

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4701030号
(P4701030)

(45) 発行日 平成23年6月15日 (2011. 6. 15)

(24) 登録日 平成23年3月11日 (2011. 3. 11)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006. 01)

H O 1 L 21/30 5 1 5 D

G O 3 F 7/20 (2006. 01)

H O 1 L 21/30 5 1 4 Z

G O 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 13 (全 39 頁)

(21) 出願番号 特願2005-212254 (P2005-212254)
 (22) 出願日 平成17年7月22日 (2005. 7. 22)
 (65) 公開番号 特開2007-35671 (P2007-35671A)
 (43) 公開日 平成19年2月8日 (2007. 2. 8)
 審査請求日 平成20年7月22日 (2008. 7. 22)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100110412
 弁理士 藤元 亮輔
 (72) 発明者 高橋 和弘
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 (72) 発明者 三上 晃司
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 (72) 発明者 河野 道生
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 露光装置、露光パラメータを設定する設定方法、露光方法、デバイス製造方法及びプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源からの光を用いてレチクルのパターンを被露光体に露光する露光装置において、
前記光を導く光学系と、
前記光学系を通過した前記光の偏光状態と基準の偏光状態とのずれを計測する計測部と

、
前記計測部によって計測された前記偏光状態のずれに基づいて、偏光に関するパラメータを除く前記光源の露光パラメータ及び前記光学系の露光パラメータのうち少なくとも一の露光パラメータを制御する制御部とを有し、

前記偏光状態は、前記光学系の光軸に垂直な互いに直交する二方向の偏光強度、偏光強度比、偏光度及び位相差の少なくとも一を含むことを特徴とする露光装置。

10

【請求項 2】

前記制御部は、別の露光装置に対して前記レチクルのパターンを解像するために前記パターンの大きさ又は形状が部分的に変更されている場合に前記パターンの変更情報に更に基づいて、前記露光パラメータを制御することを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

【請求項 3】

前記光学系は、前記レチクルを照明する照明光学系と、前記パターンを前記被露光体に投影する投影光学系とを有し、

前記露光パラメータは、前記光の波長幅、有効光源形状及び当該有効光源の輝度分布、前記照明光学系から射出される前記光の傾き、前記投影光学系の開口数、瞳透過率分布及

20

び収差の少なくとも一を含むことを特徴とする請求項 1 記載の露光装置。

【請求項 4】

光源からの光と光学系を用いてレチクルのパターンを被露光体に露光する際の露光パラメータを設定する設定方法であって、

前記光学系を通過した前記光の偏光状態と基準の偏光状態とのずれを取得するステップと、

前記取得された前記偏光状態のずれに基づいて、偏光に関するパラメータを除く前記光源の露光パラメータ及び前記光学系の露光パラメータのうち少なくとも 1 つを設定する設定ステップとを有し、

前記偏光状態は、前記光学系の光軸に垂直な互いに直交する二方向の偏光強度、偏光強度比、偏光度及び位相差の少なくとも一を含むことを特徴とする設定方法。

10

【請求項 5】

前記光学系は、前記レチクルを照明する照明光学系と、前記パターンを前記被露光体に投影する投影光学系とを有し、

前記露光パラメータは、前記光の波長幅、有効光源形状及び当該有効光源の輝度分布、前記照明光学系から射出される前記光の傾き、前記投影光学系の開口数、瞳透過率分布及び収差の少なくとも一を含むことを特徴とする請求項 4 記載の設定方法。

【請求項 6】

前記光学系は、前記レチクルを照明する照明光学系を有し、

前記設定ステップは、実際の偏光度の像高間の差が許容可能ではない場合に、積算露光量及び像高毎の前記照明光学系から射出される前記光の傾きの少なくとも一を含む露光パラメータを変更するステップを有することを特徴とする請求項 4 記載の設定方法。

20

【請求項 7】

前記光学系は、前記パターンを前記被露光体に投影する投影光学系を有し、

前記設定ステップは、前記投影光学系の複屈折及び瞳透過率の少なくとも 1 つが許容範囲ではない場合に、前記投影光学系の収差及び瞳透過率の少なくとも一を含む露光パラメータを変更するステップを有することを特徴とする請求項 4 記載の設定方法。

【請求項 8】

前記取得ステップは、

前記光学系の照明分布、収差分布、偏光分布及び瞳透過率分布に関する情報を含む特性情報を取得するステップと、

30

前記レチクルのパターンの情報を取得するステップとを有し、

前記設定方法は、前記特性情報と前記パターンの情報に基づいて前記パターンの結像状態のシミュレーションを行うステップを更に有し、

前記設定ステップは、前記シミュレーション結果に基づいて、前記光源の露光パラメータ、前記光学系の露光パラメータ、前記パターンの大きさ及び前記パターンの形状のうち少なくとも 1 つを設定することを特徴とする請求項 4 記載の設定方法。

【請求項 9】

前記取得ステップでは、偏光状態として露光スリット内の平均偏光度を取得し、

前記設定ステップでは、露光スリット内の平均偏光度に基づいて前記露光パラメータを設定することを特徴とする請求項 4 記載の設定方法。

40

【請求項 10】

前記取得ステップでは、偏光状態の露光スリット内の像高分布を取得し、

前記設定ステップでは、偏光状態の露光スリット内の像高分布に基づいて前記露光パラメータを設定することを特徴とする請求項 4 に記載の設定方法。

【請求項 11】

光源からの光を用いてレチクルのパターンを被露光体に露光する露光方法において、

請求項 4 乃至 10 のうちいずれか一項に記載の設定方法を用いて露光パラメータを設定するステップと、

前記設定された露光パラメータを用いて前記レチクルのパターンを前記被露光体に露光

50

するステップとを有することを特徴とする露光方法。

【請求項 1 2】

請求項 1 1 に記載の露光方法を用いて被露光体を露光するステップと、
前記露光された被露光体を現像するステップと、
前記現像された被露光体からデバイスを形成するステップとを有することを特徴とする
デバイス製造方法。

【請求項 1 3】

光源からの光と光学系を用いてレチクルのパターンを被露光体に露光する際の露光パラ
メータの設定をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、

前記光学系を通過した前記光の偏光状態と基準の偏光状態とのずれを取得するステップ
と、

前記取得された前記偏光状態のずれに基づいて、偏光に関するパラメータを除く前記光
源の露光パラメータ及び前記光学系の露光パラメータのうち少なくとも 1 つを設定する設
定ステップとを、

前記プログラムに実行させ、

前記偏光状態は、前記光学系の光軸に垂直な互いに直交する二方向の偏光強度、偏光強
度比、偏光度及び位相差の少なくとも一を含むことを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般には露光装置及び方法に係り、特に、露光装置の露光条件及びレチクル
(マスク) パターンの最適化に関する。本発明は、例えば、投影光学系の開口数が 0.8
以上である露光装置における露光条件及びレチクルパターンの最適化に好適である。

【背景技術】

【0002】

レチクルパターンを投影光学系によってウェハ等に露光する投影露光装置は従来から使
用されており、露光装置には解像性の向上が益々要求されている。高解像度を得るため
には投影光学系の開口数 (NA) を増加することは有効であるが、露光条件やレチクルパ
ターンの最適化も重要である。レチクルパターンの最適化は、例えば、光学近接補正 (O
p t i c a l P r o x i m i t y C o r r e c t i o n : O P C) により行われる。また
、効率的な最適化のために現実に露光せずにシミュレーション又はシミュレータを用いる
ことは知られている (例えば、特許文献 1 乃至 5 を参照のこと)。

【0003】

高解像度化のために高 NA 化が進むにつれて、結像性能への偏光の影響が無視できな
くなる。特に、近年提案されている液浸露光においては、光の偏光方向によって結像し
ない条件も存在する。このため、露光光の偏光制御を行う試みもなされている (例えば、
特許文献 1 参照)。

【特許文献 1】特開 2002 - 319539 号公報

【特許文献 2】特開 2002 - 324752 号公報

【特許文献 3】特開平 06 - 120119 号公報

【特許文献 4】特開平 08 - 335552 号公報

【特許文献 5】特開 2002 - 184688 号公報

【非特許文献 1】P r o c e e d i n g s o f S P I E、V o l u m e 5377
(2004) p p . 68

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、従来の露光条件やレチクルパターンの最適化手法では、特に、高 NA におい
て、所定の転写性能が得られなくなってきた。本発明者らは、かかる問題の原因を鋭意検
討した結果、従来の最適化手法は、光学系が偏光によって影響を受ける特性 (以下、「偏光特

10

20

30

40

50

性」という。また、偏光特性に関する情報を「偏光情報」という場合もある。)を考慮していないことを発見した。

【0005】

即ち、実際の光学系の偏光特性は硝材複屈折や瞳内分布によって設定された偏光特性からずれてしまう。そして、高NAにおいては、かかるずれの影響が無視できなくなってきた。かかる特性としては、例えば、光学系を通過する光の偏光状態や投影光学系の瞳透過率分布がある。後者は、高NAにより光学素子やその表面に施されている反射防止膜の透過率が異なることに依存する。また、所望の偏光特性からのずれがあった場合にそれをどのように補正すればよいかについても知られていない。この結果、所期の解像性能が得られないという問題が発生する。

10

【0006】

そこで、本発明は、解像性能が良好な露光方法及び装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一側面としての露光装置は、光源からの光を用いてレチクルのパターンを被露光体に露光する露光装置において、前記光を導く光学系と、前記光学系を通過した前記光の偏光状態と基準の偏光状態とのずれを計測する計測部と、前記計測部によって計測された前記偏光状態のずれに基づいて、偏光に関するパラメータを除く前記光源の露光パラメータ及び前記光学系の露光パラメータのうち少なくとも一の露光パラメータを制御する制御部とを有し、前記偏光状態は、前記光学系の光軸に垂直な互いに直交する二方向の偏光強度、偏光強度比、偏光度及び位相差の少なくとも一を含むことを特徴とする。

20

【0008】

本発明の一側面としての設定方法は、光源からの光と光学系を用いてレチクルのパターンを被露光体に露光する際の露光パラメータを設定する設定方法であって、前記光学系を通過した前記光の偏光状態と基準の偏光状態とのずれを取得するステップと、前記取得された前記偏光状態のずれに基づいて、偏光に関するパラメータを除く前記光源の露光パラメータ及び前記光学系の露光パラメータのうち少なくとも1つを設定する設定ステップとを有し、前記偏光状態は、前記光学系の光軸に垂直な互いに直交する二方向の偏光強度、偏光強度比、偏光度及び位相差の少なくとも一を含むことを特徴とする。上記設定方法を用いた露光方法及び該露光方法を用いたデバイス製造方法も本発明の一側面を構成する。

30

本発明の一側面としてのプログラムは、光源からの光と光学系を用いてレチクルのパターンを被露光体に露光する際の露光パラメータの設定をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、前記光学系を通過した前記光の偏光状態と基準の偏光状態とのずれを取得するステップと、前記取得された前記偏光状態のずれに基づいて、偏光に関するパラメータを除く前記光源の露光パラメータ及び前記光学系の露光パラメータのうち少なくとも1つを設定する設定ステップとを、前記プログラムに実行させ、前記偏光状態は、前記光学系の光軸に垂直な互いに直交する二方向の偏光強度、偏光強度比、偏光度及び位相差の少なくとも一を含むことを特徴とする。

【0009】

上述の露光装置を用いて被露光体を露光するステップと、前記露光された前記被露光体を現像するステップとを有するデバイス製造方法も本発明の別の側面を構成する。デバイス製造方法の請求項は、中間及び最終結果物であるデバイス自体にもその効力が及ぶ。また、かかるデバイスは、LSIやVLSIなどの半導体チップ、CCD、LCD、磁気センサー、薄膜磁気ヘッドなどを含む。

40

【0010】

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

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、解像性能が良好な露光方法及び装置を提供する。

50

【発明を実施するための最良の形態】**【0012】**

以下、添付図面を参照して本発明の幾つかの実施例について説明する。

【実施例1】**【0013】**

以下、本発明の一側面としての露光装置100について説明する。ここで、図1は、露光装置100の概略ブロック図である。露光装置100は、ステップアンドスキャン方式によりレチクル200に形成されたパターンをプレート400に露光する投影露光装置であり、サブミクロンやクォーターミクロン以下の解像度におけるリソグラフィ工程に好適である。露光装置100は、図1に示すように、照明装置と、投影光学系300と、制御部500と、シミュレータ700と、メモリ800及び900とを有する。

10

【0014】

照明装置は転写用の回路パターンが形成されたレチクル200を照明し、光源110と照明光学系120とを有する。

【0015】

光源110は、例えば、レーザを使用する。レーザは、波長約193nmのArFエキシマレーザ、波長約248nmのKrFエキシマレーザ、波長約157nmのF₂エキシマレーザなどのパルスレーザを使用することができる。レーザの種類、個数は限定されず、光源部の種類も限定されない。また、光源110に使用可能なものはレーザに限定されるものではなく、一又は複数の水銀ランプやキセノンランプなどのランプも使用することができる。

20

【0016】

照明光学系120は、レチクル200を照明する光学系であり、各種の光学部材121乃至129bを有する。減光部材121は、例えば、透過率の異なる複数の光量調製フィルタ（NDフィルタ）で構成される。プレート400面上で最適な露光量となるように複数のNDフィルタは駆動手段610によって駆動されるので、協同して細かい減光率を調整することができる。

【0017】

ビーム整形光学系122は、複数の光学素子やズームレンズから構成され、駆動手段612により駆動される。ビーム整形光学系122は、後段のオプティカルインテグレータ123に入射する光束の強度分布及び角度分布を所望の分布に制御する。

30

【0018】

偏光回転板131は、オプティカルインテグレータ123に入る光の偏光方向を規定する。偏光回転板131は駆動手段613によって駆動される。後述するように、130は回折素子、611はその回折格子が複数搭載されているターレットの駆動手段、132は偏光子、133はレチクル面での有効光源の偏光状態を変更する調整機構である。

【0019】

オプティカルインテグレータ123は、複数の微小レンズが2次元的に配置され、その射出面123a近傍に2次光源を形成する。絞り124は、オプティカルインテグレータ123の射出面123a近傍に配置され、その大きさ及び形状が可変とされている。絞り124はその絞りが複数搭載されているターレットの駆動手段614により駆動され、その大きさと形状は調整される。

40

【0020】

集光レンズ125は、オプティカルインテグレータ123の射出面123a近傍で形成された複数の2次光源から射出された光束を集光し、走行視野絞り128b面に重畳照射する。これにより、プレート400と共役な走行視野絞り128b面が均一に照明される。

【0021】

ハーフミラー126は、オプティカルインテグレータ123から射出された光束の一部（例えば、数%）を反射して、積算露光量検出器127に導光する。積算露光量検出器1

50

２７は、露光時の光量を常時検出する照度計であり、レチクル２００及びプレート４００と光学的に共役な位置に配置され、その出力に応じた信号を制御部５００に送信する。

【００２２】

走行視野絞り（視野絞り）１２８ｂは、複数の可動遮光板からなり、駆動手段６１６により駆動されて任意の開口形状が形成することができる。視野絞り１２８ｂは、レチクル２００面上の照明範囲、プレート４００面上の露光範囲を規制する。視野絞り１２８ｂは、プレート４００と共役な位置に配置され、レチクルステージ２５０及びプレートステージ４５０と同期して図中矢印Ｑ方向に移動する。視野絞り１２８ｂ近傍には、走査露光後の露光面における照度均一性を向上するための可変絞り１２８ａが配置される。

【００２３】

可変絞り１２８ａは、プレート４００と共役な位置近傍で、共役な位置よりも光源１１０側、即ち、光路における上流側に配置されている。可変絞り１２８ａは、図２に示すように、照明光の光軸に直交する面内において走査方向Ｙと直交する方向Ｚに沿って露光領域（照明領域）を形成する開口部１２８ｃが光軸から離れるに従って徐々に長くなるように形成されている。長辺形状がｎ次関数に基づく形状として調整することが可能となっている。ここで、ｎは１～８までの整数である。可変絞り１２８ａは、開口部１２８ｃの開口形状及び位置も駆動手段６１５により可変であり、光軸方向に沿って前後に調整可能である。位置の調整は、可変絞り１２８ａがプレート４００と共役な位置よりも光源側にある状態のまま実行される。

【００２４】

結像レンズ１２９ａ及び１２９ｂは、視野絞り１２８ｂの開口形状をレチクル面上に投影し、レチクル面上の必要な領域を均一に照明する。

【００２５】

レチクル２００は、例えば、石英製で、その表面には転写されるべき回路パターンや像が形成されており、レチクルステージ２５０に支持されて駆動手段６５０によって駆動される。レチクル２００から発せられた回折光は投影光学系３００を通りプレート４００に投影される。レチクル２００とプレート４００とは光学的に共役の關係に配置される。露光装置１００はスキャナーであるため、レチクル２００とプレート４００を同期走査することによりレチクルパターンをプレート４００上に転写する。なお、ステップアンドリピート方式の露光装置（即ち、「ステッパー」）であれば、レチクル２００とプレート４００とを静止させた状態で露光を行う。

【００２６】

２次元光検出器２１０は、レチクル２００の少し下側に配置される。レチクル面にピンホールを備えることにより、光検出器２１０は、照明光学系１２０を通過した光のプレート４００のフーリエ変換面の光量分布を計測する。光検出器２１０の直上に偏光フィルタを備えることにより、各偏光方向の光量分布を計測することができる。光検出器２１０は駆動手段６５１によって制御される。

【００２７】

投影光学系３００は、照明されたレチクルパターンから生じる回折光を基板としてのプレート４００に投影する。本実施例の投影光学系３００は、複数のレンズ３０１と複数のミラー３０２とを有して構成されるカタディオプトリック系であるが、屈折系や反射系であってもよい。図１では、レチクルパターンは中間結像位置Ｇａ及びＧｂで一回以上結像されてからプレート４００面上に縮小投影される。投影光学系３００は、装置状態やレチクルに応じて複数の収差や歪曲成分を制御可能な駆動レンズ群３１０と、パターンの線幅に合わせて細かく調整可能なＮＡ絞り３２０とを含む。

【００２８】

プレート４００は、ウェハや液晶基板などの被処理体（基板）であり、表面にフォトリソグが塗布されている。フォトリソグ塗布工程は、前処理と、密着性向上剤塗布処理と、フォトリソグ塗布処理と、プリベーク処理とを有する。前処理は、洗浄、乾燥等の工程を有する。密着性向上剤塗布処理は、フォトリソグと下地との密着性を高めるため

10

20

30

40

50

の表面改質（即ち、界面活性剤塗布による疎水性化）処理であり、HMDS（Hexamethyl-dissilazane）などの有機膜をコート又は蒸気処理する。プリベークは、ベーキング（焼成）工程であるが現像後の焼成工程よりも条件が緩和されており、溶剤を除去するための工程である。

【0029】

プレートステージ450はプレート400を支持し、公知の構成を使用することができる。例えば、プレートステージ450は、光軸方向に沿って、及び光軸と直交する平面内においてプレート400を移動することができる。プレートステージ450は駆動手段652によって駆動制御される。プレートステージ450は、例えば、ダンパを介して床等の上に支持される図示しないステージ定盤上に設けられている。レチクルステージ250及び投影光学系300は、例えば、床等に載置されたベースフレーム上にダンパ等を介して支持される図示しない鏡筒定盤上に設けられている。

10

【0030】

レチクル200とプレート400は同期走査される。プレートステージ450の位置とレチクルステージ250の位置とは、例えば、レーザ干渉計により監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。投影光学系300の縮小倍率が $1/A$ でプレートステージ450の走査速度が B （mm/sec）の場合、レチクルステージ250の走査速度は AB （mm/sec）となる。レチクルステージ250の走査方向とプレートステージ450の走査方向は投影系の結像レンズの集光点やミラーの数により互いに逆方向であったり同方向であったりしてもよい。

20

【0031】

光検出器452aは、プレート面上に入射する照明光の光量（照度）を検出する。光検出器452aは、プレート400の近傍に配置され、その受光部がプレート面と略対応する位置に配置される。光検出器452aは、プレート400の照明領域内における照明光をプレートステージ450の駆動と共に移動しつつ受光し、その検出照度に応じた信号を制御部500に送信する。

【0032】

2次元光検出器452bは、投影光学系300を通過した光の2次元輝度分布を検出する。光検出器452bはプレート面から少し下がった位置に配置される。プレート面上にはピンホールが設けられ、光検出器452bが透過光を計測することにより、投影光学系300の射出瞳面での光量分布を計測する。光検出器452bの直上に不図示の偏光フィルタを配置することにより、各偏光方向の光量分布を計測することができる。偏光情報は、後述するように、光軸に垂直な互いに直交する二方向の偏光強度、偏光強度比、偏光度及び位相差の少なくとも一を含む。

30

【0033】

レチクル面近傍及びプレート面近傍のどちらも、偏光フィルタの前に不図示の $\lambda/4$ 板を挿入してもよい。 $\lambda/4$ 板を回転させながら瞳全面の振幅分布を計測することにより、瞳全面の偏光情報を計測することができる。

【0034】

図14は、レチクル面近傍の検出器の拡大断面図である。レチクル200上にピンホールを配置して、集光光をコリメータ214を用いて概平行光にする。また、平行光を偏光フィルタ212を通してその光強度分布を2次元光検出器211にて計測する。偏光フィルタ212の前に $\lambda/4$ 板213を挿入し、これを回転させながら光束の瞳全面の振幅分布を計測することにより、瞳全面の偏光情報を計測する。プレート面近傍の偏光計測機構452bもこれと同様の機構をもつものとする。この偏光情報を、ストークスパラメータで表現すると次のようになる。ここで (u, v) は有効光源の規格化された座標を表す。

40

【0035】

【数 1】

$$S_1(u, v) = S_0(u, v) \cos 2\chi \cos 2\phi$$

$$S_2(u, v) = S_0(u, v) \cos 2\chi \sin 2\phi$$

$$S_3(u, v) = S_0(u, v) \sin 2\chi$$

$$S_0^2 = S_1^2 + S_2^2 + S_3^2$$

χ : 右回り偏光と左回り変更を符合で表現

ϕ : 光軸断面の0,90°[S1(u,v)]や45,135°[S2(u,v)]の偏光成分の振幅を表現

【0036】

10

また、偏光情報は Jones ベクトルで以下のように表現してもよい。

【0037】

【数 2】

$$\begin{pmatrix} J_1(u, v) e^{i\phi_1(u, v)} \\ J_2(u, v) e^{i\phi_2(u, v)} \end{pmatrix}$$

20

【0038】

数式 2 は直交する偏光面上の光強度とその位相を示したものである。数式 2 から簡単に直交面上の偏光強度比 $\{|J_2(u, v)| / |J_1(u, v)|\}$ や位相差 $\{\phi_1(u, v) - \phi_2(u, v)\}$ を導くことができる。

【0039】

偏光情報をより単純に表現することも可能である。レチクル 200 に入射する際に紙面に垂直な偏光光の振幅 I_p と紙面に水平（左右方向）方向の振幅 I_s の瞳全面の分布が光検出器 210 を用いて得られる。ある方向に偏光した光の強度の割合を全体の強度に対して表現した次式の ROP を偏光度と定義すると、瞳全面に対して偏光度が計算できる。

30

【0040】

【数 3】

$$ROP(u, v) = \frac{|J_1(u, v)|^2}{|J_1(u, v)|^2 + |J_2(u, v)|^2}$$

【0041】

また、 $1 / ROP = 1 + \{|J_2(u, v)| / |J_1(u, v)|\}^2$ と偏光強度比が関連していることが分かる。同様に、ある偏光方向の強度 I_s とそれに垂直な偏光方向の強度 I_p を用いて、下記のようにも表すことがある。

40

【0042】

【数 4】

$$ROP(u, v) = \frac{I_s(u, v)}{(I_p(u, v) + I_s(u, v))}$$

50

【 0 0 4 3 】

投影光学系 3 0 0 の射出瞳面の偏光情報に関し、上記はプレート面 4 0 0 上での計測例を示したが、プレート面側で一度反射させたり、プレート面から照明したりすることにより、レチクル面側で偏光情報を計測することも可能である。

【 0 0 4 4 】

制御部 5 0 0 は、積算光量検出器 1 2 7 の検出結果を取得すると共に、光検出器 4 5 2 a 及び 4 5 2 b の検出結果を変換器 6 5 2 及び 6 5 3 を介して取得する。これらの検出結果に基づいて、制御部 5 0 0 は、駆動手段 6 1 0 乃至 6 1 6、6 5 0、6 5 4 を駆動し、プレート 4 0 0 面上の露光量、即ち、照度分布を制御する。シミュレータ 7 0 0 は、露光条件の最適化を行う。メモリ 8 0 0 は O P C データを含むレチクル 2 0 0 のパターンデータ（設計データ）を格納する。メモリ 9 0 0 は、実際に露光されたプレート 4 0 0 の評価結果を格納する。従って、制御部 5 0 0 は、レチクル 2 0 0 のパターンデータと実際に露光されたプレート 4 0 0 の評価データも取得する。

10

【 0 0 4 5 】

以下、図 3 乃至図 5 を参照して、偏光情報が結像性能に与える影響について説明する。図 3 は、光源 1 1 0 の射出直後（減光部材 1 2 1 の位置）では光束の光量分布が概円状であった照明光（図 3 A）を照明光学系 1 2 0 が有効光源形状を輪帯（光検出器 2 1 0 の位置）の照明光（図 3 B）にした場合を示している。しかし、照明光学系 1 2 0 の硝材複屈折などの影響で偏光度は直線偏光（図 3 C）から楕円偏光（図 3 D）に劣化している。図 4 A は、直線偏光（左）が楕円偏光（右）に劣化する様子を示す概略図である。図 4 B は、ラインアンドスペース（L & S）パターンを P 偏光（破線）と S 偏光（実線）で照明した場合のコントラストを示す概略図である。図 5 A は輪帯照明の概略図、図 5 B は L & S パターンの例を示す平面図である。図 5 C は、偏光度と線幅（C D）/ 露光量（D o s e）敏感度との関係を示すグラフである。図 5 D は S 偏光と P 偏光の方向を示す概略図である。

20

【 0 0 4 6 】

N A 1 . 2 で縮小倍率が 1 / A 倍の投影光学系 3 0 0 を用いて $A \times B \text{ nm}$ L & S パターンを有するレチクル 2 0 0 を図 5 A に示すように輪帯照明する。理想的な直線偏光の輪帯照明を考えて、偏光方向が S 偏光方向の場合と P 偏光方向の場合で、図 4 B に示す光強度分布の差が見られる。図 5 C は偏光度が変化した場合の中心パターンの露光量に対する線幅の敏感度を示す。図 5 C から、L & S パターンの方向が偏光方向と一致すると敏感度が小さく露光量に対して線幅がロバストとなる。その偏光方向が回転していくと敏感度が高くなり、ロバスト性が失われる。逆に、パターンと垂直な偏光方向では敏感度が高くロバスト性が最も低い、そこから偏光方向が回転するにつれてロバスト性が高くなる。

30

【 0 0 4 7 】

このように、偏光方向とパターン方向が対になって結像状態を決定する。像性能の安定化のためには、レチクル 2 0 0 と照明光の偏光方向の回転を管理する必要があり、露光装置 1 0 0 は偏光子 1 3 2 又はその保持部材にマーキングすることにより、偏光方向を制御することができる。レチクルパターンに関しては、レチクル描画装置の描画精度と露光装置 1 0 0 のレチクルアライメントシステムにより、回転角度は高精度に管理されている。

40

【 0 0 4 8 】

以下、偏光情報のうちで最も分かりやすいスカラー量である偏光度を例に解像性能に与える影響について説明する。図 4 A に示すように、偏光が紙面に平行な直線偏光が楕円偏光になった場合も結像性能に影響する。例えば、レンズに複屈折が存在すると偏光度を悪化させる。偏光子 1 3 2 の下流に配置されるレンズの複屈折は低く（例えば、 $2 \text{ nm} / \text{cm}$ 以下）維持される必要がある。もっともたとえ、複屈折の小さい硝材を選択しても、当該残存する真性複屈折の影響、レンズ保持による応力複屈折、成膜の特性などにより偏光度は変化してしまう。異なる露光装置の偏光度はこのような理由で必ずしも同一ではなく特性が変化する。

【 0 0 4 9 】

50

偏光度の悪化を補正する方法は、1ショット露光中に発生する平均的な線幅変化量を、平均的な積算露光量を調整することによって補正する方法がある。具体的には、レーザーパルス数や個々のパルスエネルギーを可変にし、これらの加算値としての積算エネルギーを制御する。

【0050】

偏光度の悪化を補正する別の方法は、レチクル面での有効光源の偏光状態を変更する調整機構133を利用する。光検出器210が計測した偏光度に基づいて、例えば、スリット中心点での有効光源内の平均の偏光度を露光装置100の基準偏光度とし、装置間の基準偏光度の差を調整機構133を移動して相殺する。基準偏光度は、瞳内の任意の領域の平均値を取ってもよいし、スリット中心だけでなく軸外を含む数点の平均でも構わない。装置間の基準偏光度の差を調整する具体的手段としては、例えば、偏光特性を変えた何段階かの偏光子132を切り替えたり、一部のレンズに応力をあたえて応力複屈折を発生させたりする。あるいは、光束が発散集光していない箇所では平行平板硝子を傾けたり、偏光子と $\lambda/4$ 位相板を回転させたり、上述の手段を組み合わせてもよい。

【0051】

偏光以外の光学特性、例えば、光源の波長幅を変更することによって投影光学系300の色収差の影響で結像コントラストが変化する。それ以外にも有効光源の形状、内外の値の変化、投影光学系300のNA変化、瞳フィルタなどによっても結像コントラストが変化する。これらのパラメータを用いて、偏光に起因するコントラストの影響を逆に補正することが可能である。

【0052】

波長幅は、レーザの半値幅(Full Width Half Maximum: FWHM)やスペクトル中のエネルギーの95%が集中しているスペクトル幅(E95)を指標とする。スペクトルを可変するには、例えば、レーザの半値幅を変更する機構などのスペクトル分布を可変する機構を用いたり、光源を射出した後に波長選択フィルタを用いることができる。

【0053】

次に、図8を参照して、偏光度の瞳面内の非対称性について説明する。ここで、図8Cはレチクルパターンの一例の平面図である。図8Bは、レチクルパターンを2重極照明する有効光源形状の平面図である。図8Aは、2重極照明における偏光度を示す概略図である。図8Dはフォーカス位置に応じたプレート面上の空中像である。図8Eはフォーカス位置に応じたレジスト像である。

【0054】

レチクル200上の図8Cに示すパターンを図8Bに示す有効光源で照明する場合を考える。有効光源内の点光源に対応するそれぞれの平均の偏光度が図8Aに示すように左右領域で非対称性を成しているとする。図8Aでは、有効光源の左領域の偏光度の直線性が良く光量差はないために左の有効光源の結像の影響が強くなる。これにより、プレート面での空中像はフォーカス面によって図8Dに示すようになる。従って、プレート400の結像点を紙面と平行に上下方向にずらした時のレジスト像は、図8Eに示すように、L&Sパターンの左端と右端の線の左右線幅差(左側の線幅-右側の線幅)がベストフォーカス位置を境に極性が逆転する。ある一方向を向いたパターンを示したが、これと垂直なパターンの場合は、紙面上下の有効光源の偏光度の差に関して同様のことが起こる。

【0055】

一方、図8Fは、レチクルを照明する光の主光線が光軸と平行に入射する場合と(テレセン)と左右に傾いて入射する場合のプレート面上での空中像を示す図である。図8Gは、照明光の主光線はテレセン状態だが有効光源の強度が左右で同一の場合と変化した場合でのプレート面上での空中像を示す図である。どちらもプレート400の結像点を紙面と平行に上下方向にずらしていった時に非対称性の方向が変化し、L&Sパターンの左右線幅差がベストフォーカス位置を境に極性が逆転する。従って、照明光学系120のテレセン度や有効光源の強度分布を用いて、瞳面の偏光度の非対称性によってレジストパターン

上で引き起こされるパターンの非対称性を調整することが可能である。画面全体のテレセン度を一律に動かす方法として、例えば、ビーム整形光学系 122 の光学素子群を光軸と垂直方向に移動又は傾斜してもよい。

【0056】

次に、もう一つ別の偏光によるパターンへの影響について説明する。有効光源を中心角で 0° 、 90° 、 180° 、 270° 方向に 4 回対称な領域に分け、X 方向の対向する領域の平均値と Y 方向の対向する領域の平均値で Saddle 型に偏光度の高低が存在する場合がある。この Saddle 型の偏光度が複数台の露光装置間で一律でない場合、X 方向パターンと Y 方向パターンの間でパターン線幅差が生じてしまう。

【0057】

一方、有効光源の振幅分布が、上記のような 4 回対称な領域で X 方向の平均強度と Y 方向の平均強度に差があると、偏光による影響と同じように X 方向と Y 方向のパターンの間に線幅の差が生じる。従って、装置の有効光源の振幅分布の差を X 方向領域と Y 方向領域の間につけることによって、露光装置間などの偏光度の差を補正することが可能である。

【0058】

有効光源の X、Y 方向に強度差をつける手段として、インテグレータ 123 付近に ND フィルタを挿入し、その濃度を変える機構を使用することができる。また、その手段として、照明光学系 120 の瞳面付近に縦方向、横方向から遮光板を独立に出し入れすることにより調整する機構を使用することもできる。

【0059】

以上、照明光学系 120 の有効光源内の偏光度の非対称成分（1 成分）、Saddle 成分（2 成分）を例に補正方法を示したが、これは瞳面内の偏光度 $ROP(u, v)$ に任意のばらつきがある場合に拡張することができる。偏光度の表現の方法として、有効光源内の偏光度を瞳面に関する Zernike 表現をすることも可能である。これにより、各成分分けが可能となる。

【0060】

瞳面内の偏光度の任意のバラツキに対して、有効光源の輝度分布を任意に制御することにより補正が可能である。照明光学系 120 の瞳面の形状又は輝度分布は、例えば、回折光学素子 130 により任意に形成することができる。

【0061】

回折光学素子を用いる以外に有効光源の輝度分布を変更する手段として、光学プリズムや濃度フィルタを用いたり、レチクル 200 のフーリエ変換面近傍に遮光板を設置したりすることにより補正することができる。特に、水平方向と垂直方向の結像パターンの特性の差を補正するために、有効光源の水平方向と垂直方向の ND フィルタを変更したり、縦方向、横方向から遮光板を独立に出し入れすることにより調整できる機構が効果的である。

【0062】

以上のように、スリット上の各点の瞳面で平均的に発生している偏光の影響を、露光装置 100 では別の露光パラメータを用いて補正する。この結果、高いパターン転写性能が得られ、歩留りを向上することができる。偏光度はステージ上で計測してもよい。

【実施例 2】

【0063】

本実施例は、像高毎に偏光の特性が異なる場合の補正方法について説明する。露光装置 100 の構成は実施例 1 と同様である。偏光情報は、ストークスパラメータや Jones 行列を用いてもよいが、最も分かりやすいスカラー量である偏光度を用いる。図 9 の実線はレチクル 200 上の露光スリット領域 S を示しており、点線は投影光学系 300 の瞳を通ることが可能な照明範囲である。図 9 に示すように、スリット S 内で長軸方向に複数の測定点に対して光検出器 210 で計測したとき、像高毎に偏光度を瞳に対する 2 次元マップ $ROP_i(u, v)$ で示すことができる。スリット長軸方向は図 1 でレチクル上紙面垂直方向となっている。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 4 】

実施例 1 では、全像高一律にのるような偏光に関する補正方法を記載したが、実際の光線では、像高毎に通過する光束の場所が変わるため、偏光情報も像高によって固有の成分を持つ。本実施例では、この点に着目している。

【 0 0 6 5 】

各像高ごとの偏光情報は瞳面内の 2 次元マップで表現されるが、図 1 0 A はそれを簡略化し、偏光度 $ROP(u, v)$ を有効光源の の輪帯の平均値毎に表現している。内側の輪帯から外側の輪帯に向かうにつれて細い線幅の解像が可能になる。即ち、輪帯位置はパターンと密接な関係がある。例えば、 $0.8 - 1.0$ の瞳位置について像高毎に偏光度の差があることが分かる。像高偏光度の像高間の差は、即ち、投影光学系 3 0 0 の投影像のパターン線幅差となり、これは回路特性を悪化させる。

10

【 0 0 6 6 】

本実施例は、偏光度の変化と積算露光量の変化が共に線幅に影響を与えることを利用し、偏光度の変化で発生した線幅の変化を積算露光量の変化によって補正する。露光装置 1 0 0 の走査方向と直交する方向に発生する線幅のばらつきを、照度ムラ可変機構（絞り 1 2 8 a 及び 1 2 8 b）によって補正する。代替的に、濃度フィルタを配置して透過光量を加減してもよい。

【 0 0 6 7 】

各像高における有効光源内の偏光度の不均一性が結像に影響する項目も無視できない。有効光源の偏光度分布は像高毎に任意の分布を持つが、ここでは成分分けにより簡略化することによって現象を説明する。まず、有効光源を の輪対の領域に分解する。図 1 0 B は、 $0 < 0.2$ を $0 - 0.2$ 、 $0.2 < 0.4$ を $0.2 - 0.4$ 、 $0.4 < 0.6$ を $0.4 - 0.6$ 、 $0.6 < 0.8$ を $0.6 - 0.8$ 、 $0.8 < 1.0$ を $0.8 - 1.0$ と 5 領域に分けている。領域数はこれに限定されない。

20

【 0 0 6 8 】

レチクル 2 0 0 上の線幅のピッチを P とすると、1 次回折光と 0 次光とのなす角 θ と、線幅ピッチ P 、照明光の波長 λ は、レチクル 2 0 0 がバイナリレチクルもしくは位相シフトマスクの場合、 $P \sin \theta = \lambda$ の関係がある。従って、線幅ピッチ P が小さくなるほど $\sin \theta$ は大きくなる。 $k_1 (= R \cdot \lambda / NA : R$ は解像度) が 0.5 より小さくなると、光軸上からの照明光による回折光が投影光学系 3 0 0 の開口の範囲を外れ、結像コントラストを著しく低下させる。そのため、 ± 1 次回折光の一つを捨てて 0 次光と $+1$ 次光だけで結像する（斜入射照明）。従って、斜入射の角度とレチクルパターンのピッチ P との間には相関がある。

30

【 0 0 6 9 】

各 の輪帯領域は、レチクル 2 0 0 に斜入射する角度範囲に対応しており、あるピッチのパターンに対して影響を与えやすい輪帯状の有効光源領域が存在する。輪帯状の有効光源の偏光度は任意な分布を持っている。これを例えば以下のように仮定する。

【 0 0 7 0 】

【 数 5 】

40

$$P_{even} = \frac{1}{S} \int ROP(u, v) \cdot I(u, v) ds$$

$$P_{odd} = \frac{1}{S/2} \int_{u>0} \{ ROP(u, v) \cdot I(u, v) - ROP(-u, v) \cdot I(-u, v) \} ds$$

【 0 0 7 1 】

数式 5 において、 P_{even} は瞳の対象領域全体の平均の偏光度を表し、 P_{odd} は瞳の左右の領域での偏光度の非対称性を表す。ここで P_{even} を各像高、各輪帯状有効光源に対してプロットしたものが、図 1 0 A であり、 P_{odd} を同様にプロットしたものが

50

図 10 B である。

【0072】

図 10 A のように、有効光源の輪帯箇所毎に *Peven* の像高分布が異なる場合、あるレチクルに対して像高毎に線幅が一定になるように調整したとしても、別のレチクルを露光する際には着目するパターンが変わってしまう。従って、それに応じて着目すべきも変わるため、像高に対する線幅の影響度も変化する。このようにレチクル毎に着目するパターンを決定し、照度ムラ量を調節する必要がある。このように偏光度の平均分布が特徴を持っているとレチクル毎に照度ムラなどの補正量を変えて対処する必要がある。ここでの着目パターンは、そのレチクル内で最も歩留りに対して余裕度のないパターンを選び出し、そのパターンで補正をすることも可能である。

10

【0073】

偏光度の瞳非対称性 *Podd* も像高毎、毎に図 10 B に示すように変化すると仮定する。ここでは、スリット内の左端と右端では偏光度の非対称性が逆転している。図 8 C に示すように、偏光度の非対称性はデフォーカスしたときに線幅の非対称性を生じるが、この量がスリットの各点で異なる。*Podd* は が大きくなるにつれて増大するため、対象となるパターンピッチが細くなればなるほど、図 10 B の偏光度分布において線幅の左右差への影響が大きくなる。

【0074】

偏光度は、硝材の複屈折量や膜の特性、光路や入射角度などにより決定されるため、像高間の偏光度の差を調整するのは困難である。パターンピッチの特徴はレチクル毎に異なり、左右線幅差の影響度が異なる。

20

【0075】

一方、瞳内の光量分布に非対称性を持たせると、図 8 E に示す挙動を示すので、瞳内の光量分布の非対称性を像高毎に調節すれば偏光度の瞳内非対称性を補正することができる。具体的には、集光レンズ 125 は、軸外テレセン補正用のズーム機構を備えている。このため、可変絞り 128 b の中心の入射主光線は変わらずにスリット端の入射主光線を傾けることができる。このズームによって軸上は変わらず、軸外に行くに従って単調に増加又は減少するようにテレセン度を制御することができる。この結果、歩留りに影響するレチクルパターンに対応して軸外テレセン度を調整することにより、偏光度の瞳面分布に起因するデフォーカスによる左右の線幅差を補正することができる。

30

【0076】

以上、本実施例は、像高間の偏光性能の差によって生じる像高間の線幅差を補正することができ、歩留りを向上することができる。もちろん、光検出器 210 で計測を行う代わりに光検出器 452 b で計測を行ってもよい。以上、簡単のために、を輪带状に区切って *Peven* 及び *Podd* という概念を導入したが、有効光源の偏光度を *Zernike* 級数によって表現するなどしても構わない。

【実施例 3】

【0077】

本実施例は、偏光情報の計測をレチクル面近傍とプレート面近傍の両方で計測する点で実施例 1 と異なる。2 つの偏光情報は以下の式で表される。

40

【0078】

【数 6】

$$\begin{pmatrix} J_{1ol}(u_{ol}, v_{ol}) e^{i\phi_{1ol}(u_{ol}, v_{ol})} \\ J_{2ol}(u_{ol}, v_{ol}) e^{i\phi_{2ol}(u_{ol}, v_{ol})} \end{pmatrix} = UL(u_{ol}, v_{ol}) \begin{pmatrix} J_{1il}(u_{il}, v_{il}) e^{i\phi_{1il}(u_{il}, v_{il})} \\ J_{2il}(u_{il}, v_{il}) e^{i\phi_{2il}(u_{il}, v_{il})} \end{pmatrix}$$

J_{1ol}, J_{2ol} はウエハ面近傍の偏光 情報

J_{1il}, J_{2il} はレチクル面近傍の偏 光情報

$UL(u_{ol}, v_{ol})$ は投影レンズの偏光情報成分

【0079】

50

数式 6 を U L に関する項を展開すると次式のようにになる。

【 0 0 8 0 】

【 数 7 】

$$UL(u, v) = \begin{pmatrix} J_{11}(u, v)e^{i\phi_{11}(u, v)} & J_{12}(u, v)e^{i\phi_{12}(u, v)} \\ J_{21}(u, v)e^{i\phi_{21}(u, v)} & J_{22}(u, v)e^{i\phi_{22}(u, v)} \end{pmatrix}$$

$$= e^{i\phi(u, v)} \cdot T(u, v) \begin{pmatrix} J'_{11}(u, v)e^{i\phi'_{11}(u, v)} & J'_{12}(u, v)e^{i\phi'_{12}(u, v)} \\ J'_{21}(u, v)e^{i\phi'_{21}(u, v)} & J'_{22}(u, v)e^{i\phi'_{22}(u, v)} \end{pmatrix}$$

$e^{i\phi(u, v)}$ 従来の収差項

$T(u, v)$ 従来の瞳振幅透過率

10

【 0 0 8 1 】

数式 7 に示すように、瞳透過率分布及び波面収差は、それぞれ、偏光に依存しない従来の固定的な成分と、偏光方向に依存して量に変化する成分とを有する。レチクルパターンに応じて偏光方向を切り替えると、投影光学系 3 0 0 の瞳透過率分布や波面収差も最適位置からずれる。

【 0 0 8 2 】

偏光に依存しない固定的な瞳透過率分布は、投影光学系 3 0 0 の瞳面（図 1 ではミラー 3 0 2 の近傍もしくは G b とプレート 4 0 0 との間で複数像高の主光線が交わる点）に 2

20

次元透過率分布を持つフィルタを挿入することにより補正可能である。

【 0 0 8 3 】

一方、偏光に依存する瞳透過率分布は、透過率フィルタを変更したり、異なる透過率分布を持つフィルタを出し入れして、適切な分布を持つ場所に移動させたりすることで補正することもできる。しかし、そのように透過率自体を直接変えるのではなく、他のパラメータで瞳透過率の結像に与える影響を緩和することもできる。まず、図 6 を参照して、投影光学系 3 0 0 の瞳の透過率分布が結像性能に与える影響を説明する。

【 0 0 8 4 】

各像高共に透過率分布は異なるが、その平均的な成分を示したのが図 6 B である。これに対して、図 6 A に示すような、三種類のピッチをもつパターンをレチクル上に配置し、露光する場合を想定する。図 6 A は、各パターンから生じる、レチクルを斜入射照明した場合の 0 次光と ± 1 次回折光を示している。図 6 B は、レチクルを斜入射照明した場合の投影光学系 3 0 0 の射出瞳上での瞳透過率とパターンからの回折光の位置を瞳面の上から見た概略図である。図 6 B では、瞳の周囲の透過率が低いとすると、ピッチの細かいパターンの回折光が透過率が低い部分に位置する。同じ照明部分を仮定しているため、0 次光は全てのパターンで同じ瞳座標を通過する。図 6 B において、0 次光は右から 4 番目であり、その位置は斜入射照明のために瞳の中心からずれている。

30

【 0 0 8 5 】

図 6 B で一番粗いピッチパターンからの回折光のうち、右側の回折光は細かいピッチパターンの回折光よりも中心に近く、透過率が高い位置を通過している。また、左側の回折光は細かいピッチパターンだと結像に寄与しないが、粗いピッチパターンの回折光は一部が瞳面に入っている。もっとも、これは非常に透過率の悪い位置を通過している。

40

【 0 0 8 6 】

図 6 B に示すように瞳面が中心で透過率が高く周辺で透過率が低い分布を持つ場合など瞳透過率が変化すると、回折光が干渉してできる光学像の強度が相対的に減少して結像性能が劣化する（線幅差が発生する）。これを、ピッチの異なるパターンに対して拡張する。図 6 C は、パターンピッチを横軸にとり、ある光強度でスライスしたときの線幅を縦軸にとったグラフである。図 6 A に示すように、ピッチ毎に瞳面上の回折光の位置が変わり、かつ瞳面内で透過率分布が不均一な、ため、パターンの結像に寄与する光量の減衰度合いがピッチ毎に異なる。

50

【 0 0 8 7 】

ここでは軸上から入射した光束の回折光を例にとった。しかし、実際の有効光源が輪帯形状であれば、輪帯に相当する有効光源の回折光に対して2次元的に積算した回折光分布になる。そして、その回折光分布のうち、投影光学系300の開口瞳内部分のみが結像に寄与する。この場合、瞳透過率が様な分布でなければピッチの異なるレチクルパターンは、結像に寄与する光量が異なる。従って、図6Cに示すように、理想的に均質な瞳透過率分布を持つ場合と、実際に不均質な瞳透過率分布を持つ場合との線幅差は、パターンピッチ毎に異なる。

【 0 0 8 8 】

ピッチに対して理想値から線幅差が起こる現象を光近接効果 (Optical Proximity Effect : OPE) と呼ぶが、理想値からのズレはコントラストに起因する項目でも観測されている。これらの項目は、例えば、光源の波長中心値、波長幅、照明光学系の瞳の形状、輝度分布、偏光度、瞳内偏光度分布、投影光学系のNA、球面収差などである。従って、瞳透過率で変化したOPE特性は、これらの露光パラメータの組み合わせによって補正可能である。X/Yなどパターンの方向差に関しては、照明光学系の瞳の形状、輝度分布、偏光方向、瞳内偏光度分布、投影光学系の非点収差などがある。図7に、異なるNAに対するピッチと線幅との関係を示す。同図から、ピッチ毎にNAを変更したときの線幅差が異なることが分かる。他の項目についても同様の線幅への影響を見積もり、OPE特性が所望の値になるように上述のパラメータを調整することにより、偏光度や瞳透過率の影響を軽減することができる。

【 0 0 8 9 】

以下、像高間のパターン特性の差についても、詳細は割愛するが、パラメータを適宜組み合わせることにより調整可能である。特に、レチクルパターンに応じて偏光方向を設定し、偏光方向に応じて発生した瞳透過率を補正する場合には、レチクル毎に最適値が変化する可能性がある。このため、上述のパラメータのなかで比較的短期間で補正しやすいパラメータを選んで行うことにより、レチクル交換に合わせて生産性を落とさずに調整することができる。もちろん、固定的にシフトする瞳透過率分布の補正にも使用可能である。

【 0 0 9 0 】

次に、数式7に示す収差の補正方法について説明する。投影光学系には偏光によらない波面収差に加え、偏光方向に依存する収差成分が存在する。つまり、レチクル毎に行う偏光方向の最適化に応じて収差も目標値が変化する。

【 0 0 9 1 】

投影光学系300の射出瞳面が、図13Aに示すように、タンジェンシャル方向に進相軸を持つ複屈折を有し、複屈折量が、図13Bに示すように、半径と共に2次関数的に増大するものとする。レンズ1枚の合成石英にはこのような特徴が見られるものもある。ここで、直線偏光で照明すると、図13C及び図13Dに示すように、偏光方向に応じて瞳面での位相分布が異なる。瞳面での位相分布は、投影光学系300の波面収差と同一である。

【 0 0 9 2 】

投影光学系300は様々な波面収差の調整機構を有し、球面収差、コマ収差、非点収差、歪曲収差などをオンサイトで調節可能である。通常は、偏光に依存しない固定的な収差成分を差し引くように補正するが、偏光方向に依存する収差もこの調整機構で補正することができる。収差調整機構としては、例えば、投影光学系のレンズの中の一部を光軸方向に移動して全像高に一律にのる軸対称性の収差を調整したり、光軸から離れるにつれて大きくなっていく像面、非点、コマ、球面、歪曲などの成分調整することができる。光軸に垂直な方向へシフトさせるか傾けることによって、全像高一律のコマ成分や、像高ごとに線形に変化する非点成分、非対称な歪曲成分を調整することができる。

【 0 0 9 3 】

レチクル200には、パターン欠陥となる微粒子の付着を防止するペリクルが設けられている。ペリクルは、誘電体物質であるため、光線の入射角度によって透過光の強度や位

10

20

30

40

50

相が変わり、高NAになって入射角が非常に大きくなると瞳透過率分布や瞳面内の位相差が無視できないほど生じる。また、レチクル1つずつに貼り付けられている、レチクル間のペリクル膜厚差や、同一レチクル内のペリクル面内膜厚分布などがあり、これがレチクル間、像高間の、瞳透過率分布や収差に影響を与える。たとえば、基準ペリクルについては、計測用のピンホールレチクルにペリクルを貼った形で偏光情報を直接計測することにより、投影光学系とペリクルの偏光情報を加え合わせた実際の偏光情報を計測できる。回路パターンが入ったレチクルに貼られているペリクルの膜厚は、レチクル毎にエリプソメーターなどの計測器で測定し、その測定値とペリクルの物性値データから計算により、瞳透過率分布と収差に変換する事ができる。これを用いてレチクル毎のペリクル誤差が結像に与える影響を補正する事が可能である。膜厚の管理は、ペリクル膜の絶対値でもよいし、計測用のピンホールレチクルに貼り付けられた基準ペリクルとの膜厚差で管理してもよい。

10

また、エリプソメータは外部の計測器を用いてもよいし、例えばレチクルステージ250の下側から偏光状態を変えられる光束をペリクル面に斜入射して、反射光をモニターするエリプソ光学系を装置の中に置いて、In-situ計測をしてもよい。

【実施例4】

【0094】

以下、図11A及び図11Bを参照して、露光装置100を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。ここで、図11Aは、半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、あるいは液晶パネルやCCD等）の製造を説明するためのフローチャートである。ステップ1（回路設計）では、半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ2（レチクル製作）では、設計した回路パターンを形成したレチクルを製作する。一方、ステップ3（ウェハ製造）では、シリコン等の材料を用いてウェハを製造する。ステップ4（ウェハプロセス）は、前工程と呼ばれ、上記用意したレチクルとウェハを用いて、リソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。次のステップ5（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウェハを用いて半導体チップ化する工程であり、アセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ6（検査）では、ステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

20

30

【0095】

図11Bは、図11Aのステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11（酸化）では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）では、ウェハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ13（電極形成）では、ウェハ上に電極を蒸着等によって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）ではウェハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウェハに感光材を塗布する。ステップ16（露光）では、露光装置100によってレチクルパターンをウェハに露光する。ステップ17（現像）では露光したウェハを現像する。ステップ18（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによって、ウェハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施例の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高解像度のデバイス（半導体素子、LCD素子、撮像素子（CCDなど）、薄膜磁気ヘッドなど）を偏光を利用して生産性よく製造することができる。また、このように、露光装置100を使用するデバイス製造方法、並びに結果物（中間、最終生成物）としてのデバイスも本発明の一側面を構成する。

40

【実施例5】

【0096】

以下、偏光を含めた露光条件及びレチクルパターンの最適化について説明する。本実施例は、図11Aに示すステップ1からステップ4に特に関係する。図12は、露光条件及びレチクルパターンの最適化の詳細にブロック図である。

50

【 0 0 9 7 】

シミュレータ 7 0 0 は、レチクル作成時のパターンデータ（例えば、G D S I I や M D P ）をメモリ 8 0 0 から取り込んでパターンの一部又は全部の形状を生成し、結像シミュレータの物体側の情報として入力する。結像シミュレータは、物体面のパターンを投影光学系で結像したときの結像点の光強度分布を計算する。また、結像シミュレータは、その光強度分布とレジストプロセスパラメータを用いることにより、酸の拡散、ポストバーク、現像などのプロセス処理を経たレジストパターンの形状を計算する。更に、シミュレータ 7 0 0 は、光強度シミュレータやレジストシミュレータとユーザが利用する O P C のルールやモデルを用いて、レジストパターンの形状を所望の値になるように既存のレチクルパターンに O P C をかけたり、補正したりする。

10

【 0 0 9 8 】

シミュレータ 7 0 0 に入力されるパラメータとしては、転写波長や波長幅、有効光源の光強度分布、その偏光分布、その大きさ及び形状などが含まれる。その他にも、そのパラメータとしては、投影光学系の N A , 収差量、瞳の偏光強度分布、縮小率、標準的なベリクルの収差量、瞳透過率分布、投影光学系と結像面との間の液浸物体の屈折率なども含まれる。一以上のパラメータとして入力可能であり、偏光を分離してベクトル計算ができるようになっている。これらの項目は、露光装置内部又は外部の計測装置によって測定可能である。

【 0 0 9 9 】

結像パターンの評価指標として、光学上の C D 、 E D ウィンドウ、焦点深度（ D O F ） 、 N I L S 、コントラスト、レジストの C D 、 S W A 、トランジスタの電気特性、などの少なくとも一つが計算できる。

20

【 0 1 0 0 】

レチクルをパターンニングするのに次の 3 段階がある。第 1 段階は、露光装置の特性や補正用の敏感度情報を計測し、それとレチクル基本データから露光条件を決定する。第 2 段階は、レチクルの O P C データを作成するために、O P C 抽出用のテストパターンのレチクルを 1 ステージで求めた露光条件をセットした露光装置で露光した結果を解析し、シミュレータとの差を把握し、O P C モデルを作成する。第 3 段階は、露光装置の特性や敏感度、レチクル基本データ、モデルベース O P C 情報の 3 つを統合し、露光条件やレチクルパターンの最適化を行い、そのレチクルを最適な露光条件を設定した露光装置で露光する。

30

【 0 1 0 1 】

このようにレチクルをウェハに露光するのに多くの工程と時間を有する。製造時間の短縮と歩留まりの向上から、露光条件の最適化が重要である。精度の向上のために露光装置の特性や補正敏感度を計測し、シミュレータ 7 0 0 に入力する。

【 0 1 0 2 】

本実施例では、光学系（即ち、照明光学系及び投影光学系）の偏光情報を加味してモデルベース O P C 作成パターンの結像評価をする。このため、シミュレータの出力が正確になり、これと実際にモデルベース O P C 作成パターンを露光したレジスト像との相関を取ることで、補正精度のよいモデルベース O P C ライブラリを作成することができる。更に、レチクルパターンを入力した際のシミュレータの結像評価精度も向上しているために、露光条件及びレチクルパターンの最適化の精度を向上することができる。レチクルの作成に、最も時間がかかるのが O P C である。レチクルの再製作には非常に長い期間を要することから O P C の精度向上が重要である。

40

【 0 1 0 3 】

具体的な露光装置パラメータの最適化フローにおいて、まず、スリット全体に対する性能を改善するための最適化を行う。スリット全体の像性能への影響を調べるために、例えば、ホットスポットと呼ばれ、歩留りに直結するクリティカルなレチクルパターンと評価方法を選択する。もしくは、性能を評価するような基本パターンを予め用意してそれを使用する。

50

【0104】

少なくとも2種類以上のパターンでOPE特性を評価する。結像の評価方法は、例えば、ある場所のCD値やコントラストやED-window、NILSの値などを用いてもよい。このような値が一定以上を満たすことを条件としたり、一以上の評価方法を互いに重み付けをしたものが一定値以上を満たすことを条件としてもよい。特に、OPE特性は二以上の評価基準で相対的なCD値を評価する。

【0105】

補正パラメータは、NAの値や有効光源の形状、有効光源の輝度分布、有効光源の偏光方向や偏光度、レーザ波長幅、球面収差、非点収差などの中から少なくとも一つを選択する。補正パラメータは、各像高に対して平均的成分を補正し、像高間差はなるべく少なくするようにする。レチクルパターンの最適化ではOPCの量を調整する。

10

【0106】

次に、スリット全体に関する結像の非対称成分を補正する。例えば、2本ラインの左右と上下の線幅差などで、これもレチクル内部にあるパターンでもよいが、それ以外の標準パターンを定めておいてもよい。結像の評価方法としては、片方の線幅を基準としたときの反対側のパターンの線幅を評価する。瞳透過率分布の非対称性、有効光源の輝度分布の非対称性、軸上テレセン度、非点収差、全面のコマ収差、全面の3収差成分などを補正する。

【0107】

更に、スリット内各点（フィールドの中央と両端など）の結像特性の差を、CD値やコントラストやED-window、NILSの値などの場所間の差に基づいて補正する。具体的には、各点の瞳透過率、偏光度の像高差、レンズの像面、スリット内照度分布などを補正する。各点の非対称成分の差についても有効光源の輝度分布の非対称性、軸外テレセン度、軸外のコマ収差、軸外の3収差成分などで補正する。

20

【0108】

最後にショット間、ウェハ間、ロット間の結像性能の差について、主にCDを評価して、積算露光量など設定値で補正する。最適化されたOPCパターンに対しては、マスク上の基本データを重ね合わせて、製品用のマスクとなる。これにより、歩留りのよいレチクルを作成することができる。

【0109】

最適化フローは、順番を変更したり、ある工程を繰り返したりしてもよい。また、露光条件の最適化においては最適化の範囲を限定して効率を上げてよい。例えば、光源110であれば、スペクトル幅を変更する際の半値幅やE95等の指標、実際の光源のスペクトル強度分布との関係を表す式を予め求めておく。有効光源の形状や輪帯比なども、例えば、2/3輪帯を設定した際の輝度分布をビットマップデータとして読みこみ、や輪帯比を変更したときの輝度のビットマップとの差を算出する。この差の値と補正量との関係を定式化しておく。

30

【0110】

有効光源の形状を生成する回折光学素子を交換する際には、新たに作成した回折光学素子による有効光源の輝度分布を予測することができる。即ち、回折光学素子とレチクル面までの間で光学光学素子の切り替えがある場合は、その素子の組み合わせごとに、ラジアル方向とタンジェンシャル方向の有効光源エッジ部分の輝度のスロープを予め計測する。そのときのパラメータは、回折光学素子に入射する光束の入射角度、有効光源の外、内、NA、回折光学素子の形状情報などとなる。輝度スロープとこれらのパラメータの関係を予め定式化しておくことにより、実際の装置での有効光源輝度分布の調整範囲を加味してシミュレータで露光条件の最適化決定が可能である。

40

【0111】

偏光方向に関する限定は、例えば、X方向、Y方向、ラジアル方向、タンジェンシャル方向の中から最適化してもよい。

【0112】

50

投影光学系の収差の最適化は、投影光学系毎に固有の調整範囲の情報をを用いてレンズ等の駆動調整範囲を限定したり、他の収差に対する許容値内という条件の下で行う。「調整範囲」とは、あるレンズ素子群の駆動が $\pm 50\text{ }\mu\text{m}$ 以内とか、偏心が $\pm 10\text{ }\mu\text{m}$ 以内もしくは 0.01° 以内などの情報を意味する。「他の収差の許容値」とは、例えば、コマ収差を最適化する場合に歪曲が 2 nm 以内、像面及び非点収差が 5 nm 以内などの制限条件を意味する。

【0113】

第1の露光装置に対して最適化されたレチクルを別の第2の露光装置で露光する場合、露光装置間の特性差を補正するために、第2の露光装置のパラメータを最適化する。第2の露光装置での結像パターンをシミュレーションするために、まずは第2の露光装置のパラメータの初期値を決定する必要がある。第1の露光装置に関して全ての計測可能な特性をまず計測する。その後、対応する第2の露光装置の補正敏感度テーブルと第2の露光装置の計測値を用いて、第1の露光装置の計測値に近づくように、各パラメータを補正する。第1の露光装置の未知のパラメータに関しては、第2の露光装置の現状の計測値をそのままシミュレータの条件に入力する。

10

【0114】

これを初期状態として、レチクルの設計データの全部又は一部をシミュレータの物体面情報として入力し、初期データを基に計算した結像パターンを評価する。結像シミュレータは直交する2方向の偏光方向ごとに解析し、結像面の光強度分布を加える。計測する装置のパラメータは、例えば、光源波長幅、NA、瞳透過率、偏光度、スリット内照度分布、積算露光量分布、軸上テレセン度、軸外テレセン度、レンズ収差、既存レチクルのペリクル膜厚などである。

20

【0115】

偏光毎にパラメータ全てに関して結像性能を計算し、例えばマスクパターンの歩留りに影響する部分に着目して評価パラメータで評価する。評価は、2箇所以上のパターンを含み、1箇所の評価の方向と直交する方向のパターンを評価することにより、偏光の影響を計測する。性能を評価する基本パターンを予め用意してそれを使用してもよい。少なくとも2種類以上のパターンでOPE特性を評価し、異なる方向の評価パターンを含めてパターンの方向による影響も評価する。

【0116】

露光装置の特性の計測データや、一台ごとの補正時の変化率に関するデータは、ホストで管理し、既存レチクルを用いる際に、第1の露光装置の特性情報と第2の露光装置の特性情報を比較して第2の露光装置の露光条件を最適化する。レチクル事のペリクル膜厚やそれによる瞳透過率特性、収差特性などもホストで管理し、最適化のパラメータとして用いてもよい。

30

【0117】

最適化されたパラメータをホストから第2の露光装置に送信し、第2の露光装置はそれをJobのパラメータの中に自動的に設定する。

【0118】

以上示したように、本発明によれば、偏光による結像性能が無視できなくなるような高NAの光学系に対しても、露光条件とマスクパターンを最適化でき、歩留りを大幅に改善することができる。

40

【0119】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0120】

【図1】本発明の一実施例としての露光装置の概略ブロック図である。

【図2】図1に示す露光装置に使用される絞り（マスキングブレード）の光軸に垂直な面

50

から見た平面図である。

【図 3 A】図 1 に示す露光装置の減光部材における円形状の有効光源の平面図である。

【図 3 B】図 1 に示す露光装置の減光部材におけるレチクルの下の方検出器における輪帯形状の有効光源の平面図である。

【図 3 C】図 3 A に示す有効光源の偏光度を示す概略図である。

【図 3 D】図 3 B に示す有効光源の偏光度を示す概略図である。

【図 4 A】直線偏光が楕円偏光に変化する様子を示す概略図である。

【図 4 B】ラインアンドスペース (L & S) パターンを P 偏光 (破線) と S 偏光 (実線) で照明した場合の結像コントラストを示す概略図である。

【図 5 A】図 1 に示す露光装置の照明光学系が生成する輪帯照明の概略図である。

10

【図 5 B】図 1 に示す露光装置のレチクルに形成される L & S パターンの一例の概略平面図である。

【図 5 C】偏光度と線幅 / 露光量敏感度との関係を示すグラフである。

【図 5 D】S 偏光と P 偏光の方向を示す概略図である。

【図 6 A】三種類のパターンとそれらから生じる 0 次と ± 1 次回折光を示す概略図である。

【図 6 B】レチクルを斜入射照明した場合に、投影光学系の射出瞳上での瞳透過率とパターンからの回折光の位置を瞳面の上から見た概略図である。

【図 6 C】パターンピッチを横軸にとり、ある光強度でスライスしたときの線幅を縦軸にとったグラフである。

20

【図 7】異なる NA に対するピッチと線幅との関係を示すグラフである。

【図 8 A】図 1 に示すレチクルのパターン例の平面図である。

【図 8 B】図 8 B に示すレチクルパターンを 2 重極照明する有効光源形状の一例である。

【図 8 C】図 8 B に示す 2 重極照明における偏光度を示す概略図である。

【図 8 D】図 8 A に示すレチクルパターンを図 8 B 及び図 8 C に示す有効光源で照明した場合のプレート面上の空中像をフォーカス位置毎に示した図である

【図 8 E】図 8 A に示すレチクルパターンを図 8 B 及び図 8 C に示す有効光源で照明した場合のレジスト像をフォーカス位置毎に示した平面図である

【図 8 F】図 1 に示すレチクルを照明する光の主光線が光軸と平行な場合と左右に傾斜した場合のプレート面上の空中像を示す図である。

30

【図 8 G】図 1 に示すレチクルを照明する光がテレセン状態であるが、左右で有効光源強度が同一の場合と変化した場合のプレート面上の空中像を示す図である。

【図 9】図 1 に示すレチクル上の露光スリット領域を示す概略平面図である。

【図 10 A】偏光度の対称性と像高の関係を示すグラフである。

【図 10 B】偏光度の非対称性と像高の関係を示すグラフである。

【図 11 A】図 1 に示す露光装置を利用するデバイス製造方法を説明するためのフローチャートである。

【図 11 B】図 11 A に示すステップ 4 の詳細なフローチャートである。

【図 12 A】露光条件及びレチクルパターンの両方を最適化するためのブロック図である。

40

【図 12 B】既存のレチクルに対して露光条件を最適化するためのブロック図である。

【図 13 A】図 1 に示す露光装置の投影光学系の複屈折の例を示す概略平面図である。

【図 13 B】図 13 A に示す複屈折量が半径と共に 2 次関数的に増大する様子を示すグラフである。

【図 13 C】図 13 A に示す投影光学系が直線偏光を受けた場合の瞳面での位相分布を示す図である。

【図 13 D】図 13 A に示す投影光学系が直線偏光を受けた場合の瞳面での位相分布を示す図である。

【図 14】図 1 に示すレチクル面近傍の検出器の拡大断面図である。

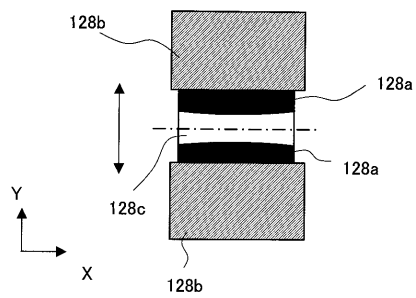
【符号の説明】

50

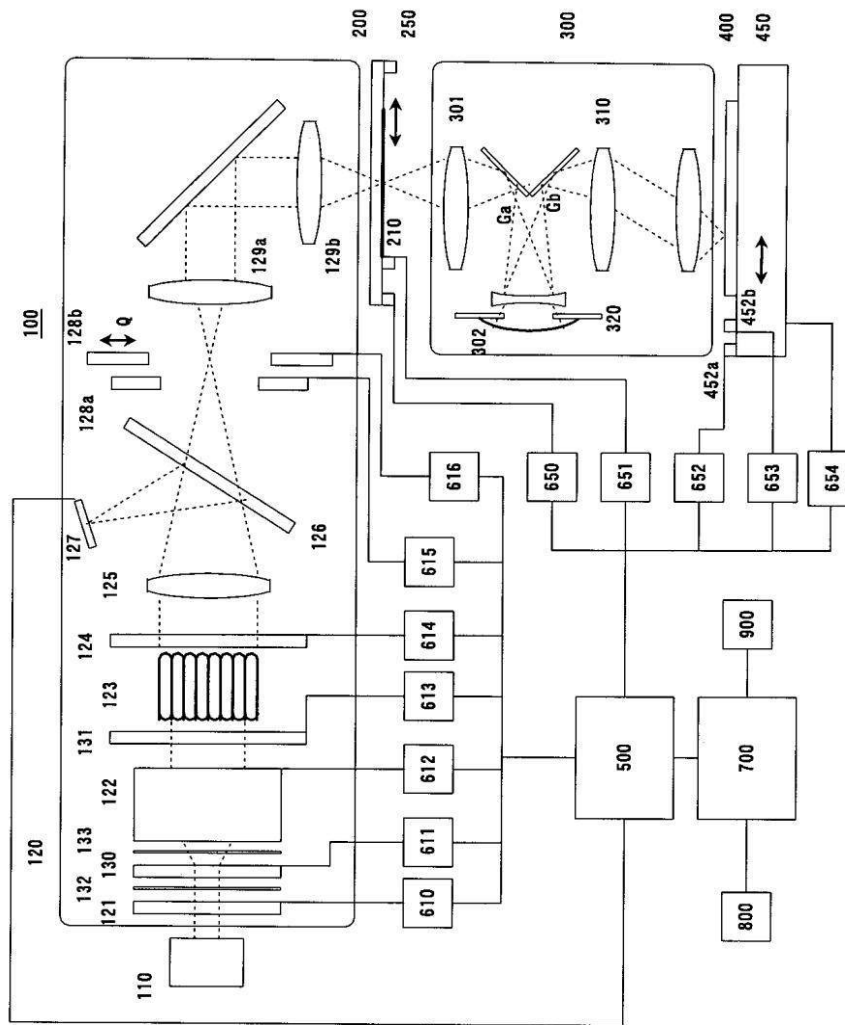
【 0 1 2 1 】

1 0 0	露光装置
1 2 0	照明光学系
2 0 0	レチクル（マスク）
3 0 0	投影光学系
4 0 0	プレート
5 0 0	制御部
7 0 0	シミュレータ

【 図 2 】

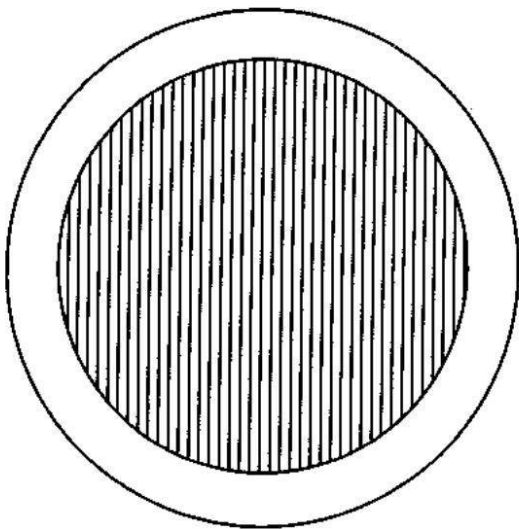


【図 1】



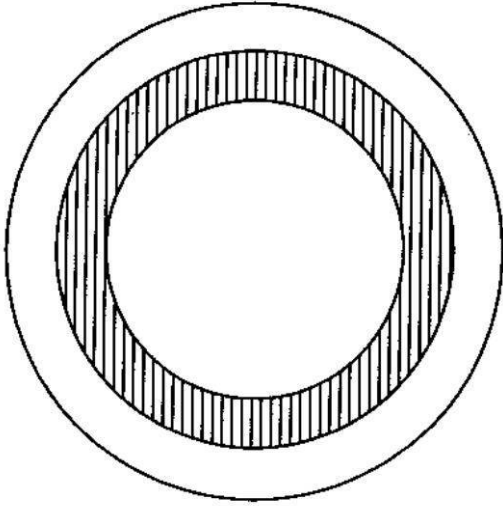
【図 3 A】

121



【図 3 B】

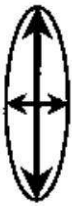
210



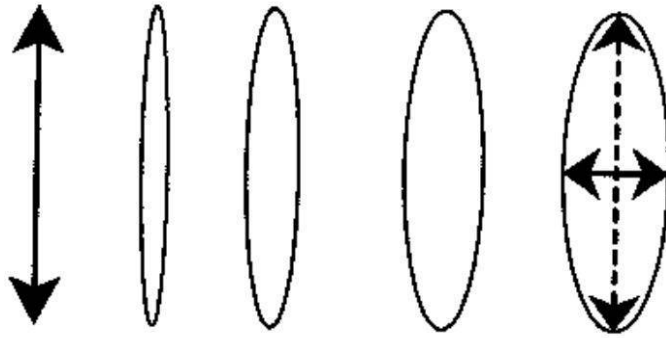
【図 3 C】



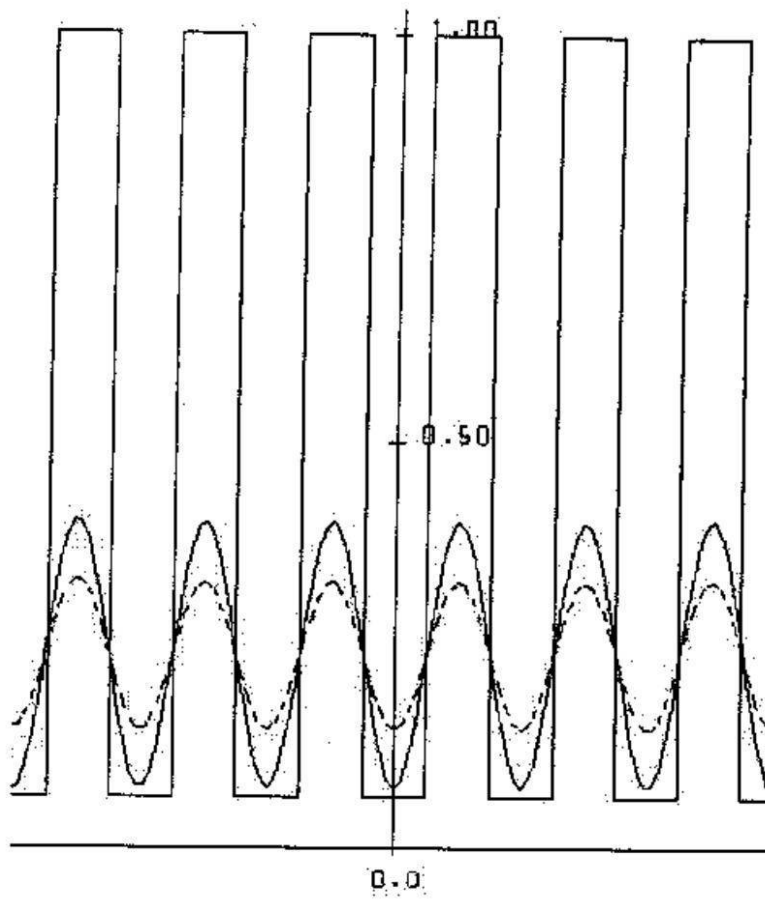
【図 3 D】



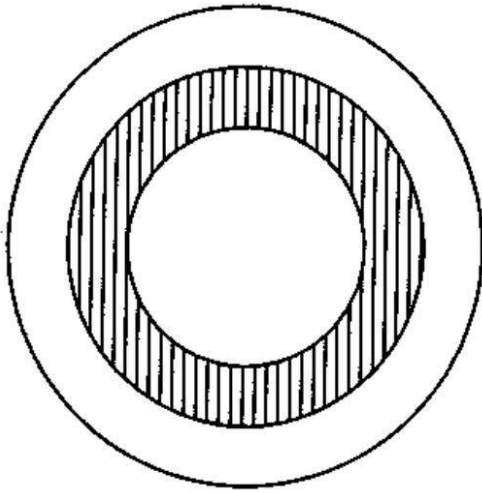
【図 4 A】



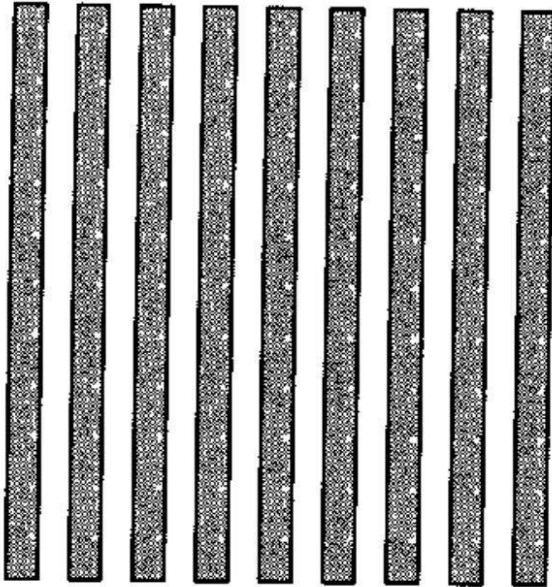
【図 4 B】



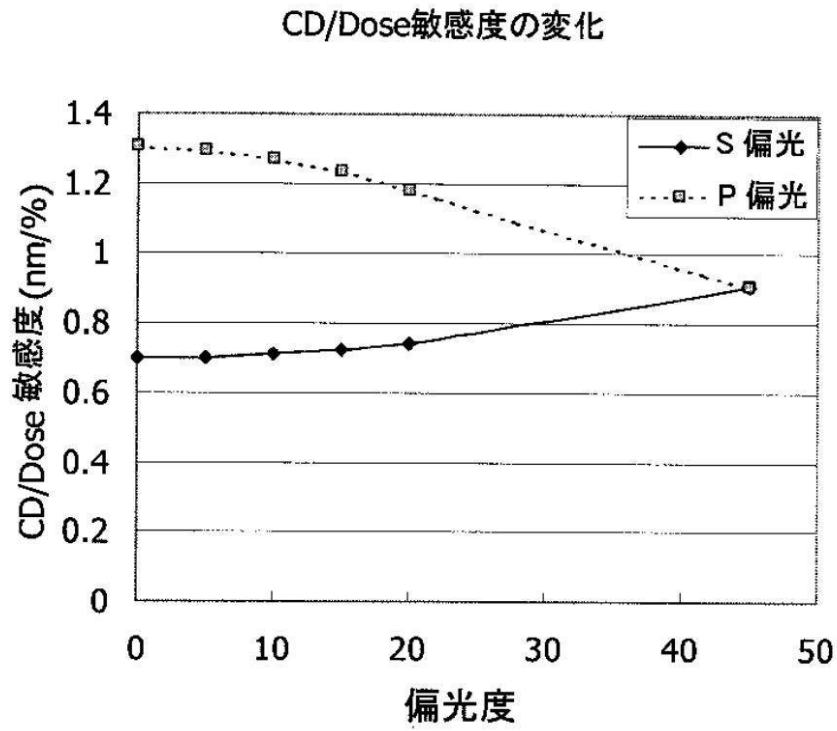
【図 5 A】



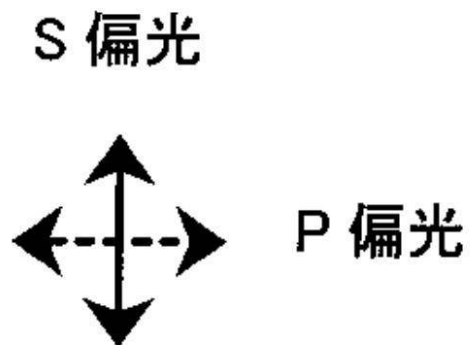
【図 5 B】



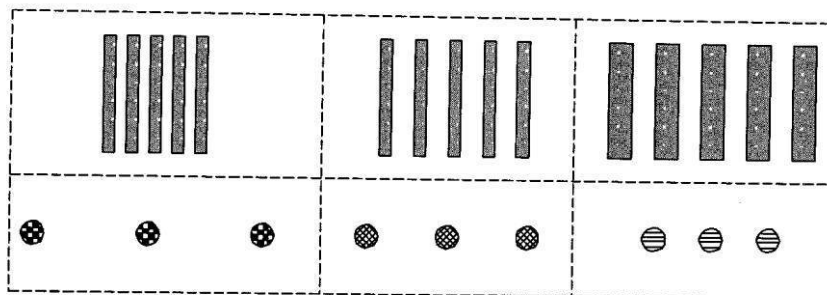
【図 5 C】



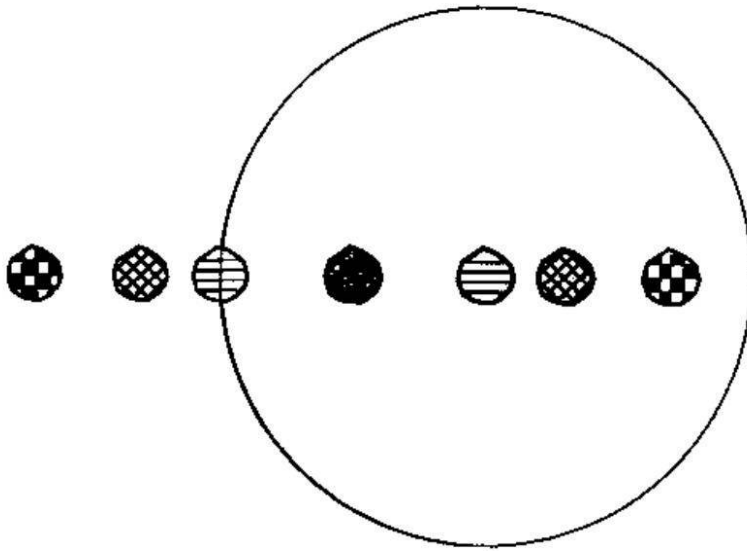
【図 5 D】



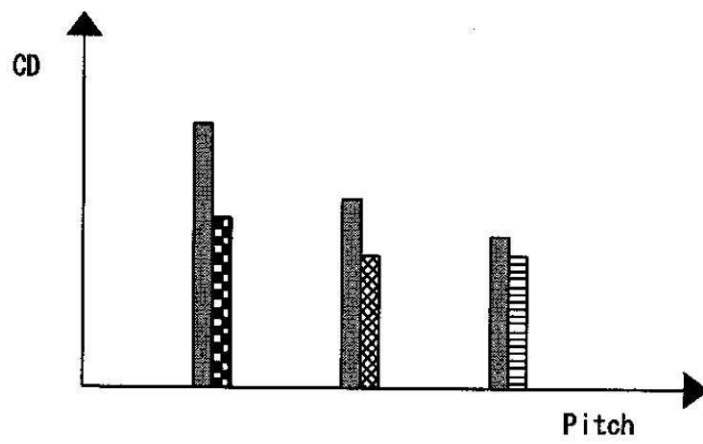
【図 6 A】



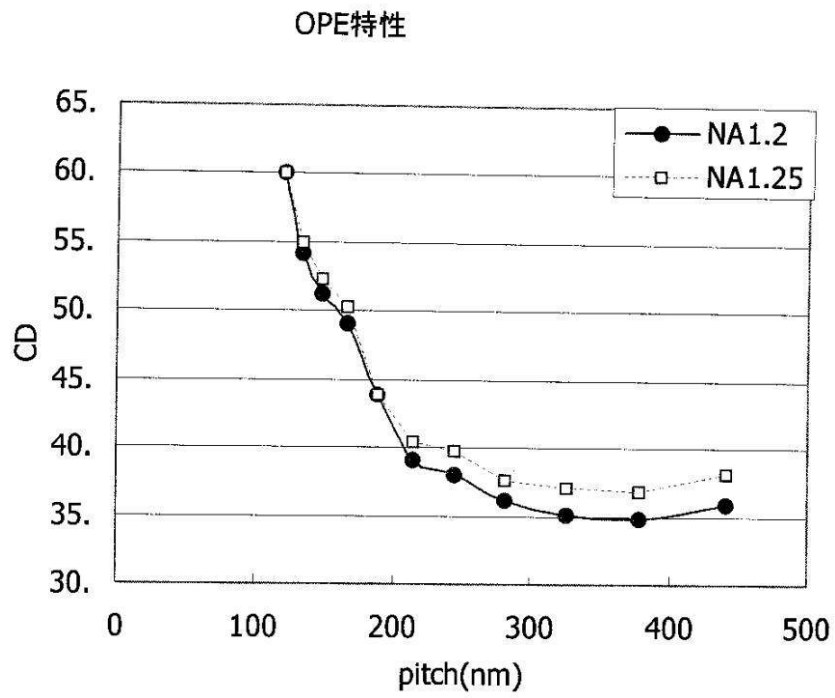
【図 6 B】



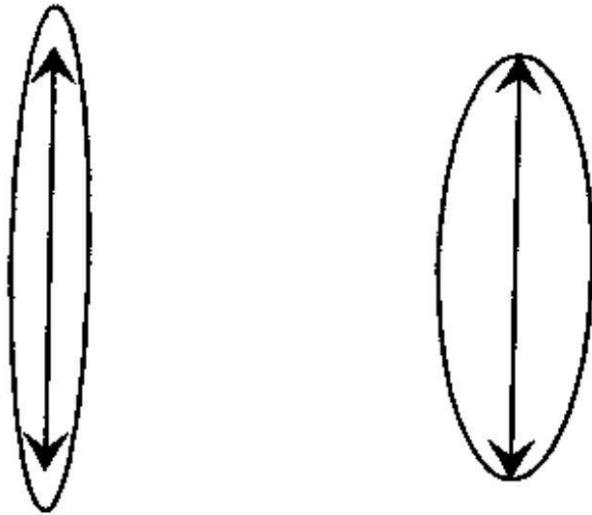
【図 6 C】



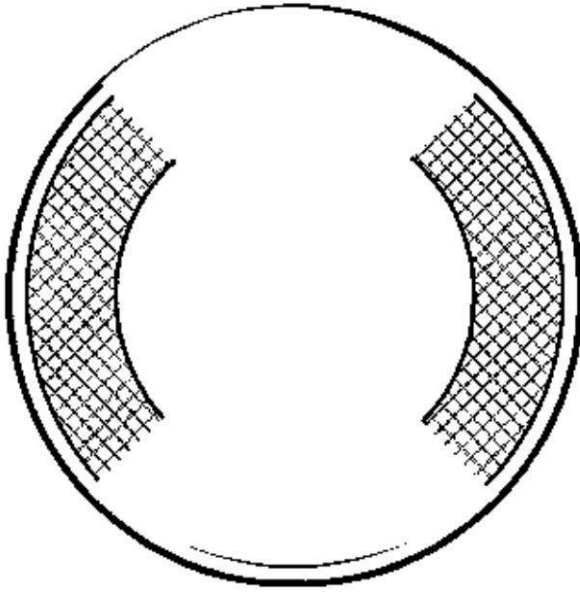
【図7】



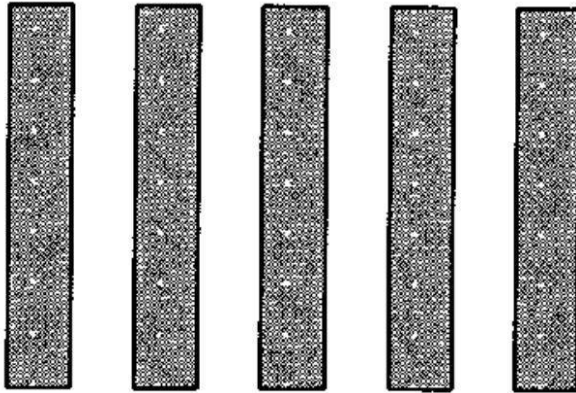
【図8A】



【図 8 B】

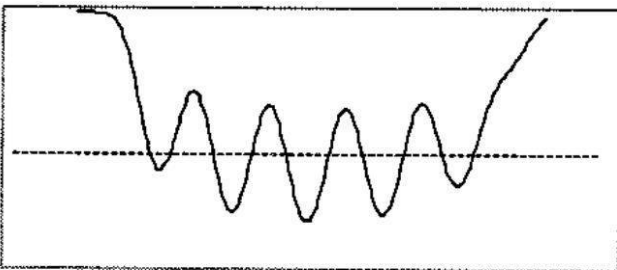
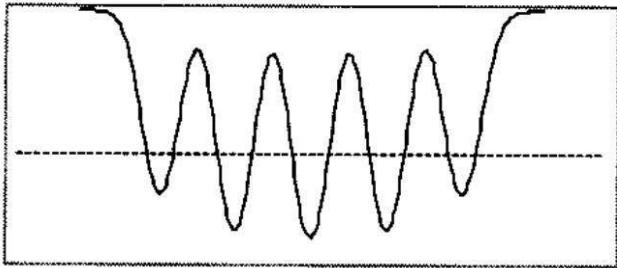
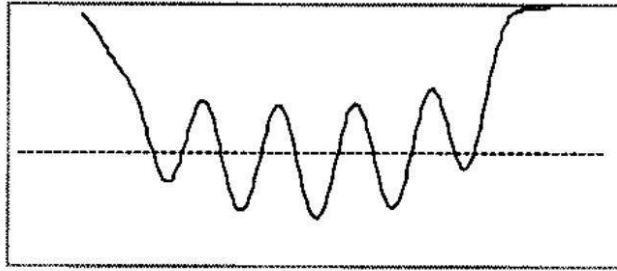


【図 8 C】



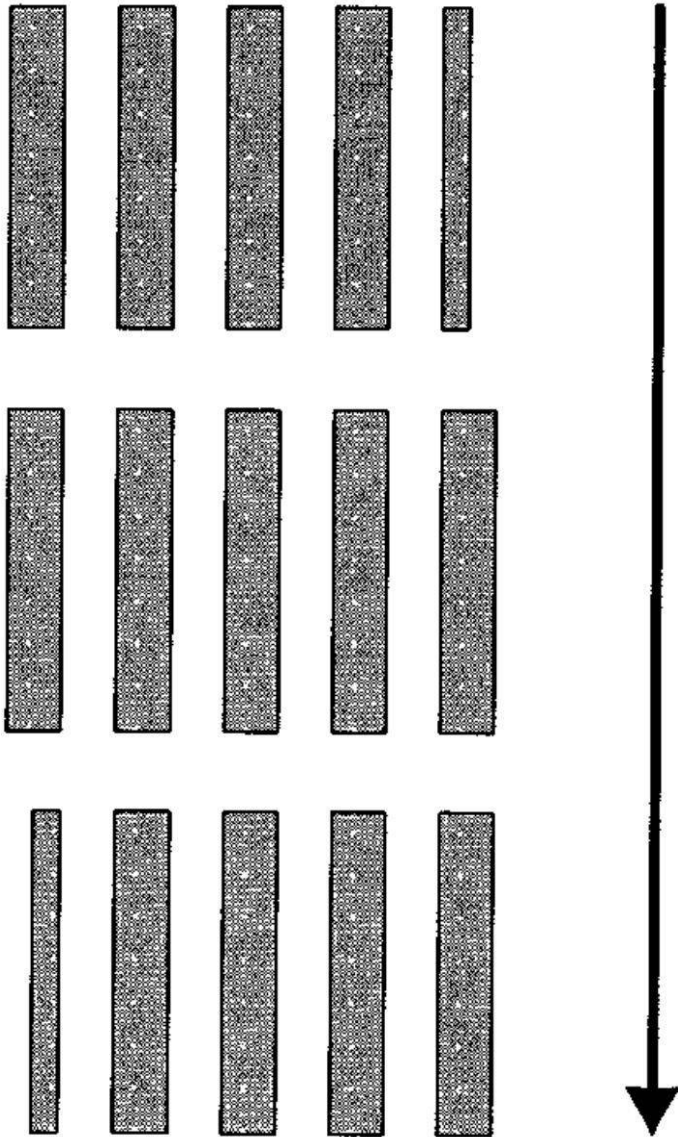
【図 8 D】

Focus 点の移動

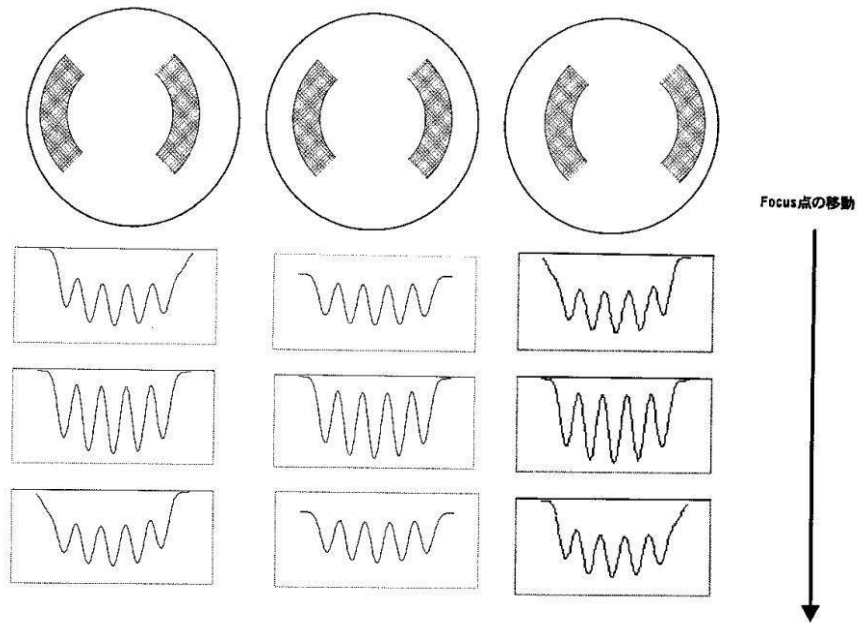


【図 8 E】

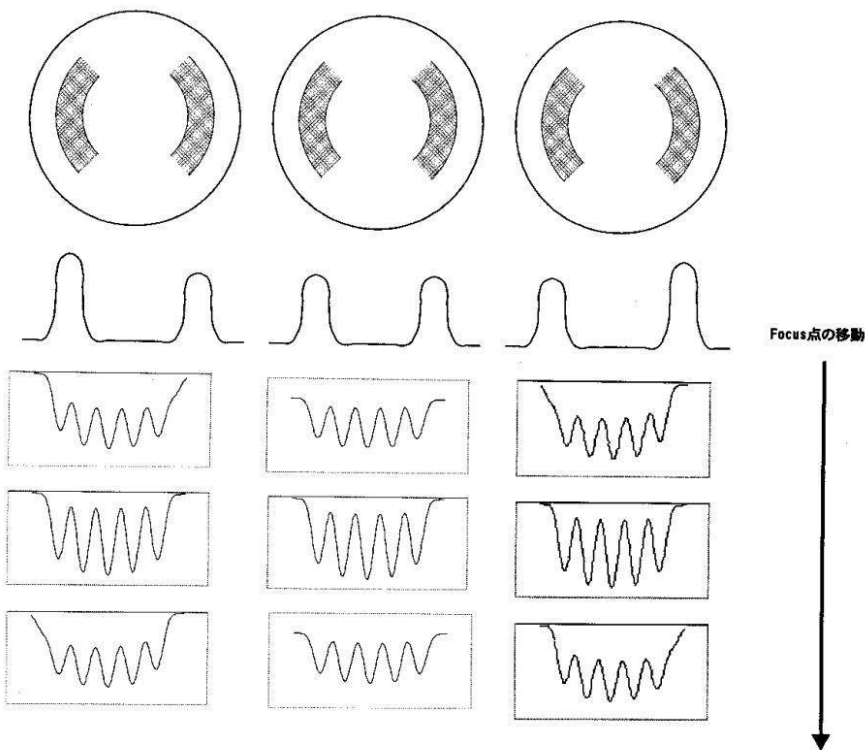
Focus点の移動



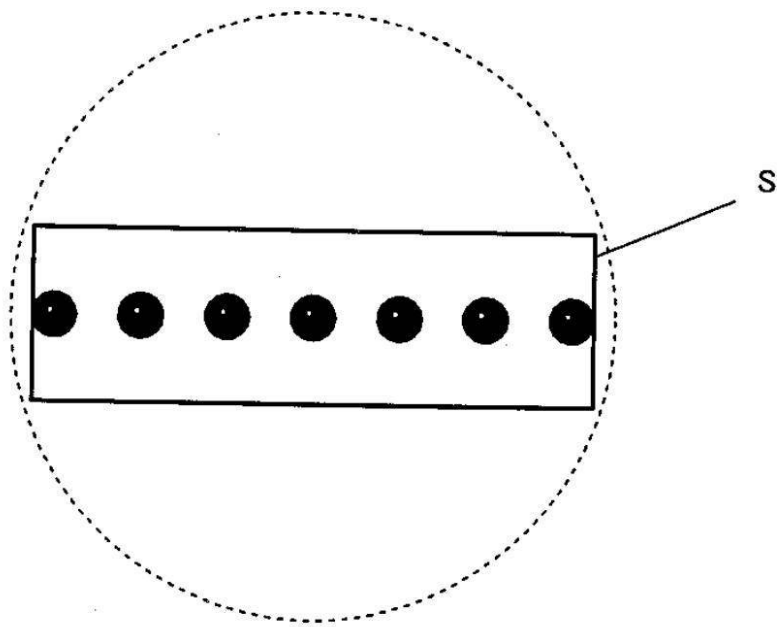
【図 8 F】



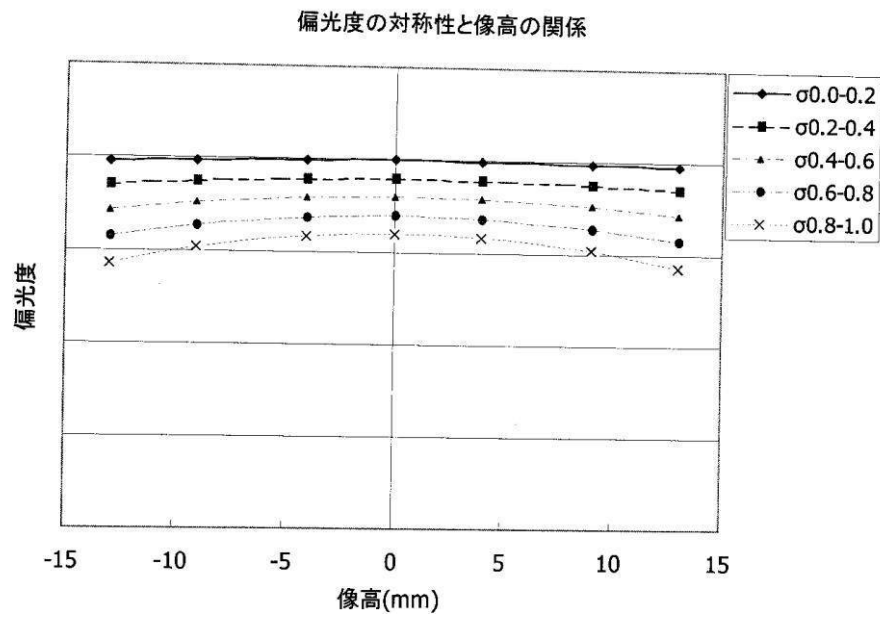
【図 8 G】



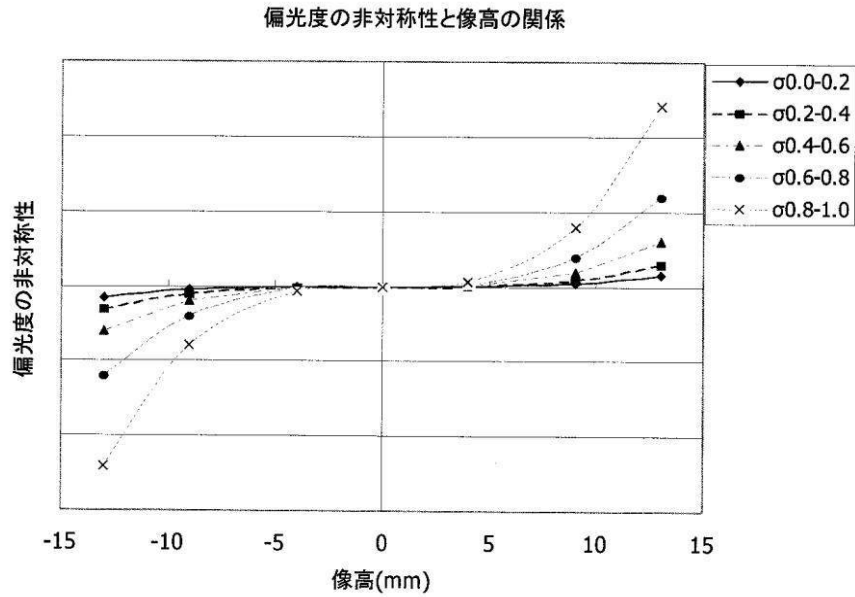
【図 9】



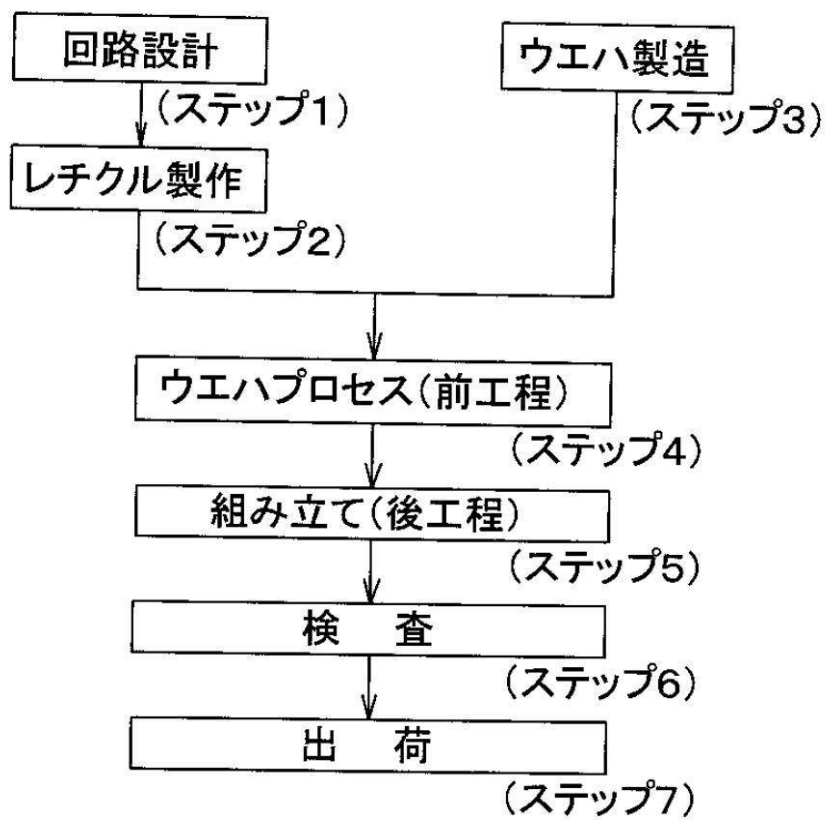
【図 10 A】



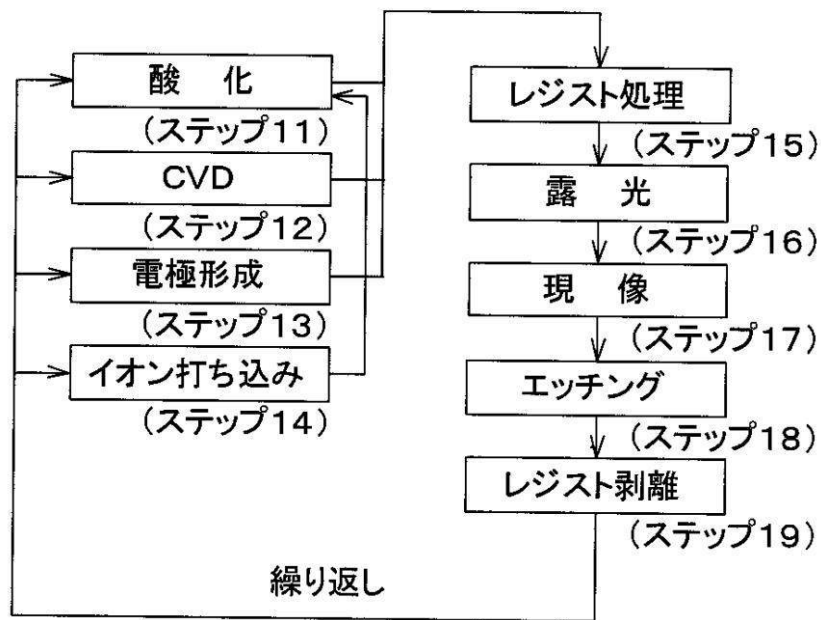
【図 10 B】



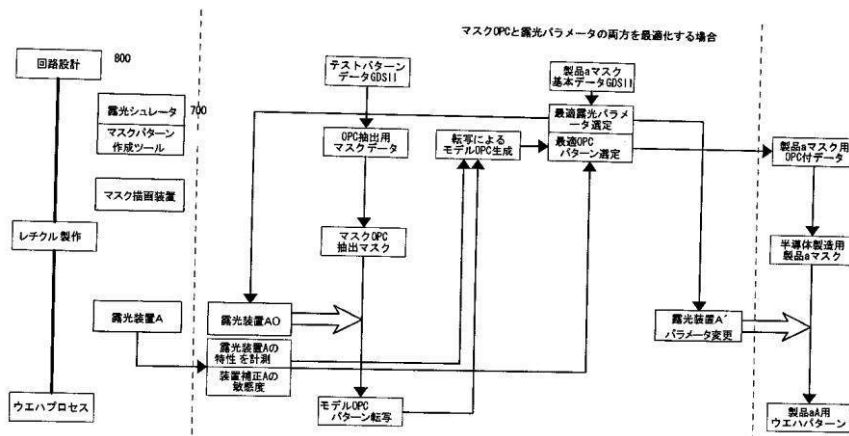
【図 11 A】



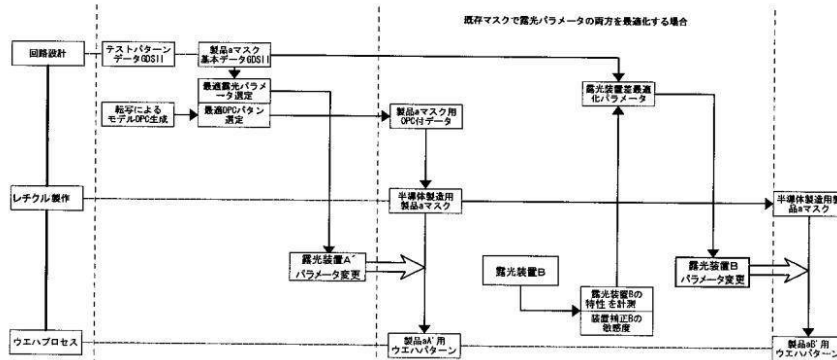
【図 1 1 B】



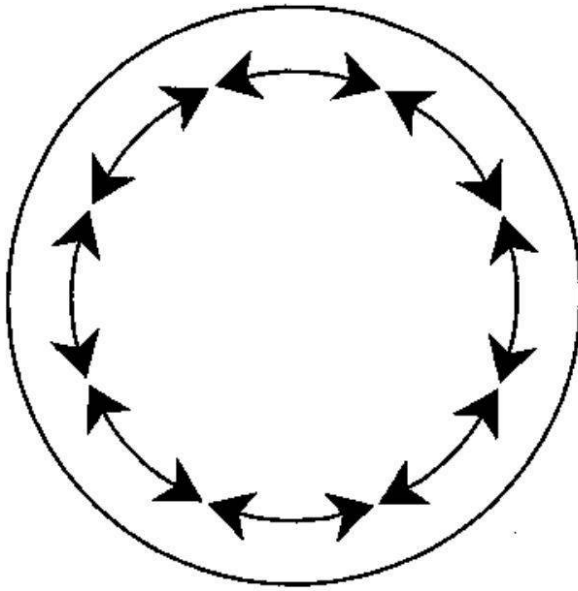
【図 1 2 A】



【図 1 2 B】

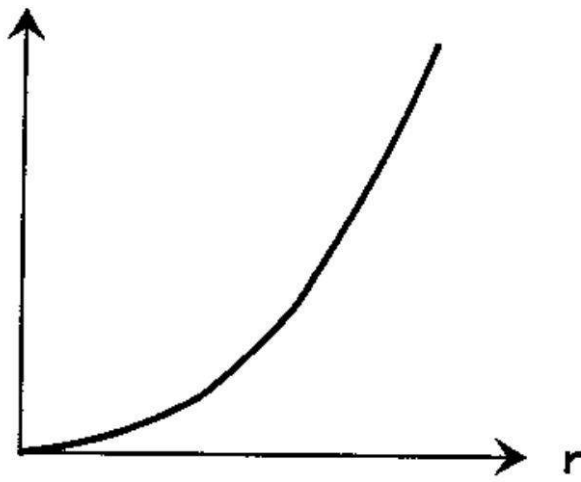


【図 13 A】

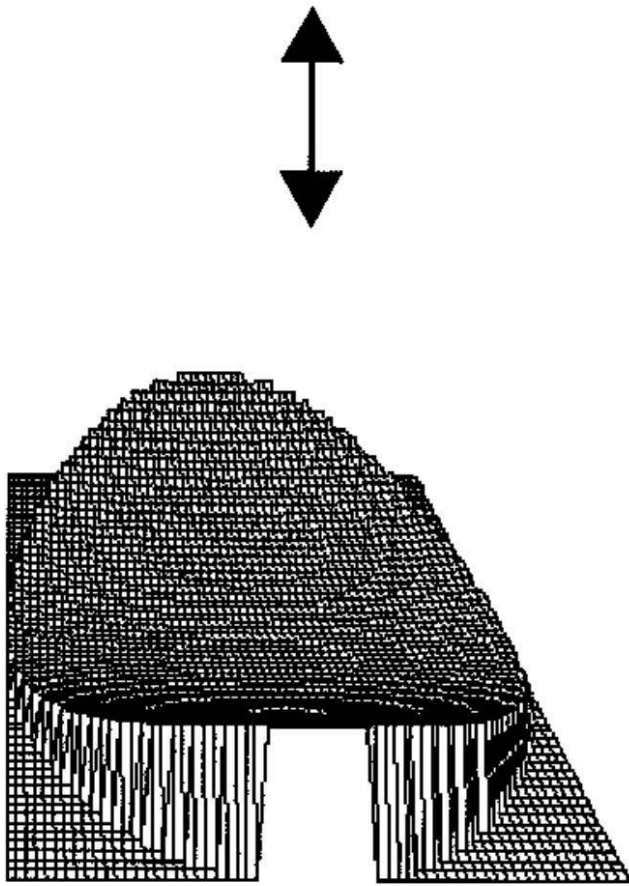


【図 13 B】

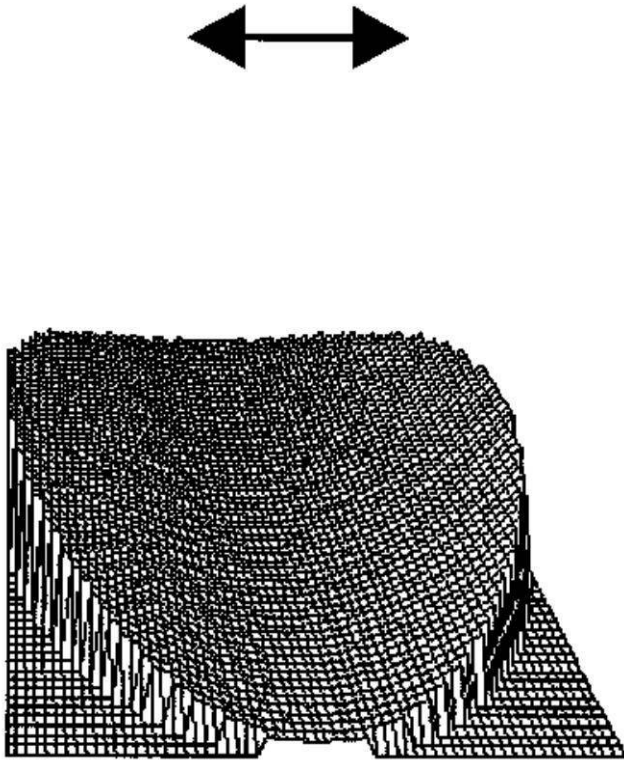
複屈折量



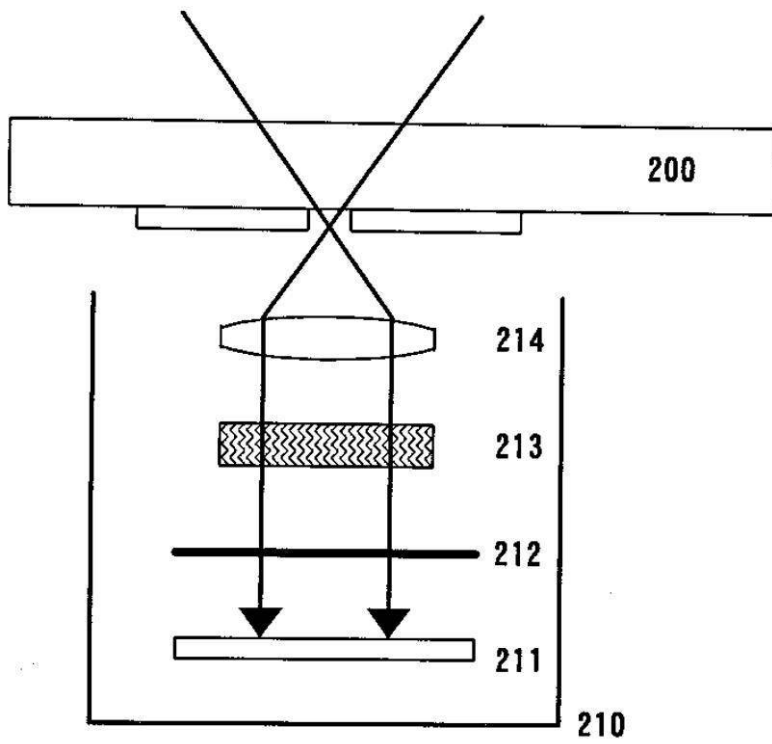
【図 13 C】



【図 13D】



【図 14】



フロントページの続き

審査官 岩本 勉

- (56)参考文献 特開2003-329516(JP,A)
特開2004-037137(JP,A)
特開2005-005521(JP,A)
特開平09-036037(JP,A)
国際公開第2004/100236(WO,A1)
特開2002-319539(JP,A)
特開2002-324752(JP,A)
特開平06-120119(JP,A)
特開平08-335552(JP,A)
特開2002-184688(JP,A)
特開2006-173628(JP,A)
国際公開第2006/016584(WO,A1)
国際公開第2005/031467(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027
G03F 7/20