

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4357464号
(P4357464)

(45) 発行日 平成21年11月4日(2009.11.4)

(24) 登録日 平成21年8月14日(2009.8.14)

(51) Int.Cl.		F I		
H O 1 L	21/027	(2006.01)	H O 1 L	21/30 5 1 4 E
G O 3 F	7/20	(2006.01)	G O 3 F	7/20 5 2 1
G O 1 N	21/956	(2006.01)	G O 1 N	21/956 A

請求項の数 12 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2005-235188 (P2005-235188)	(73) 特許権者	504151804
(22) 出願日	平成17年8月15日(2005.8.15)		エーエスエムエル ネザーランズ ビー、 ブイ、
(65) 公開番号	特開2006-60214 (P2006-60214A)		オランダ国 ヴェルトホーフエン 550 4 ディー アール、デ ラン 6501
(43) 公開日	平成18年3月2日(2006.3.2)	(74) 代理人	100079108
審査請求日	平成17年8月15日(2005.8.15)		弁理士 稲葉 良幸
(31) 優先権主張番号	10/918742	(74) 代理人	100093861
(32) 優先日	平成16年8月16日(2004.8.16)		弁理士 大賀 真司
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100109346
			弁理士 大貫 敏史
		(72) 発明者	アリー ジェフリー デン ポエフ オランダ国、ヴァールレ、アイケンラン 18

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 角度分解した分光リソグラフィの特徴付けの方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板の特性を測定するように構成されたスキヤッタメータであって、
開口数が高いレンズと、
基板の表面から反射した放射線ビームの角度分解スペクトルを検出するように構成された検出器と
を有し、

基板の特性は、レンズの開口数が高い瞳面にて、反射したスペクトルの特性を複数の角度で同時に測定することによって測定可能であり、

検出器で別個に測定するために、放射線ソースから放出された放射線ビームの一部を結合するように構成された非分極性ビーム分割器および傾斜ミラーを有する、スキヤッタメータ。

【請求項 2】

レンズの開口数が少なくとも 0.9 である、請求項 1 に記載のスキヤッタメータ。

【請求項 3】

反射したスペクトルの特性が、(a) 横方向磁気および横方向電気偏光の強度、(b) 横方向磁気偏光と横方向電気偏光との間の位相差、または(a)と(b)との両方を有する、請求項 1 に記載のスキヤッタメータ。

【請求項 4】

基板の特性がさらに、レンズの開口数が高い瞳面にて、反射したスペクトルの特性を複

10

20

数の波長で同時に測定することによって測定される、請求項 1 に記載のスキッタメータ。

【請求項 5】

複数の波長がそれぞれ、 の帯域および少なくとも 2 の間隔を有する、請求項 4 に記載のスキッタメータ。

【請求項 6】

2 つの位置合わせ不良の周期的構造のオーバーレイが、反射したスペクトルの非対称性を測定することによって測定することができ、非対称性がオーバーレイの程度に関係する、請求項 1 に記載のスキッタメータ。

【請求項 7】

放射線ビームを提供するように構成された放射線ソースと基板との間の波長マルチプレクサと、

基板と検出器との間のデマルチプレクサとを有する、請求項 1 に記載のスキッタメータ。

【請求項 8】

波長マルチプレクサが、それぞれが帯域 および少なくとも 2 の間隔を有する N 個の別個の波長に対応するような構成である格子またはプリズムのような分散性要素である、請求項 7 に記載のスキッタメータ。

【請求項 9】

放射線ビームを提供するように構成された放射線ソースの表面積が、それぞれ波長マルチプレクサに結合された N 個の部分に分割され、N が離散的波長の数である、請求項 6 に記載のスキッタメータ。

【請求項 10】

瞳面で角度分解スペクトルを画定状態で分離するために、オブジェクト面に光学楔を有する、請求項 1 に記載のスキッタメータ。

【請求項 11】

放射線ビームの一部を使用して、放射線ビームの強度を測定し、放射線ビームの強度の変動を補償する、請求項 1 に記載のスキッタメータ。

【請求項 12】

放射線ビームの部分のサイズを制限し、放射線ビームの部分が放射線ビームの残りの部分に平行になることを保証するように構成された瞳ストップを有する、請求項 1 に記載のスキッタメータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えばリソグラフィ技術によるデバイスの製造などに使用可能な検査の方法に、およびリソグラフィ技術を使用してデバイスを製造する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

リソグラフィ投影装置を使用する製造プロセスにおいて、レジストの光学的特性または表面の物理的特性の変化によって、パターン（例えばマスクにおける）は少なくとも部分的に放射線感光材（レジスト）の層で覆われた基板上に描像される。あるいは、描像ステップは、エッチングした格子またはナノインプリント技術のようなレジストなしのプロセスを使用してもよい。この描像ステップに先立ち、基板は、プライミング、レジスト塗布、およびソフトベークといったような各種の工程を経る。露光後、基板は、露光後ベーク（PEB）、現像、ハードベーク、および描像した形体の測定/検査といったような他の工程を通る。このプロセスの配列は、例えば IC といったようなデバイスの個々の層にパターンを形成するための基準として使用される。このようなパターン形成された層は、それから、全て個々の層を仕上げる目的である、エッチング、イオン注入（ドーピング）、メタライゼーション、酸化、化学機械的研磨等といった種々のプロセスを経る。数枚の層

10

20

30

40

50

が必要とされる場合には、全体プロセス、もしくはその変形をそれぞれの新しい層に繰り返す必要がある。最終的に、デバイスのアレイが基板（ウェハ）上に存在する。次に、これらのデバイスはダイシングやソーイングといったような技法で相互より分離される。それから個々のデバイスは、キャリアに装着されたり、ピンに接続されたりし得る。

【0003】

レジスト（またはエッチングの場合は基板表面）の現像後の測定および検査ステップは、製品基板を処理する通常の過程で実施されるのでインラインと呼ばれ、通常は2つの目的を果たす。最初に、現像したレジストのパターンに欠陥がある目標区域がある場合、それを全て検出することが望ましい。十分な数の目標区域に欠陥がある場合は、欠陥のあるパターンでエッチングなどのプロセスのステップを実行して、欠陥を永久的なものにするのではなく、パターン形成したレジストから基板を剥がして、望ましくは適正に再度露光することができる。第二に、測定によって、照明の設定または露光量などのリソグラフィ装置のエラーを検出し、その後の露光のために補正することができる。しかし、リソグラフィ装置の多くのエラーは、レジストに印刷されたパターンから容易に検出したり、定量化したりすることができない。欠陥の検出は、必ずしも直接的に原因に結びつかない。したがって、リソグラフィ装置のエラーを検出し、測定するために、様々なオフラインの工程が知られている。それは、基板を測定デバイスと交換するか、例えば様々な異なる機械の設定で、特殊な試験パターンの露光を実行することを含む。このようなオフライン技術は往々にして長い時間がかかり、その間、測定結果を入手できるまで装置の最終製品は品質が分からない。したがって、リソグラフィ装置のエラーを検出し、測定するために、生産の露光と同時に実行できるインライン技術が、通常は好ましい。

【0004】

スキヤッタメータは、CDおよびオーバーレイのインライン測定に使用できる光学的測定技術の一例である。主に2つのスキヤッタメータの技術がある。

(1) 分光スキヤッタメータは、波長の関数として固定角度にて散乱光の特性を測定し、通常はキセノン、重水素、またはキセノンアーク灯のようなハロゲン系光源のような広帯域光源を使用する。固定角度は、垂直入射が斜め入射でよい。

(2) 角度分解スキヤッタメータは、入射角の関数として固定波長にて散乱光の特性を測定し、通常は単一波長の光源としてレーザを使用する。

【0005】

反射したスペクトルを生じさせる構造を、例えばリアルタイム回帰を使用して、またはシミュレーションによって得たパターンのライブラリと比較することによって再構築する。再構築は、費用関数の最小化を伴う。両方のアプローチは、周期的構造によって光の散乱を計算する。最も一般的な技術は厳密結合波解析(RCWA)であるが、光の散乱は、時間領域差分法(EDTD)または積分方程式技術のような他の技術でも計算することができる。

【0006】

既知の角度分解スキヤッタメータ技術の問題は、1回に1つの波長しか検出しないことであり、したがって複数の波長があるスペクトルは、その波長を時分割多重化しなければならない。分光スキヤッタメータでは、 $e t e n d u e$ が大きい延長光源を使用する。小さい格子を入射角の小さい広がり照明しなければならないので、この拡張光源からの大量の光が無駄になる。その結果、検出器上の光のレベルが低くなって、取得時間が長くなり、スループットにマイナスの影響を及ぼす。短い取得時間を選択すると、測定結果が安定しないことがある。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

したがって、例えばデバイスの製造中に、リソグラフィ技術、およびレンズのNA(開口数)が高い瞳面(または後部焦点面)で角度分解スペクトルの測定を使用して、オーバーレイおよび格子形状パラメータ(格子の非対称性およびアラインメントなど)を測定する

方法を提供すると有利である。補正または補償するために、投影システムの収差なども測定することができる。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の実施形態は、複数の波長で角度分解したスペクトルを同時に測定し、角度分解スキュッタメータの浸漬スキュッタメータ法および焦点測定を実行して、2次元検出器アレイで放射線ソースの強度ノイズを測定することができるハードウェアを含むことができる。さらに、本発明の実施形態は、散乱光の非対称性を測定することによってオーバレイを測定することと、散乱光のレイリーの異常性および高い回折次数を通して小さい線形変動を測定することを含む、ハードウェアの用途も含むことができる。

10

【0009】

本文ではICの製造における本発明による装置の使用に特に言及しているが、このような装置には他にも多くの用途があることは明確に理解されるべきである。例えば、これは、集積光学装置、磁気ドメインメモリ用ガイダンスおよび検出パターン、液晶ディスプレイパネル、薄膜磁気ヘッド等の製造に使用され得る。こうした代替的な用途においては、本文にて使用した「レチクル」、「ウェハ」および「ダイ」といった用語は、それぞれ「マスク」、「基板」および「目標部分」といった、より一般的な用語に置き換えて使用され得ることが当業者には理解される。

【0010】

本明細書では、「放射線」および「ビーム」という用語は、イオンビームあるいは電子ビームといったような粒子ビームのみならず、紫外線(UV)放射線(例えば、365nm、248nm、193nm、157nm、あるいは126nmの波長を有する)および超紫外線(EUV)放射線(例えば、5nm~20nmの範囲の波長を有する)を含むあらゆるタイプの電磁放射線を網羅するものとして使用される。

20

【0011】

本発明の実施形態を添付の略図を参照に、例示の方法においてのみ説明する。図面では対応する参照記号は対応する部品を示すものとする。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

図1は、本発明の実施形態による方法に使用可能なリソグラフィ投影装置を概略的に示したものである。この装置は、

30

- 放射線(例えばDUV放射線)の投影ビームPBを供給し、この特定のケースでは放射線ソースLAも有する放射線システムEx、ILと、
- マスクMA(例えばレチクル)を保持するマスクホルダが設けられ、かつ、品目PLに対して正確にマスクの位置決めを行う第一位置決めデバイスに連結を行った第一オブジェクトテーブル(マスクテーブル)MTと、
- 基板W(例えばレジスト塗布したシリコンウェハ)を保持する基板ホルダが設けられ、かつ、品目PLに対して正確に基板の位置決めを行う第二位置決めデバイスに連結を行った第二オブジェクトテーブル(基板テーブル)WTと、
- マスクMAの照射部分を基板Wの目標部分C(例えば、1つあるいはそれ以上のダイから成る)に描像する投影システム(「投影レンズ」)PL(例えば屈折レンズシステム)PLを有する。

40

【0013】

ここで示しているように、本装置は透過タイプである(例えば透過マスクを有する)。しかし、概してこれは、例えば反射タイプでもよい(例えば反射マスクを有する)。あるいは、装置は、上記で言及したようなタイプのプログラマブルミラーアレイなど、別の種類のパターンングデバイスを使用してもよい。

【0014】

ソースLA(例えばエキシマレーザ)は放射線のビームを生成する。このビームは、直接的に、または例えばビーム拡大器Exのような調整手段を横断した後に、照明システム

50

(照明装置) I Lへと供給される。照明装置 I Lは、ビームの角度強度分布の外部および/または内部放射範囲(一般的にそれぞれ、*- outer*および*- inner*と呼ばれる)を設定する調節手段 A Mを有してよい。また、これは一般的に、積分器 I Nおよびコンデンサ C Oのような様々な他の構成要素を有する。この方法で、マスク M Aに入射するビーム P Bは、その断面に亘り所望する均一性と強度分布とを有する。

【0015】

図1に関して、ソース L Aはリソグラフィ投影装置のハウジング内にある(これは例えばソースが水銀ランプである場合に多い)が、しかし、リソグラフィ投影装置から離して配置することも可能であることを注記する。これが作り出す放射線ビームは(適した誘導ミラーの助けにより)装置内に導かれる。この後者のシナリオでは、ソース L Aがエキシマレーザーである場合が多い。本発明および請求項はこれら両方のシナリオを網羅するものである。

【0016】

投影ビーム P Bはその後、マスクテーブル M T上に保持されているマスク M Aに入射する。ビーム P Bはマスク M Aを横断して、基板 Wの目標部分 C上にビーム P Bを集束するレンズ P Lを通過する。第二位置決めデバイス(および干渉計測定デバイス I F)の助けにより、基板テーブル W Tは、例えばビーム P Bの経路における異なる目標部分 Cに位置を合わせるために正確に運動可能である。同様に、第一位置決めデバイスを使用して、例えばマスクライブラリから機械的に検索した後に、あるいは走査中に、ビーム P Bの経路に対してマスク M Aを正確に位置決めすることができる。一般的に、オブジェクトテーブル M T、W Tの運動は、図1では明示的に図示されていないロングストロークモジュール(粗動位置決め)およびショートストロークモジュール(微動位置決め)の助けで実現される。しかし、ステップの場合(走査ステップ式装置とは対照的に)、マスクテーブル M Tはショートストロークアクチュエータに連結されるだけであるか、あるいは固定される。

【0017】

ここに表した装置は2つの異なるモードにて使用可能である。

1. ステップモードにおいては、マスクテーブル M Tは基本的に静止状態に保たれている。そして、マスクの像全体が1回の作動(すなわち1回の「フラッシュ」)で目標部分 Cに投影される。次に基板テーブル W TがX方向および/あるいはY方向にシフトされ、異なる目標部分 Cがビーム P Bにより照射され得る。

2. スキャンモードにおいて、基本的に同一シナリオが適用されるが、但し、ここでは、所定の目標部分 Cは1回の「フラッシュ」では露光されない。代わって、マスクテーブル M Tが、速度 v にて所定方向(いわゆる「走査方向」、例えばY方向)に運動可能であり、それによってビーム P Bがマスクの像を走査する。これと同時に、基板テーブル W Tが速度 $V = Mv$ で、同一方向あるいは反対方向に運動する。ここで、Mはレンズ P Lの倍率(一般的に $M = 1/4$ あるいは $1/5$)である。このように、解像度を妥協することなく、比較的大きな目標部分 Cを露光することが可能となる。

【0018】

基板 6の表面の1つまたは複数の特性は、図2で示したようなスキャッタメータを使用して求めることができる。実施形態では、スキャッタメータは広帯域(白色光)放射線ソース 2を有し、これは放射線を基板 6へと配向する。拡張広帯域放射線ソースは、少なくとも 50 nm の波長の放射線ビームを基板表面に提供するように構成することができる。反射した放射線が分光計検出器 4へと渡り、これが鏡面反射放射線のスペクトル 10(波長の関数としての強度)を測定する。このデータから、検出したスペクトルを生じさせる構造または輪郭を、例えば厳密結合波解析および非線形回帰によって、または図2の底部で示したようなシミュレーションしたスペクトルのライブラリと比較することにより、再構築することができる。概して、再構築するためには、構造を作成したプロセスの知識から、構造の一般的な形状が分かって、幾つかのパラメータが仮定され、スキャッタメータのデータから判断すべき構造のパラメータは幾つかしかない。

10

20

30

40

50

【0019】

スキヤッタメータは、垂直入射スキヤッタメータまたは斜め入射スキヤッタメータでよい。反射を、1つの角度で、ある範囲の波長で測定するのではなく、ある範囲の角度で、1つの波長で測定するスキヤッタメータ測定の変数も使用することができる。

【0020】

以下で説明する1つまたは複数の実施形態では、レンズのNAが高い瞳面40で、図3で示すように複数の角度および波長にて基板表面6から反射した角度分解スペクトルの特性を測定することによって、基板の特性を測定するように構成されたスキヤッタメータを使用する。スキヤッタメータは、放射線を基板に投影するように構成された放射線ソース2、および反射したスペクトルを検出するように構成された検出器32を有する。瞳面は、放射線の半径方向の位置が入射角を画定し、角度位置が、放射線の方位角および任意のほぼ共役の面を画定する面である。検出器32は、レンズのNAが高い瞳面に配置される。NAは高く、実施形態では少なくとも0.9または少なくとも0.95である。浸漬スキヤッタメータは、NAが1を超えるレンズを有してもよい。

10

【0021】

以前の角度分解スキヤッタメータは、散乱光の強度しか測定していなかった。本発明の実施形態により、ある範囲の角度で幾つかの波長を同時に測定することができる。様々な波長および角度についてスキヤッタメータが測定する特性は、横方向磁気(TM)および横方向電気(TE)偏光の強度、およびTM偏光とTE偏光との位相差を含む。

【0022】

広帯域光源(つまり広範囲の光の周波数または波長、したがって色を有する光源)の使用が可能であり、これは大きいétendueを与え、複数の波長を混合できるようにする。広帯域光の複数の波長は、実施形態ではそれぞれ例えばの波長を、したがって少なくとも2(つまり波長の2倍)の間隔を有する。幾つかの放射線「ソース」は、例えばファイバ束などを使用して分割してある拡張放射線ソースの様々な部分でよい。この方法で、角度を分解した散乱スペクトルを、複数の波長で並列に測定することができる。3次元スペクトル(波長および2つの異なる角度)を測定することができ、これは2次元スペクトルより多くの情報を含む。これによって、さらなる情報を測定することができ、計測プロセスの堅牢性が向上する。

20

【0023】

本発明の実施形態のスキヤッタメータを図3で示す。レンズシステムL2を使用して、干渉フィルタ30を通して光源2を集束し、顕微鏡の対物レンズL1を介して基板6上に集束させる。次に、放射線は、散乱スペクトルが検出されるために、部分的に反射性の表面34を介して反射して、投影された黒色瞳面40のCCD検出器に入る。瞳面40は、レンズシステムL1の焦点長さにある。検出器およびNAが高いレンズを瞳面に配置する。瞳面は、補助光学系で再描像することができる。NAが高いレンズの瞳面が、通常はレンズの内側に配置されるからである。

30

【0024】

反射器光の瞳面を、例えば1フレーム当たり40ミリ秒という積分時間でCCD検出器に描像する。この方法で、基板目標の2次元角度散乱スペクトルを検出器に描像する。検出器は、例えばアレイ状のCCD検出器またはCMOS検出器でよい。スペクトルを処理すると、対称の検出構成が与えられ、したがってセンサを回転対称にすることができる。これによって、コンパクトな基板テーブルを使用することができる。基板上の目標を、センサに対する任意の回転方向で測定できるからである。基板上の全目標を、基板の平行移動と回転との組み合わせによって測定することができる。

40

【0025】

例えば405~790nmの範囲、または200~300nmのようにさらに低い範囲で、問題の波長を選択するために、1組の干渉フィルタ30が使用可能である。干渉フィルタは、1組の異なるフィルタを有するのではなく、調整可能である。1つまたは複数の干渉フィルタの代わりに、格子を使用することができる。

50

【 0 0 2 6 】

基板 6 は (または反射表面 3 4 さえ) 格子でよい。現像後にレジストの実線で一連のバーが形成されるように、格子を印刷することができる。バーは、基板に交互にエッチングすることができる。このパターンは、リソグラフィ投影装置、特に投影システム P L のコマ収差の影響を受けやすく、照明の対称性およびこのような収差の存在は、印刷された格子の変動として現れる。したがって、印刷された格子のスキッタメータのデータを使用して、格子を再構築する。線幅および形状のような格子の 1 つまたは複数のパラメータは、印刷ステップおよび / または他のスキッタメータ測定プロセスの知識から、再構築プロセスに入力することができる。

【 0 0 2 7 】

長方形のスリットがある透過性金属格子では、複雑な複合光バンド構造 (C P B S) が、強い不連続性を呈するように図示され、これはウッド・レイリー異常に位置して、2 タイプの共鳴を呈し、これは水平および垂直表面プラズモン共鳴と呼ばれる。スペクトルの位置およびスペクトルのピークの幅は、水平および垂直共鳴の両方について、C P B S から直接抽出することができる。この方法で、透過性金属格子から来る放射線により、スペクトルを分析し、ウッド・レイリー異常に位置する強い不連続性によって格子の 1 つまたは複数の特性を求めることができる。ウッド・レイリー異常は、波長または入射角の変動により生じ、追加の伝播回折次数を与える。ビーム幅が大きいほど、ビームの横方向変位が大きくなる。

【 0 0 2 8 】

本発明の実施形態はスペクトルを検出して、対称の瞳面像を生成し、ここから不連続性を測定し、したがって 1 つまたは複数の格子特性を計算することができる。

【 0 0 2 9 】

本発明の実施形態によると、スキッタメータは、反射したスペクトルの非対称性を測定することによって 2 つの位置合わせ不良の周期的構造のオーバーレイを測定するような構成であり、非対称性はオーバーレイの範囲に関係する。

【 0 0 3 0 】

実施形態では、スキッタメータは、反射したスペクトルおよび / または検出構成の非対称性を測定することによって 2 つの位置合わせ不良の格子または周期的構造のオーバーレイを測定するような構成であり、非対称性はオーバーレイの範囲に関係する。対称性検出構成のせいで、非対称性が明白に識別可能である。これは、格子の位置合わせ不良を測定する単純明快な方法を提供する。

【 0 0 3 1 】

使用する 1 タイプの基板パターンを図 4 に示す。格子 1 4 は、その頂部に印刷された第 2 格子 1 2 を有する。格子 1 2 が格子 1 4 に対してオフセットする量は、オーバーレイ 2 2 として知られる。

【 0 0 3 2 】

図 4 a で示す実施形態では、放射線ソース 2 が、垂直表面に対して対称にオブジェクトを照明し、スキッタメータの検出器が幾つかの角度から散乱放射線を測定するが、斜めの角度からオブジェクトを照明するソースも可能である。

【 0 0 3 3 】

オーバーレイ計測は、角度散乱スペクトルの非対称性の測定に基づく。対称性構造は、対称角度のスペクトルを生じ、目標の非対称性は、角度散乱スペクトルの非対称性として現れる。この特性は、角度分解したスキッタメータ測定を使用するオーバーレイ計測に基づく。

【 0 0 3 4 】

幅 2 0 のバーで作成され、重なるが、位置合わせ不良の 2 つの格子 1 2 および 1 4 が、1 つの非対称の複合目標を形成する。その結果生じる角度散乱スペクトルの非対称性を、図 3 で示す角度分解スキッタメータ 4 で検出し、以下の方法でオーバーレイ 2 2 を導くために使用する。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 5 】

2つの格子対を、第一および第二対それぞれに + d および - d の意図的なバイアスを設けて使用する。つまり、格子 1 2 は (図 4 で示すように) 一方の対では一方向に、他方の対では反対方向 (図示せず) にシフトする。したがって、各対の格子間にある実際の横方向シフトは、 $X_1 = OV + d$ および $X_2 = OV - d$ であり、OV はオーバーレイ 2 2 である。

【 0 0 3 6 】

格子対を位置合わせする場合は、オーバーレイが 0 であり、格子に入射する照明の強度が I_{i1} であり、格子から反射する放射線の強度が、第一方向で I_{+1} 、反対方向であるが、同じ面では I_{-1} である場合、オーバーレイ $OV = 0$ であると、下式のようなになる。

【 数 1 】

$$I_{+1} = I_{-1}.$$

10

【 0 0 3 7 】

しかし、 $OV \neq 0$ である場合は、下式のようなになる。

【 数 2 】

$$I_{+1} \neq I_{-1}.$$

【 0 0 3 8 】

小さいオーバーレイの場合は、強度の差がオーバーレイに比例する。

20

【 数 3 】

$$I_{+1} - I_{-1} = K \times OV.$$

K は定数であり、プロセスに依存し、したがって未知である。

【 0 0 3 9 】

本発明の実施形態によるスキャッタメータでオーバーレイ計測を校正するために、2つの格子目標を使用する。一方は図 4 b で示すオーバーレイを有して、2 番目はちょうど反対のオーバーレイを有し、したがって上部格子 1 2 は、底部格子 1 4 に対して右側ではなく左側に変位する。第一設定のオーバーレイは $OV + d$ (図 4 b の距離 2 2) であり、第二設定のオーバーレイは $OV - d$ である。

30

【 0 0 4 0 】

したがって、 $OV + d$ の場合は、非対称性が

【 数 4 】

$$A_+ = K(OV+d)$$

40

となり、 $OV - d$ の場合は、非対称性が

【 数 5 】

$$A_- = K(OV-d).$$

となる。

【 0 0 4 1 】

換算係数 K は下式のように省略することができる。

【数6】

$$OV = d \frac{A_+ + A_-}{A_+ - A_-}$$

【0042】

したがって、オーバーレイは角度分解散乱スペクトルの非対称性の測定値を使用して計算することができる。

【0043】

以前に知られていた方法と比較したこの方法の利点は、2つの格子しか必要ないことである。さらに、原則的に、方法は2次元格子でも働くことができる。その場合、複素数(x, y)オーバーレイ測定には2つの格子しか必要でない。これは、分光スキャタメータ測定方法が使用している6つの格子などと比較して、大幅な改善である。

10

【0044】

2次元格子を使用したx y オーバーレイ計測の分析は、以下の通りである。

【0045】

2つの格子は、f(x, y)およびg(x, y)という振幅透過を有する。これらの格子は2方向で周期的であり、したがってその透過はフーリエ級数として書くことができる。

【数7】

20

$$f(x, y) = \sum_n \sum_m F_{n,m} e^{-j(nx+my)}$$

$$g(x, y) = \sum_p \sum_q G_{p,q} e^{-j(px+qy)}$$

【0046】

両方の格子は等しい周期を有し、単純にするために、格子の周期は、以下の計算について2に正規化されている。係数F_{n,m}およびG_{p,q}は、格子の形状、波長および極性に依存する回折効率と解釈することができる。2つの格子は、x方向およびy方向それぞれにてx₀およびy₀の相対的オーバーレイで重なる。合計透過率tは、下式のように書くことができる。

30

【数8】

$$\begin{aligned} t(x, y) &= f(x, y)g(x - x_0, y - y_0) \\ &= \sum_n \sum_m \sum_p \sum_q F_{n,m} G'_{p,q} e^{-j((p+n)x+(q+m)y)} \end{aligned}$$

40

ここで、

【数9】

$$G'_{p,q} = G_{p,q} e^{j(px_0+qy_0)}$$

である。

【0047】

50

変数は以下のように調節することができる。

$$p + n = a \quad p = a - n$$

$$q + m = b \quad q = b - m$$

【 0 0 4 8 】

$t(x, y)$ のフーリエ級数にこれらの式を代入すると、下式が生成される。

【 数 1 0 】

$$\begin{aligned} t(x, y) &= \sum_n \sum_m \sum_p \sum_q F_{n,m} G'_{n,m} e^{-j((p+n)x+(q+m)y)} \\ &= \sum_a \sum_b T_{a,b} e^{-j(ax+by)} \end{aligned}$$

10

ここで、

【 数 1 1 】

$$T_{a,b} = \sum_n \sum_m F_{n,m} G'_{a-n,b-m}$$

20

である。 $T_{a,b}$ は、回折次数 (a, b) の振幅と解釈することができる。この振幅は概ね、 x および y 方向でのオーバーレイに依存することが分かる。

【 0 0 4 9 】

単純にするために、 x 方向に通る回折次数のみを考察する。以下の分析は、 y 方向の回折次数でも実行することができる。それには、変数を調節するだけでよい。

【 0 0 5 0 】

x 方向に通る回折次数では $b = 0$ であり、したがって 2 つの回折次数 a および $-a$ の振幅では、下式となる。

【 数 1 2 】

$$\begin{aligned} T_{a,0} &= \sum_n \sum_m F_{n,m} G_{a-n,-m} e^{j((a-n)x_0 - my_0)} \\ T_{-a,0} &= \sum_n \sum_m F_{n,m} G_{-a-n,-m} e^{j((-a-n)x_0 - my_0)} \end{aligned}$$

30

合計の前に因数 $e^{\pm jax_0}$ を入れると、下式が与えられる。

【 数 1 3 】

$$\begin{aligned} T_{a,0} &= e^{jax_0} \sum_n \sum_m F_{n,m} G_{a-n,-m} e^{-j(nx_0 + my_0)} \\ T_{-a,0} &= e^{-jax_0} \sum_n \sum_m F_{n,m} G_{-a-n,-m} e^{-j(nx_0 + my_0)} \\ &= e^{-jax_0} \sum_{-n} \sum_m F_{-n,m} G_{-a+n,-m} e^{j(nx_0 - my_0)} \end{aligned}$$

40

【 0 0 5 1 】

両方の格子が x 方向で対称であると仮定すると、下式になる。

50

【数 1 4】

$$F_{-n,m} = F_{n,m}$$

$$G_{-n,m} = G_{n,m}$$

【0 0 5 2】

この特性を使用すると、下式の回折振幅が与えられる。

【数 1 5】

$$T_{a,0} = e^{jax_0} \sum_n \sum_m F_{n,m} G_{a-n,-m} e^{-j(nx_0+my_0)} \quad 10$$

$$T_{-a,0} = e^{-jax_0} \sum_n \sum_m F_{n,m} G_{a-n,-m} e^{j(nx_0-my_0)}$$

【0 0 5 3】

スカッターメータは、回折フィールドの強度を測定し、下式を与える。

【数 1 6】

$$I_{\pm a,0} = |T_{\pm a,0}|^2 \quad 20$$

【0 0 5 4】

この式を評価すると、強度を下式の形態で書けることが分かる。

【数 1 7】

$$I_{a,0} = \sum_n \sum_m B_{n,m} \cos(\varepsilon_{n,m} - nx_0 - my_0)$$

$$I_{-a,0} = \sum_n \sum_m B_{n,m} \cos(\varepsilon_{n,m} + nx_0 - my_0) \quad 30$$

ここで、振幅 $B_{n,m}$ および位相 $\varepsilon_{n,m}$ は、格子の形状、照明の波長および照明の極性に依存する。+ 1 と - 1 の次数の差を入れると、x 方向に通る非対称性 A_x が与えられる。

【数 1 8】

$$A_x = I_{1,0} - I_{-1,0}$$

$$= \sum_n \sum_m B_{n,m} \cos(\varepsilon_{n,m} - nx_0 - my_0) - \sum_n \sum_m B_{n,m} \cos(\varepsilon_{n,m} + nx_0 - my_0)$$

$$= \sum_n \sum_m 2B_{n,m} \sin(\varepsilon_{n,m} - my_0) \sin(nx_0) \quad 40$$

【0 0 5 5】

実際には、オーバーレイは格子のピッチと比較すると小さい。例えば、ピッチは往々にして $1 \mu\text{m}$ のオーダーであり、最大オーバーレイは 60 nm のオーダーである。したがって、上式を線形化し、 x_0 および y_0 の一次項のみを保持することができる。

【数 19】

$$\begin{aligned}
 A_x &= \sum_n \sum_m 2B_{n,m} \sin(\varepsilon_{n,m} - my_0) \sin(nx_0) \\
 &= \sum_n \sum_m 2B_{n,m} [\sin(\varepsilon_{n,m}) \cos(my_0) - \cos(\varepsilon_{n,m}) \sin(my_0)] \sin(nx_0) \\
 &\cong \sum_n \sum_m 2B_{n,m} [\sin(\varepsilon_{n,m}) - \cos(\varepsilon_{n,m}) my_0] nx_0 \\
 &= x_0 K_0 + K_{xy} x_0 y_0
 \end{aligned}$$

10

ここで、

【数 20】

$$\begin{aligned}
 K_0 &= \sum_n \sum_m 2nB_{n,m} \sin(\varepsilon_{n,m}) \\
 K_{xy} &= \sum_n \sum_m 2mnB_{n,m} \cos(\varepsilon_{n,m})
 \end{aligned}$$

20

である。

【0056】

結合項があることが分かる。x方向の非対称性は、結合項 K_{xy} を介したyオーバーレイの関数でもある。2次元格子が 90° の回転対称性を有し、光が 45° で偏向すると、xおよびy方向の非対称性を下式のように書くことができる。

【数 21】

$$\begin{aligned}
 A_x &= x_0 K_0 + K_{xy} x_0 y_0 \\
 A_y &= y_0 K_0 + K_{xy} x_0 y_0
 \end{aligned}$$

30

【0057】

これらの式は、2次元格子対でのx yオーバーレイ計測の基盤である。第一格子対では、+dのバイアスを上部格子に導入し、第二格子対では、-dのバイアスを導入する。このバイアスを、x方向とy方向の両方に適用する。これで、4つの非対称性の項を測定することができる。第一格子対のxおよびy非対称性、および第二格子対のxおよびy非対称性は、下式のように示される。

【数 22】

$$\begin{aligned}
 A_{1x} &= K_0(OV_x + d) + K_{xy}(OV_y + d)(OV_x + d) \\
 A_{1y} &= K_0(OV_y + d) + K_{xy}(OV_y + d)(OV_x + d) \\
 A_{2x} &= K_0(OV_x - d) + K_{xy}(OV_y - d)(OV_x + d) \\
 A_{2y} &= K_0(OV_y - d) + K_{xy}(OV_y - d)(OV_x - d)
 \end{aligned}$$

40

【0058】

これは、4つの未知数 K_0 、 K_{xy} 、 OV_x および OV_y がある4つの非線形式を与え、これを解いてオーバーレイを与えることができる。

【0059】

実施形態では、1つまたは複数の開口をスキヤッタメータに設けて、1つまたは複数の

50

格子パターンを生成した場合のリソグラフィ露光状態を模倣することができる。次に、スキヤッタメータを使用して、1つまたは複数の格子パターンの角度分解した分光像の生成に、開口を使用することができる。

【0060】

実施形態では、基板と検出器の間にあるスペースの少なくとも一部を液体に、特に図3で示すようなレンズL1と基板6の間にあるスペースを浸漬することが可能である。液体は水でよい。これは、基板6とレンズL1の間にある媒質の空間帯域を増加させるという利点を有する。つまり、例えば空気中などで消失するような回折が伝播し、レンズによって捕捉される。したがって、空間を浸漬すると、例えばスペースに空気がある場合より、調査中の格子に関してより詳細な情報を含む、より高い回折次数を検出することが可能になる。

10

【0061】

スキヤッタメータの開口数(NA)は、少なくとも0.9、さらには0.95または1を超えることが好ましい。

【0062】

L1とオブジェクトとの間のスペースを高い屈折率の流体で浸漬すると、媒質の空間帯域が増大し、そのためにより小さいピッチでより高い回折次数の伝播が可能になる。伝播する1次スペクトルを生成する最小ピッチは $\lambda / (2NA)$ である。NAが1.3と等しく、 λ が400nmと等しいと仮定すると、154nmという最小ピッチが与えられる。これは、約20から80nmという限界寸法(CD)または再構築された格子幅に対応する。図2で示すようなプロフィールを調べると、限界寸法はピークの平均幅であり、ピッチはピークから次のピークまでの距離である。

20

【0063】

浸漬流体は、例えば基板6上にあるレジストなどに対して指数の段階が大きくなければならない。それによって、検出器の像のコントラストを最大にすることができる。このような要件を満足する可能性がある液体は水である。

【0064】

図5は、本発明の実施形態により、ソースの出力強度および散乱した放射線の強度を監視するために1つの同じ検出器を使用することを示し、これによって同期化の問題が回避され、ソースの出力変動をリアルタイムで補償することができる。

30

【0065】

スキヤッタメータは、同じ検出器で別個に測定するために、放射線ソースから放出された放射線ビームの一部を結合するための非分極性ビーム分割器および傾斜ミラーを有してよい。実施形態では、放射線ビームの一部を使用して、放射線ビームの強度を測定し、スキヤッタメータは、放射線ビームの強度の変動を補償するような構成にすることができる。主要な測定ビームとともに強度測定ビームに同じCCD検出器を使用することの利点は、余剰検出器を必要とせず、したがって基準センサと計測センサとの間に光学的特性および熱特性の差がなく、基準信号をトリガし、読み出して記憶するための余剰電子機器を必要としないことである。

【0066】

40

放射線経路にある非分極性ビーム分割器50は、2次元検出器32に散乱放射線を描像する。余剰レンズがCCD検出器に瞳面を再描像する。検出器に入射する強度を像36として示す。非分極性ビーム分割器50は、放射線ビームの一部を結合して、これを強度ノイズの監視に使用する。この放射線部分を別個の検出器で測定するのではなく、傾斜ミラー52を使用して光を逆反射し、同じ検出器32の異なる部分に転送する。任意選択の瞳ストップ54が、放射線部分の範囲を制限し、ミラーの傾斜は、放射線が主要放射線ビームとともに投影されることを保証する。スペクトルは、L1の瞳面で検出器32に描像される。

【0067】

以前の方法では、角度分解したスキヤッタメータ測定を、1つの波長で実行していた。

50

異なる波長での測定が、順番に実行され、異なる波長は時間を多重化する。しかし、波長の時間多重化はスループットを劣化させることがある。

【0068】

実施形態では、スキャッタメータが、放射線ソースと基板との間の波長マルチプレクサ、および基板と検出器との間のデマルチプレクサを有する。これによって、幾つかの異なる波長（または色）を同時に測定することができ、より短い時間枠でより多くの情報を与え、したがって上述したような堅牢性を与える。波長マルチプレクサは、背面投影したオブジェクト面に配置された分散性要素、または瞳面に配置された分散性要素を有してよい。

【0069】

放射線ソースの表面積は、N個の部分に分割することが好ましく、これはそれぞれ波長マルチプレクサに結合され、Nは離散的波長の数である。この分割は、例えばファイバ束などで実行することができる。

【0070】

実施形態では、マルチプレクサは、背面投影したオブジェクト面に配置された分散性要素を有する。分散性要素は、N個の離散的波長に対応するような構成である格子またはプリズムでよく、それぞれ の帯域、および少なくとも帯域の2倍、つまり2 の間隔を有する。これは、拡張光源の使用を最大にすることができる。同時に実行できるので、異なる波長の測定をもはや時間多重化する必要がなく、したがって主要な利点はスループットが増加することである。

【0071】

実施形態では、デマルチプレクサが瞳面に配置された分散性要素を有する。1つまたは複数の光学楔をオブジェクト面に挿入して、瞳面の角度分解したスペクトルを明快に分離することができる。

【0072】

実施形態では、キセノン、重水素またはクォーツタングステンハロゲン光源などの拡張広帯域放射線ソースを使用する。これらのソースは、離散的波長に分割できる表面積を与え、上述したようにさらなる情報を提供する大きい *etendue* を有する。波長は、193 nm から 800 nm の範囲でよい。

【0073】

実施形態では、N個の離散的波長を組み合わせる分散性プリズムまたは格子を、照明ブランチ（またはソース2と図2の基板6との間にある放射線経路）にて使用し、格子またはプリズムを検出ブランチ（または基板6と検出器4との間にある放射線路間のスペース）にて使用し、波長を空間的に分離する。

【0074】

多重化格子の一例を図6に示す。2つの光源S1およびS2がレンズシステムL2を透過し、オブジェクト面42にあるリトロ配置格子16に入射し、瞳面40に集束してから、レンズシステムL1を透過して別のオブジェクト面42に至り、任意選択で照明ファイバ60に入る。瞳面は、適切な寸法の長方形の開口を含み、幅が格子に入射する光の角度範囲を決定する。この角度範囲および格子のピッチが、瞳面の開口を介して透過した戻り光の帯域を決定する。例えば、1ミリメートル当たり1200本の線がある格子は、約 1.2 mrad/nm の分散を生じする。4 nm の有効帯域は、 3.33 mrad という照明ビームの全角度幅に対応する。基板6のスポットサイズは約 $40 \mu\text{m}$ であり、そのNAは0.95である。したがって、格子上のビームの直径は約23 mmである。レンズL1の焦点長さが100 mmである場合、瞳面における開口穴の幅は $333 \mu\text{m}$ でなければならない。照明ファイバを使用する場合は、照明NAが約0.22でなければならない。

【0075】

一度に3つ以上の放射線ソース（波長が異なる）を使用してよいことが明白である。

【0076】

図7は、検出ブランチにある波長デマルチプレクサの例を示す。単純にするために、こ

10

20

30

40

50

こでも2つの波長のみの分離を示す。デマルチプレクサはマルチプレクサに類似しているが、格子はオブジェクト面ではなく瞳面に配置される。リトロ配置格子16の格子によって回折する光は、レンズL2によって透過し、これはオブジェクト面に波長1および2の2つのオブジェクト像を作成する。この面は、n個の穴(この場合はn=2)があるフィールドストップを含み、これは、スペクトルへの妨害を回避するために、空間的フィルタリングを避けるのに十分なほど広くなければならない。フィールドストップ40の各穴は、楔62も有し、楔の角度は一意である。この楔62は、各波長の角度分散乱スペクトルが、CCD検出器32の異なる部分に描像されることを保証する。CCD検出器は第二瞳面40にベースがある。

【0077】

楔62は光を2方向に屈曲できるので、多くの角度分解スペクトルでのCCD検出器の効率的な充填を実現することが可能である。

【0078】

再現可能な結果を獲得するために、目標は良好に集束しなければならない。それを達成するために、対物レンズのNAが高い瞳面40を、本発明の実施形態による図8で図示したような二重テレセントリック系システムで検出器に描像する。実施形態ではNAが高く、好ましくは少なくとも0.9である。

【0079】

中間オブジェクト面42のナイフエッジ70は、中間オブジェクト像の半分を遮断する。エッジはフォーコーのナイフエッジでよい。

【0080】

ナイフエッジは、放射線の像を基板に集束するのに役立つ。方向ごとに、瞳面40の外部領域(または実際的に言うと2つの半分部分)の強度をサンプリングする。フォーコーの場合は、強度I1とI2の差が生成される。焦点Fが下式のように与えられる。

【数23】

$$F = k \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2}$$

【0081】

比例因子kは像に依存し、1回しか求める必要がないが、積分フィードバックループに焦点センサを使用できるので、kの正確な値は重要ではない。

【0082】

照明ソースは必ずしも均質ではなく、基板の精密な露光を保証するために、校正し、補正しなければならない。不均質性は、照明ソース自体から、または照明経路にある反射鏡の表面コーティングの粗さによって引き起こされることがある。以前は、アルミニウムのミラーを使用して、照明ビームの正規化を実行してきた。しかし、この正規化は、測定すべきオブジェクト(つまり格子または基板)がより高い回折次数を生成する場合は失敗する。これは、オーバーレイ用途においてツールによって誘発されるシフトのエラーを引き起こす。

したがって、実施形態では、スキャッタメータ測定システムはさらに、照明ビームにある1つまたは複数のミラーを有する。特に、ミラーは基板テーブルで基準となっており、アルミニウムで作成することができる。これらのミラーは、異なる角度で反射する少なくとも2つの像を生成するために、傾斜するか、異なる傾斜角度で存在する。傾斜角度毎に、検出されるスペクトルは傾斜の角度と同じ方向にシフトする。これらの像が検出され、微分方程式に組み込まれ、そこから放射線ビームの照明プロファイルを決定することができる。その結果の照明プロファイルを使用して、より高い回折次数での反射スペクトルの特性を正確に測定する。

【0083】

測定した信号M₀(k)は、下式のように表される。

10

20

30

40

50

【数 2 4】

$$M_0(k) = [A(-k)R_0(k) + A(-k \pm k_G)R_{\mp 1}(x) + \dots + A(-k \pm Nk_G)R_{\mp N}(x)]B(k)$$

【0084】

ここで、

A(k)は、瞳面の位置kにおける未知の表明強度であり、

B(k)は、センサの検出ブランチにおける未知の光学的損失であり、

R_{±N}は、格子オブジェクトのN次の回折効率である。

【0085】

実際には、不均質な照明ビーム、および照明経路の光学系およびコーティングの表面粗さがゆっくり変化するので、照明の強度が変化する。光学コーティングの表面粗さは、瞳面の照明ビームの粒状の外観を生じる。

【0086】

基準測定は、反射性が高いアルミニウムミラーによって実行され、これは以下の信号測定値を生成する。

【数 2 5】

$$M_M(k) = A(-k)R_M(k)B(k)$$

【0087】

オブジェクトの測定値を基準値で正規化すると、下式が生成される。

【数 2 6】

$$\frac{M_0(k)}{M_M(k)} = \frac{R_0(k)}{R_M(k)} + \frac{A(-k \pm k_G)R_{\mp 1}(x)}{A(-k)R_M(k)} + \dots + \frac{A(-k \pm Nk_G)R_{\mp N}(x)}{A(-k)R_M(k)}$$

【0088】

検出ブランチの損失は、この正規化によって解消されることが分かる。

【0089】

しかし、照明の不均質性は、ゼロの回折次数（つまり鏡面反射）についてのみ解消される。より高い回折次数では、下式の形態の未知のエラー項が残る。

【数 2 7】

$$\frac{A(-k \pm Nk_G)}{A(-k)}$$

【0090】

この項を解消するために、照明プロフィールA(k)を以下で検討するように校正しなければならない。

【0091】

ミラーは、1枚の凸面鏡または凹面鏡でよく、あるいは検出中にある範囲の角度で積極的に傾斜させる平面鏡でよい。あるいは、異なる傾斜角度のある範囲のミラーでよい。測定した反射角度は、半径方向（傾斜の大きさを変化させる）または全方向（傾斜の方向を変化させる）でよい。

【0092】

次に、微分方程式を求めるために使用する方法を1次元で説明する。2次元への拡張は些細なことである。

【0093】

10

20

30

40

50

基準ミラーを、ミラーの2つの小さい対向する傾斜 $\pm \theta_M$ について 1 mrad のオーダーで測定する。この傾斜の結果、測定した瞳像がシフトする。したがって、わずかにシフトした2つの像が測定される。

【数28】

$$M_{\pm\theta}(k) = A(-k \pm \Delta(k)) R_M(k) B(k) C(k; \pm\theta)$$

【0094】

ここで、 $\Delta(k)$ は瞳面のシフトであり、これは概ね、瞳面における位置 k に依存する。無球面収差システムの場合は、下式となる。

【数29】

$$\Delta(k) = 2\theta_M \sqrt{1-k^2}$$

【0095】

数28の C は、反射した強度の再分布を明らかにし、無球面収差システムの場合は、下式となる。

【数30】

$$C(k; \Delta) = 1 + \frac{2\theta_M k}{\sqrt{1-k^2}}$$

【数31】

$$Q_M(k) = \frac{M_{+\theta} - M_{-\theta}}{M_{+\theta} + M_{-\theta}}$$

ここで M_+ および M_- は、それぞれ小さいプラスの傾斜および小さいマイナスの傾斜で測定したスペクトルである。

【0096】

ここで、 Q の下付き文字「 M 」は、測定したデータに関することを強調するために使用されている。小さい傾斜では、近似は下式ようになる。

【数32】

$$A(k + \Delta(k)) \cong A(k) + \frac{dA}{dk} \Delta(k)$$

【0097】

この線形化を使用すると、 Q について以下の微分方程式が生成される。

【数33】

$$\frac{Q(k)}{\Delta(k)} = \frac{1}{A(k)} \frac{dA}{dk}$$

【0098】

この式は容易に解かれ、下式が生成される。

10

20

30

40

【数 3 4】

$$A(k) = \exp \left[\int_0^k \frac{Q(k')}{\Delta(k')} dk' \right]$$

【0099】

以上の微分は、2次元へと容易に拡張することができる。実際には、測定したデータは連続的ではなく、デジタル化されたサンプリングデータである。しかし、これは上記で得られた概念を変更するものではない。

10

【0100】

実際には、アクチュエータを使用して機械的に傾斜させた平面鏡を使用してもよい。より優雅で単純な方法は、曲率半径 R および横方向位置 x を有する凹面鏡または凸面鏡を使用することである。湾曲したミラーの局所的な高さ z は、下式によって記述される。

【数 3 5】

$$z = \frac{x^2}{2R}$$

【0101】

表面の局所的な傾斜は、横方向位置 x とともに線形に拡大縮小する。

20

【数 3 6】

$$\begin{aligned} \theta &\cong \frac{dz}{dx} \\ &= \frac{x}{R} \end{aligned}$$

30

したがって、基板テーブル上の凸または凹球面アルミニウム基準により、校正が単純なものになる。基準を検出器の下の適切な位置へと移動することによって、適切な傾斜が単純に達成されるからである。本発明の実施形態は、基板との共役面に環状強度分布を有する放射線ビームを使用する。環状強度分布を生成するために、放射線ソースは機械的ブレード、空間光変調器または空間コヒーレンス広帯域レーザおよびズームアキシコン（つまりレーザ光のリングを生成する）を有してよい。環状放射線ビームは、小さい照明を有することが好ましい。

【0102】

環状放射線を実現することは、例えばブレードを挿入するより有利である。というのは、ほぼ全ての光子を「使用」するので、光の損失がないからである。これは、UVまたはDUVのような光源を使用する場合、特に重要である。というのは、光子がより豊富な光源より放出する量が少なく、したがってこれらの光子を多数失うと、より目立つからである。特に、これは信号収集において顕著である。リソグラフィのツールは、光の強度が低下すると、特定量の遅延を被るからである。環状光源は、ブレードと異なり内部反射を引き起こさないというさらなる利点を有する。内部反射は、光のアーティファクトを回避するために遮断する必要がある。言うまでもなく、同じ利点を提供する四重極照明のような他の照明技術を使用してもよい。

40

【0103】

環状放射線の環は、レンズのNAが高い瞳面に配置することが理想的である。しかし、瞳面は、直接にアクセス可能でなく、実際には環はスキャッタメータの照明ブランチにあ

50

る瞳面の背面投影像に配置される。環状照明の利点は、 λ/NA のオーダーという小さいピッチの格子の ± 1 回折次数の強度を、別個に測定できることである。

【0104】

この実施形態は、放射線ビームに成形した隠蔽部を配置し、基板傾斜の変動によって引き起こされる基板上の成形隠蔽部の幅および形状の変化を検出することによって、基板傾斜の変動を計算するために使用することができる。成形した隠蔽部は、例えば図9 aおよび図9 bで示すようなクロスヘアなどでよい。言うまでもなく、これは任意の他の形状でよく、瞳面の中心にある必要はない。

【0105】

ウェハの傾斜を測定するという概念は、ウェハ面の傾斜が瞳面にシフトを引き起こすという基本的関係に基づく。この実施形態では、クロスヘア状の隠蔽物を照明ビームの中心に配置する。これは図9 aで示すように瞳面における散乱光に黒いクロスヘアを生成する。

10

【0106】

このクロスの位置は、基板の傾斜が変化すると変動する。その結果、(ゼロの傾斜における)このパターンと、未知の傾斜における実際の測定値との間の差を測定して、図9 bで示すような像を取得することができる。基板の傾斜が小さいと、光の環に有意の形状変化が引き起こされないが、瞳面の像のシフトを引き起こす。このシフトは概ね小さく、0.1ピクセルのオーダーである。このような小さいシフトを検出できるようにするために、ピクセル間の値を、例えば曲線の当てはめによって補間することができる。環の縁部で生じる暗明遷移を通して曲線を当てはめることにより、環のピクセルより小さい変位を測定することができる。

20

【0107】

これらの遷移の幅および記号を使用して、基板の傾斜を2次元で計算し、補正することができる。この方法で、基板を一定の(ゼロ)傾斜で測定することができる。

【0108】

図10は、基板との共役面に環状強度分布がある放射線を使用して検出した、ピッチが小さい格子の回折次数を示す。環状強度分布を使用すると、図10で示すような像の形状が可能になり、それによって基板の傾斜をより明瞭かつより厳密に測定することができる。0とラベルされた像は、検出器に描像された状態で、中心のゼロ次数の回折次数である。-1、-1、1および2とラベルされた像は、より高い回折次数である。このような高い方の回折次数は、それより低い回折次数に対してシフトし、したがって分離した1次元および2次元形体のオーバーレイ計測の測定が容易になる。

30

【0109】

計算時間を上げるために、特に滑らかな変動が予想される場合に、瞳面の各位置でシミュレーションした信号を計算する必要がない場合がある。このような場合は、粗い格子を測定し、ピクセル補間技術を使用して、瞳面における全体的形状を補間することができる。環状ビームは、この場合にもさらに有利である。1次回折からの光しか受け取らない区域が瞳面にあるからである。例えば、ブロックビームを使用すると、瞳面の各ポイントがゼロ次またはゼロ次と1次との組み合わせから光を受け取り、瞳面における測定に誤差を引き起こす。

40

【0110】

スキャッタメータを使用する通常の測定は、1枚の基板上にある1つの目標の特性を一度に1つの極性で測定することを含む。これは、スキャッタメータ測定を通して、および場合によっては露光ステップを通して基板のスループットを制限する。本発明の実施形態は、複数の照明スポットを基板に投影する照明ソースを使用する。スキャッタメータの検出器は、基板の表面から反射した複数の照明スポットの角度分解スペクトルを同時に検出する。複数の照明スポットは、2つの直角に偏向した照明スポットを生成するウォラストンプリズムまたは二重照明ファイバを使用して生成することができる。

【0111】

50

図 1 1 は、スキャッタメータのハードウェアの一部を示す。2つの照明スポット 7 0 が、ビーム分割器 5 0 内で分割されてから、瞳面 4 0 に位置決めされた開口数の高い対物レンズを通して基板 6 へと伝達される。反射ビームは、2つの楔 6 2 を通して上方向へ伝達され、これは瞳面の2つの角度分解スペクトルを分離し、楔自体は、中間像面に位置決めされている。次に、照明ビームは、図 1 1 の頂部で再描像された瞳面 4 0 上の CCD によって検出される。これによって、2つ、またはそれ以上の平行測定が実行される。例えば、1つの極性で水平および垂直の線、または TE および TM 極性両方の水平と垂直の線両方の場合もある。

【 0 1 1 2 】

本発明の実施形態は、スキャッタメータを楕円偏光計に変換する。それを実行するために、照明ブランチはさらに、放射線ビームを直線偏光するように構成された第一偏光器と、放射線ビームを2つの直交成分 (E_{TE} 、 E_{TH}) に分割するように構成されたビーム分割器と、散乱ビームを偏光するように構成された第二偏光器と、第一偏光器と第二偏光器との間に位置決めされた可変補償板 (ポッケルスセル、ウォラストンプリズム対またはバビネ・ソレイユ補償板) とを含み、可変補償板は、直角に偏光した成分間の (および任意選択でビーム分割器と開口数が高いレンズとの間の) 光路を変動させるように構成され、さらに、その結果生じるビーム成分の正弦強度変動を検出する2次元検出器を含む。補償板は、スキャッタメータの主要照明ブランチで最も一般的であるが、言うまでもなく第二照明ブランチにあってもよい。

【 0 1 1 3 】

相補形金属酸化膜半導体 (CMOS) のような2次元検出器は、高いフレーム率を有し、つまり1秒につき1000フレームの領域にある。

【 0 1 1 4 】

図 1 2 は、角度分解した分光器の概念を角度分解した分光楕円偏光計に変換する方法を示す。2つの波長 λ_1 および λ_2 を有する照明ビームを、45°偏光器 7 2 に透過させ、基板 6 で反射して、可変補償板 7 4 を透過させてから、再び偏光する。ビーム分割器と可変補償板 7 4 との間で、照明ビームは、TE 偏光ビームと TM 偏光ビームとの間に位相差がある2本のビームに分割される。図 1 2 の格子 3 6 は2次元検出器アレイ、およびこのアレイの1つのピクセルにおける時間依存の強度変動を示す。他のピクセルは同等の変動を示す。ビームを、2つの帯域フィルタ 7 6 に通して、 λ_1 および λ_2 の照明プロフィールを獲得する。その結果生じた楕円偏光計のパラメータの $\cos(\)$ 、 $\sin(\)$ および $\tan(\)$ は、内部センサの散乱からほぼ影響されず、したがって信号対雑音比を改善することができる。動作をジョーンズベクトルおよび以下の行列でモデル化するが、これはミュラー行列を使用してモデル化することもでき、それによって光学構成要素の欠陥を数学モデルに含むことができる。

【 0 1 1 5 】

第一偏光器の後の照明フィールドは、45°偏光し、ジョーンズベクトルによって記述される。

【 数 3 7 】

$$E_{inc} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

【 0 1 1 6 】

基底ベクトルは、サンプル上の目標に入射する TE および TM 偏光に対応する。サンプルから反射する動作により、散乱した TE および TM 成分の振幅および位相が変化する。これは、ジョーンズ行列によって表すことができる。

10

20

30

40

【数 3 8】

$$J_{sample} = \begin{bmatrix} R_{TE} & 0 \\ 0 & R_{TM} e^{j\Delta} \end{bmatrix}$$

ここで、 Δ は散乱したフィールドの TE 成分と TM 成分との位相差であり、 R_{TE} および R_{TM} は、それぞれ散乱した TE フィールドおよび TM フィールドの振幅である。

【0 1 1 7】

10

これらのパラメータは、入射角および波長の関数である。NA が高いレンズおよびビーム分割器によって導入された位相および振幅の変動を無視すると、補償板上の入射フィールドについて下式が得られる。

【数 3 9】

$$\begin{aligned} E_{c_in} &= J_{sample} E_{inc} \\ &= \begin{bmatrix} R_{TE} \\ R_{TM} e^{j\Delta} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

20

【0 1 1 8】

補償板は、TE 成分と TM 成分の間に、時間で変動する光路差 (OPD) の変動を導入する。光の波長が λ である場合、補償板のジョーンズ行列について下式が得られる。

【数 4 0】

$$J_{comp} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{j2\pi \frac{OPD(t)}{\lambda}} \end{bmatrix}$$

30

したがって、補償板の後のフィールドは下式である。

【数 4 1】

$$\begin{aligned} E_{c_out} &= J_{comp} E_{c_in} \\ &= \begin{bmatrix} R_{TE} \\ R_{TM} e^{j\left(\Delta + 2\pi \frac{OPD(t)}{\lambda}\right)} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

【0 1 1 9】

40

偏光器は 45° に配向され、下式のジョーンズ行列を有する。

【数 4 2】

$$J_{pol} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

したがって、偏光板の後のフィールドは下式である。

【数 4 3】

$$E_{pol_out} = J_{pol} E_{c_out}$$

$$= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} R_{TE} + R_{TM} e^{j\left(\Delta + 2\pi \frac{OPD(t)}{\lambda}\right)} \\ R_{TE} + R_{TM} e^{j\left(\Delta + 2\pi \frac{OPD(t)}{\lambda}\right)} \end{bmatrix}$$

【0 1 2 0】

10

検出器アレイへの入射強度は下式の通りである。

【数 4 4】

$$I_d = E_{pol_out}^T \cdot E_{pol_out}^*$$

$$= \frac{1}{2} \left[R_{TE}^2 + R_{TM}^2 + 2R_{TE}R_{TM} \cos\left(\Delta + 2\pi \frac{OPD(t)}{\lambda}\right) \right]$$

【0 1 2 1】

OPDが測定時間の間隔にわたって直線的に増加すると、下式の通りになる。

20

OPD = K t

【0 1 2 2】

これは、時間高調波強度変化を生成する。

【数 4 5】

$$I_d = \frac{1}{2} \left[R_{TE}^2 + R_{TM}^2 + 2R_{TE}R_{TM} \cos(\Delta + \Omega t) \right]$$

ここで、

30

【数 4 6】

$$\Omega = 2\pi \frac{K}{\lambda}$$

である。

【0 1 2 3】

強度変化のコントラストは、楕円偏光計のパラメータの $\tan(\quad)$ と直接関係し、サインソイド変化の位相は、楕円偏光計のパラメータ $\cos(\quad)$ および $\sin(\quad)$ を直接生成する。標準的な楕円偏光計スキャタメータでは、 $\tan(\quad)$ および $\cos(\quad)$ は、プロフィール情報を取得するために測定し、シミュレーションする信号である。その場合、 $\tan(\quad)$ および $\cos(\quad)$ は、波長の関数として記録される。本発明では、 $\tan(\quad)$ および $\cos(\quad)$ が、瞳面における位置の関数として取得され、同様の分析に使用することができる。特に、楕円偏光計のパラメータを使用して、逆散乱の問題を解決することによって層の厚さを測定する。つまり、測定したパラメータをモデル化したパラメータと比較し、測定したパラメータとモデル化したパラメータとの二乗平均差（または他の適切な測定基準）を最小にすることによって、スタックパラメータを求める。

40

【0 1 2 4】

変化の周波数は波長に依存するので、様々な波長を帯域フィルタで分離することができ

50

る。これは、例えば離散的フーリエ変換技術などの信号処理によって容易に実現することができる。

【0125】

補償板を照明ブランチに配置することもできる。さらに、ビーム分割器と開口数が高い対物レンズとの間にも配置することができる。これは、OPDの変化が2倍になるという利点を有する。

【0126】

2次元検出器は、この概念の枢要部分であり、十分に短い測定時間を確保するためには、高いフレーム率でなければならない。CMOS検出器は、例えば毎秒1000フレームのように非常に高いフレーム率を達成することができる。

10

【0127】

上記のパラグラフ30から59で記載したような測定オーバーレイは、大きいオーバーレイのエラー、特に格子ピッチの整数倍に等しいオーバーレイのエラーを測定することができない。格子ピッチより小さいオーバーレイのエラーを検出する能力は、オーバーレイのエラーがある場合に役に立たないことが明白である。つまり、格子の線が相互に並ぶが、格子の数ピッチの幅だけシフトする。

【0128】

したがって、本発明の実施形態は、例えば格子のオーバーレイエラーが実際に格子のピッチより大きいか否かなど、粗いエラーが存在するか否かを判断する粗いオーバーレイ測定を実行するために、スキヤッタメータに既に存在する（および上記で検討した）第二検出器ブランチを使用する。粗いオーバーレイ測定は、描像に基づく技術であり、第二カメラが2つの重なる格子の像を見て、基板上にあるマーカの縁部の位置を比較することによって大きい変位があるか判断する。完全なオーバーレイは、完璧に位置合わせされたマーカの縁部を有する。パターン認識アルゴリズムを使用して、プロセス層の格子の縁部およびレジスト層の格子の縁部を求める。この測定は、格子対の4辺または4隅で実行する。測定した縁部位置を使用して、プロセス層の格子の位置に対するレジスト格子の位置を計算する。

20

【0129】

スキヤッタメータ自体は、複数の格子ピッチに等しいオーバーレイを測定できないという事実は、基本的な制限となる。測定原理が、格子ピッチとともに周期的に変化する格子結合に基づくからである。つまり、ゼロのオーバーレイとピッチに等しいオーバーレイとは、同一の結果を生じる。

30

【0130】

本発明のスキヤッタメータによって、非常に単純な解が可能になる。スキヤッタメータは、基板表面をCCDカメラに描像する別個の描像ブランチを有する。この第二カメラブランチは、位置合わせおよびパターン認識ステップを通して基板の位置を測定するために必要である。第二ブランチを図13で概略的に示す。

【0131】

瞳面40の測定（実際の角度分解測定）は、オブジェクト面42で目標の充填が不足する照明ソースを必要とする（つまり、測定スポットが測定目標より小さい）。瞳面描像照明ビームを、図13の実線で示す。この場合、目標の一部しか測定されず、目標区域の外側にある構造は照明されない。測定スポットが測定目標を満たすか、過剰に満たす場合、測定信号は目標を囲む区域によって妨害され、データの解釈および信号の分析が不必要に複雑になる。

40

【0132】

これに対して、像平面の測定は、位置合わせを検出するために、目標を過剰に満たさなければならない。目標の外形を含めて完全な瞳面をサンプリングしなければならないからである。像平面測定のための光線を点線で示す。オブジェクト面の像は、第一CCDカメラ80上に形成され、瞳面の像は、第二CCDカメラ82上に形成される。

【0133】

図14は、ゼロオーバーレイのオーバーレイ目標（左手の図）、および格子ピッチの2倍に

50

等しいXオーバレイ(右手の図)で可能な一例を示す。瞳面の測定は、両方の状況で同じゼロというオーバレイ測定値を生成することになり、信頼できない測定となる。しかし、像平面の測定は、この2つの状況を明瞭に識別することができる。この方法で、堅牢な2ステージの計測体系を以下のように実行することができる。

(1) 2回の像平面測定を実行して、大きいオーバレイエラーが存在しないことを検証する。

(2) 以前の測定により、オーバレイが約200nmより小さいことが示されれば、瞳面の測定を実行する。

200nmの基準は指示的な例である。任意の賢明な閾値にすることができる。像平面CCDが1000×1000個のピクセルを有し、基板レベルでピクセルのピッチが100nmであると仮定すると、視野は合計で100×100 μm^2 となり、これはパターン認識および位置合わせには十分であるが、それでも20~50nmのオーダーの正確さで粗いオーバレイ測定が可能になる。

【0134】

粗いオーバレイは、アラインメントマーカ全体がCCDから見える場合のみ測定することができる。例えば、マーカの中心部分しか見えない場合、基板テーブルをマーカの縁部へと移動して、粗いオーバレイの測定を可能にしなければならない。それには、テーブルの追加的動作が必要であり、そのため測定プロセスが遅くなる。視野が大きくなると、第二カメラが瞳面上の像を自由に捕捉し、詳細なオーバレイの情報を獲得する間、1「ストローク」でマーカを捕捉し、粗い測定を迅速に実行することができる。

【0135】

該当する像の捕捉に必要である視野は、縁部の事前位置合わせの結果、および露光ツールでの粗いウェハ位置合わせを使用すると、さらに縮小することができる。これらのデータで、オーバレイ計測モジュールでの縁部の事前位置合わせが完了した後に、 μm の正確さで基板上的マーカの位置を予測することが可能である。

【0136】

本発明の実施形態は、CD計測のために格子または他の周期的構造の上に配置構成されたスキヤットメータを使用して、オーバレイのエラーばかりでなく、損傷した格子も検出する。スキヤットメータは通常、鏡面光、つまり格子から直接反射した最低次数の光を検出する。格子の局所的歪みは、格子の周期性を破壊し、その結果、非鏡面方向に散乱することになる。スキヤットメータは、その鏡面方向の外側にある様々な角度で、散乱したビームの角度分解スペクトルを検出するために使用することができる。正確さを向上させ、像をさらに読み取りやすくするために、環状強度分布がある放射線、または小さい照明を使用することができる。

【0137】

本発明の実施形態は、浸漬リソグラフィ装置の気泡欠陥を検出するために使用することができ、上記で検討したように、投影システムと基板との間に液体が導入される。以前は、気泡欠陥はオフラインの欠陥検出ツールを使用して測定されていた。オフラインのツールは、結果を生成するためにオンラインのツールより時間がかかる。基板を生産ラインから取り出して、待ち行列に入れねばならないからである。液体中の気泡は、基板に表面欠陥を引き起こし、これは表面を光に曝露すると、光の散乱を引き起こす。この散乱放射線は、本発明のスキヤットメータを使用して測定され、散乱の原因が気泡欠陥に逆に外挿される。

【0138】

以上、本発明の特定の実施形態を説明してきたが、説明とは異なる方法でも本発明を実践できることが理解される。本説明は本発明を制限する意図ではない。詳細に記載した実施形態は、一般的な動作原理を拡大したものであり、必ずしも相互に排他的ではなく、1つの計測ツール内に全てを組み合わせて、上述したような検出器で見られる結果に基づいて、有効性を向上させることができる。さらに、本明細書に記載した実施形態は、リソグラフィの用途に関するが、ハードウェアおよび用途はそれに制限されない。これは、エッ

10

20

30

40

50

チングプロセスのステップなどの監視のような他の用途に使用してもよい。

【図面の簡単な説明】

【0139】

【図1】本発明の実施形態による方法の実行に使用するリソグラフィ投影装置を示したものである。

【図2】スキヤッタメータを示したものである。

【図3】本発明の実施形態により、レンズのNAが高い瞳面で角度分解したスペクトルを測定することの一般的動作原理を示したものである。

【図4】図4aおよび図4bは、オーバレイを決定する際に本発明の実施形態を使用することを示したものである。

【図5】本発明の実施形態により、放射線ビームの一部を分離する非分極性ビーム分割器の使用を示したものである。

【図6】本発明の実施形態による波長マルチプレクサを示したものである。

【図7】本発明の実施形態による波長デマルチプレクサを示したものである。

【図8】本発明の実施形態による中間オブジェクト面のナイフエッジを示したものである。

【図9】図9aおよび図9bは、本発明の実施形態による検査ビームの成形隠蔽部を示したものである。

【図10】本発明の実施形態による散乱スペクトルの異なる回折次数の検出像を示したものである。

【図11】本発明の実施形態により2つの照明スポットを有するスキヤッタメータを示したものである。

【図12】本発明の実施形態による楕円偏光計を示したものである。

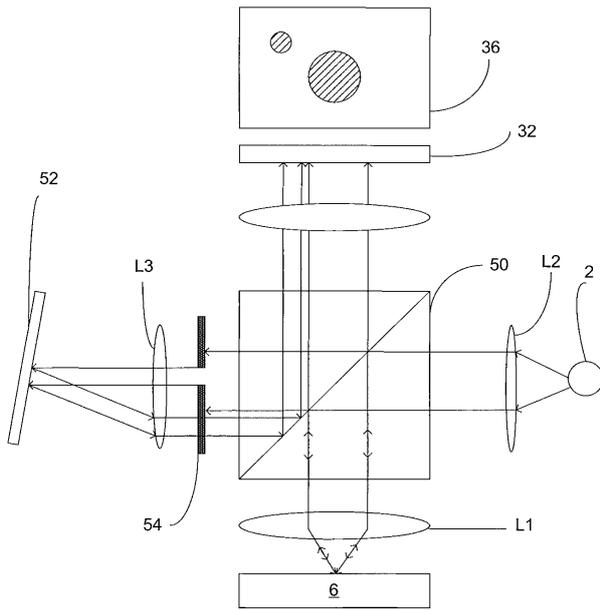
【図13】本発明の実施形態により瞳面および像面で像を検出するスキヤッタメータを示したものである。

【図14】格子のピッチの2倍の格子オーバレイを示したものである。

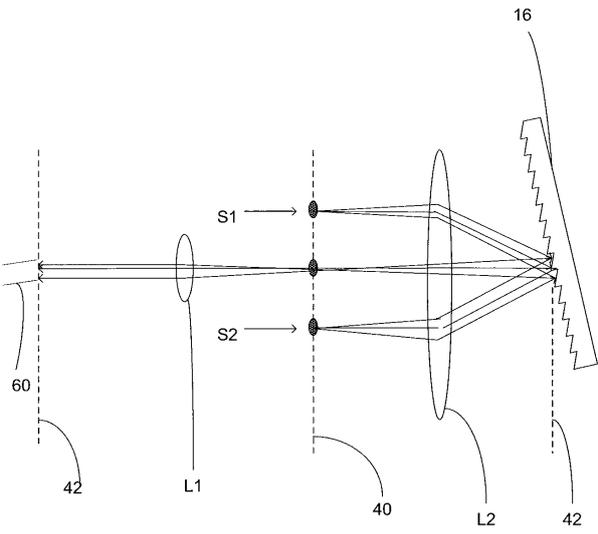
10

20

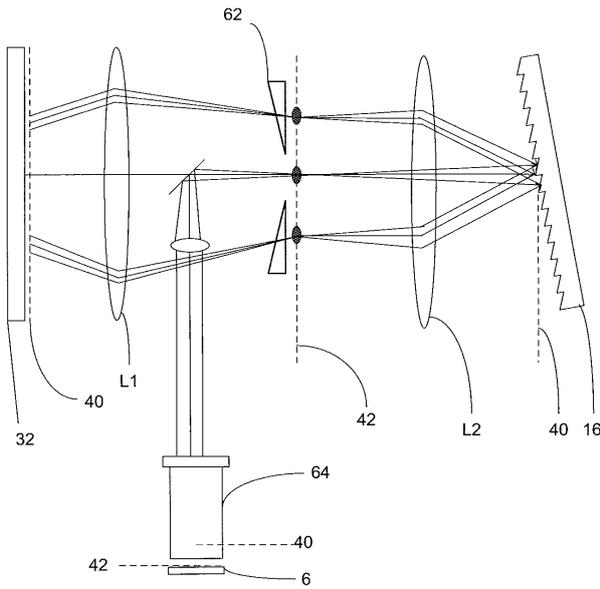
【 図 5 】



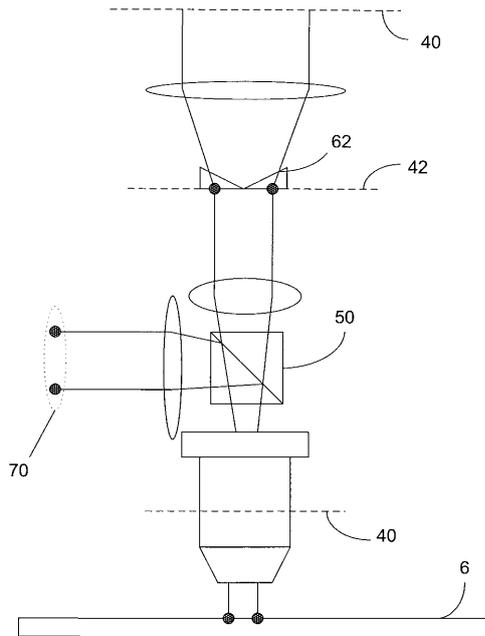
【 図 6 】



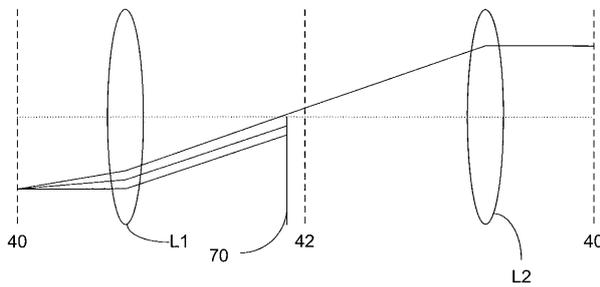
【 図 7 】



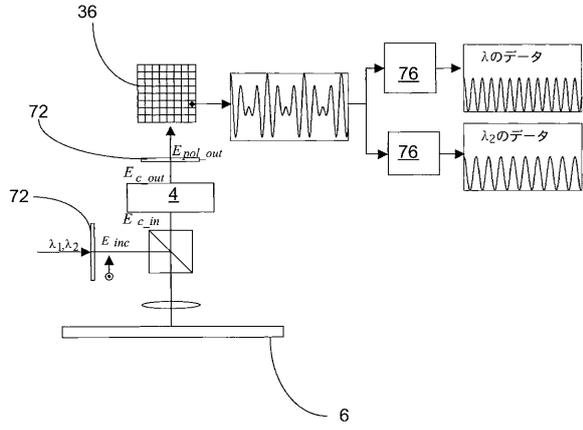
【 図 1 1 】



【 図 8 】

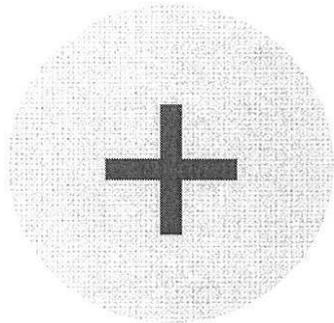


【 図 12 】

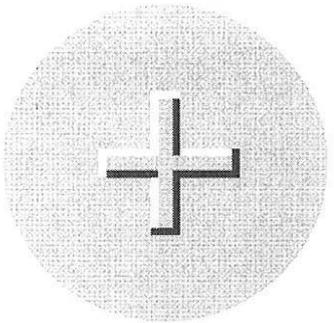


【 図 9 】

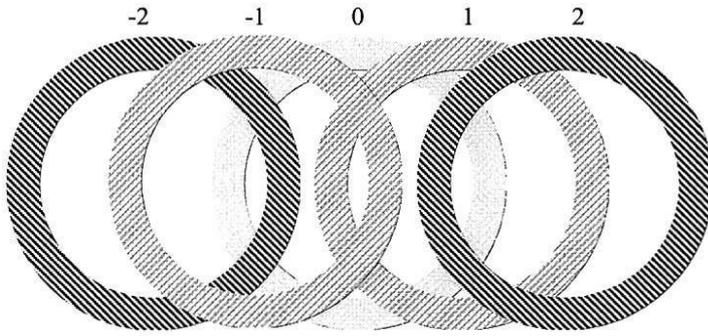
a



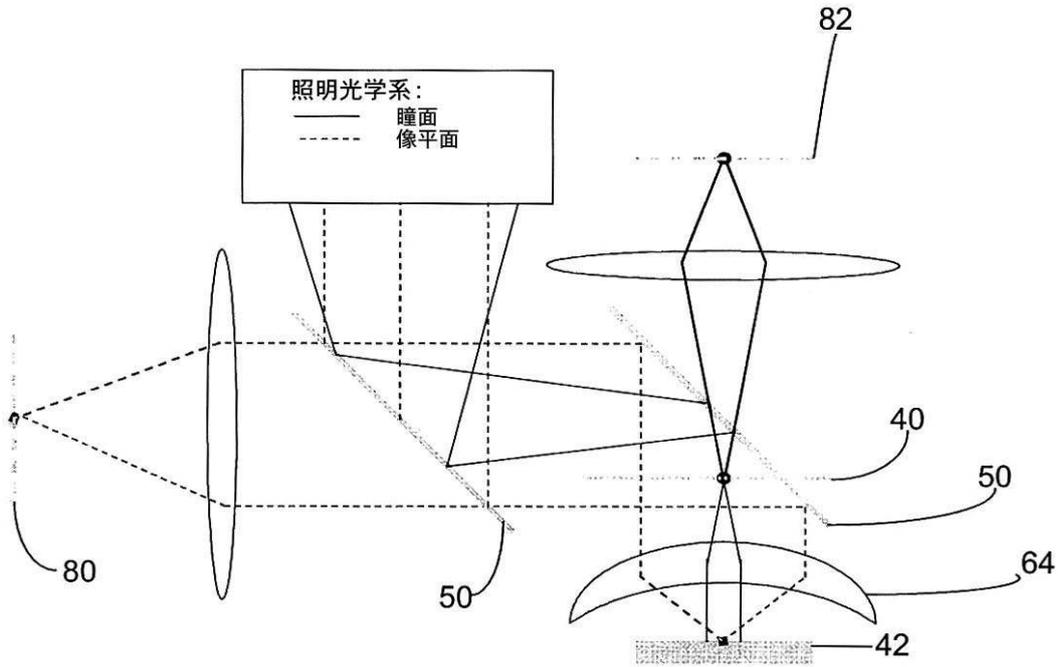
b



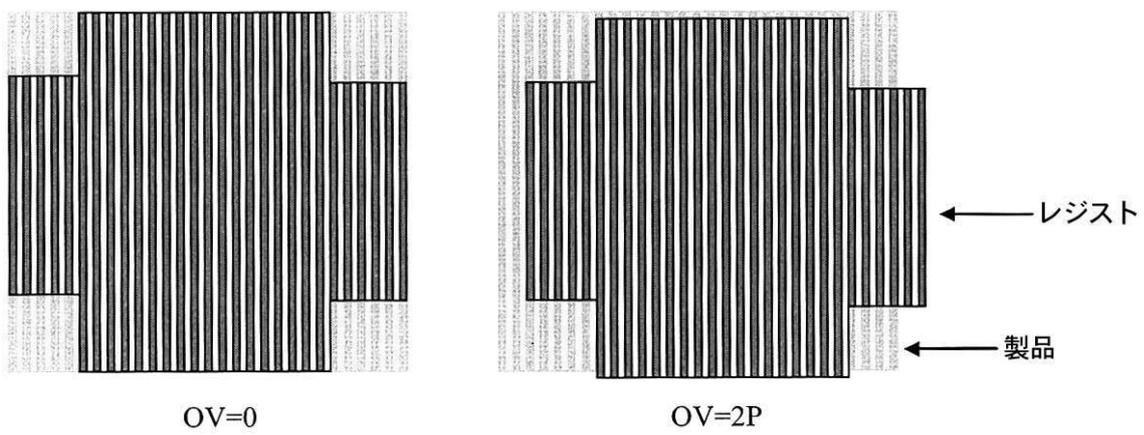
【図10】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

- (72)発明者 アルノ ヤン ブレーケル
オランダ国、ヴェシュテルホーフェン、シュテーフフェンス 67
- (72)発明者 ユーリ ヨハネス ローレンティウス マリア ファン ドムメレン
オランダ国、アイントフェーフフェン、メンシンゲ 7
- (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 アベニュー 1645
- (72)発明者 アントワーン ガストン マリー キース
オランダ国、フェルトホーフフェン、ライ 53
- (72)発明者 ポール フランク ルエルマン
アメリカ合衆国、ニュー メキシコ、サンタ フェ、 エヌ . グアダルーベ ストリート 223
、ピーエムビー ナンバー294
- (72)発明者 ヘンリクス ベトルス マリア ペレマンス
オランダ国、フェルトホーフフェン、デ プルイケンメーカー 20
- (72)発明者 マウリツ ファン デル シアール
オランダ国、フェルトホーフフェン、シェペルハイ 24
- (72)発明者 セドリック デザイア グロウヴシュトラ
オランダ国、アイントホーフフェン、フクシアシュトラート 6
- (72)発明者 マルクス ゲラルデウス マルティヌス ファン クラーイ
オランダ国、ミーロー、ヘール デックピールヴェク 28

審査官 新井 重雄

- (56)参考文献 特表平09 - 504861 (JP, A)
米国特許第06772084 (US, B1)
特開2000 - 097841 (JP, A)
特開平01 - 303721 (JP, A)
特開2003 - 224057 (JP, A)
米国特許出願公開第2005 / 0195412 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027
G01N 21/956
G03F 7/20