

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6095334号
(P6095334)

(45) 発行日 平成29年3月15日 (2017.3.15)

(24) 登録日 平成29年2月24日 (2017.2.24)

(51) Int.Cl.

F I

G O 3 F 7/20 (2006.01)

G O 3 F 7/20 5 2 1

G O 3 F 1/70 (2012.01)

G O 3 F 1/70

請求項の数 7 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2012-257363 (P2012-257363)
 (22) 出願日 平成24年11月26日 (2012.11.26)
 (65) 公開番号 特開2014-107331 (P2014-107331A)
 (43) 公開日 平成26年6月9日 (2014.6.9)
 審査請求日 平成27年11月26日 (2015.11.26)

(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 100114775
 弁理士 高岡 亮一
 (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 松岡 智也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マスクパターンおよび露光条件を決定する方法、ならびにプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源からの光を用いてマスクを照明する照明光学系と、前記マスクに形成されている複数のパターン要素の像を基板に投影する投影光学系とを含む露光装置に用いられる前記マスクのパターンと、前記照明光学系が形成する有効光源分布とをコンピューターを用いて決定する決定方法であって、

前記投影光学系の像面において前記複数のパターン要素の像を評価するための評価位置、および該評価位置での評価項目を設定するステップと、

前記マスクの複数のパターン要素の形状を規定するための第1のパラメーターを設定するステップと、

前記有効光源分布を規定するための第2のパラメーターを設定するステップと、

前記第1のパラメーターおよび前記第2のパラメーターの値を変更しながら、前記マスクの複数のパターン要素の像の計算と前記評価項目の値の計算とを繰り返し、該繰り返しの計算結果に基づいて前記マスクのパターンおよび前記有効光源分布を決定するステップと、

を含み、

前記第1のパラメーターを設定するステップにおいて、

前記マスクの複数のパターン要素のうち、評価対象となっている各パターン要素について、前記評価対象となっているパターン要素の近隣のパターン要素が前記評価対象となっているパターン要素の前記評価位置の像に及ぼす近接効果を表す指標の値を算出し、

10

20

該算出された前記指標の値に基づいて複数のパターン要素のパラメーターをまとめて1つの前記第1のパラメーターとして設定し、

前記近接効果を表す指標は、第1の有効光源分布で前記評価対象となっているパターン要素を照明した場合と前記第1の有効光源分布とは異なる形状の第2の有効光源分布で前記評価対象となっているパターン要素を照明した場合における、前記評価対象となっているパターン要素の像の寸法差である、

ことを特徴とする決定方法。

【請求項2】

前記第1のパラメーターを設定するステップは、

結像特性を定義するステップと、

前記結像特性を評価する第2の評価位置を設定するステップと、

前記結像特性の値を、すべての前記第2の評価位置について算出するステップと、

前記算出された結像特性の値を予め設定されたグループにグルーピングし、複数の前記結像特性の値をまとめて1つのグループにグルーピングするステップと、

前記1つのグループにグルーピングされた結像特性の値に対応する前記第2の評価位置における前記第1のパラメーターをまとめて1つのパラメーターとして設定するステップと、を含む、

ことを特徴とする請求項1記載の決定方法。

【請求項3】

前記グループ数を変更し、前記マスクのパターンおよび前記有効光源分布の決定を繰り返すステップを含む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】

前記グループ数の変更を実行するかどうかは、前記マスクのパターンおよび前記有効光源分布の決定までの計算回数が規定数を越えたかどうかで判断することを特徴とする請求項3に記載の決定方法。

【請求項5】

前記第1のパラメーターを設定するステップにおいて、前記指標の値が所定の範囲内にある複数のパターン要素のパラメーターをまとめて1つの前記第1のパラメーターとして設定する、ことを特徴とする請求項1ないし4のいずれか1項に記載の決定方法。

【請求項6】

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

【請求項7】

請求項1ないし5のいずれか1項に記載の決定方法を実行するコンピューター。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マスクパターンおよび露光条件を決定する方法、ならびにプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

露光装置は、半導体デバイスなどの製造工程に含まれるリソグラフィ工程において、マスク（原版）に形成されているパターンを、投影光学系を介して感光性の基板（表面にレジスト層が形成されたウエハなど）に転写する装置である。この露光装置では、近年、例えばデバイスの微細化に対応するために、変形照明や光近接効果補正（OPC）などの超解像技術を用いて、マスクのパターンや、露光条件としてのマスクを照明する際の照明形状（有効光源分布）の最適化が行われている。ここで、照明形状の最適化では、まず、デバイスの目標パターン（レイアウトパターン）、結像特性の評価位置、および評価位置での評価項目（寸法、DOF（焦点深度）、露光余裕度など）が設定される。次に、照明形状の変化に伴う転写パターン（投影光学系の像面に形成されるパターン）が算出され、

10

20

30

40

50

この転写パターンの評価位置における評価項目の値が求められる。そして、この値が評価基準を満たすか、照明形状を変化させる回数が所定の回数になるまで、転写パターンの算出および評価値を求めることが繰り返される。このとき、照明形状は、数値的に表現され、例えば、一定強度を有する輪帯照明の場合には、内側の と外側の とをパラメーター（変数）とする関数で表現され、これらのパラメーターは、モンテカルロ法などを用いて最適化される。しかしながら、マスクのパターンが同一であっても照明形状が異なれば転写パターンも異なるため、照明形状が変化すると、転写パターンが目標パターンからずれる可能性がある。そこで、転写パターンを目標パターンに一致させるために、OPCが必要となる。なお、OPCは、照明形状を変化させるたびに、または照明形状を一定量変化させたときに実施される。このようなマスクのパターンと照明形状とを逐次的に補正する手法は、従来の光源マスク最適化（SMO）技術として知られている。

10

【0003】

これに対して、急速な微細化が進むにつれて、マスクにパターンを十分な精度で形成することが難しくなりつつある。これは、マスクのパターンと照明形状とを別々に最適化していることに起因する。上記のように、OPCは、照明形状に依存するため、照明形状が決定（最適化）された後に実施されるのが一般的である。そして、OPCが実施されることによりマスクのパターンが変形するため、OPCを実施する前に決定した照明形状が最適ではなくなってしまう場合がある。そこで、特許文献1は、デバイスのメモリーセルや回路素子であるライブラリースセルなどを取り扱う場合に、マスクのパターンおよび照明形状を同時に最適化するSMO技術を開示している。この技術によれば、転写パターンを十分な精度で基板上に形成することが可能なマスクのパターン（パターンパラメーター）および照明形状（照明形状パラメーター）の両方を決定することができる。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2011-95729号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1に示す技術を、例えばセルブロックや周辺回路など、図形数が比較的多いデバイスパターンに適用する場合には、最適化変数の一部となるパターンパラメーターが多くなり、最適化の収束に時間がかかる。そのため、例えば、規定回数で最適化計算を打ち切ってしまうことも考えられるが、その場合には、高精度のパターンパラメーターや照明形状パラメーターが得られない。

30

【0006】

上記課題を解決するために、本発明は、光源から入射端面に入射した光を内面で複数回反射させて射出するオプティカルインテグレーターを有し、前記オプティカルインテグレーターから射出される光で被照明面を照明する照明光学装置において、光源からの光を集光する集光鏡により光源から被照明面に向かう光軸に対して第1角度で集光する集光点を含む面と前記オプティカルインテグレーターの前記入射端面とを光学的に共役な関係とする結像光学系を有し、結像光学系は、集光点からの光を用いて、光軸に対して第1角度よりも大きい第2角度でオプティカルインテグレーターの入射端面に集光する光を形成し、近接効果を表す指標は、第1の有効光源分布で評価対象となっているパターン要素を照明した場合と第1の有効光源分布とは異なる形状の第2の有効光源分布で評価対象となっているパターン要素を照明した場合とにおける、評価対象となっているパターン要素の像の寸法差であることを特徴とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記課題を解決するために、本発明は、光源からの光を用いてマスクを照明する照明光学系と、マスクに形成されている複数のパターン要素の像を基板に投影する投影光学系と

50

を含む露光装置に用いられるマスクのパターンと、照明光学系が形成する有効光源分布とをコンピューターを用いて決定する決定方法であって、投影光学系の像面において複数のパターン要素の像を評価するための評価位置、および評価位置での評価項目を設定するステップと、マスクの複数のパターン要素の形状を規定するための第1のパラメーターを設定するステップと、有効光源分布を規定するための第2のパラメーターを設定するステップと、第1のパラメーターおよび第2のパラメーターの値を変更しながら、マスクの複数のパターン要素の像の計算と評価項目の値の計算とを繰り返し、繰り返しの計算結果に基づいてマスクのパターンおよび有効光源分布を決定するステップと、を含み、第1のパラメーターを設定するステップにおいて、マスクの複数のパターン要素のうち、評価対象となっている各パターン要素について、評価対象となっているパターン要素の近隣のパターン要素が評価対象となっているパターン要素の評価位置の像に及ぼす近接効果を表す指標の値を算出し、算出された指標の値に基づいて複数のパターン要素のパラメーターをまとめて1つの前記第1のパラメーターとして設定する、ことを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、例えば、パターンを高精度で基板上に形成することが可能なマスクパターンおよび露光条件を効率的に決定し得る方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

20

【図1】第1実施形態における決定方法の手順を示すフローチャートである。

【図2】第1実施形態における目標パターン（形状）や照明形状を示す図である。

【図3】各比較例における評価項目値の減衰を示すグラフである。

【図4】第1実施形態における評価項目値の減衰を示すグラフである。

【図5】第2実施形態における評価項目値の減衰を示すグラフである。

【図6】第3実施形態における決定方法の手順を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明を実施するための形態について図面などを参照して説明する。

【0011】

30

（第1実施形態）

まず、本発明の第1実施形態に係るマスクパターンおよび露光条件の決定方法について説明する。例えば半導体デバイスなどの製造工程に含まれるリソグラフィ工程では、光源を含む照明光学系によりマスク（原版）に対して光が照射され、マスクに形成されているパターンを、投影光学系を介して感光性の基板（ウエハなど）に転写する露光装置が用いられる。特に本実施形態に係る決定方法は、このような露光装置に用いられるマスクのパターンと、露光条件として特にマスクを照明する際の照明形状（有効光源分布）とを決定（最適化）するものとする。ここで、照明形状とは、照明光学系の瞳面に形成される光強度分布であり、マスクを照明する光の角度分布でもある。図1は、本実施形態に係る決定方法を示すフローチャートである。なお、この決定方法は、例えばプログラムとして、汎用の情報処理装置（コンピューター）に実行させ得る。

40

【0012】

まず、S101では、基板に形成すべきパターン（目標パターン）を設定する。この目標パターンとしては、テストパターンのような規則正しい配列を有するパターンや、メモリーセル以外のデバイスパターンのようにランダムな配置となっているパターンなど、その時々により種々の配列（配置）を取り得る。次に、S102では、投影光学系の像面に形成される仮のパターン（転写パターン）の像を評価するための評価位置、およびこの評価位置での評価項目を設定する。ここで、評価項目は、例えば、仮パターンの像の寸法、デフォーカス特性、仮パターンの像の露光量に対する寸法変化、または、仮パターンの像が規格内に収まる露光量もしくはフォーカスの範囲のうち少なくとも1つを含む。次に、

50

S 1 0 3では、仮の照明形状を規定するための照明形状パラメーター（第2のパラメーター）を設定する。例えば、照明形状の基本形状（例えば、2重極（ダイポール）形状や4重極（クロスポール）形状など）を特徴づける露光パラメーターを照明形状パラメーターとして設定する。次に、S 1 0 4では、目標パターンに対応する仮パターンの形状を規定するためのパターンパラメーター（第1のパラメーター）を設定する。具体的には、マスクパターンを複数の多角形で構成し、この多角形を特徴づけるパラメーターをパターンパラメーターとして設定する。この場合、例えば、マスクパターンの形状を複数の多角形の組み合わせで構成される形状と一致させ、これらの複数の多角形のそれぞれの辺の長さをパターンパラメーターとして設定し得る。なお、このS 1 0 4におけるパターンパラメーターの設定の流れ（S 2 0 1からS 2 0 6まで）については後述することとし、一旦、S 1 0 5以下の流れについて説明する。

10

【0013】

次に、S 1 0 5からS 1 0 9では、S 1 0 4で設定したパターンパラメーターと、S 1 0 3で設定した照明形状パラメーターとからなるパラメーター空間を構成し、このパラメーター空間において、パターンパラメーターおよび照明形状パラメーターを最適化する。ここで、パターンパラメーターと照明形状パラメーターとのそれぞれには、制限範囲があるため、この制限範囲内でパターンパラメーターおよび照明形状パラメーターを最適化する必要がある。まず、S 1 0 5では、パターンパラメーターの値および照明形状パラメーターの値を仮決定する。本実施形態に係る決定方法では、パターンパラメーターの値および照明形状パラメーターの値を変更しながら最適値に追い込んでいく。したがって、制限範囲内であれば、パターンパラメーターの値および照明形状パラメーターの値として、任意の値を仮決定することが可能である。次に、S 1 0 6では、S 1 0 5にて仮決定したパターンパラメーターの値および照明形状パラメーターの値に基づいて、投影光学系の像面に形成される仮パターンの像を取得（算出）する。具体的には、S 1 0 5で仮決定したパターンパラメーターの値で規定される仮パターンを、S 1 0 5で仮決定した照明形状パラメーターの値で規定される仮照明形状（仮有効光源分布）で照明したときの仮パターンの像を取得する。次に、S 1 0 7では、S 1 0 6にて取得された仮パターンの像について、S 1 0 2で設定された評価位置での評価項目の値を取得（算出）する。次に、S 1 0 8では、S 1 0 7にて取得された、仮パターンの像における評価位置での評価項目の値が、評価基準を満たすかどうかを判断する。なお、評価基準は、目標パターンの精度や露光装置の性能などに応じて、評価項目ごとに予め設定されている。ここで、評価位置での評価項目の値が評価基準を満たすと判定した場合には（YES）、S 1 0 9に移行する。一方、評価位置での評価項目の値が評価基準を満たさないと判定した場合には（NO）、S 1 0 5に戻ってパターンパラメーターの値および照明形状パラメーターの値を再度仮決定して、S 1 0 6、S 1 0 7およびS 1 0 8を繰り返す。換言すれば、パターンパラメーターの値および照明形状パラメーターの値を変更して、仮パターンの像における評価位置での評価項目の値が評価基準を満たすまで処理を繰り返す。なお、パターンパラメーターの値および照明形状パラメーターの値を再度仮決定する際には、パターンパラメーターの値と照明形状パラメーターの値との組み合わせにおいて、これまでに仮決定されていない値を仮決定する。このとき、パターンパラメーターの値および照明形状パラメーターの値の両方を変更するのではなく、どちらか一方のみを変更することもある。そして、S 1 0 9では、まず、S 1 0 4にて仮決定したパターンパラメーターの値で規定される仮パターンをマスクパターンとして決定する。さらに、S 1 0 4にて仮決定した照明形状パラメーターの値で規定される仮照明形状を、マスクを照明する際の照明形状（露光条件）として決定する。

20

30

40

【0014】

次に、本実施形態の特徴としてのS 1 0 4におけるパターンパラメーターの設定の流れ（S 2 0 1からS 2 0 6まで）の説明に先立ち、本実施形態の利点を明確にするために、参考としてS 2 0 1からS 2 0 6までの流れを考慮しない場合について説明する。特にここでは、近接効果に関わる結像特性（近隣のマスクパターンが評価位置の像に及ぼす影響

50

が中心パターンとその他のパターンとのCD (Critical Dimension) 差を指標とする場合を想定している。まず、第1比較例として、マスクの全変数を使用する場合について説明する。この第1比較例では、S101で設定される目標パターンは、一例として複数の同一な矩形パターンの配列を有するものとしている。図2は、第1比較例における目標パターンの形状や照明形状を示す概略平面図である。なお、この図2に示す各種条件は、後述する本実施形態における場合(S201からのパターンパラメータを設定を考慮する場合)にも適用されるものである。図2(a)は、目標パターンの形状を示す概略図である。目標パターンは、X方向に240nm、Y方向に160nmのピッチで、5×5の格子状に複数のパターン要素を有する。このうち1つのパターンは、X幅50nm、Y幅40nmの長方形で構成されている。図2(b)は、パターンパラメータの設定例を示す概略図である。マスクパターンに対しては、j行i列目の長方形のそれぞれの辺の長さ(X方向およびY方向の長さ) $PA(i, j)$ 、 $PB(i, j)$ {1 i 5、1 j 5} をパターンパラメータとして設定する。図2(c)は、マスクを照明する際の照明形状(照明形状の基本形状)を示す概略図である。ここでの照明形状は、図2(c)に示すように2重極形状であり、同一の強度を円周方向に有するとともに、開口角方向にも有している。この照明形状に対して、照明形状の外に Pa 、外と内との比 Pb 、および開口角 P を照明形状パラメータとして設定する。図2(d)は、照明形状における偏光方向を示す概略図である。ここでの偏光方向は、X偏光とする。

【0015】

また、パターンパラメータには、上記のとおり、デバイスの特性やマスクの製造性を考慮して制限範囲が設定される。例えば、パターンパラメータ PA 、 PB が小さすぎると、着目パターンが転写されない。一方、パターンパラメータ PA 、 PB の値を大きくし過ぎると、隣り合うパターン同士の間隔が狭くなり、所望の解像度が得られなくなる可能性がある。そこで、パターンの寸法、重ね合わせ精度、およびデバイスの許容度などに応じて、パターンパラメータの上限値および下限値を適切に設定する。同様に、照明形状パラメータにも、露光装置の性能やリソグラフィー特性を考慮して制限範囲が設定される。照明形状パラメータは、その形状を規定することが可能であっても、露光装置(照明光学系)がその形状を形成することが不可能であれば、その照明形状パラメータの値は、実用的ではない。そこで、露光装置が形成可能な範囲内で、照明形状パラメータの上限値および下限値を設定する。このような条件のもと、以下、図2(b)に示すマスクパターン、および図2(c)に示す照明形状において、露光光の波長を193nm、投影光学系の開口数(NA)を1.35とした場合のマスクパターンおよび照明形状の最適化について考える。

【0016】

まず、S102では、目標パターンに対応する仮パターンの像を評価するための評価位置を、図2(b)に示すように、評価位置 $EP1(i, j)$ 、 $EP2(i, j)$ {1 i 5、1 j 5} に設定する。ここで、評価位置 $EP1$ 、 $EP2$ における理想的な寸法(目標値)は、それぞれ50nm、40nmであり、その評価項目は、仮パターンの像寸法と目標寸法との差の二乗平均平方根 CD_RMS (nm) に設定する。また、パターンパラメータ PA 、 PB の制限範囲は、 $20\text{nm} < PA(i, j) < 100\text{nm}$ 、 $10\text{nm} < PB(i, j) < 90\text{nm}$ に設定する。さらに、照明形状パラメータの制限範囲は、 $0.7 < Pa < 0.95$ 、 $0.5 < Pb < 0.8$ 、 $0^\circ < P < 150^\circ$ に設定する。(表1)は、この場合のパターンパラメータ PA の割り当てを示し、一方、(表2)は、パターンパラメータ PB の割り当てを示す表である。このような設定において、パターンパラメータ PA 、 PB と、照明形状パラメータとからなるパラメータ空間($PA(i, j)$ 、 $PB(i, j)$ 、 Pa 、 Pb 、 P) {1 i 5、1 j 5} が構成される。

【0017】

【表 1】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	PA(1, 1)	PA(2, 1)	PA(3, 1)	PA(4, 1)	PA(5, 1)
j=2	PA(1, 2)	PA(2, 2)	PA(3, 2)	PA(4, 2)	PA(5, 2)
j=3	PA(1, 3)	PA(2, 3)	PA(3, 3)	PA(4, 3)	PA(5, 3)
j=4	PA(1, 4)	PA(2, 4)	PA(3, 4)	PA(4, 4)	PA(5, 4)
j=5	PA(1, 5)	PA(2, 5)	PA(3, 5)	PA(4, 5)	PA(5, 5)

【 0 0 1 8 】

10

【表 2】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	PB(1, 1)	PB(2, 1)	PB(3, 1)	PB(4, 1)	PB(5, 1)
j=2	PB(1, 2)	PB(2, 2)	PB(3, 2)	PB(4, 2)	PB(5, 2)
j=3	PB(1, 3)	PB(2, 3)	PB(3, 3)	PB(4, 3)	PB(5, 3)
j=4	PB(1, 4)	PB(2, 4)	PB(3, 4)	PB(4, 4)	PB(5, 4)
j=5	PB(1, 5)	PB(2, 5)	PB(3, 5)	PB(4, 5)	PB(5, 5)

【 0 0 1 9 】

ここで、最適化変数の削減効果を明確にするために、まず、変数の削減を行わずに 5 3 個の変数（パターンパラメータの変数は 5 0 個）を独立変数として滑降シンプレックス法を用いて同時に最適化を行った。図 3 は、この場合の評価項目値の減衰を示すグラフであり、最適化のために行った計算回数（回）に対する評価項目値である $CD_RMS(nm)$ を示している。特に 5 0 variable と表記しているものが、第 1 比較例に対応している。図 3 に示される結果からわかるとおり、第 1 比較例における評価項目値は、8 0 0 回の計算後でも減衰を続けており、収束までに多大な時間を要する。

20

【 0 0 2 0 】

さらに、第 2 比較例として、目標パターンにおける対称性を考慮して変数を使用する場合について説明する。一般的に最適化計算では、最適化変数を少なくすれば、収束が早くなる傾向が知られている。そこで、ここでは、参考として第 1 比較例と同様に S 2 0 1 から S 2 0 6 までの流れを考慮せず、パターンの物理的形状の対称性の情報を用いて変数の削減を行う場合について考える。このとき、パターンパラメータの削減策として、隣接する配置図形の繰り返しやミラー反転などの対称性を用いて変数を少なくすることが考えられる。例えば、図 2 (a) に示すようなパターン（群）のパターンパラメータは、対称性があるパターンに関しては、以下の式 (1) ~ (4) に示されるように共通の変数とすることで削減することができる。

$$PA(1, j) = PA(5, j) \quad (1)$$

$$PA(2, j) = PA(4, j) \quad (2)$$

$$PA(i, 1) = PA(i, 5) \quad (3)$$

$$PA(i, 2) = PA(i, 4) \quad (4)$$

30

40

【 0 0 2 1 】

ここで、(表 3) は、このように共通化した変数を用いた場合のパターンパラメータ PA の割り当てを示し、一方、(表 4) は、パターンパラメータ PB の割り当てを示す表である。(表 3) および (表 4) において、同じ変数名を有するパターンパラメータは、同一の数値となる。これらの表からわかるとおり、この場合のパターンパラメータは、1 8 個となり、照明形状パラメータの 3 個と合わせても 2 1 個の変数となる。そして、これら 2 1 個の変数（パターンパラメータの変数は 1 8 個）を独立変数として滑降シンプレックス法を用いて最適化を行った。この場合の評価項目値の減衰は、図 3 に示すグラフ中の 1 8 variable と表記しているものが該当する。また、このときのパターンパラメータ PA の決定値を (表 5) に、パターンパラメータ PB の決定値を (表

50

6) に示す。さらに、このときの照明形状パラメータの決定値としては、 P_a が 0.904 となり、 P_b が 0.637 となり、さらに P が 53° となる。

【 0 0 2 2 】

【表 3】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	PA(1, 1)	PA(2, 1)	PA(3, 1)	PA(2, 1)	PA(1, 1)
j=2	PA(1, 2)	PA(2, 2)	PA(3, 2)	PA(2, 2)	PA(1, 2)
j=3	PA(1, 3)	PA(2, 3)	PA(3, 3)	PA(2, 3)	PA(1, 3)
j=4	PA(1, 2)	PA(2, 2)	PA(3, 2)	PA(2, 2)	PA(1, 2)
j=5	PA(1, 1)	PA(2, 1)	PA(3, 1)	PA(2, 1)	PA(1, 1)

10

【 0 0 2 3 】

【表 4】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	PB(1, 1)	PB(2, 1)	PB(3, 1)	PB(2, 1)	PB(1, 1)
j=2	PB(1, 2)	PB(2, 2)	PB(3, 2)	PB(2, 2)	PB(1, 2)
j=3	PB(1, 3)	PB(2, 3)	PB(3, 3)	PB(2, 3)	PB(1, 3)
j=4	PB(1, 2)	PB(2, 2)	PB(3, 2)	PB(2, 2)	PB(1, 2)
j=5	PB(1, 1)	PB(2, 1)	PB(3, 1)	PB(2, 1)	PB(1, 1)

20

【 0 0 2 4 】

【表 5】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	75.1	74.9	65.3	74.9	75.1
j=2	60.5	75.3	59.6	75.3	60.5
j=3	69.8	60.6	54.1	60.6	69.8
j=4	60.5	75.3	59.6	75.3	60.5
j=5	75.1	74.9	65.3	74.9	75.1

【 0 0 2 5 】

【表 6】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	48.0	48.2	54.4	48.2	48.0
j=2	56.2	45.6	55.9	45.6	56.2
j=3	49.0	56.8	62.3	56.8	49.0
j=4	56.2	45.6	55.9	45.6	56.2
j=5	48.0	48.2	54.4	48.2	48.0

【 0 0 2 6 】

この第 2 比較例では、図 3 に示すように、第 1 比較例でのパターンパラメータをすべて独立変数とした場合よりも、最適化の収束が早くなる。参考として、(表 7) に、第 1 比較例および第 2 比較例における最適化の計算回数と $CD_RMS(nm)$ の値とを示す。

【 0 0 2 7 】

40

【表 7】

# of calc.	CD_RMS (nm)	
	50 variables	18 variables
200	20.5	11.5
400	11.4	4.5
600	7.1	1.2
800	6.4	1.1

【 0 0 2 8 】

このように、例えばテストパターンのような規則正しい配列を有するパターンに関しては、ミラー反転などの対称性を用いて、独立したパターンパラメーターを半分に削減することができる。しかしながら、第 2 比較例に示したような対称性を用いた変数の圧縮では、実際には（表 3）および（表 4）に掲げた 18 個以下にすることは難しい。また、テストパターンではなく、例えば、メモリーセル以外のデバイスパターンのようにランダムな配置となっているパターンの場合には、繰り返しや対称性のあるパターン群が少ないため、この方法でさらに効率的な変数の圧縮を行うのは難しい。すなわち、このような変数の圧縮は、パターン図形の対称性を考慮するだけでは、十分であるとはいえない。そこで、本実施形態では、以下に示すように、パターン図形の対称性の抽出に依存せずに最適化の変数を少なくする。

【 0 0 2 9 】

まず、図 1 の S 2 0 1 では、投影光学系の像面に形成される転写パターンの近接効果に関わる結像特性を評価するための評価位置（第 2 の評価位置）を設定する。ここでは、図 2（b）に示す評価位置 E P 1、E P 2 と同じ場所を、近接効果の評価位置として取り扱う。さらに、パターンパラメーター P A、P B がポリゴン図形の 1 辺なので、辺の両端の幅を評価対象とする。なお、パターンパラメーターがポリゴン図形のエッジ位置である場合には、像のシフト成分を評価対象とすることもできる。

【 0 0 3 0 】

次に、S 2 0 2 では、照明形状パラメーターや、評価位置での結像特性を用いて、近接効果に関わる結像特性を定義する。結像特性としては、例えば、ある照明での転写パターンのうちの着目パターンと参照パターン（中心パターン、図 2（a）では 3 行 3 列目のパターン要素）と像の寸法差（C D 差）が指標となり得る。または、2 つの照明（第 1 の照明および第 2 の照明）での同一評価位置での C D 差なども指標となり得る。このように、照明形状に関連して変化する結像特性が代表的な近接効果の指標となり得るが、指標は、これらに限定されるものではない。特に本実施形態では、照明形状パラメーターとして、 $P a = 0.91$ 、 $P b = 0.73$ 、 $P = 30^\circ$ と設定し、近接効果の各評価位置の C D 値 $C D_E P 1$ 、 $C D_E P 2$ を算出する。そして、式（5）および式（6）で得られる E P 1、E P 2 を近接効果にかかわる結像特性と定義する。

$$E P 1(i, j) = C D_E P 1(i, j) - C D_E P 1(3, 3) \quad (5)$$

$$E P 2(i, j) = C D_E P 2(i, j) - C D_E P 2(3, 3) \quad (6)$$

なお、一般的な結像特性の定義では、本実施形態で用いる照明形状パラメーターの設定値に限定しないが、最適化の際に設定範囲内となることが望ましい。

【 0 0 3 1 】

次に、S 2 0 3 では、近接効果のすべての評価位置での結像特性の値を、式（5）および式（6）で表される定義式に基づいて取得（算出）する。式（5）で表される定義式に基づいて取得された結像特性 E P 1 の計算結果を（表 8）に、式（6）で表される定義式に基づいて取得された結像特性 E P 2 の計算結果を（表 9）に示す。

【 0 0 3 2 】

【表 8】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	-11.1	-10.3	-9.9	-10.3	-11.1
j=2	-2.1	-1.6	-1.3	-1.6	-2.1
j=3	-0.6	-0.2	0.0	-0.2	-0.6
j=4	-2.1	-1.6	-1.3	-1.6	-2.1
j=5	-11.1	-10.3	-9.9	-10.3	-11.1

【 0 0 3 3 】

【表 9】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	-7.9	-7.1	-6.8	-7.1	-7.9
j=2	-1.9	-1.4	-1.1	-1.4	-1.9
j=3	-0.6	-0.2	0.0	-0.2	-0.6
j=4	-1.9	-1.4	-1.1	-1.4	-1.9
j=5	-7.9	-7.1	-6.8	-7.1	-7.9

【 0 0 3 4 】

次に、S 2 0 4 では、S 2 0 3 にて取得された結像特性を複数のグループにグルーピングするためのアルゴリズムを定義する。ここで定義されるものは、具体的には同一グループに入る結像特性の範囲である。まず、グルーピングのグループ数 n を設定する。このとき、グループ数 n は、予め数値を決定し、これを直接的に入力するものとしてもよいし、同一グループに入る結像特性の数値範囲を規定しておき、実際の結像特性からグループ数を算出し、決定してもよい。ここでは、グループ数 n を 8 とし、結像特性を E P 1 に対して 4 グループ、E P 2 に対して 4 グループの合計 8 グループにグルーピングするためのアルゴリズムを定義するものとする。さらに、ここで設定されるグループ数 n は、最適化で用いるパターンパラメータの独立変数の数に等しいものとしている。グルーピングは、結像特性の差が大きい程パターンパラメータの最適値が異なると仮定すると、同一グループ内では結像特性のばらつきが小さい方が望ましい。このことから、結像特性のグループごとの基準値とそれぞれの結像特性との差の二乗和が最小となるように、グループごとの基準値を算出する。具体的には、E P 1 に対して 4 グループに分ける場合には、グループの基準値を $X(k) \{k = 1, 2, 3, 4\}$ とし、式 (7) の E_x が最小になるような $X(k)$ の値を算出する。同様に、E P 2 に対して 4 グループに分ける場合には、グループの基準値を $Y(k) \{k = 1, 2, 3, 4\}$ とし、式 (8) の E_y が最小になるような $Y(k)$ の値を算出する。

【 0 0 3 5 】

【数 1】

$$E_x = \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^5 \text{Min}[(\Delta EP1(i, j) - X(1))^2, (\Delta EP1(i, j) - X(2))^2, (\Delta EP1(i, j) - X(3))^2, (\Delta EP1(i, j) - X(4))^2]$$

(7)

【 0 0 3 6 】

【数 2】

$$E_y = \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^5 \text{Min}[(\Delta EP2(i, j) - Y(1))^2, (\Delta EP2(i, j) - Y(2))^2, (\Delta EP2(i, j) - Y(3))^2, (\Delta EP2(i, j) - Y(4))^2]$$

(8)

10

20

30

40

50

【 0 0 3 7 】

ここで取得された $X(k)$ 、 $Y(k)$ の値を、(表 10) に示す。 $X(k)$ を基準値にもつグループを $G X(k)$ とし、一方、 $Y(k)$ を基準値にもつグループを $G Y(k)$ とすると、(表 11) に示すような範囲で分類したことと同じになる。各基準値は、各グループにおける平均値となっている。各グループの範囲の境界値は、隣りのグループの基準値との加算平均値となっている。例えば、 $G X(2)$ の下限値は、 $X(1)$ と $X(2)$ の加算平均値となっており、 $G X(2)$ の上限値は、 $X(2)$ と $X(3)$ の加算平均値となっている。なお、 $G X(1)$ の下限値と $G Y(1)$ の下限値は無限小、 $G X(4)$ の上限値と $G Y(4)$ の上限値は無限大となっている。

10

【 0 0 3 8 】

【表 10】

$X(1)$	-11.12	$Y(1)$	-7.92
$X(2)$	-10.14	$Y(2)$	-7.03
$X(3)$	-1.74	$Y(3)$	-1.54
$X(4)$	-0.32	$Y(4)$	-0.33

【 0 0 3 9 】

【表 11】

$-\infty$	$\leq GX(1) <$	-10.63
-10.63	$\leq GX(2) <$	-5.94
-5.94	$\leq GX(3) <$	-1.03
-1.03	$\leq GX(4) <$	∞
$-\infty$	$\leq GY(1) <$	-7.48
-7.48	$\leq GY(2) <$	-4.28
-4.28	$\leq GY(3) <$	-0.94
-0.94	$\leq GY(4) <$	∞

20

【 0 0 4 0 】

次に、S 205 では、S 203 にて取得された結像特性に S 204 の内容を適用し、実際の結像特性のグルーピングを行う。具体的には、 $X(k)$ および $Y(k)$ の値がグループの平均値になるようなグルーピングを行う。(表 8) に示す結像特性 EP 1 に対して実際にグルーピングを行ったものを(表 12)に、(表 9) に示す結像特性 EP 2 に対して実際にグルーピングを行ったものを(表 13)に示す。これらの表からわかるとおり、1つのグループ内を同一パラメーターとすると、50個のパターンパラメーターは、合計8個のパラメーターに圧縮される。

30

【 0 0 4 1 】

【表 12】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	$GX(1)$	$GX(2)$	$GX(2)$	$GX(2)$	$GX(1)$
j=2	$GX(3)$	$GX(3)$	$GX(3)$	$GX(3)$	$GX(3)$
j=3	$GX(4)$	$GX(4)$	$GX(4)$	$GX(4)$	$GX(4)$
j=4	$GX(3)$	$GX(3)$	$GX(3)$	$GX(3)$	$GX(3)$
j=5	$GX(1)$	$GX(2)$	$GX(2)$	$GX(2)$	$GX(1)$

40

【 0 0 4 2 】

【表 1 3】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	GY(1)	GY(2)	GY(2)	GY(2)	GY(1)
j=2	GY(3)	GY(3)	GY(3)	GY(3)	GY(3)
j=3	GY(4)	GY(4)	GY(4)	GY(4)	GY(4)
j=4	GY(3)	GY(3)	GY(3)	GY(3)	GY(3)
j=5	GY(1)	GY(2)	GY(2)	GY(2)	GY(1)

【 0 0 4 3】

10

なお、ここでは、グループの基準値 $X(k)$ 、 $Y(k)$ を変数に取ったが、これに限定されるものではない。例えば、式(9)および式(10)に示すように Dx および Dy を定義し、等差数列的に、式(11)および式(12)に示す $X(k)$ および $Y(k)$ と基準値を設定してもよい。

$$Dx = \{ \text{Max} (EP1) - \text{Min} (EP1) \} / 4 \quad (9)$$

$$Dy = \{ \text{Max} (EP2) - \text{Min} (EP2) \} / 4 \quad (10)$$

$$X(k) = (k - 1) \times Dx + \text{Min} (EP1) + Dx / 2 \quad (11)$$

$$Y(k) = (k - 1) \times Dy + \text{Min} (EP2) + Dy / 2 \quad (12)$$

【 0 0 4 4】

そして、S206では、同一のグループにグルーピングされた評価位置に相当するパターンパラメーターが従属変数（すなわち1つにまとめられた変数）になるものとして、パターンパラメーターを割り当てる。その後、図1のS105に移行する。

20

【 0 0 4 5】

図4は、図3に対応した、本実施形態における8個の独立したパターンパラメーターと3個の照明形状パラメーターとを用いた場合の評価項目値（結像特性の指標値）の減衰を示すグラフである。ここで、8 variableと表記しているものが、本実施形態に係る結果であり、参考として第2比較例の結果（18 variable）も併記している。また、このときのパターンパラメーターPAの決定値を（表14）に、パターンパラメーターPBの決定値を（表15）に示す。さらに、このときの照明形状パラメーターの決定値としては、Paが0.916となり、Pbが0.647となり、さらにPが102°となる。

30

【 0 0 4 6】

【表 1 4】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	36.6	40.7	40.7	40.7	36.6
j=2	72.1	72.1	72.1	72.1	72.1
j=3	66.1	66.1	66.1	66.1	66.1
j=4	72.1	72.1	72.1	72.1	72.1
j=5	36.6	40.7	40.7	40.7	36.6

40

【 0 0 4 7】

【表 1 5】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	44.8	41.0	41.0	41.0	44.8
j=2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2
j=3	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9
j=4	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2
j=5	44.8	41.0	41.0	41.0	44.8

【 0 0 4 8 】

10

本実施形態では、図 4 に示すように、第 2 比較例での 18 個の独立したパターンパラメータを用いた場合よりも、最適化の収束が早くなる。参考として、(表 1 6) に、第 2 比較例および本実施形態における最適化の計算回数と CD_RMS (nm) の値とを示す。

【 0 0 4 9 】

【表 1 6】

# of calc.	CD_RMS (nm)	
	18 variables	8 variables
200	11.5	1.2
400	4.5	1.2
600	1.2	1.2
800	1.1	1.1

20

【 0 0 5 0 】

このように、本実施形態に係る決定方法は、まず、パターンを十分な精度で基板に形成することが可能なマスクパターンと、マスクを照明する際の照明形状との両方を同時に最適化(決定)することができる。さらに、この決定方法は、着目パターンと参照パターンとの像の CD 差を近接効果に関わる結像特性の指標と定義し、この指標に基づいてグルーピングしたパターンパラメータを用いることで、従来よりも少ない計算回数で効率的に最適解を導くことができる。例えば、従来の対称性を用いた変数の圧縮では、その圧縮数に限界があるが、本実施形態では、対称性に依存せずに効果的に最適化の独立変数を削減できる。そして、この決定方法は、メモリーセル以外のデバイスパターンのようにランダムな配置のパターン(比較的図形数が多いパターン)で、最初のパターンパラメータの数が多い場合の最適化において、収束時間を短縮させる上で特に有利となり得る。

30

【 0 0 5 1 】

以上のように、本実施形態によれば、パターンを高精度で基板上に形成することが可能なマスクパターンおよび露光条件を効率的に決定し得る方法、および、このような処理を情報処理装置に実行させるプログラムを提供することができる。

【 0 0 5 2 】

40

(第 2 実施形態)

次に、本発明の第 2 実施形態に係るマスクパターンおよび露光条件の決定方法について説明する。第 1 実施形態では、近接効果に関わる結像特性が、中心パターン(参照パターン)と、評価値を計算するために着目しているその他の着目パターンとの像の CD 差である場合を想定した。これに対して、本実施形態では、その結像特性を別の定義とする点が第 1 実施形態と異なり、特に、ここでは、近接効果に関わる結像特性が 2 つの照明(第 1 の照明および第 2 の照明)の CD 差である場合を想定する。そして、第 1 実施形態と同様に、図 2 (b) に示すマスクパターンと図 2 (c) に示す照明形状とを用い、かつ近接効果の評価位置も同様として目標寸法に近づくようなパラメータの決定を行う。以下、第 1 実施形態の説明にて使用した図 1 の各ステップを参照して決定方法の手順を説明する。

50

なお、以下の説明で触れられていない図 1 の残りのステップについては、第 1 実施形態と同一である。

【 0 0 5 3 】

まず、照明形状パラメーターが、 $P_a = 0.91$ 、 $P_b = 0.73$ 、 $P = 30^\circ$ のときの近接効果の評価位置 $EP1(i, j)$ の CD 値を $CD1_EP1(i, j)$ 、近接効果の評価位置 $EP2(i, j)$ の CD 値を $CD1_EP2(i, j)$ とする。一方、照明形状パラメーターが、 $P_a = 0.95$ 、 $P_b = 0.73$ 、 $P = 30^\circ$ のときの近接効果の評価位置 $EP1(i, j)$ の CD 値を $CD2_EP1(i, j)$ 、近接効果の評価位置 $EP2(i, j)$ の CD 値を $CD2_EP2(i, j)$ とする。この場合、図 1 の S 2 0 2 では、近接効果に関わる結像特性 $EP1$ 、 $EP2$ を、以下の式 (1 3) および式 (1 4) のように定義する。

$$EP1(i, j) = CD2_EP1(i, j) - CD1_EP1(i, j) \quad (13)$$

$$EP2(i, j) = CD2_EP2(i, j) - CD1_EP2(i, j) \quad (14)$$

【 0 0 5 4 】

次に、S 2 0 3 では、近接効果のすべての評価位置での結像特性を、式 (1 3) および式 (1 4) で表される定義式に基づいて取得 (算出) する。式 (1 3) で表される定義式に基づいて取得された結像特性 $EP1$ の結果を (表 1 7) に、式 (1 4) で表される定義式に基づいて取得された結像特性 $EP2$ の結果を (表 1 8) に示す。

【 0 0 5 5 】

【表 1 7】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	-0.5	-1.4	-1.4	-1.4	-0.5
j=2	0.3	-0.4	-0.5	-0.4	0.3
j=3	-1.1	-1.9	-2.0	-1.9	-1.1
j=4	0.3	-0.4	-0.5	-0.4	0.3
j=5	-0.5	-1.4	-1.4	-1.4	-0.5

【 0 0 5 6 】

【表 1 8】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	0.0	-0.7	-0.7	-0.7	0.0
j=2	1.6	1.0	0.9	1.0	1.6
j=3	0.7	0.1	0.0	0.1	0.7
j=4	1.6	1.0	0.9	1.0	1.6
j=5	0.0	-0.7	-0.7	-0.7	0.0

【 0 0 5 7 】

次に、S 2 0 4 では、S 2 0 3 にて取得された結像特性を複数のグループにグループングするためのアルゴリズムを定義する。ここでは、グループ数 n を 10 とし、結像特性を $EP1$ に対して 5 グループ、 $EP2$ に対して 5 グループの合計 10 グループにグループングするためのアルゴリズムを定義するものとする。そして、 $EP1$ に対して 5 グループに分ける場合には、グループの基準値を $X(k) \{k = 1, 2, 3, 4, 5\}$ とし、式 (7) の E_x が最小になるような $X(k)$ の値を算出する。同様に、 $EP2$ に対して 5 グループに分ける場合には、グループの基準値を $Y(k) \{k = 1, 2, 3, 4, 5\}$ とし、式 (8) の E_y が最小になるような $Y(k)$ の値を算出する。すなわち、グループングのアルゴリズムは、第 1 実施形態と同一としている。ここで取得された $X(k)$ 、 $Y(k)$ の値を、(表 1 9) に示す。 $X(k)$ を基準値とするグループを $G_X(k)$ とし、

一方、 $Y(k)$ を基準値とするグループを $GY(k)$ とすると、(表 20) に示すような範囲で分類したことと同じになる。各基準値は、各グループにおける平均値となっている。各グループの範囲の境界値は、隣りのグループの基準値との加算平均値となっている。
第 1 実施形態と同様である。

【 0 0 5 8 】

【表 19】

X(1)	-1.96	Y(1)	-0.69
X(2)	-1.43	Y(2)	0.01
X(3)	-1.11	Y(3)	0.75
X(4)	-0.49	Y(4)	0.98
X(5)	0.30	Y(5)	1.58

10

【 0 0 5 9 】

【表 20】

$-\infty$	$\leq GX(1) <$	-1.69
-1.69	$\leq GX(2) <$	-1.27
-1.27	$\leq GX(3) <$	-0.8
-0.8	$\leq GX(4) <$	-0.09
-0.09	$\leq GX(5) <$	∞
$-\infty$	$\leq GY(1) <$	-0.34
-0.34	$\leq GY(2) <$	0.38
0.38	$\leq GY(3) <$	0.87
0.87	$\leq GY(4) <$	1.28
1.28	$\leq GY(5) <$	∞

20

【 0 0 6 0 】

次に、S 205 では、S 203 にて取得された結像特性に S 204 の内容を適用し、実際の結像特性のグルーピングを行う。本実施形態においても、 $X(k)$ および $Y(k)$ の値がグループの平均値になるようなグルーピングを行う。(表 17) に示す結像特性 E P 1 に対して実際にグルーピングを行ったものを、(表 21) に、(表 18) に示す結像特性 E P 2 に対して実際にグルーピングを行ったものを(表 22) に示す。これらの表からわかるとおり、1 つのグループ内を同一パラメータとすると、50 個のパターンパラメータは、合計 10 個のパラメータに圧縮される。

30

【 0 0 6 1 】

【表 21】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	GX(4)	GX(2)	GX(2)	GX(2)	GX(4)
j=2	GX(5)	GX(4)	GX(4)	GX(4)	GX(5)
j=3	GX(3)	GX(1)	GX(1)	GX(1)	GX(3)
j=4	GX(5)	GX(4)	GX(4)	GX(4)	GX(5)
j=5	GX(4)	GX(2)	GX(2)	GX(2)	GX(4)

40

【 0 0 6 2 】

【表 2 2】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	GY(2)	GY(1)	GY(1)	GY(1)	GY(2)
j=2	GY(5)	GY(4)	GY(4)	GY(4)	GY(5)
j=3	GY(3)	GY(2)	GY(2)	GY(2)	GY(3)
j=4	GY(5)	GY(4)	GY(4)	GY(4)	GY(5)
j=5	GY(2)	GY(1)	GY(1)	GY(1)	GY(2)

【0063】

10

そして、S206では、同一グループに分類された評価位置に相当するパターンパラメーターを従属変数としてパターンパラメーターを割り当て、その後、S105に移行することについては、第1実施形態と同様である。

【0064】

図5は、図4に対応した、本実施形態における10個の独立したパターンパラメーターと3個の照明形状パラメーターとを用いた場合の評価項目値（結像特性の指標値）の減衰を示すグラフである。ここで、10 variableと表記しているものが本実施形態に係る結果であり、参考として第2比較例の結果（18 variable）も併記している。また、このときのパターンパラメーターPAの決定値を（表23）に、パターンパラメーターPBの決定値を（表24）に示す。さらに、このときの照明形状パラメーターの決定値としては、Paが0.873となり、Pbが0.728となり、さらにP が74°となる。

20

【0065】

【表 2 3】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	51.5	46.9	46.9	46.9	51.5
j=2	39.2	51.5	51.5	51.5	39.2
j=3	73.5	50.3	50.3	50.3	73.5
j=4	39.2	51.5	51.5	51.5	39.2
j=5	51.5	46.9	46.9	46.9	51.5

30

【0066】

【表 2 4】

	i=1	i=2	i=3	i=4	i=5
j=1	48.8	51.6	51.6	51.6	48.8
j=2	55.4	47.7	47.7	47.7	55.4
j=3	40.4	48.8	48.8	48.8	40.4
j=4	55.4	47.7	47.7	47.7	55.4
j=5	48.8	51.6	51.6	51.6	48.8

40

【0067】

本実施形態でも、図5に示すように、第2比較例での18個の独立したパターンパラメーターを用いた場合よりも、最適化の収束が早くなる。参考として、（表25）に、第2比較例および本実施形態における最適化の計算回数とCD_RMS（nm）の値とを示す。

【0068】

【表 2 5】

# of calc.	CD_RMS (nm)	
	18 variables	10 variables
200	11.5	1.8
400	4.5	1.3
600	1.2	1.2
800	1.1	1.2

【 0 0 6 9 】

10

このように、本実施形態に係る決定方法では、2つの照明のCD差を近接効果に関わる結像特性の指標と定義し、この指標によりグルーピングしたパターンパラメータを用いることで、第1実施形態と同様の効果を奏する。

【 0 0 7 0 】

(第3実施形態)

次に、本発明の第3実施形態に係るマスクパターンおよび露光条件の決定方法について説明する。上記各実施形態では、独立した最適化変数をグルーピングにより減少させることで、最適化の収束を早める。このとき、変数の自由度をさらに上げることができれば、最終的な解の到達点をさらに良好にする(最良解を取得する)ことができる。そこで、本実施形態では、最適化の収束を早めるとともに、図1に示す上記各実施形態に係る決定方法に新たなステップを追加することで、到達解を最良解に近づける。

20

【 0 0 7 1 】

図6は、図1に対応した、本実施形態に係る決定方法の手順を示すフローチャートである。図6において、図1に示すステップと同一ステップについては同一のステップ番号を付し、説明を省略する。ここでは、特に、S102で設定された評価位置での評価項目を取得する工程(S107)と、この評価項目の値が評価基準を満たすかどうかを判断する工程(S108)との間に、S301として、規定の計算回数を経過したかどうかを判断する工程を含む。さらに、S301にて計算回数が規定数を超過していないと判定した場合には(YES)、S302として、グループ数nを変更する(増やす)工程を含む。この場合、まず、最初のグループ数nを予め設定してパターンパラメータと照明形状パラメータとの最適化を開始する。そして、計算回数が規定数(例えば20回)を超えていない場合、S302に移行し、グループ数を増やす。このS302では、例えば、1回目は2個、2回目は4個、3回目は8個、4回目は16個というように徐々に増加させ、それ以降、同様に最適化を続ける。ここで、近接効果に関わる結像特性を求める際の照明形状パラメータは、直前の最適化で得られたものを適用するものとする。さらに、パターンパラメータも、最適解で得られたものを初期値として適用する。このように、本実施形態によれば、段階的にパターンパラメータの数が増えるため、最適化の中でそれぞれの最適化の初期値が最良解に近い値を使用(入力)できる。したがって、最適化の収束がさらに早まり、かつ、最終的には全変数を独立パラメータにすることができ、到達解も最良解となる。

30

40

【 0 0 7 2 】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明は、これらの実施形態に限定されず、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。

【符号の説明】

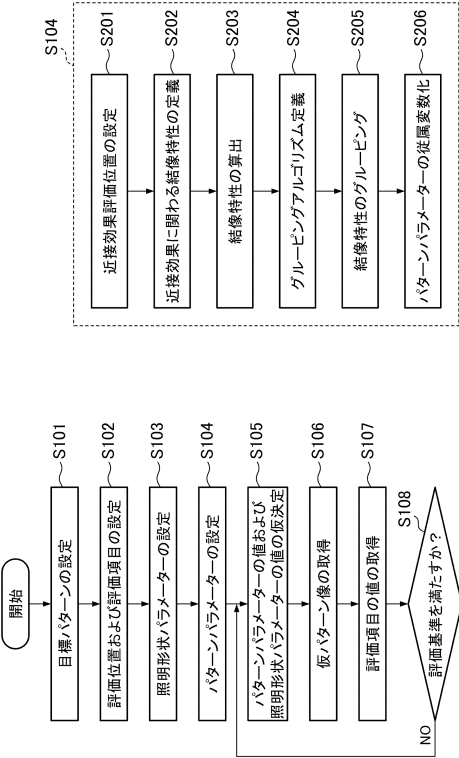
【 0 0 7 3 】

- E P 1 評価位置
- E P 2 評価位置
- P A パターンパラメータ
- P B パターンパラメータ
- P a 照明形状パラメータ

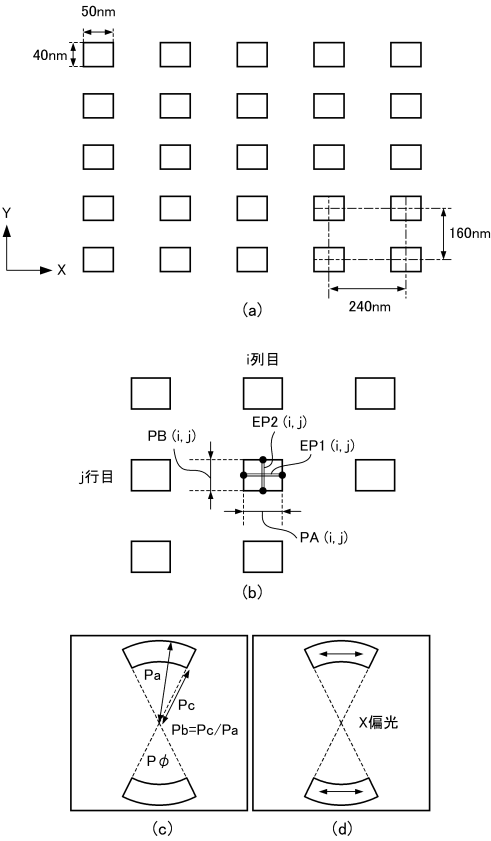
50

P b 照明形状パラメーター
P 照明形状パラメーター

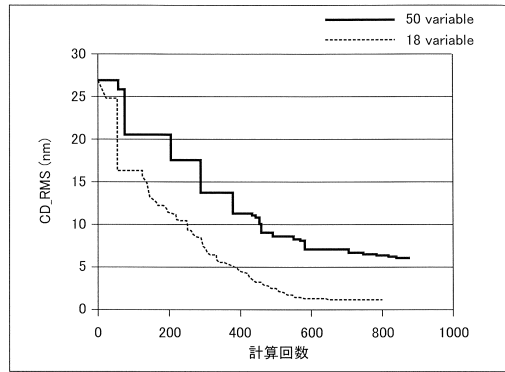
【 図 1 】



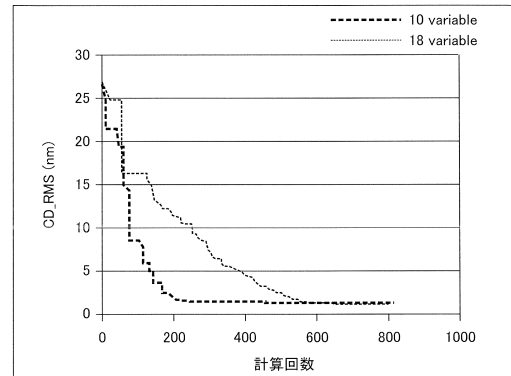
【 図 2 】



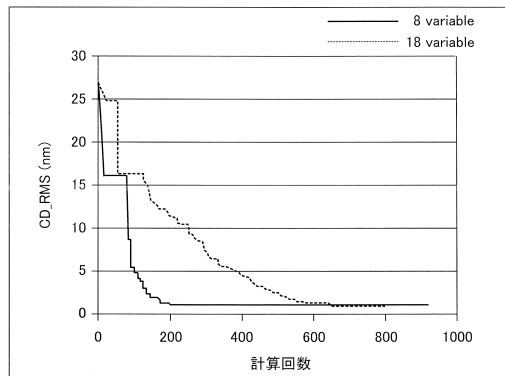
【図 3】



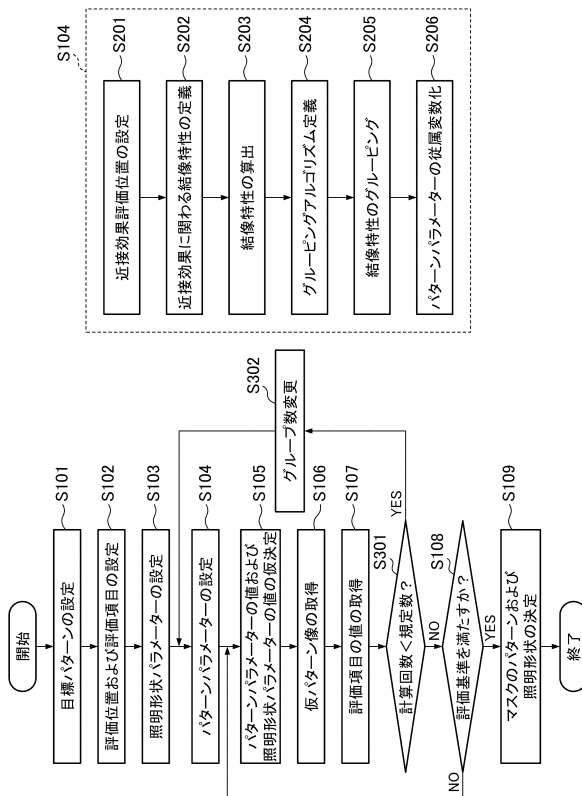
【図 5】



【図 4】



【図 6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2002-329658(JP,A)
特開2004-077837(JP,A)
特開2005-049403(JP,A)
特開2007-086586(JP,A)
特開2009-020393(JP,A)
特開2011-095729(JP,A)
特開2011-100122(JP,A)
米国特許出願公開第2012/0208111(US,A1)

(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