

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5215812号
(P5215812)

(45) 発行日 平成25年6月19日 (2013. 6. 19)

(24) 登録日 平成25年3月8日 (2013. 3. 8)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006. 01)

H O 1 L 21/30 5 1 6 Z

G O 3 F 7/20 (2006. 01)

G O 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 10 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2008-278611 (P2008-278611)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成20年10月29日 (2008. 10. 29)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2010-109088 (P2010-109088A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成22年5月13日 (2010. 5. 13)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成22年12月10日 (2010. 12. 10)		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
		(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】 照明条件の決定方法、プログラム、露光方法及びデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

露光装置によりレチクルのパターンを基板に転写して基板をパターンニングするリソグラフィ工程における前記レチクルの照明条件を決定する決定方法であって、

前記レチクルを用いて基板に形成するべき目標パターンを設定する設定工程と、

前記レチクルと第1照明条件を用いる露光を経て基板に転写された第1パターンのデータを取得する取得工程と、

照明条件と当該照明条件を用いて基板に転写される仮想のパターンとの関係を規定する数学的モデルを用いて、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写させる仮想の第2照明条件と、前記レチクルを用いて前記第1パターンを基板に転写させる仮想の第3照明条件とを算出する算出工程と、

前記算出された第2照明条件と第3照明条件との差分を前記第1照明条件に加えた第4照明条件を、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写する照明条件として決定する決定工程と、

を含むことを特徴とする決定方法。

【請求項 2】

前記算出工程は、前記目標パターンの輪郭とのずれが許容範囲内となる露光量及びデフォーカス量の少なくともいずれかの範囲の大きさが最大になる前記第2照明条件を算出する工程、および、前記第1パターンの輪郭とのずれが許容範囲内となる露光量及びデフォーカス量の少なくともいずれかの範囲の大きさが最大になる前記第3照明条件を算出する

10

20

工程のうち少なくとも一方を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の決定方法。

【請求項 3】

前記設定工程でフォーカス条件が互いに異なる複数の目標パターンを設定し、前記取得工程で前記複数のフォーカス条件で複数の第 1 パターンのデータを取得し、前記算出工程で、前記複数のフォーカス条件のそれぞれについて前記第 2 照明条件と前記第 3 照明条件とを算出し、前記決定工程で、前記複数のフォーカス条件のそれぞれにおける複数の第 4 照明条件に基づいて、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写する照明条件を決定することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の決定方法。

【請求項 4】

露光装置によりレチクルのパターンを基板に転写して基板をパターンニングするリソグラフィ工程における前記レチクルの照明条件を決定する決定方法であって、

前記レチクルを用いて基板に形成すべき目標パターンを設定する設定工程と、

前記レチクルと第 1 照明条件を用いる露光を経て基板に転写された第 1 パターンのデータを取得する取得工程と、

照明条件と当該照明条件を用いて基板に転写される仮想のパターンとの関係を規定する数学的モデルを用いて、前記レチクルと前記第 1 照明条件を用いる露光を経て基板に転写される仮想の第 2 パターンを算出する第 2 算出工程と、

前記レチクルを用いる露光を経て、前記目標パターンと前記第 1 パターンとの差分を前記算出された第 2 パターンに加えた仮想の第 3 パターンを基板に転写させる仮想の第 5 照明条件を、前記モデルを用いて算出する第 3 算出工程と、

前記算出された第 5 照明条件を、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写する照明条件として決定する決定工程と、

を含むことを特徴とする決定方法。

【請求項 5】

前記第 3 算出工程で、前記第 3 パターンの輪郭とのずれが許容範囲内となる露光量及びデフォーカス量の少なくともいずれかの範囲の大きさを評価して、前記範囲の大きさが最大になる前記第 5 照明条件を算出することを特徴とする請求項 4 に記載の決定方法。

【請求項 6】

前記設定工程でフォーカス条件が互いに異なる複数の目標パターンを設定し、前記取得工程で前記複数のフォーカス条件で複数の第 1 パターンのデータを取得し、前記第 3 算出工程で前記複数のフォーカス条件のそれぞれについて前記第 5 照明条件を算出し、前記決定工程で、前記複数のフォーカス条件のそれぞれにおける複数の第 5 照明条件に基づいて、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写する照明条件を決定することを特徴とする請求項 4 又は請求項 5 に記載の決定方法。

【請求項 7】

露光装置によりレチクルのパターンを基板に転写して基板をパターンニングするリソグラフィ工程における前記レチクルの照明条件を決定する処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、

前記レチクルを用いて基板に形成すべき目標パターンを設定する設定ステップと、

前記レチクルと第 1 照明条件を用いる露光を経て基板に転写された第 1 パターンのデータを取得する取得ステップと、

照明条件と当該照明条件を用いて基板に転写される仮想のパターンとの関係を規定する数学的モデルを用いて、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写させる仮想の第 2 照明条件と、前記レチクルを用いて前記第 1 パターンを基板に転写させる仮想の第 3 照明条件とを算出する算出ステップと、

前記算出された第 2 照明条件と第 3 照明条件との差分を前記第 1 照明条件に加えた第 4 照明条件を、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写する照明条件として決定する決定ステップと、

を含むことを特徴とするプログラム。

【請求項 8】

露光装置によりレチクルのパターンを基板に転写して基板をパターニングするリソグラフィ工程における前記レチクルの照明条件を決定する処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、

前記レチクルを用いて基板に形成するべき目標パターンを設定する設定ステップと、

前記レチクルと第 1 照明条件を用いる露光を経て基板に転写された第 1 パターンのデータを取得する取得ステップと、

照明条件と当該照明条件を用いて基板に転写される仮想のパターンとの関係を規定する数学的モデルを用いて、前記レチクルと前記第 1 照明条件を用いる露光を経て基板に転写される仮想の第 2 パターンを算出する第 2 算出ステップと、

前記レチクルを用いる露光を経て、前記目標パターンと前記第 1 パターンとの差分を前記算出された第 2 パターンに加えた仮想の第 3 パターンを基板に転写させる仮想の第 5 照明条件を、前記モデルを用いて算出する第 3 算出ステップと、

前記算出された第 5 照明条件を、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写する照明条件として決定する決定ステップと、
を含むことを特徴とするプログラム。

【請求項 9】

露光装置によりレチクルのパターンを基板に転写して基板を露光する露光方法であって、

請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の決定方法を用いて決定された照明条件を用いて基板を露光する露光方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の露光方法で基板を露光する工程と、

前記工程で露光された基板を現像する工程と、
を含むデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体デバイス製造に係るリソグラフィ工程における照明条件の決定方法、プログラム、露光方法及びデバイス製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体製造のリソグラフィ現場ではレチクル（マスク）を用い、所定のパターニングを行っている。しかし、新規の露光装置を導入した場合、その性能が既存の露光装置と同一ではないので、従来と同じ転写パターンを得るためには、その新規の露光装置を調整する必要がある。

【0003】

また、デバイス特性の向上のために、現状の転写パターンを若干変更させる必要性が出てくることがある。本来はレチクルを再作成するべきであるが、わずかな変更のために高価なレチクルを再作成するのではなく、露光装置を調整することにより目標パターンを形成することが望まれる。

【0004】

基板（ウエハ）上のパターン形状に影響を与える露光パラメータとして、照明強度の分布、レンズの NA、レンズの収差、光源の波長幅等があるが、最も影響を与える露光パラメータは照明形状等の照明条件である。NAも影響力があるが、パラメータが数値一つであるため、部分的な調整が困難であるし、解像性を変化させてしまう。収差も影響力を持つが、最新の露光装置ではその量が小さく、寄与率は小さい。よって、照明条件を調整して、目的を達成するのが一般的である。

【0005】

転写パターンをある目標値に変形させる作業法には以下の二つの手法がある。以下の説明において照明形状は一般的に数値パラメータで表現することができることを前提にして

10

20

30

40

50

いる。例えば、輪帯照明の場合は外、内 で表現される。

【 0 0 0 6 】

〔 手法 1 〕

最初に評価点毎に各照明形状パラメータの変化に対する寸法の変化率（以下、「敏感度」と呼ぶ。）を求める。そして各評価点の現状から目標への寸法変化量を敏感度で割って各照明形状パラメータの変化させるべき値を求める。この場合、寸法の変化量は通常数nmレベルであり、この範囲では線形であると仮定しても大きな誤差にはならない。また、敏感度を求めるにあたり、光学像の計算で行うのが簡便であるが、実験値と差が発生するため、実際に照明条件を微小変化させて、寸法を測定するという手法をとる。この手法は、非特許文献 1 に示されている。

10

【 0 0 0 7 】

〔 手法 2 〕

ある照明条件においてウエハ上のパターンの輪郭を計算し、その輪郭とパターン調整を行う複数場所での目標値との差分からなる集合のrms (root mean square) 又は最大値を求める。そしてこれを指標値とする。次に照明条件を若干変更し、その指標値を求める。これを照明条件空間内で繰り返し、指標値が最小になる照明条件を求める。求める方法としては遺伝アルゴリズム法やモンテカルロ法等の数学的手法を用いる。この手法は、非特許文献 2 に示されている。

【 0 0 0 8 】

ウエハ上のパターンは光学像の計算又はレジスト像の計算によって行われるが、本分野では実験との整合が必要であるため、基本的にはレジスト像の計算を用いる。

20

【 0 0 0 9 】

レジスト像の計算には、物理的に厳密に計算するものと、実験値と光学像計算との相関からレジスト計算するものとがあるが、前者は計算時間が長いという問題点を有しているため、本発明では後述の特徴を有した計算時間が早い後者を使用する。

【 0 0 1 0 】

ここでそのレジスト像を用いる計算方法を説明する。まず実験による転写、測定を行うパターンとして単純ラインアンドスペースやライン端からなるモデル抽出パターンを数種選定する。パターン種は数種であるが、それぞれの線幅、スペース幅、ライン端幅は数 10~100種ある。

30

【 0 0 1 1 】

これらの重要箇所に対し、光学像からログスロープ (image log slope: ILS) と曲率 (curvature) を計算する。ILSは下記の式で定義される。

$ILS = d \ln(I) / dx$ (Iは光強度、xは位置)

curvatureは輪郭を小分割し、それぞれの曲線を円の一部分でフィッティングし、その半径をcurvatureとする。そして、その箇所の実験値と光学像計算値の寸法差分 を下記の式で表現する。

$= a \times Curvature + b \times ILS + c$ (a、b、cは定数)

これらを実験点全てに対してフィッティングを行い、a、b、cを決定する。この関係式を構築することをモデル構築と呼ぶ。これが決定されればパターンの任意の場所で、光学像から ILSとcurvatureを計算することにより上記差分を決定し、それからレジストパターン寸法が算出される。

40

【非特許文献 1】Proc. of SPIE、 Vol. 6924、 69241Q 1-12

【非特許文献 2】進化計算研究会 進化計算シンポジウム 2007講演論文集(2007.12.27~28 北海道洞爺湖)、小林重信「実数値GAのブレイクスルーに向けて」

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 2 】

手法 1 においては、評価点が複数の場合、各評価点から求められた照明条件の最適解が異なる場合があり、その場合は、平均化処理や重み付け処理等を行う。しかし、その処理

50

には、物理学的な根拠に基づかないことが多いので、全評価点における総合的なマッチング精度が劣化する。さらには複数存在する照明条件の寄与率も規定する必要がある。これらの処理も物理学的な根拠に基づかないことが多いので、全評価点における総合的なマッチング精度が劣化する。

【 0 0 1 3 】

手法 2 においては、転写パターンを目標値に最も近づける照明条件を数学的に求めている。そのため、算出された解は完全であるはずであるが、数学的处理で使用しているレジスト計算の誤差、照明条件の数値定義と実際の露光装置の設定とのズレ等により、本方法で算出した結果を実際に適用しても誤差が発生する。

【 0 0 1 4 】

以上のような背景を踏まえ、本発明は、基板をパターンニングするリソグラフィ工程におけるレチクルの照明条件を高精度かつ容易に決定することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 5 】

本発明の第 1 の側面は、露光装置によりレチクルのパターンを基板に転写して基板をパターンニングするリソグラフィ工程における前記レチクルの照明条件を決定する決定方法であって、前記レチクルを用いて基板に形成すべき目標パターンを設定する設定工程と、前記レチクルと第 1 照明条件を用いる露光を経て基板に転写された第 1 パターンのデータを取得する取得工程と、照明条件と当該照明条件を用いて基板に転写される仮想のパターンとの関係を規定する数学的モデルを用いて、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写させる仮想の第 2 照明条件と、前記レチクルを用いて前記第 1 パターンを基板に転写させる仮想の第 3 照明条件とを算出する算出工程と、前記算出された第 2 照明条件と第 3 照明条件との差分を前記第 1 照明条件に加えた第 4 照明条件を、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写する照明条件として決定する決定工程と、を含むことを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

本発明の第 2 の側面は、露光装置によりレチクルのパターンを基板に転写して基板をパターンニングするリソグラフィ工程における前記レチクルの照明条件を決定する決定方法であって、前記レチクルを用いて基板に形成すべき目標パターンを設定する設定工程と、前記レチクルと第 1 照明条件を用いる露光を経て基板に転写された第 1 パターンのデータを取得する取得工程と、照明条件と当該照明条件を用いて基板に転写される仮想のパターンとの関係を規定する数学的モデルを用いて、前記レチクルと前記第 1 照明条件を用いる露光を経て基板に転写される仮想の第 2 パターンを算出する第 2 算出工程と、前記レチクルを用いる露光を経て、前記目標パターンと前記第 1 パターンとの差分を前記算出された第 2 パターンに加えた仮想の第 3 パターンを基板に転写させる仮想の第 5 照明条件を、前記モデルを用いて算出する第 3 算出工程と、前記算出された第 5 照明条件を、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写する照明条件として決定する決定工程と、を含むことを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

本発明の第 3 の側面は、露光装置によりレチクルのパターンを基板に転写して基板をパターンニングするリソグラフィ工程における前記レチクルの照明条件を決定する処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、前記レチクルを用いて基板に形成すべき目標パターンを設定する設定ステップと、前記レチクルと第 1 照明条件を用いる露光を経て基板に転写された第 1 パターンのデータを取得する取得ステップと、照明条件と当該照明条件を用いて基板に転写される仮想のパターンとの関係を規定する数学的モデルを用いて、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写させる仮想の第 2 照明条件と、前記レチクルを用いて前記第 1 パターンを基板に転写させる仮想の第 3 照明条件とを算出する算出ステップと、前記算出された第 2 照明条件と第 3 照明条件との差分を前記第 1 照明条件に加えた第 4 照明条件を、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写する照明条件として決定する決定ステップと、を含むことを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

本発明の第 4 の側面は、露光装置によりレチクルのパターンを基板に転写して基板をパターンニングするリソグラフィ工程における前記レチクルの照明条件を決定する処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、前記レチクルを用いて基板に形成すべき目標パターンを設定する設定ステップと、前記レチクルと第 1 照明条件を用いる露光を経て基板に転写された第 1 パターンのデータを取得する取得ステップと、照明条件と当該照明条件を用いて基板に転写される仮想のパターンとの関係を規定する数学的モデルを用いて、前記レチクルと前記第 1 照明条件を用いる露光を経て基板に転写される仮想の第 2 パターンを算出する第 2 算出ステップと、前記レチクルを用いる露光を経て、前記目標パターンと前記第 1 パターンとの差分を前記算出された第 2 パターンに加えた仮想の第 3 パターンを基板に転写させる仮想の第 5 照明条件を、前記モデルを用いて算出する第 3 算出ステップと、前記算出された第 5 照明条件を、前記レチクルを用いて前記目標パターンを基板に転写する照明条件として決定する決定ステップと、を含むことを特徴とする。

10

【発明の効果】

【 0 0 1 9 】

本発明によれば、基板をパターンニングするリソグラフィ工程におけるレチクルの照明条件を高精度かつ容易に決定することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 0 】

露光装置によりレチクルのパターンを基板に転写して基板をパターンニングするリソグラフィ工程におけるレチクルの照明条件を決定する決定方法について、以下説明する。なお、照明条件には、照明（投影）光学系の瞳面における光強度分布（有効光源）が含まれる。

20

【 0 0 2 1 】

[実施例 1]

まず、概念的な説明を図 1 Aで行う。図 1 Aにおける点線は、レチクルを用い第 1 照明条件 Aで実際に露光を経て基板に転写された第 1 パターン（転写パターン）であり、実線は、レチクルを変えないで基板に形成すべき目標パターンである。求めるものは、同一のレチクルを用いて基板に目標パターンを転写する照明条件 Bである。ここで、図 1 Bに示されるように、異なるピッチを有した複数のラインからなる複数種類（図 1 Aでは 9 種類）のレチクルのパターンが使用される。転写パターンにおける各パターン中の中心に位置するラインの寸法が図 1 A中の縦軸に表示されている。

30

【 0 0 2 2 】

照明条件 Aで転写された転写パターン[寸法 M_i ; $i=1, \dots, n$]（図 1 中の点線）を再現する仮想の第 3 照明条件を、数学的モデルを用いて算出し、算出された第 3 照明条件を A'とする。第 3 照明条件 A'は、第 1 パターンを基板に転写させる仮想の照明条件である。通常、第 1 照明条件 Aと仮想の第 3 照明条件 A'とは、レジスト計算の誤差、照明形状の数値定義と実際の露光装置での設定とのズレ等により完全には一致しない。

【 0 0 2 3 】

次に目標パターン[寸法; L_i]（図 1 中の実線）を再現する仮想の第 2 照明条件を、数学的モデルを用いて算出し、算出された第 2 照明条件を B'とする。第 2 照明条件 B'は、目標パターンを基板に転写させる仮想の照明条件である。上述したように、レジスト計算の誤差、照明形状の数値定義と実際の露光装置での設定とのズレ等により、第 2 照明条件 B'は、目標パターンをそのまま実現する照明条件 Bとはなりえない。

40

【 0 0 2 4 】

仮想の第 3 照明条件 A'、第 2 照明条件 B'を算出するのに使用される数学的モデルは、モデル抽出用の照明条件と、当該照明条件を用いて基板に転写される仮想のパターンとの関係を規定するモデルであり、例えばレジスト計算モデルである。レジスト計算の誤差は絶対値において完全ではないが、微小な照明条件の変化に対するレジスト寸法の差分は比例関係が成り立っている。又、照明形状の数値定義と実際の露光装置での設定とのズレも

50

大きな変化でなければ、差分的に発生している。

【0025】

このことから、第3照明条件A'と第2照明条件B'との差分は、これらの誤差を消滅させる。また、この差分は、照明条件Bで基板に転写する目標パターン L_i と、第1照明条件Aで実際に転写した転写パターン M_i との寸法の差分($L_i - M_i$)に相当するものである。よって、この差分は、第2照明条件B'で形成する仮想の目標パターンと第3照明条件A'で形成する仮想の転写パターンとの寸法の差分で精度良く近似される。

【0026】

したがって、第2照明条件B'と第3照明条件A'との差分を第1照明条件Aに加えることによって、目標パターンを基板に転写する第4照明条件Bを決定することができる。これらのことは現状の転写パターンと目標パターンの差、及び、現状の照明条件と目標パターンを達成する照明条件との差が余り大きくないことが有効に働く。

10

【0027】

この目標パターンを基板に転写する照明条件Bを決定するためのフローを、図1Cを用いて説明する。

【0028】

ステップS11で、転写パターンを再現する照明条件を求めるために使用する数学的モデルをコンピュータ上に構築する。数学的モデルの構築は、予め別途行われていてもよく、その場合、このステップは、フローチャートから除外される。ステップS12で、コンピュータは、基板に転写すべきレチクルの目標パターンを設定する。

20

【0029】

ステップS13で、コンピュータは、現状の露光装置を用いて現状の第1照明条件Aでレチクルのパターンを基板に転写して形成された第1パターンを取得する。ステップS14で、コンピュータは、現状の転写パターン(第1パターン)の寸法を測定した結果を取得する。ステップS15で、コンピュータは、数学的モデルを用いて、現状の転写パターンの測定された寸法に基づき、現状の転写パターンを再現する仮想の第3照明条件A'を算出する。数学的モデルとして、例えば遺伝的アルゴリズム、モンテカルロアルゴリズム等を使用したモデルが使用されうる。

【0030】

ステップS16で、コンピュータは、数学的モデルを用いて、目標パターンの寸法に基づき、目標パターンを再現する仮想の第2照明条件B'を求める。ステップS17で、コンピュータは、第1照明条件Aに第2照明条件B'と第3照明条件A'との差分を加え、 $A + (B' - A')$ を満たす第4照明条件Bを、目標パターンを基板に転写する照明条件として決定する。

30

【0031】

以下により具体的な例を説明する。転写パターン、目標パターンを形成するために使用するレチクルのパターンは、図1Bに示されるように、ライン&スペースパターンである。ラインの寸法が100nmで固定され、ピッチが104nmから924nmの9種類からなるパターン群を選択し、照明は輪帯照明で適用した。

【0032】

40

このような評価はOPE(Optical Proximity Effect)評価と呼ばれる。図2にパターン例と照明条件の最適化結果を示す。ここでは輪帯照明を記述するパラメータとしては外(out)と内/外比(ratio)が用いられている。二つのグラフが記述されているが、下のグラフは現状の転写パターンのOPEでそれを再現する仮想の第3照明条件が右に示されている。第3照明条件は、 $out=0.90$ 、 $ratio=0.70$ である。上のグラフは目標パターンのOPEで、それを再現する仮想の第2照明条件が上方に示されている。第2照明条件は、 $out=0.91$ 、 $ratio=0.61$ である。いずれも数学的モデルで算出されたものである。この二つの照明条件の差分 $out=0.91-0.90=0.01$ 、 $ratio=0.61-0.70=-0.09$ を現状の第1照明条件に加えることにより、目標パターンを基板に転写する第4照明条件を算出することができる。

50

【 0 0 3 3 】

ステップ S 1 2 からステップ S 1 7 までの処理を実行するプログラムをコンピュータの記憶媒体に格納することによって、目標パターンを基板に転写する照明条件 B を決定するための処理をコンピュータに実行させることができる。また、コンピュータが、当該プログラムを記録した記録媒体から当該プログラムコードを読み取ることにより、目標パターンを基板に転写する照明条件 B を決定するための処理を実行することができる。

【 0 0 3 4 】

図 3 A ~ 図 3 D に、転写パターン、目標パターンを形成するために使用するレチクルのパターンとして二次元矩形パターンを用い、照明はクロスポール照明を適用した例を示す。照明の二次元的分布は図 3 A に示され、強度分布は断面図として図 3 B に示されている。図 3 B において、横軸が図 3 A で示される照明の半径方向の位置 (r)、縦軸が強度である。ここでの強度分布はほぼガウス関数となっている。照明を記述するパラメータとしては強度分布の中心位置 a 、強度分布の幅 b 、開口角 (横) θ_1 、開口角 (縦) θ_2 が用いられている。

【 0 0 3 5 】

図 3 C の左側は、現状の第 1 照明条件による転写パターン (第 1 パターン) であり、それを再現する仮想の第 3 照明条件は、図 3 A に示されるように、 $a=0.8$ 、 $b=0.2$ 、 $\theta_1=60^\circ$ 、 $\theta_2=60^\circ$ である。図 3 C の右側は目標パターンであり、図 3 D はそれを再現する仮想の第 2 照明条件である。目標パターンは現状の転写パターンに対し、パターン中心部の寸法を 4 nm、6 nm 太くし、他の寸法を維持したパターンとなっている。目標パターンを再現する仮想の第 2 照明条件は、図 3 D に示されるように、 $a=0.92$ 、 $b=0.14$ 、 $\theta_1=94^\circ$ 、 $\theta_2=77^\circ$ である。いずれも数学的モデルを用いて算出されたものである。

【 0 0 3 6 】

この二つの照明条件の差分 Δa 、 Δb 、 $\Delta \theta_1$ 、 $\Delta \theta_2$ は、以下のとおりである。

$$\Delta a = 0.92 - 0.80 = 0.12$$

$$\Delta b = 0.14 - 0.20 = -0.06$$

$$\Delta \theta_1 = 94^\circ - 60^\circ = 34^\circ$$

$$\Delta \theta_2 = 77^\circ - 60^\circ = 17^\circ$$

これらの差分を現状の第 1 照明条件に加えることにより、目標パターンを基板に転写できる第 4 照明条件を決定することができる。

【 0 0 3 7 】

現状の転写パターン及び目標パターンを再現する二つの仮想の照明条件は bitmap でも表現されるので、bitmap での引き算も可能である。但し、この場合は引き算後、bitmap のある場所に負の値が発生する可能性がある。そして、引き算の結果を現在の第 1 照明条件に加えた後、その場所が負の値になる可能性が更に存在する。負の値は現実においてはゼロにする等の処理が必要で、誤差の要因となる。一方、現状の転写パターン及び目標パターンを再現する二つの仮想の照明条件が数値 (パラメータ) で表現される場合、その数値は照明全体を表現しているので、現在の第 1 照明条件に差分を加えた時に負になる可能性は低い。

【 0 0 3 8 】

ここでは転写パターンの輪郭を求める数学的モデルとしてレジスト計算を用いた。しかし、評価点が密集した直線パターンのように、光学計算とレジスト計算との結果に相違がほとんどない場合は、計算時間の短縮のため光学像計算を用いても良い。

【 0 0 3 9 】

[実施例 2]

実施例 1 では、目標パターンを 1 種類のフォーカス条件でのパターンに設定している。これらは通常、ベストフォーカスのもとでの目標パターンである。しかし、ベストフォーカスを前提に目標パターンを再現する照明条件は、デフォーカスでは大きく目標パターンからずれる可能性がある。そのため、本実施例では目標パターンの輪郭とのずれが許容範囲内に収まるデフォーカス量の範囲が広い照明条件を探索する。図 4 では実線で示される

目標転写パターンのグラフの上下近傍に目標パターンからある寸法許容内のグラフ（一点鎖線）が記述されているが、目標パターンがこの一点鎖線で示される範囲内に収まる照明条件を探索する。なお、図4には、現状の転写パターンが点線で示されている。

【0040】

デフォーカス量の範囲が広い照明条件を探索する方法において、最適化手法にて探索中の各照明条件について転写パターンを算出し、各評価点における目標寸法値（図4中に太い実線）からの差のrmsを計算する。そしてrmsのデフォーカス特性を算出し、グラフ化し、rmsが所定の値より小さいデフォーカス量の範囲（DOF）を算出し、算出されたDOFの値が最大になるように照明条件を最適化する。ベストフォーカスでの寸法値のみを目標とした最適化結果とデフォーカスを考慮した最適化結果を図5に示す。照明aは、ベストフォーカスではrmsは小さく良好であるが、デフォーカスと共にrmsが増大する。それに対し、照明bは、ベストフォーカスでのrmsは照明aよりも大きい、デフォーカスしてもrmsの増加が緩やかである。

10

【0041】

照明a及び照明bのいずれを選択するかは、デバイスの製造プロセスにおいて、狭い製造マージンであるが高精度を目的とするか、広い製造マージンを必要とするかで決定される。通常、製造マージンの広いことの方が重要であり、したがって、デフォーカス範囲が広い照明bが選択されることが多い。

【0042】

〔実施例3〕

20

実施例1では、目標とする転写パターンとして1種類のフォーカス条件でのパターンング結果を対象とした。しかし、本実施例では、ある目標とする転写パターンに対し、互いに異なる複数のフォーカス条件でのパターンング結果を参照して、目標パターンを実現する照明条件を決定する。図6では、OPE評価パターンでベストフォーカス条件と60nmデフォーカス条件でのパターンング結果を対象にしている。この二つの条件で、現状の転写パターンを再現する照明条件での転写結果、目標パターンを再現する照明条件に対応する転写結果が各々二つずつ存在し、これらの転写結果を基に照明条件の最適化を行う。

【0043】

図7は二次元パターンでのベストフォーカスと60nmデフォーカスでの転写結果を対象にして決定した照明条件による転写パターンを示している。二次元パターンではベストフォーカスとデフォーカスの寸法差が目視で判断しにくいので、図7中にその寸法差を記述している。

30

【0044】

〔実施例4〕

次に実施例1と同様な概念の手法をOPE評価で行った場合を説明する。まず、各評価点に対し、目標パターンの寸法 L_i （ $i=1, \dots, n$ ）と現状の転写パターン（第1パターン）の寸法 M_i との差分 δ_i を算出する。図8A中では δ_i を棒線で示している。

【0045】

次に、現在用いている第1照明条件Aで転写される仮想の転写パターン（第2パターン）をレジスト計算し、各評価点の寸法を N_i とする。 N_i はレジスト計算の誤差、照明形状の数値定義と実際の露光装置の設定とのズレ等により M_i とは若干異なる値となる。次に $P_i = N_i + \delta_i$ を算出する。 P_i 、 N_i は図8Bに記述されている。図8B中の δ_i に相当する棒線の長さは、図8A中の δ_i に相当する棒線の長さと同じである。

40

【0046】

そして、この P_i からなる第3パターンを仮想の目標パターンとして上述の数学的モデルを適用し、仮想の目標パターンを再現する仮想の第5照明条件Bを得る。仮想の目標パターンの寸法 P_i は目標パターンの寸法 L_i とは異なる。それは現実のパターンングとシミュレーション内で発生するレジスト計算の誤差、照明形状の数値定義と実際の露光装置の設定とのズレ等から起因するものである。仮想の目標パターン P_i を再現するために最適化された第5照明条件Bは、それを実際に適用する時、上記の誤差をキャンセルし、正しい結果

50

を導く。

【0047】

仮想の目標パターン（第3パターン）を実現する第5照明条件Bを決定するフローチャートを図8Cに示す。ステップS21～ステップS24は、図1CにおけるステップS11～ステップS14と同一のステップであるので、説明を省略する。

【0048】

ステップS25で、コンピュータは、複数の評価点において、目標パターンの寸法 L_i と現状の転写パターン（第1パターン）の寸法 M_i との差分 $i = L_i - M_i$ を算出する。ステップS26で、コンピュータは、レジスト計算を行って、現状の第1照明条件Aで転写される仮想の転写パターン（第2パターン）の寸法 N_i を算出する。ステップS27で、コンピュータは、仮想の転写パターン（第2パターン）の寸法 N_i に差分 i を加え、 $N_i + i = P_i$ を算出する。 P_i は、仮想の目標パターン（第3パターン）の寸法を表している。

10

【0049】

ステップS28で、コンピュータは、その寸法が P_i である仮想の目標転写パターン（第3パターン）を再現する第5照明条件Bを、数学的モデルを用いて算出する。ステップS26は仮想の第2パターンを算出する第2算出工程であり、ステップS28は仮想の第5照明条件を算出する第3算出工程である。数学的モデルとして、例えば遺伝的アルゴリズム、モンテカルロアルゴリズム等を含むモデルが使用されうる。ステップS29で、コンピュータは、第5照明条件Bを目標パターンを基板に転写する照明条件として決定する。

20

【0050】

ステップS22からS29に至るステップの処理を実行するプログラムをコンピュータの記憶媒体に格納することができる。そうすれば、ステップS22からS29に至る目標パターンを基板に転写する照明条件を決定するための処理をコンピュータに実行させることができる。また、コンピュータが、当該プログラムを記録した記録媒体から当該プログラムコードを読み取ることにより上記照明条件を決定するための処理を実行することができる。

【0051】

本実施例において、実施例2及び実施例3で説明した、目標とする転写パターンがある寸法許容量に収まるデフォーカス量の範囲が広い照明条件を探索する方法、一つの転写パターンに対し複数のフォーカス条件における結果を対照とする方法が同様に適用され得る。

30

【0052】

〔実施例5〕

実施例2～4では、目標パターンがある寸法許容量に収まるデフォーカス量の範囲が広い照明を探索する。本実施例では、露光量とフォーカスとの双方における許容範囲（ウインドウと呼ぶ）が広い照明条件を探索する。方法としては図9に示すように、露光量とフォーカスとの二次元空間において目標寸法からの誤差が許容範囲に収まる領域を算出し、その面積が最大になるように照明条件を最適化する。また、本実施例の応用例として、寸法誤差が許容範囲に収まる露光量の範囲が広い照明条件を探索してもよい。さらに、実施例3では、一つの転写パターンに対し複数のフォーカス条件での結果を参照して最適の照明条件を決定した。しかし、複数のフォーカス条件ではなく複数の露光量での結果を参照して照明条件を決定することもできる。

40

【0053】

次に、半導体集積回路素子、液晶表示素子等のデバイス製造方法を例示的に説明する。デバイスは、上述の決定方法を用いて決定された照明条件を用いて基板を露光する露光工程と、露光工程で露光された基板を現像する現像工程と、現像工程で現像された基板を加工する他の周知の工程とを経ることによって製造される。他の周知の工程は、エッチング、レジスト剥離、ダイシング、ボンディング、パッケージング工程などである。

50

【図面の簡単な説明】

【 0 0 5 4 】

【図 1 A】転写パターンと目標パターンを示す図

【図 1 B】使用するレチクルを示す図

【図 1 C】目標パターンを転写する照明条件を決定するフローチャート

【図 2】OPE評価によって照明条件を最適化する例の模式図

【図 3 A】転写パターンの形成に使用した照明を示す図

【図 3 B】図 3 A の照明の強度分布を示す図

【図 3 C】転写パターンと目標パターンを示す図

【図 3 D】目標パターンを転写する照明を示す図

10

【図 4】目標パターンの寸法誤差の許容範囲を示す図

【図 5】ベストフォーカスでの寸法値のみを目標とした最適化結果とデフォーカスを考慮した最適化結果を示す図

【図 6】ベストフォーカスでの寸法値のみを目標とした最適化結果とデフォーカスを考慮した最適化結果を示す図

【図 7】ベストフォーカスでの寸法値のみを目標とした最適化結果とデフォーカスを考慮した最適化結果を示す図図

【図 8 A】転写パターンと目標パターンを示す図

【図 8 B】転写パターン及び目標パターンを再現する照明による仮想の転写パターンを示す図

20

【図 8 C】目標パターンを転写する照明条件を決定するフローチャート

【図 9】露光量とフォーカスとの双方における許容範囲を示す図

【符号の説明】

【 0 0 5 5 】

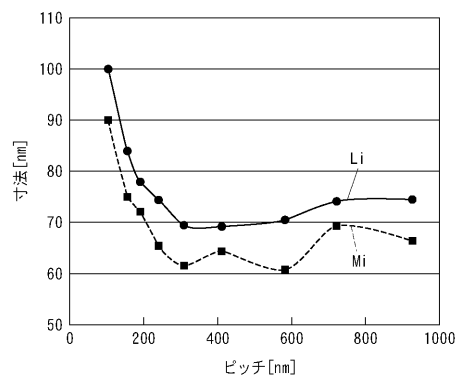
Li：目標パターンの寸法

Mi：転写パターンの寸法

Ni：転写パターンを再現する照明で形成される仮想の転写パターンの寸法

Pi：目標パターンを再現する照明で形成される仮想の転写パターンの寸法

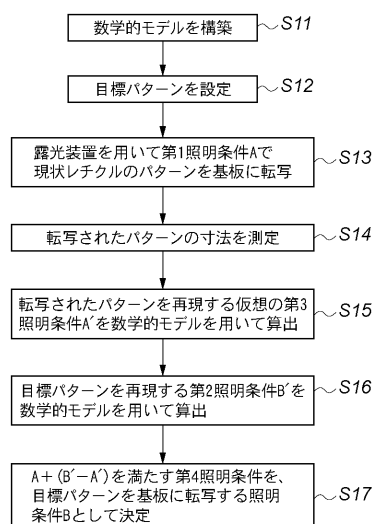
【図 1 A】



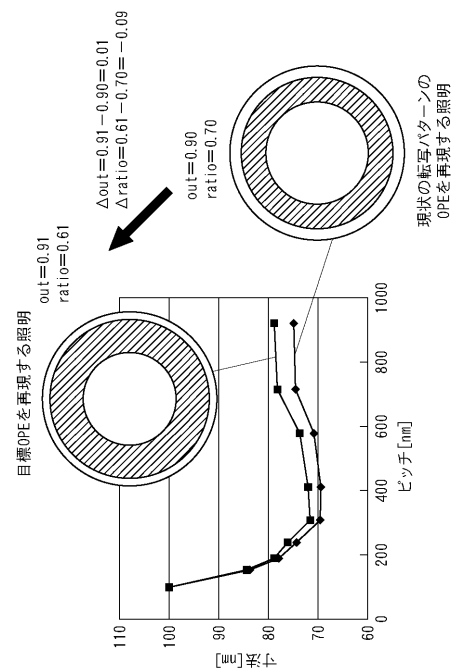
【図 1 B】



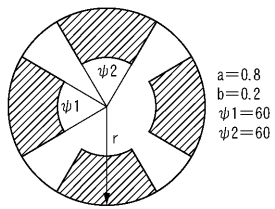
【図 1 C】



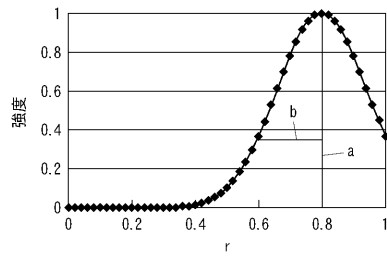
【図 2】



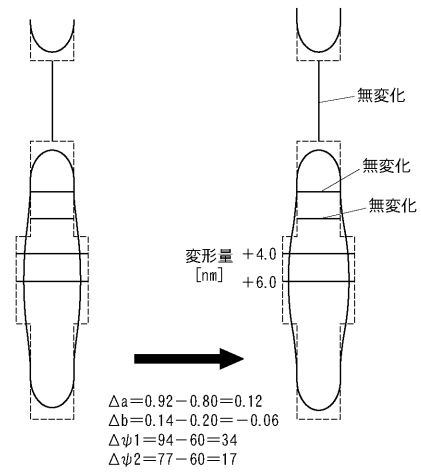
【図 3 A】



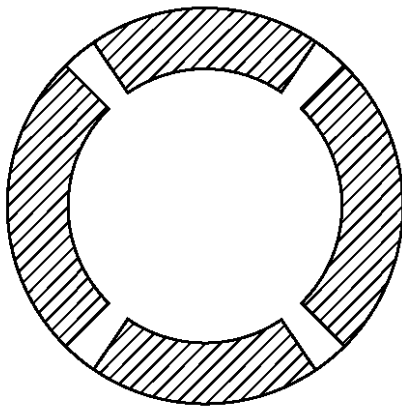
【図 3 B】



【図 3 C】

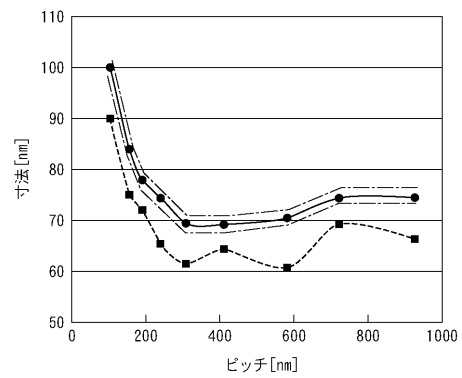


【図 3 D】

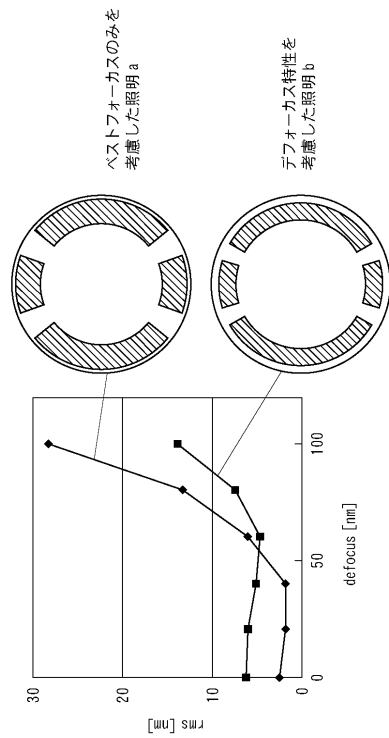


$$\begin{aligned}
 a &= 0.92 \\
 b &= 0.14 \\
 \psi_1 &= 94 \\
 \psi_2 &= 77
 \end{aligned}$$

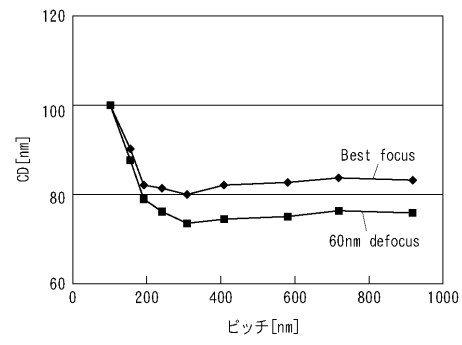
【図 4】



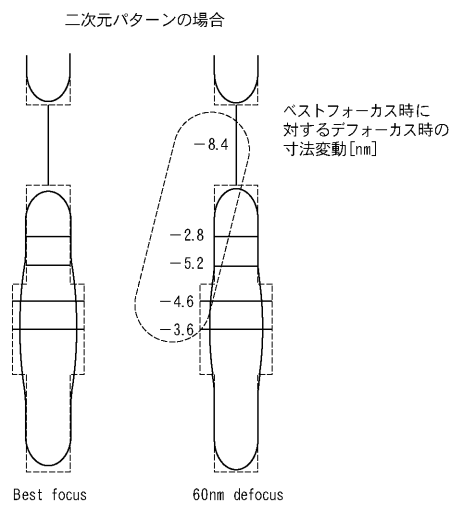
【図 5】



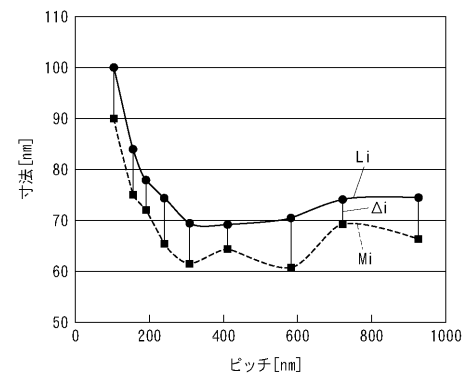
【図 6】



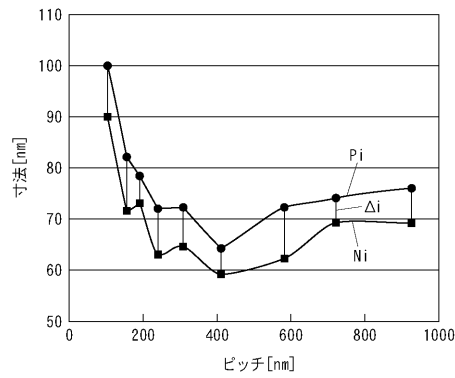
【図 7】



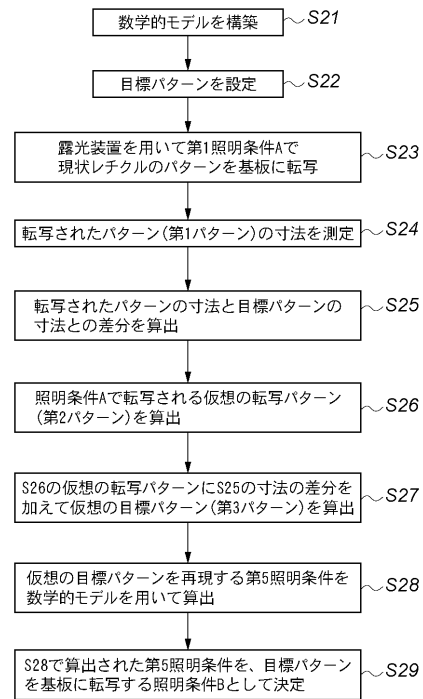
【図 8 A】



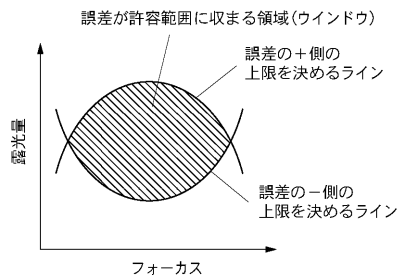
【図 8 B】



【図 8 C】



【図 9】



フロントページの続き

- (72)発明者 辻田 好一郎
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
- (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
- (72)発明者 石井 弘之
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 松岡 智也

- (56)参考文献 特開平08-335552(JP,A)
特開2002-174890(JP,A)
特開2002-175969(JP,A)
特開2004-246223(JP,A)
特開2007-027418(JP,A)
特開2007-142215(JP,A)
特開2008-258407(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027
G03F 7/20-7/24