 202 で設定されたマスクパラメータの値および照明形状パラメータの値を調整（変更）する。ここで、1 回の S 2110（変更工程）の実行においては、マスクパラメータの値および照明形状パラメータの値の少なくとも一方が調整（変更）されうる。

50

【0063】

S2112（第1計算工程）では、コンピュータ100は、S2110で調整されたマスクパラメータおよび照明形状パラメータの値とS204で設定された描画装置200による描画条件とを用いて、第1メリット関数 M_M の値を計算する。S2114（第2計算工程）では、コンピュータ100は、S208で設定された第2メリット関数 M_I の値を計算する。

【0064】

S2116（判定工程）では、コンピュータ100は、最適化工程を終了するかどうかを判定する。ここで、コンピュータ100は、S2112の計算結果およびS2114の計算結果が終了条件を満たす場合に、最適化工程を終了すると判定する。終了条件は、第1メリット関数 M_M が第1基準を満たし、第2メリット関数 M_I の値が第2基準を満たすことである。
10

【0065】

以下に、上記の例における最適化結果をパラメータ群3として示す。

(パラメータ群3)

$M_1 = 40.2$ (nm)、 $M_2 = 45.5$ (nm)、 $M_3 = 52.0$ (nm)、 $M_4 = 59.0$ (nm)、 $M_5 = 64.3$ (nm)
 $S_1 = 0.765$ 、 $S_2 = 0.625$ 、 $S_3 = 21.8$ (度)、 $S_5 = 0.045$ 、 $S_7 = 0.641$
 $M_I = 235.1$ (nm)、 $M_M = 400$

20

ここで、比較例2として、描画装置200による描画条件やマスクを描画するためのコストを考慮せずに結像特性（第2メリット関数 M_I で評価）だけを考慮して最適化した際の結果を示す。つまり、図6のフローチャートにおいて、S204、S206を行わず、S210においては M_I のみを考慮して最適化をした際の結果である。マスクパラメータと照明形状パラメータの設定S202、 M_I の定義S208、S210の最適化アルゴリズムは、上記の第2実施形態の計算例と同一である。この最適化結果をパラメータ群4として示す。

(パラメータ群4)

$M_1 = 60.7$ (nm)、 $M_2 = 70.6$ (nm)、 $M_3 = 79.8$ (nm)、 $M_4 = 90.2$ (nm)、 $M_5 = 100.9$ (nm)
 $S_1 = 0.775$ 、 $S_2 = 0.643$ 、 $S_3 = 18.5$ (度)、 $S_5 = 0.027$ 、 $S_7 = 0.736$
 $M_I = 250.9$ (nm)

30

最適化された結果に従って M_M を計算したところ、 $M_M = 1074$ であった。

【0066】

第2実施形態で得られた最適化結果より、比較例2の結果と比べて M_I の値、即ち結像特性は殆ど変わらないが、マスク描画機のショット数をやはり大きく低減していることが分かる。したがって、本発明は、第2実施形態のようにマスクパターンのみならず照明形状も最適化する際にも有用であることが分かる。

【0067】

40

以下、本発明の第3実施形態を説明する。第1および第2実施形態では、描画装置200による描画条件として、ディスクリートな複数のショットのサイズのみが描画であるという条件を考えた。しかし、本発明において、描画条件は、これに限定されるものではない。

【0068】

第3実施形態においては、描画装置200が任意の（あらゆる）サイズの長方形を1回のショットで描画することができるものと仮定する。コンピュータ100は、マスクパターンに含まれる長方形の数を考慮して最適化を行う。これは、マスクパターンの複雑性を考慮した最適化の一例であると言うこともできる。

【0069】

50

第3実施形態では、セリフと呼ばれるパターンを用いる。セリフとは、補助パターンの一種であり、ホールパターンの忠実性を高めるためにしばしば用いられる。セリフは、ハンマーHEADと呼ばれることもある。セリフパターンを付加することで基板に形成される像の忠実性を高めることができるが、セリフパターンを付加するとマスクのパターンが複雑になり、レチクル作製の際にはより多くのショット数を要することから、レチクルの価格は上昇する。したがって、セリフパターンを付加するかどうかとレチクルの価格とはトレードオフの関係にある。第3実施形態では、このトレードオフも考慮して最適なマスクのパターンを決定する。

【0070】

第1実施形態の説明において参照した図1を参照しながら第3実施形態におけるマスクパターン決定方法を説明する。まず、S102では、コンピュータ100は、露光装置の投影光学系の物体面に配置されるマスクのパターンに関するパラメータ（マスクパラメータ）を設定する。第3実施形態では、マスクパラメータを図9で例示されるように定める。図10には、図9に示すマスクのパターンを投影光学系の物体面に配置したときに投影光学系の像面に形成される光学像の目標（ターゲット）パターンが示されている。図10の目標パターンは、L字型のパターンであり、半導体ロジック回路のメタル工程用のパターンなどに多く存在するパターンの一つである。

10

【0071】

図9に示すマスクのパターンは、メインパターンであるPAT31と、セリフパターンであるSP11、SP12、SP13、SP14、SP15およびSP16を含む。なお、SP16は付加的ではなく減殺的な補助パターンであるので、セリフパターンと呼ばない場合もあるが、本明細書においては簡単のため同じくセリフパターンとして扱う。

20

【0072】

図9を参照しながらマスクパラメータについて説明する。PAT31は、L字型のメインパターンであり、マスクパラメータM1およびM2を用いてX方向およびY方向の寸法が規定される。SP11はセリフパターンであり、マスクパラメータM3、M4、M5およびM6によって規定される。M3およびM4は、SP11の一辺（X方向とY方向）の長さを規定し、M5およびM6は、SP11とPAT31との重なり度合いを規定している。セリフパターンSP12も同じパラメータを用いて規定される。なお、メインパターンは、X方向およびY方向に対称なので、SP13およびSP14も同様に規定できる。

30

【0073】

SP15も同様に、セリフパターンの寸法を規定するマスクパラメータM7と、セリフパターンとメインパターンとの重なり度合いを規定するマスクパラメータM8を用いて定義される。SP16に関しても、図9に示すようにM9およびM10の2つのマスクパラメータを用いて規定される。

【0074】

図10の位置Aの座標を（0,0）とし、図9の位置A'の座標を（M11,M11）とする。M11もマスクパラメータである。つまり、図10の目標パターンに対して、図9のマスクパターンでは、X方向、Y方向ともに全体的にM11だけシフトさせている。

40

【0075】

次に、描画ショット数を計算する方法について説明する。図11(a)はセリフパターンが一切ない場合のマスクパターンであるが、第3実施形態においては、パターンを描画するために、図11(b)に例示されるように、当該パターンを2つの長方形領域に分割する必要がある。この場合の描画ショット数は2となる。このときのショット数を基本ショット数と呼ぶことにする。

【0076】

第3実施形態で扱うマスクのパターンにはセリフパターンが含まれるので、セリフパターンを含んだ場合の描画ショット数の計算方法を例示的に説明する。ここでは、マスクパラメータの値の比較（大小関係）が重要になる。図12は、図9の領域Bを拡大して表示したものである。図12に示すように、領域Bのパターンは、マスクパラメータM3、M

50

4、M 5 および M 6 の大小関係によって、いくつかの形状になりうる。たとえば、M 3 > M 5かつM 4 > M 6 のときは、図 12 (a) のような形状になる。このときのパターンを長方形領域に分割すると図 12 (d) のようになる。これは、基本ショット数に加えて、新たに 3 つの描画ショットが必要になることが分かる。また、M 3 < M 5 かつM 4 > M 6 のときのパターンは図 12 (b) のような形状になり、この領域を長方形に分割すると図 12 (e) のようになるから、基本ショット数に加えて 2 つの描画ショットが必要になることが分かる。一方で、M 3 < M 5 かつM 4 < M 6 のときは図 12 (c) のように形状になり、セリフパターンは完全にメインパターンの内側に入り込む。この場合は、図 12 (f) に示すように、描画の際にセリフパターンを考える必要はないので、基本ショット数に加えて新たに描画ショットが必要になることはない。

10

【 0 0 7 7 】

同様に、図 13 には図 9 の領域 C が示されている。領域 C のセリフパターン S P 1 5 は、マスクパラメータ M 7 および M 8 を用いて規定することができる。M 7 > M 8 の場合は図 13 (a) に示すようにセリフパターンがメインパターンの外に発生するので、図 13 (c) に示すように基本ショット数に加えて 2 つの描画ショットが必要になる。一方で、M 7 < M 8 の場合は図 13 (b) のようになり、セリフパターンがメインパターンの内側に入り込むため、基本ショット数に加えて新たに必要になる描画ショットはない。

【 0 0 7 8 】

同様の手法で、S P 1 3、S P 1 4 および S P 1 6 の各部においても、容易に描画ショット数を計算することができる。このように、第 3 実施形態のようにマスクパラメータを設定することで、それらの大小関係を調べるだけでマスクパターンの形状を知ることができる。そして、セリフパターンを含むマスクパターン群を描画する際に必要となるショット数は、マスクパラメータの関数として記述することができる。

20

【 0 0 7 9 】

なお、図 11、図 12 および図 13 に例示されたマスクパターンの分割方法は、合計の描画ショット数を最も少なくすることができる分割方法の一例を示したのであり、他の分割方法も存在する。ここでは、簡単化のためこれらの分割方法に従って描画ショット数を計算するが、別の分割方法で描画ショット数を計算したいのであれば、第 3 実施形態における S 1 0 4 において、それに対応する描画条件を設定すればよい。

【 0 0 8 0 】

30

S 1 0 4 では、コンピュータ 1 0 0 は、描画装置 2 0 0 によるマスクブランクに対するパターンの描画条件を設定する。第 3 実施形態では、コンピュータ 1 0 0 は、いかなる寸法の長方形であっても 1 つの描画ショットで描画する、という描画条件を入力する。

【 0 0 8 1 】

S 1 0 6 では、コンピュータ 1 0 0 は、マスクブランクにパターン（暫定パターン）を描画するためのコストを評価するための第 1 評価関数としての第 1 メリット関数 M_M を設定する。第 3 実施形態では、コンピュータ 1 0 0 では、図 11、図 12 および図 13 を参照しながら説明した方法にしたがって描画ショット数を算出する第 1 メリット関数 M_M を設定する。より具体的には、メインパターン P A T 3 1 、セリフパターン S P 1 1 、S P 1 2 、S P 1 3 、S P 1 4 、S P 1 5 および S P 1 6 の全てを描画する際に必要な描画ショット数を M_M として設定する。

40

【 0 0 8 2 】

S 1 0 8 では、コンピュータ 1 0 0 は、暫定パターンを有するマスクを投影光学系の物体面に配置したときに該投影光学系の像面に形成される像を評価するための第 2 評価関数としての第 2 メリット関数 M_I を設定する。第 3 実施形態では、ベストフォーカスおよび基準露光量でのエッジ・プレースメント・エラーを M_I (n m) として設定する。詳細に説明すると、図 10 の目標パターン上に複数の着目座標を設定する。図 14 には、13 個の着目座標が例示的に示されている。各着目座標における、光学像のエッジと着目座標の間隔（ずれ）の大きさ (n m) をエッジ・プレースメント・エラーと呼ぶ。第 3 実施形態では、これら 13 個のエッジ・プレースメント・エラーにおける最大値（即ち、最悪値）

50

を M_I (nm) として定義する。

【0083】

S110 (最適化工程) における処理は、図3に詳細を示したフローチャートにおける処理と同様である。第3実施形態においては、露光シミュレーションの際の照明形状は、図15に示す輪帯照明形状に固定されている。照明形状パラメータの規定値(固定値)は、 $S1 = 0.9$ 、 $S2 = 0.72$ である。得られた最適化結果をパラメータ群5として示す。

(パラメータ群5)

$M1 = 265.0$ (nm)、 $M2 = 51.1$ (nm)、 $M3 = 26.1$ (nm)、 $M4 = 45.6$ (nm)、 $M5 = 26.1$ (nm)、 $M6 = 6.6$ (nm)、
 $M7 = 51.2$ (nm)、 $M8 = 7.5$ (nm)、 $M9 = 50.1$ (nm)、 $M10 = 11.7$ (nm)、 $M11 = 3.6$ (nm)
 $M_I = 0.41$ (nm)、 $M_M = 10$

ここで、比較例3として、描画装置200による描画条件やマスクを描画するためのコストを考慮せずに結像特性(第2メリット関数 M_I で評価)だけを考慮して最適化した際の結果を示す。つまり、図1のフローチャートにおいて、S104、S106を行わず、S110においては M_I のみを考慮して最適化をした際の結果である。マスクパラメータの設定 S102、 M_I の定義 S108、S110 の最適化アルゴリズム及び固定した照明形状は、上記の第3実施形態の計算例と同一である。この最適化結果を以下のパラメータ群6に示す。

10

(パラメータ群6)

$M1 = 253.8$ (nm)、 $M2 = 51.1$ (nm)、 $M3 = 39.9$ (nm)、 $M4 = 37.8$ (nm)、 $M5 = 21.0$ (nm)、 $M6 = 11.4$ (nm)、
 $M7 = 50.7$ (nm)、 $M8 = 8.2$ (nm)、 $M9 = 47.0$ (nm)、 $M10 = 11.8$ (nm)、 $M11 = 3.7$ (nm)、
 $M_I = 0.28$ (nm)

最適化された結果に従って M_M を計算したところ、 $M_M = 12$ であった。

【0084】

第3実施形態で得られた最適化結果より、比較例3の結果と比べて M_I の値、即ち結像特性は殆ど変わらないが、 M_M の値、即ちマスクプランクにパターンを描画するための描画ショット数が大幅に小さくなっていることが分かる。ここで説明した例では、マスクパターンは1つのメインパターンのみを含んでおり、描画ショット数の削減量は2であるが、実際のマスク上では非常に多くの種類のパターンが混在しており、より大きな効果を得ることができる。

20

【0085】

以下、本発明の第4実施形態を説明する。第4実施形態は、本発明を SRAF (Sub-Resolution Assist Feature) と呼ばれる解像させないパターンを用いて描画性能を向上させる技術に適用したものである。例えば、図1のフローチャートの S102 において、解像させるパターンとは別に、解像させないパターン(即ち SRAF)を配置して、そこにマスクパラメータを設定することができる。そうすることによって、SRAF に関するマスクパラメータ、例えば SRAF の寸法や位置をも最適化することができる。

30

【0086】

以下、本発明の第5実施形態を説明する。第1および第2実施形態では、描画装置200による描画条件として、描画可能な描画ショットの寸法を数値のリストの形式で設定するが、本発明はこれに限定されるものではない。描画条件の他の例としては、マスクの形状に関する描画条件を挙げることができる。近年の描画装置では、矩形(0度および90度方向)のパターンだけでなく、45度方向の形状を持つパターンを描画することができるし、更に微細な角度制御ができる描画機も存在する。また、キャラクタ・プロジェクト・エフェクトと呼ばれる、特定の形状(矩形や三角形とは限らない)のアパーチャーを有し、その

40

50

アパーチャーの形状でマスクパターンを描くことができる描画装置も存在する。 こうした形狀特性もしくは角度特性に関するデータを入力しても構わない。

【0087】

別の例としては、マスクを描画する際の位置（座標）に関する条件も、描画装置200による描画条件であると考えることができる。 描画装置200では、基板が載置される基板ステージをX方向およびY方向に移動させたり、電子レンズを用いて電子線を偏向させたりすることで、電子線を当てる場所を調整する。 一般的に、描画ショットの位置は、特定のディスクリートな値（グリッド）の整数倍で行う方が効率が良いため、パターンを描画する位置が特定のディスクリートな値になる場合がある。 そこで、パターンを描画する位置に関するデータも描画条件として与えることができる。

10

【0088】

さらに別の例として、描画装置200で描画するパターンの寸法や位置に関する精度には限界があり、一定量の誤差を認めざるをえない場合がある。 その誤差の値も描画条件の例であると考えることができる。 この誤差のデータを与えることで、誤差を考慮してマスクのパターンを決定することも可能になる。 ここで挙げた例以外でも、描画装置200による描画条件は、いかなるものであってもよいし、複数の描画条件に関するデータ群を入力しても構わない。

【0089】

以下、本発明の第6実施形態を説明する。 第1～第3実施形態においては、マスクを製造するためにマスクブランクにパターンを描画するためのコストを評価するメリット関数は、描画ショット数を評価するメリット関数であるが、本発明はこれに限られるものではない。

20

【0090】

例えば、描画ショットの寸法の最小値を与える関数をメリット関数としてもよい。 一般的に、マスクの描画ショットの寸法が大きいほど、描画装置のアパーチャーの調整単位（グリッドと呼ばれることがある）を大きくすることでき、これがスループットの向上につながることがある。 つまり、ショット寸法の最小値を与える関数をメリット関数とした場合は、その値を最大化すれば、マスクを製造するためにマスクブランクにパターンを描画するためのコストは最小になる。

【0091】

30

また別の例として、描画装置200による描画の際に用いる描画ショットの寸法の種類の数を与える関数をメリット関数としてもよい。 同じ寸法の描画ショットが多ければ多いほど、描画装置200の動作に必要なデータ量の圧縮並びにデータ処理時間の短縮が可能になる等の理由で、単位描画ショット数あたりの描画にかかる時間が短くなることがある。 したがって、これをメリット関数とした場合は、それを最小化すればマスクの製造性は最も高くなる。

【0092】

それ以外の例として、ショット寸法の最大値を設定してもよいし、描画ショットの寸法の最大値と最小値の差分を設定してもよい。 つまり、マスクを製造するためにマスクブランクにパターンを描画するためのコストに関する評価基準であれば、いかなる基準を設定しても構わない。

40

【0093】

また、マスクを製造するためにマスクブランクにパターンを描画するためのコストに関するメリット関数は、マスクを製造するためにマスクブランクにパターンを描画するためのコストに関する複数の評価基準を組み合わせた関数であってもよい。 たとえば、描画ショット数と、描画ショット寸法の最小値の両方を考慮したければ、それら2つの値を重みづけして加えたものをメリット関数と設定してもよい。

【0094】

このように、マスクを製造するためにマスクブランクにパターンを描画するためのコストに関するメリット関数は、マスクパターンを決定したいユーザーのニーズに応じて、あ

50

らゆる形に改変することができる。

【0095】

以下、本発明の第7実施形態を説明する。第7実施形態では、複数の描画条件を比較して、これらの中で最も好ましい描画条件を選択する。描画装置では、複数の描画モードがあらかじめ用意されている場合もあるし、描画装置を使うユーザーによって複数のモードが規定されている場合も想定しうる。たとえば、描画精度の高い代わりにスループットの低い描画モードや、スループットが大きい代わりに精度が低い描画モード等、複数の描画モードがあらかじめ用意されている場合がある。そこで、各モードにおける寸法、位置、精度、形状等の描画条件を設定し、これらの描画条件の関数として、マスクを製造するためにマスクプランクにパターンを描画するためのコストに関するメリット関数を設定しうる。これにより、複数の描画モードを考慮した上で、もっともコストを低減可能な描画条件を決定することもできる。10

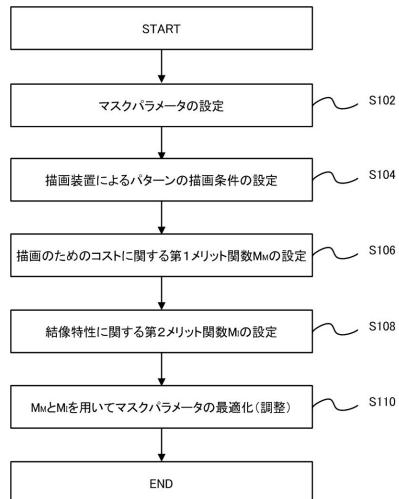
【0096】

また、同様の手法を用いれば、複数の描画装置を所有している場合にも、どの描画装置を使用すれば最適であるかを求めることができる。一般的に、最新の描画装置ほど描画精度やスループットは向上している一方で、描画装置にかかる運転費用や維持費用は高価になる傾向にあり、こうした点もマスクの価格に反映されている。第7実施形態で述べた手法を用いることで、これまで最新の描画装置を用いてのみ作成していたマスクが、古い描画装置を用いても同等の性能を提供することができることが分かれば、マスクコストの低減につながり、ユーザーにとっては大きなメリットとなる。20

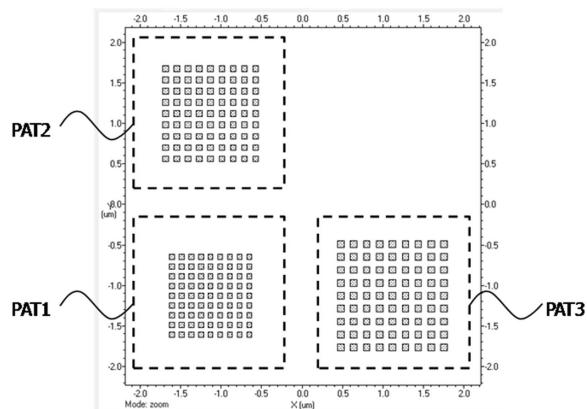
【0097】

以下、本発明の第8実施形態について説明する。第8実施形態は、上記の実施形態を通して決定されたパターンに基づいてマスクプランクにパターンを描画し、マスクを製造するマスク製造方法に関する。20

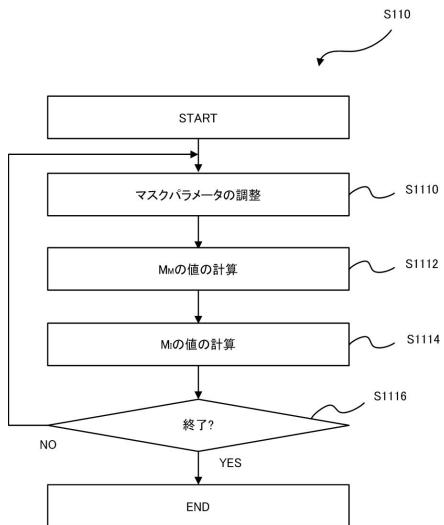
【図1】



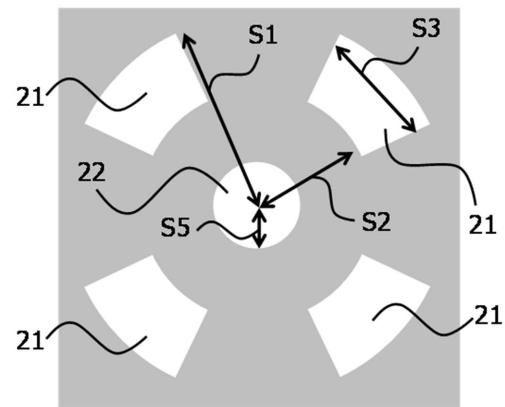
【図2】



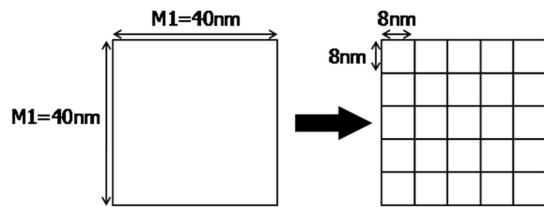
【図3】



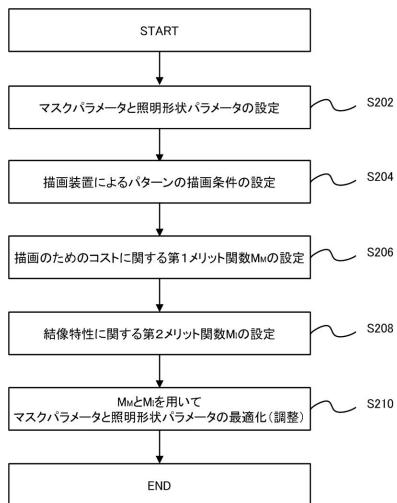
【図5】



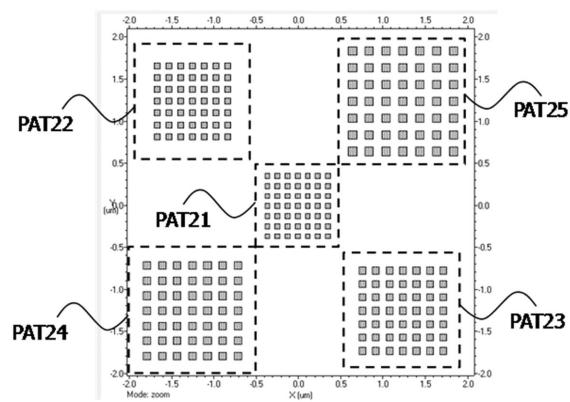
【図4】



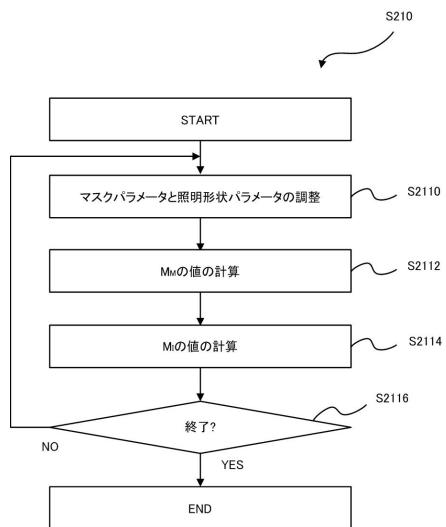
【図6】



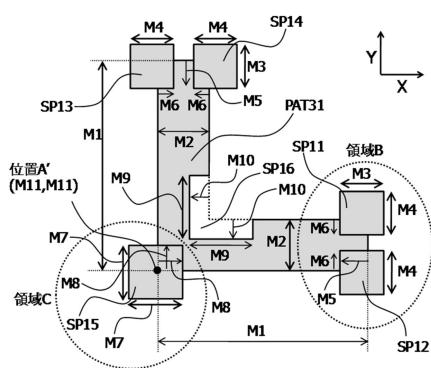
【図7】



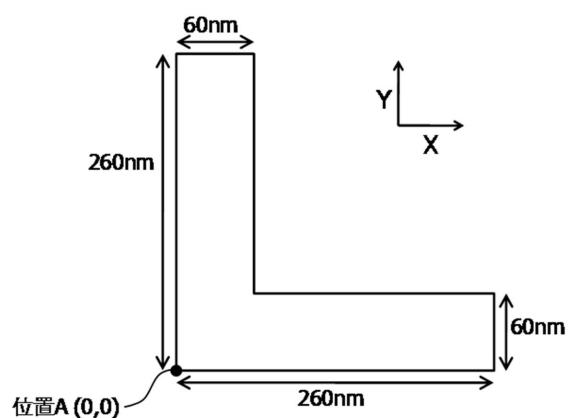
【図8】



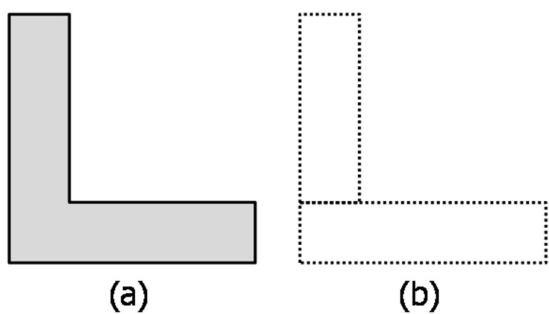
【図9】



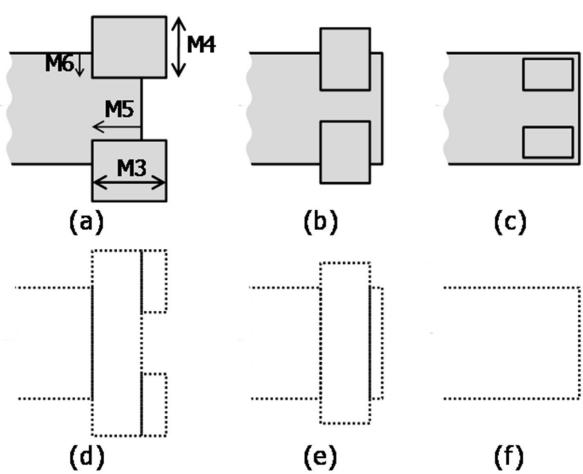
【図10】



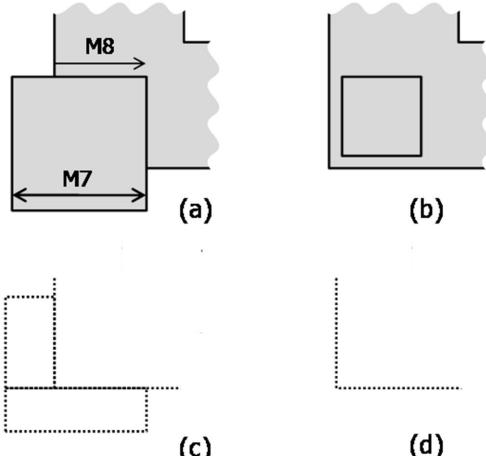
【図11】



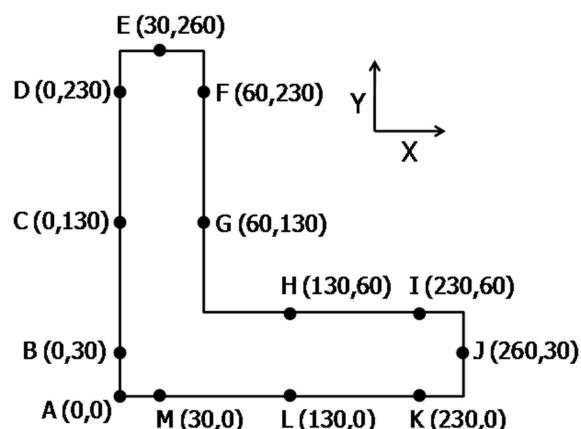
【図12】



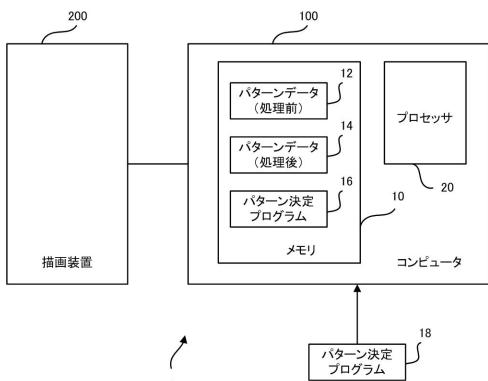
【図13】



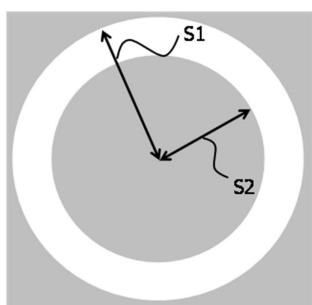
【図14】



【図16】



【図15】



【図17】

条件	マスクエラー	焦点検出エラー	露光量エラー
1	0	0	0
2	+0.5nm	0	0
3	-0.5nm	0	0
4	0	+40nm	0
5	0	-40nm	0
6	0	0	+3%
7	0	0	-3%

フロントページの続き

(72)発明者 行田 裕一

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 三上 晃司

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 赤尾 隼人

(56)参考文献 特開2011-197520(JP,A)

特開2011-095729(JP,A)

特開2010-128441(JP,A)

特開2009-086639(JP,A)

特開2011-205118(JP,A)

米国特許出願公開第2004/0210856(US,A1)

特開2001-318455(JP,A)

特開2004-361507(JP,A)

特開2008-233355(JP,A)

特開2004-288694(JP,A)

特開2002-190443(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027

G03F 7/20; 1/00 - 1/86

G06F 17/50