(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3824639号
(P3824639)
(45)発行日　平成18年9月20日(2006.9.20)　(24)登録日　平成18年7月7日(2006.7.7)

(51)Int.Cl.　F I
H01L 21/027 (2006.01)　H01L 21/30 525D
G03F 9/00 (2006.01)　G03F 9/00 H
H01L 21/30 522D
H01L 21/30 526B

請求項の数 30　(全 29 頁)

(21)出願番号　特願平8-506361
(86)(22)出願日　平成7年7月28日(1995.7.28)
(65)公表番号　特表平9-504142
(43)公表日　平成9年4月22日(1997.4.22)
(86)国際出願番号　PCT/IB1995/000592
(87)国際公開番号　WO1996/004592
(87)国際公開日　平成8年2月15日(1996.2.15)
審査請求日　平成14年7月25日(2002.7.25)
(31)優先権主張番号　94202240.1
(32)優先日　平成6年8月2日(1994.8.2)
(33)優先権主張国　オランダ(NL)
(31)優先権主張番号　95200399.4
(32)優先日　平成7年2月20日(1995.2.20)
(33)優先権主張国　オランダ(NL)

(73)特許権者
エイエスエムエル　ネザランドズ　ベスローテン　フエンノートシャップ
オランダ国　フェルトホーフェン　デ　ルン　６５０１
(74)代理人
弁理士　浅村　皓
(74)代理人
弁理士　浅村　肇
(74)代理人
弁理士　森　徹
(74)代理人
弁理士　岩本　行夫

最終頁に続く

(54)【発明の名称】基板上にマスクパターンを繰り返し写像する方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
投射ビームによりマスクテーブルに置かれたマスクパターンを基板テーブルに置かれた基板上に繰り返し写像する方法であって、この方法が、
・少なくとも１つのテストマークを有するマスクをマスクテーブル中に用意するステップを具え、前記テストマークが、ストリップと、投射ビーム放射線に対して不透過性の中間ストリップとが交互にある周期的構造を持ち、
前記方法がさらに、
・放射線感受性層を有する基板を基板テーブル中に用意するステップと、
・投射ビーム及び投射システムによって、前記マスクの少なくとも１つのテストマークの像を放射線感受性層に投射するステップと、
・基板の位置合わせマークに対してマスクの位置合わせマークを合わせるための位置合わせ装置によって前記像を検出するステップと、
・テストマーク像検出装置の出力信号によってマスクパターン像の品質及び位置に影響する少なくとも１つのパラメーターを設定するステップと、
・生産基板上の連続した異なる位置に生産マスクパターンを繰り返し写像するステップとを具えた写像方法において、
使用する前記テストマークのストリップが、投射ビーム放射線に対して透過性である第１の部分（３６，３０６，３２６，３３２，３３７，３４７）と、投射ビーム放射線に対して不透過性である第２の部分とを有し、該第２の部分が、該第１の部分よりも小さい透過

性領域（３８，３０７，３２７，３３３，３３８，３４９）を含んでおり、テストマーク像の検出が、最初は前記テストマーク像をマスクマークに位置合わせして、次に、前記位置合わせ装置が前記テストマーク像のシフトとして測定し且つ解釈すべきパラメーターによって生ずる前記テストマーク像の変化を検出することからなることを特徴とする写像方法。

【請求項２】

前記テストマークをフォトレジスト中に写像した後、前記フォトレジスト中に形成された潜像を位置合わせ装置によって検出することを特徴とする請求項１に記載の方法。

【請求項３】

前記テストマークをフォトレジスト中に写像した後、前記基板を前記基板テーブルから除去し、続いて現像し、次に再び前記基板テーブル上に置き、その後現像された前記テストマーク像を前記位置合わせ装置によって検出することを特徴とする請求項１に記載の方法。

【請求項４】

前記テストマーク、及びこれに関連する位置合わせマークから成る二重マークを用い、前記位置合わせマークの、非分割のストリップと中間ストリップの周期構造がテストマークの周期構造に等しく、前記位置合わせマークを前記テストマークの位置合わせに用いることを特徴とする請求項１、２、又は３に記載の方法。

【請求項５】

複数の部分を持つテストマークを用い、一部分の前記ストリップ及び前記中間ストリップの方向が、他の部分の前記ストリップ及び前記中間ストリップの方向に直交することを特徴とする請求項１、２、３、又は４に記載の方法。

【請求項６】

少なくとも１つのテストマークを有する生産マスクを用いることを特徴とする請求項１、２、３、４、又は５に記載の方法。

【請求項７】

少なくとも１つのテストマークを有するテストマスクを用いることを特徴とする請求項１、２、３、４、又は５に記載の方法。

【請求項８】

前記投射システムの焦点を毎回異ならせて少なくとも１つのテストマークの複数の像をフォトレジスト中に形成し、テストマークの多重写像の間にフォトレジストを過剰露光して、前記位置合わせ装置によって前記像の各々を検出した際に得られた信号から前記投射システムの最適焦点を求めることを特徴とする請求項１乃至７のいずれか１項に記載の方法。

【請求項９】

前記テストマーク像の検出によって得られた最適焦点信号を、別個の焦点測定装置によって得られた焦点装置信号と比較して、前記焦点測定装置を較正するために用いることを特徴とする請求項８に記載の方法。

【請求項１０】

所定の照射線量を用いて少なくとも１つのテストマークの像をフォトレジスト中に形成し、この照射線量に対応し、かつ位置合わせした前記テストマーク像によって定まる位置合わせ信号のオフセットを求め、以後の測定においてこのオフセットが維持されるか否かをチェックすることを特徴とする請求項１乃至７のいずれか１項に記載の方法。

【請求項１１】

複数のテストマークを具えたテストマスクを用い、各回毎に前記投射システムの焦点を変えて、前記テストマスクをフォトレジストの異なる領域に多数回写像し、前記テストマークに対応する各像を前記位置合わせ装置により検出する際に得られる信号によって前記各テストマークに対する最適焦点を求め、異なるテストマークについての最適焦点値を比較することにより前記投射レンズシステムの光学特性を求めることを特徴とする請求項１乃至７のいずれか１項に記載の方法。

【請求項１２】
少なくとも１つのテストマークについて等しい焦点値を持つ複数の像をフォトレジストの異なる領域に形成し、形成された像を前記位置合わせ装置によって検出する際に得られる信号を相互に比較することを特徴とする請求項１乃至７のいずれか１項に記載の方法。
【請求項１３】
複数のテストマークの像を前記のそれぞれの領域に毎回異なる焦点で形成し、前記のそれぞれの領域について最適焦点値を求め、該最適焦点値を相互に比較することを特徴とする請求項１２に記載の方法。
【請求項１４】
少なくとも１つのテストマーク、及び、少なくとも１つの、投射ビーム放射線に対して透明なストリップと不透明な中間ストリップとを交互に具えた周期的構造を有する位置合わせマークを具えた、請求項１に記載の方法に用いるためのテストマスクにおいて、前記テストマークが前記位置合わせマークと同一の周期の類似構造を持ち、前記テストマークのストリップが、部分的に前記投射ビーム放射線に対して不透明であり、部分的に前記放射線に対して交互に透明及び不透明であるサブストリップからなることを特徴とするテストマスク。
【請求項１５】
個別の位置合わせマークを各テストマークに近接して設けたことを特徴とする請求項１４に記載のテストマスク。
【請求項１６】
前記テストマスクが、中央のテストマークに加えて更に４隅にテストマークを具えていることを特徴とする請求項１４、又は１５に記載のテストマスク。
【請求項１７】
前記各テストマークが、２つの相互に垂直な方向に周期構造を持つ格子であることを特徴とする請求項１４、１５、又は１６に記載のテストマスク。
【請求項１８】
前記各テストマークが複数の部分を具えた格子であり、第１の部分の格子ストリップの方向が第２の部分の格子ストリップの方向に垂直であることを特徴とする請求項１７に記載のテストマスク。
【請求項１９】
前記各テストマークのストリップが３つの透明サブストリップ及び３つの不透明サブストリップを具えていることを特徴とする請求項１４、１５、１６、１７、又は１８に記載のテストマスク。
【請求項２０】
前記テストマークのサブストリップが前記テストマークの不透明中間ストリップと同一の方向を持つことを特徴とする請求項１４乃至１９のいずれか１項に記載のテストマスク。
【請求項２１】
前記テストマークのサブストリップの方向が前記テストマークの不透明中間ストリップの方向に対して鋭角に延びることを特徴とする請求項１４乃至１９のいずれか１項に記載のテストマスク。
【請求項２２】
前記ストリップが中間ストリップより幅が広いことを特徴とする請求項１４乃至２１のいずれか１項に記載のテストマスク。
【請求項２３】
前記テストマークが長く延びて２つの部分を持ち、一つの部分の格子ストリップが他の部分の格子ストリップに垂直であり、前記テストマークの幅を、このテストマークの像が、基板上の生産マスクパターンが写像されるべき２つの領域の間に位置する中間領域に適合するような幅にしたことを特徴とする請求項１４乃至２１のいずれか１項に記載のテストマスク。
【請求項２４】

請求項１に記載の方法に用いるテストマスクにおいて、少なくとも１つのテストマークと、少なくとも１つの、前記投射ビーム放射線に対して透明なストリップと不透明な中間ストリップとを交互に具えた周期構造を有する位置合わせマークとを具え、前記テストマークが前記位置合わせマークと類似構造及び同一周期を持ち、前記テストマークのストリップの前記第２の部分が、透明なサブミクロン領域を有する不透明部分からなり、該第２の部分がグレイフィルタとして作用することを特徴とするテストマスク。

【請求項２５】

投射ビームを供給するための連続的な照射システムと、マスクテーブルと、投射レンズシステムと、基板テーブルとをこの順に具え、更に、基板に対してマスクを位置合わせする位置合わせ装置と、該位置合わせ装置によって構成されるテストマーク像検出装置とを設けた請求項１に記載の方法を遂行するための装置において、前記テストマーク像検出装置を、各潜像検出サイクルの間、前記テストマークと、このテストマークに関連し、このテストマークから所定の距離だけ離れた位置にある位置合わせマークの両者の像を検出すべく適応させ、前記２つのマーク像の観察された位置間の差を求める手段を設けたことを特徴とする装置。

【請求項２６】

前記基板テーブルが、少なくとも２つの互いに直交する軸に沿った位置及びこれらの軸の周りの回転を検出するための位置検出装置に結合され、前記位置検出装置、前記像検出装置、前記位置合わせ装置及び焦点エラー検出装置の出力信号が、電子信号処理装置の入力に接続され、この装置が以下のパラメーター、即ち

・前記投射ビームの波長、
・投射レンズホルダー内の圧力、
・前記投射レンズシステムのレンズ素子間の相互距離、
・投射レンズホルダーの１又は複数の部分の媒体の組成、
・投射レンズホルダー中の温度、
・前記位置合わせ装置のゼロ設定、
・前記焦点合わせ装置のゼロ設定、
・前記投射レンズシステムの倍率

の１又は複数を補正するための制御信号を供給することを特徴とする請求項２５に記載の装置。

【請求項２７】

前記テストマークのストリップの前記第２の部分が、投射ビーム放射線に対して交互に透過性及び不透過性である複数のサブストリップからなることを特徴とする請求項１に記載の方法。

【請求項２８】

前記複数のサブストリップが、互いに平行で、前記ストリップの前記第１の部分に平行に延びていることを特徴とする請求項２７に記載の方法。

【請求項２９】

前記複数のサブストリップが、前記ストリップの前記第１の部分に対して鋭角に延びていることを特徴とする請求項２７に記載の方法。

【請求項３０】

前記テストマークのストリップの前記第２の部分が、不透明の領域中に複数の透明サブミクロン領域を有する構成になっていることを特徴とする請求項１に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

（技術分野）

本発明は、次のステップ、即ち、

・少なくとも１つのテストマークを有するマスクをマスクテーブル中に具え、該テストマークが、ストリップと投射ビーム放射線に対して不透過性の中間ストリップとが交互にある周期的構造を持ち、
・放射線感受性層を有する基板を基板テーブルに具え、

・投射ビーム及び投射システムによってマスクの少なくとも１つのテストマークの像を放射線感受性層に投射し、
・基板の位置合わせマークに対してマスクの位置合わせマークを合わせるための位置合わせ装置によって前記像を検出し、
・テストマーク像検出装置の出力信号によってマスクパターン像の品質及び位置に影響する少なくとも１つのパラメーターを設定し、且つ
・生産基板上の連続した異なる位置に生産マスクパターンを繰り返し写像する
ステップを具える投射ビームによりマスクテーブルに置かれたマスクパターンを基板テーブルに置かれた基板上に繰り返し写像する方法に関する。
本発明は更に、この方法に用いるために特に適したテストマスク、及び、この方法を実行することができる、マスクに具えられたマスクパターンを基板上に繰り返し写像するための装置に関する。
（従来技術）
投射ビームは光線、例えばステップ法又はステップアンドスキャン法によって基板上にＩＣマスクパターンの繰り返し写像のための光学的リソグラフ装置で用いられる遠紫外線によって構成することができる。ステップ法においては、ＩＣマスクパターンが基板上の第１のＩＣ領域に写像され、続いて基板がマスクパターンに対して基板の第２のＩＣ領域がマスクパターンの下に来るまで移動されてこのパターンの２回目の写像が行われ、続いて基板が再び移動され、基板の全てのＩＣ領域上にマスクパターンの像が形成されるまでこれが繰り返される。ステップアンドスキャン法においては、ＩＣマスクパターンは１回の照射では写像されず、細い投射ビームが用いられ、毎回ビーム断面に対応するパターンの一部分を投射し、このビームがＩＣパターンの走査を完全に終了し、ＩＣパターンの全像が基板の第１のＩＣ領域に形成されるまで、マスクパターン及び基板の両者がビームに対して移動される。続いて、第２のＩＣ領域がマスクパターンの下に位置するまで基板が移動され、走査による像の処理が繰り返される。
投射ビームは、光学的ビームばかりではなく、適当な投射システムにより一つの層にマスクパターンの像を形成することができる電子ビーム又はイオンビームのような荷電粒子ビームであってもよい。そのようなビームは、この層における屈折率の変化又は光学的に検出できる変化に変換することができる化学的変化を生じさせる。
上述の説明から、投射システムは光学的レンズシステムばかりでなく、電子レンズシステムのような、荷電粒子ビームによる写像のために利用される他のシステムであってもよいことが明らかである。
ＩＣマスクパターンをＩＣ生産基板上に繰り返し写像するための上記のような方法及び光学装置は、論文「オーバーレイ決定のためのインプロセス像検出技術及びＡＳＭ－Ｌウェハステッパのための像品質」（”In-process Image Detecting Technique for Determination of Overlay, and Image Quality for ASM-L Waferstepper”, Spie vol.1674, Optical/Laser Microlithography V(1992))から既知である。この論文に記載されているように、テストマスクが装置中に配置され、生産投射プロセスの開始前、即ち生産基板上への生産マスクパターンの形成の開始前に、テスト基板上又は生産基板上に写像される。マスクを介して基板上に設けられたフォトレジスト上に入射される投射ビーム放射線により、この層中に、マスクパターンに対応するパターンに従って光学的に検出し得る変化、即ち主に屈折率の変化が起きる。未だ現像されていないフォトレジスト中のこのパターンは潜像と呼ばれる。この潜像は種々の目的に利用される。特に基板に対する広範囲のマスクの位置合わせ、及び、マスクパターン像における重要な線の幅、倍率、放射線エネルギー量、投射ビームのフォトレジスト上への集束及びとりわけ温度の変化に基づく像の変化のチェックに利用される。テスト基板に代えて、代替として生産基板上に潜像を形成してもよい。この場合、基板上に形成することができるＩＣパターンの数は、制御の目的のためにこの基板上に形成される潜像の数だけ減少する。
潜像検出の利点は、前記位置合わせ及びチェックがその装置自体の中で行われること、及び、既に完了しているので、現像して例えば走査型電子顕微鏡によって検査するために基

板をテストマスクと共に装置から取出すことはもはや必要がないことであり、これにより、装置を使うことができない時間を減らすことができる。
前記の文献（Spie vol.1674）は、潜像を検出するために投射装置の位置合わせ装置を使用して、最適焦点を決定することについて要約している。この位置合わせ装置は、基板に対してマスクが位置合わせされる範囲を検出するための装置の中にある。この装置は、基板中の位置合わせマーク及びマスク中の少なくとも１つの位置合わせマークを利用し、それらを互いに写像し、位置合わせ信号を得て、それにより、マスク及び基板について常に相互の位置を補正する方法で、基板の位置をマスクに対して補正することができる。
前記の文献（Spie vol.1674）は位置合わせ装置に基づいており、この装置の位置合わせマークは回折格子の形を持ち、この装置は１次回折によって回折された位置合わせビームの放射線のみを検出する。位置合わせ格子は、投射レンズシステムの解像力より大きい格子周期を有する。正確な位置合わせ信号がこれらの格子によって得られる。これらの位置合わせ格子を相互に写像するための光学システムは、比較的大きい焦点深度を持ち、これにより比較的焦点エラーに対して低感度であり、従ってこの位置合わせ装置は、焦点エラーの検出のためには本質的に不適当である。
前記の文献（Spie vol.1674）によれば、テストマークが位置合わせマークと等しい基本的構造を持ち、ストリップが多数のサブストリップに分割され、それらのサブストリップが交互に投射ビーム放射線に対して透過性及び不透過性であり、テストマークの潜像がフォトレジスト中に形成される場合は、この位置合わせ装置で焦点エラーを検出できる。ストリップ構造は、投射レンズシステムの解像力のオーダーの周期を持つので、テストマークの潜像の構造及び従って位置合わせ装置の信号の振幅は、フォトレジスト上に焦点を持つ投射ビームの範囲に依存する。この信号は、焦点エラーの検出に使用することができる。このテストマークを使用することの利点は、投射装置の中に別個の潜像検出装置を設ける必要がないことである。しかしながら、このようにして得られる焦点エラー信号は比較的小さい振幅を持ち、信号の曲線が比較的平坦な変化を示すので、焦点エラーを充分な精度で求めることは困難である。更に、これら及び他の既知の潜像を検出し、検出信号の振幅の変化を検出する方法においては、測定結果が基板及びフォトレジストの屈折率の変化並びにフォトレジストの厚さの変化に依存し、これらの変化がフォトレジストによって吸収される放射線エネルギーの変化をもたらし、従ってフォトレジスト中の屈折率特性の変化をもたらす。
本発明は、特に、上記の欠点を持たず、且つ、前記の文献（Spie vol.1674）による方法の利点を保ちながら、確実且つ正確な信号を供給するリソグラフ投射装置における焦点測定のためのテストマーク像検出方法を提供することを目的とする。
（発明の開示）
この新規の方法は、潜像を検出するために適しているばかりではなく、現像され、面構造に変換された像を試験するためにも大きな利点として用いられる。遠紫外線の波長の放射線に対して特に適しているフォトレジストを用い、ＩＣマスク像が0.25μｍオーダーの極めて狭い線幅を実現する場合は、現像された像の検出が特に重要である。
このため、本発明による方法は、テストマークのストリップが、部分的に投射ビーム放射線に対して不透過性であり、部分的に交互に存在する投射ビーム放射線に対して透過性及び不透過性である複数のサブストリップからなり、テストマーク像検出が、最初はテストマーク像のマスクマークへの位置合わせからなり、次に位置合わせ装置が該像のシフトとして測定し且つ解釈すべきパラメーターによって生ずるテストマーク像の非対称性の変化を検出することを特徴とする。
テストマーク像は潜像即ち現像されない像及び現像されてこの現像によって面構造を持つ像のどちらであってもよい。しかしながら、更に、投射後に加熱され化学反応を経て形成された潜像即ち検出ビーム中の光路長差を生じる像であってもよい。後者の像はＰＥＢ（Post Exposure Baking）像と呼ばれる。
この方法においては、２つの対称的な位置合わせマークが相互に関して位置合わせされる場合は、位置合わせ装置がこれらのマークの１つの中心が第２のマークの像の中心と一致

することを確認するが、非対称的なテストマークが位置合わせマークに対して位置合わせされる場合は、前記装置はこのテストマークの中心が位置合わせマークの中心又は重心に対してシフトしていることを表示するという事実を利用する。
更に本発明による方法は、フォトレジストの非線形効果、即ちこのレジストの活性化された物質の量は捕捉した放射線量に対して線形には増加しないことを利用すること、及び、フォトレジストの過剰露光を行うと前記の重心のずれが特に投射システムの焦点に依存することの認識に基づいている。フォトレジストの面に対して投射システムの焦点が合っていない場合は、このレジストがない面に形成される空気像のコントラストが低下する。フォトレジスト中に形成される潜像については、この焦点外れは、第２のサブストリップの部分の屈折率が第１ストリップ及び中間ストリップの前記中心部分の屈折率により等しくなるという結果をもたらす。焦点検出に応用されるフォトレジストの過剰露光によれば、屈折率差がこの部分で消える。焦点外れが増大すると、前記部分が大きくなり、潜像の非対称性が減少し、むしろ対称位置合わせマークの形状になる。
一般的に変化Δｎはｎｏ（１－ｅ$^{E/Eo}$）に比例する。ここでｎｏは初期屈折率、Ｅは実際の照射線量、Ｅｏは照射線量の所定の閾値である。過剰露光の場合はＥ＞Ｅｏが保持され、従って屈折率はもはやＥに対して線形には変化しない。
更に非対称のテストマークの現像された像は、像が段々焦点外れになるに従って対称性を増す。更にこれは、非対称のＰＥＢ像についても当てはまる。
位置合わせ装置がテストマーク像を観察する場合は、例えば焦点エラーに基づくその非対称性の変化が基準に対する像のずれとして表示される。この基準は、テストマーク像が検出される前に例えばマスク及び基板に既に存在する（広範囲の）位置合わせマークによる基板及びマスクの相互間の正確な位置合わせと、これに続く、基板テーブル及びマスクテーブルの相互の動きを決定するために既にその投射装置に存在する多軸干渉計システムによる正確な変位測定及び制御の下における同じ位置合わせ装置によるテストマーク像の位置合わせビーム方向へのシフトとによって得られる。テストマーク像が検出された位置と前記基準との比較により、焦点エラーによるテストマーク像の変位に対する位置合わせ信号のゼロオフセットの影響が明らかになる。ゼロオフセットは、正しい焦点で最大になり、充分に大きい焦点外れで最小になる。このように、投射の間、焦点外れは潜像の明瞭なシフトに変換され、前記の文献（Spie vol.1674）に記載された装置のように位置合わせビームの強度の変化にはならない。投射の際、新しい焦点検出は高照射量を用いフォトレジストは飽和しているので、測定されたシフト及び従って焦点検出は、基板及びフォトレジストの屈折率の変化及びフォトレジストの厚さの変化に対して低感度である。
本発明による方法の第１好適例は、更に、テストマークをフォトレジスト中に写像した後、そのフォトレジスト中に形成された潜像を位置合わせ装置によって検出することを特徴とする。
これは、例えば焦点エラーの迅速な測定の可能性を与える。
本発明による方法の第２好適例は、テストマークをフォトレジスト中に写像した後、基板を基板テーブルから取出し、続いて現像し、次に再び基板テーブル上に置き、その後現像されたテストマーク像を位置合わせ装置によって検出することを特徴とする。
この方法によれば、大きい振幅を持つ検出器信号が得られる。
両好適例共、テストマーク像が、その像が形成された装置と同じ装置によって測定され、且つ測定が光学又は電子顕微鏡を使用するのに比較して極めて迅速に行われるという利点を有する。
テストマーク像信号に対してより良い基準が得られる方法の好適例は、前記テストマークと、分割していないストリップと中間ストリップとの周期構造がテストマークのそれに等しい前記テストマークに対応する位置合わせマークとからなる二重マークを用い、前記位置合わせマークをテストマークの位置合わせに用いることを特徴とする。
基準として用いられる位置合わせマークはテストマークに近接して設けられているので、この基準は、テストマークから大きい距離を隔てて存在する位置合わせマークから導出される場合より極めて信頼性が高い。

位置合わせ装置においては、複数の直線格子からなる位置合わせマーク、及び対応する複数の部分に副分割された検出器を使用することが好ましい。格子の１つの格子ストリップが他の格子の格子ストリップに垂直である場合は、位置合わせを２つの相互に垂直な方向に行うことができる。これを利用するために、位置合わせ装置の好ましい好適例は、更に、複数の部分を持つテストマークを用い、一部分のストリップ及び中間ストリップの方向が他の部分のストリップ及び中間ストリップの方向に垂直であることを特徴とする。

テストマーク像が制限された数の測定のためにのみ利用される場合は、最適焦点及び／又は照射線量の例では、本発明による方法は更に、少なくとも１つのテストマークを有する生産マスクを用いることを特徴とする。

制限された数のテストマークが生産マスク上の例えばいずれにしても存在する位置合わせマスクの近くに設けられる。このようにすれば別個のテストマスクを使う必要がない

基板上のテストマーク像の位置の選択における大きな自由度を得るため、及び従って大きな測定の可能性のため、本発明による方法は更に、少なくとも１つのテストマークを有するテストマスクを用いることを特徴とする。

テストマーク像について及び／又はこれによる測定を行った後で、このテストマスクを生産マスクで置き換える。

本発明による方法の他の好適例は更に、投射システムの焦点を毎回異なるようにして少なくとも１つのテストマークの複数の像をフォトレジスト中に形成し、テストマークの多重写像の間フォトレジストが過剰露光され、位置合わせ装置によって前記像をそれぞれ検出した際に得られた信号から投射システムの最適焦点を求めることを特徴とする。

このようにして得られた情報により、生産マスクパターンが生産基板上に投射される前に、特に現像処理が行われることを考慮に入れて、好適な環境のための最適焦点が調整される。

この好適例は更に、テストマーク像検出によって得られた最適焦点信号を、個別の焦点測定装置によって得られた焦点装置信号と比較し、前記装置を較正するために用いることを特徴とする。

米国特許第4,356,392号に記載されているように、別個の焦点測定装置を形成してもよい。この装置においては、焦点測定ビームが投射レンズシステムを通過することによって基板に対して斜めになり、基板によって反射されたビームが位置感受性の焦点検出器によって受信される。基板と焦点測定装置が接続されている投射レンズシステムとの間の距離は、検出器に反射した焦点測定ビームの主線束のスポットの位置から求めることができる。この焦点測定装置は、生産投射プロセスの間の前記距離の測定及びその測定の結果を用いた起こり得る焦点エラーの補正に用いられる。この種の他の既知の装置、例えば米国特許第5,191,200号に記載されたものでは、これに代わる焦点測定装置が使用される。

本発明による方法の他の好適例は更に、所定の照射線量を用いて少なくとも１つのテストマークの像をフォトレジスト中に形成し、この照射線量に対応し位置合わせしたテストマーク像の非対称性によって定めた位置合わせ信号のオフセットを求め、以後の測定においてこのオフセットが維持されるか否かをチェックすることを特徴とする。

この測定に先立って、投射装置と所定のフォトレジストとのこの組合せについて最良の照射線量が確定される。これは、例えば、フォトレジスト中に毎回異なる照射線量を用いて複数のマスクパターン像を形成し、次に基板をフォトレジストと共に投射装置から取出して現像し、最後にそれぞれの像を走査型電子顕微鏡で観察し、どの照射線量から最良の結果が得られるかを確認する、通常の方法で実行される。このようにして決定された最適照射線量は、上記の方法で用いられた「所定の」照射線量である。

照射線量とは、像が形成される時に基板によって取り込まれた放射線エネルギーの総量を意味するものと理解されるべきである。

フォトレジストにテストマークの写像を行うために過剰露光が用いられないとしても、この層に充分に大きい非線形効果が存在するため、照射線量の変化に対して例えばmJ/cm^2当たり数nmのテストマーク像の明瞭な変位が起きるので、それらは充分に大きい精度で位置合わせ装置により測定できることが見出された。このように照射線量は数ミリジュールの

精度で正確に調整される。
テストマーク像検出を介して得られ且つ最適照射線量に対応する信号が非常に小さいために低信頼性になり易い場合は、測定の範囲を拡げて異なる照射量についての位置合わせ信号のオフセットを求め、照射量及び対応する位置合わせ信号オフセットのテーブルを作ってこれを記憶し、以後の工程でこのテーブルを用いて実際に用いられる照射線量を定め且つ可能な限り補正するとよい。
前記の照射線量オフセット測定では、照射量の範囲は100乃至300mJ/cm^2の間が用いられる。
本発明による方法の好適な好適例は、複数のテストマークを具えたテストマスクを用い、各回毎に投射システムの焦点を変えて該テストマスクをフォトレジストの異なる領域に多数回写像し、該テストマークに対応する各像を位置合わせ装置により検出する際に得られる信号によって各テストマークに対する最適焦点を求め、異なるテストマークについての最適焦点値を比較することにより投射レンズシステムの光学特性を求めることを特徴とする。
この方法においては、フィールドの曲率及び非点収差、収差及び傾斜のような投射システムの種々のパラメーターを求めることができる。これらの測定の結果によって投射システムを補正することができる。
本発明による方法の他の好適例は、少なくとも１つのテストマークについて等しい焦点値を持つ複数の像をフォトレジストの異なる領域に形成し、形成された像を位置合わせ装置によって検出する際に得られる信号を相互に比較することを特徴とする。
基板はテストマスクを介して、例えば生産マスクを介して生産基板を照射するための通常用いられる方法に類似の方法、即ち基板のＩＣが形成されるべき全ての領域にテストマーク像が形成される方法で照射されるとよい。次いで種々の領域の潜像を検出することにより、基板表面全体に亘り投射装置の挙動、例えば基板テーブルの挙動を比較的迅速に求める。この方法においては、基板及びフォトレジストの傾き又は非平坦性を求めることができる。このようにして得られる情報は、以後の工程で生産マスクを介して生産基板の別個のＩＣ領域を照射する際に用いることができる。
この方法の好適例においては、各像についての焦点が同一であることを確認するためには、１つのテストマークをフォトレジストの異なるＩＣ領域に写像することで充分である。
この好適例が更に、複数のテストマークの像をフォトレジストのそれぞれの領域で毎回異なる焦点で形成し、前記領域のそれぞれについて最適焦点値を求め、該最適焦点値を相互に比較することを特徴とするならば更に正確な測定が可能である。
本発明は更に、上述の方法に用いられる新規のテストマスクに関する。このテストマスクは、少なくとも１つのテストマーク、及び、少なくとも１つの、投射ビーム放射線に対して透明なストリップと不透明な中間ストリップとを交互に具えた周期的構造を有する位置合わせマークを具え、テストマークが位置合わせマークと同一の周期の同様の構造を持ち、テストマークストリップが、部分的に投射ビーム放射線に対して透明であり、部分的に交互に該放射線に対して透明及び不透明であるサブストリップからなることを特徴とする。
前記の位置合わせマークは、基板に対する位置合わせのために投射されるべき生産マスク中のＩＣパターンの外側に存在する広範囲の位置合わせマークによって構成される。この位置合わせマーク及び基板テーブルを動かすための極めて正確な干渉計装置を使用することにより、位置合わせ状態で、テストマークを位置合わせ装置の測定ビームに導入することができる。
しかしながら、テストマスクが、更に、各テストマークに近接して位置合わせマークが配置される構成を持つならば、正確な位置合わせ及び更に迅速なテストマークの検出を実現することができる。
テストマスクの好適な好適例は更に、中央のテストマークに加えて更に４隅にテストマークを具えることを特徴とする。
このようなテストマスクにより、投射レンズシステムの光学的品質、例えば写像フィール

ドの起こり得る傾斜を、フィールド全体に亘って評価することができる。
他の好適な好適例によれば、テストマスクは更に、各テストマークが２つの相互に垂直な方向に周期構造を持つ格子であることを特徴とする。
このようなテストマスクにより、相互に直交する２つの方向について、投射装置の投射レンズシステムの挙動を迅速に求めることができ、例えばこのシステムの非点収差を測定することができる。
二次元の周期的な構造を持つテストマーク格子は、放射線に対して透過性又は不透過性の縦並び及び横並びのブロックが交互に並んでいるチェッカーボード格子によって形成することができる。このようなチェッカーボード格子は、各透過性ブロックを不透過性部分と、放射線に対して交互に透過性及び不透過性であるサブストリップからなる部分とに副分割することによって非対称性を作ることができる。
しかしながら、二次元テストマークの好ましい好適例は、複数の格子部分を具える格子によって構成され、第１の部分の格子ストリップの方向が第２の部分の格子ストリップの方向に垂直であることを特徴とする。
本発明によるテストマスクは更に、各テストマークのストリップが３つの透明サブストリップ及び３つの不透明サブストリップを具えることを特徴とする。
最適の測定結果は、投射レンズシステムの通常の実行例のための上記のようなテストマスクによって得ることができる。
テストマスクは更に、テストマークのサブストリップが前記テストマークの不透明中間ストリップと同一の方向を持つことを特徴とする。
投射レンズシステムの上記のフィールドの曲率、非点収差、収差及び傾斜のようなパラメーターを、このテストマークによって求めることができる。
代替として、テストマスクは更に、テストマークのサブストリップの方向が前記テストマークの不透明中間ストリップの方向と鋭角に延びていることを特徴とする。
前記角度は例えば４５°である。前記パラメーターに加えて、非点収差は更に４５°の角度で、即ち装置のＸ及びＹ方向に４５°の角度で延びる２つの相互に垂直な方向に形成された焦点間の差として求められる。
本発明によるテストマークは更に、ストリップが中間ストリップより幅が広いことを特徴とする。
テストマークに設けられる第２のより粗い非対称性により、サブストリップへの副分割によって与えられる第１の非対称性の効果が増す。
テストマークは４角に配置された４つの等しい大きさの部分から構成することができる。このテストマークの他の好適例は更に、それが伸びて２つの部分を持ち、一つの部分の格子ストリップが他の部分の格子ストリップに垂直であり、それは、その像が、生産マスクパターンが写像されるべき２つの領域の間に位置する基板上の中間領域に適合する幅を持つことを特徴とする。
前記の中間領域はスクライブ線と呼ばれる。このテストマークが用いられると基板上のＩＣ領域の数は維持され、このテストマークは生産基板と組合せて使用するために極めて適している。
本発明の他の観点によれば、テストマスクは更に、テストマークが位置合わせマークと同様の構造及び同一周期を持ち、テストマークストリップが、第１の透明部分及び透明なサブミクロン領域を有する第２の不透明部分を具え、該第２の部分がグレイフィルタとして作用することを特徴とする。
サブミクロン領域は例えば0.2μｍのオーダーの大きさを持ち、投射レンズシステムによって個別に写像することはできず、そのためこれらの領域はフォトレジスト中でグレイスポットとして投射される。このテストマークは、照射量の測定に極めて適していることが見出されている。後に説明するように、このテストマークの像は低照射線量においては極めて非対称性であり、この像は照射線量が増えると段々対称性になる。従って、位置合わせマークに対するテストマーク像の外見上のオフセットで対称性の変化が明瞭になるので、位置合わせ装置によって照射線量を測定できる。

特別なテストマークによる照射線量の測定を、このテストマークの潜像、ＰＥＢ像、又は現像された像について実行することができる。更に、この特別なテストマーク中のストリップの幅が中間ストリップの幅より大きく選択され、これにより、強調された非対称性効果が更に得られる。

本発明は更に、フォトレジストを具えた基板上にマスクパターンを繰り返し写像するための装置に関し、該装置は、投射ビームを供給するための連続的な照射システム、マスクテーブル、投射レンズシステム及び基板テーブルを具え、更に基板に対してマスクを位置合わせする位置合わせ装置、及び位置合わせ装置によって構成されるテストマーク像検出装置を具える。本発明においては、この装置は、各テストマーク像検出サイクルの間、テストマーク像検出装置が、テストマーク及び一定の距離だけそこから離れた位置にある対応する位置合わせマークの両者の像を検出し、該２つのマークが観察された位置合わせ位置の間の差を求める手段を具えることを特徴とする。

前記の手段は、最初に、テストマークに対応する位置合わせマークの像がこのマスク中の位置合わせマークに対して位置合わせされていることを決定し、次に基板テーブル位置決め手段に対する制御信号を供給し、これにより、テストマークの像と対応する位置合わせマークの像との中心間の距離に等しい距離だけ基板を変位させ、最後に、前記２つの像を検出して得られる検出信号間の差を求める電子信号処理及び制御手段によって構成することができる。この差は、前記の位置合わせ信号のオフセットである。

本発明による方法が用いられる投射装置は、像の品質を決定する全ての個々のパラメーターが厳密に知られる必要はなく、像の品質及び像の位置は全体として知られるべきであり、この品質及び位置の変位の測定により、測定信号が同時にコンピュータで、全てのパラメーター及びそれらの相互の関係からなるモデルを介して処理され、これにより、１又は複数の装置パラメーターを補正するための制御信号を形成し、その結果により、その像が所望の品質及び位置を獲得することができるとの認識に基づいている。

テストマーク像検出装置を介して通常の焦点検出装置、位置合わせ装置及び基板テーブル位置検出装置が相互に結合されて統合化測定システムが得られ、これにより全ての関連するパラメーターを測定することができる。

本発明のこれら及び他の観点は以下に説明する実施例から、より明らかになる。

（発明を実施するための最良の形態）

図１は、ステップ法により基板上にマスクパターンを繰り返し写像するための既知の装置の例を示す説明図である。この装置の主構成要素は、写像されるべきマスクパターンＣが具えられている投射カラムと、基板をマスクパターンＣに対して位置合わせする可動基板テーブルWTである。

投射カラムは照射システムを収容しており、照射システムは、例えばレーザーLA、ビーム拡大器Ex、投射ビームPB中の放射線の均一分布を実現する積分器ともいわれる要素IN、及び集束レンズCOを具える。投射ビームPBは、マスクテーブルMTに配置されているマスクMA中のマスクパターンＣを照射する。

マスクパターンＣを通過したビームPBは、投射カラムの中に配置され指示線のみ図示されている投射レンズシステムPLを横切る。この投射レンズシステムは、基板Ｗ上にパターンＣの像を形成する。投射レンズシステムは、例えば、倍率Ｍ＝１／５又はＭ＝１／４、開口数ＮＡ＝0.6及び回折制限像フィールドの直径22mmを有する。

基板Ｗは例えば空気ベアリングで支承された基板テーブルWT上に配置される。投射レンズシステムPL及び基板テーブルWTはハウジングHO中に配置され、ハウジングの下部は例えば花崗岩の基礎板BPによって塞がれ、その上部はマスクテーブルMTで塞がれている。

図１に示すように、マスクMAは、例えば２つの位置合わせマークM_1及びM_2を含む。これらのマークは、好ましくは回折格子からなるが、代替として対称構造を持つ他のマークによって構成されてもよい。位置合わせマークは好ましくは二次元、即ち、それらの格子ストリップが図１のＸ及びＹ方向の２つの相互に垂直な方向に延びる構造である。基板Ｗは例えば半導体基板であり、その上にパターンＣが相互に並んで多数回写像されるべきものである。この基板は、やはり好ましくは二次元回折格子である複数の位置合わせマークを具

え、そのうちの２つ、P_1及びP_2が図１に図示されている。マークP_1及びP_2はパターンＣの像が形成されるべき生産基板Ｗの領域の外側に位置する。格子マークP_1及びP_2は、好ましくは位相格子として構成され、格子マークM_1及びM_2は好ましくは振幅格子として構成される。

図２は、２つの同一基板位相格子の１つの実施例を拡大して示す。この格子は４つの副格子$P_{1,a}$、$P_{1,b}$、$P_{1,c}$及び$P_{1,d}$を具えることができ、そのうちの２つ$P_{1,b}$及び$P_{1,d}$がＸ方向の位置合わせに用いられ、他の２つ$P_{1,a}$及び$P_{1,c}$がＹ方向の位置合わせに用いられる。２つの副格子$P_{1,b}$及び$P_{1,c}$は例えば16μｍの格子周期を持ち、副格子$P_{1,a}$及び$P_{1,d}$は例えば17.6μｍの格子周期を持つ。各副格子は、例えば200×200μｍの大きさを持つ。この格子及び適当な光学システムを用いて、原理的に0.1μｍ以下の位置合わせ精度を達成できる。回折格子の周期は、位置合わせ装置の捕捉範囲を増すように選択されている。

図３は、生産基板に対して生産マスクを位置合わせするために用いられる装置の光学要素を示す図である。この装置は、投射レンズシステムPLの光軸AA'に関して対称的に位置された、２つの独立した同一の位置合わせシステムAS_1及びAS_2からなる二重位置合わせ検出システムを具えている。この位置合わせシステムAS_1はマスク位置合わせマークM_2に対応し、位置合わせシステムAS_2はマスク位置合わせマークM_1に対応する。２つの位置合わせシステムの対応する要素は同一の参照番号で示され、システムAS_2の参照番号はプライム符号を付けてシステムAS_1のそれらと区別している。

先ず、このシステムAS_1の構造、及び、同時に、マスクマークM_2と例えば基板マークP_1との相対位置がこのシステムによって定められる様子を説明する。

位置合わせシステムAS_1は、位置合わせビームｂを射出する例えばヘリウムーネオンレーザーである放射線源１を具える。このビームはビームスプリッタ２によって基板Ｗの方向に反射される。このビームスプリッタは半反射鏡又は半反射プリズムからなるものでもよいが、ビームｂの波長がλであるとしてλ／４板３が付属している偏光感受性分離プリズムから構成されることが好ましい。投射レンズシステムPLは、ビームｂを基板Ｗ上で１ｍｍのオーダーの直径を持つ小さい放射線スポットＶに集束する。この基板はこのビームの一部分をビームb_1としてマスクMAの方向に反射する。ビームb_1は投射レンズシステムPLを横切り、このシステムはマスク上に放射線スポットＶを写像する。基板が照射装置中に配置される前に、この装置に結合された例えば欧州特許出願第0.164.165号に記載されている予備位置合わせステーションで予備位置合わせされており、これにより放射線スポットＶが基板マークP_2上に位置している。次にこのマークはビームb_1によってマスクマークM_2上に写像される。この投射レンズシステムの倍率をＭとして、マスクマークM_2の大きさは基板マークP_2のそれに適合し、これにより２つのマークが相互に正しい位置にあればマークP_2の像は正確にマークM_2と一致する。

基板Ｗへの及びそれからの経路上に、ビームｂ及びb_1は、その光軸が放射線源１によって射出される直線偏光ビームｂの偏光方向に対して４５°の角度にあるλ／４板３を２回横切る。従って、λ／４板を通過したビームb_1は、ビームｂに対して９０°回転した偏光方向を持ち、このためビームb_1は偏光分離プリズム２を通過する。偏光分離プリズムをλ／４板と組合せて用いると、位置合わせビームを位置合わせシステムの放射線経路に結合する場合、放射線損失を最小にする利点がある。

位置合わせマークM_2まで達したビームb_1は、プリズム11によって反射され、例えば他の反射プリズム12を経て、放射線感知検出器13の方向に向かう。この検出器は、図２による副格子の数に合わせて例えば独立の４つの放射線感知領域を持つ例えば複合フォトダイオードである。これらの検出器の出力信号は、マークM_2と基板マークP_2の像との一致の尺度である。これらの信号は電子的に処理され、マークP_2の像がマークM_2と一致するように駆動システム（図示されていない）により基板に対してマスクを移動させるために使用される。自動位置合わせ装置がこのようにして得られる。

プリズム11と検出器13との間に例えば部分的に透過性のプリズムからなるビームスプリッタ14が配置される。このプリズムはビームb_1の一部をビームb_2として分離する。このスプリットビームb_2は次に、例えば２つのレンズ１５及び１６を経てモニター（図示されてい

ない）に接続されたテレビジョンカメラ１７に入射する。このモニター上では、投射装置のユーザーが位置合わせマークP_2及びM_2を見ることができる。このユーザーは、２つのマークが一致しているか否かを確認することができ、マニピュレータによって基板Wを移動してこれらのマークを一致させることができる。マークM_2及びP_2についての上記の説明と同様に、マークM_1及びP_2並びにマークM_1及びP_1も相互に対して位置合わせされる。位置合わせシステムAS_2は、上記の最後の位置合わせに用いられる。

位置合わせシステムによる位置合わせ処理の個々の事項については、米国特許第4,778,275号が参考になる。この特許に記載されているように、位置合わせシステムAS_1及びAS_2は、位置合わせ処理の間、マスクに対する基板の変位を測定するための極めて正確な二次元変位測定システムと極めて密接に協働する。次に位置合わせマークP_1及びP_2、M_1及びM_2の位置及びそれらの間の相互の距離が、変位測定システムによって定められた座標系の中で固定される。図１ではIFとして表示されている変位測定システムは、例えば米国特許第4,251,160号に記載されている干渉計システムである。

投射レンズシステムPLは投射ビームPBの波長のために設計されるので、大きな解像力が必要であることと考え合わせると可能な限り小さくすべきであり、従って、位置合わせビームの波長からは著しく異なっているため、位置合わせマークP_1、P_2及びM_1、M_2を互いの上に写像するためにこのシステムPLを使用する場合にはずれが起きる可能性がある。従って、基板位置合わせマークP_1、P_2は、マスク位置合わせマークが存在するマスクパターンの面には写像されず、この面から、投射ビームと位置合わせビームとの波長の差及びこの２つの波長に対する投射レンズ素子の材料の屈折率の差に依存する所定の距離だけ離れて位置する。投射ビームが例えば248nmの波長を持ち、位置合わせビームが633nmの波長を持つと、この距離は２m程度である。更に前記の波長差によって、基板位置合わせマークが所望の倍率から逸脱した倍率を持つマスク位置合わせマーク上に写像される。この倍率の逸脱は波長差が増加すると共に増加する。

前記の逸脱を補正するため、追加のレンズ即ち補正レンズ25を投射カラム中に配置する。図３に図示された事実とは対照的に、位置合わせビームは投射レンズの上ではこの装置に結合されず、レンズホルダーの窓を通り、補正レンズの下でそれに近接したウエッジのような反射素子に結合される。補正レンズは、投射カラム中で、補正レンズの面中の位置合わせビームの種々の回折次数の基板位置合わせマークによって形成されるサブビームが充分に離れることによりこれらのサブビームに個別に影響を与えることができ、他方、この補正レンズが投射ビーム及びこれらによって形成されるマスク像に対して与える影響は無視できる程度であるような高さに配置される。投射レンズは、投射レンズシステムの後部焦点面に位置することが好ましい。このシステムが基板側でテレセントリックである場合、この焦点面はこのシステムの出口瞳孔に一致する。図３に図示したように、補正レンズ25が面24にあると、位置合わせビームｂ及びb'の主線束が互いに交差し、このレンズを２つの位置合わせビームを同時に補正するために用いることができる。

補正レンズはこのようなパワーを持っているので、これらのビームの主線束がマスク位置合わせマークM_2の面で互いに交差するように、格子による１次の回折サブビームの方向を変えることができる。更に、補正レンズは小さい直径を持っているので、マークP_2までに１次サブビームより大きい角度に回折する高次のサブビームはこのレンズを通過しない。この補正レンズは更に、ゼロ次サブビームb(0)、b'(0)がこの補正レンズを通過するのを防ぐ素子を具える。この素子は、位置合わせビームを投射レンズシステムに結合するために用いられる前記ウェッジによって構成される。格子M_2上の格子P_2の写像のために１次サブビームのみが用いられることが、前記の測定によって達成され、若干の付加的な利点が得られる。

ゼロ次サブビームを圧縮することにより、P_2の像のコントラストを著しく増加させることができる。それら自体の潜像が比較的低いコントラストを持つので、これは、後に説明するように、位置合わせ装置を潜像の検出に対して特に適するものにする。２次及び高次のサブビームは圧縮されるので、格子P_2における不規則性は位置合わせ信号に何も影響を与えない。１次サブビームのみが用いられる場合は、いわば格子P_2の第２高調波が写像され

る。換言すれば、投射レンズシステムPLの倍率Mは別として、P_2の像は格子P_2の格子周期の半分の周期を持つ。格子M_2の格子周期がP_2の像のそれに等しいことが確実な場合、即ち格子P_2の格子周期のｍ／２倍に等しい場合は、格子M_2及びP_2が位置合わせされる精度は、写像のためにビームｂ全部が用いられる場合の状態より２倍大きい。

マスク位置合わせマークM_2を基板位置合わせマークに対して位置合わせするために用いられるシステムAS_1の説明の後では、マスク位置合わせマークM_1を基板位置合わせマークに対して位置合わせするためのシステムAS_2を更に説明する必要はない。システムAS_2はシステムAS_1と同様の素子を具え、同様に動作する。既に図３に図示したように、システムAS_1及びAS_2は、共通に補正レンズ25を有する。二重位置合わせ装置に代わり、例えば米国特許第4,251,160号に説明されているように、投射装置は１つの位置合わせ装置を具えてもよい。

投射装置は更に生産基板上に生産マスクを繰り返し写像を行う間、投射レンズシステムの像面と生産基板面との間のずれを検出するための焦点エラー検出装置を有する焦点サーボ装置を具えることができる。このずれが起きる場合は、焦点エラー検出装置によって供給される信号により、例えば投射レンズがその光軸に沿って変位され、焦点が補正される。焦点エラー検出装置FDが図４に図示されている。この図においても、基板テーブルに対して２つの部分IF_1及びIF_2を含む位置検出装置を示す。

焦点エラー検出装置FDは、集束ビームb_fを供給する放射線源、例えばダイオードレーザーDL及びこのビームを反射してフォトレジストが塗布された基板W上の投射レンズシステムの光軸がこの面と交差する点に向けるプリズムPR_1を具える。簡単にするため、このビームの主線束のみを図示している。簡潔にするために基板とフォトレジストとの組合せを以後基板と呼ぶ。ダイオードレーザーDLとプリズムPR_1との間に配置されたレンズL_1は、ビームを基板上の放射線スポットに集束する。基板で反射されたビームb_fは、第２プリズムPR_2によって放射線感知検出器DEの方向に反射される。プリズムPR_2と検出器との間のレンズL_2は、基板上に形成された放射線スポットを検出器DEに写像する。投射レンズシステムと基板との間のＺ方向の距離が変化すると、検出器DE上に形成された放射線スポットが検出器面内で移動する。この検出器は位置感受性検出器、即ち２つの独立の検出素子を具える検出器であるため、放射線スポットの変位及びこれに対応する焦点エラーを求めることができる。このようにして得られた情報は、例えば図５に図示した既知の平行四辺形構成による基板テーブルWTのＺ位置の補正のために用いることができる。焦点エラー検出装置の種々の素子は、投射レンズシステムのホルダーに固着された２つの、例えば円筒形のホルダー中に配置される。

米国特許第4,356,392号に記載されているように、検出器DEの位置に反射器を配置し、この反射器によって、集束ビームが検出器に入射する前に基板による第２回目の反射を受けるようにしてもよい。焦点エラー検出装置のこの好ましい実行例は、基板の傾斜又は基板の部分的な反射の差によって焦点エラー測定が影響されないという利点を有する。更に焦点エラー検出装置は、米国特許第5,191,200号の記載から、広い周波数帯を持つビームで作動し、このビームが基板を介して第１の格子を第２の格子上に写像する装置であってもよい。

基板テーブルのＸ及びＹの位置を極めて正確に決定するために、投射装置が例えば２つの部分からなる複合干渉計システムを具えてもよい。部分IF_1は１又は複数のビームをＹ方向の基板テーブルの反射する側面に向けて射出し、反射ビームを受信する。テーブルのＸ位置もこれによって決定される。同様に干渉計の部分IF_2によって基板テーブルのＹ位置を検出することができる。この干渉計システムは米国特許第4,251,160号に記載されているようにして実現でき、２ビームで動作する。２軸干渉計システムに代えて、米国特許第4,737,823号に記載されている３軸干渉計システム又は欧州特許出願第0 498 499号に記載されている多軸干渉計システムを代替として使用することができる。

基板テーブル位置検出装置即ち干渉計システムを用いることによって、干渉計システムによって定められる座標系における位置合わせの間に、位置合わせマークP_1及びP_2並びにM_1及びM_2の位置及びそれらの間の相互の距離を確定することができる。従って、投射装置の

フレーム又はこのフレームの一部分を参照する必要はなく、これにより、例えば温度変化、機械的なクリープ及びその他に基づくこのフレームにおける変化は測定に何の影響も及ぼさない。

投射装置へのよりよい洞察のために、図５に再度この装置の断面図を示す。この照射システムは図１の構成と僅かに異なっており、例えばフッ化クリプトンレーザーであるレーザーLA、レンズシステムLO、反射器RE及び集束レンズCOを具える。この照射システムは、図示された既知のシステムLWCによって与えられ、これによってレーザー放射線の波長をチェックできる。システムLWCは、論文「光源としてエキシマレーザーを用いる照射システムのための設計原理」（”Design Principle for an Illumination System using an Excimer laser as a Light Source”, SPIE vol.1138(1989),pp.121）等に記載されている。

完全を期すため、更に図５には、１つの入射ビームｂ及び２つの出射位置合わせビームb_1及びb_1’並びに素子25、13、13’、22及び22’によって表示される二重位置合わせ検出装置が図示されている。

図５は更に、レンズL_1及びL_2並びに左から入射して最初に生産基板又はテスト基板によって反射される集束ビームb_fをそれ自体に沿って反射する逆反射器REを具える焦点エラー検出装置が図示されている。反射されたビームb_fは部分射出性プリズムPR_1によって検出器DEの方向に反射される。

図によれば、ブロックIFから入来するビームIF_bにより、この装置が干渉式基板テーブル位置検出装置を具えていることがわかる。

参照記号PS及びTSはそれぞれ圧力センサー及び温度センサーを示す。

装置の設定及び投射レンズシステムの品質の測定を可能にするため、この投射装置に少なくとも１つのテストマークを有するマスクが具えられ、図４に図示したように、このマスクが基板のフォトレジストに写像される。このマスクは独立のテストマークTMである。しかしながら、このテストマークは、これに代えて、生産マスクのマスクパターンＣの外側に設けられてもよい。図４においては、例として、このマスクが３つのテストマークM_3、M_4及びM_6を具えるものと仮定している。投射ビームによってこのテストマークが照射されると、基板のフォトレジスト中にテストマーク像M_3’、M_4’及びM_5’が形成される。これらの像は、生産投射プロセスの間に１つのＩＣが形成される基板上の領域をカバーする領域A_{IC}中に位置している。このテストマークパターンがフォトレジスト中に写像されると、交互に屈折率が高く又は低くなっているストリップの対応するパターンがそこに生成される。このパターンは位置合わせ格子P_1、P_2と同様の位相格子として作用し、このテストマークがマスク位置合わせマークM_1、M_2と同一のパターンを持っている場合は、位置合わせ装置が検出できる。

本発明によれば、テストマークM_3は図６に図示するようなパターンを有する。この非対称パターンは、位置合わせマーク（図２と比較するとよい）のパターンとは異なり、透明ストリップ35が更に副分割されている。図６にTMで図示されるように、このストリップの一部分、例えば半分36が透明であり、他の半分は交互に並ぶ透明サブストリップ38及び不透明サブストリップ37からなる。比較のために、位置合わせマークの同一の部分がこの図に更にAMで示されている。サブストリップ37及び38の周期PE_2は位置合わせマークの周期PE_1より著しく小さい。これは、投射レンズシステムの解像力の１．５倍にほぼ等しいことが好ましい。半分に代えて、ストリップ35の他の部分が交互に副分割されてもよい。サブストリップの数及びそれらの幅の選択は、測定されるべき投射レンズシステムに依存する。勿論、テストマークの全てのストリップ35が図６に図示されるように副分割される。測定が１つの方向のみについて必要な場合は、このテストマークは、図６の格子部分$P_{1,d}$のような線形格子であってもよい。互いに垂直な２つの方向における測定のために、テストマークが図６の格子部分$P_{1,a}$及び$P_{1,d}$のような２つの線形格子からなる場合は、２つの格子が副分割される。テストマークに４つの格子部分$P_{1,a}$、$P_{1,b}$、$P_{1,c}$及び$P_{1,d}$が用いられる場合は、全ての格子部分が副分割される。

これらは小さい周期を持つため、位置合わせ装置がサブストリップを個別に検出することができない。この装置は、マスク位置合わせマークに対する基板位置合わせマークの位置

を確定することができる機能を持つに過ぎない。基板位置合わせマーク及びマスク位置合わせマークが、投射レンズシステムの倍率及び１次絞りの存在の可能性を考慮に入れて同一の周期構造を持つ場合は、更にそれらが相互に正確に配列されている場合、図３の位置合わせ検出器13、13’に供給される信号は例えば最小になる。例えば図６のマスクテストマークの潜像のような基板マークが非対称構造を持つ場合は、このマークはもはやマスクマークと一致することはなく、従ってこの基板マークがマスクマークに対して正確に位置合わせされたときでさえ、位置合わせ信号はもはや最小ではない。潜像の非対称性は、位置合わせ装置によって、基準即ち位置合わせマークに対するこの像のずれとして解釈される。この非対称性により、位置合わせ信号又は潜像検出信号がゼロ変位を受けるが、これは一般的にオフセットと呼ばれる。従ってフォトレジストの非線形特性が用いられる。非対称のテストマークが写像される場合は、レジストの過剰露光によって図６のサブストリップ37が幅広くなり、サブストリップ38の幅が狭くなるので、テストマークM_3の潜像の全領域が種々の屈折率を持つようになり、潜像中の重心の非対称性又は変位がかなり大きくなる。

潜像中の非対称性の範囲は、投射ビームが基板及びフォトレジスト上に充分に集束する範囲及び照射線量に依存する。投射ビームが鋭く集束されている場合には、非対称性、従って、位置合わせ信号及び潜像検出信号におけるオフセットが最大になる。投射ビームが焦点外れになっている場合は、テストマークの副分割されたストリップ35の像が不鮮明になり、従ってこれらの像のコントラストが低下し、高い周波数が消える。焦点外れが進むと、テストマークの潜像が更に対称的になり、位置合わせ信号におけるオフセットが消える。

図７ａ及び７ｂに、それぞれＸ方向及びＹ方向に延びる潜像のストリップについて、このオフセットの変化、即ち潜像検出信号の変化を焦点外れΔｚの関数として示す。焦点外れΔｚは横軸にμｍを単位としてプロットされ、位置合わせ信号のオフセット、即ち焦点エラー信号は縦軸にnmを単位としてプロットされている。図示された曲線は、各回投射レンズシステムの異なる焦点で、同一のテストマークを多数回フォトレジストに写像を行って得られる。これらの曲線は、投射レンズシステムの光軸上の潜像に適用される。この例では、この曲線はクロック形状を持ち、この信号は、Ｘ軸方向では600nm、Ｙ軸方向では690nmに極値を持つ。オフセット又は潜像検出信号AOSについての負の値は基板が投射レンズシステムに近過ぎることを意味し、正の値はこのシステムと基板との間の距離が大き過ぎることを意味する。

フォトレジストに非対称形テストマークを写像する効果を、空気中で形成された像即ちエアリアル像、及びフォトレジスト中に形成された像即ち潜像に関する図８ａ及び８ｂを用いて説明する。図８ａにおいては、２つの集束値Δｚ＝０については曲線40で、Δｚ＝２μｍについては曲線41で、図６のストリップ35を走査して得られる計算された信号Ｓ(x)が図示されている。この図から、焦点外れにより、エアリアル像の対称性は変わらず、従ってこの像は対称性に基づく焦点エラーの測定には不適当である。図８ｂは、同一の集束値でフォトレジスト中に形成された潜像を走査して得られる計算された信号Ｓ(x)を示す。曲線42はΔｚ＝０に、曲線43はΔｚ＝２μｍに対応する。ここでは明確に変化が存在する。Δｚ＝０においては、信号従って潜像が非対称である。Δｚ＝２μｍにおいては、信号が殆ど対称である。実験によってエアリアル像と潜像との間のオフセットは焦点外れΔｚ＝２μｍでほぼ300mnであり、このオフセットは位置合わせ装置で容易に観察することができることが見出された。

極めて多数の構成部分を持つＩＣの生産においては、投射ビームは例えば240nmのオーダーの極めて短い波長を持たねばならない。このような波長を持つ放射線は遠紫外線と呼ばれる。遠紫外線レジストとして知られる特別なフォトレジストは、この放射線に対して開発され、例えば365nmのようなより長波長の投射ビーム放射線に対して用いられる通常のフォトレジストとは異なる組成を有する。遠紫外線レジスト中に充分な潜像を得るために、照射後にこのフォトレジストを加熱することが好ましい。そうすれば、所望の屈折率差が得られ、従ってフォトレジスト中に光学的経路長差が生成される。このプロセスは「露

光後ベーキング」（PEB）として知られ、得られた像はＰＥＢ像として知られている。本発明による方法がこのＰＥＢ像をも利用できることは明らかである。
本発明においては、照射後投射装置から基板を取出して現像して得られる現像済のテストマーク像を用いてもよく、これにより、照度の変化が高さのプロファイル、従って面構造に変換され、続いてこの装置に再び置かれ、この後でテストマーク像が検出されて試験される。従って、テストマーク像が、この像が形成された装置と同一の装置中で測定されるという利点が保たれる。これは、例えば光学顕微鏡又は電子顕微鏡による通常の測定プロセスより著しく迅速なプロセスである。現像済のテストマーク像を測定する場合、検出器信号は、潜像テストマーク像を測定して得られる信号より大きい振幅を持つ信号として得られる。現像済のテストマーク像を測定する場合、遠紫外線レジストを用いることが特に重要である。
テストマーク像の非対称性を検出する前に、この像は先ず位置合わせ装置中に正しく置かれなければならず、従って、位置合わせされなければならない。マスク中のテストマークの位置が既知の場合は、マスク及び基板中の広範囲位置合わせマークM_1、M_2及びP_1、P_2を、それぞれこの位置合わせのために用いることができる。図３について説明した方法によりこれらのマークを用いてマスク及び基板が相互に対して位置合わせされた後、テストマークがフォトレジストに写像される。続いて極めて精度の高い干渉計システムの制御の下で基板テーブルが動かされ、位置合わせ状態で形成された潜像又は現像済のテストマーク像がマスクの広範囲位置合わせマークの下に置かれる。
しかしながら、例えば潜像の位置合わせのために、テストマークに対応する増設位置合わせマークをテストマーク像として用いることが好ましい。この増設位置合わせマークはテストマスクのテストマークに近接して配置される。この位置合わせマークはテストマークと同時に写像されるので、テストマークの潜像ばかりでなく位置合わせマークの潜像即ち潜像位置合わせマークとして、フォトレジスト中に形成される。潜像位置合わせマークをこのマスクの対応する増設位置合わせマークに対して位置合わせした後は、テストマークの潜像を前記増設位置合わせマークに対して正しく位置させるために、基板テーブルは１mmのオーダーの小さい距離しか動かす必要がない。勿論、この方法は、現像済又はＰＥＢテストマーク及び位置合わせマーク像でも実行することができる。
図９は、テストマークTMに近接して設けられた増設位置合わせマークAMを具えるテストマークTMAを示す。これらのマークは、例えばマスクの中心CEに設けられる。
このテストマークは、例えば、そのマークを、フォトレジストに、毎回異なる焦点で多数回写像し、どの焦点によって潜像中に最大の非対称性が観察されるかを決定することによって、投射レンズシステムの最良焦点合わせを決定するために用いられる。
この焦点測定の結果は、生産投射プロセスが開始される前に、又はこのプロセス中の所定の補正の時に、この投射レンズシステムの焦点を調整するために用いることができる。しかしながら、特に、大きな解像力及び比較的大きな像フィールドを持つ新しい投射レンズシステムにおいては、生産投射プロセスの間に焦点が変わる。このような投射レンズシステムでは、25mmのオーダーの像フィールド中に-0.4μmのオーダーの線幅を写像することが可能であるが、このような投射レンズシステムは、気圧及び温度のような環境パラメーターの変化に対して極めて敏感であり、投射プロセスの開始の際には熱効果を示す。レンズ材料の高分散のため、投射ビームの波長の変化が更に像の質、即ちこのビームによって形成される像の位置及び質に影響する。投射装置中の収差、フィールド非点収差及びフィールド湾曲の問題が生ずる場合がある。極めて高い解像力と比較的大きい像フィールドを持つ新世代の投射レンズシステムは極めて浅い焦点深度を持つため、とりわけ投射レンズシステムの大きな波長依存性により、焦点エラーが極めて大きな影響を持つ。これらのエラーは非常に正確に検出しなければならない。
このため、図４及び５に関して説明したように、投射装置は焦点エラー検出装置FDを具える。焦点測定ビームb_fによってカバーされる放射線経路は投射ビームの経路と異なるので、且つこれらのビームがかなり異なる波長を有するので、例えば温度のような環境パラメーターの変化が、投射ビームで形成された像と焦点測定ビームで形成された像のそれぞれ

に対して異なる効果を持つ。その結果、充分な焦点合わせは焦点エラー検出装置で測定することができるが、投射ビームによって形成されたマスクの像は鮮明ではない。更に、特に焦点エラー検出装置に狭帯域焦点測定ビームが用いられる場合は、この装置は、同一の焦点であってフォトレジストの厚さが異なる場合に異なる焦点エラー信号を供給することがある。焦点検出装置では検出できない投射装置の機械的なドリフトも起きることがある。従って、焦点エラー検出装置を定期的に、例えば１日に１回又は数回較正することが必要である。

テストマーク像についての焦点測定の結果はこの較正のために利用することができる。このため、焦点エラー検出装置は更に各テストマーク像の測定の間の測定に利用できる。これらの測定の結果はメモリーに記憶される。どのテストマーク像が最も鮮明であるかが確認されると、焦点エラー検出装置によってどのような焦点値が測定されたかについて捜査される。この値がテストマーク像検出装置によって測定された値に対応しない場合は、焦点エラー検出測定のゼロ点が採用される。

テストマークが格子であると仮定される場合、多数のストリップからなりフォトレジスト中に形成されたテストマーク像のコントラストは、このフォトレジストの所定の厚さでこのフォトレジストにより吸収され、このレジストを活性化するために用いられた放射線エネルギーの量に依存する。このレジストに加えられたエネルギーの量は、放射線源LA（図１及び５）の放射線パワー及び投射装置にあるシャッターが開く時間間隔に線形に依存する。フォトレジストによって吸収されるエネルギー量はフォトレジストの上面の反射係数に依存する。この反射係数が大きい程、このレジスト中の光活性成分を活性化するために利用されるエネルギーは少ない。このレジストの光学的厚さ、即ち幾何学的厚さとその屈折率との積も反射係数を決める。投射装置によってマスクパターンの満足できる像を作ることが可能であるためには、従って、充分な調整、及び照射線量及びフォトレジストによって吸収されるエネルギーの量の定期的な測定が必要である。

図１０、１１及び１２は、潜像から得られた焦点エラー信号及びそれから導出される信号は照射線量に依存しないが、検出信号自体、従って位置合わせ信号のオフセットはこの線量に依存することを示す。図１０はこのオフセットAOの変化を、種々の照射線量について焦点外れΔｚの関数として示す。照射線量が増加するに連れて、クロック形状の曲線は実質的にその形状を保ち、極小値は僅かに深くなり、曲線のレベルが高くなる。位置合わせ信号に最大のオフセットが起きるときの焦点の測定値、即ち測定された最良の焦点合わせは、実質的に照射線量に依存しない。その結果、最良焦点、フィールド湾曲及び非点収差のようなパラメーターの潜像検出を経て得られる値は、実質的に照射線量に依存しない。これを説明するため、図１１では最良焦点値LBFが対応する種々の照射線量EXDを横軸としてプロットされている。曲線最適化によって得られた実線は0.2mm/mJoule以下の僅かな傾斜のみを有する。測定精度の範囲内で他のパラメーターは照射線量に依存しない。本発明による潜像検出を用いた焦点測定はフォトレジストに加えられるエネルギーに依存しないので、この測定は更に、フォトレジストの厚さの変化及び基板又は基板上に設けられたプロセス被覆の反射係数の部分的な変化に、依存しないことが結論できる。

他方、固定された焦点では、図１２に示すように、位置合わせ信号中のオフセットAOは照射線量に依存する。２つの異なる型のフォトレジストについてこの図に示された曲線50及び51は、最適焦点で、毎回照射線量を値Δ_{EXD}＝１０mJ/cm^{2}ずつ変化させて得られたものである。

それぞれの照射線量において、潜像検出信号AOSの所定の値、従って位置合わせ信号のオフセットOAの所定の値が各照射線量に対応するという事実は、これを規則的な測定及び生産投射プロセスの間の照射線量の補正のために用いることができる。この場合、通常の方法によって得られた最適照射線量が、種々の照射線量でフォトレジスト中にマスクパターンのテスト像を作り、このレジストを現像し、この像をＳＥＭで観察するための基礎として用いられる。図１２に示されたような曲線により、位置合わせ信号のいずれのオフセットAOがこれに対応するかを確認することができる。生産投射プロセスの間、このオフセットが実際に達成されているか否かを規則的な瞬間にチェックすることができる。達成され

ていない場合は、照射線量は既知の方法で採択される。
特に潜像検出信号が小さい場合に照射線量の信頼できる測定を行うために、投射装置の信号処理ユニットで、ＳＥＭによる通常のテスト像測定によって得られたデータから種々の照射線量と対応する像の線幅とのテーブルを作成して記憶することができる。このようなテーブルを利用できると、照射線量を潜像検出から得られたオフセット値に割当てることができ、所望の照射線量に対するずれを求めることができる。前記の照射線量測定は、更に、現像済又はＰＥＢテストマーク像によっても行うことができる。
テストマークに対応する増設位置合わせマークを用いることにより、既知の位置合わせ装置を較正することができる。このためには、この位置合わせマークに関する増設位置合わせマークの例えば潜像の位置合わせで得られる信号が、基板位置合わせマーク（P_1、P_2）に関してマスク位置合わせマーク（M_1、M_2）の位置合わせによって得られる信号に対応するか否かを確認する。対応しない場合は、直前の信号が、見出された差に一致するオフセットを与えられる。
前記の文献（Spie vol.1674 Optical/Laser Microlithography 1992 pp.594-608）の記載と同様に、投射レンズシステムの可能な収差を、非対称テストマークに対応する増設対称位置合わせマークによって測定することができる。
このような測定のためには、生産マスクに具えられたテストマーク及び位置合わせマークを用いることができる。これらのマークは、ＩＣ領域間のスクライブ線として知られている基板領域に写像されるような位置に設けられる。これらのマークを写像するときは、例えばマスク中のＩＣパターンにはカバーがかけられる。
図７ａ及び７ｂの比較から明らかなように、位置合わせ信号オフセットを焦点外れの関数として表す曲線の極値が相互に僅かにシフトしている。これは投射レンズシステムの非点収差に基づく。最初は最適焦点を求めるための測定により、このようにして、投射レンズシステムの非点収差についての表示をも得ることができる。
上記の測定においては、これまで、例えば最適焦点を求めるために、同一のＩＣ領域又は種々のＩＣ領域に多数回、テストマークを写像している。しかしながら、中心のテストマークに加えて又はこれに代えて、少なくとも３つのテストマークが中心の外側に配置されたテストマスクを用いることが好ましい。図１３には、中心にテストマークTM_1を持ち、それぞれ隅の１つに配置された４つのテストマークTM_2-TM_5を持ち、更にこれらのテストマークに対応する増設位置合わせマークを有するマスクが図示されている。
このような３つ又は５つのテストマークを持つマスクを、各回毎に異なる焦点で、多数回種々のＩＣ領域のフォトレジストに写像し、それぞれのテストマークについて最適焦点を求め、これらを相互に比較することにより、種々の型の像検出装置を持つ投射装置を記載した米国特許第5,144,363号に記載されたような方法で、投射レンズシステムの質についてのデータを得ることができる。例えば、投射放射線によって形成された像の傾斜を求めることができる。この情報は、新世代投射装置に設けられると考えられる、投射放射線との差で動作し自動コリメーション原理に基づく、傾斜検出装置の較正のために用いることができる。この傾斜に関する情報に加えて、倍率、非点収差及び３次収差についての情報も得ることができる。
この収差の重要部分は、半径方向の収差、即ち半径方向に測定された像フィールドの中心の倍率と像フィールドの他の点の倍率との差である。
図１４は、４１もの多数のテストマークを有するテストマスクの実施例を示しており、各対は100-140の１つの参照番号で表されている。図１４の線150は投射レンズシステムのフィールドを表し、このフィールドは例えば$14\times14mm^2$である。位置合わせマークとテストマークとの他の対は図１４にドットで表された位置に設けられ、１２１対のマークを持つテストマスクが得られる。これは、多数の位置合わせマークを持つ現存の位置合わせマスクに適合する、特別な位置合わせプログラムが用いられる現存の投射装置に適している。図１４のテストマスクは、現存の位置合わせマスクが持つ位置合わせマークの数と同一数のテストマークを持つ。図１４のテストマスクの利点は、傾斜及びフィールド湾曲のような多数の投射レンズパラメーターをこれによって求めることができることである。

図１４のテストマークパターンが多数回、例えば２９回、毎回別のＩＣ領域のフォトレジストに、毎回焦点を例えばＺ＝-2.8とＺ＝+2.8μｍとの間を0.2μｍずつ変えて写像され、その後、全てのマークの例えば潜像を測定する。即ち、それらの位置合わせされた位置が固定され、基板テーブル位置検出装置によって記憶される。従って、41×29×2=2378個の位置合わせ位置が固定される。
テストマークの像が多数、例えば基板の２９の領域に形成されるので、検出の間に平均操作が実行され、この測定は非平坦性等の基板のずれによって影響されない。
前記の焦点外しのステップは等しくなくてもよい。これらのステップは、例えば図７ａ及び７ｂが極値に近づくところでは小さい方が好ましい。これにより、更に正確な測定が可能であり、最適曲線を得易い。変化のステップサイズ原理は照射線量を決定する場合にも用いられる。
図７ａ及び７ｂに図示された曲線が光軸上のマーク100に当てはまることは注意を要する。他の全てのマーク対101-140について同様の情報を得ることができる。これらの全ての情報からＸ方向及びＹ方向についての２つの焦点面が得られる。投射レンズシステムが非点収差を示す場合は、焦点面FS_x、FS_yが異なる。従って、平均焦点面FS_Mが
$FS_M = 0.5(FS_x + FS_y)$
によって導出される。図１５はこのような面を示し、一方、図１６は対応する非点収差$AST=FS_x-FS_y$を示す。測定が行われた特定の投射レンズでは、最大非点収差はほぼ390nmであり、Ｘ軸に沿って、Ｘ＝6.5mmで起きる。
焦点面FS_x及びFS_yが既知の場合は、生産投射プロセスの間、基板は機械操作され、基板の部分表面が可能な限り良好に部分焦点面に合う。このため、基板上のＩＣ領域を投射レンズシステムの像フィールドより小さくし、これにより、ＩＣ領域に演習スペースを残す。焦点面は、投射レンズ像フィールド中の最良焦点、換言すれば、位置合わせ信号に最大オフセットが起きる点の集合である。
図１７は、図１４のマスクについて行われた既知の収差測定の結果を示す。この場合、増設位置合わせマークの位置合わせデータが最適焦点合わせに用いられる。投射レンズシステムの部分収差は、像フィールドの中の位置には関係なく、マークが実際に写像された位置と、投射レンズシステムの倍率が正しいとすればマークが写像されるであろう位置との間の差である。図１７は、収差測定の中間操作の後に得られた結果を示す。この測定では、ベクトル200-240の形のマスクのエラーが考慮されていない。ベクトルの長さ2.8mmがおよそ100nmの収差を表す。定義により、光軸上の位置200の収差はゼロである。測定された投射レンズシステムについての最大収差はベクトル203でのほぼ170nmである。
更に、基板及びフォトレジストの非平坦性の測定のために、従って高さの測定の一種の実行のために、非対称テストマークの像検出が用いられる。この場合、例えばテストマークが、可能ならば対応する増設位置合わせマークと共に、毎回異なる焦点で、１つのＩＣ領域に多数回写像され、この多重写像が基板全体に亘って多数のＩＣ領域で繰り返される。潜像検出により、最適焦点合わせが各ＩＣ領域について決定される。種々の領域について相互にこれらの結果を比較することにより、基板の非平坦性を見出すことができる。
潜像検出の利点の１つは、これらの像が形成されたその装置の中で測定されることである。テストマークの像がフォトレジスト中に形成された後で基板及びフォトレジストを現像し、再び投射装置中に置かれて現像済の像を位置合わせ装置によって測定する場合は、この利点が維持される。このプロセスはＳＥＭによる通常の測定プロセスより迅速であり、検出信号を供給する。潜像のみからの信号より大きい振幅を持つ検出信号を供給する。
テストマークのための基準マークは、前記のような対称の増設位置合わせマークばかりでなく、テストマークと逆の非対称性を持つ非対称のマークであってもよい。図１８はそのような基準マークRMと対応するテストマークTMを示す。像検出においては、先ず、これらのマークのそれぞれを対称位置合わせマーク、例えば広範囲位置合わせマークに位置合わせし、次に各マークについて位置合わせ信号中のオフセットを求める。２つの非対称マークの検出信号を減算することにより、マーク中の非対称性による変化が原理的にテストマークのみが非対称である場合の２倍大きい信号が得られる。

上記の非対称テストマークの像の検出により、潜像の位置、回転及び傾斜についての情報ばかりではなく、投射ビームの波長の変化並びに、気圧、温度、その他の環境パラメーターの変化に基づく、写像の質、特に倍率、非点収差、収差及びフィールド湾曲の変化についての情報も得ることができる。従って、写像の品質に影響するパラメーター、即ち環境パラメーター、投射ビームの波長、機械的なドリフト、その他の全てについて、厳密に知る必要はなく、投射装置中に含まれるコンピュータは、検出信号により、投射レンズシステムによって形成された像が正しくないこと、次に、全ての効果のあるパラメーターを含むことにより投射像の位置及び品質が最適になるモデルを用いて、種々のサーボ装置に対する設定信号及び波長、投射レンズ中のガス圧及び温度、その他のような装置パラメーターに対する制御信号を発生することが可能である。

テストマーク像検出装置は、正確な測定及び補正の可能性を具える。例えば、248nmの遠紫外線領域の波長の投射ビームを持つ投射装置においては、Ｘ及びＹ方向の5nmのオーダーの不安定性及びＺ方向の50nmのオーダーの不安定性を測定できなければならない。影響のあるパラメーター自体を測定し且つ基準値と比較する投射装置においては、温度、波長、マスクのＺ位置及び気圧は、それぞれ精度0.015°K、0.5nm、0.15μm及び0.5ミリバールで測定できなければならない。これらの測定精度の達成を可能にするためには、極めて精巧な測定技術を用いなければならない。更に測定値が、このシステムでは不均一性は起きないという追加の要求の下で、投射レンズシステムの収差に変換されなければならない。更に投射装置中の機械的なドリフトはこれまで考慮に入っていない。

図１９は投射装置に用いられるサーボ装置とそれらの接続を示す図である。四角形で示される種々の装置間の接続線は、既知の投射装置にも存在する。これらの四角形は次の意味を表す。

LA、放射線源、例えばレーザー、
LWC、レーザー波長制御装置、
ILS、照射システム、
MT、マスクテーブル、
MAZ、マスクテーブルのＺ位置をチェックする装置、
PL、投射レンズ、
PLTC、投射レンズの温度を制御する装置、
ALI、位置合わせ放射線によって形成された像、
IF、基板テーブル位置検出装置、
FD、焦点エラー検出装置、
AS_1（AS_2）、単一（又は二重）位置合わせ装置。

点線で示されたサブシステムは、投射装置中に、増設システムとして配置される。

ELI、投射放射線によって形成された潜像、
IS、潜像検出装置、
IC、像較正装置、又はコンピュータ。

二重の接続線は、潜像検出装置を用いる場合に処理される増設の信号を表す。それらは、次の通りである。

・基板テーブル位置検出装置IF、波長制御装置LWC及び焦点エラー検出装置FDから像検出装置に印加される信号、
・投射光で形成された像の像情報、
・レーザー波長制御装置LWC
マスク高さ制御装置MAZ
投射レンズ温度制御装置PLTC
焦点エラー検出装置、及び
位置合わせ装置AS_1（AS_2）
に印加される像較正装置の信号。

投射装置は１又は複数の次の装置を含む。
投射レンズシステム中の圧力を制御する装置（PLPC）、

投射レンズシステム中の媒体の組成を制御する装置（PLGM）、
レンズ素子間の相互の距離を制御する装置（PLDC）。
装置PLPC、PLGM及びPLDCは、装置PLTCと同様に、装置ICから制御される。
図２０は、ストリップ305及び中間ストリップ300を有する一次元テストマークの他の実施例を示す。ストリップ305は更に、投射ビーム放射線に対して透明な部分306と、一連の透過性サブストリップ307及び不透過性サブストリップ308からなる部分とに副分割される。この実施例は、サブストリップ307及び308の方向がストリップ部分306の方向に対して鋭角、例えば４５°の角度で延びている点が図６の実施例と異なる。前記投射レンズパラメーターの測定に加えて、このテストマークは、Ｘ及びＹ方向に対して鋭角、例えば４５°の角度で非点収差を測定するのに極めて適している。
図２０のテストマークは、図１８の組合せと同様に、鏡像非対称構造を持つ増設位置合わせマークと組合せて用いられる。図２１は、TMがテストマークでRMが基準マーク又は増設位置合わせマークである新しい組合せを示す。
図２２はテストマークの他の実施例を示す。ここでは、上記のマークとは異なり、ストリップ325の幅W1が不透明ストリップ320の幅W2より広い。従って、このテストマークはより粗い非対称性を持ち、サブストリップ327及び328による非対称性の効果を強調する。
図２３は特に基板のスクライブ線に写像する場合に適している二次元テストマーク329の実施例を示す。このマークは、Ｘ方向に延びるストリップ331の部分330及びＹ方向に延びるストリップ336の部分335からなる。図に示すように、ストリップ331もやはり透明部分332及び不透明サブストリップ334と交互にある透明サブストリップ333からなり、一方、ストリップ336は透明部分337及び不透明サブストリップ339と交互にある透明サブストリップ338からなる。このテストマークは、例えば長さ220μm及び幅80μmである。１／５に縮小すると、このテストマークは長さ40μm及び幅10μmになり、この像はスクライブ線に充分適合する。
図２４は、特に照射線量を測定する場合に適しているテストマーク340の実施例を示す。このマークは例えば４つの格子341-344からなる。各格子のストリップ345も、やはり透明部分347及び不透明の背景中に複数の透明サブミクロン領域349を有する部分348からなる。例えば0.2μmのオーダーの大きさを持つこのサブミクロン領域は、投射レンズシステムで個別には写像されず、一体となって例えば入射放射線の３０％を射出するグレイフィルターを構成する。
フォトレジストにストリップ345を投射すると、左側部分がその右側部分より高い強度を受信するストリップ形状領域350が生成される。像ストリップ350中の強度分布の重心が矢印351で示されているが、これは、矢印361で示されている基準マークRMのストリップ355の像360の重心の点に対して、左にシフトしている。照射線量が増加すると、ストリップ部分348を通してフォトレジストに射出する放射線量は増加するが、一方、ストリップ部分347を経て照射されたフォトレジストの部分は飽和し、そのため強度分布の重心の点が右にシフトする。充分に大きい照射線量においては、重心の点は矢印352で表されている像ストリップ350の中間になる。照射線量の大きさがストリップ像中のエネルギー分布の重心の点の位置に変換されるので、投射装置の位置合わせ装置によって照射線量をも測定することができる。
図２４に図示された４部分テストマーク340に代えて、それぞれＸ方向及びＹ方向に延びる格子ストリップを持つ２つの格子を有するテストマーク、又は、ただ１つの格子のみを持つテストマークを、照射線量の測定に代替として用いることもできる。この測定は、潜像、ＰＥＢ像、又は現像済の像を用いて行うことができる。ストリップ345は、中間ストリップ346の幅に等しいか又はこれより大きい幅を有するとよい。更に、照射線量の測定のための特別なテストマークと組合せて用いられる基準マークのストリップは、サブミクロン領域からなるグレイ領域を含むとよい。基準マークのこの領域のストリップの構造は、テストマークのストリップのそれのＹ軸についての鏡像であり、これにより、図１８についての上記の説明と同様に強い信号を得ることができる。このサブミクロン領域は、図２４に示されたように正方形を持つばかりではなく、例えば三角形又は円形のような他の

形状でもよく、或いはそれらが極めて細い線からなっていてもよい。
図２５は、ストリップ345が中間ストリップ346と同じ幅のテストマークについては曲線370で、ストリップが中間ストリップよりほぼ２５％広い幅のテストマークについては曲線371で、像の中心のオフセットAO(単位nm)を照射又は露光線量EXD（単位mJ/cm^2）の関数として表している。
これにより、照射線量測定は、過大ではない焦点エラーによって実質的に影響を受けないことが分かる。
本発明を、集積回路（ＩＣ）を製造するために基板上にマスクパターンを繰り返し写像及び／又は走査する装置における利用について説明した。このような装置は、更に、統合光学システム又は平面光学システム、磁気ドメインメモリー又は液晶表示パネルのためのガイド及び検出のパターンの製造に用いられる。本発明は、基本的にはこれらの装置のためのものであるが、これに限られない。それは、写像レンズシステムの質が極めて正確に決定されるべき光学的測定及び検査装置に一般的に用いられる。
【図面の簡単な説明】
図１は、基板上にマスクパターンを繰り返し写像するための装置の例を示す説明図、
図２は、上記の装置に用いるための既知の二次元位置合わせマークの例を示す図、
図３は、上記の装置のための既知の位置合わせ装置の例を示す図、
図４は、この装置のための既知の焦点エラー検出装置及び基板テーブル位置検出装置の例を示す図、
図５は、投射装置の断面図、
図６は、本発明による非対称テストマークの実施例を示す図、
図７ａ及び７ｂは、２方向について焦点外れの関数として潜像検出信号の変化を示す図、
図８ａ及び８ｂは、それぞれ、本発明によるテストマークのフォトレジスト中に形成されるエアリアル像及び潜像を走査する時に得られる信号を示す図、
図９は、テストマスクの第１実施例を示す図、
図１０は、異なる照射量について、焦点外れの関数として潜像検出信号の変化を示す図、
図１１は、照射線量による最良焦点の変化を示す図、
図１２は、２つの異なるフォトレジストについて、照射線量の関数として潜像検出信号を示す図、
図１３は、本発明によるテストマークの他の実施例を示す図、
図１４は、本発明によるテストマークの他の実施例を示す図、
図１５は、潜像検出によって測定された投射レンズシステムの焦点面を示す図、
図１６は、潜像検出によって測定された投射レンズシステムの非点収差面を示す図、
図１７は、上記システムの収差を示す図、
図１８は、テストマーク及びこれに対応して逆の対称性を持つ基準マークを示す図、
図１９は、投射装置の種々のテスト装置及びこれらの装置の間の接続を示す説明図、
図２０は、Ｘ及びＹ方向の或る角度で非点収差を測定することができるテストマークの実施例を示す図、
図２１は、上記テストマークと鏡像ストリップ構造の基準マークとの組合せを示す図、
図２２は、中間ストリップより幅が広いストリップを持つテストマークを示す図、
図２３は、ＩＣのスクライブ線の投射に適しているテストマークを示す図、
図２４は、照射量の測定に特に適している位置合わせマークを示す図、
図２５は、２つの異なるテストマークについて、照射線量の関数としてテストマークの中心のオフセットを示す図である。

【図１】

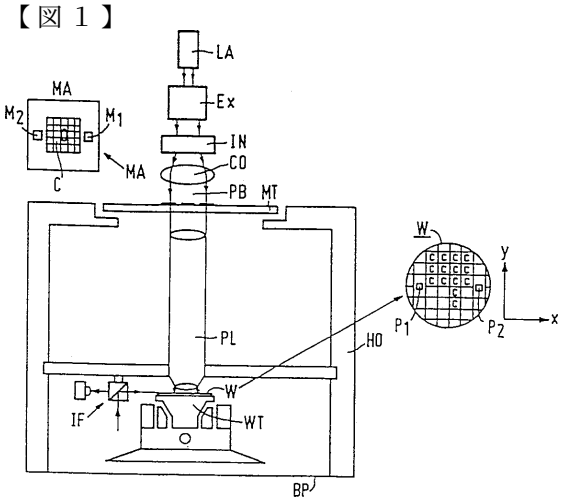


FIG.1

【図２】

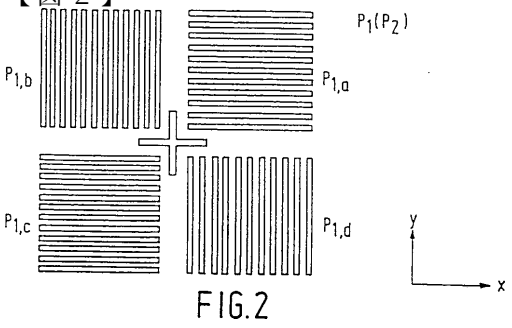


FIG.2

【図３】

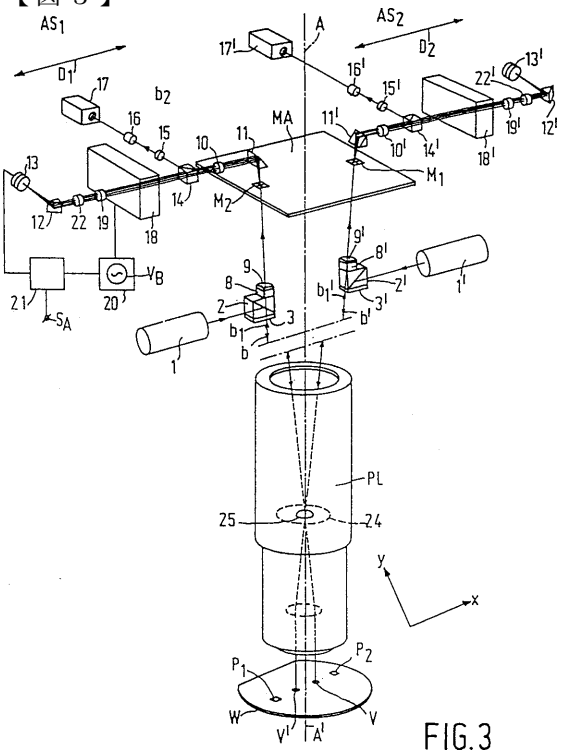


FIG.3

【図４】

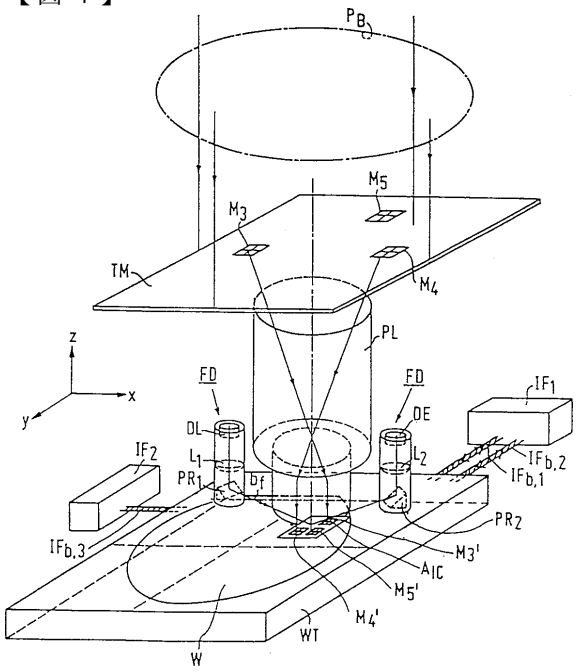


FIG.4

【図５】

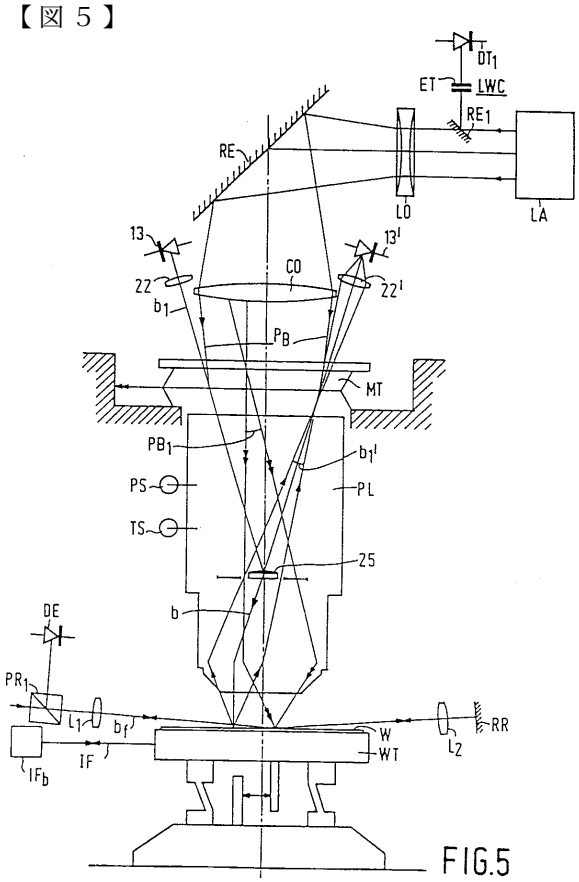


FIG.5

【図６】

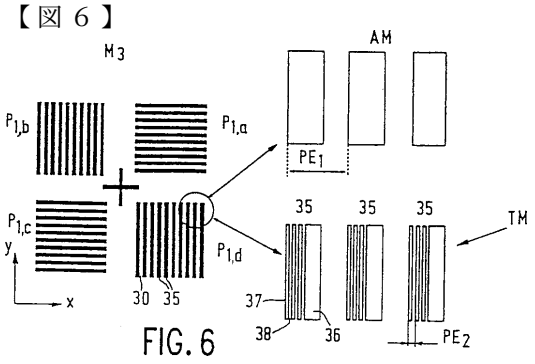


FIG. 6

【図７ａ】

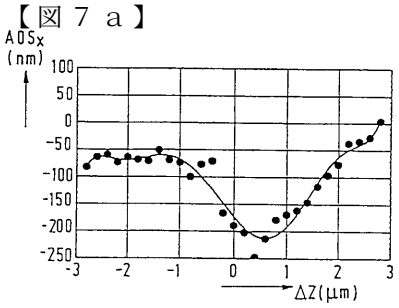


FIG. 7a

【図７ｂ】

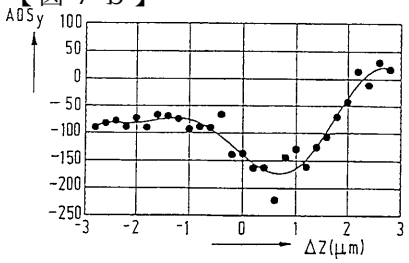


FIG. 7b

【図８ａ】

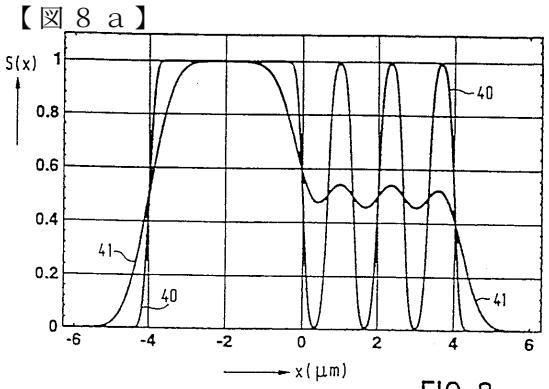


FIG. 8a

【図８ｂ】

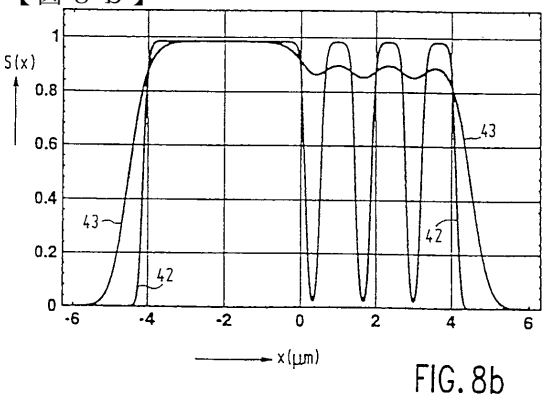


FIG. 8b

【図９】

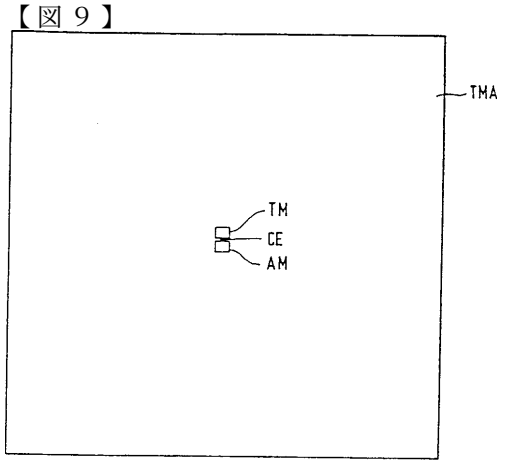


FIG. 9

【図１０】

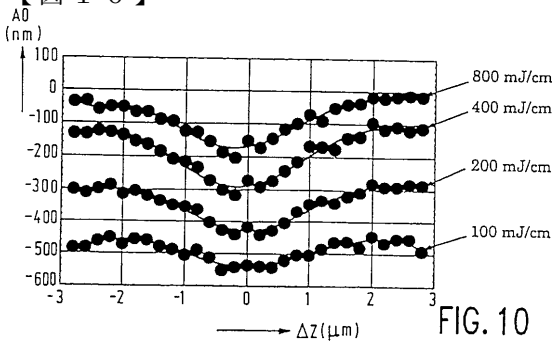


FIG. 10

【図１１】

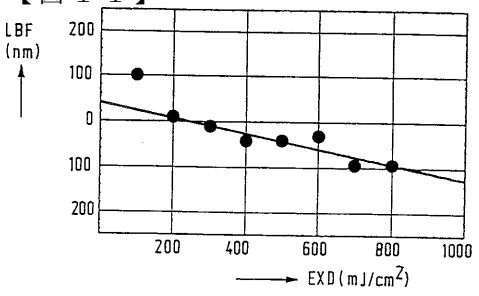


FIG. 11

【図１２】

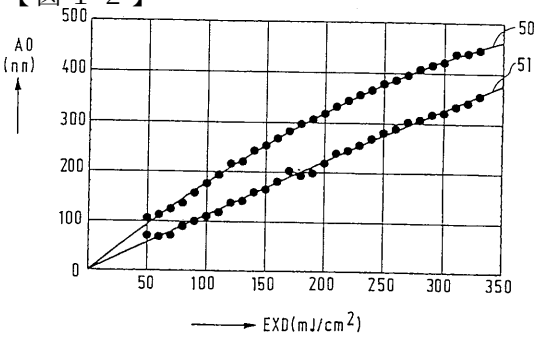


FIG. 12

【図１３】

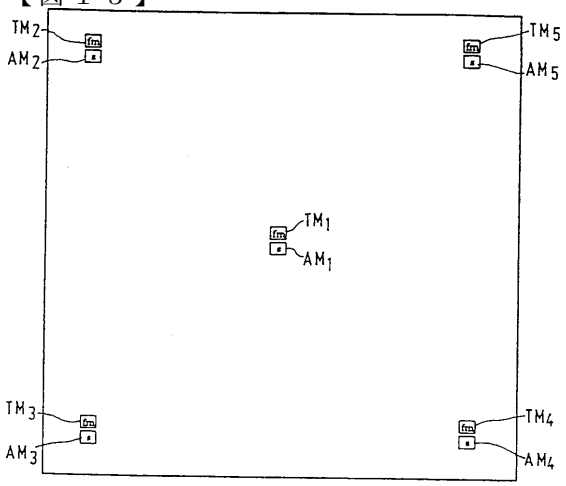


FIG. 13

【図１４】

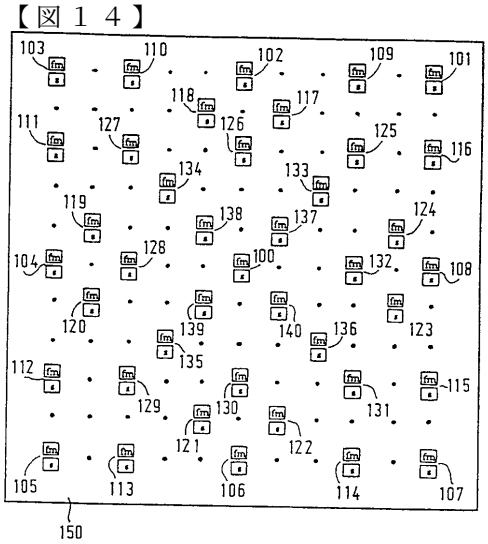


FIG. 14

【図１５】

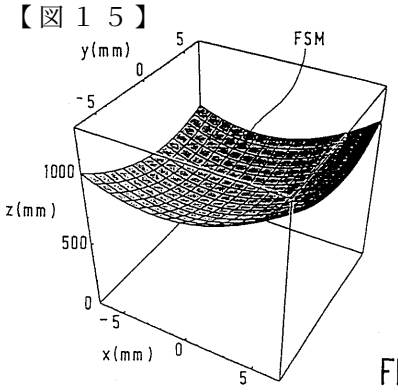


FIG. 15

【図１６】

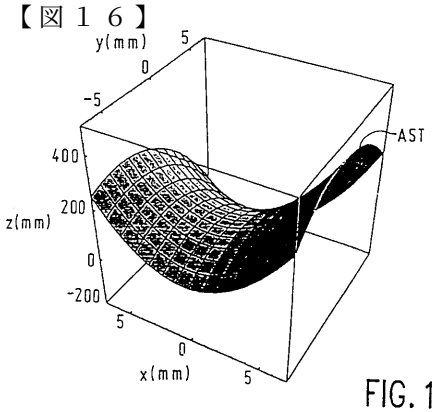


FIG. 16

【図１７】

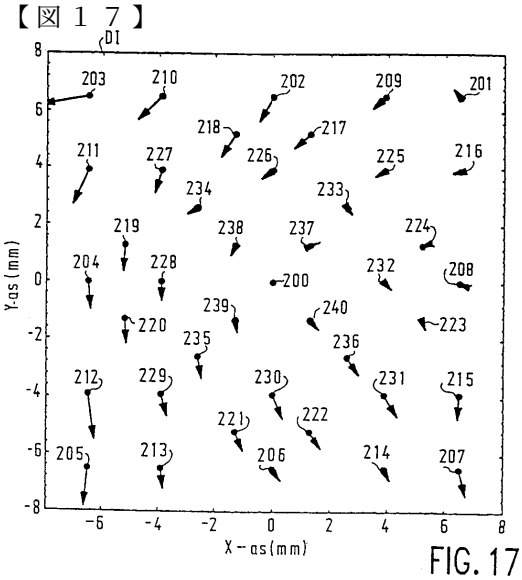


FIG. 17

【図１８】

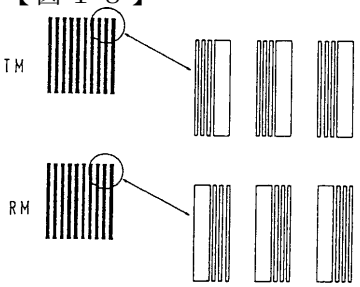


FIG. 18

【図１９】

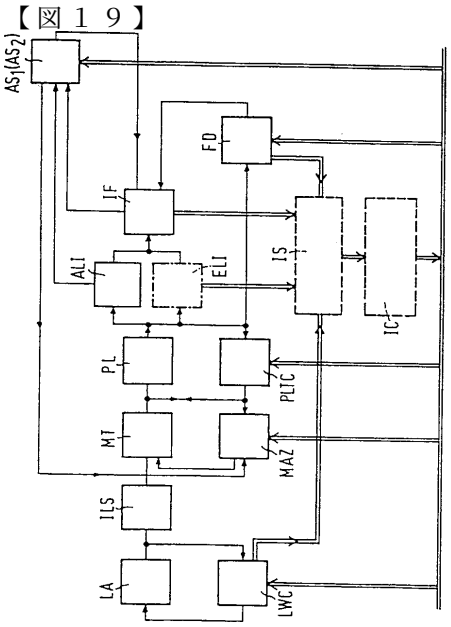


FIG. 19

【図２０】

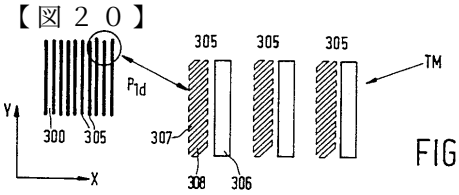


FIG. 20

【図２１】

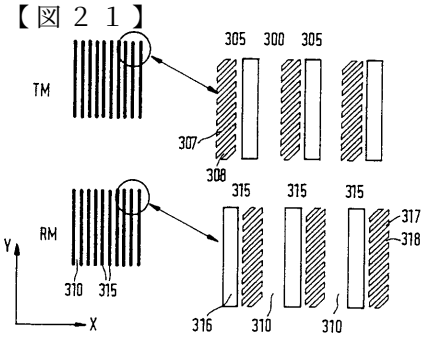


FIG. 21

【図２２】

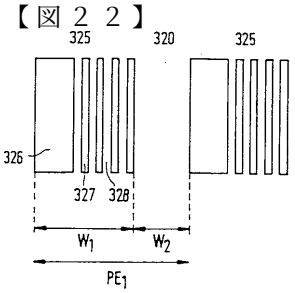


FIG. 22

【図２３】

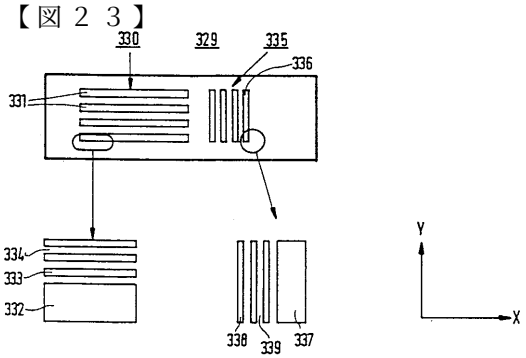


FIG. 23

【図２４】

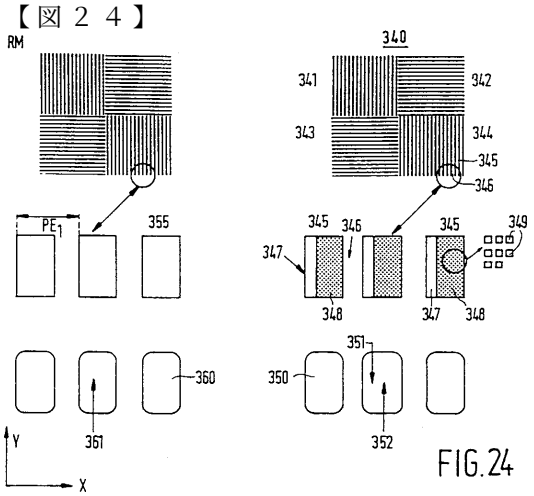


FIG. 24

【図２５】

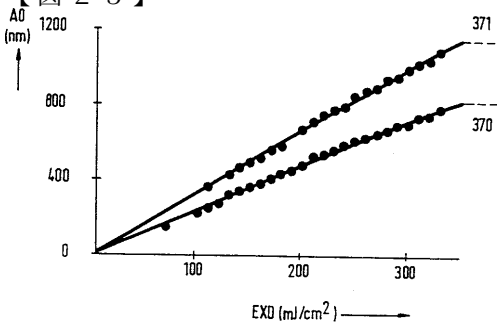


FIG. 25

フロントページの続き

(72)発明者 ディルクセン ピーター
オランダ国 ５６２１ ベーアー アインドーフェン フルーネヴァウツウェッハ 1
(72)発明者 ファン デル ウェルフ イァン エヴァート
オランダ国 ５６２１ ベーアー アインドーフェン フルーネヴァウツウェッハ 1

審査官 岩本 勉

(56)参考文献 特開平０６－１６３３４８（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－１２０１１７（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－００３２２４（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－１８７８１７（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－１９８４７５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
H01L 21/027
G03F 9/00