(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3743576号
(P3743576)
(45)発行日　平成18年2月8日(2006.2.8)　(24)登録日　平成17年11月25日(2005.11.25)

(51)Int.Cl.		F I		
G02B 27/18	(2006.01)	G02B	27/18	Z
G03F 7/20	(2006.01)	G03F	7/20	521
H01L 21/027	(2006.01)	H01L	21/30	515D

請求項の数 8　(全 16 頁)

(21)出願番号　特願平7-198181
(22)出願日　平成7年7月11日(1995.7.11)
(65)公開番号　特開平9-26554
(43)公開日　平成9年1月28日(1997.1.28)
審査請求日　平成14年7月9日(2002.7.9)

(73)特許権者　000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号
(74)代理人　100102901
弁理士　立石　篤司
(74)代理人　100099793
弁理士　川北　喜十郎
(72)発明者　西　健爾
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号　株式会社　ニコン内
(72)発明者　千葉　洋
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号　株式会社　ニコン内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】投影露光装置、及びそれを用いた半導体素子又は液晶表示素子の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

照明光学系より射出される照明光によりマスクを照明し、前記マスク上のパターンを、感光基板側がテレセントリックな投影光学系を介して感光基板上に転写する投影露光装置であって、

少なくとも前記照明光学系内における機械的又は光学的誤差をその誤差要因とする前記感光基板側の部分的なテレセントリック性の誤差を補正する補正光学部材が、前記マスクと前記マスク上に前記照明光を集光するコンデンサレンズとの間に配置されたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項２】

照明光学系より射出される照明光によりマスクを照明し、前記マスク上のパターンを、感光基板側がテレセントリックな投影光学系を介して、感光基板上に転写する投影露光装置であって、

前記照明光を発する照明光源と前記マスクとの間に配置され、前記マスクの照明条件を変更する駆動型光学部材と；

前記駆動型光学部材により設定される各照明条件下での、少なくとも前記照明光学系内における機械的又は光学的誤差をその誤差要因とする前記感光基板側の部分的なテレセントリック性の誤差をそれぞれ補正する各照明条件毎の補正光学部材と；

前記駆動型光学部材の駆動に連動してその照明条件に対応する補正光学部材を前記マスクと前記マスク上に前記照明光を集光するコンデンサレンズとの間の前記マスク上の照野

範囲に対応する領域に切り替え設定する切り替え設定手段とを有する投影露光装置。
【請求項３】
前記駆動型光学部材は、複数種類の照明系開口絞りを含み、且つその複数の照明系開口絞りの中から所望の照明系開口絞りを前記照明光学系の光路上に選択配置し、
前記補正光学部材は、前記複数種類の照明系開口絞りにそれぞれ対応する複数の補正光学部材を含み、
前記切り替え設定手段は、前記選択配置された照明系開口絞りに対応する補正光学部材を、前記マスク上の照野範囲に対応する領域に設定することを特徴とする請求項２に記載の投影露光装置。
【請求項４】
前記照明光学系内に配置され、前記マスク上の照野範囲をスリット状の照明領域に規定する視野絞りを更に有し、
前記切り替え設定手段は、前記スリット状の照明領域の短手方向に移動することにより前記補正光学部材を切り替え設定することを特徴とする請求項２又は３に記載の投影露光装置。
【請求項５】
前記照明光学系内に配置され、前記照明光学系におけるテレセントリック性のずれ量の補正を行う調整機構を更に有することを特徴とする請求項１～４の何れか一項に記載の投影露光装置。
【請求項６】
前記補正光学部材は、前記感光基板側の部分的なテレセントリック性の誤差を補正するように一部の厚さを異ならした平行平板であることを特徴とする請求項１～５の何れか一項に記載の投影露光装置。
【請求項７】
前記補正光学部材は、前記感光基板側の部分的なテレセントリック性の誤差を補正するように屈折力を部分的に変化させた平行平板であることを特徴とする請求項１～５の何れか一項に記載の投影露光装置。
【請求項８】
請求項１～７の何れか一項に記載の投影露光装置を使用して、マスク上のパターンを感光基板上に転写露光するフォトリソグラフィ工程を含む半導体素子又は液晶表示素子の製造方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、投影露光装置に係り、さらに詳しくは、半導体素子又は液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される投影露光装置に関する。
【０００２】
【従来の技術】
半導体素子等を製造する際に使用される投影露光装置では、マスクとしてのレチクル上のパターンをフォトレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）の各ショット領域に転写露光するために、投影光学系としてウエハ側がテレセントリックな光学系が一般的に用いられる。これは、ウエハ表面の凹凸により、露光フィールド内にデフォーカス部が発生し、その部分での主光束（主光線）の傾きにより横シフトが起きることを防ぐためである。この際のデフォーカスに関しては、投影光学系の許容焦点深度の範囲では問題とならないが、前述した横シフトは、ディストーション誤差や像劣化誤差を招くために、調整時にできるだけ傾きが発生しないように調整される。
【０００３】
投影レンズの設計上、ウエハ面側をテレセントリックにする手段として、レチクル面側もテレセントリックである両側テレセントリック系と、レチクルのパターン面に対して線形傾きを持った片側テレセントリック系とが使用される。両者とも照明系がその条件に合せ

て設計され、任意の角度でレチクルを照明できるようになっているが、各照明系の機械的な誤差及び光学誤差等により、図９（Ａ）に示されるような倍率方向の角度誤差（ウエハ上の照明フィールド１４７に対し、ウエハを一定量デフォーカスさせたときの横ずれ）や、同図（Ｂ）に示されるような横シフト誤差が残留誤差として残ってしまう。

【０００４】

かかる残留誤差を除去するために、現状では、図１０に示されるように、レチクルＲを照明するための照明系の調整が行なわれている。すなわち、図１０において、照明系を構成するフライアイ光学系１１４、第１リレーレンズ１３４、第２リレーレンズ１３８、コンデンサレンズ１３９、偏向ミラー１４０等を上下左右に微動させたり、光軸方向にずらしたり、傾きを調整したりすることにより、残留線形角度誤差に対する調整が行なわれている。

【０００５】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述した従来技術の照明系構成部材の微調整という手法にあっては、図９（Ａ）、（Ｂ）に示されるような線形誤差の調整は可能であるが、図１１（Ａ）に示されるような非線線な角度誤差Ｘが存在すると、これを調整することができないという不都合があった。すなわち、図１１（Ａ）の状態を、図１０のフライアイ光学系１１４、第１リレーレンズ１３４、第２リレーレンズ１３８、コンデンサレンズ１３９、偏向ミラー１４０等の微調整（図１０中に符号Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｄ、Ｅで示す）により調整した場合、図１１（Ｂ）のように誤差Ｘ’が残ってしまうことになるからである。この調整後の状態の斜視図が図１１（Ｃ）に示されており、これによれば右上の主光線が傾いていることが確認できる。

【０００６】

また、最近では、例えば微細な周期的なパターンに対する解像度、及び焦点深度を向上させるために、照明系開口絞りを光軸に対して偏心した複数の開口からなる形状とする変形光源法（例えば特開平４－２２５３５８号公報参照）、又は照明系開口絞りの形状を輪帯状にする輪帯照明法等が提案されており、このように照明系開口絞りの開口の形状が種々に変化する場合には、前述した照明系構成部材の微調整という手法をそのまま適用するだけでは、テレセントリック性の誤差を除去することは困難である。

【０００７】

本発明は、かかる従来技術の有する不都合に鑑みてなされたもので、その目的は、照明条件に左右されることなく、感光基板側のテレセントリック性を確保することができる投影光学装置を提供することにある。

【０００８】

【課題を解決するための手段】

本発明は、第１の観点からすると、照明光学系より射出される照明光によりマスクを照明し、前記マスク上のパターンを、感光基板側がテレセントリックな投影光学系を介して感光基板上に転写する投影露光装置であって、少なくとも前記照明光学系内における機械的又は光学的誤差をその誤差要因とする前記感光基板側の部分的なテレセントリック性の誤差を補正する補正光学部材が、前記マスクと前記マスク上に前記照明光を集光するコンデンサレンズとの間に配置されたことを特徴とする第１の投影露光装置である。

【０００９】

本発明は、第２の観点からすると、照明光学系より射出される照明光によりマスクを照明し、前記マスク上のパターンを、感光基板側がテレセントリックな投影光学系を介して、感光基板上に転写する投影露光装置であって、前記照明光を発する照明光源と前記マスクとの間に配置され、前記マスクの照明条件を変更する駆動型光学部材と；前記駆動型光学部材により設定される各照明条件下での、少なくとも前記照明光学系内における機械的又は光学的誤差をその誤差要因とする前記感光基板側の部分的なテレセントリック性の誤差をそれぞれ補正する各照明条件毎の補正光学部材と；前記駆動型光学部材の駆動に連動してその照明条件に対応する補正光学部材を前記マスクと前記マスク上に前記照明光を集

光するコンデンサレンズとの間の前記マスク上の照野範囲に対応する領域に切り替え設定する切り替え設定手段とを有する第２の投影露光装置である。

【００１０】

本発明の第１又は第２の投影露光装置において、前記補正光学部材は、前記感光基板側の部分的なテレセントリック性の誤差を補正するように一部の厚さを異ならした平行平板であることとすることができる。

【００１１】

【作用】

本発明の第１の投影露光装置によれば、マスクとマスク上に照明光を集光するコンデンサレンズとの間に、少なくとも前記照明光学系内における機械的又は光学的誤差をその誤差要因とする前記感光基板側の部分的なテレセントリック性の誤差を補正する補正光学部材が配置されたことから、感光基板側のテレセントリック性が確保される。ここで、マスクとコンデンサレンズ間に補正光学部材を配置するのは、コンデンサレンズの収差によるテレセントリック性の誤差をも除去するためである。

【００１２】

本発明の第２の投影露光装置によれば、駆動型光学部材の駆動に連動してその照明条件に対応する補正光学部材をマスクとマスク上に照明光を集光するコンデンサレンズとの間のマスク上の照野範囲に対応する領域に切り替え設定する切り替え設定手段が設けられていることから、駆動型光学部材の駆動により照明条件が変更された場合、例えば、通常照明から変形照明に変更された場合、各照明条件毎の補正光学部材により駆動型光学部材により設定される各照明条件下での、少なくとも前記照明光学系内における機械的又は光学的誤差をその誤差要因とする感光基板側の部分的なテレセントリック性の誤差がそれぞれ補正される。

【００１３】

補正光学部材を、感光基板側の部分的なテレセントリック性の誤差を補正するように一部の厚さを異ならした平行平板とした場合、当該補正光学部材の製造コストが安価である。例えば、試し焼き、あるいはフォーカス位置を逐次ずらしながらスリットセンサによりマーク検出を行なう等によりテレセントリック性の誤差を予め検出すれば、この誤差が補正されるように一部の厚さを異ならした平行平板を容易かつ安価に製造することができる。

【００１４】

【実施例】

以下、本発明の一実施例を図１ないし図８に基づいて説明する。

【００１５】

図１には、一実施例に係るいわゆるステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置１１０が示されている。

【００１６】

図１において、照明光源としての水銀ランプ１からの照明光ＩＬは楕円鏡２によって集光される。その集光点近傍にシャッター制御機構５により開閉されるシャッター４が配置され、シャッター４が開状態の場合、その照明光はミラー３及びインプットレンズ６を介してほぼ平行光束に変換された後、視野絞り７に達する。視野絞り７の直後に、出し入れ自在に減光板２３が配置され、減光板２３により視野絞り７を通過する照明光ＩＬの光量を所定範囲内で段階的、又は連続的に変化させることができるようになっている。このように、減光板２３により照明光ＩＬの光量を調整可能にしたのは、感光基板としてのウエハW表面に塗布されるレジスト感度に合わせて照明光ＩＬの光量を調整することにより、スループットを維持することができるようにするためである。

【００１７】

減光板２３は、例えば反射型ハーフミラーを複数個切り換え自在に配置したものにより構成され、各ハーフミラーの光軸に対する傾きがそれぞれ全体としての透過率を所定の透過率にするように設定される。そして、駆動モータを含む減光板駆動機構２４で、減光板２

３をステップ移動させることにより、照明光ＩＬの光量が調整される。本実施例では、ウエハＷに対する露光量の制御を行うのは露光量制御系２０であり、露光量制御系２０が減光板駆動機構２４の動作を制御すると共に、シャッター制御機構５の動作をも制御する。更に、露光量制御系２０は、水銀ランプ１用の電源系２２を介して、水銀ランプ１に供給される電流を制御する。

【００１８】

視野絞り７の開口を通過した後、減光板２３によって光量が調整された照明光ＩＬは、第１リレーレンズ８を経て２段のフライアイレンズ群の内の第１フライアイレンズ９に入射する。第１フライアイレンズ９による複数の光源像からの照明光は、第２リレーレンズ１２Ａを介して第２フライアイレンズ１４に導かれる。ここで、第１フライアイレンズ９の射出面、即ち光源像の形成面の近傍に光量絞り１０が配置され、光量絞り１０の開口の大きさは光量絞り駆動機構１１によって任意の大きさに調整できるようになっている。光量絞り駆動機構１１の動作も露光量制御系２０により制御される。本実施例では光量絞り１０の開口の大きさを調整することにより、第１フライアイレンズ９から第２フライアイレンズ１４に向かう照明光ＩＬの光量を連続的に調整できる。

【００１９】

図２（Ａ）には、光量絞り１０の一例が示されている。この図２（Ａ）において、光量絞り１０は虹彩絞りより構成されている。この場合、例えばその虹彩絞りの周囲のレバーを動かすことにより、図２（Ｂ）に示されるように、その虹彩絞りのほぼ円形の開口の大きさが連続的に調整できるようになっている。

【００２０】

図１に戻り、近年、照明光学系の開口数（N.A.）を絞る、即ち照明光学系の開口数の投影光学系の開口数に対する比の値であるコヒーレンスファクタ（σ値）を小さくすることにより、所定のパターンに対する焦点深度を向上させる技術が開発されている。このようにσ値を小さくするときには、マスクとしてのレチクルＲを照明する照明光ＩＬの照度が減少する。本実施例では、かかる照明光ＩＬの照度の減少を防止する手段として、第２フライアイレンズ１４の入射面での照明領域の大きさを調整する調整機構が設けられている。

【００２１】

その調整機構は、第２リレーレンズ１２Ａと、この第２リレーレンズ１２Ａより屈折力の大きな別の第２リレーレンズ１２Ｂと、それら２つの第２リレーレンズ１２Ａ，１２Ｂを切り換える交換機構１３とから構成され、投影露光装置１１０全体の動作を統括制御する主制御系１９によりその交換機構１３の動作が制御される。そして、通常のσ値で照明を行うときには、交換機構１３を介して第１フライアイレンズ９と第２フライアイレンズ１４との間に一方の第２リレーレンズ１２Ａが配置され、これにより第２フライアイレンズ１４の入射面のほぼ全面が照明光ＩＬにより照明される。一方、σ値を小さくして（照明光学系の開口数を絞って）照明を行うときには、交換機構１３を介して第１フライアイレンズ９と第２フライアイレンズ１４との間に他方の第２リレーレンズ１２Ｂが配置され、これにより第２フライアイレンズ１４の入射面の中央部が部分的に照明光ＩＬで照明される。従って、σ値を小さくしたときには、第２フライアイレンズ１４の段階での照明光の照度が高くなるため、σ値の如何に拘らず、レチクルＲ及びウエハＷ上での照明光としては高い照度が得られることになる。

【００２２】

なお、本実施例の調整機構は、切り換え方式であるが、その調整機構を第１フライアイレンズ９と第２フライアイレンズ１４との間に配置されるズームレンズ系と、このズームレンズ系の変倍を行う変倍機構とから構成してもよい。このようにズームレンズ系を使用することにより、第２フライアイレンズ１４の入射面での照明視野の大きさを連続的に変化させることができる。従って、σ値を連続的に変化させたような場合でも、常にレチクル及びウエハ上での照度を高く維持できる利点がある。

【００２３】

前記第２フライアイレンズ１４は、それぞれモザイク状にレンズエレメントが密着して配

置された片面が平面状の２個のレンズ束１４ａ及び１４ｂを、それぞれの平面部が対向するように近接して配置したものである。そこで、以下では第２フライアイレンズ１４を「モザイク型フライアイレンズ１４」と呼ぶ。

【００２４】

図３（Ａ）にはモザイク型フライアイレンズ１４の側面図が示されている。この図３（Ａ）において、照明光学系の光軸ＡＸ１に沿ってそれぞれの平面部ＦＢ及びＦＣが間隔δで対向するように配置された２個のレンズ束１４ａ及び１４ｂよりモザイク型フライアイレンズ１４が構成されている。この場合、光源側の第１のレンズ束１４ａを構成する各レンズエレメントはそれぞれ入射面ＦＡ側で屈折力を有し、レチクル側の第２のレンズ束１４ｂを構成する各レンズエレメントはそれぞれ射出面ＦＤ側で屈折力を有する。

【００２５】

更に、第１のレンズ束１４ａに光源側から入射する平行光束は、第２のレンズ束１４ｂの射出面ＦＤ上に集光され、逆に第２のレンズ束１４ｂにレチクル側から入射する平行光束は、第１のレンズ束１４ａの入射面ＦＡ上に集光されるように、各レンズエレメントの屈折力が定められている。即ち、第２のレンズ束１４ｂの射出面ＦＤは、モザイク型フライアイレンズ１４の焦点面となっており、その射出面ＦＤに多数の光源像が形成される。従って、レンズ束１４ａ及び１４ｂは、２つが組み合わされて初めて１個のフライアイレンズとして機能する。なお、図３（Ａ）～（Ｃ）に示されるモザイク型フライアイレンズ１４の２つのレンズ束１４ａ，１４ｂを構成するレンズエレメントの個数は一例であり、実際には必要とされる照度分布の均一性の要求精度に応じてそのレンズエレメントの個数が決定される。

【００２６】

図３（Ｂ）には、同図（Ａ）のＢＢ線に沿って見た第１のレンズ束１４ａの正面図が示され、図３（Ｃ）には同図（Ａ）のＣＣ線に沿って見た第２のレンズ束１４ｂの正面図が示されている。図３（Ｂ）及び図３（Ｃ）において、投影露光装置１１０の走査露光時のレチクルの走査方向に対応する方向をＸ１方向とし、その走査方向に垂直な非走査方向に対応する方向をＹ１方向としている。

【００２７】

この場合、図３（Ｂ）に示されるように、第１のレンズ束１４ａは、Ｘ１方向の幅がｄｘでＹ１方向の幅がｄｙ（ｄｙ＞ｄｘ）の細長い矩形の断面形状を有するレンズエレメント６１を、それぞれＹ１方向に密着して配列することにより、第１行６２Ａ、第２行６２Ｂ、第３行６２Ｃ、…の各行のレンズ群を構成し、且つ奇数番目の第１行６２Ａ、第３行６２Ｃ、…のレンズ群と、偶数番目の第２行６２Ｂ、第４行６２Ｄ、…のレンズ群とをＹ１方向にレンズエレメントの幅ｄｙの１／２だけずらして構成されている。

【００２８】

本実施例では、図３（Ａ）に示されるモザイク型フライアイレンズ１４の入射面、即ち第１のレンズ束１４ａの入射面ＦＡがレチクルのパターン面と共役であり、その第１のレンズ束１４ａを構成するレンズエレメント６１の断面形状が、レチクル上のスリット状の照明領域と相似であるときに最も照明効率が高くなる。そこで、レンズエレメント６１の断面形状のＸ１方向の幅ｄｘと、Ｙ１方向の幅ｄｙとの比の値は、レチクル上のスリット状の照明領域の走査方向の幅と、非走査方向の幅との比の値にほぼ等しく設定されている。そのため、レンズエレメント６１の断面は、非走査方向に対応するＹ１方向に細長い矩形となっている。一例として、ｄｘ：ｄｙ＝１：３程度に設定される。

【００２９】

また、図３（Ｃ）に示されるように、第２のレンズ束１４ｂは、Ｘ１方向の幅ｅｘ（＝２・ｄｘ）でＹ１方向の幅ｅｙ（＝ｄｙ／２）のほぼ正方形に近い断面形状を有するレンズエレメント６５を、それぞれＸ１方向に密着して配列することにより、第１列６６Ａ、第２列６６Ｂ、第３列６６Ｃ、…の各列のレンズ群を構成し、且つ奇数番目の第１列６６Ａ、第３列６６Ｃ、…のレンズ群と、偶数番目の第２列６６Ｂ、第４列６６Ｄ、…のレンズ群とをＸ１方向にレンズエレメントの幅ｅｘの１／２だけずらして構成されている。因み

に、第１のレンズ束１４ａのレンズエレメント６１の断面形状について、ｄｘ：ｄｙ＝１：３程度である場合、第２のレンズ束１４ｂのレンズエレメント６５の断面形状について、ｅｘ：ｅｙ＝２：１．５＝４：３程度となり、レンズエレメント６５の断面形状はほぼ正方形状となる。

【００３０】

このような配置において、更に第１のレンズ束１４ａの或るレンズエレメントの中心と第２のレンズ束１４ｂの或るレンズエレメントの中心とをＸ１方向、及びＹ１方向に関して合わせておく。これにより、第１のレンズ束１４ａを構成する全てのレンズエレメント６１の中心６３と、第２のレンズ束１４ｂを構成する全てのレンズエレメント６５の中心６７とが、Ｘ１方向及びＹ１方向に関して同じ位置に配列されている。

【００３１】

ここで、２つのレンズ束１４ａ，１４ｂから構成されるモザイク型フライアイレンズ１４の作用等について説明する。このモザイク型フライアイレンズ１４は、２段目のフライアイレンズであり、この２段目のフライアイレンズの射出面に形成される個々の光源像は、図１の１段目のフライアイレンズ９の射出面上で光量絞り１０の開口内に形成される多数の光源像の像である。即ち、モザイク型フライアイレンズ１４の射出面に形成される個々の光源像は、多数の微小な光源像を例えば円形の領域内に一様に分布させたものとなる。

【００３２】

従って、このモザイク型フライアイレンズ１４の射出面に形成される光源像を、図３（Ｂ）に示されるように、第１のレンズ束１４ａの端面に射影して得られる光源像は、各レンズエレメント６１の中心６３を中心とする円形の領域６４内に微小な光源像を分布させたものとなる。その円形の領域６４は、図２に示される光量絞り１０の開口の形状と相似である。ところが、第１のレンズ束１４ａの各レンズエレメント６１の断面形状は細長い矩形であるため、特にその光量絞り１０の開口を大きく設定すると、その円形の領域６４が各レンズエレメント６１の端面からはみ出してしまう。従って、モザイク型フライアイレンズ１４の代わりに、そのレンズエレメント６１と同じ断面形状のレンズエレメントを束ねたフライアイレンズを使用すると、射出面で光源像のケラレが生じて照明効率が低下してしまう。

【００３３】

これに対して、本実施例では第１のレンズ束１４ａの直後に、図３（Ｃ）に示されるように、それぞれほぼ正方形の断面形状を有するレンズエレメント６５からなる第２のレンズ束１４ｂが配置され、各レンズエレメント６５の中心６７を中心とする円形の領域６４内に分布するような光源像が形成される。この場合、レンズエレメント６５の断面形状は正方形に近いため、図２の光量絞り１０の開口を大きく設定したときでも、その円形の領域６４はほぼそのレンズエレメント６５の断面内に収まっている。従って、モザイク型フライアイレンズ１４の射出面に形成される多数の光源像のケラレが少なくなり、照明効率が改善されている。そして、モザイク型フライアイレンズ１４の射出面に形成される多数の光源像からの照明光で重畳的に照明を行うことにより、レチクル及びウエハ上での照度分布の均一性は極めて高くなっている。

【００３４】

図１に戻り、モザイク型フライアイレンズ１４のレチクル側の第２のレンズ束１４ｂには、このレンズ束１４ｂを光軸ＡＸ１に垂直な方向にシフトさせると共に、このレンズ束１４ｂのアオリ角（傾斜角）を所定範囲内で調整する調整機構１５が取り付けられている。本実施例では、調整機構１５を介してレンズ束１４ｂのシフト量、及びアオリ角を調整することにより、照明光学系におけるテレセントリック性のずれ量（前述した線形誤差）の補正を行う。例えば、水銀ランプ１の交換時、又は照明条件の切り換え時（通常照明と変形光源との切り換え等）に、主制御系１９が調整機構１５の動作を制御することにより、自動的にそのテレセントリック性の補正が行われる。

【００３５】

図１において、モザイク型フライアイレンズ１４の射出面の近傍に複数種類の照明系開口

絞りが配置された駆動型光学部材としての照明系開口絞り板１６が設置されている。

【００３６】

図４には、この照明系開口絞り板１６の一例が示されている。この図４において、照明系開口絞り板１６上にはほぼ等角度間隔で、通常の円形開口よりなる開口絞り１８Ａ、小さな円形開口よりなりコヒーレンスファクタであるσ値を小さくするための開口絞り１８Ｂ、輪帯照明用の輪帯状の開口絞り１８Ｃ、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置してなる変形開口絞り１８Ｄが配置されている。この照明系開口絞り板１６を回転させることにより、４個の開口絞りの内の所望の開口絞りを選択できる。

【００３７】

図１に戻り、主制御系１９が、駆動モータよりなる照明系用絞り駆動機構１７を介して、照明系開口絞り板１６の回転角を制御する。モザイク型フライアイレンズ１４から射出された後、照明系開口絞り板１６中から選択された開口絞りを通過した照明光ＩＬは、透過率が９８％程度のビームスプリッタ３１に入射する。そして、ビームスプリッタ３１を透過した照明光ＩＬが、第１リレーレンズ３４を経て２枚の可動ブレード３５Ａ及び３５Ｂを有する可動ブラインド（可変視野絞り）に至る。以下、その可動ブラインドを「可動ブラインド３５Ａ，３５Ｂ」と呼ぶ。可動ブラインド３５Ａ，３５Ｂの配置面は、モザイク型フライアイレンズ１４の射出面のフーリエ変換面となっている。即ち、可動ブラインド３５Ａ，３５Ｂの配置面は、後述するレチクルＲのパターン形成面と共役であり、可動ブラインド３５Ａ，３５Ｂの近傍に、開口形状が固定された固定ブラインド３７が配置されている。

【００３８】

固定ブラインド３７は、例えば４個のナイフエッジにより矩形の開口を囲んだ機械的な視野絞りであり、その矩形の開口によりレチクルＲ上でのスリット状の照明領域の形状が規定される。即ち、可動ブラインド３５Ａ，３５Ｂ、及び固定ブラインド３７により制限された照明光ＩＬが、第２リレーレンズ３８、コンデンサレンズ３９、及びミラー４０を介してレチクルＲ上の照野範囲としてのスリット状の照明領域４１を均一な照度分布で照明する。

【００３９】

この場合、固定ブラインド３７の配置面は、レチクルＲのパターン形成面の共役面から僅かに前後何れかの方向にデフォーカスされているため、スリット状の照明領域４１の輪郭部の照度分布が所定の勾配をもって変化する。また、可動ブラインド３５Ａ，３５Ｂは、走査露光の開始時及び終了時にスリット状の照明領域がレチクルＲ上の露光すべきでない領域にかかるのを防止する役割を果たす。そのため、可動ブレード３５Ａ及び３５Ｂは、それぞれスライド機構３６Ａ及び３６Ｂにより開閉できるように支持されている。スライド機構３６Ａ及び３６Ｂが可動ブラインド駆動機構を構成し、可動ブラインド駆動機構の動作はステージ制御系４６により制御される。

【００４０】

レチクルＲ上の照明領域４１内のパターンの像が、投影光学系ＰＬを介して投影倍率β（βは例えば１／４、又は１／５等）でウエハW上のスリット状の露光フィールド４７に投影される。ここで、投影光学系ＰＬの光軸に平行にＺ軸を取り、Ｚ軸に垂直な平面内で走査露光時のレチクルＲ及びウエハWの走査方向に平行にＸ軸を取り、Ｚ軸に垂直な平面内でＸ軸に垂直な方向（非走査方向）にＹ軸を取る。レチクルＲは、レチクルベース４３上をＸ方向に摺動自在な走査ステージ４２上に保持され、ウエハWは、ウエハWをＸ方向に走査すると共にＹ方向に位置決めするウエハステージ４８上に保持されている。ウエハステージ４８には、ウエハWをＺ方向に位置決めするＺステージ等も組み込まれている。

【００４１】

走査ステージ４２は、図示しない静圧空気軸受けを介してレチクルベース４３上に支持されており、図示しないリニアモータ等から成る駆動系によりＸ方向に駆動されるようになっている。同様に、ウエハステージ４８は、図示しないベース上に静圧空気軸受けを介して支持されており、図示しないリニアモータ等から成る駆動系により、ＸＹ２次元方向に

駆動されるようになっている。本実施例では、これらの駆動系を介して走査ステージ４２、ウエハステージ４８の動作がステージ制御系４６により制御されている。なお、走査ステージ４２、ウエハステージ４８の駆動系をボールねじとこれを回転駆動するロータリ・モータにより構成しても良い。

【００４２】

走査露光時にはステージ制御系４６は、照明領域４１に対して＋Ｘ方向（又は－Ｘ方向）に所定速度ＶＲでレチクルＲを保持する走査ステージ４２を図示しない駆動系を介して走査するのと同期して、図示しない駆動系を介してウエハステージ４８を走査することにより、ウエハW上の所定のショット領域を露光フィールド４７に対して－Ｘ方向（又は＋Ｘ方向）に速度ＶＷ(＝β・ＶＲ)で走査する。これにより、そのショット領域上にレチクルＲのパターンが逐次転写露光される。また、ステージ制御系４６は、走査露光中にスライド機構３６Ａ及び３６Ｂを介して、可動ブラインド３５Ａ，３５Ｂの位置を制御する。この場合の制御方法につき図６を参照して説明する。

【００４３】

先ず、走査露光の開始直後には、図６（Ａ）に示されるように、レチクルＲのパターン領域８７を囲む遮光帯８８に対して、図１の固定ブラインド３７の開口部の像３７Ｒが外側に出ている。そこで、不要な部分への露光を避けるため、図１の可動ブレード３５Ｂの位置を移動させて、可動ブラインド３５Ａ，３５Ｂの像３５Ｒの一方のエッジ部３５Ｒａを遮光帯８８内に入れておく。その後、図６（Ｂ）に示されるように、固定ブラインド３７の像３７Ｒが走査方向にパターン領域８７内に収まっているときには、可動ブラインド３５Ａ，３５Ｂの像３５Ｒをその像３７Ｒを囲むように設定する。そして、走査露光の終了時に、図６（Ｃ）に示されるように、遮光帯８８に対して、固定ブラインド３７の像３７Ｒが外側に出るときには、図１の可動ブレード３５Ａの位置を移動させて、可動ブラインド３５Ａ，３５Ｂの像３５Ｒの他方のエッジ部３５Ｒｂを遮光帯８８内に入れておく。このような動作により、レチクルR上のスリット状の照明領域４１が遮光帯８８の外側に出ることが防止され、ウエハW上への不要なパターンの露光が防止される。

【００４４】

図１に戻り、ウエハステージ４８上のウエハWの近傍に、ウエハWの露光面と同じ高さの受光面を有する光電検出器よりなる照度むらセンサ４９が設置され、照度むらセンサ４９から出力される検出信号が主制御系１９に供給されている。更に、ウエハステージ４８上にレチクルアライメント等を行う際に使用される基準マーク板５０が設けられ、この基準マーク板５０上に開口パターンよりなる基準マーク５０ａが形成され、レチクルR上にも対応するようにアライメントマークが形成されている。例えばレチクルRを交換したときには、基準マーク板５０を投影光学系ＰＬの有効露光フィールド内に移動させ、基準マーク板５０の基準マーク５０ａを底面側から光源５１により照明光ＩＬと同じ波長帯の照明光により照明する。この照明光のもとで、レチクルRの上方のミラー４５を介してレチクルアライメント顕微鏡４４により、基準マーク５０ａ及びレチクルR上のアライメントマークの像を観察する。そして、この観察結果に基づいて基準マーク板５０に対するレチクルRの位置合わせを行う。

【００４５】

更に、基準マーク板５０上にはフォーカス・キャリブレーション用の基準マークも形成され、この基準マークの底部に検出系が配置されている。

【００４６】

図５（Ａ）には、このフォーカス・キャリブレーション用の基準マーク、及び検出系が示されている。この図５（Ａ）において、基準マーク板５０上の遮光膜中に例えば十字型の開口パターンよりなる基準マーク５０ｂが形成され、この基準マーク５０ｂの底部に検出系５４が配置されている。この基準マーク５０ｂを用いて、次のように投影光学系ＰＬの結像面の位置が求められる。即ち、その検出系５４において、光ファイバ８１を介してウエハステージ４８の内部に図１の照明光ＩＬと同じ波長帯の照明光を導き、この照明光によりコリメータレンズ８２、ハーフミラー８３、及び集光レンズ８４を介して基準マーク

５０ｂを底面側から照明する。この基準マーク５０ｂを通過した照明光が、投影光学系ＰＬを介してレチクルＲのパターン形成面に基準マーク５０ｂの像を結像し、このパターン形成面からの反射光が投影光学系ＰＬを介して基準マーク５０ｂに戻る。そして、基準マーク５０ｂを通過した照明光が、検出系５４内で集光レンズ８４、ハーフミラー８３、及び集光レンズ８５を経て光電検出器８６に入射する。

【００４７】

光電検出器８６の検出信号（光電変換信号）Ｓ６は、図１の主制御系１９に供給される。この場合、ウエハステージ４８内のＺステージを駆動して、基準マーク５０ｂのＺ方向の位置を変化させると、図５（Ｂ）に示されるように、検出信号Ｓ６は基準マーク５０ｂのＺ座標が投影光学系ＰＬの結像面の位置に合致するときにピークとなるように変化する。従って、検出信号Ｓ６の変化より、投影光学系ＰＬの結像面の位置を求めることができ、それ以後はその位置にウエハＷの露光面を設定することにより、良好な状態で露光が行われる。従って、その基準マーク板５０の基準マーク５０ｂを用いることにより、投影光学系ＰＬの結像面の位置のキャリブレーション（フォーカス・キャリブレーション）が行われる。

【００４８】

図１に戻り、透過率が９８％程度のビームスプリッター３１で反射された漏れ光が、集光レンズ３２を介して光電検出器よりなるインテグレータセンサ３３の受光面に集光されている。インテグレータセンサ３３の受光面は、レチクルＲのパターン形成面、及びウエハＷの露光面と共役であり、インテグレータセンサ３３の検出信号（光電変換信号）が露光量制御系２０に供給されている。その検出信号は、露光量制御系２０を介して水銀ランプ１用の電源系２２にも供給されている。

【００４９】

露光量制御系２０にはメモリ２１が接続され、メモリ２１内にインテグレータセンサ３３の出力信号からウエハＷ上での露光エネルギーを求めるための変換係数等が格納されている。但し、本実施例では、インテグレータセンサ３３の出力信号は、例えば所定の基準照度計を用いて較正され、この較正結果に基づいてインテグレータセンサ３３の出力信号を補正するための補正係数もメモリ２１内に記憶されている。

【００５０】

インテグレータセンサ３３の受光面はレチクルのパターン面と共役な位置に配置されており、これにより、照明系開口絞り板１６を回転させて照明系開口絞りの形状を変えた場合でも、インテグレータセンサ３３の検出信号に誤差が生じないようにしている。但し、インテグレータセンサ３３の受光面を、投影光学系ＰＬにおけるレチクルのパターンのフーリエ変換面（瞳面）と実質的に共役な観察面に配置して、この観察面を通過する全光束を受光できるようにしても構わない。

【００５１】

また、本実施例では、透過率が９８％程度のビームスプリッター３１に関してインテグレータセンサ３３と反対側に、集光レンズ５２、及び光電検出器よりなるウエハ反射率モニタ５３が設置され、集光レンズ５２によりウエハ反射率モニタ５３の受光面はウエハＷの表面とほぼ共役となっている。この場合、レチクルＲを透過して投影光学系ＰＬを介してウエハＷ上に照射される照明光の内で、ウエハＷでの反射光が、投影光学系ＰＬ、レチクルＲ等を介してウエハ反射率モニタ５３で受光され、この検出信号（光電変換信号）が主制御系１９に供給される。主制御系１９では、レチクルＲ側に照射される照明光ＩＬの光量、及びウエハ反射率モニタ５３の検出信号から算出されるウエハＷでの反射光の光量に基づいて、投影光学系ＰＬを通過する照明光の光量（パワー）を求める。更に、このように求められた光量に露光時間を乗じて得られる熱エネルギーに基づいて、主制御系１９は投影光学系ＰＬの熱膨張量を予測し、この予測された熱膨張量に依る投影光学系ＰＬのディストーション等の結像特性の変化量を求める。そして、主制御系１９は、投影光学系ＰＬに接続された不図示の結像特性補正機構を介して、投影光学系ＰＬの結像特性を元の状態に補正する。

【００５２】
更に、本実施例ではミラー４０とレチクルＲの間にテレセン補正機構１００が配置されている。このテレセン補正機構１００は、例えば、通常照明時には、図８（Ａ）のように前述した調整機構１５によりテレセントリック性の補正が行なわれ、線形残留誤差が除去された状態であったものが、前述した照明系開口絞り板１６の切り替えによる、通常照明から輪帯照明その他の変形照明への照明条件の切り替えにより、図８（Ｂ）又は（Ｃ）に示されるような非線形角度誤差を伴う状態になる場合に、非線形角度誤差を伴うその一部の主光線の傾きを補正してウエハＷ側のテレセントリック性を維持するために設けられている。なお、以下の説明では、通常照明のときには、調整機構１５により調整できない残留の非線形誤差はないものとする。

【００５３】
図７（Ａ）には、テレセン補正機構１００の概略平面図が示されている。同図に示されるように、このテレセン補正機構１００は、一対のガイドレール１０１に沿ってスリット４１の短手方向（Ｘ軸方向）に往復移動するプレート１０３と、このプレート１０３に移動方向に沿って所定間隔で形成された３箇所の開口部のそれぞれに嵌め込まれた３種類の補正光学部材としての平行平板１０２Ａ、１０２Ｂ、１０２Ｃとを備えている。これらの平行平板１０２Ａ、１０２Ｂ、１０２Ｃは、照明系開口絞り板１６のσ値を小さくするための開口絞り１８Ｂ、輪帯照明用の開口絞り１８Ｃ、変形光源法用の開口絞り１８Ｄのそれぞれに対応して設けられている。

【００５４】
図７（Ａ）は、中央の平行平板１０２Ｂが、スリット４１の真上に位置した状態が示されており、同図（Ｂ）には、このときの平行平板１０２Ｂの概略側面図が示されている。平行平板１０２Ｂは、同図（Ｂ）における左端部分を他部分よりΔｔだけ厚くなるように形成されており、これにより同図中左側の主光線の傾きが、レチクルＲ上では補正され、設計値と同方向に向けられるようになっている。

【００５５】
ここで、この平行平板１０２Ｂは、照明系開口絞り板１６を輪帯照明用の開口絞り１８Ｂに設定し、調整機構１５により線形誤差を補正した状態で、基準マーク板５０上に設けられている空間像計測用マークへのレチクルマークからの透過光を検出系５４内でフォーカス位置を逐次ずらして検出することで、輪帯照明条件下でのウエハＷ上での主光線の傾き（テレセントリック性の誤差）を予め求め、このテレセントリック性の誤差が無くなるように平行平板１０２Ｂの厚さを微小域で変化させるように加工製造したものである。

【００５６】
残りの平行平板１０２Ａ、１０２Ｃも照明系開口絞り板１６の開口絞り１８Ｂ、１８Ｄによるそれぞれの照明条件の下で、上記と同様に計測され、この計測結果に基づいて加工製造されている。

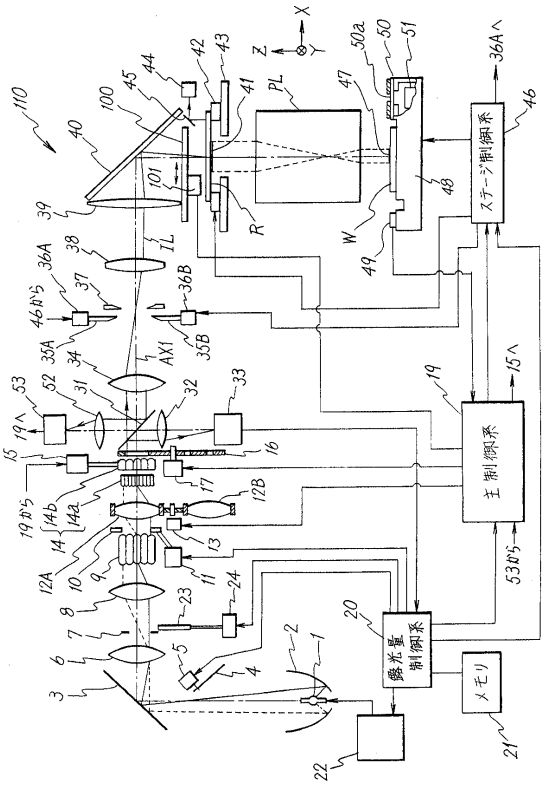
【００５７】
プレート１０３は、図１に示される駆動機構１０１によって駆動されるようになっており、本実施例では、主制御系１９によって照明系開口絞り板１６と同期して駆動機構１０１を介してプレート１０３がＸ方向に駆動されることにより、それぞれの照明条件の切り替えに連動して各照明条件用の平行平板１０２Ａ，１０２Ｂ，１０２Ｃが、スリット４１の真上に設定されるようになっている。すなわち、本実施例では、駆動機構１０１と主制御系１９とによって、照明系開口絞り板１６の駆動に連動してその照明条件に対応する平行平板をレチクルＲとコンデンサレンズ３９との間のレチクル上の照野範囲４１に対応する領域に切り替え設定する切り替え設定手段が実現されている。

【００５８】
以上説明したように、本実施例によると、通常照明以外の変形照明時に、ウエハステージ４８上のテレセントリック性の誤差（主光線の傾き）が自動的に補正されるので、ウエハＷ表面の凹凸やウエハ上フォーカス変化においても、ディストーションや像劣化を起こなさいため、高精度の重ね合わせ精度（工程間の重ね合わせ及び号機間マッチングを含む）

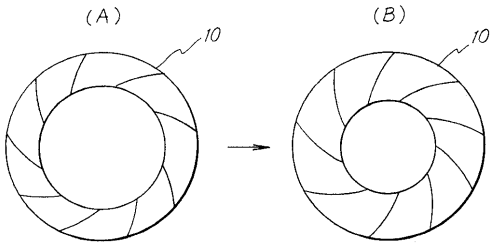
を得ることができる。
【００５９】
また、本実施例では、平行平板の切り換えがスリット４１の短手方向に対応しているので、少ないスペースで可変できるという利点がある。
【００６０】
なお、上記実施例中では、通常照明時には、調整機構１５により調整できない残留の非線形誤差はないものとして説明したが、通常照明時にも非線形誤差が存在する場合には、通常照明時のテレセントリック性の誤差の補正用の平行平板を用意すれば良く、かかる場合にもウエハW表面の凹凸やウエハ上フォーカス変化においても、ディストーションや像劣化を起こなさいため、高精度の重ね合わせ精度が得られる。
【００６１】
また、上記実施例では、テレセントリック性の誤差（主光線の傾き）を調べるのに露光用照明光によるレチクルマークの投影像を空間的に計測する空間像計測法を用いる場合を例示したが、いわゆる試し焼きを行なうことにより、テレセントリック性の誤差を計測してもよい。
【００６２】
さらに、上記実施例では、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置について説明したが、本発明の適用範囲はこれに限定されるものではなく、いわゆるステッパ等の一括型の露光装置にも本発明は十分に適用できるものであり、ほぼ同様の効果が期待できる。
【００６３】
なお、上記実施例では、補正光学部材として一部の厚さを異ならした平行平板を使用する場合を例示したが、本発明はこれに限定されるものではなく、屈折力を部分的に変化させること等により、部分的な主光線の傾きを補正できる光学部材であればいかなる光学部材により補正光学部材を構成しても良い。
【００６４】
【発明の効果】
以上説明したように、本発明によれば、照明条件に左右されることなく、感光基板側のテレセントリック性を確保することができ、これにより、感光基板が上下した時や、感光基板表面に凹凸が存在する場合にも像の横シフトが発生せず、ディストーションや像劣化にならないという従来にない優れた効果がある。
【図面の簡単な説明】
【図１】一実施例の走査露光型の投影露光装置を示す一部破断した構成図である。
【図２】図１の装置で使用される光量絞りの一例を示す図である。
【図３】（Ａ）は図１のモザイク型フライアイレンズ（第２フライアイレンズ）を示す拡大側面図、（Ｂ）は（Ａ）のＢＢ線に沿って見た第１のレンズ束の正面図、（Ｃ）は（Ａ）のＣＣ線に沿って見た第２のレンズ束の正面図である。
【図４】図１の照明系開口絞り板の一例を示す図である。
【図５】（Ａ）はフォーカス・キャリブレーションを行うための機構を示す要部の図、（Ｂ）は（Ａ）の機構により得られる検出信号の波形図である。
【図６】図１の装置において走査露光を行う場合の可動ブラインド３５Ａ，３５Ｂの動作説明図である。
【図７】（Ａ）はテレセン補正機構の概略平面図、（Ｂ）は（Ａ）の平行平板１０２Ｂの概略側面図である。
【図８】図１の装置において、通常照明から変形照明に切り替えらたときに生じるウエハ上テレセントリック性の変化の一例を示す図である。
【図９】ウエハ上テレセントリック性の線形誤差の一例を示す図である。
【図１０】従来の照明系のテレセントリック性誤差の調整部を示す説明図である。
【図１１】発明が解決しようとする課題を説明するための図である。
【符号の説明】
１　水銀ランプ（照明光源）

１６　照明系開口絞り板（駆動型光学部材）
１９　主制御系（切り替え設定手段の一部）
３９　コンデンサレンズ
１０１　駆動機構（切り替え設定手段の一部）
１０２Ａ　平行平板（補正光学部材）
１０２Ｂ　平行平板（補正光学部材）
１０２Ｃ　平行平板（補正光学部材）
１１０　　投影露光装置
ＩＬ　照明光
Ｒ　　レチクル（マスク）
ＰＬ　投影光学系
Ｗ　　ウエハ（感光基板）

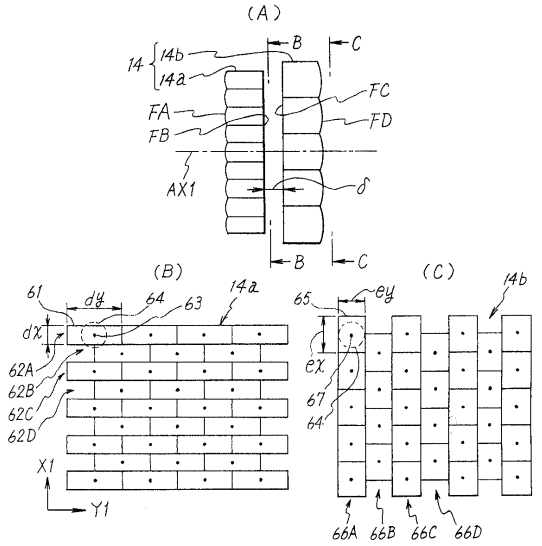
【図１】



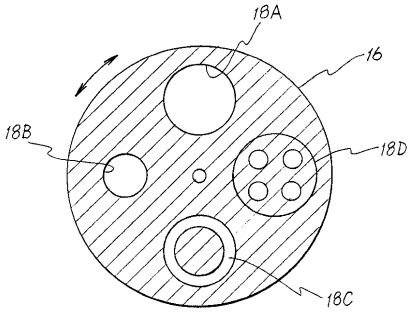
【図２】



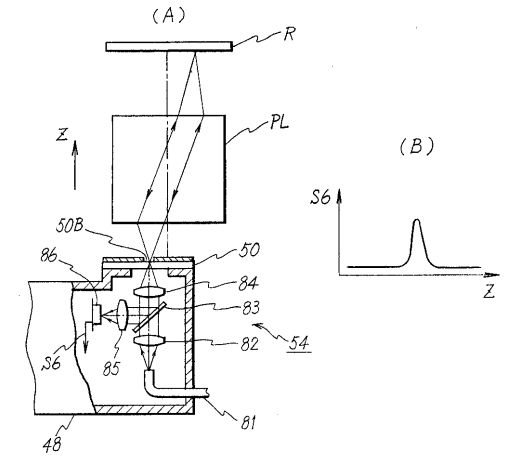
【図３】


(A)
14
14b
14a
B
C
FA
FB
FC
FD
AX1
δ
(B)
(C)
61
dy
64
63
14a
dx
62A
62B
62C
62D
X1
Y1
65
ey
ex
67
64
14b
66A
66B
66C
66D

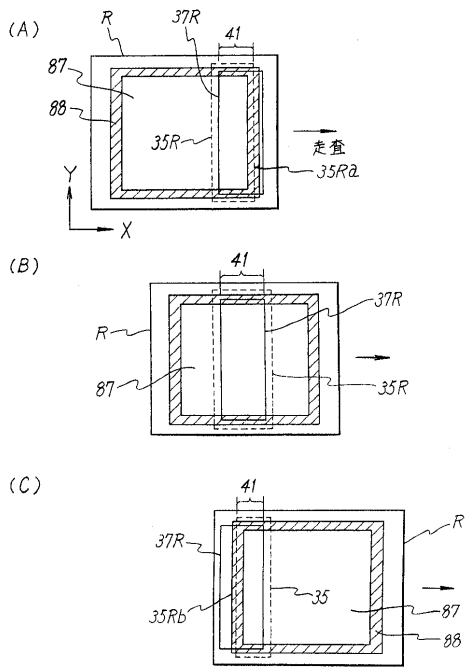
【図４】


18A
16
18B
18D
18C

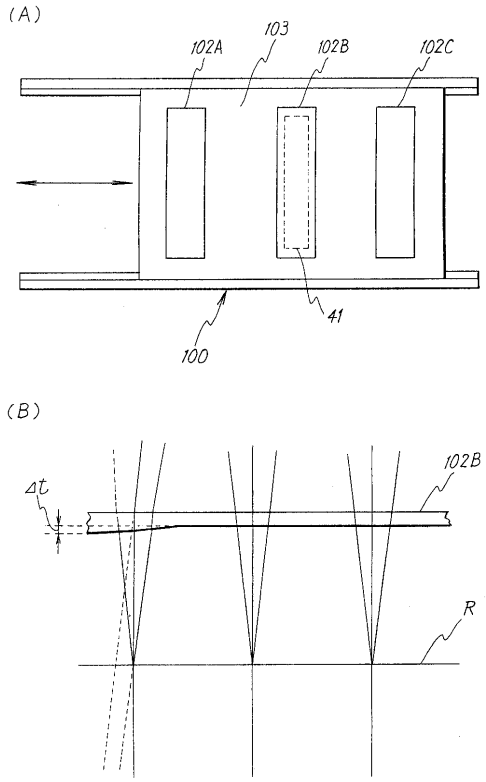
【図５】


(A)
R
PL
Z
(B)
S6
Z
50B
86
50
84
83
82
54
S6
85
81
48

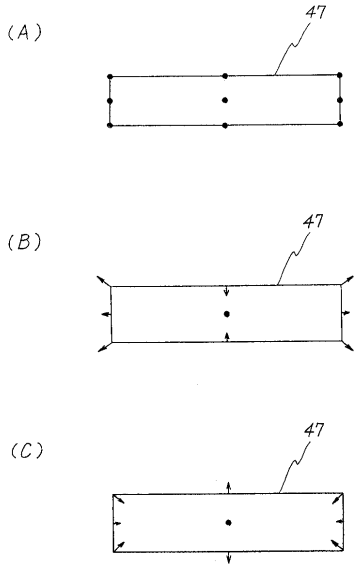
【図６】


(A)
R
37R
41
87
88
35R
走査
35Ra
Y
X
(B)
41
37R
R
87
35R
(C)
41
37R
R
35
35Rb
87
88

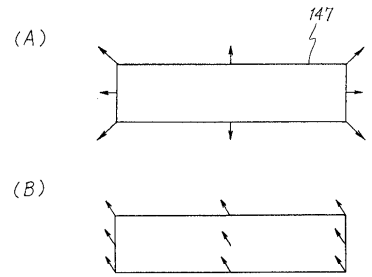
【図７】



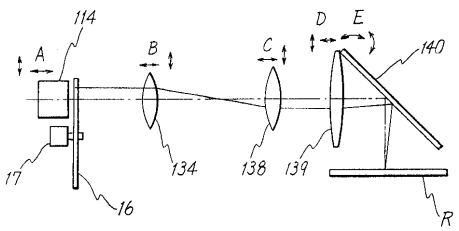
【図８】



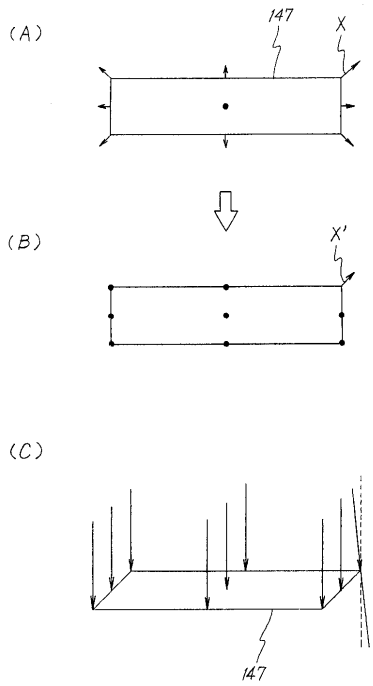
【図９】



【図１０】



【図１１】



フロントページの続き

(72)発明者　村上　成郎
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号　株式会社　ニコン内

審査官　河原　正

(56)参考文献　特開平０４－３６７２１３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
G02B 27/18
G03F 7/20
H01L 21/027