

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3570728号
(P3570728)

(45) 発行日 平成16年9月29日(2004.9.29)

(24) 登録日 平成16年7月2日(2004.7.2)

(51) Int. Cl.⁷

H01L 21/027
G03F 9/00

F I

H01L 21/30 525R
G03F 9/00 H

請求項の数 16 (全 21 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平10-538308 (86) (22) 出願日 平成10年3月2日(1998.3.2) (65) 公表番号 特表2000-511004(P2000-511004A) (43) 公表日 平成12年8月22日(2000.8.22) (86) 国際出願番号 PCT/IB1998/000261 (87) 国際公開番号 W01998/039689 (87) 国際公開日 平成10年9月11日(1998.9.11) 審査請求日 平成15年4月25日(2003.4.25) (31) 優先権主張番号 97200682.9 (32) 優先日 平成9年3月7日(1997.3.7) (33) 優先権主張国 欧州特許庁(EP)</p>	<p>(73) 特許権者 アーエスエム リソグラフィ ベスローテ ン フェンノートシャップ オランダ国 5503 エルアー フェル トホーフエン デ ラン 1110</p> <p>(74) 代理人 弁理士 浅村 皓</p> <p>(74) 代理人 弁理士 浅村 肇</p> <p>(74) 代理人 弁理士 吉田 裕</p> <p>(74) 代理人 弁理士 岩本 行夫</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 離軸整列ユニットを持つリトグラフ投射装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

投射ビームを供給する光源と；マスク保持器と；基板保持器と；該マスク保持器と該基板保持器との間に配置される投射システムと；を有して成り、また上記基板保持器内に設けられる基板を上記マスク保持器内に設けられるマスクに関して終局的に整列させるための整列システムをも更に有して成るリトグラフ投射装置であって、上記整列システムは上記基板上に設けられる整列マークを或る基準に関して整列させるための離軸整列ユニットを含むところのリトグラフ投射装置において、

上記整列マークは回折マークであり、また、上記整列ユニットは、0次より高いそれぞれ異なる回折次数で上記回折マークにより回折されるところの、少なくとも3個の或る数の副ビームをそれぞれ検出するようになっており、各副ビームは上記基準に関する基板マークの位置についての表示を含むことを特徴とするリトグラフ投射装置。

【請求項2】

請求項1に記載のリトグラフ投射装置において、上記基準は、用いられた回折次数に等しい或る数の、基板整列マークと同じ形を持つ別々の基準素子の構造体で構成され、また、上記基板マークから来て関連の回折基準素子を通過する副ビームを電気信号に変換するために、これらの回折素子の各々に対し別個の検出器が付随していることを特徴とするリトグラフ投射装置。

【請求項3】

請求項2に記載のリトグラフ投射装置において、上記基準素子は回折格子であることを特

10

20

徴とするリトグラフ投射装置。

【請求項 4】

請求項 2 又は 3 に記載のリトグラフ投射装置において、基板マークと回折基準素子との間の光通路には、第 1 レンズシステムと；個別の副ビームに種々の異なる方向を与えるために上記第 1 レンズシステムからの副ビームの通路に配置される偏向素子の構造体と；該当する基準素子上に副ビームを集中するために上記偏向素子の背後に配置される第 2 レンズシステムと；を順次に取り入れることを特徴とするリトグラフ投射装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のリトグラフ投射装置において、第 1 レンズシステムと基板マークの平面との間の距離は第 1 レンズシステムの焦点距離に等しく、また、第 2 レンズシステムと基準素子の平面との間の距離は第 2 レンズシステムの焦点距離に等しく、更にまた、第 1 レンズシステムと第 2 レンズシステムとの間の距離は第 1 レンズシステムの焦点距離と第 2 レンズシステムの焦点距離との和に等しいことを特徴とするリトグラフ投射装置。

10

【請求項 6】

請求項 4 又は 5 に記載のリトグラフ投射装置において、上記偏向素子の構造体は、各回折次数に対して 1 対の偏向素子を有し、それによってこの回折次数で反対の回折次数符号を持つ副ビームを偏向させ、その偏向させ方は、第 2 レンズシステムがこれらの副ビームを当該の 1 つの基準素子上に収束させるようにしてあることを特徴とするリトグラフ投射装置。

【請求項 7】

請求項 4, 5 又は 6 に記載のリトグラフ投射装置において、上記偏向素子の構造体は、副ビームの数に等しい数の個別の光学的楔を有することを特徴とするリトグラフ投射装置。

20

【請求項 8】

請求項 4, 5 又は 6 に記載のリトグラフ投射装置において、上記偏向素子の構造体は多数の透明な楔型の板を有し、それらは副ビームの通路に前後に並べて配置され、種々の異なる楔角と、偏向しないで光を通過させるための多数の開口部とを持ち、開口部の数とそれらの位置とは、 n 個の板の組合せを用いて 2^n の回折次数が 2 値をとるやり方で異なる方向に偏向できるようにしてある

ことを特徴とするリトグラフ投射装置。

【請求項 9】

請求項 1 ないし 8 のうちのいずれか 1 項に記載のリトグラフ投射装置において、上記基板マークは線形の回折格子であることを特徴とするリトグラフ投射装置。

30

【請求項 10】

請求項 9 に記載のリトグラフ投射装置において、上記基板マークは 2 個の回折格子部分を有し、その第 1 の部分の回折格子ストリップの方向は第 2 部分の回折格子ストリップの方向に垂直であり、上記偏向素子の構造体は 2 次元構造であり、また上記基準は 2 次元の基準であることを特徴とするリトグラフ投射装置。

【請求項 11】

請求項 1 ないし 10 のうちのいずれか 1 項に記載のリトグラフ投射装置において、上記離軸整列ユニットは、異なる波長のビームを供給する 2 個の光源と、基板マークへの通路上で 2 つのビームを組み合わせるため及び上記のマークで反射されるビームを分割するためのビーム分割器とを有すること、並びに偏向素子及び回折基準素子の別個の構造体がこれらのビームの各々について存在することを特徴とするリトグラフ投射装置。

40

【請求項 12】

請求項 1 ないし 11 のうちのいずれか 1 項に記載のリトグラフ投射装置において、第 2 の離軸整列ユニットが存在し、且つ最初に記述した整列ユニットと、この第 2 の整列ユニットとは投射システムに関して正反対の側に配置されることを特徴とするリトグラフ投射装置。

【請求項 13】

請求項 1 ないし 12 のうちのいずれか 1 項に記載のリトグラフ投射装置において、整列シス

50

テムは、マスクパターンに関し基板を整列させるするために、軸上整列ユニットをも更に有することを特徴とするリトグラフ投射装置。

【請求項14】

請求項13に記載のリトグラフ投射装置において、上記軸上整列ユニットは、投射ビームの波長とは異なる波長を持つビームを発する光源を有することを特徴とするリトグラフ投射装置。

【請求項15】

請求項13に記載のリトグラフ投射装置において、上記軸上整列ユニットは、投射光で動作する画像センサによって構成されることを特徴とするリトグラフ投射装置。

【請求項16】

マスクパターンを第1の基板上に投射するための投射装置及び第2の基板の位置を測定するための測定装置を含むリトグラフ投射装置において、該測定装置は請求項1ないし12のうちのいずれか1項に記載の離軸整列ユニットを含むことを特徴とするリトグラフ投射装置。

【発明の詳細な説明】

本発明は、投射ビームを供給する光源と；マスク保持器と；基板保持器と；該マスク保持器と該基板保持器との間に配置される投射システムと；を有して成り、また上記基板保持器内に設けられる基板を上記マスク保持器内に設けられるマスクに関して最終的に整列させる（ultimately aligning）ための整列システムをも更に有して成り、上記整列システムは上記基板上に設けられる整列マークを或る基準に関して整列させるための離軸整列（off-axis alignment）ユニットを含むところのリトグラフ投射装置に関する。

最終的整列（ultimate alignment）とは、第1段階では上記の整列ユニットは基盤を基準に関し整列するために使用されるが、この整列ステップの結果は他の測定と組み合わせて該基盤を該マスクに関して整列するために使用されることを意味する。

リトグラフ投射装置は、拡散及びマスクング技術の手段による集積回路又はIC製造における不可欠の構成要素である。この装置の支援により、異なるマスクパターンを有する多数のマスクが半導体上の同一の位置に連続的に像を作る。この基盤は同一位置にある連続する像について好ましい物理的及び化学的变化を受ける。この目的のために、この基盤はマスクパターンの露出を受けた後に該装置から取り外されねばならず、且つ好ましい処理過程のステップを受けた後その基盤は第2のマスクパターンにより露光されるために再度同一の位置に置かれねばならず、これが連続して実施されるが、第2のマスクパターン及びそれに続くマスクパターンの像は該基盤に関し正確に位置することが保証されねばならない。この目的のために、該リトグラフ投射装置には基盤上の整列マークがマスク上の整列マークに関して整列される光学的整列システムが与えられている。

リトグラフ装置はICの製造に使用されるのみではなく、1マイクロメートルのオーダの細部の寸法を持つ他の構造物の製造にも使用される。組み合わされた、又は完全な光学システム、又は磁区メモリの案内と検出パターン、及び液晶ディスプレイパネルの構造物が例である。また、これらの構造物の製造においてマスクパターンの像は基盤に関して非常に正確に整列されねばならない。

リトグラフ投射装置はステップング装置又はステップ・アンド・スキャン装置であってもよいであろう。ステップング装置においては、マスクパターンは基盤のICエリア上に1回のラン（run）により作像される。続いて、この基盤はマスクに関して移動させられ、後続のICエリアが該マスクパターン及び投射レンズシステムの下に位置し、該マスクパターンが後続のICエリア上に作像されるようにする。この過程は該基盤の全てのICエリアにマスクパターン像が与えられるまで繰り返される。ステップ・アンド・スキャン装置においても上記のステップング手順が使用されるが、マスクパターンは1回のランによるのではなく走査する動作により作像される。マスクパターンの作像の間、該基盤は投射システムの拡大率を考慮しながら投射システム及び投射ビームに関し該マスクに同期して動かされる。該マスクパターンの連続して露光された部分に隣接する1連の部分像が1個のICエリア上に作像される。該マスクパターンが1個のICエリア上に作像されるのが完全に終了す

10

20

30

40

50

ると、次のICエリアへ1ステップ進行する。実現可能な走査手順は、“Semiconductors International”誌1986年5月号所載のD.A.Markleによる論文“Sub-micron 1:1 Optical Lithography”に記述されている。

米国特許第5,243,195号は整列システムを備え且つICの製造を目的とする光学的リトグラフ投射装置を開示している。この整列システムは離軸整列ユニットを有し、基盤整列マークをこの離軸整列ユニットに対して整列させる。更に、この整列ユニットは第2整列ユニットを有し、投射レンズ(TTL)を経て基盤マークをマスクマークに対して整列させる。投射レンズを経ての(軸上整列の)整列は現世代の光学的リトグラフ投射装置において最も頻繁に使用される方法であり、且つ基盤とマスクが相互に直接に、従って非常に正確に整列できる特長を有する。離軸整列方法が使用される時には、米国特許第5,243,195号に記述の基線オフセット(baseline offset)を考慮に入れなければならない。

軸上整列(on-axis alignment)の方法は現在まで完全に満足すべき状態で動作してきたが、IC製造に新技術が使用され且つICパターンの細部寸法又は線幅が減少する時に、信頼性及び正確性に関しこの整列方法は問題を生じる可能性があることが予想されている。

基盤の単位表面エリア当たりの電子コンポーネント数の増加及びそれに起因するこれらのコンポーネントの小寸法化に関連して、集積回路が製造される時の正確度に一層厳格な要求が課せられる。従って、連続するマスクが基盤上に像を作られる位置は以前にも増して一層正確に固定されねばならない。一層狭い線幅を持つ新生代のICの製造においては、整列の正確度は改善されねばならず、換言すれば整列システムの解像度が工場されねばならないために一層小さい偏位を検出できねばならない。一方、線幅が減少する場合に投射レンズシステムに要求される一層高い開口値(Numerical Aperture:NA)のために、基盤の平滑度に一層厳格な要求が課せられる。このシステムの焦点深度はNAの増加と共に減少する。投射レンズシステムの要求される可成り大きな像分野において幾らかの像分野の湾曲が発生するために基盤の非平滑度に対しては殆ど許容余地がない。基盤の希望する平滑度を得るために、投射装置中での異なるマスクパターンの2個の連続する露光の間にこの基盤を化学的機械的研磨(CMP)処理の手段により、この基盤を研磨することが提案されてきている。しかし、この研磨処理は軸上整列方法の正確度に影響を与える。この方法においては、回折格子が基盤整列マークとして使用され、且つこの回折格子により第1次で回折された副ビームが基盤マークをマスクマーク上に像を作らせるために使用される。この過程において、基盤回折格子マークの重心がマスク整列マークの重心に対して整列される時に、基盤はマスクに対して正確に整列されていると想定される。その場合に、各回折格子マークに対する重心は回折格子の幾何学的中心と一致すると仮定されてきた。しかし、上記のCMP処理は基盤回折格子マークを非対称にするために、この整列方法は最早信頼できない。

更に、新世代ICに対する製造過程は急速に複雑に成りつつあり、処理ステップ数及び基盤上の処理層の数は急速に増加している。また、これらの層の幾つかは基盤回折マークに非対称を従って整列誤差をもたらしている。

更にまた、既知の軸上整列方法が使用される時に、位相回折格子である基盤マークの回折格子溝の深さに厳格な要求が課せられる。

整列信号に対する上記の作用の影響を顕著に減少させ、且つ既知の整列システムより一層正確且つ信頼性のあるリトグラフ投射装置に対する整列システムを供給するのが本発明の目的である。この目的のために、本発明によるシステムは、上記整列マークが回折マークであり、また、上記整列ユニットは、0より高い種々の異なる回折次数(diffraction orders)で上記回折マークにより回折されるところの、少なくとも3以上の或る数の副ビームを個別に検出するのに適合しており、各副ビームは上記基準に関する基板マークの位置についての表示を含むことを特徴とする。

異なる回折次数を持つ少なくとも3個の副ビームを個別に検出するような整列ユニットの採用は、3又はそれ以上の副ビームが同時に検出されねばならないことを意味するのではなく、該整列ユニットがこれら副ビームの全てを分離して検出する可能性を提供することを意味する。実行上は、副ビームが検出できることもあればできないこともあり、且つ同

10

20

30

40

50

時のこともあり同時でないこともある。

回折マークは電磁ふく射ビームを異なる回折次数の多数の副ビームに分割するマークである。そのようなマークは回折格子又は別の回折素子により構成されるであろう。

本発明は、回折整列マークが軸上整列ユニットとの組み合わせでは最早使用されないが離軸整列ユニットとの組み合わせで使用されれば、このマークの特性を有効に利用できるとの認識に基づいている。米国特許第4,251,160号に記載のように、基盤回折格子自体の半分の周期である周期を持つ基盤回折格子の像は、基盤整列マークとして回折格子が使用され且つ該基盤回折格子の第1次副ビームのみが対応する回折格子整列マーク上にこのマークの像を作るために使用される軸上整列ユニット中に得られる。従って、ゼロ次副ビーム及び高次副ビームがこの像のために協調して使用される場合には、整列の精度は2倍になる。米国特許第4,251,160号に記載の整列ユニットにおいて、第1次副ビームは投射レンズに組み込まれた次数絞り(order diaphragm)によって選択される。そのような絞りは、既に複雑になっている投射レンズの設計を相当複雑にし、1より高い次数である高次を通過させる次数絞りを持つ投射レンズの提供は決して容易なことではない。離軸整列ユニットに回折整列マークを供給することにより、この整列マークの高次副ビームの選択に大きな自由度が生じる。高次が選択されれば該整列ユニットの解像力が強化される事実は長所として使用されるであろう。

10

本発明は、高次の副ビームは回折格子マークの中央ではなくその角により決定され、且つ中央に比べてこれらの角はCMP処理又は回折格子の非対称性に影響をもたらす他の手段に対して影響を受けにくいことの認識にも基づいている。高次の副ビームの使用により、非対称整列回折格子の問題が除去されるのみでなく、整列ユニットの正確性も強化される。基盤を非対称整列マークと整列するために基盤マークからの複数の高次副ビームを使用することは米国特許第4,828,392号から既知であることを注記する。しかし、非対称マークは回折格子溝が回折格子溝の中心線に関し非対称であるマークである。しかし、投射レンズシステムに組み込まなければならず、且つ大きな開口値と共に供給されねばならない、次数絞りが使用される。基盤上において適切であるマスクパターンの像の質はこれにより疑いなく影響される。

20

米国特許第5,477,057号は走査リトグラフ装置に対する離軸整列ユニットも記述している。基盤マークを装置基準に関して整列するための分離した整列センサヘッドが投射レンズシステムの隣にそれに対向して配置されている。離軸整列ユニットを使用する理由は、モノクローム投射レンズシステムでは適切に伝達できない広帯域整列放射を使用したいとする希望にある。上記特許は回折整列マークを記述がなく、又は整列中における複数の高次副ビームの使用も述べていない。

30

米国特許第4,870,452号は、投射レンズシステムと基盤の間に平行平面板を配置する基盤に対する離軸整列ユニットを記述している。この板は投射ビームに対しては完全に透明であるが、整列ビームに対しては異なる反射及び透過係数を持つ。この板は、整列ビームは基盤整列マークに対して正確な角度で入射し、且つ反射後は、このマークにより与えられた角度で検出システム上に向けられることを保証しなければならない。基盤マークは、例えば回折格子マークであり、且つこのマークで形られる異なる回折次数を持つ副ビームのために分離された検出器が用意されるであろう。しかし、0次、1次及び2次の副ビームのみが検出のために使用される。実行上、投射レンズシステムと基盤の間に平行平面板を配置しないことが好まれると思われ、この板が異なる数次を十分な範囲まで分離できるか疑わしいであろう。

40

本発明による投射装置の好適な実施例は、上記基準が、用いられた回折次数に等しい或る数の、基板整列マークと同じ形を持つ別々の基準素子の構造体で構成され、また、上記基板マークから来て関連の回折基準素子を通過する副ビームを電気信号に変換するために、これらの回折素子の各々に対し別個の検出器が付随していることを更に特徴とする。

上記装置は、上記基準素子が回折格子(gratings)であることを更に特徴とすることがある。

その時、整列検出は過去において信頼できることが明らかにされている回折格子から回折

50

格子への像 (grating - to - grating image) に基づいている。

整列ユニットが余りに膨大になることなく、種々の異なる回折次数の副ビームが十分に分離された方法で検出されることを達成するために、上記該装置は、基板マークと回折基準素子との間の光通路には、第1レンズシステムと；個別の副ビームに種々の異なる方向を与えるために上記第1レンズシステムからの副ビームの通路に配置される偏向素子の構造体と；該当する基準素子上に副ビームを集中するために上記偏向素子の背後に配置される第2レンズシステムと；を順次に取り入れることを更に特徴とするのが好適である。

この実施例は、第1レンズシステムと基板マークの平面との間の距離が第1レンズシステムの焦点距離に等しく、また、第2レンズシステムと基準素子の平面との間の距離が第2レンズシステムの焦点距離に等しく、更にまた、第1レンズシステムと第2レンズシステムとの間の距離が第1レンズシステムの焦点距離と第2レンズシステムの焦点距離との和に等しいことを更に特徴とするのが好適である。

2個のレンズシステムは協調してテレセントリック (terecentric) レンズシステムを構成し、且つ偏向素子構造体の軸位置は最早重大ではなくなる。

上記装置は、上記偏向素子の構造体が、各回折次数に対して1対の偏向素子を有し、それによってこの回折次数で反対の回折次数符号を持つ副ビームを偏向させ、その偏向させ方は、第2レンズシステムがこれらの副ビームを当該の1つの基準素子上に収束させるようにしてあることを更に特徴とするのが好適である。

この時に、基板マークのプラス次数及びマイナス次数がこのマークをの基準素子への作像に使用され、且つ利用可能な整列光の最適利用がなされる。

偏向素子の構造には数種類の実施例が可能である。第1の実施例は、上記偏向素子の構造体が、副ビームの数に等しい数の個別の光学的楔 (optical wedges) を有することを特徴とする。

これらの楔は個別の素子として製造され、次いで共通の透明な担体板へと固定されるであろう。個別の楔は光学分野で良く知られた複製技術により1回の回折格子の加工工程で製造されるのが好ましい。鋳型として存在する楔の全体の構造の陰型は次いで合成物質の層、例えば水晶板の上に準備される例えばUVを補正できる材料に印刻される。

厳しい要求が、例えば同じ回折次数の+次数 (+ order) 及び-次数の副ビームの偏向に使用される2個の楔の楔面の傾斜面の相互精度のために設定される。これらの要求条件は偏向素子の構造体の第2の実施例において一層容易に満足させることができ、それは、上記偏向素子の構造体が多数の透明な楔型の板を有し、それらは副ビームの通路に前後に並べて配列され、種々の異なる楔角と、偏向しないで光を通過させるための多数の開口部とを持ち、開口部の数とそれらの位置とは、 n 個の板の組合せを用いて 2^n の回折次数が2値をとるやり方で異なる方向に偏向できるようにしてあることを特徴とする。

これらの楔は、希望する精度で比較的容易に製造できる特長を持っている。

基板整列マークは線型回折格子であろう。そのような回折格子の設計に当たっては放射を異なる偏向指示間で希望する分散をすることを考慮に入れるべきである。

2つの相互に垂直な方向に整列できるようにするために、上記装置は、上記基板マークが2個の回折格子部分を有し、その第1の部分の回折格子ストリップの方向は第2部分の回折格子ストリップの方向に垂直であり、上記偏向素子の構造体は2次元構造であり、また上記基準は2次元の基準であることを更に特徴とする。

上記装置は、上記離軸整列ユニットは、異なる波長のビームを供給する2個の光源と、基板マークへの通路上で2つのビームを組み合わせるため及び上記のマークで反射されるビームを分割するためのビーム分割器とを有すること、並びに偏向素子及び回折基準素子の別個の構造体がこれらのビームの各々について存在することを更に特徴とするのが好適である。

この時に、基板マークの溝の深さに対して厳格な要求を課すことは必要としない。

上記装置の実際の実施例は、第2の離軸整列ユニットとが存在し、且つ最初に記述した整列ユニットと、この第2の整列ユニットとは投射システムに関して正反対の側に配置されることを更に特徴とする。

10

20

30

40

50

離軸整列システムは又基準に関し基板保持器上で別の整列マークを整列するのに使用できる。その場合、基板マークの整列は基板保持器マークに関して決定される。

基板に関してマスクパターンの究極的な配列が実現できるようにするために、上記装置は、整列システムが、マスクパターンに関し基板を整列させるするために、軸上整列ユニットをも有することを更に特徴とする。

上記軸上整列ユニットは、投射ビームの波長とは異なる波長を持つビームを発する光源を有するタイプのものであることができるが、或いはその代替案として投射光で動作する画像センサによって構成されることもできよう。

本発明は、マスクパターンを第1の基板上に投射するための投射装置及び第2の基板の位置を測定するための測定装置を含むリトグラフ投射装置に使用することもできる。そのような装置の実施例は、測定器と投影器の間でやりとりする2個の基板階程を持ち、米国特許明細書第US - A 4,861,162号に示される。そのような装置はその処理量、即ち1時間に処理できるウエファー数が投射器のみを有し測定器を持たない類似の装置のそれよりは可成り大きい利点を有する。

本発明が実施されている2重の機器から構成されるリトグラフ投射装置は、測定器が上記のように離軸整列ユニットを有することを特徴とする。

本発明のこれら及び他の様相は後記の実施例から明らかであり、且つそれを参照して解明されるであろう。

図において：

図1はステップ・アンド・スキャン投射装置の実施例を各種の測定システムと共に示し；

図2は基板整列マークの実施例を示し；

図3はマスクマーク及び基板マークを相互に関連の上整列させる2重整列ユニットの実施例を示し；

図4は本発明に準拠の離軸整列ユニットの実施例を示し；

図5はこの発明に使用される回折格子に関するプレートを示し；

図6はこの発明における楔素子による偏向を示し；

図7は整列ユニット中の第1及び第2レンズシステムの好ましい配置を示し；

図8は整列ユニットの第2の実施例における偏向素子の構造体として使用される一連の楔型板を示し；

図9は一連のものが副ビームを偏向させる方法を示し；

図10は2個の波長を持つ光が使用される整列ユニットの実施例におけるこの板の平面における副ビームの位置を示し；

図11は2個の波長が使用される整列ユニットの実施例を示し；

図12はこの実施例に使用されるための好ましいビーム分割器を示し；

図13は投射レンズ及び基板に関連して整列ユニットの位置を示し；且つ

図14はイメージセンサユニット及び投射装置の焦点合わせとレベリングのユニットに関連して2重整列ユニットのサブユニットの位置を示す。

本発明の一層明確な理解のために、本発明が使用されるであろう軸上整列ユニット及び他の測定システムが備えられる既知の光学的リトグラフ投射装置を先ず説明する。

図1は基板上へのステップ・アンド・スキャンによるマスクパターンの像の作成のためのその種の装置の実施例の光学的素子を輪郭的に示す。この装置は、その主となる素子として、投射システムPLを組み込んだ投射柱（projection column）を有する。このシステムの上部に像を作るべきマスクパターンCがそこに用意されるマスクMAのためのマスク保持器MHが存在する。マスク保持器はマスク階程MTの一部である。基板階程WTは投射レンズシステムPLの下方に配置される。このテーブルは感光性の層を備えた基板Wのための基板保持器WHを有する。マスクパターンCは感光性の層において毎回異なるエリアであるICエリア W_0 に像を多数の回数作らねばならない。基板テーブルはX及びYの方向に移動が可能で第1のICエリアにマスクパターンの像を作成後、続くICエリアをマスクパターンの下に位置させることができる。

該装置には、更に例えばフッ化クリプトン（Krypton - Fluoride）エキシマレーザ又は水

10

20

30

40

50

銀灯である光源LA, レンズシステムLS, 鏡RE, 及び集光レンズCOが備えられている。照明システムにより供給される投射ビームPBはマスクパターンCを照明する。このパターンは投射レンズシステムPLにより基板WのICエリア上に像となる。該投射レンズシステムは、例えば拡大率 $M = 1/4$, 開口率 $NA = 0.6$, 及び直径22mmの回折制限の (diffraction - limited) イメージ視野を持っている。

該装置には更に多数の決定システムが備えられ、それらはXY平面においてマスクMAと基板Wを相互の関連において整列するシステム、基板保持器従って基板の位置と方向を測定する干渉計システム、及び投射レンズシステムPLの焦点又は像の面と基板Wの表面の間の差を決定する焦点誤差検出システムである。これらの測定システムは、該測定システムにより供給される信号を参照して基板の位置と方向及び焦点が補正される電子的信号処理制御回路及び駆動器又はアクチュエータ (actuator) を有するサーボシステムの部分である。整列システムは図1の右上端に示されるマスクMA内の2個の整列マーク M_1 と M_2 とを使用する。図2に示すように、これらのマークは回折格子から構成されるのが好ましいが、しかし別の方法として、その周辺から光学的に識別できる正方形又は線条のような他のマークによって構成されてもよい。整列マークは2次元、即ち図1のXとY方向のような2個の相互に垂直な方向に伸びるのが好ましい。例えば半導体基板のような基板Wは、少なくとも2個の整列マーク、出来れば図1の P_1 と P_2 でその2個を示すような2次元の回折格子を持つ。 P_1 と P_2 のマークは基板W上でICエリア外に位置する。回折格子マークの P_1 と P_2 はフェーズ回折格子として実施することが好ましく、且つ回折格子マークの M_1 と M_2 は振幅回折格子として実施することが好ましい。

図1は軸上整列ユニットの特別な実施例を示すが、それは2個の整列ビームb及びb'が基板整列マーク P_2 をマスク整列マーク M_2 上に整列するため並びに基板整列マーク P_1 をマスク整列マーク M_1 上に整列するためにそれぞれ使用される2重整列ユニットである。ビームbは例えば鏡である反射素子30によりプリズム26の反射面27に向けて反射される。反射面27は、マーク P_2 の像が作られるそれに関連するマスクマーク M_2 に対して光の一部をビーム b_1 として送出する基板整列マーク P_2 に向けて、ビームbを反射する。マーク M_2 の上部には例えばプリズムである反射素子11が存在し、マーク M_2 を通過した光を光に感応する検出器13に向かわせる。

第2の整列ビームb'は投射レンズシステムPL中の反射器29に向けて鏡31により反射される。この反射器は、ビームb'を、その表面がビームb'を基板整列マーク P_1 上に向けるプリズム26の第2の反射面へ送り込む。このマークは、ビームb'の光の一部を、マーク P_1 の像が作られるマスク整列マーク M_1 に向けて、ビーム b'_1 として、反射する。マーク M_1 を通過するビーム b'_1 の光は、光に感応する検出器13'に向けて反射器11'により送出される。

図2は位相回折格子の型による2個の同一の基板マークの内の1個の実施例を拡大した寸法で示す。そのような回折格子は4個の副回折格子 $P_{1,a}$, $P_{1,b}$, $P_{1,c}$ 及び $P_{1,d}$ で構成され、その内の2個の $P_{1,b}$ と $P_{1,d}$ はX方向の整列に使用され、他の2個の $P_{1,a}$ と $P_{1,c}$ はY方向の整列に使用される。2個の副回折格子 $P_{1,b}$ と $P_{1,c}$ は例えば $16\mu\text{m}$ の回折格子周期を持ち、副回折格子 $P_{1,a}$ と $P_{1,d}$ は例えば $17.6\mu\text{m}$ の回折格子周期を持つ。各副回折格子は、例えば $200 \times 200\mu\text{m}$ の寸法を持っているであろう。原則として $0.1\mu\text{m}$ より小さい整列精度は、この回折格子マーク及び適切な光学的システムにより達成できる。異なる回折格子周期を選択することにより、整列ユニットの捕捉できる領域を拡大できる。例えば、この領域は $40\mu\text{m}$ である。

図3は僅かに修正した整列ユニットの光学的素子を一層詳細に示す。2重整列ユニットは、投射レンズシステムPLの光軸AA'に関し対称的に配置される2個の分離された同一の整列システム AS_1 と AS_2 を有する。整列システム AS_1 はマスク整列マーク M_2 に関係し、整列システム AS_2 はマスク整列マーク M_1 に関係する。2個の整列システムの対応する素子は同一の参照番号で表示されシステム AS_2 のは、それらをシステム AS_1 のそれらから区別するためにプライム符号が付されている。

システム AS_1 の構造及びマスクマーク M_2 及び例えば基板マーク P_2 の相対位置がこのシステムにより決定される方法を記述する。

10

20

30

40

50

整列システムAS₁は整列ビームbを放つ例えばヘリウム・ネオン・レーザのような光源1を有する。このビームは、ビーム分割器2により基板Wにより反射される。該ビーム分割器は半透明の鏡又は半透明のプリズムから構成されるであろうが、 λ がビームbの波長である時に $\lambda/4$ 板3に前置される偏光に敏感な分割プリズム2により構成されるのが好ましい。投射レンズシステムPLは、ビームbを1mmオーダの直径を持つ基板W上の小さな光スポットVに焦点を合わせる。この基板はビームの一部をビームb₁としてマスクMAに向けて反射する。該ビームb₁は、光スポットVをマスク上に像を作る投射レンズシステムを通過する。基板を投射装置に対応させる前に、光スポットVが基板マークP₂上に位置するように、例えばEP特許出願第0164165号に記述される機器のような事前整列機器において該装置に事前整列されている。次いで、このマークは、ビームb₁によりマスクマークM₂上に結像される。投射レンズシステムの拡大率Mを考慮して、マークP₂及びマークM₂が正確に相対的に位置した時にマークP₂の像がマークM₂に正確に一致するように、マスクマークM₂の寸法が基板マークP₂のそれに適応される。

10

基板W向け及びそれからの通路において、ビームbとb'は、光源1から来る直線偏光されたビームbの偏光の方向に対して光軸が45°の角度である $\lambda/4$ 板3を2度通過する。その時、 $\lambda/4$ 板を通過するビームb₁は、ビームb₁が偏光分割プリズムを通過できるようにビームbに関して90°回転している偏光の方向を持つ。 $\lambda/4$ 板と組み合わせて偏光分割プリズムを使用することは、整列ビームを整列システムの光通路に結合させる時に、最小の光損失になる長所を提供する。

整列マークM₂を通過したビームb₁は、プリズム11により反射され、且つ例えば別の反射プリズム12によって光に敏感な検出器13に導かれる。この検出器は、例えば図2に示される副回折格子の数に一致する4個の別々の光に敏感な領域を持つ例えば複合フォトダイオードである。この検出器領域の出力はマークM₂の基板マークP₂との一致の指標である。これらの信号は電子的に処理することができ、マークPの像がマークMに一致するように(ここには示されていない)駆動システムの手段によりマスクと基板を相互に関連させて動かせるのに使用される。このようにして、自動整列システムが得られる。

20

例えばビームb₁の一部をビームb₂として分割する部分的に透明なプリズムの型のビーム分割器14はプリズム11と検出器13の間に配慮されるであろう。該分割ビームは、整列マークP₂及びM₂が投射装置の操作者に見える(ここには示されていない)モニタに結合されるテレビジョン・カメラ17上に例えば2個のレンズ15と16を経て入射される。その時、この操

30

作者は2個のマークが一致しているかいなかを確認し、且つマークが一致するようにマニピュレータの手段により基板Wを動かすことができる。マークP₂及びM₂について上記に記述したのに類似して、マークM₁とP₂及びマークM₁とP₁は、相互に関連させて整列できる。整列システムAS₂は、最後に述べた2個の整列使用される。

2重整列システムの構造及び整列手順に関する一層の詳細は米国特許第4,778,275号を参照されたい。

図1に示される軸上整列ユニットの実施例は、例えば248nmの短い波長を持つ投射ビームPB及び例えば633nmの長い波長を持つ整列ビームが使用される装置に対して特に適合している。

40

投射レンズシステムは投射ビームPBの波長に対して設計されているので、このシステムPLを整列ビームの手段により整列マークのP₁とP₂及びM₁とM₂をそれぞれの上に結像させるために使用される時に違いが発生する。例えば、基板整列マークはマスク整列マークが存在するマスクパターンの面に存在せず、投射ビームと整列ビームの違い及び2個の波長に対する投射レンズ素子の材料の屈折率の違いに依存するそれからの与えられた距離に結像するであろう。もし投射ビームが例えば248nmの波長を持ち、且つ整列ビームが633nmの波長を持てば、この距離は2mであろう。更に、上記の波長差のために、基板整列マークは望ましい拡大率とは異なり波長差の増加と共に増加する拡大率によりマスク整列マーク上に結像される。

上記の差を補正するために、投射レンズシステムPLは余分のレンズである補正レンズ25を

50

組み込んでいる。この補正レンズは、一方では補正レンズの面において基板整列マークにより発生されそこから送出される副ビーム即ち整列ビームの異なる回折次数の副ビームはこれらの副ビームに個別に影響を与えることができるように十分に分離されていること、他方ではこの補正レンズは投射ビーム及びそれにより形成されるマスクパターン像に対して無視できる程度の影響しか与えないことを満足するような高さで投射レンズ中に配置される。この補正レンズは投射レンズシステムのフーリエ (Fourier) 面に位置するのが好ましい。もし図3に示すように、補正レンズ25が整列ビーム b 及び b' の主光線が相互に交差する面に置かれれば、この場合このレンズは両方の整列ビームを補正するために使用できる。

もし希望すれば、回折素子のような楔又は異なる偏向素子が整列マークに隣接する整列ビームの通路に配置できる。図3には示されないそのような偏向素子によって、検出器13又は13'により受け取られる選択された整列ビーム部分内の意図的でない位相差即ち基板整列マークから来る整列ビーム部分の対称軸がマスクマークに垂直でなくこの板において誤った反射が発生するような位相差に起因する整列誤差を防げるであろう。そのような偏向素子を備えた整列ユニットはEP特許出願第0 467 445に記述されている。

包括的整列と称する全体の基板をマスクに関して整列するの使用される図1に示される包括的な整列マーク P_1 と P_2 に加えて、基板は各ICエリアを個別にマークパターンに対して整列するためのICエリア毎の別の整列マークを与えられるであろう。該マークは、例えば該マークのZ軸回りの回転を測定しこの回転を補正するための更に別の整列マークが使用される2個以上の整列マークも有するであろう。

投射装置は、更に投射レンズシステムPLの焦点面と基板Wの表面との間の偏位を決定し、例えば該投射レンズシステムをその軸であるZ軸に沿って移動させることによりこの偏位が補正できるための誤差検出システムを有する。このシステムは、該投射レンズシステムに固定的に接続されている(図示されていない)ホルダー内に用意される素子40,41,42,43,44,45,46により構成されるであろう。参照番号40は、例えば焦点を合わせるビーム b_2 を放出するダイオードレーザである光源を示している。このビームは反射プリズム42により基板上へ小角度で向けられる。この基板で反射されたビームはプリズム43により逆反射器44の方向へ向けられる。素子44はこのビームを自体内で反射するため、ビーム (b_3') は再度プリズム43、基板W及びプリズム42上での反射を経て同一通路を通過する。

ビーム b_3' は部分的に反射する素子41及び反射素子45を経て光に敏感な検知システム46に達する。この検知システムは、例えば位置依存型検出器又は2個の別々の検出器から構成される。ビーム b_3' により形成される光スポットの位置は投射レンズシステムの焦点面と基板Wの面との一致の度合いに依存する。焦点合わせ誤差検出システムに関する広範な説明は米国特許第4,356,392号を参照されたい。

基板保持器のXとYの位置を正確に決定するために、ステップング投射装置が多軸干渉計と共に与えられている。米国特許第4,251,160号は2個の測定軸を持つシステムを、米国特許第4,737,283号は3個の測定軸を持つシステムを記述している。図1において、そのような干渉計は素子50,51,52,53の手段により輪郭図として示されているが、ただ1個の測定軸であるX軸のみが示されている。光源50からレーザの形で送出されるビーム b_4 はビーム分割器51により測定ビーム $b_{4,m}$ 及び基準ビーム $b_{4,r}$ に分割される。測定ビームは基板保持器WHの反射側の面54に達し、且つ反射された測定ビームは例えば角のある立方体である固定された逆反射器により反射される基準ビームとビーム分割器51によって結合される。結合されたビームの強度は検出器53により測定され、且つこの場合X方向である基板保持器WHの位置のズレはこの検出器からの出力信号から得ることができ、又この保持器の瞬時的位置が決定されることができる。

図1に概略図として示されるように、簡略化のために1個の信号 S_{53} により代表される干渉計信号及び2重整列ユニットの信号 S_{13} と S'_{13} は、それによって基板保持器が基板テーブルを介してXY面において移動するアクチュエータACに対する制御信号 S_{AC} へ上記の信号を処理する例えばマイクロコンピュータである信号処理ユニットSRUへ加えられる。

図1に示すX測定軸のみでなくY測定軸及び多分第3の測定軸を持つ干渉計により、整列

10

20

30

40

50

マーク P_1, P_2 及び M_1, M_2 の位置及びそれらの間の相互の距離は、マスクと基板の相互関係の配慮の下での最初又は包括的整列中に静止している干渉計により定義される座標システムにおいて固定できる。この干渉システムは、ステッピング投射装置が第1のICから第2のICへ極めて正確に進むことができるために必要である基板テーブルを極めて正確に移動させることのためにも使用される。

図1に示すように、もし投射装置がマスクパターンのICエリアへの投射中にマスクと基板が同期して移動しなければならないステップ・アンド・スキャン装置であれば、このマスクも1方向即ち走査方向に移動しなければならない。投射レンズシステムの拡大率 M に配慮して、この移動は基板の対応する移動に同期しなければならない。この場合、マスクと基板は投射中相互に静止していなければならない、且つ両者は投射レンズシステム及び投射

10

10
ビームに関連して移動しなければならない。マスクの移動を測定するために、該装置は第2の干渉計を備えねばならない。この干渉計システムは素子50,51,52,53,54に類似の機能を有する素子60,61,62,63,64を有する。簡略化のために図1において信号 S_{63} により代表されるマスク干渉計システムからの信号は、そこでこれらの信号が基板干渉計システムからの対応する信号と比較される信号処理ユニットSPUに加えられる。その時、マスクと基板は相互に正しい位置にあり、同期して移動しているかについて確認できる。

もしマスクの X 及び Y 方向の位置が X_r, Y_r により、基板のそれらが X_w, Y_w により、且つ Z 軸まわりの回転が $\theta_{r,r}$ と $\theta_{z,w}$ により表されれば、マスクと基板が相互の関係において正確に位置すれば下記の条件が満足される：

$$X_x - M \cdot X_r = 0 \quad (1)$$

20

$$Y_w - M \cdot Y_r = 0 \quad (2)$$

$$z_{z,w} - z_{z,r} = 0 \quad (3)$$

但し M は投射レンズシステムの拡大率である。マスクと基板は反対の方向に移動すると仮定した。もし、これらの素子が同一方向に移動すれば、 M の前のマイナスサインはプラスサインにより置き換えるべきである。

これらの条件が満足されたのを確認するには、基板用の干渉計及びマスクのためのその両者が3個の測定軸を持つことで足りる。

しかし、基板干渉計システムは5個の測定軸を持つのが好ましい。この場合、 X_w, Y_w 及び $z_{z,w}$ のみでなく $x_{x,w}$ 及び $y_{y,w}$ が、即ち X 軸及び Y 軸の回りの傾斜が測定される。

マスクのそのような傾斜の測定ができるために、5軸マスク干渉計システム、又は X_r, Y_r 及び $z_{z,r}$ を決定するための3軸干渉計システム並びに $x_{x,r}$ 及び $y_{y,r}$ 測定のためのキャパシタンス・センサのような他のセンサの組み合わせが使用される。

30

もし、 $X_w, Y_w, x_{x,w}, y_{y,w}$ 及び $X_r, Y_r, z_{z,r}, x_{x,r}, y_{y,r}$ 、並びに焦点誤差検知システムの援助により、 Z 軸に沿っての基板とマスクの位置である Z_w 及び Z_r が測定されれば、(1)、(2)及び(3)の条件のみでなく下記の条件が満足されることを確認できる：

$$M^2 \cdot Z_w - Z_r = 0 \quad (4)$$

$$M \cdot x_{x,w} - x_{x,r} = 0 \quad (5)$$

$$M \cdot y_{y,w} - y_{y,r} = 0 \quad (6)$$

マスク整列マーク及び基板整列マークを相互の関連において相互に整列するための、図3に記述の軸上整列ユニットは、与えられた最小値までの線幅を持つ像が作られるステッピング及びステップ・アンド・スキャン投射装置の両者に対して卓越して適切であることが認められた。しかし、IC製造における新技術の使用及び像の線幅の減少は、既知の整列ユニットの精度と信頼性に関して問題に発展することが予測される。線幅を減少させる時は、整列精度が強化されねばならない。一時的に基板を平坦にするための上記のCMP処理を使用する時は、基板回折格子マークに非対称が導入されるので第1次副ビームが使用される整列手順は信頼性が失われる。更に、1個の波長を持つ整列ビームを使用する時は、満足させることが次第に困難になって来ている厳格な要求が、整列マークの回折格子の溝の深さに課せられねばならない。

40

これらの全ての問題は、基板マークの整列に対して離軸整列ユニットの使用すること、及び1より高い回折次数を持つ副ビームである高次副ビームを整列に使用することにより解

50

決できる。基板マークの整列が最早投射レンズシステムを通じて発生しないため、一層多くの副ビーム、特に高次の副ビームを使用する一層大きい自由度が存在するであろう。整列ユニットの解像度は副ビームの次数の増加と共に増加するので、整列の精度は顕著に高められるであろう。特に、高次の副ビームは基板回折格子マークの角により決定され、回折格子の中央部に比してこれらの角は上記のCMP処理及び回折格子の対称性に影響を与える他の手段による影響が少ないため、回折格子マークにおける非対称の問題は大部分除去される。更に、1個以上の波長を持つ整列光の使用が可能のため、回折格子の溝の深さに課せられる要求も可成り軽減できる。

下記に詳述するように、回折次数は、本発明に準拠の整列ユニットにおいて、電子的手段及び関連するソフトウェアではなく光学的素子により相互に分離される。その結果、信号の振幅を測定する必要はなく、この種の技術においては一層伝統的な位相測定が利用できる。

10

図4は新規の離軸整列ユニットの回路図を示す。回折格子の形状をしている基板マークは P_1 で表される。この回折格子へ入射する波長 λ を持つ平行整列ビーム b は、下記の既知の回折格子式により定義される回折格子の垂線に対して異なる（示されていない）角度 θ_n に広がっている多数の副ビームに分割される：

$$\sin \theta_n = N \cdot \lambda / P \quad (7)$$

但し N は回折次数であり、 P は回折格子周期である。

回折格子により反射される副ビームの通路は、該副ビームの異なる方向を平面73上でこれら副ビームの異なる位置 u_n に変換するレンズシステム L_1 を取り入れている：

20

$$u_n = f_1 \cdot \theta_n \quad (8)$$

この面において、更に異なる副ビームに分離するための手段が用意される。この目的のために、例えば楔の形をした偏向素子を備えた板がこの平面に配置されるであろう。図4において、この楔はWEPで示される。該楔は例えば該板の裏面に与えられる。その場合、プリズム72は該板の表側に与えられ、それにより例えばヘリウム・ネオン・レーザである光源70から来る整列ビームは整列ユニットに結合できる。このプリズムは0次の副ビームが検出器に到達することも防止できる。楔の数は使用される副ビームの数に対応する。ここに示される実施例において、プラス次数に対し次元毎に6個の楔が存在するので、副ビームは整列に対して7次を含むこの次数まで使用することができる。全ての楔は異なる楔角を持つために、異なる副ビームの光学的分離が実現する。

30

第2のレンズシステム L_2 が楔板の背後に用意される。このレンズシステムは平面基準板RG Pの上にマーク P_1 の像を作る。楔板が無ければ、全ての副ビームは基準面上に重なり合ったであろう。楔板を通過する異なる副ビームは異なる角度で偏向されるので、副ビームにより形成される像は基準面上の異なる位置に到達する。これらの位置 X_n は：

$$X_n = f_2 \cdot \theta_n \quad (9)$$

により与えられ、 θ_n は楔板により副ビームが偏向される角度である。

これらの位置において、基準回折格子 $G_{90} - G_{96}$ が図5に示すように与えられる。個別の検出器90 - 96がこれらの基準回折格子それぞれの背後に置かれる。各検出器の出力信号は基板回折格子 P_1 の像が関連する基準回折格子と一致する範囲に依存する。従って、基板回折格子の整列の範囲、即ち基板のそれは各検出器は90 - 96により測定できる。しかし、測定が実施される精度は使用される副ビームの次数に依存する；この次数が大きければ精度も高い。図5において、簡略化のために全ての基準回折格子 $G_{90} - G_{96}$ は同一の回折格子周期を持つと仮定した。しかし、実際には、各回折格子の回折格子周期は関連する副ビームの次数に適合される。次数が大きくなるにつれて回折格子周期は小さくなり、一層少ない誤差が検出できる。

40

ここまで、ただ1組の回折次数が考慮された。良く知られているように、回折格子は+1, +2, +3, 等々次の副ビームに加えて回折次数が-1, -2, -3, 等々次の副ビームを形成する。プラス次及びマイナス次両者の副ビームは回折格子像の形成に使用される。即ち、回折格子マークの第1番目の像は+1次及び-1次の副ビームの共同により作られ、第2番目の像は+2次及び-2次の副ビームの共同により作られ、等々となる。+1次及び-1次

50

副ビームに対して、楔を使用する必要はないが、通路長差を補償する平行平面板が楔板の平面においてこれらの副ビームの位置に与えられる。このようにして、プラス次及びマイナス次の両者に対する6個の楔が2～7次のために必要となる。

図6は、図4の実施例の楔の動作を一層明瞭に示している。一層の概略図である図6において、第1レンズシステム L_1 及び第2レンズシステム L_2 は波形の線で示されている。明確化のために、第1次の副ビーム $b(+1)$ 及び $b(-1)$ 、第7次の副ビーム $b(+7)$ 及び $b(-7)$ 、並びに他の次数の副ビーム $b(+i)$ および $b(-i)$ 、例えば5次の副ビーム、のみが示されている。図6が示すように、楔角即ち楔の傾斜した面が楔板WEPの平面とで作る楔 $80'$ 及び $80'$ の角度は、副ビーム $b(+7)$ 及び $b(-7)$ は平行な方向に偏向され、且つ1個の基準回折格子 G_{96} 上に第2レンズシステムにより一点に集光する
10
ような角度である。同様に、副ビーム $b(+i)$ 及び $b(-i)$ は、関連する楔 $82'$ 及び $82'$ により平行の方向に偏向され1個の基準回折格子 G_{91} 上に集光される。第1次副ビームは偏向されず第2レンズシステムにより1個の基準回折格子 G_{93} 上に集光される。各回折次数のプラス次及びマイナス次の両者の使用により、基板回折格子マーク P_1 の信頼できる像が関連する基準回折格子上に作られ、利用可能な光が最大限利用される。

図7はマーク P_1 の平面及び基準回折格子板RGPとの関連においてレンズシステム L_1 及び L_2 の好ましい位置並びにこれらレンズシステムの焦点距離を示す。第1レンズシステムは焦点距離 f_1 を持ち、且つこのシステムはマーク P_1 の平面から距離 f_1 に配置される。レンズシステム L_1 は副ビームの主光線を光軸 $00'$ と平行の方向に偏向させる。第1レンズシステムと第2レンズシステムとの間の距離は、 f_2 を第2レンズシステムの焦点距離とする場合に
20
、 $f_1 + f_2$ に等しい。基準回折格子板は第2レンズシステムから距離 f_2 に配置される。2個のレンズシステムの間通路において副ビームの主光線は光軸 $00'$ に平行であるので楔板の位置は厳しくない。

図4の実施例において、同一回折次数のプラス及びマイナス次の副ビームは関連する基準回折格子上に第2レンズシステムにより正確に重ね合わせられるように偏向されるために、2個の関連する楔の相対的品質に対し最も厳しい要求が課せられる。これらの品質要求は楔の傾斜表面の質および楔角に関する。

上記の要求を軽減し、且つ整列ユニットの許容誤差から開放するために、図8に示される偏向素子の構造が好んで使用される。各副ビームに対して1個の独立した楔の代わりに全ての副ビームに共通の多数の例えば3個の楔板190,191,192が使用される。図8は概念図
30
を、図9は楔板の側面図を示す。楔角、即ち板の上面と下面との間の角度、板192に対しては面192aと面192bとの間の角度、は3個のこれらの板は図8ではその一部しか示されていないが多数の開口部200を持つ。これらの開口部は副ビームが関連する板に入射する位置に配置される。しかし、そのような全ての位置に開口部が存在するのではない。副ビームが板の開口部に入射すれば、それはこの板では偏向されない。

副ビームは板を通過する時に、0、1又は2個の開口部に遭遇するであろう。第1次副ビームのみがゼロ開口に遭遇し、何れの板によっても偏向されない。図9には、副ビームの1個が板を通過する通路が示される。このビームは第1の板190により右に偏向される。最後に、このビームは板192の開口部200を通過し、これ以上の偏向は発生しない。副ビームのそれぞれに対し、開口部の数及びそのような開口部の存在する板の順序も他の副ビーム
40
に対するものとは異なるために、全ての副ビームは異なる方向へ偏向される。3個の板の組み合わせにより、 $2^3 = 8$ の異なる偏向方向が実現できることは明らかである。同一回折次数の1対の副ビームは同一楔板で偏向されるので、これらの副ビームが平行方向に偏向されない危険を最小にできる。

図4及び図5の実施例において、次数が1から7までの副ビームが使用されるため、7個の基準回折格子 $G_{90} - G_{96}$ がX方向の整列に必要となる。Y方向の整列については図5に示すように7個の別の基準回折格子 $G_{93} - G_{104}$ と共に7個の副ビームが又必要になるであろう。その場合、2組目の12個の楔が図4の実施例のY方向に楔面上に配置される。図8の実施例において、2組目の板は副ビームをY方向に偏向させる2組目の3個の楔板が副ビームの通路において1組目の楔板の前方又は後方に配置される。基板マークは図2に示めす
50

マークであろう。第1次副ビームに対しては、図5に示されるように2個は $8.0\mu\text{m}$ の回折格子周期を持ち他の2個は $8.8\mu\text{m}$ の回折格子周期を持つ4個の回折格子部分を有する類似の基準回折格子が使用される。他の基準回折格子は、基板回折格子 P_1 の $16\mu\text{m}$ の周期を持つ回折格子部分の関連する回折次数に対応するただ1個の回折格子周期を持つ。この時、図2の回折格子マーク P_1 に関連する $44\mu\text{m}$ の捕捉範囲は維持される。

図4及び5の実施例において、最高の次数を持つ副ビームは最大角度で偏向素子により偏向される。しかし、これは必要でない。実際の状況下では、この順序は、例えば回折格子像における光学的収差を最小にするために修正されるであろう。これは、図5に示されるように増加する次数を持つ副ビームが正の角度と負の角度に交互に楔により偏向される理由でもある。

基板マーク P_1 の与えられた非対称性において十分に正確な方法で整列することが検出されねばならない最小数の回折次数は、コンピュータ・シミュレーションの手段により決定できる。そのようなシミュレーションは、例えば第1次副ビームを使用すれば 150nm 残存する整列誤差が、第5次副ビームが使用されれば 20nm に減少できることを証明した。

原則として、検知できる最大の次数は検出可能な最低の照度及びレンズシステム L_1, L_2 の開口値により決定される。既知のように、回折格子により作られる副ビームの照度はこの副ビームの次数の増加と共に急速に減少し、副ビームの照度はこの副ビームの次数の2乗に反比例する。第7次副ビームに対して、照度は第1次副ビームのその約 $1/50$ である。しかし、離軸整列ユニットを通過する整列ビームの反射による照度損失は軸上整列ユニットを通過する時に比して可成り小さい。後者のユニットにおいて、整列ビームは例えばそ
20

こで反射損失が発生するであろう約100個の面に遭遇するが、前者のユニットでは例えばただ20個のこれらの面に遭遇するに過ぎない。総反射損失が、離軸整列ユニットで4の約数であれば、7次整列副ビームは軸上整列ユニットにおける第1次整列ユニットと同等の照度を持つであろう。

回折次数が N の副ビームを通過させるために光学的システム L_1, L_2 が持たなければならない開口の数値 NA_n は：

$$NA_n = \sin(N \cdot \lambda / p) \quad (10)$$

により与えられる。回折格子周期 $p = 16\mu\text{m}$ 及び波長 $\lambda = 544\text{nm}$ の7次副ビームに対して、好ましい開口の数値は約0.24であり、これは非常に受け入れ易い値である。

十分に安定なシステムを保証するために、種々の基準回折格子が水晶で構成されるのが好ましい単一板RGP上に与えられる。この板の寸法、従って第2レンズシステムの像フィールドは基準回折格子の寸法 d_1 及びそれら相互の距離 d_2 により決定される。この距離及び寸法は、例えば、両者ともに 0.2mm であるためには、板RGPのX及びY方向の寸法 d_x 及び d_y は 2.8mm であり、且つ好ましいフィールドの直径は約 3mm である。

図4の実施例の個別の楔はガラス又は水晶で作られ水晶板に固定されるであろう。この構造は高度の安定性を示す。楔は透明な合成物質から、例えばUV硬化プラスチック等から製造されてもよいであろう。この場合は、例えば水晶基板に塗布されるこの材料の薄い層内に1回のランでモールドの手段により全楔構造をプリントするために、それ自体は光学の分野で既知の複製技術の使用が好ましい。既に述べたように、個別の楔の代わりに、開口部を有する楔板の使用が好ましい。個別の楔又は楔板の代わりに、ただ1個の数次のみが
40

使用される回折格子のような他の偏向素子も他の手段として使用されるであろう。更に、例えばイオン移植の手段により作成される板の材料中において屈折率が変化するパターンで構成される偏向構造体の使用も可能である。

基板マークの溝の深さに対し厳し過ぎる要求を課するをなくするために、例えば 633nm 及び 532nm の2個の波長を持つ整列光を使用することが好ましい。整列回折格子が副ビームを偏向させる角度及びレンズシステム L_1 の後方焦点面におけるこれらのビームが占める位置は、式(7)及び式(8)から明白なように、波長に依存する事実が適用される。原理的に、異なる波長に対する次数は相互に識別できる。しかし、別の手段がなくとも、与えられた次数、例えば第1波長(633nm)の第2次は例えば第2波長(532nm)の第2次と第3次の間に来るであろう。異なる波長の次数を相互に良好に分離するために、異なる波
50

10

20

30

40

50

長のビームは基板回折格子 P_1 上へ異なる角度で入力することが保証される。7個の回折次数が使用される場合、図10に示されるような状況はレンズシステム L_1 の後方焦点面に創り出されるであろう。さて、第1の波長の異なる次数に対する第1の交差パターンの位置110~137、及び第2波長の異なる次数に対する第2の交差パターンの位置138~165が存在する。図6の中央に2重矢印の手段により示されるように、これらのパターンは相互の関係においてオフセットされているが、それは異なる波長を持つ整列ビームの入射の異なる角度に起因する。これらの角度は、焦点外れに起因して発生する整列誤差を防止するために、可能な限り最小に維持されるべきである。2個の波長を使用する時、回折素子を有する板は勿論図10に示される状態に適合しなければならないが、これは24個の分離した楔の代わりに48個の楔が使用されねばならないこと、又は6個の楔型の板の代わりに12個のそのような板が使用されねばならないことを特に意味する。

2個の波長を持つ整列に対する一層優れた他の方法は図11に示される。この図において、参照番号160は偏光に敏感なビーム分割器を示す。このビーム分割器は例えばHe-Neレーザーから633nmである第1波長 λ_1 を持ち且つ偏光の第1方向を持つ第1整列ビーム**b**を受け取り、且つこのビームを基板回折格子マーク P_1 へ通す。このビーム分割器への入射に、例えば532nmの第2波長を持ち周波数2倍器に先行するYAGレーザーから来る第2整列ビーム**b₅**がある。ビーム**b₅**は、ビーム**b₅**が基板マーク P_1 へ反射されるようにビーム**b**の偏光に垂直な偏光方向を有する。ビーム**b**及び**b₅**の主光線は1個のビームとしてマーク P_1 へ通されるようにこれらのビームはビーム分割器により統合される。該マークによる反射後、ビーム**b**及び**b₅**はビーム分割器により再度分割される。分離された整列ユニット170,180はこれらのビームのそれぞれに対して存在する。これらユニットのそれぞれは整列ビームを発生し基板マークから来る異なる回折次数の副ビームを、ビーム分割器を経て、受け取る。これらのユニットのそれぞれにおいて、基板マークの像は、図4を参照して記述されたように、異なる基準回折格子 P_1 上に異なる副ビームで形成される。この目的のために、各ユニットには、レンズシステム L_1, L_2 (L_1', L_2')、楔板WEP (WEP')と図8又は1連の楔型板、基準回折格子RGP (RGP')を持つ板、多数の検出器90~96 (90'~96')、及びそのビームが結合プリズム72 (72')を経て該システムに結合されている光源、が与えられる。

図12は、特別で且つ好ましい種類のビーム分割器160が使用されている整列ユニットの実施例の一部を示す。このビーム分割器は、偏光に敏感なビーム分割プリズム210, 1/4波長板211及び反射器212を有し、異なる波長を持ち、ここには示されていない源から来るビーム**b₁₀**及び**b₁₁**は太線で、回折格子マーク P_1 により反射されるビームは細線で示されている。ビーム**b₁₀**及び**b₁₁**は同一の偏光方向を有する。第1ビーム**b₁₀**はプリズム210内の偏光に敏感なビーム分割層213に向けて反射器215により反射される。この層はビーム**b₁₀**を回折格子マーク P_1 に向けて反射する。回折格子マークにより反射され且つ異なる回折次数の副ビームに分割された光は1個の単一ビーム光線**b₁₅**によって表現される。ビーム**b₁₅**は図12には示されていない偏光素子及び検出器の関連する構造体へ向けて層213により反射される。

第2のビーム**b₁₁**は1/4波長板211に向けてビームを反射するビーム分割層213に向けて反射器216により反射される。このビーム**b₁₁**がこの板を通過後、この板の裏面において反射層212により反射され、板211を再度通過する。板211を離れるビーム**b₁₂**は当初のビーム**b₁₁**の偏光方向に関し90°以上回転している偏光方向を有する。ビーム**b₁₂**はビーム分割層213を通過することができて、回折格子マーク P_1 に到達する。このマークにより反射される光も単一ビーム光線**b₁₆**により示される。このビームは先ずビーム分割層213を通過し、次いで1/4波長板211を2度横切り、最後に図12には示されていない楔及び検出器の関連する構造体に向けて層213により反射される。図12において反射されたビーム**b₁₆**及び**b₁₇**が空間的に分離されたビームとして表現されているのは、単に明瞭化のためのみであり、実際はこれらのビームは一致している。同じことがマーク P_1 の位置におけるビーム**b₁₀**及び**b₁₁**についても言える。

図11及び12の実施例において、第1レンズシステム L_1 は図12に示すようにビーム分割器216と回折格子マーク P_1 の間に配置されるのが好ましい。これは、異なる波長の2個のビ-

10

20

30

40

50

ムに対して、ただ1個のそのようなレンズシステムを必要とするという追加の利点を有する。反射されたビームに対して、図12には示されていない別の第2のレンズシステムが必要であることは残る。

上記種々の実施例では、検出器は、基準回折格子の背後に直接に配置される。しかし実際は、基準回折格子の背後に一束の映像用ファイバ(imaging fibers)が用意されるであろうが、これらは各基準回折格子及び離れた位置の検出器における基板回折格子マークの重ね合わされた像の像を作成するが、このことは装置全体の設計に関し且つこの装置の性能に関し一層好都合である。例えば、異なる回折次数の副ビームにより形成される像の間の漏話を減少することができ、信号増幅器及び電子的処理装置から発生する熱は整列ユニット及び装置から遠ざけることができる。光源も整列ユニットから離れた位置に配置され、それらの光も該ユニットへファイバの照明束で導くことができる。このようにして、光源により発生される熱は整列ユニット及び投射装置から放しておくことができる。

プリズム216と第2レンズシステム L_2 の間で、ビーム b_{15} 及び b_{17} の1個に対して、この装置の操作者に基板マークの可視像をモニターにより提供するカメラに向けてこのビームの一部をスピノフするために部分的に透過する反射器が与えられるであろう。

各種の検出信号を使用するのに色々な可能性がある。これらの副ビームに関係する検出器の信号を処理することにより第1次副ビームの手段による整列から開始される。引き続き、第2次副ビームに関係する検出器の信号は一層詳細な整列に使用され、次いで第3次副ビームに関係する検出器の信号は更に詳細な整列に使用され、この過程はさらに次へと進むであろう。これは使用される副ビームが信頼できる方法で検出されるのに十分な照度を持つ限り継続されるであろう。

他の可能性は、ある回折次数の照度は、特定の処理層が基板上に与えられれば他の回折次数の犠牲において増加することの認識に基づく。その場合、好ましい次数の直接の選択は整列に対してなされる。実際の環境では、上記の可能性は組み合わせることもできる。

一度に製造された基板をマスクパターンで照明する前、又は製造日の始めに整列ユニットを較正することも可能である。基板マークの多数の位置に対して、各回折次数に対して検出信号が測定される。これらの測定結果は基板マークの各位置に対して各回折次数に対する検出信号値を示めすグラフ又は表にして蓄積される。基板を照明している間、配置測定は例えば最初の3個の次数である低い回折次数の比較的大きな検出信号のみを測定することにより実行できる。例えば第7次の高い回折次数に対して、対応する数値を補間法により決定できる。この方法により、整列誤差を高い解像度及び大きな信号振幅で決定できる。

ここまで、基準回折格子の形をする装置基準に関連してのみの基板整列が記述された。同一の整列ユニットにより基板保持器又はテーブルの位置も決定できる。その目的のために、この保持器又はテーブルは基板整列マークに類似の整列マークが与えられる。基板保持器マークに関連しての基板マークの位置はその時に知られる。マスクパターンと基板の相対位置が固定できるために、基板保持器又はテーブルに関連してのマスクパターンの位置の測定である追加の測定が必要である。この追加の測定のために、図1、図2及び図3を参照して記述された、マスクマークが基板保持器のマークに関して整列される軸上整列ユニットが使用されるであろう。図3に示される2重整列のユニットのみでなく、米国特許第4,251,160号に記述の単一整列ユニットも使用されるであろう。

基板テーブルに関してマスクパターンを整列する他の1つの可能性は、例えば米国特許第4,540,277号に記述のイメージセンサユニットの使用である。そのようなユニットにおいては、マスク整列マークは基板テーブル上の対応し且つ伝達できる基準マーク上への投射の手段により像が作られる。このテーブル上に検出器が基準マークを通過する光を電気信号に変換するために基準マークの背後に配置されるであろう。第1段階で、このイメージセンサユニットは、例えば、投射光の波長とは可成り異なる波長を持つ整列光と共に動作する軸上配置ユニットを較正するか、又は投射レンズシステムに寄り形られる像の像品質をチェックし且つ発生するであろう歪みと収差を測定することを意図しているが、又マスクパターンを基板テーブルに関し整列するのに極めて適切である。米国特許第4,540,277

10

20

30

40

50

号に記述の送信イメージセンサの代わりに、反射において動作するイメージセンサユニットがそれに代わってマスクマークを基板テーブルマークに関して整列するために使用されるかもしれない。米国特許第5,144,363号に記述のそのようなユニットは、該テーブル上の反射マークと共に動作し且つ異なる角度から該マークを観測し、関連するレンズシステムと共に投射レンズシステムと基板テーブルの間に配置されるセンサ板に供給される可成り多数の検出器を有する。

本発明に準拠の離軸整列ユニットは、又このスペースに供給されねばならない。これは基板テーブルの中心に出来る限り接近して配置されねばならず、且つ例えば0.3の開口を持つ円錐形の組み立てスペースを必要とする。実際には、基板テーブルのY方向へスライドする長さは、そのために投射装置が設計された例えば8インチ基板に対して102mmである。基板の半径にほぼ対応するため、この方向に整列ユニットに組み込む余地は殆どない。しかし、基板テーブルのX方向へのスライドは例えばY方向へのスライドより25mm長いため、8インチ基板を取り扱うことが可能な整列ユニットは投射レンズシステムの光軸から25mmの距離に置くことができる。これは、投射レンズシステムPLの一部及びその光軸00'を示す図13に非常に概念的に図示されている。投射レンズシステムと基板との間の暗い部分は投射ビームに専有されるスペースを示し、bの記号で示される矢印は整列放射の副ビームを表示する。整列ビームは例えば25mmの距離である軸00'からdxの距離にある基板上への入射である。参照記号CSは利用できるスペースの臨界位置を表示する。この位置において、異なる回折次数を持つ副ビームが存在する円錐の直径は、基板までの距離に開口値を2倍した値を乗じた値に等しい。開口値が0.25で上記の直径である上記の距離が32mmの値に対して、CSの位置における要求される垂直間隔は16mmである。これは実行上合理的な値である。しかし、この垂直間隔は完全に確保できないであろう。そのような場合、相互に正反対に配置され、且つそれぞれが基板の一部を覆うことのできる2個の離軸整列ユニットが使用されるであろう。

図14はOAS - 1及びOAS - 2で表示されるこれら2個の離軸整列ユニットの測定スポットを示す。輪郭で示されるこの図は、基板波はWで示される中央位置及びスポットOAS - 1とOAS - 2がその範囲内にあるW'とW''で示される2個の位置において示される。これらの指定されたエリアは離軸整列ユニットの範囲内の基板のエリアを示す。基板の白色の、中央の帯及び左上部と右下部はユニットOAS - 1とOAS - 2の範囲内にないため、これらのユニットと協調しなければならない基板マークは、基板の白色エリアの外で灰色エリアの内部に与えられねばならないことは明白であろう。位置決定の目的のために、図14は、+Xと-X方向(1S+X, 1S-X)及び+Yと-Y方向(1S+Y, 1S-Y)に対する反射イメージセンサユニットの別個のブランチ並びにLS-Q, LS+Q, LS+P及びLS-Pで表示される焦点とレベルユニットの構成要素も示す。そのようなユニットは米国特許第5,191,200号に記載され、焦点合わせ誤差、従って投射レンズシステムの結像面と感光層平面との間の偏りの測定、及び基板の全体又は部分的傾斜の測定に使用される。

反射イメージセンサ1S又はその1S-Y部分が図14の実施例から除外されれば、図14の破線円OAS - 3により示されるように、例えば距離65mmにおいて、測定スポットは投射システムの軸に一層近く配置されるように離軸配置を設定することが可能となる。この場合、単一の離軸整列ユニットの範囲はウエーハ全体をカバーするのに十分であり、ただ1個のそのようなユニットで足りる。

個々のパラメータに対する上記の数値は単に例示の方法として概要説明のために与えたのに過ぎない。これらの数値は各種の装置において非常に違っているであろう。

上述のように、離軸整列ユニットは、リトグラフ投射装置のマスク保持器、投射システム及び基板保持器を有する投射柱中に配置される。一層細かな細部、従って一層多くの素子を有する一層大型のICの要求の増加と共に、整列処理は一層時間を消費するようになる。従ってこれらの装置の処理能力は一層の対策がなければ低下する。既にそのような装置に別の測定機器を付加することが既に提案されている。例えば、この機器では、基板のX, Y及びZ方向における位置は、このウエーハが投射柱又は投射装置に持ち込まれる以前に測定される。測定機器において、基板マークは基板保持器又はテーブル上で整列マークに関

10

20

30

40

50

し整列されることができる。保持器と共に基板が投射システムに置かれた後、マスク整列マークが基板保持器マークに関して整列されるのみで足り、それは短時間で実施される。個別の測定機器と投射機器を有する装置内で、投射機器において第1の基板が照射されている間に第2の基板が測定機器中で測定されているので、この装置の処理能力は分離された測定機器がない装置に比して相当に大きくなる。基板マークを基板保持器マークに関して整列するために測定機器内で使用される整列ユニットは、上記のように離軸整列システムが望ましい。

本発明は、ICの製造のための基板上的マスクパターンのステップ・アンド・スキャン作像のための装置へのその使用を参照して記述されているが、これは、それがこれに限定されていることを意味はしない。本発明は、他の方法として、組み合わせられたか又は全体的な光学システム、磁区メモリのためのガイダンスと検出パターン、又は液晶ディスプレイパネル製造のための装置に使用できるであろう。投射装置は、投射ビームが電磁ふく射であり且つ投射システムが光学的投射システムである光学的装置のみでなく、例えば電子レンズシステムである関連する投射システムが使用される投射ビームが電子ビーム、イオンビーム又はX線のような荷電粒子ビームである装置であってもよい。一般的に、本発明は、極めて細かな細部を持つ像が形られねばならない作像システムに使用されるであろう。

10

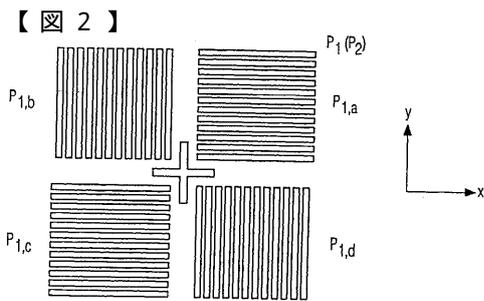


FIG. 2

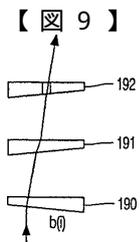


FIG. 9

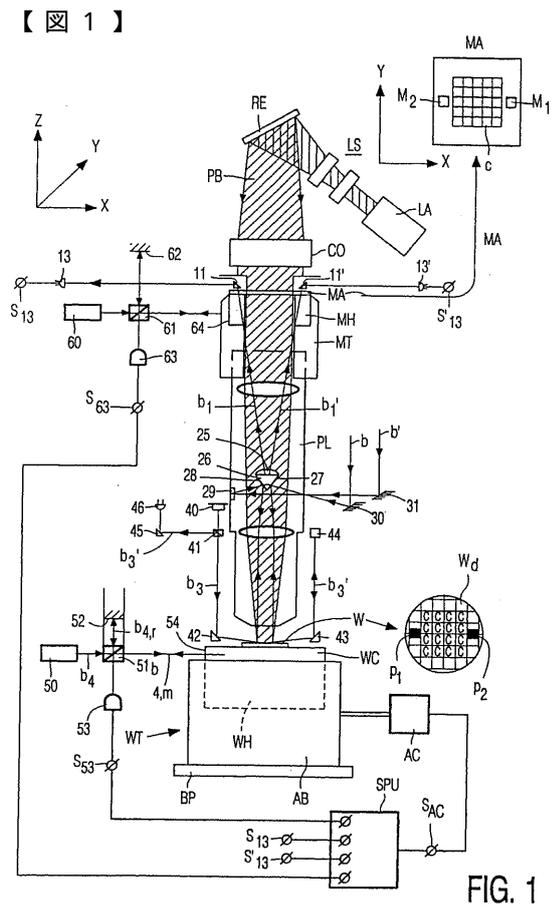


FIG. 1

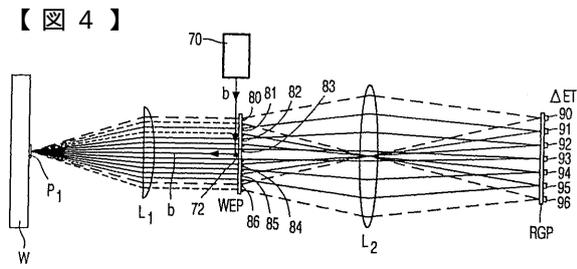


FIG. 4

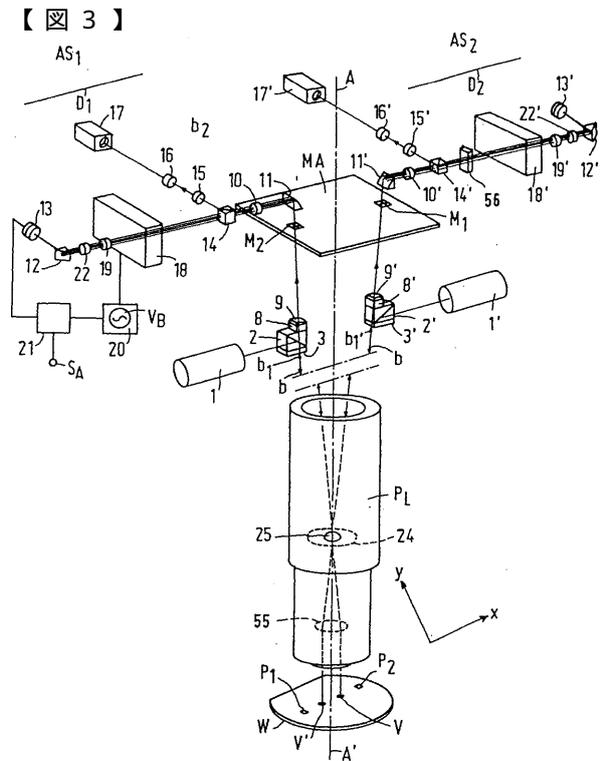


FIG. 3

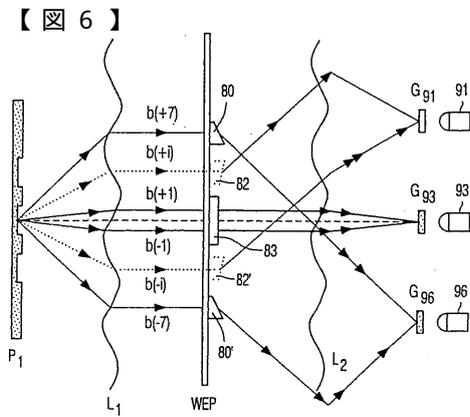


FIG. 6

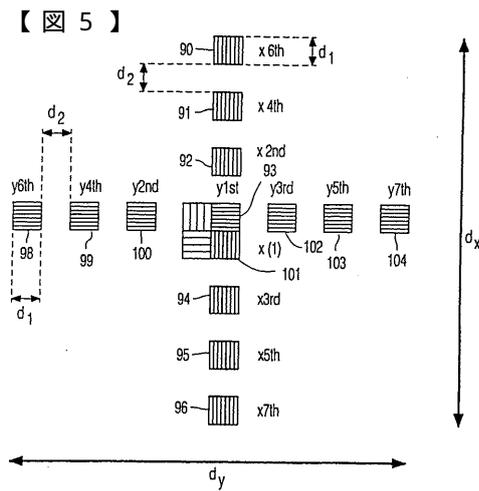


FIG. 5

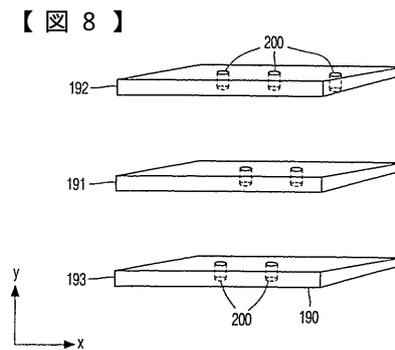


FIG. 8

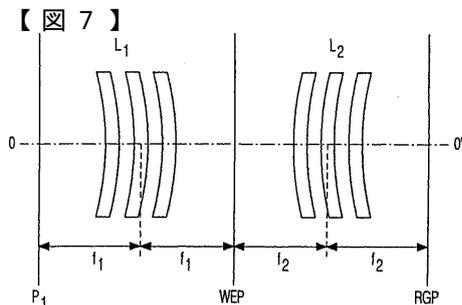


FIG. 7

フロントページの続き

(72)発明者 ボルンブルク フランク
オランダ国 5 6 5 6 アーアー アインドーフェン プロフ ホルストラーン 6

審査官 岩本 勉

(56)参考文献 特開昭64 - 014918 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01L 21/027

G03F 9/00