(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第5539097号
(P5539097)
(45)発行日　平成26年7月2日(2014.7.2)　(24)登録日　平成26年5月9日(2014.5.9)

(51)Int.Cl.　　F I
H01L 21/027 (2006.01)　　H01L 21/30　516Z
G03F 7/20 (2006.01)　　G03F 7/20　521

請求項の数 12　(全 16 頁)

(21)出願番号　特願2010-178077(P2010-178077)
(22)出願日　平成22年8月6日(2010.8.6)
(65)公開番号　特開2012-38939(P2012-38939A)
(43)公開日　平成24年2月23日(2012.2.23)
審査請求日　平成25年7月31日(2013.7.31)

(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】評価方法、決定方法及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
複数のパターン要素を含むパターンを基板に投影する投影光学系の像面に形成される前記パターンの像をコンピュータによって評価する評価方法であって、
前記投影光学系の像面において前記パターン要素の像の寸法を評価するための第１の線を設定する第１のステップと、
前記投影光学系の像面において前記パターン要素の像が解像しているかどうかを評価するための第２の線を設定する第２のステップと、
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取得して、前記第１の線と前記パターン要素の像の輪郭との交点の間の距離を求める第３のステップと、
前記パターン要素の像が解像しているかどうかを評価するために、前記パターン要素の像の輪郭と前記第２の線との交点が存在するかどうかを判定する第４のステップと、
前記交点が存在しないと前記第４のステップで判定した場合には、前記第３のステップで求めた距離の値を評価値とし、前記交点が存在すると前記第４のステップで判定した場合には、前記第３のステップで求めた距離の値とは異なり、エラーであることを表す値を評価値とし、取得した前記パターンの像を評価する第５のステップと、
を有することを特徴とする評価方法。
【請求項２】
前記第２のステップでは、前記第１のステップで設定した前記第１の線に交差するように、前記第２の線を設定することを特徴とする請求項１に記載の評価方法。

【請求項３】
前記第５のステップでは、前記交点が存在すると前記第４のステップで判定した場合には、前記パターンの像の評価をする際に前記第３のステップで求めた距離が無効となるように、前記第３のステップで求めた距離の値に重み付けを与えることを特徴とする請求項１に記載の評価方法。
【請求項４】
前記第２のステップでは、前記第１のステップで設定した前記第１の線の中心点において前記第１の線に直交するように、前記第２の線を設定することを特徴とする請求項２に記載の評価方法。
【請求項５】
前記第２のステップでは、前記第１のステップで設定した前記第１の線の上の複数の点のそれぞれにおいて前記第１の線に直交するように、前記パターン要素の像が解像しているかどうかを評価するための複数の第２の線を設定し、
前記第４のステップでは、前記複数の第２の線のそれぞれについて、前記パターン要素の像の輪郭との交点が存在するかどうかを判定し、
前記第５のステップでは、前記複数の第２の線のうち１つでも前記交点が存在しないと前記第４のステップで判定した場合には、前記第３のステップで求めた距離の値を評価値とし、前記複数の第２の線のうち全てについて前記交点が存在したと前記第４のステップで判定した場合には、前記第３のステップで求めた距離の値に重み付けを与えた値を評価値とし、取得した前記パターンの像を評価することを特徴とする請求項２に記載の評価方法。
【請求項６】
前記第１のステップでは、前記複数のパターン要素のうち同一の２つのパターン要素の像の間の寸法を評価するための複数の第１の線を設定し、
前記第３のステップでは、前記第１のステップで設定した前記複数の第１の線のそれぞれと前記２つのパターン要素の像の輪郭との交点の間の距離を求め、
前記第５のステップでは、前記交点が存在しないと前記第４のステップで判定した場合には、前記第３のステップで求めた距離うち最小の距離の値を評価値とし、取得した前記パターンの像を評価することを特徴とする請求項２に記載の評価方法。
【請求項７】
複数のパターン要素を含むパターンを照明する照明光学系と、前記パターンを基板に投影する投影光学系とを備える露光装置に設定する露光条件をコンピュータによっ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パターン要素の像の寸法を評価するための第１の線を設定する第１のステップと、
前記投影光学系の像面において前記パターン要素の像が解像しているかどうかを評価するための第２の線を設定する第２のステップと、
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取得して、前記第１の線と前記パターン要素の像の輪郭との交点の間の距離を求める第３のステップと、
前記パターン要素の像が解像しているかどうかを評価するために、前記パターン要素の像の輪郭と前記第２の線との交点が存在するかどうかを判定する第４のステップと、
前記交点が存在しないと前記第４のステップで判定した場合には、前記第３のステップで求めた距離の値を評価値とし、前記交点が存在すると前記第４のステップで判定した場合には、前記第３のステップで求めた距離の値とは異なり、エラーであることを表す値を評価値とし、取得した前記パターンの像を評価する第５のステップと、
前記第５のステップでの評価結果に基づいて、前記投影光学系の像面に形成される前記パターンの像が評価基準を満たすように前記露光条件を決定する第６のステップと、
を有することを特徴とする決定方法。
【請求項８】
前記露光条件は、前記照明光学系の瞳面に形成すべき光強度の分布を含むことを特徴と

する請求項７に記載の決定方法。
【請求項９】
複数のパターン要素を含むパターンを基板に投影する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評価方法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、
前記コンピュータに、
前記投影光学系の像面において前記パターン要素の像の寸法を評価するための第１の線を設定する第１のステップと、
前記投影光学系の像面において前記パターン要素の像が解像しているかどうかを評価するための第２の線を設定する第２のステップと、
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取得して、前記第１の線と前記パターン要素の像の輪郭との交点の間の距離を求める第３のステップと、
前記パターン要素の像が解像しているかどうかを評価するために、前記パターン要素の像の輪郭と前記第２の線との交点が存在するかどうかを判定する第４のステップと、
前記交点が存在しないと前記第４のステップで判定した場合には、前記第３のステップで求めた距離の値を評価値とし、前記交点が存在すると前記第４のステップで判定した場合には、前記第３のステップで求めた距離の値とは異なり、エラーであることを表す値を評価値とし、取得した前記パターンの像を評価する第５のステップと、
を実行させることを特徴とするプログラム。
【請求項１０】
複数のパターン要素を含むパターンを照明する照明光学系と、前記パターンを基板に投影する投影光学系とを備える露光装置に設定する露光条件を決定する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であって、
前記コンピュータに、
前記投影光学系の像面において前記パターン要素の像の寸法を評価するための第１の線を設定する第１のステップと、
前記投影光学系の像面において前記パターン要素の像が解像しているかどうかを評価するための第２の線を設定する第２のステップと、
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取得して、前記第１の線と前記パターン要素の像の輪郭との交点の間の距離を求める第３のステップと、
前記パターン要素の像が解像しているかどうかを評価するために、前記パターン要素の像の輪郭と前記第２の線との交点が存在するかどうかを判定する第４のステップと、
前記交点が存在しないと前記第４のステップで判定した場合には、前記第３のステップで求めた距離の値を評価値とし、前記交点が存在すると前記第４のステップで判定した場合には、前記第３のステップで求めた距離の値とは異なり、エラーであることを表す値を評価値とし、取得した前記パターンの像を評価する第５のステップと、
前記第５のステップでの評価結果に基づいて、前記投影光学系の像面に形成される前記パターンの像が評価基準を満たすように前記露光条件を決定する第６のステップと、
を実行させることを特徴とするプログラム。
【請求項１１】
複数のパターン要素を含むパターンを照明する照明光学系と、前記パターンを基板に投影する投影光学系とを備える露光装置に設定する露光条件をコンピュータによって決定する決定方法であって、
仮の露光条件を設定するステップと、
前記仮の露光条件において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算出するステップと、
該算出された像を評価する評価ステップと、
前記評価ステップにおける評価結果に基づいて、前記投影光学系の像面に形成される前記パターンの像が評価基準を満たすように前記露光条件を決定するステップとを有し、
前記評価ステップは、

前記投影光学系の像面において前記パターン要素の像が解像しているかどうかを評価するための線と、前記パターン要素の像の輪郭と、の交点が存在するかどうかを判定するステップを含むことを特徴とする決定方法。

【請求項１２】

複数のパターン要素を含むパターンを照明する照明光学系と、前記パターンを基板に投影する投影光学系とを備える露光装置に設定する露光条件を決定する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であって、

前記コンピュータに、

仮の露光条件を設定するステップと、

前記仮の露光条件において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算出するステップと、

該算出された像を評価する評価ステップと、

前記評価ステップにおける評価結果に基づいて、前記投影光学系の像面に形成される前記パターンの像が評価基準を満たすように前記露光条件を決定するステップとを実行させ、

前記評価ステップは、

前記投影光学系の像面において前記パターン要素の像が解像しているかどうかを評価するための線と、前記パターン要素の像の輪郭と、の交点が存在するかどうかを判定するステップを含むことを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、評価方法、決定方法及びプログラムに関する。

【背景技術】

【０００２】

近年、半導体デバイスの微細化が進み、基板（ウエハなど）へのパターンの転写（解像）が困難になっている。露光装置においては、半導体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）などの超解像技術が用いられてきている。また、原版（マスクやレチクル）を照明する有効光源（照明形状）は、パターンの解像性に影響を与えることが知られている。そこで、原版を照明する有効光源を規定するパラメータの設定（変更）と、基板上に形成されるパターンの像の寸法の評価（測長）とを逐次行うことで、原版のパターンに最適な有効光源を決定する技術が提案されている（特許文献１参照）。また、パターンの像の寸法を測長する技術としては、測長対象のパターン要素に対して複数の評価線を設定し、パターン要素に対応するレジストパターンの評価線上のエッジを走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）で測長する技術が提案されている（非特許文献１参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００３】

【特許文献１】特開２００９－３０２２０６号公報

【非特許文献】

【０００４】

【非特許文献１】ＳＰＩＥ　２００９　７２７４－０３３

【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、パターンの解像性は有効光源に応じて影響を受けるため、有効光源を決定するまでに、測長対象のパターン要素が解像されていない（未解像）、即ち、測長対象のパターン要素の像と他のパターン要素の像とが分離していないことがある。従来技術では、測定対象のパターン要素が解像しているかどうかを正しく評価することができないた

め、未解像のパターン要素に対応するレジストパターン（即ち、パターン要素の像）のエッジを誤認識してパターンの像の寸法を測長してしまう。このような場合、エッジを誤認識した測長結果によって、有効光源を決定するための評価関数が非連続的に変化し、有効光源の最適化が収束せず、有効光源を決定することができないことを本発明者は見出した。

【０００６】

そこで、本発明は、このような従来技術の課題に鑑みてなされ、パターンに含まれる複数のパターン要素のそれぞれの像が分離して形成されているかどうかを考慮し、パターンの像の寸法の評価に有利な技術を提供することを例示的目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての評価方法は、複数のパターン要素を含むパターンを基板に投影する投影光学系の像面に形成される前記パターンの像をコンピュータによって評価する評価方法であって、前記投影光学系の像面において前記パターン要素の像の寸法を評価するための第１の線を設定する第１のステップと、前記投影光学系の像面において前記パターン要素の像が解像しているかどうかを評価するための第２の線を設定する第２のステップと、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取得して、前記第１の線と前記パターン要素の像の輪郭との交点の間の距離を求める第３のステップと、前記パターン要素の像が解像しているかどうかを評価するために、前記パターン要素の像の輪郭と前記第２の線との交点が存在するかどうかを判定する第４のステップと、前記交点が存在しないと前記第４のステップで判定した場合には、前記第３のステップで求めた距離の値を評価値とし、前記交点が存在すると前記第４のステップで判定した場合には、前記第３のステップで求めた距離の値とは異なり、エラーであることを表す値を評価値とし、取得した前記パターンの像を評価する第５のステップと、を有することを特徴とする。

【０００８】

本発明の更なる目的又はその他の側面は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施形態によって明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【０００９】

本発明によれば、例えば、パターンに含まれる複数のパターン要素のそれぞれの像が分離して形成されているかどうかを考慮し、パターンの像の寸法の評価に有利な技術を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】本発明の一側面としての評価方法を説明するためのフローチャートである。

【図２】本実施形態における寸法評価線分及び解像評価線分を説明するための図である。

【図３】図２に示すマスクパターンを照明したときに、投影光学系の像面に形成されるマスクパターンの像の輪郭を示す図である。

【図４】複数の解像評価線分を設定する場合を説明するための図である。

【図５】本発明の一側面としての決定方法を実行する情報処理装置の構成を示す概略ブロック図である。

【図６】本発明の一側面としての決定方法を説明するためのフローチャートである。

【図７】図６に示す決定方法において、マスクパターンの一例を示す図である。

【図８】有効光源を規定するパラメータを説明するための図である。

【図９】図７に示すマスクパターンを照明したときに、投影光学系の像面に形成されるマスクパターンの像の輪郭を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【００１１】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図

において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【００１２】

本実施形態において、「寸法評価線分（第１の線）」とは、投影光学系の像面（に形成される像）において寸法を測長する箇所に、測長方向に沿って設定する線分である。また、「解像評価線分（第２の線）」とは、パターンに含まれるパターン要素のうち、測長対象のパターン要素が解像しているかどうかを判定する目的で設定される線分である。なお、「解像」とは、測長対象のパターン要素の像と他のパターン要素の像とが分離して形成されていることを意味し、本実施形態では、２つのパターン要素のそれぞれの像が分離して形成されていることを意味する。また、「測長」とは、パターンの像（即ち、パターンの像の画像）における２点間の距離を求めることを意味する。

【００１３】

図１は、本発明の一側面としての評価方法を説明するためのフローチャートである。かかる評価方法は、複数のパターン要素を含むパターンを基板に投影する投影光学系の像面に形成されるパターンの像を評価する評価方法である。本実施形態の評価方法は、例えば、図１に示す各ステップを実行可能なプログラムをネットワーク又は記録媒体を介して情報処理装置（コンピュータ）に供給し、情報処理装置がメモリなどの記憶媒体に記憶されたプログラムを読み出して実行することで実現される。

【００１４】

Ｓ１０２（第１のステップ）では、投影光学系の像面において、寸法評価線分を設定する。具体的には、マスクパターンに含まれる複数のパターン要素のうち２つのパターン要素のそれぞれに対応する像面におけるターゲットパターン要素に交差するように、その２つのパターン要素に相当する像の間の寸法を評価するための寸法評価線分を設定する。本実施形態では、図２に示すように、ＶＬＳＩ回路に相当するマスクパターンにおいて、ターゲットパターン要素としてのパターン要素ＰＣ１とパターン要素ＰＣ２との間のエンドギャップの寸法を評価（測長）するものとする。この場合、寸法評価線分として、点Ｐ（ｘ１、ｙ１）と点Ｑ（ｘ２、ｙ２）とを結ぶ線分ＰＱを設定する。

【００１５】

Ｓ１０４（第２のステップ）では、投影光学系の像面において、解像評価線分を設定する。具体的には、Ｓ１０２で設定した寸法評価線分に交差するように、且つ、ターゲットパターン要素の間に、２つのパターン要素のそれぞれの像が分離して形成されているかどうか（パターン要素が解像しているかどうか）を評価するための解像評価線分を設定する。本実施形態では、図２に示すように、解像評価線分として、寸法評価線分である線分ＰＱに交差するように、且つ、パターン要素ＰＣ１とパターン要素ＰＣ２の間に、点Ｒ（ｘ３、ｙ３）と点Ｓ（ｘ４、ｙ４）とを結ぶ線分ＲＳを設定する。なお、本実施形態では、寸法評価線分である線分ＰＱの中心点（線分ＰＱを等分する点）において線分ＰＱに直交するように、解像評価線分である線分ＲＳを設定したが、これに限定されるものではない。また、解像評価線分は、寸法評価線分に沿ったパターンの像の解像性能の劣化が顕著に現れる箇所であれば、いずれの箇所に設定してもよい。

【００１６】

Ｓ１０６では、投影光学系の像面に形成されるマスクパターンの像を取得する。マスクパターンの像は、例えば、投影光学系の物体面に配置されたマスクパターンを照明し、マスクパターンを通過した光（の強度）を、投影光学系の像面に配置された撮像素子（ＣＣＤ）などで撮像することで取得することができる。本実施形態では、マスクパターンの像を画像情報として取得するものとし、かかる画像情報は、撮像素子の各画素の信号が２次元的に配置された情報を示す。なお、マスクパターンの像（を表す画像情報）は、光学シミュレーションなどを用いて算出することも可能である。

【００１７】

Ｓ１０８では、Ｓ１０６で取得したマスクパターンの像の輪郭（輪郭像）を抽出する。本実施形態では、Ｓ１０６で取得した画像情報に画像処理を施して２値化し、２値化した値の境界線をマスクパターンの像の輪郭として抽出する。図３は、図２に示すマスクパタ

ーンを照明したときに、投影光学系の像面に形成されるマスクパターンの像の輪郭を示す図である。なお、図３（ａ）は、パターン要素ＰＣ１及びＰＣ２のそれぞれに対応する像が分離して形成されている（即ち、パターン要素ＰＣ１及びＰＣ２が解像している）場合を示している。また、図３（ｂ）は、パターン要素ＰＣ１及びＰＣ２のそれぞれに対応する像が分離して形成されていない（即ち、パターン要素ＰＣ１及びＰＣ２が解像していない）場合を示している。なお、図３には、投影光学系の倍率を考慮して像面上の寸法に換算したパターン要素ＰＣ１及びＰＣ２も示している。

【００１８】

Ｓ１１０（第３のステップ）では、Ｓ１０２で設定した寸法評価線分と２つのパターン要素に相当する像の輪郭との交点の間の寸法評価線分に沿った方向の距離を求める（即ち、２つのパターン要素に相当する像の間の寸法を測長する）。例えば、図３（ａ）の場合には、まず、寸法評価線分である線分ＰＱ（の延長線）とパターン要素ＰＣ１に相当する像の輪郭との交点Ｐ’（ｘ５、ｙ５）、及び、線分ＰＱとパターン要素ＰＣ２に相当する像の輪郭との交点Ｑ’（ｘ６、ｙ５）を特定する。なお、線分ＰＱと２つのパターン要素ＰＣ１及びＰＣ２のそれぞれに相当する像の輪郭との交点が２つ以上存在する場合には、寸法評価線分である線分ＰＱの中心点に近い２つの交点を、寸法評価線分と２つのパターン要素に相当する像の輪郭との交点として特定する。そして、パターン要素ＰＣ１とパターン要素ＰＣ２との間のエンドギャップの寸法として、以下の式１に従って、２つの交点の間の線分ＰＱに沿った方向の距離$D_{P',Q'}$を求める。

【００１９】

【数１】

$$D_{P'Q'} = \sqrt{(x5-x6)^2+(y5-y6)^2} \qquad \cdots(式1)$$

【００２０】

一方、図３（ｂ）の場合には、まず、寸法評価線分である線分ＰＱ（の延長線）とパターン要素ＰＣ１に相当する像の輪郭との交点Ｐ’’（ｘ７、ｙ７）、及び、線分ＰＱとパターン要素ＰＣ２に相当する像の輪郭との交点Ｑ’’（ｘ８、ｙ８）を特定する。そして、以下の式２に従って、２つの交点の間の線分ＰＱに沿った方向の距離$D_{P'',Q''}$を求める。

【００２１】

【数２】

$$D_{P''Q''} = \sqrt{(x7-x8)^2+(y7-y8)^2} \qquad \cdots(式2)$$

【００２２】

このように、パターン要素ＰＣ１及びＰＣ２が解像していない場合には、距離$D_{P'',Q''}$を、測長対象であるパターン要素ＰＣ１とパターン要素ＰＣ２との間のエンドギャップとして誤って求めてしまう。換言すれば、エッジを誤認識してマスクパターンの像の寸法を測長してしまう。その結果、エッジを誤認識した測長結果によって、マスクパターンの像を正しく評価することができなくなってしまう。

【００２３】

Ｓ１１２（第４のステップ）では、２つのパターン要素のそれぞれが分離して形成されているかどうか、即ち、２つのパターン要素が解像しているかどうかを評価（判定）する。具体的には、投影光学系の像面に形成されるマスクパターンの像における２つのパターン要素に相当する像の輪郭とＳ１０４で設定した解像評価線分との交点が存在するかどうかを判定する。例えば、図３（ａ）の場合には、２つのパターン要素ＰＣ１及びＰＣ２に相当する像の輪郭と線分ＲＳとの交点が存在していないため、２つのパターン要素ＰＣ１及びＰＣ２が解像していると判定される。一方、図３（ｂ）の場合には、２つのパターン要素ＰＣ１及びＰＣ２に相当する像の輪郭と線分ＲＳとの交点Ｒ’（ｘ９、ｙ９）及びＳ

’（ｘ１０、ｙ１０）が存在しているため、２つのパターン要素ＰＣ１及びＰＣ２が解像していないと判定される。なお、２つのパターン要素が解像していれば（即ち、交点が存在していなければ）、Ｓ１１４に移行し、２つのパターン要素が解像していなければ（即ち、交点が存在していれば）、Ｓ１１６に移行する。

【００２４】

Ｓ１１４（第５のステップ）では、Ｓ１０２で設定した寸法評価線分と２つのパターン要素に相当する像の輪郭との交点の間の寸法評価線分に沿った方向の距離の値（Ｓ１１０における測長結果）を評価値として設定する。本実施形態では、２つの交点の間の線分ＰＱに沿った方向の距離$D_{P,Q}$の値を、パターンの像を評価する際の評価値として設定する。

【００２５】

また、Ｓ１１６（第５のステップ）では、Ｓ１０２で設定した寸法評価線分と２つのパターン要素に相当する像の輪郭との交点の間の寸法評価線分に沿った方向の距離の値（Ｓ１１０における測長結果）に重み付けを与えた値を評価値として設定する。例えば、ターゲットパターン要素としてのパターン要素ＰＣ１とパターン要素ＰＣ２との間のエンドギャップの寸法が「０」に近い場合を考える。このような場合には、２つの交点の間の線分ＰＱに沿った方向の距離$D_{P,,Q,,}$に「１００」などの大きな値を掛けた値を評価値として設定する。また、マスクパターンの像の評価をする際に、距離$D_{P,,Q,,}$が無効となるように、距離$D_{P,,Q,,}$の値に重み付けを与える（例えば、距離$D_{P,,Q,,}$を予め測長エラーであることを表す値に置換する）ようにしてもよい。なお、重み付けを与えた値には、例えば、Ｓ１１０における測長結果に予め定められた係数をかけた値だけではなく、かかる値にオフセットを加えた値なども含む。

【００２６】

Ｓ１１８（第５のステップ）では、Ｓ１１４又はＳ１１６で設定した評価値に基づいて、投影光学系の像面に形成されるマスクパターンの像（即ち、Ｓ１０８で取得したマスクパターンの像）を評価する。

【００２７】

このように、本実施形態では、マスクパターンに含まれるパターン要素が解像しているかどうかを評価することが可能であり、パターン要素が解像している場合と解像していない場合とに応じた評価値に基づいて、マスクパターンの像を正しく評価することができる。

【００２８】

本実施形態では、２つのパターン要素に相当する像の間の寸法の測長（Ｓ１１０）を２つのパターン要素が解像しているかどうかの判定（Ｓ１１２）よりも前に行っている。但し、２つのパターン要素が解像しているかどうかの判定（Ｓ１１２）を行った後で、２つのパターン要素に相当する像の間の寸法の測長（Ｓ１１０）を行ってもよい。

【００２９】

また、本実施形態では、Ｓ１０４において、解像評価線分（線分ＲＳ）を１つだけ設定したが、複数の解像評価線分を設定してもよい。例えば、図４（ａ）に示すマスクパターンにおいて、ターゲットパターン要素としてのパターン要素ＰＣ３とパターン要素ＰＣ４との間のエンドギャップの寸法を評価（測長）する場合を考える。この場合、寸法評価線分として、点Ｐと点Ｑとを結ぶ線分ＰＱを設定し、解像評価線分として、線分ＰＱを等分する複数の点のそれぞれにおいて線分ＰＱに直交するように、複数の線分Ｒ０Ｓ０、・・・、ＲｎＳｎを設定する。図４（ｂ）は、図４（ａ）に示すマスクパターンを照明したときに、投影光学系の像面に形成されるマスクパターンの像の輪郭を示す図である。なお、図４（ｂ）には、投影光学系の倍率を考慮して像面上の寸法に換算したパターン要素ＰＣ３及びＰＣ４も示している。図４（ｂ）を参照するに、複数の線分Ｒ０Ｓ０、・・・、ＲｎＳｎのうち、太線で示す線分については、パターン要素ＰＣ３及びＰＣ４のそれぞれに相当する像との交点が存在する。但し、複数の線分Ｒ０Ｓ０、・・・、ＲｎＳｎのうち、細線で示す線分（例えば、線分ＲｋＳｋ（０≦ｋ≦ｎ））については、パターン要素ＰＣ

３及びＰＣ４のそれぞれに相当する像との交点が存在しない。従って、一般的には、複数の解像評価線分を設定し、Ｓ１１２では、複数の解像評価線分のそれぞれについて、２つのパターン要素に相当する像の輪郭との交点が存在するかどうかを判定するとよい。そして、複数の解像評価線分のうち１つでも２つのパターン要素に相当する像の輪郭との交点が存在しない場合には、かかる２つのパターン要素が解像しているものとする。一方、複数の解像評価線分の全てについて２つのパターン要素に相当する像の輪郭との交点が存在する場合には、かかる２つのパターン要素が解像していないものとする。

【００３０】

以下、本実施形態の評価方法を、複数のパターン要素を含むパターンを照明する照明光学系と、パターンを基板に投影する投影光学系とを備える露光装置に設定する露光条件（有効光源など）を決定する決定方法に適用した場合の例を説明する。なお、有効光源とは、照明光学系の瞳面に形成すべき光強度の分布である。

【００３１】

図５は、本発明の一側面としての決定方法を実行する情報処理装置５００の構成を示す概略ブロック図である。情報処理装置５００は、投影光学系の像面に形成されるパターンの像が目標寸法に近づく露光条件を探索する光学シミュレータである。情報処理装置５００は、制御部５０２と、記憶部５０４と、ブリッジ５０６と、出力インターフェース５０８と、ネットワークインターフェース５１０と、入力インターフェース５１２とを有する。制御部５０２、記憶部５０４、出力インターフェース５０８、ネットワークインターフェース５１０及び入力インターフェース５１２は、バスを介して、ブリッジ５０６と接続されている。

【００３２】

また、出力インターフェース５０８には、ディスプレイ５２２が接続され、入力インターフェース５１２には、入力装置５２４が接続されている。ネットワークインターフェース５１０は、ＬＡＮなどのネットワークに接続し、他の情報処理装置とデータの通信が可能である。また、ネットワークインターフェース５１０には、露光装置の主制御装置なども接続されている。

【００３３】

制御部５０２は、ＣＰＵ（Ｃｅｎｔｒａｌ　Ｐｒｏｃｅｓｓｉｎｇ　Ｕｎｉｔ）、ＤＳＰ（Ｄｉｇｉｔａｌ　Ｓｉｇｎａｌ　Ｐｒｏｃｅｓｓｏｒ）、ＦＰＧＡ（Ｆｉｅｌｄ　Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ　Ｇａｔｅ　Ａｒｒａｙ）、マイクロコンピュータなどを含む。記憶部５０４は、ＲＯＭやＲＡＭなどのメモリを含む。入力装置５２４は、マスクやキーボードなどを含む。

【００３４】

制御部５０２は、記憶部５０４に記憶されたプログラム（ソフトウェアコード）を実行することによって、かかるプログラムに従った処理又は方法を実行する装置として情報処理装置５００を機能させる。プログラムに従った処理の結果は、出力インターフェース５０８を介して、ディスプレイ５２２、その他のデバイス、露光装置の主制御装置などに出力される。また、記憶部５０４には、本実施形態の決定方法を実行するために必要なデータ（レイアウトデータ、投影光学系に関するデータ（開口数（ＮＡ）や収差情報）、照明光学系に関するデータ（有効光源情報など））も記憶される。これらのデータは、例えば、ネットワークインターフェース５１０を介して、情報処理装置５００に提供され、記憶部５０４に記憶される。

【００３５】

図６は、本発明の一側面としての決定方法を説明するためのフローチャートである。かかる決定方法は、マスクパターンの像を取得して、マスクパターンの像における測長対象の寸法の測長を、露光条件を変更するたびに繰り返す。この際、ある露光条件では、マスクパターンに含まれるパターン要素が解像しない場合もある。但し、本実施形態の決定方法は、パターン要素が解像している場合と解像していない場合とに応じた評価値に基づいて、マスクパターンの像を正しく評価して、マスクパターンに最適な露光条件を決定する

ことができる。

【００３６】

なお、本実施形態では、マスクパターンは、図７に示すように、Ｙ軸方向に対して傾斜した複数のパターン要素ＰＣをＸ軸方向に配列したパターンとする。具体的には、図７に示すマスクパターンは、線幅Ｗを５０ｎｍ、ピッチＰｉｔｃｈを１００ｎｍ、高さＨｅｉｇｈｔを４００ｎｍ、Ｙ軸に対する傾斜Ｗ２を１５０ｎｍとする９つのパターン要素ＰＣを含む。このようなパターンは、メモリセルの単位面積あたりのビット数を増やすことができる。なお、マスクはハーフトーンマスク（ハーフトーン位相シフトマスク）とし、パターン要素と背景との位相差はπ（１８０度）、パターン要素の透過率は６％、背景の透過率は１００％とする。また、図７に示すマスクパターンでは、エンド間のショートが歩留まりが悪化する要因となるため、本実施形態では、パターン要素ＰＣのエンド間のギャップの寸法が評価基準を満たすように、露光条件を決定するものとする。

【００３７】

Ｓ６０１では、初期の露光条件（初期露光条件）を設定する。露光条件とは、露光装置に設定可能な露光を行う際の様々な条件であって、例えば、投影光学系のＮＡ、露光光の波長、液浸液の種類、基板に塗布するレジストの屈折率、有効光源（照明形状）などを含む。本実施形態では、初期の露光条件として、投影光学系のＮＡを１．３５、露光光の波長λを１９３ｎｍ、液浸液を純水、基板に塗布するレジストの屈折率を１．７９、有効光源を４重極照明とする。本実施形態では、露光条件を決定する対象を有効光源とし、投影光学系のＮＡや露光光の波長などの他の露光条件は初期の露光条件に固定したままにする。なお、有効光源としての４重極照明を規定するパラメータは、図８に示すように、外σ（σａ）、輪帯比（σｒａｔｉｏ＝（σｂ／σａ））、Ｘ軸方向の極の開口角ψ１［度］、Ｙ軸方向の極の開口角ψ２［度］とする。また、各パラメータの設定可能な範囲は、０．７≦σａ≦０．９８、０．６５≦σｒａｔｉｏ≦０．８、５０≦ψ１≦１３０、０≦ψ２≦５０とする。ここでは、σａ＝０．９５、σｒａｔｉｏ＝０．７３７、ψ１＝１１０、ψ２＝２０を設定した。

【００３８】

Ｓ６０２（第１のステップ）は、Ｓ１０２と同様である。本実施形態では、寸法評価線分として、図７に示す線分P_2Q_2を基準とし、線分P_2Q_2に平行な複数の線分$P_{2_1}Q_{2_1}$、・・・、$P_{2_17}Q_{2_17}$を設定する（図９参照）。

【００３９】

Ｓ６０４（第２のステップ）は、Ｓ１０４と同様である。本実施形態では、解像評価線分として、複数の線分（寸法評価線分）$P_{2_1}Q_{2_1}$、・・・、$P_{2_17}Q_{2_17}$に交差するように、且つ、ターゲットパターン要素（２つのパターン要素ＰＣ５及びＰＣ６）の間に、線分R_2S_2を設定する。

【００４０】

Ｓ６０６は、Ｓ１０６と同様である。本実施形態では、情報処理装置５００で実行される光学シミュレーションによって、図７に示すマスクパターンを通過した光が投影光学系の像面に形成する強度分布（即ち、マスクパターンの像）を画像情報として取得する。

【００４１】

Ｓ６０８は、Ｓ１０８と同様である。本実施形態では、線分T_2U_2（図７参照）においてマスクパターンの寸法と同じ寸法（５０ｎｍ）となるように、Ｓ６０６で取得した強度分布においてスライスレベルを決定し、そのときの強度分布の等高線をマスクパターンの像の輪郭として抽出する。なお、ここでは、強度分布を加工せずにマスクパターンの像の輪郭を抽出したが、レジストの感光や現像特性を表現するプロセスモデルを用いて強度分布を加工した後に、マスクパターンの像の輪郭を抽出してもよい。

【００４２】

Ｓ６１０（第３のステップ）は、Ｓ１１０と同様である。図９は、図７に示すマスクパターンを照明したときに、投影光学系の像面に形成されるマスクパターンの像の輪郭を示す図である。なお、図７（ａ）及び図７（ｂ）は、パターン要素ＰＣ５及びＰＣ６のそれ

ぞれに対応する像が分離して形成されている（即ち、パターン要素ＰＣ５及びＰＣ６が解像している）場合を示している。また、図７（ｃ）は、パターン要素ＰＣ５及びＰＣ６のそれぞれに対応する像が分離して形成されていない（即ち、パターン要素ＰＣ５及びＰＣ６が解像していない）場合を示している。なお、図７には、投影光学系の倍率を考慮して像面上の寸法に換算したパターン要素ＰＣ５及びＰＣ６も示している。

【００４３】

図９（ａ）を参照するに、複数の線分（寸法評価線分）$P_{2_1}Q_{2_1}$、・・・、$P_{2_17}Q_{2_17}$のうち、線分$P_{2_k}Q_{2_k}$（７≦ｋ≦１５）については、２つのパターン要素ＰＣ５及びＰＣ６に相当する像の輪郭との交点が存在する。まず、線分$P_{2_k}Q_{2_k}$（の延長線）とパターン要素ＰＣ５に相当する像の輪郭との交点P'_{2_k}、及び、線分$P_{2_k}Q_{2_k}$とパターン要素ＰＣ６に相当する像の輪郭との交点Q_{2_k}を特定する。そして、線分$P_{2_k}Q_{2_k}$と２つのパターン要素ＰＣ５及びＰＣ６に相当する像の輪郭との交点の間の寸法評価線に沿った方向の距離$D_{P',2_kQ',2_k}$（７≦ｋ≦１５）のうち、最小の距離を求める。従って、本実施形態では、パターン要素ＰＣ５とパターン要素ＰＣ５との間のエンドギャップの寸法として、距離$D_{P',2_9Q',2_9}$を求める。また、露光条件（有効光源）が変われば、投影光学系の像面に形成されるマスクパターンの像も変わる。従って、図９（ｂ）の場合には、パターン要素ＰＣ５とパターン要素ＰＣ５との間のエンドギャップの寸法として、距離$D_{P'',2_10Q'',2_10}$を求める。なお、本実施形態では、パターン要素のエンド間ギャップの寸法に着目しているため、複数の寸法評価線分における測長結果の最小値を用いているが、これに限定されるものではない。

【００４４】

一方、図９（ｃ）に示すようなマスクパターンの像（パターン要素ＰＣ５及びＰＣ６は解像していない）が投影光学系の像面に形成されることもある。図９（ｃ）を参照するに、複数の線分（寸法評価線分）$P_{2_1}Q_{2_1}$、・・・、$P_{2_17}Q_{2_17}$のうち、線分$P_{2_m}Q_{2_m}$（ｍ＝７、１０≦ｍ≦１５）については、２つのパターン要素ＰＣ５及びＰＣ６に相当する像の輪郭との交点が存在する。図９（ｃ）の場合には、パターン要素ＰＣ５とパターン要素ＰＣ５とのエンド間ギャップの寸法として、距離$D_{P''',2_10Q''',2_10}$が求められる。但し、距離$D_{P''',2_10Q''',2_10}$は、実際には、パターン要素ＰＣ５とパターン要素ＰＣ５との間のエンドギャップの寸法ではないことに留意されたい。

【００４５】

Ｓ６１２（第４のステップ）は、Ｓ１１２と同様である。図９（ａ）及び図９（ｂ）の場合には、２つのパターン要素ＰＣ５及びＰＣ６に相当する像の輪郭と線分（解像評価線）R_2S_2との交点が存在していないため、２つのパターン要素ＰＣ５及びＰＣ６が解像していると判定される。図９（ｃ）の場合には、２つのパターン要素ＰＣ５及びＰＣ６に相当する像の輪郭と線分ＲＳとの交点R'''_2及びS'''_2が存在しているため、２つのパターン要素ＰＣ５及びＰＣ６が解像していないと判定される。なお、２つのパターン要素が解像していれば（即ち、交点が存在していなければ）、Ｓ６１４に移行し、２つのパターン要素が解像していなければ（即ち、交点が存在していれば）、Ｓ６１６に移行する。

【００４６】

Ｓ６１４（第５のステップ）は、Ｓ１１４と同様である。本実施形態では、Ｓ６１０における測長結果（距離$D_{P',2_9Q',2_9}$又は距離$D_{P'',2_10Q'',2_10}$）を評価値として設定する。

【００４７】

Ｓ６１６（第５のステップ）は、Ｓ１１６と同様である。本実施形態では、Ｓ６１０における測長結果（距離$D_{P''',2_10Q''',2_10}$）に重み付けを与えた値を評価値として設定する。

【００４８】

Ｓ６１８（第５のステップ）は、Ｓ６１４又はＳ６１６で設定した評価値に基づいて、投影光学系の像面に形成されるマスクパターンの像（即ち、Ｓ６０８で取得したマスクパターンの像）を評価する。

【００４９】

Ｓ６２０（第６のステップ）では、Ｓ６１８での評価結果に基づいて、Ｓ６１４又はＳ６１６で設定された評価値とマスクパターンの目標寸法との差分ΔＬを算出する。これまでは、パターン要素のエンド間ギャップの寸法のみについて説明してが、図７に示すように、複数の評価線分ＡＢ、ＣＤ及び$Ｔ_{2}Ｕ_{2}$に対する寸法の評価を行う。そして、エンド間ギャップの寸法の測長結果をＬ１、複数の評価線分ＡＢ、ＣＤ及び$Ｔ_{2}Ｕ_{2}$の測長結果をそれぞれＬ２、Ｌ３、Ｌ４とし、それぞれの目標寸法をＬ０１、Ｌ０２、Ｌ０３、Ｌ０４とする。この場合、評価値とマスクパターンの目標寸法との差分ΔＬは、以下の式３で定義される。

【００５０】

【数３】

$$\Delta L=\sqrt{\frac{(L1-L01)^2+(L2-L02)^2+(L3-L03)^2+(L4-L04)^2}{4}} \quad \cdots(式３)$$

【００５１】

Ｓ６２２（第６のステップ）では、Ｓ６２０で算出された差分ΔＬが評価基準を満たしているか（即ち、目標寸法からのずれが許容範囲内であるか）どうかを判定する。差分ΔＬが評価基準を満たしていない場合には、Ｓ６２４に移行する。一方、差分ΔＬが評価基準を満たしている場合には、Ｓ６２６に移行する。

【００５２】

Ｓ６２４（第６のステップ）では、露光条件を再設定して、Ｓ６０６に移行する。Ｓ６２６（第６のステップ）では、Ｓ６０１で設定した初期の露光条件、或いは、Ｓ６２４で再設定した露光条件を、露光装置に設定する露光条件として決定する。

【００５３】

このように、本実施形態では、マスクパターンに含まれるパターン要素が解像しているかどうかを評価することが可能であり、パターン要素が解像している場合と解像していない場合とに応じた評価値に基づいて、マスクパターンの像を正しく評価することができる。その結果、露光条件を決定するまでにパターン要素が解像しないような露光条件を設定した場合でも、有効光源の最適化が収束しないということがなく、マスクパターンに適した有効光源を決定することができる。

【００５４】

また、本実施形態の評価方法は、走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）を用いて、基板上に形成されたレジストパターンの寸法を評価する技術にも適用することができる。半導体デバイスを製造する際に、露光装置における露光量及びデフォーカス量を変更しながら露光を行うことにより、露光マージンをテストする技術が知られている。解像していないパターンに対応するレジストパターンも評価対象に含まれるため、本実施形態の評価方法を適用することで、露光マージンをより正しく評価することが可能となる。例えば、複数の露光量及びデフォーカス量に対応して露光マージン評価用の基板に形成されたレジストパターンの寸法を、ＳＥＭを用いて連続的に測長する場合を考える。この場合、本実施形態の評価方法を適用することで、マスクパターンに含まれるパターン要素が解像しているかどうか（即ち、パターン要素に相当するレジストパターンが形成しているかどうか）を評価することが可能である。その結果、パターン要素が解像していない場合でも、複数の露光量及びデフォーカス量に対応するレジストパターンの寸法を正しく評価することができるため、露光マージンを正しく評価することができる。

【００５５】

ここで、本実施形態との比較のために、別の評価方法について検証する。例えば、寸法

評価線分における測長結果が、基準値から予め定められた値以上ずれている場合にパターンが解像していないとする評価方法が考えられる。このような評価方法は、図３（ｂ）に示すマスクパターンの像に対しては有効である。但し、図９（ｃ）に示すようなマスクパターンの像に対しては、距離$D_{P'''2_10Q'''2_10}$が基準値から予め定められた値以上ずれているとは限らないため、パターンが解像しているかどうかを正しく評価することが困難となる。

【００５６】

また、複数の寸法評価線分における測長結果が座標に対して滑らかに変化していない場合にパターンが解像していないとする評価方法も考えられる。但し、このような評価方法は、複数の寸法評価線分における測長結果の変化がパターンの形状によるものか、パターンが解像していないことによるものなのかを識別することが困難である。

【００５７】

なお、図３（ｂ）に示すように、パターンが解像していない場合には、寸法評価線分に沿った強度分布は、「明－暗－明」となる。一方、図３（ａ）に示すように、パターンが解像している場合には、寸法評価線分に沿った強度分布は、「暗－明－暗」となる。そこで、パターンの像の輪郭の強度に対してギャップ付近の強度が凸であるか凹であるかに応じてパターンが解像しているかどうかを評価する評価方法も考えられる。但し、かかる評価方法は、新たな評価値を用いるために、輪郭を抽出した後の寸法を測長することができない。

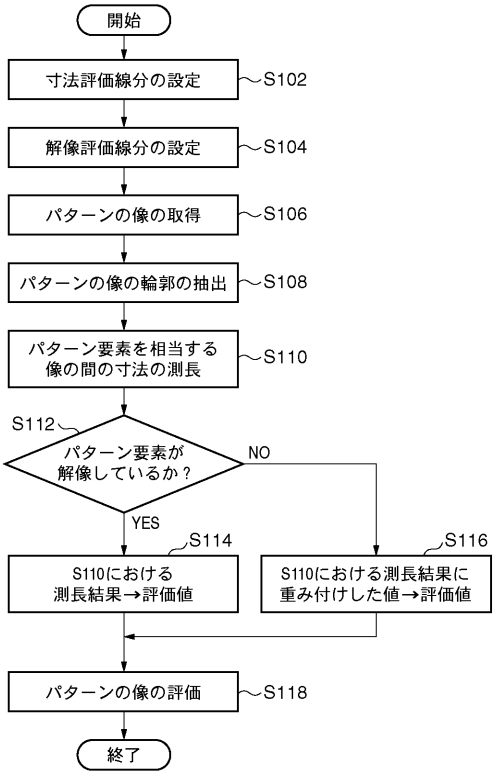
【００５８】

更に、マスクパターンの像の数を検出してパターンが解像しているかどうかを評価する評価方法も考えられるが、寸法評価線分と解像したパターン（或いは、解像していないパターン）との位置関係を特定することが困難である。

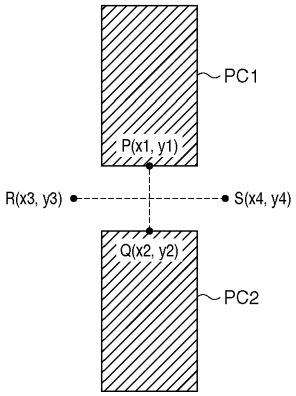
【００５９】

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。

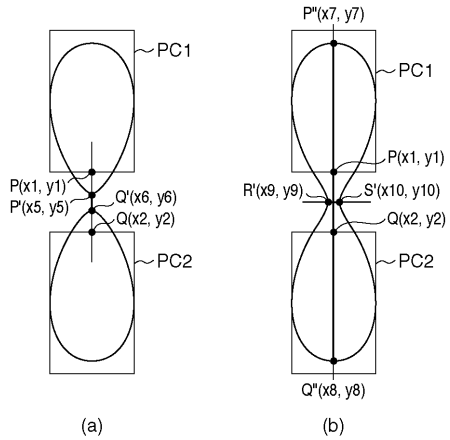
【図１】


開始
寸法評価線分の設定
S102
解像評価線分の設定
S104
パターンの像の取得
S106
パターンの像の輪郭の抽出
S108
パターン要素を相当する像の間の寸法の測長
S110
S112
パターン要素が解像しているか？
NO
YES
S114
S110における測長結果→評価値
S116
S110における測長結果に重み付けした値→評価値
パターンの像の評価
S118
終了

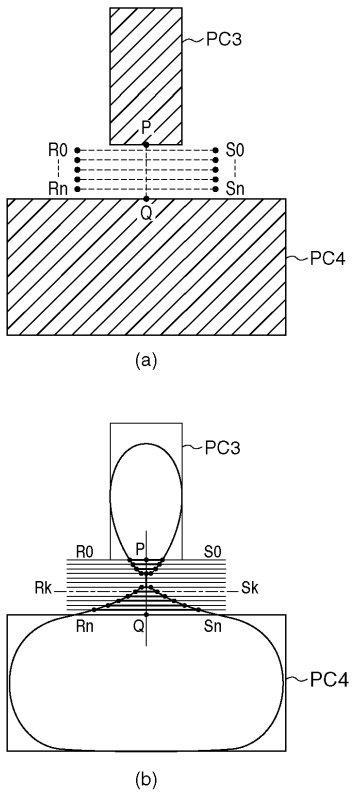
【図２】


PC1
P(x1, y1)
R(x3, y3)
S(x4, y4)
Q(x2, y2)
PC2

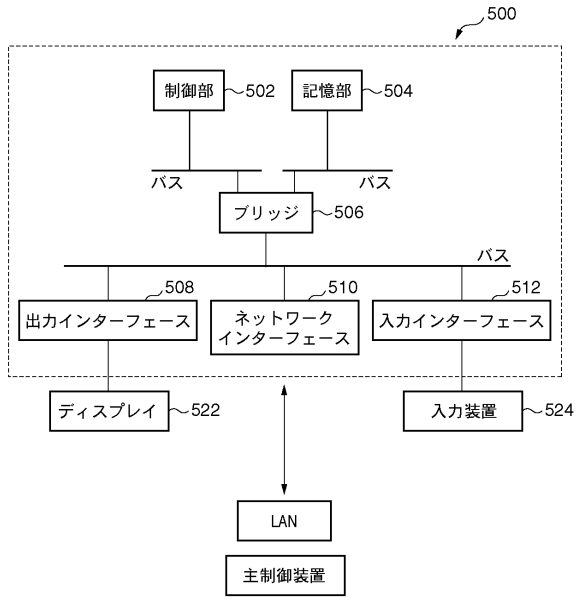
【図３】


PC1
P(x1, y1)
P'(x5, y5)
Q'(x6, y6)
Q(x2, y2)
PC2
(a)
P"(x7, y7)
PC1
P(x1, y1)
R'(x9, y9)
S'(x10, y10)
Q(x2, y2)
PC2
Q"(x8, y8)
(b)

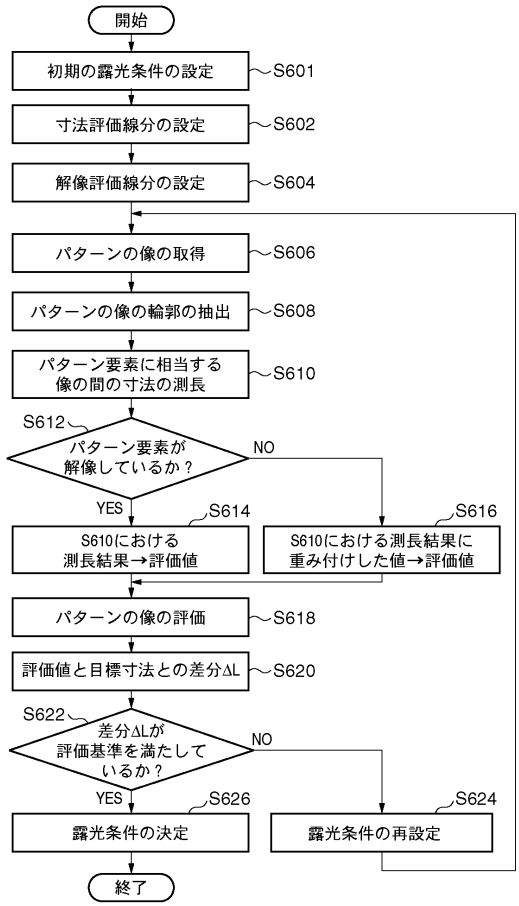
【図４】


PC3
P
R0
S0
Rn
Sn
Q
PC4
(a)
PC3
R0
P
S0
Rk
Sk
Rn
Q
Sn
PC4
(b)

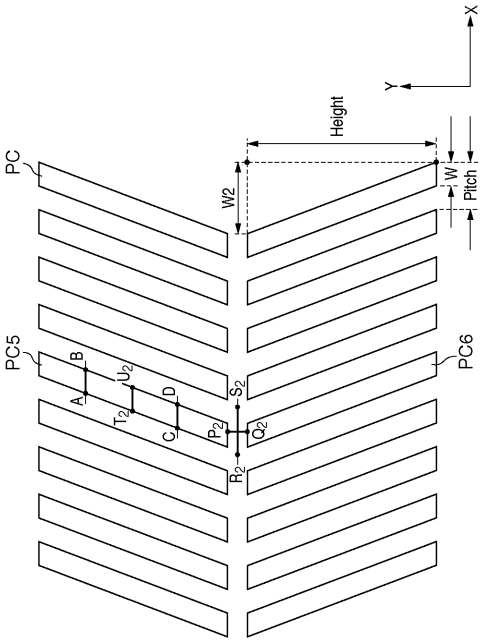
【図５】


500
制御部
502
記憶部
504
バス
バス
ブリッジ
506
バス
508
510
512
出力インターフェース
ネットワークインターフェース
入力インターフェース
ディスプレイ
522
入力装置
524
LAN
主制御装置

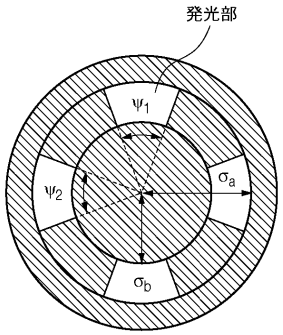
【図６】


開始
初期の露光条件の設定
S601
寸法評価線分の設定
S602
解像評価線分の設定
S604
パターンの像の取得
S606
パターンの像の輪郭の抽出
S608
パターン要素に相当する像の間の寸法の測長
S610
S612
パターン要素が解像しているか？
NO
YES
S614
S610における測長結果→評価値
S616
S610における測長結果に重み付けした値→評価値
パターンの像の評価
S618
評価値と目標寸法との差分ΔL
S620
S622
差分ΔLが評価基準を満たしているか？
NO
YES
S626
露光条件の決定
S624
露光条件の再設定
終了

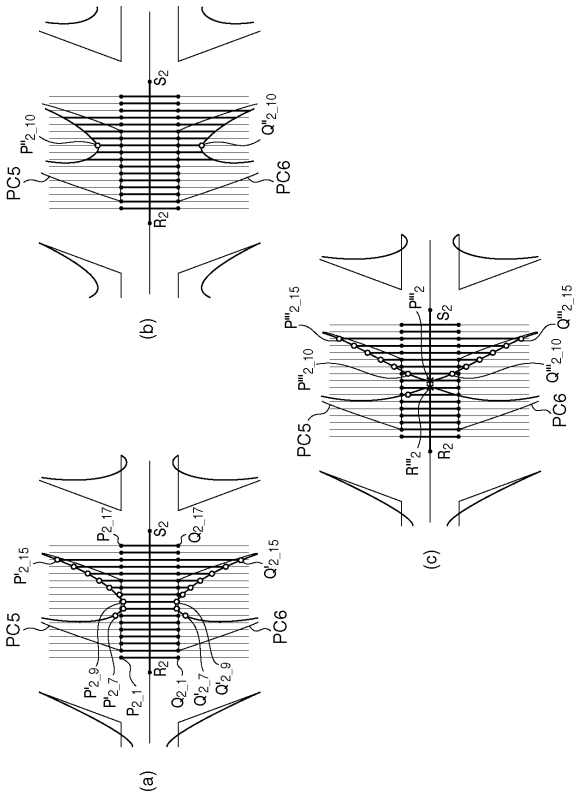
【図７】


X
Y
Height
W
Pitch
W2
PC
PC5
PC6
A
B
C
D
T2
U2
S2
P2
Q2
R2

【図８】


発光部
ψ1
ψ2
σa
σb

【図９】


(a)
(b)
(c)
PC5
PC6
S2
R2
P'2_1
P'2_7
P'2_9
P'2_15
P2_17
Q'2_1
Q'2_7
Q'2_9
Q'2_15
Q2_17
P''2_10
Q''2_10
P'''2
R'''2
P'''2_10
P'''2_15
Q'''2_10
Q'''2_15

フロントページの続き

(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　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　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　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　久保田　創

(56)参考文献　特開２０１０－１２９５９９（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－２０７９９６（ＪＰ，Ａ）
特開２００９－３０２２０６（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－２５８０８０（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ　２１／０２７
Ｇ０３Ｆ　７／２０