

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-200680

(P2004-200680A)

(43) 公開日 平成16年7月15日(2004.7.15)

(51) Int. Cl.⁷

F I

テーマコード (参考)

H O 1 L 21/027

H O 1 L 21/30

5 1 6 A

2 G O 8 6

G O 1 M 11/02

G O 1 M 11/02

B

5 C O 3 3

G O 3 F 7/20

G O 3 F 7/20

5 2 1

5 C O 3 4

H O 1 J 37/153

H O 1 J 37/153

Z

5 F O 4 6

H O 1 J 37/305

H O 1 J 37/305

B

審査請求 有 請求項の数 10 O L 外国語出願 (全 31 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-408154 (P2003-408154)

(22) 出願日 平成15年10月31日 (2003.10.31)

(31) 優先権主張番号 02257609.4

(32) 優先日 平成14年11月1日 (2002.11.1)

(33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(71) 出願人 502010332

エイエスエムエル ネザランドズ ベスロ

ーテン フェンノートシャップ

オランダ国 5 5 0 3 エルエイ フェル

トホーフェン, デ ルン 1 1 1 0

(74) 代理人 100066692

弁理士 浅村 皓

(74) 代理人 100072040

弁理士 浅村 肇

(74) 代理人 100123180

弁理士 白江 克則

(74) 代理人 100087217

弁理士 吉田 裕

最終頁に続く

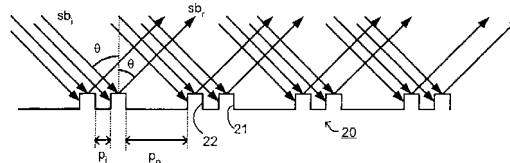
(54) 【発明の名称】 検査方法およびデバイス製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】リトグラフ技術を使用してデバイスの製造時に、パターンの非対称性を測定するインラインの測定方法を提供する。

【解決手段】検査方法は、少なくとも多少の対称性を有し、装置における特定の収差に感応するテスト・パターン基板に焼き付け、スキャテロメータを使用してその収差に関する情報を導き出すことで、リトグラフの収差を検出する。テスト構造には二本棒格子が含まれ、これによればコマ収差を示す情報を導き出すために、内側および外側の衝撃係数を再現することができる。これに代えて、六角形配列構造を使用することもでき、この場合にはスキャテロメトリ・データは三波収差を示す点の直径を再現するために使用できる。

【選択図】 図 4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

リトグラフ装置を使用して、該リトグラフ装置に存在し得る少なくとも 1 種類の収差に感応し、少なくとも 1 つの対称性を有するテスト・パターンを基板に焼き付ける段階と、
スキャテロメータを使用して、前記テスト・パターンの反射スペクトルを測定する段階と、

前記反射スペクトルから、前記リトグラフ装置に存在する前記少なくとも 1 種類の収差の大きさを示す情報を導き出す段階とを含む検査方法。

【請求項 2】

前記テスト・パターンが二本棒格子を含む請求項 1 に記載された検査方法。

10

【請求項 3】

前記収差の大きさを示す情報を導き出す段階が、前記リトグラフ装置のコマ収差を示す情報を導き出すために、パラメータとして内側および外側の衝撃係数を有する二本棒格子を再現する段階を含む請求項 2 に記載された検査方法。

【請求項 4】

前記テスト・パターンが六角形の点配列を含む請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載された検査方法。

【請求項 5】

前記収差の大きさを示す情報を導き出す段階が、スポット直径を再現する段階を含み、配列の各単位セルにおける前記スポット直径の差がリトグラフ装置の三波収差を示す請求項 4 に記載された検査方法。

20

【請求項 6】

前記テスト・パターンが、同じ基本的対称形状の第一、第二および第三の構造を含み、前記第一および第二の構造が、同一であるが反対方向の前記基本的対称形状からの非対称の偏りを有しており、前記第三の構造は前記第二の構造に比較して付加された非対称の偏りを有している請求項 1 に記載された検査方法。

【請求項 7】

前記収差の大きさを示す情報を導き出す段階が、前記第一および第二の構造から得たスキャテロメトリ信号の差を、前記第三および第二の構造から得たスキャテロメトリ信号の差で割る段階を含む請求項 6 に記載された検査方法。

30

【請求項 8】

前記第一、第二および第三の構造が二本棒格子であり、前記第一の構造は棒部の幅 w_1 および w_2 を有し、 w_1 は w_2 よりも大きく、前記第二の構造は前記第一の構造の鏡像であり、また第三の構造は $w_1 - w_2$ よりも小さい d で加算および減算した棒部の幅 $w_2 + d$ および $w_1 - d$ を有している請求項 7 または請求項 8 に記載された検査方法。

【請求項 9】

前記スキャテロメータが垂直入射スキャテロメータである請求項 1 から請求項 8 までのいずれか 1 項に記載された検査方法。

【請求項 10】

放射光感応物質の層で少なくとも部分的に覆われた基板を形成する段階と、
放射装置を使用して放射光の投影ビームを形成する段階と、
断面にパターンを有する投影ビームを与えるためにパターン形成手段を使用する段階と、

40

放射光感応物質の層の対象部分にパターン形成した放射光のビームを投影する段階とを含むデバイス製造方法において、

前記パターンが、処理層を表すパターンと、少なくとも一つの対称性を有するテスト・パターンとを含み、該テスト・パターンが、リトグラフ装置に存在し得る少なくとも一つの他の種類の収差に感応し、また

スキャテロメータを使用して前記テスト・パターンの反射スペクトルを測定する段階と、

50

前記反射スペクトルから、前記リトグラフ装置に存在する前記少なくとも一つの種類の収差の大きさを示す情報を導き出す段階とをさらに含むことを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、リトグラフ技術を利用するデバイスの製造に使用することのできる検査方法、およびリトグラフ技術を使用するデバイスの製造方法に関するものである。

【背景技術】

10

【0002】

リトグラフ投影装置を使用した製造工程において、放射光感応物質（レジスト）の層で少なくとも部分的に覆われた基板に、パターン（例えばマスクのパターン）の像が形成される。この像形成段階の前に、基板には、下地処理、レジスト被覆およびソフト・ベイク（軽い焼成）などの各種の工程が実施される。露光の後、基板は、露光後焼成（PEB）、現像、ハード・ベイク（強い焼成）および像形成された構造の測定／検査などの他の工程を実施される。この工程の配列は、例えばICのようなデバイスの個々の層をパターン形成するための基本として使用される。このようなパターン形成された層は、その後、いずれも個々の層の仕上げを目的とするエッチング、イオン注入（ドーピング）、金属化処理、酸化、化学機械研磨などのさまざまな工程が実施される。幾つかの層が要求される場合には、新たに層を形成する毎に、この工程全体またはその変形工程が繰返して行わなければならない。最終的に、配列されたデバイスが、基板（ウェーハ）上に与えられる。これらのデバイスは、その後、方形切断または鋸引きなどの技術によって互いに分断され、個々のデバイスは担体に取り付けられたり、ピンに連結されたりすることができる。このような工程に関するこれ以上の情報は、例えば「マイクロチップの製造：半導体の工程に関する実用ガイド」第三版、ピーター・ヴァン・ヅァント著、マクグロウ・ヒル出版社、1997年、ISBN 0 - 07 - 067250 - 4の書物から得られ、その記載内容全体を本明細書に援用する。

20

【0003】

レジスト現像後の測定および検査段階は、通常はウェーハ製造工程の途中で実施されることからインライン（一貫工程）として言及されるが、それは2つの目的を果たす。第一に、現像されたレジストのパターンに欠陥のある全ての対象箇所を検出することが望まれる。かなりの数のダイに欠陥があれば、例えば欠陥のあるパターンのままエッチングなどの処理段階を実施して永久的な欠陥を作り出すのではなく、パターン形成したレジストをウェーハから剥取って、望ましくは正確に再露光することができる。第二に、この測定は、リトグラフ装置における例えば照射の設定や露光時間の誤差を検出して次の露光のために修正するようにできる。しかしながら、リトグラフ装置における多くの誤差を、露光によって焼き付けられたパターンから検出し、またはその量を測ることは容易にはできない。欠陥の検出が常にその原因を直接に導くことはできない。そこで、リトグラフ装置の誤差を検出および測定するためのオフラインのさまざまな工程が知られている。それらの工程は、測定装置での基板の交換や、例えばさまざまに異なる機械設定のもとでの特別なテスト・パターンの露光を実施することを含んでいる。このようなオフライン技術は時間がかかり、しばしばかなりの時間を必要として、その間は製造のための露光に装置を使用することができない。従って、リトグラフ装置における誤差を検出および測定するために、製造時の露光を使用するか、またはそれと同時に実施することのできるインライン（一貫処理）検出測定技術が好ましい。

30

40

【0004】

デバイス製造においてライン幅、ピッチおよび限界寸法（CD）を測定するために使用される一つのインライン技術は「スカテロメトリ（scatterometry）」として知られている。スカテロメトリ法は、レイモンド氏他の「光学式スカテロメトリ

50

を使用するマルチパラメータ格子計測法 (Multiparameter Grating Metrology Using Optical Scatterometry)
」、J. Vac. Sci. Tech. B、第15巻、第2号、361 - 368頁、1997年、およびニウ氏他の「DUVリトグラフにおける鏡面分光スキャテロメトリ (Specular Spectroscopic Scatterometry in DUV Lithography)」、SPIE、第3677巻、1999年に記載されている。スキャテロメトリでは、現像されたレジストの周期的構造によって白色光が反射され、発生した反射スペクトルが所定の角度で検出される。この反射スペクトルを生じる構造は、例えば精密結合波分析 (RCWA) を使用して、またはシミュレーションにより導き出されたパターン・ライブラリと比較することで、再現される。

10

【0005】

パターンの非対称は、投影装置の収差、非収差投影レンズ部品、焦点板およびレジスト処理を含むリトグラフ装置に原因の多くを有する誤差である。パターンの非対称を測定する既存の技術は難しく、オフラインで行われ、レジストでの作用を直接に測定できないものであり、従って問題を最小限に抑えるために測定を行なっても、完成品において望ましい効果をあげるとは保証できない。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明の目的は、リトグラフ技術を使用してデバイスの製造時に、パターンの非対称を測定するインラインの測定方法を提供する。

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

この特徴および他の特徴は、本発明によれば、リトグラフ装置を使用して、前記リトグラフ装置に存在し得る少なくとも一つの種類の収差に感応する少なくとも一つの (at least one degree) の対称性を有するテスト・パターンを基板に焼き付ける段階と、スキャテロメータを使用して前記テスト・パターンの反射スペクトルを測定する段階と、前記反射スペクトルから前記リトグラフ装置に存在する少なくとも一つの種類の収差の大きさを示す情報を導き出す段階とを含む検査方法により達成される。

【0008】

30

この方法によれば、リトグラフ装置の収差の迅速な測定が達成できる。テスト・パターンは製造のための露光の間に、例えば罫書きレーン (scribe lane) または縁辺ダイ (edge die)、または基板の他の不使用箇所に焼き付けることができ、付加的に長時間を必要とすることはない。反射スペクトルは、同様に迅速に、また製造ラインの遅延を生じることなくスキャテロメータで測定することができる。従って本発明によるこの測定方法は、認証または較正工具としてラインに組込んで、すなわちインラインで使用できる。リトグラフ装置が適当な制御装置、例えば投影レンズにおける調整可能部材を備えるならば、その後のウェーハの像形成を改善するために即時の修正を行うことができる。代わって、もし測定した収差がかなりひどい状態であるならば、リトグラフ装置は多数の欠陥ウェーハが製造される前に、直ちに修正保守のために製造ラインから除外することができ。

40

【0009】

スキャテロメトリ段階は、レジスト潜像に十分なコントラストがある場合でも現像したレジストのパターンで行われることが好ましいが、このスキャテロメトリ段階は現像の前に実施できる。工程段階が実施されるよりも前に収差が検出されるので、欠陥デバイスを生じるほど収差がひどい状態であるならば、レジストを剥取って、基板を再び像形成の工程に戻すことができる。

【0010】

本発明の好ましい方法では、テスト・パターンは二本棒格子を含み、スキャテロメータで測定された反射スペクトルは、パラメータとして内側および外側の衝撃係数 (duty

50

ratio)を有する格子を再現するために使用される。再現された衝撃係数の期待値からの偏りはリトグラフ装置におけるコマ収差を示す。

【0011】

他の好ましい方法では、テスト・パターンは六角形の点配列を含み、スキャテロメータで測定された反射スペクトルはそれらのスポットの直径を再現するために使用される。各単位セルの第一、第三および第五の点を第二、第四および第六の点と比較して得た直径の差が三波収差(3-wave aberrations)を示す。

【0012】

勿論、他の収差に感応する他のテスト・パターンを使用することもでき、同じ形式または異なる形式の多数のテスト・パターンを同一基板に焼き付けることもできる。

10

【0013】

他の好ましい実施例では、テスト・パターンは同じ基本形状の第一、第二および第三の構造を含み、前記第一および第二の構造は基本形状から等しく且つ反対方向の非対称の偏りを有し、前記第三の構造は前記第二の構造に比較して更なる非対称の偏りを有している。他の構造も使用することができ、ノイズを軽減するために結果は平均化される。従って第一、第二および第三の反射スペクトルがそれぞれの構造から得られ、収差の大きさを示す情報は第一および第二のスキャテロメトリ信号の差を第三および第二のスキャテロメトリ信号の差で割ることによって導き出される。この方法により、計算による強度であって数値的に常に確固としたものとはいえないスキャテロメトリ信号からの構造の再現を必要とせず、リトグラフ装置の収差に関する情報を得ることができる。

20

【0014】

他の好ましい方法は、第一、第二および第三の構造が2本棒格子であり、第一の構造は棒部の幅 W_1 および W_2 (ここで $W_1 > W_2$)を有し、第二の構造は第一の構造の鏡像構造であり、第三の構造は棒部の幅 $W_2 + d$ および $W_1 - d$ (ここで $d < (W_1 - W_2)$)を有するテスト・パターンを使用して、コマ収差の測定に適用することができる。

【0015】

スキャテロメトリ段階(一回または複数回)は、垂直入射の白色光スキャテロメトリを使用して実施されることが好ましい。

【0016】

本発明の他の概念によれば、放射光感応物質の層で少なくとも部分的に覆われた基板を形成する段階と、

30

放射装置を使用して放射光の投影ビームを形成する段階と、

断面にパターンを有する投影ビームを与えるために、パターン形成手段を使用する段階と、

放射光感応物質の層の対象箇所上に放射光のパターン形成したビームを投影する段階とを含むデバイス製造方法において、

前記パターンが、処理層を表すパターンと、少なくとも一つの対称性を有するテスト・パターンとを含み、テスト・パターンが、リトグラフ装置に存在し得る少なくとも一つの他の種類の収差に感応し、また、

40

スキャテロメータを使用して前記テスト・パターンの反射スペクトルを測定する段階と、

前記反射スペクトルから、前記リトグラフ装置に存在する前記少なくとも一つの種類の収差の大きさを示す情報を導き出す段階とをさらに含むことを特徴とするデバイス製造方法が提供される。

【0017】

テスト・パターンは、野書きレーンのような製造層のパターンに隣接する領域に焼き付けられることが好ましい。このようにして、不必要な空間が基板を占めることはなく、最大限の面積がデバイスの製造のために残される。

【0018】

50

本発明のこの観点の好ましい実施例では、少なくとも一つの種類の収差の大きさを示す情報がリトグラフ装置のパラメータの調整に使用され、その調整後に別の基板が与えられて、投影ビームを形成する段階、パターン形成手段を使用する段階、およびパターン形成されたビームを投影する段階が繰返して行われる。

【0019】

このようにして、一つの基板に対して行われたスキャテロメトリ測定の結果はその後の露光を改善するようにリトグラフ装置を調整するために使用される。

【0020】

本明細書ではＩＣ製造におけるリトグラフ装置の使用を特に引用したが、ここに記載したリトグラフ装置は他の応用例、例えば集積光学装置、磁気領域記憶装置の誘導および検出パターン、液晶ディスプレイ（ＬＣＤ）、薄膜磁気ヘッドなどの応用例を有することを理解しなければならない。当業者はそのような代替応用例に関して、本明細書での「ウェーハ」や「ダイ」という用語の使用は一般的な「基板」や「対象箇所」という用語とそれぞれ同意語であると考えられることを認識するであろう。本明細書で引用された基板は露光の前後で、例えばトラック（基板にレジスト層を典型的に与え、露光済みレジストを現像する用具）または計測または検査用具において処理される。適用できるならば、本明細書の開示はそれらおよび他の基板処理用具に適用される。さらに、基板は例えば多層ＩＣを形成するために二回以上処理することができ、従って本明細書で使用する基板という用語は、既に多数の処理層を含んでいる基板に対しても使用できる。

【0021】

本明細書で使用される「放射光」および「ビーム」という用語は、全ての種類の電磁放射線を包含するのであり、紫外（ＵＶ）放射線（例えば、３６５、２４８、１９３、１５７または１２６ｎｍの波長を有する）、および超紫外（ＥＵＶ）放射線（例えば５～２０ｎｍの範囲の波長を有する）、ならびに粒子ビーム、例えばイオン・ビームや電子ビームを含む。

【0022】

本明細書で使用される「パターン形成手段」という用語は、基板の対象箇所にパターンを形成するために、断面にパターンを有する投影ビームを与えるために使用できる手段を示すものと広く解釈すべきである。投影ビームに与えられたパターンは、基板の対象箇所に望まれるパターンと正確に同じではないことに留意しなければならない。一般に、投影ビームに与えられるパターンは、集積回路のような対象箇所に形成されるデバイスの特定の機能層に対応する。

【0023】

パターン形成手段は透過式でも反射式でもよい。パターン形成手段の例としてマスク、プログラム可能なミラー配列、およびプログラム可能なＬＣＤパネルが含まれる。マスクはリトグラフでよく知られており、また二値化、交互位相シフト、減衰位相シフト、および各種のハイブリッド・マスク形式のようなマスク形式を含む。プログラム可能なミラー配列の例は、小さなミラーのマトリックス配列を使用し、各ミラーは入射放射線ビームをさまざまに異なる方向へ反射できるように個別に傾斜され、これにより反射ビームがパターン形成されるものである。パターン形成手段のそれぞれの例で、支持構造は例えば枠状または台状であり、それらは必要に応じて固定されるか可動とされ、また、例えば投影装置に対してパターン形成手段が所望位置に位置することを保証する。本明細書での「焦点板」や「マスク」という用語のいずれの使用も、より一般的な用語である「パターン形成手段」と同意語であると考えることができる。

【0024】

本明細書で使用される「投影装置」という用語は、例えば使用される露光放射光に適切な、または液浸流体を使用したり真空を使用するような他の要因に対して適当な、屈折光学装置、反射光学装置および反射屈折光学装置を含む各種形式の投影装置を包含するものと広く解釈されるべきである。本明細書で「レンズ」という用語のいずれの使用も、より一般的な用語の「投影装置」と同意語であると考えることができる。

【 0 0 2 5 】

照射装置もまた、放射光の方向決め、成形または調整を行う屈折、反射および屈折反射式の光学部材を含むさまざまな種類の光学部材を包含する。それらの光学部材もまた以下に全体として、または単体で、「レンズ」と称される。

【 0 0 2 6 】

リトグラフ装置は二つ（二段）以上の基板テーブル（および／または二つ以上のマスク・テーブル）を備えた形式とすることができる。このような「多段」機械では、追加されるテーブルは平行して使用されるか、あるいは一段以上のテーブルが露光で使用されている間、他の一段以上のテーブルに対しては準備段階にある。

【 0 0 2 7 】

リトグラフ装置は、基板が比較的到高屈折率を有する液体、例えば水中に浸され、投影装置の最終部材と基板との間の空間が充満されるような形式とすることもできる。液浸用液体はリトグラフ装置の他の空間、例えばマスクと投影装置の最初の部材との間に充満されてもよい。液浸用液体は投影装置の開口数を大きくすることがこの分野で知られている。

【 実施例 】

【 0 0 2 8 】

本発明の実施例が添付の模式図を参照して以下に例としてのみ説明される。

図面において、同じ符号は同じ部分を示す。

図 1 は本発明による方法で利用できるリトグラフ投影装置を模式的に示している。この装置は、

放射光（例えば DUV 放射光）の投影ビーム P B を供給する放射装置 E x , I L であって、特別の場合には放射光源 L A も含む放射装置 E x , I L と、

マスク M A（例えばレチクル）を保持するマスク保持具を備え、部材 P L に対してマスクを正確に位置決めするための第一の位置決め手段に連結された第一の物品テーブル（マスク・テーブル）M T と、

基板 W（例えばレジスト被覆シリコン・ウェーハ）を保持する基板保持具を備え、部材 P L に対して基板を正確に位置決めするための第二の位置決め手段に連結された第二の物品テーブル（基板テーブル）W T と、

基板 W の対象箇所 C（例えば一以上のダイスを含む）にマスク M A の照射部分を像形成する投影装置（「レンズ」）P L（例えば屈折式レンズ装置）とを含む。

【 0 0 2 9 】

本明細書で示すように、この装置は透過式（例えば透過マスクを有する）である。しかしながら一般には、反射式、例えば（例えば反射マスクを有する）とすることができる。これに代えて、この装置は前記に参照した形式のプログラム可能なミラー配列構造のような他の形式のパターン形成手段を使用することができる。

【 0 0 3 0 】

放射光源 L A（例えばエキシマ・レーザー）が放射光ビームを発生する。このビームは直接に、または例えばビーム拡張機 E x のような調整手段を横断した後で照射装置（照射装置）I L へ送られる。照射装置 I L は、ビームの強度分布の外側および／または内側の半径方向範囲（一般にそれぞれ外側 σ および内側 σ と称される）を設定する調整手段 A M を含むことができる。さらに、集積光学装置 I N およびコンデンサー C O のような他のさまざまな部材を一般に含む。このようにして、マスク M A に当たる投影ビーム P B は横断面において望ましい均一性および強度分布を有する。

【 0 0 3 1 】

図 1 を参照すると、放射光源 L A はリトグラフ投影装置のハウジング内に配置される（例えば放射光源 L A が水銀ランプの場合にこのようにされる）が、リトグラフ投影装置から離れた場所に位置されて、発生する放射ビームが装置内に導かれる（例えば適当な方向決めミラーによる）ようにすることもできることに留意すべきであり、後者の構成は放射光源 L A がエキシマ・レーザーの場合にしばしば採用される。本発明および特許請求の範

囲はこれらの両方の構成を包含する。

【 0 0 3 2 】

投影ビーム P B はその後マスク・テーブル M T に保持されたマスク M A に突き当る。マスク M A を超えた後、投影ビーム P B は基板 W の対象箇所 C に焦点を合わせるレンズ P L を通過する。第二の位置決め手段（と干渉式測定手段 I F ）により、基板テーブル W T は正確に、例えば、投影ビーム P B の光路内に異なる対象箇所 C を位置決めするように移動できる。同様に、例えばマスク・ライブラリからマスク M A を機械的に取出した後、または走査中に、第一の位置決め手段が、投影ビーム P B の光路に対してマスク M A を正確に位置決めするために使用できる。一般に、物品テーブル M T , W T の移動は長行程装置（粗い位置決め）および短行程装置（微調整）によって実行されるが、これらの装置は図 1

10

【 0 0 3 3 】

図示装置は以下の好適態様にて使用することができる。

1 . ステップ態様では、マスク・テーブル M T および基板テーブル W T は基本的に静止状態に保持される一方、投影ビームに与えられた全パターンが一回の移動（すなわち一回の静止露光）で対象箇所 C に投影される。基板テーブル W T はその後に X および / または Y 方向へ移動され、異なる対象箇所 C が露光できるようにされる。ステップ態様では、露光領域の最大寸法が、一回の静止露光で像形成される対象箇所 C の寸法を制限する。

20

【 0 0 3 4 】

2 . 走査態様では、投影ビームに与えられたパターンが対象箇所 C に投影される間、マスク・テーブル M T および基板テーブル W T が同期して走査される（すなわち、単一動的露光）。マスク・テーブル M T に対する基板テーブル W T の速度および方向は、投影装置 P L の倍率（縮小率）および像反転特性によって決まる。走査態様では、露光領域の最大寸法は単一動的露光における対象箇所の幅（非走査方向）を制限するのに対して、走査動作の長さは対象箇所の高さ（走査方向）を決定する。

【 0 0 3 5 】

3 . 他の態様において、マスク・テーブル M T は本質的に静止されてプログラム可能パターン形成手段を保持し、投影ビームに与えられたパターンが対象箇所 C に投影される間、基板テーブル W T が移動または走査される。この態様では、一般にパルス放射光源が使用され、また、基板テーブル W T の移動後毎に、または走査時の連続する放射パルスの間に、プログラム可能パターン形成手段が必要に応じて更新される。この作動態様は、プログラム可能パターン形成手段、例えば前記で引用したようなプログラム可能なミラー配列構造を使用するマスクの無いリトグラフに容易に適用することができる。

30

前記の使用態様の組合せおよび / または変形例、または全く異なる使用態様も使用することができる。

【 0 0 3 6 】

図 2 は、本発明が一部を構成するリトグラフ工程の系統図である。図 1 に関して前記のようなリトグラフ装置を使用して実施される露光段階 S 4 の前に、基板、例えばシリコン・ウェーハは、下地処理段階 S 1、レジスト層を被覆する被覆段階 S 2、およびレジストから溶剤を除去する軽い焼成 S 3 が行われる。露光後の検査段階 S 8 の前に、ウェーハは、露光後焼成 S 5、露光または未露光（レジストがポジかネガかによって決まる）のレジストが除去される現像段階 S 6、および強い焼成 S 7 が行われる。検査段階 S 8 には各種の測定および検査が含まれ、本発明によれば以下にさらに説明するスキャテロメトリ段階が含まれる。ウェーハが検査に合格すれば、処理段階 S 9 が実施される。この段階はレジストで被覆されていない基板面積部分のエッチング、生成層の被着、金属化処理、イオン注入などが含まれる。処理段階 S 9 の後、残るレジストが剥離段階 S 10 で剥離され、他の層に関する処理が再開される前に最終検査段階 S 11 が実施される。基板が検査段階 S 8 で不合格となった場合、直接に剥離段階 S 10 へ送られ、同じ処理層を焼き付ける他の

40

50

試みが行われる。

【0037】

検査段階S8では、図3に示したようなスカテロメータが使用される。このスカテロメータ10は広域帯（白色光）放射光源11を含み、これはビーム分割器12を経てウェーハWのテスト構造TSに放射光を導く。反射された放射光はスペクトロメータ13へ送られ、スペクトロメータ13が反射放射光のスペクトル（波長の関数としての強さ）を測定する。このデータに関して、例えば精密結合波分析および非線形回帰により、またはシミュレートされたスペクトルのライブラリとの比較によって、検出スペクトルを生じさせた構造が再現される。一般に、再現に関して構造の全体的な形状は知られており、幾つかのパラメータはその構造を形成する工程の知識を基にして仮定されるので、その構造の僅かなパラメータがスカテロメトリ・データから決定されるようになされるのみである。

【0038】

図示のとおり、スカテロメータは垂直入射スカテロメータである。しかしながら、傾斜入射スカテロメータを使用して同じ原理を適用できる。複数波長範囲の単一角度の反射以外に、単一波長の角度範囲の反射を測定する変形スカテロメトリも使用できる。

【0039】

本発明の第一の方法によれば、ウェーハWに焼き付けられた構造は、図4に示されるような2本棒格子の繰返しを含む。格子20は多数繰返された一対の棒部21, 22を含む。この格子は現像後に棒部が実線のレジスト線で形成されるように焼き付けられる。このパターンはリトグラフ投影装置、とりわけ投影装置PLにおけるコマ収差および照射非対称に感応し、またそのような収差の存在は焼き付けられた格子における意図された値からの内側および外側の衝撃係数 P_i , P_o の変化で明確に表される。従って、焼き付けられた格子20のスカテロメトリのデータは、再現処理のパラメータとして衝撃係数 P_i , P_o を有する格子を再現するために使用される。格子の他のパラメータ、例えばライン幅および形状は、焼き付け段階および/または他のスカテロメトリ処理の知識から再現処理のために入力できる。

【0040】

本発明の第二の方法に使用される格子構造が図5に示されている。この格子構造は六角形の単位セルを有する二次元格子であり、単位セルの各頂点に点部を有する。このパターンは、黒色点部31の直径を白色点部32に対して変化させる三波収差に感応する。白色点部に対する黒色点部の直径比はスカテロメトリのデータから回復することができる。

【0041】

本発明による第三の方法では、計算された強度が中心で下層の数およびその厚さが知られていないと常に可能であるとはいえない格子構造の再現を必要とすることなく、コマ収差を測定するための三つのテスト格子構造が使用される。

【0042】

図6は3つの格子G1、G2、G3を示しており、これらの格子は本発明のこの方法の一つの例で使用される。

【0043】

図6に示されるように、格子G1、G2、G3はそれぞれ二本棒構造の繰返しを含む。格子G1, G2は幅 w_1 , w_2 の棒部を有して鏡像対称の関係にある。等しいライン幅の二本棒構造に比較するとG1, G2は等しいが逆方向の非対称性を有している。これらの格子がコマ収差のない状態で完全に焼き付けられるならば、その二つの格子が鏡像対称であるので、垂直入射スカテロメータを使用することにより二つの格子は全体的に同じスカテロメトリ信号 S_1 , S_2 を発生する。従って、コマ収差がなければ、次式を得る。

$$S_1 - S_2 = 0 \quad (1)$$

【0044】

しかしながら僅かなコマ収差が存在すると、理想的なライン幅 w_1 , w_2 は或る量 w

だけ反対方向に変化して、次式を与える。

$$\begin{aligned} W_1' &= W_1 + W \\ W_2' &= W_2 - W \end{aligned} \quad (2)$$

【0045】

スキャテロメトリ信号が小さな収差に対して線形であると仮定すると、2つのスキャテロメトリ信号の間の差は次式で与えられる。

$$S_1 - S_2 = 2 d S / d W \times \Delta w \quad (3)$$

【0046】

導関数 $d S / d W$ は第三の格子 G_3 を使用して測定される。この第三の格子は、第二の格子 G_2 に似ているが、ライン幅に僅かな非対称性を有している。第三の格子 G_3 からのスキャテロメトリ信号 S_3 を格子 G_2 からの信号 S_2 と比較すると、次式が得られる。 10

$$d S / d W = (S_3 - S_2) / d \quad (4)$$

【0047】

これを数式 (3) に代入すると、コマ収差により生じるライン幅変化量 w が得られる。

$$\Delta w = ((S_1 - S_2) / (S_3 - S_2)) \times d / 2 \quad (5)$$

【0048】

値 S_1 、 S_2 、 S_3 はさまざまな波長に関するスキャテロメトリのデータから直接に得ることができ、いずれかのコマ収差によって生じた誤差を簡単に計算できる。スキャテロメトリ応答が線形でない場合、 G_3 に似ているが異なる d 値を有する付加された格子によって説明できる。 20

【0049】

この技術は、三波収差の測定に使用される六角形の配列構造に対しても適用することができる。

【0050】

以上に本発明の特定の実施例を説明したが、本発明は前記の説明以外の方法で実施できることが認識されるであろう。この説明は本発明を限定するように意図するものではない。

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】本発明による方法を遂行するために使用されるリトグラフ投影装置。 30

【図2】本発明の一実施例によるリトグラフ工程の系統図。

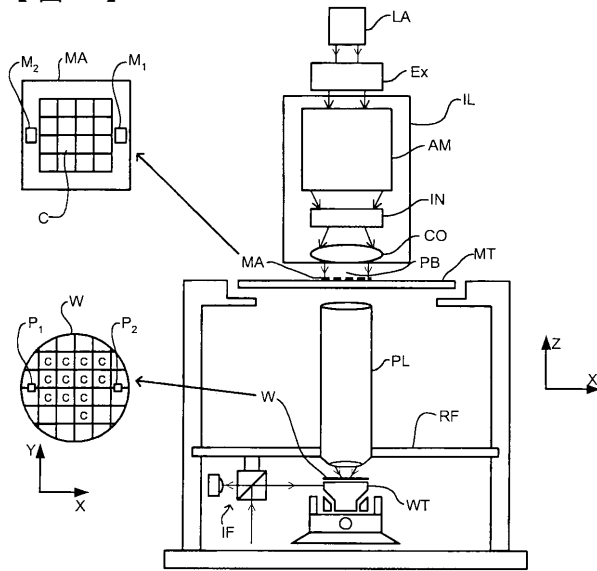
【図3】本発明による方法に使用できるスキャテロメータ。

【図4】本発明による第一の方法に使用される格子パターン。

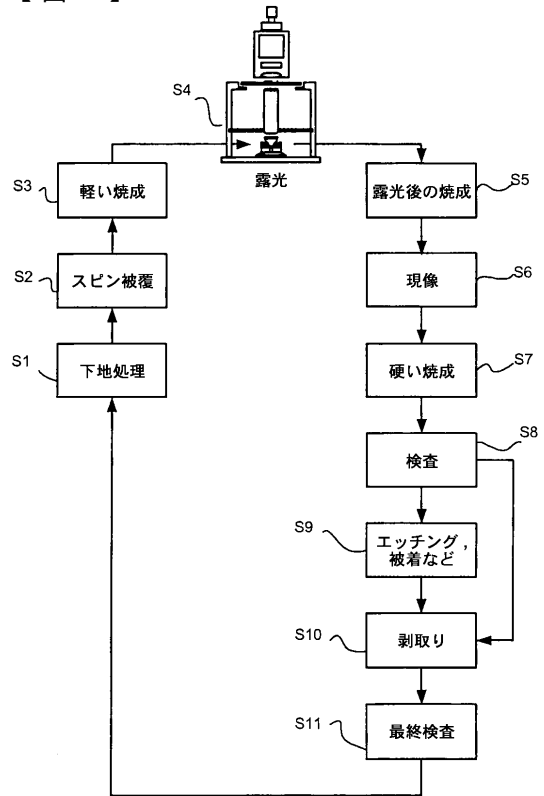
【図5】本発明による第二の方法に使用される格子パターン。

【図6】本発明による第三の方法に使用される格子パターン。

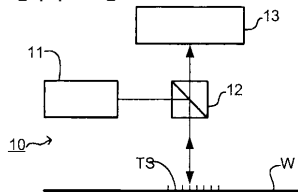
【図 1】



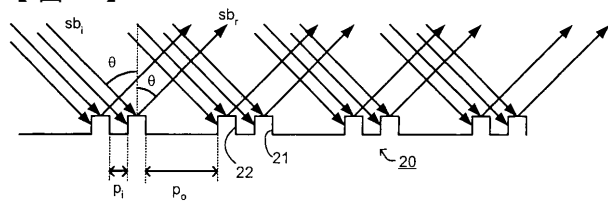
【図 2】



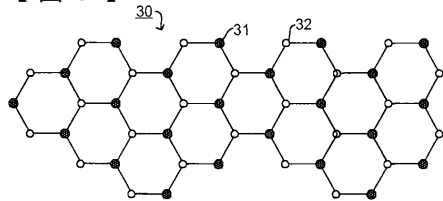
【図 3】



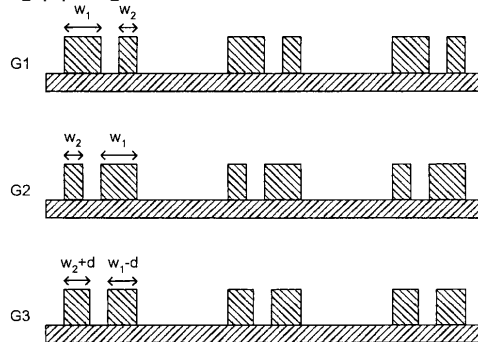
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【手続補正書】

【提出日】平成16年1月15日(2004.1.15)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

リトグラフ装置を使用して、該リトグラフ装置に存在し得る少なくとも1種類の収差に感応し、少なくとも1つの対称性を有するテスト・パターンを基板に焼き付ける段階と、
スキャテロメータを使用して、前記テスト・パターンの反射スペクトルを測定する段階と、

前記反射スペクトルから、前記リトグラフ装置に存在する前記少なくとも1種類の収差の大きさを示す情報を導き出す段階とを含む検査方法。

【請求項2】

前記テスト・パターンが二本棒格子を含む請求項1に記載された検査方法。

【請求項3】

前記収差の大きさを示す情報を導き出す段階が、前記リトグラフ装置のコマ収差を示す情報を導き出すために、パラメータとして内側および外側の衝撃係数を有する二本棒格子を再現する段階を含む請求項2に記載された検査方法。

【請求項4】

前記テスト・パターンが六角形の点配列を含む請求項1から請求項3までのいずれか1項に記載された検査方法。

【請求項5】

前記収差の大きさを示す情報を導き出す段階が、スポット直径を再現する段階を含み、配列の各単位セルにおける前記スポット直径の差がリトグラフ装置の三波収差を示す請求項4に記載された検査方法。

【請求項6】

前記テスト・パターンが、同じ基本的対称形状の第一、第二および第三の構造を含み、前記第一および第二の構造が、同一であるが反対方向の前記基本的対称形状からの非対称の偏りを有しており、前記第三の構造は前記第二の構造に比較して付加された非対称の偏りを有している請求項1に記載された検査方法。

【請求項7】

前記収差の大きさを示す情報を導き出す段階が、前記第一および第二の構造から得たスキャテロメトリ信号の差を、前記第三および第二の構造から得たスキャテロメトリ信号の差で割る段階を含む請求項6に記載された検査方法。

【請求項8】

前記第一、第二および第三の構造が二本棒格子であり、前記第一の構造は棒部の幅 w_1 および w_2 を有し、 w_1 は w_2 よりも大きく、前記第二の構造は前記第一の構造の鏡像であり、また第三の構造は $w_1 - w_2$ よりも小さい d で加算および減算した棒部の幅 $w_2 + d$ および $w_1 - d$ を有している請求項6または請求項7に記載された検査方法。

【請求項9】

前記スキャテロメータが垂直入射スキャテロメータである請求項1から請求項8までのいずれか1項に記載された検査方法。

【請求項10】

放射光感応物質の層で少なくとも部分的に覆われた基板を形成する段階と、

放射装置を使用して放射光の投影ビームを形成する段階と、

断面にパターンを有する投影ビームを与えるためにパターン形成手段を使用する段階と、

、

放射光感応物質の層の対象部分にパターン形成した放射光のビームを投影する段階とを含むデバイス製造方法において、

前記パターンが、処理層を表すパターンと、少なくとも一つの対称性を有するテスト・パターンとを含み、該テスト・パターンが、リトグラフ装置に存在し得る少なくとも一つの他の種類の収差に感応し、また

スキャテロメータを使用して前記テスト・パターンの反射スペクトルを測定する段階と

、
前記反射スペクトルから、前記リトグラフ装置に存在する前記少なくとも一つの種類の収差の大きさを示す情報を導き出す段階とをさらに含むことを特徴とするデバイス製造方法。

フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷ F I テーマコード(参考)
H 0 1 L 21/30 5 0 2 V

(72)発明者 アリー ジェフリー デン ボーフ
オランダ国 ワールレ、ヘット フォルト 3 5

(72)発明者 ハンス ファン デル ラーン
オランダ国 フェルトホーフェン、オルメベーク 6

(72)発明者 アントニウス ヨハannes ヨセフス ファン デュッセルドンク
オランダ国 ハベルト、フェンブローク 2 2

(72)発明者 ミルセア デュサ
アメリカ合衆国 カリフォルニア、キャンベル、 ウェストモント アヴェニュー 1 6 4 5

(72)発明者 アントイン ガストン マリー キエルス
オランダ国 フェルトホーフェン、レイ 5 3

F ターム(参考) 2G086 HH06
5C033 JJ02
5C034 BB05 BB08 BB10
5F046 AA18 DB05 DB08 DB11 GA14

【 外国語明細書 】

Inspection Method and Device Manufacturing Method

The present invention methods of inspection useable in the manufacture of devices by lithographic techniques and to methods of manufacturing devices using lithographic techniques.

5

In a manufacturing process using a lithographic projection apparatus, a pattern (e.g. in a mask) is imaged onto a substrate that is at least partially covered by a layer of radiation-sensitive material (resist). Prior to this imaging step, the substrate may undergo various procedures, such as priming, resist coating and a soft bake. After exposure, the
10 substrate may be subjected to other procedures, such as a post-exposure bake (PEB), development, a hard bake and measurement/inspection of the imaged features. This array of procedures is used as a basis to pattern an individual layer of a device, e.g. an IC. Such a patterned layer may then undergo various processes such as etching, ion-implantation (doping), metallization, oxidation, chemo-mechanical polishing, etc., all intended to finish
15 off an individual layer. If several layers are required, then the whole procedure, or a variant thereof, will have to be repeated for each new layer. Eventually, an array of devices will be present on the substrate (wafer). These devices are then separated from one another by a technique such as dicing or sawing, whence the individual devices can be mounted on a carrier, connected to pins, etc. Further information regarding such processes can be
20 obtained, for example, from the book "Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing", Third Edition, by Peter van Zant, McGraw Hill Publishing Co., 1997, ISBN 0-07-067250-4, incorporated herein by reference.

The measurement and inspection step after development of the resist, referred to as in-line because it is carried out in the normal course of processing production wafers, serves
25 two purposes. Firstly, it is desirable to detect any target areas where the pattern in the developed resist is faulty. If a sufficient number of dies are faulty, the wafer can be stripped of the patterned resist and re-exposed, hopefully correctly, rather than making the fault permanent by carrying out a process step, e.g. an etch, with a faulty pattern. Secondly, the measurements may allow errors in the lithographic apparatus, e.g. illumination settings or

-2-

exposure times, to be detected and corrected for subsequent exposures. However, many errors in the lithographic apparatus cannot easily be detected or quantified from the patterns printed in exposures. Detection of a fault does not always lead directly to its cause. Thus, a variety of off-line procedures for detecting and measuring errors in the lithographic

5 apparatus are known. These may involve replacing the substrate with a measuring device or carrying out exposures of special test patterns, e.g. at a variety of different machine settings.

Such off-line techniques take time, often a considerable amount, during which the apparatus cannot be used for production exposures. Therefore, in-line techniques, ones which can be carried out using or at the same time as production exposures, for detecting
10 and measuring errors in the lithographic apparatus are preferred.

One in-line technique used in device manufacturing for measurements of linewidth, pitch and critical dimension (CD) is known as "scatterometry". Methods of scatterometry are described in Raymond *et al* "Multiparameter Grating Metrology Using Optical Scatterometry", J. Vac. Sci. Tech. B, Vol.15 no.2 361-368 1997 and Niu *et al* "Specular
15 Spectroscopic Scatterometry in DUV Lithography", SPIE, Vol. 3677, 1999. In scatterometry, white light is reflected by periodic structures in the developed resist and the resulting reflection spectrum at a given angle detected. The structure giving rise to the reflection spectrum is reconstructed, e.g. using Rigorous Coupled-Wave Analysis (RCWA) or by comparison to a library of patterns derived by simulation.

20 Pattern asymmetry is an error that can have a number of sources in the lithographic apparatus, including aberrations in the projection system, non-aberration projection lens artifacts, the reticle and the resist processing. Existing techniques for measuring pattern asymmetry are difficult, off-line and do not directly measure the effects in resist so that it is not guaranteed that measures taken to minimize the problem will have the desired effect in
25 the finished product.

It is an object of the present invention to provide an in-line method of measuring pattern asymmetry during manufacture of devices using lithographic techniques.

30 This and other objects are achieved according to the invention in an inspection method comprising the steps of:

using a lithographic apparatus to print onto a substrate a test pattern having at least

one degree of symmetry, said pattern being sensitive to at least one type of aberration that may be present in said lithographic apparatus;

using a scatterometer to measure a reflection spectrum of said test pattern; and

deriving from the reflection spectrum information indicative of the amount of said

5 at least one type of aberration present in said lithographic apparatus.

By this method, a rapid measurement of aberration in the lithographic apparatus can be obtained. The test pattern can be printed in the course of production exposures, for example in a scribe lane or edge die or other unused area of the substrate, without requiring significant additional time. The reflection spectrum can be measured by the scatterometer
10 equally quickly and without delaying the production line. The measurement method of the invention can therefore be used in-line, as a qualification or calibration tool. If the lithographic apparatus is provided with suitable controls, e.g. adjustable elements in the projection lens, an immediate correction can be applied to improve imaging of subsequent wafers. Alternatively if the measured aberration is sufficiently severe, the lithographic
15 apparatus can be taken out of production for corrective maintenance straight away, before large numbers of defective wafers are produced.

Preferably the scatterometry step is carried out on the pattern in developed resist although if there is sufficient contrast in the latent resist image, the scatterometry step may be carried out before development. Because the aberration is detected before a process step
20 is carried out, if the aberration is severe enough to result in a defective device, the resist can be stripped and the substrate put back into the process for re-imaging.

In a preferred method of the invention, the test pattern comprises a two-bar grating and the reflectance spectrum measured by the scatterometer is used to reconstruct the grating with the inner and outer duty ratios as parameters. Deviations in the reconstructed
25 duty ratios from the expected values are indicative of comatic aberration in the lithographic apparatus.

In another preferred method, the test pattern comprises a hexagonal array of dots and the reflectance spectrum measured by the scatterometer is used to reconstruct the diameters of the spots. Differences in the diameters of the first, third and fifth dots in each
30 unit cell compared to the second, fourth and sixth dots, are indicative of 3-wave aberrations.

Of course, other test patterns sensitive to other aberrations may be used and multiple test patterns of the same or different types may be printed on the same substrate.

In a further preferred method, the test pattern comprises first, second and third structures of the same basic form, said first and second structures having equal, but opposite, asymmetric deviations from said basic form and said third structure having an additional asymmetric deviation as compared to said second structure. Further structures may also be used and the results averaged to reduce noise. First, second and third reflection spectra are then obtained from the respective structures and the information indicative of the amount of aberration is derived by dividing the difference between the first and second scatterometry signals by the difference between the third and second scatterometry signals. By this method, information about the aberration in the lithographic apparatus can be obtained without needing to reconstruct the structure from the scatterometry signal, which is computationally intensive and not always numerically robust.

The further preferred method can be applied to measure comatic aberration using a test pattern in which the first, second and third structures are two-bar gratings, the first structure has bar widths W_1 and W_2 , where $W_1 > W_2$, the second structure is a mirror image of the first structure and the third structure has bar widths $W_2 + d$ and $W_1 - d$, where $d < (W_1 - W_2)$.

Preferably, the scatterometry step(s) is (are) carried out using normal incidence, white light scatterometry.

According to a further aspect of the invention there is provided a device manufacturing method comprising the steps of:

- providing a substrate that is at least partially covered by a layer of radiation-sensitive material;
- providing a projection beam of radiation using a radiation system;
- using patterning means to endow the projection beam with a pattern in its cross-section;
- projecting the patterned beam of radiation onto a target portion of the layer of radiation-sensitive material,
- characterized in that:
 - said pattern comprises a pattern representing a process layer and a test pattern having at least one degree of symmetry, said test pattern being sensitive to at least one other type of aberration that may be present in said lithographic apparatus; and by the further steps of:

using a scatterometer to measure the reflection spectrum of said test pattern; and
deriving from the reflection spectrum information indicative of the amount of said
at least one type of aberration present in said lithographic apparatus.

Preferably, the test pattern is printed in an area adjacent the pattern of the
5 production layer, such as a scribe lane. In this way, no unnecessary space is taken up on the
substrate and a maximum area remains for production of devices.

In a preferred embodiment of this aspect of the invention, said information
indicative of the amount of said at least one type of aberration is used to adjust a parameter
of the lithographic apparatus after which a further substrate is provided and said steps of
10 providing a projection beam, using patterning means and projecting the patterned beam, are
repeated.

In this way, the results of scatterometry measurements taken on one substrate can
be used to adjust the lithographic apparatus so that subsequent exposures are improved.

Although specific reference may be made in this text to the use of lithographic
15 apparatus in the manufacture of ICs, it should be understood that the lithographic apparatus
described herein may have other applications, such as the manufacture of integrated optical
systems, guidance and detection patterns for magnetic domain memories, liquid-crystal
displays (LCDs), thin-film magnetic heads, etc. The skilled artisan will appreciate that, in the
context of such alternative applications, any use of the terms "wafer" or "die" herein may be
20 considered as synonymous with the more general terms "substrate" or "target portion",
respectively. The substrate referred to herein may be processed, before or after exposure, in
for example a track (a tool that typically applies a layer of resist to a substrate and develops
the exposed resist) or a metrology or inspection tool. Where applicable, the disclosure
herein may be applied to such and other substrate processing tools. Further, the substrate
25 may be processed more than once, for example in order to create a multi-layer IC, so that
the term substrate used herein may also refer to a substrate that already contains multiple
processed layers.

The terms "radiation" and "beam" used herein encompass all types of
electromagnetic radiation, including ultraviolet (UV) radiation (e.g. having a wavelength of
30 365, 248, 193, 157 or 126 nm) and extreme ultra-violet (EUV) radiation (e.g. having a
wavelength in the range of 5-20 nm), as well as particle beams, such as ion beams or
electron beams.

The term "patterning means" used herein should be broadly interpreted as referring to means that can be used to impart a projection beam with a pattern in its cross-section such as to create a pattern in a target portion of the substrate. It should be noted that the pattern imparted to the projection beam may not exactly correspond to the desired pattern in the target portion of the substrate. Generally, the pattern imparted to the projection beam will correspond to a particular functional layer in a device being created in the target portion, such as an integrated circuit.

Patterning means may be transmissive or reflective. Examples of patterning means include masks, programmable mirror arrays, and programmable LCD panels. Masks are well known in lithography, and include mask types such as binary, alternating phase-shift, and attenuated phase-shift, as well as various hybrid mask types. An example of a programmable mirror array employs a matrix arrangement of small mirrors, each of which can be individually tilted so as to reflect an incoming radiation beam in different directions; in this manner, the reflected beam is patterned. In each example of patterning means, the support structure may be a frame or table, for example, which may be fixed or movable as required and which may ensure that the patterning means is at a desired position, for example with respect to the projection system. Any use of the terms "reticle" or "mask" herein may be considered synonymous with the more general term "patterning means".

The term "projection system" used herein should be broadly interpreted as encompassing various types of projection system, including refractive optical systems, reflective optical systems, and catadioptric optical systems, as appropriate for example for the exposure radiation being used, or for other factors such as the use of an immersion fluid or the use of a vacuum. Any use of the term "lens" herein may be considered as synonymous with the more general term "projection system".

The illumination system may also encompass various types of optical components, including refractive, reflective, and catadioptric optical components for directing, shaping, or controlling the projection beam of radiation, and such components may also be referred to below, collectively or singularly, as a "lens".

The lithographic apparatus may be of a type having two (dual stage) or more substrate tables (and/or two or more mask tables). In such "multiple stage" machines the additional tables may be used in parallel, or preparatory steps may be carried out on one or more tables while one or more other tables are being used for exposure.

The lithographic apparatus may also be of a type wherein the substrate is immersed in a liquid having a relatively high refractive index, e.g. water, so as to fill a space between the final element of the projection system and the substrate. Immersion liquids may also be applied to other spaces in the lithographic apparatus, for example, between the mask and the first element of the projection system. Immersion techniques are well known in the art for increasing the numerical aperture of projection systems.

Embodiments of the invention will now be described, by way of example only, with reference to the accompanying schematic drawings in which:

Figure 1 depicts a lithographic projection apparatus that may be used to perform methods according to the invention;

Figure 2 is a flow diagram of a lithographic process according to an embodiment of the invention;

Figure 3 depicts a scatterometer useable in methods according to the present invention;

Figure 4 depicts a grating pattern used in a first method according to the present invention;

Figure 5 depicts a grating pattern used in a second embodiment of the present invention; and

Figure 6 depicts three grating patterns used in a third method according to the present invention.

In the Figures, corresponding reference symbols indicate corresponding parts.

25

Lithographic Projection Apparatus

Figure 1 schematically depicts a lithographic projection apparatus useable in methods according to the invention. The apparatus comprises:

- a radiation system Ex, IL, for supplying a projection beam PB of radiation (e.g. DUV radiation), which in this particular case also comprises a radiation source LA;
- a first object table (mask table) MT provided with a mask holder for holding a

mask MA (*e.g.* a reticle), and connected to first positioning means for accurately positioning the mask with respect to item PL;

- a second object table (substrate table) WT provided with a substrate holder for holding a substrate W (*e.g.* a resist-coated silicon wafer), and connected to second
5 positioning means for accurately positioning the substrate with respect to item PL;
- a projection system ("lens") PL (*e.g.* a refractive lens system) for imaging an irradiated portion of the mask MA onto a target portion C (*e.g.* comprising one or more dies) of the substrate W.

As here depicted, the apparatus is of a transmissive type (*e.g.* has a transmissive mask).

- 10 However, in general, it may also be of a reflective type, for example (*e.g.* with a reflective mask). Alternatively, the apparatus may employ another kind of patterning means, such as a programmable mirror array of a type as referred to above.

The source LA (*e.g.* an excimer laser) produces a beam of radiation. This beam is fed into an illumination system (illuminator) IL, either directly or after having traversed
15 conditioning means, such as a beam expander Ex, for example. The illuminator IL may comprise adjusting means AM for setting the outer and/or inner radial extent (commonly referred to as σ -outer and σ -inner, respectively) of the intensity distribution in the beam. In addition, it will generally comprise various other components, such as an integrator IN and a condenser CO. In this way, the beam PB impinging on the mask MA has a desired
20 uniformity and intensity distribution in its crosssection.

It should be noted with regard to Figure 1 that the source LA may be within the housing of the lithographic projection apparatus (as is often the case when the source LA is a mercury lamp, for example), but that it may also be remote from the lithographic
projection apparatus, the radiation beam which it produces being led into the apparatus (*e.g.*
25 with the aid of suitable directing mirrors); this latter scenario is often the case when the source LA is an excimer laser. The current invention and Claims encompass both of these scenarios.

The beam PB subsequently intercepts the mask MA, which is held on a mask table MT. Having traversed the mask MA, the beam PB passes through the lens PL, which
30 focuses the beam PB onto a target portion C of the substrate W. With the aid of the second positioning means (and interferometric measuring means IF), the substrate table WT can be moved accurately, *e.g.* so as to position different target portions C in the path of the beam

PB. Similarly, the first positioning means can be used to accurately position the mask MA with respect to the path of the beam PB, e.g. after mechanical retrieval of the mask MA from a mask library, or during a scan. In general, movement of the object tables MT, WT will be realized with the aid of a long-stroke module (course positioning) and a short-stroke module (fine positioning), which are not explicitly depicted in Figure 1. However, in the case of a wafer stepper (as opposed to a step-and-scan apparatus) the mask table MT may just be connected to a short stroke actuator, or may be fixed.

The depicted apparatus can be used in the following preferred modes:

1. In step mode, the mask table MT and the substrate table WT are kept essentially stationary, while an entire pattern imparted to the projection beam is projected onto a target portion C in one go (i.e. a single static exposure). The substrate table WT is then shifted in the X and/or Y direction so that a different target portion C can be exposed. In step mode, the maximum size of the exposure field limits the size of the target portion C imaged in a single static exposure.
2. In scan mode, the mask table MT and the substrate table WT are scanned synchronously while a pattern imparted to the projection beam is projected onto a target portion C (i.e. a single dynamic exposure). The velocity and direction of the substrate table WT relative to the mask table MT is determined by the (de-)magnification and image reversal characteristics of the projection system PL. In scan mode, the maximum size of the exposure field limits the width (in the non-scanning direction) of the target portion in a single dynamic exposure, whereas the length of the scanning motion determines the height (in the scanning direction) of the target portion.
3. In another mode, the mask table MT is kept essentially stationary holding a programmable patterning means, and the substrate table WT is moved or scanned while a pattern imparted to the projection beam is projected onto a target portion C. In this mode, generally a pulsed radiation source is employed and the programmable patterning means is updated as required after each movement of the substrate table WT or in between successive radiation pulses during a scan. This mode of operation can be readily applied to maskless lithography that utilizes programmable patterning means, such as a programmable mirror array of a type as referred to above.

Combinations and/or variations on the above described modes of use or entirely different modes of use may also be employed.

Figure 2 is a flow diagram of a lithographic process of which the present invention may form part. Prior to the exposure step S4, which may be carried out using a lithographic apparatus such as described above with relation to Figure 1, a substrate, *e.g.* a silicon wafer, undergoes a priming step S1, spin coating step S2 to coat it with a layer of resist and a soft
5 bake S3 to remove solvents from the resist. After exposure, the wafer undergoes a post-exposure bake S5, a development step S6 during which the exposed or unexposed resist (depending on whether the resist is positive or negative) is removed and a hard bake S7, prior to an inspection step S8. The inspection step S8 includes various different measurements and inspections and according to the invention includes a scatterometry step
10 described further below. If the wafer passes inspection, a process step S9 is carried out. This may involve etching the areas of the substrate not covered by resist, deposition of a product layer, metallization, ion implantation, etc. After the process step S9 the remaining resist is stripped S10 and a final inspection S11 carried out before the process resumes for another layer. In case a substrate fails an inspection at S8, it may be directed directly to a
15 stripping step S10 and another attempt to print the same process layer made.

In the inspection step S8, a scatterometer such as depicted in Figure 3 may be used. The scatterometer 10 comprises a broadband (white light) radiation source 11 which directs radiation via a beamsplitter 12 onto a test structure TS on the wafer W. The reflected radiation is passed to a spectrometer 13 which measures a spectrum (intensity as a
20 function of wavelength) of the specular reflected radiation. From this data, the structure giving rise to the detected spectrum may be reconstructed, *e.g.* by Rigorous Coupled Wave Analysis and non-linear regression or by comparison with a library of simulated spectra. In general, for the reconstruction the general form of the structure is known and some parameters are assumed from knowledge of the process by which the structure was made,
25 leaving only a few parameters of the structure to be determined from the scatterometry data.

As illustrated, the scatterometer is a normal-incidence scatterometer.. However the same principle may be applied using inclined incidence scatterometry. Variants of scatterometry in which the reflection at a range of angles of a single wavelength, rather than the reflection at a single angle of a range of wavelengths, is measured may also be used.
30

Embodiment 1

According to a first method of the invention, the test structure printed on the

substrate W comprises a repeating two-bar grating as depicted in Figure 4. The grating 20 comprises a pair of bars 21, 22 repeated a large number of times. The grating is printed such that after development, the bars are formed of solid resist lines. This pattern is sensitive to comatic aberrations in the lithographic projection apparatus, particularly the projection system PL, and illumination asymmetry and the presence of such aberrations will manifest themselves in a variation in the printed grating of the inner and outer duty ratios P_i and P_o from their intended values. Accordingly, the scatterometry data of the printed grating 20 is used to reconstruct the grating with the duty ratios P_i , P_o as parameters of the reconstruction process. The other parameters of the grating, such as linewidths and shapes, may be input to the reconstruction process from knowledge of the printing step and/or other scatterometry processes.

Embodiment 2

A grating structure used in a second method of the present invention is depicted in Figure 5. This grating structure is a two-dimensional grating with a hexagonal unit cell with a dot at each corner of the unit cell. This pattern is sensitive to three-wave aberration which will cause the diameter of the black dots 31 to change relative to the white dots 32. The ratio of the diameters of the black dots to the white dots can be recovered from the scatterometry data.

Embodiment 3

In a third method according to the present invention, three test grating structures are used to measure comatic aberrations without the need to reconstruct the grating structures which is computationally intensive and not always possible if the number and thickness of the underlying layers is not known.

Figure 6 depicts the three gratings G1, G2 and G3 which are used in one example of this method of the present invention.

As depicted in Figure 6, gratings G1, G2 and G3 each comprise repeating two-bar structures. Gratings G1 and G2 are mirror symmetric with bars of width w_1 and w_2 . Compared to a two-bar structure with equal line widths, G1 and G2 have equal, but opposite asymmetries. If these gratings are printed perfectly, with no comatic aberration, then using a normal incidence scatterometer the two gratings will generate identical

scatterometry signals S_1 and S_2 because they are mirror symmetric. Thus, with no comatic aberration we have:

$$S_1 - S_2 = 0 \quad (1)$$

5

If however a small amount of comatic aberration is present, the ideal linewidths w_1 and w_2 will change in opposite directions by an amount w giving:

$$w_1' = w_1 + w$$

10

$$w_2' = w_2 - w$$

(2)

Assuming that the scatterometry signal is linear for small aberrations, the difference between the two scatterometry signals will then be given by:

15

$$S_1 - S_2 = 2 \frac{dS}{dw} \times \Delta w \quad (3)$$

The derivative dS/dw is measured using the third grating G3 which is similar to the second grating G2 but has an additional small asymmetry d in the linewidth. Comparing the scatterometry S_3 from grating G3 with S_2 from grating G2 yields:

20

$$\frac{dS}{dw} = \frac{(S_3 - S_2)}{d} \quad (4)$$

Substituting into equation (3), yields the linewidth change w caused by comatic aberration:

25

$$\Delta w = \left(\frac{S_1 - S_2}{S_3 - S_2} \right) \times \frac{d}{2} \quad (5)$$

The values S_1 , S_2 and S_3 can be taken directly from the scatterometry data for a variety of wavelengths to enable simple calculation of the error introduced by any comatic

aberration. In the event that the scatterometer response is not linear, this can be accounted for by additional gratings similar to G3 but with different values of d .

This technique can also be applied to the hexagon array used to measure 3-wave aberrations.

5

Whilst specific embodiments of the invention have been described above, it will be appreciated that the invention may be practiced otherwise than as described. The description is not intended to limit the invention.

CLAIMS:

1. An inspection method comprising the steps of:
using a lithographic apparatus to print onto a substrate a test pattern having at least one degree of symmetry, said pattern being sensitive to at least one type of aberration that may be present in said lithographic apparatus;
using a scatterometer to measure a reflection spectrum of said test pattern; and
deriving from the reflection spectrum information indicative of the amount of said at least one type of aberration present in said lithographic apparatus.
2. An inspection method according to claim 1 wherein said test pattern comprises a two-bar grating.
3. An inspection method according to claim 2 wherein said step of deriving information comprises reconstructing the two-bar grating with the inner and outer duty ratios as parameters so as to derive information indicative of comatic aberration in the lithographic apparatus.
4. An inspection method according to claim 1, 2 or 3, wherein the test pattern comprises a hexagonal array of dots.
5. An inspection method according to claim 4 wherein said step of deriving information comprises reconstructing the diameters of the spots, differences in the diameters of spots in each unit cell of the array being indicative of 3-wave aberrations in the lithographic apparatus.
6. An inspection method according to claim 1 wherein said test pattern comprises first, second and third structures of the same basic symmetric form, said first and second structures having equal but opposite asymmetric deviations from said basic symmetric form and said third structure having an additional asymmetric deviation as compared to said second structure.

~~15~~

7. An inspection method according to claim 6 wherein said step of deriving information comprises dividing the difference between scatterometry signals obtained from said first and second structures by the difference between scatterometry signals obtained from said third and second structures.
8. An inspection method according to claim 7 or 8, wherein said first, second and third structures are two-bar gratings, the first structure having bar widths w_1 and w_2 where w_1 is greater than w_2 , the second structure being a mirror image of the first structure, and the third structure having bar widths w_2+d and w_1-d where d is less than w_1-w_2 .
9. An inspection method according to any one of the preceding claims wherein said scatterometer is a normal incidence scatterometer.
10. A device manufacturing method comprising the steps of:
 - providing a substrate that is at least partially covered by a layer of radiation-sensitive material;
 - providing a projection beam of radiation using a radiation system;
 - using patterning means to endow the projection beam with a pattern in its cross-section;
 - projecting the patterned beam of radiation onto a target portion of the layer of radiation-sensitive material,
 - characterized in that:
 - said pattern comprises a pattern representing a process layer and a test pattern having at least one degree of symmetry, said test pattern being sensitive to at least one other type of aberration that may be present in said lithographic apparatus; and by the further steps of:
 - using a scatterometer to measure the reflection spectrum of said test pattern; and
 - deriving from the reflection spectrum information indicative of the amount of said at least one type of aberration present in said lithographic apparatus.

