(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3620612号
(P3620612)
(45)発行日　平成17年2月16日(2005.2.16)　(24)登録日　平成16年11月26日(2004.11.26)

(51)Int.Cl.[7]　F I
H01L 21/027　H01L 21/30　515E
G03F 7/20　G03F 7/20　521
H01L 21/30　502G
H01L 21/30　515B
H01L 21/30　516D

請求項の数 5　(全 12 頁)

(21)出願番号　特願平8-75567
(22)出願日　平成8年3月29日(1996.3.29)
(65)公開番号　特開平9-266159
(43)公開日　平成9年10月7日(1997.10.7)
審査請求日　平成15年2月18日(2003.2.18)

(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　100098165
弁理士　大森　聡
(72)発明者　小澤　謙
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　南　宏輔

(56)参考文献　特開平０５－２５１３１０（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－３０２７５３（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－３４３２８６（ＪＰ，Ａ）

最終頁に続く

(54)【発明の名称】露光量制御装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

露光用光源から射出された照明光で、転写用パターンの形成されたマスクを照明し、前記照明光のもとで前記マスクの転写用パターンを感光基板上に転写露光する露光装置に設けられ、前記感光基板に対する前記照明光の露光量を制御する露光量制御装置において、

前記露光用光源と前記感光基板との間の前記照明光の光路上に、前記照明光を透過させると共に減光用のコーティングが施されていない光学部材を挿脱自在に配置し、

該光学部材の挿脱によって前記感光基板に対する前記照明光の露光量を制御することを特徴とする露光量制御装置。

【請求項２】

請求項１記載の露光量制御装置であって、

前記照明光の波長は２００ｎｍ以下であり、

前記照明光の光路上に前記光学部材を複数枚挿脱自在に配置し、

前記照明光の光路上の前記光学部材の枚数によって前記感光基板に対する前記照明光の露光量を複数段階に切り換えることを特徴とする露光量制御装置。

【請求項３】

請求項１又は２記載の露光量制御装置であって、

前記照明光の光路上に前記光学部材をｎ枚（ｎは２以上の整数）挿脱自在に配置し、

複数個の互いに透過率の異なる減光フィルタを選択的に前記照明光の光路上に配置する減光手段を設け、

前記各光学部材の透過率をαとしたとき、前記減光手段の前記複数枚の減光フィルタの透過率をα^{n+1}の比率で等比数列的に変化させることを特徴とする露光量制御装置。

【請求項４】

請求項１、２、又は３記載の露光量制御装置であって、

１枚又は複数枚の前記光学部材を透過した後の前記照明光の光路のずれを補正するための光路補正光学系を設けたことを特徴とする露光量制御装置。

【請求項５】

請求項１～４の何れか一項に記載の露光量制御装置であって、

１枚又は複数枚の前記光学部材が前記照明光の光路に対して斜めに配置されることを特徴とする露光量制御装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する産業分野】

本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、撮像素子（ＣＣＤ等）又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのフォトリソグラフィ工程中で使用される露光装置で、感光性基板に対する露光量を制御するための露光量制御装置に関し、特にエキシマレーザ等の露光光源を備えた露光装置で露光量制御を行う場合に使用して好適なものである。

【０００２】

【従来の技術】

従来より半導体素子等を製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンを投影光学系を介してフォトレジスト等の感光材料が塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上の各ショット領域に転写露光する露光装置が使用されている。斯かる露光装置における１つの基本的な機能として、ウエハの各ショット領域内の各点に対する積算露光量（積算露光エネルギ）を適正範囲内に維持するための露光量制御機能がある。

【０００３】

従来の露光装置での露光量制御方法で、露光光源として超高圧水銀ランプのような連続光源、又はエキシマレーザのようなパルスレーザ光源の何れかを使用する場合において、基本的にはカットオフ制御が行われていた。このカットオフ制御では、感光材料が塗布されたウエハへの露光光の照射中にその露光光の一部を分岐して光電検出器よりなるインテグレータセンサに導き、このインテグレータセンサを介して間接的にウエハ上での露光量を検出し、この検出結果の積算値が当該ウエハ上で必要とされる積算露光量（以下、「設定露光量」という）に対応する所定のレベル（クリティカルレベル）を超えるまで発光を続ける（連続光の場合にはクリティカルレベルを超えたらシャッタを閉め始める）というような制御が行われる。

【０００４】

露光光源としてパルスレーザ光源を用いる場合においては、パルスレーザ光毎にエネルギのばらつきを有するため、或る一定数（以下、「最小露光パルス数」という）以上の複数のパルスレーザ光で露光することにより、所望の露光量制御精度の再現性を得ている。このとき、例えば、高感度レジストを感光材料に使用した露光では設定露光量が小さくなるため、設定露光量に対して１パルスのエネルギが大きくなり、最小露光パルス数以上の積算によって露光ができなくなる。この場合は、パルスレーザ光路中の減光ユニットによって最小露光パルス数以上の露光ができるように減光する。

【０００５】

従来、例えばレーザビームＬＢよりなる露光光のエネルギを低下させる減光ユニットは、図５に示す如くそれぞれ複数の互いに異なる透過率を持つ減光板（ＮＤフィルタ）を配設したレボルバ４１、４２が使用されていた。この場合、レボルバ４１，４２を回転して光路上の減光板の組み合わせを調整して、所望の減光率を得ていた。このようにレボルバを直列に複数個設置することにより、レーザビームＬＢに対して多くの離散的な減光率が得られる。この減光板は例えば誘電体多層膜によるものであり、膜材料の膜厚、膜種、及び層数により透過率を制御している。

【０００６】
ところで、最近ではマスクパターンの微細化の要求に応じて、露光波長は更なる短波長化傾向にある。近年では、波長２４８ｎｍのＫｒＦエキシマレーザを光源とする露光装置が実用レベルに達している。また、波長１９３ｎｍのＡｒＦエキシマレーザを露光光源とする露光装置も開発され始めている。
【０００７】
【発明が解決しようとする課題】
しかしながら、ＡｒＦエキシマレーザ等を露光光源とした場合の波長２００ｎｍ以下の短波長領域では、露光量制御装置の個々を構成する従来の誘電体多層薄膜からなる減光板（ＮＤフィルタ）を用いることは非常に困難である。
この理由として、第１にＫｒＦエキシマレーザ（波長２４８ｎｍ）を露光光源としたときに使用する減光板の延長として、単に波長の違いでＡｒＦエキシマレーザ（波長１９３ｎｍ）を露光光源としたときに使用する減光板の設計を行うことが困難なためである。図６に、ＡｒＦエキシマレーザを露光光源に使用したときと、ＫｒＦエキシマレーザを露光光源に使用したときとにおいて、所望の透過率α_U（％）を得るための典型的な減光板の分光特性を示す。この図６において、横軸は波長λ（ｎｍ）、縦軸に透過率α（％）を表す。ＫｒＦエキシマレーザ用の減光板の特性曲線４４に比べ、ＡｒＦエキシマレーザ用の減光板の特性曲線４３は、発振波長付近での波長依存性が特に大きく、これは製造上の誤差が効きやすいことを意味しており、実際に減光板を製造したとき所望の透過率α_U（％）を得ることが困難であることを示している。
【０００８】
第２にＡｒＦエキシマレーザを露光光源としたときに使用する減光板に利用可能な薄膜材料が非常に限られることも設計を困難にしている一因である。
第３に、ＡｒＦエキシマレーザを露光光源としたときに使用する誘電体多層膜からなる減光板は、薄膜の膜厚、膜質の均一性、及び膜の表面性などの製造に起因する制限も大きく、所望の透過率を持つ減光板を製造するのが非常に難しい。特に、低透過率側での減光板の製造は、益々困難を極めているのが現状である。
【０００９】
また、一般的にエキシマレーザを露光光源として使用した場合、誘電体多層薄膜により形成される減光板にパルスレーザ光を照射し続けると、減光板自体がパルスレーザ光照射により損傷、及び透過率変動を受ける不都合がある。
更に、従来の露光装置の露光量制御は、１台の露光装置用に少量多種の減光板を用意しなければならないという、工程上、または装置設計上の不都合もあった。
【００１０】
本発明は斯かる点に鑑み、設計、及び製造が容易で、減光率の経時変化が少なく、且つ構成の簡単な露光量制御装置を提供することを目的とする。
【００１１】
【課題を解決するための手段】
本発明による露光量制御装置は、露光用光源（１）から射出された照明光（ＬＢ）で、転写用パターンの形成されたマスク（１１）を照明し、その照明光（ＬＢ）のもとでマスク（１１）の転写用パターンを感光基板（１４）上に転写露光する露光装置に設けられ、その感光基板（１４）に対するその照明光（ＬＢ）の露光量を制御する露光量制御装置において、その露光用光源（１）とその感光基板（１４）との間のその照明光（ＬＢ）の光路上に、その照明光（ＬＢ）を透過させると共に減光用のコーティングが施されていない光学部材（GP_1～GP_6）を挿脱自在に配置し、その光学部材の挿脱によって感光基板（１４）に対する照明光（ＬＢ）の露光量を制御するものである。
【００１２】
斯かる本発明によれば、例えば短波長の露光用光源（１）を使用する場合において、減光用のコーティングを施さないガラス基板等の光学部材（GP_1～GP_6）の反射特性を利用して照明光（ＬＢ）の減光を行うために、設計及び製造が容易で、且つその光学部

材による減光率の経時変化は少ない。
この場合、その照明光（ＬＢ）の波長は一例としてＡｒＦエキシマレーザ光のような２００ｎｍ以下であり、この場合、照明光（ＬＢ）の光路上にその光学部材（GP_1 ～GP_6 ）を複数枚挿脱自在に配置し、その照明光（ＬＢ）の光路上の光学部材（GP_1 ～GP_6 ）の枚数によって、感光基板（１４）に対する照明光（ＬＢ）の露光量を複数段階に切り換えることが望ましい。その光学部材の枚数によって、その照明光（ＬＢ）に対する減光率を等比数列的に切り換えることができる。
【００１３】
また、その照明光（ＬＢ）の光路上にその光学部材（GP_1 ～GP_6 ）をｎ枚（ｎは２以上の整数）挿脱自在に配置し、複数個の互いに透過率の異なる減光フィルタ（HM_1 ～HM_5 ）を選択的に照明光（ＬＢ）の光路上に配置する減光手段（３ｂ）を設け、各光学部材（GP_1 ～GP_6 ）の透過率をαとしたとき、減光手段（３ｂ）のそれら複数枚の減光フィルタの透過率をα^{n+1} の比率で等比数列的に変化させることが望ましい。この場合、それらの減光フィルタ（HM_1 ～HM_5 ）の間の減光率をその光学部材（GP_1 ～GP_6 ）の枚数で制御することによって、広い範囲で照明光（ＬＢ）に対する減光率を比率αで切り換えることができる。
【００１４】
また、１枚又は複数枚のその光学部材（GP_1 ～GP_6 ）を透過した後の照明光（ＬＢ）の光路のずれを補正するための光路補正光学系（３ｃ）を設けることが望ましい。これによって、光学部材（GP_1 ～GP_6 ）を光路に斜めに入れて反射光が露光用光源（１）に戻るのを防止した場合に、照明光（ＬＢ）の光路が横ずれしても、その光路が元に戻されて、後続の光学系の調整が不要となる。
【００１５】
【発明の実施の形態】
以下、本発明による露光量制御装置の実施の形態の一例につき図１～図４を参照して説明する。
図１は、本例の露光量制御装置を備えた投影露光装置を示す概略構成図であり、この図１において、エキシマレーザ光源１からパルス発光されたレーザビームＬＢは、シリンダーレンズ、若しくはビームエキスパンダ等で構成されるビーム整形光学系２により、後続のフライアイレンズ５に効率よく入射するようにビームの断面形状が整形される。エキシマレーザ光源１として、本例ではＡｒＦエキシマレーザ光源（発振波長１９３ｎｍ）を使用した。それ以外にＫｒＦエキシマレーザ光源等を使用してもよく、更には露光用光源として、金属蒸気レーザ光源やＹＡＧレーザの高調波発生装置等を使用してもよい。
【００１６】
ビーム整形光学系２から射出されたレーザビームＬＢは順次、露光量制御装置の減光手段としてのエネルギ変調器３、光路折り曲げ用のミラーＭを介して、フライアイレンズ５に入射する。フライアイレンズ５は、後続のレチクル１１を均一な照度分布で照明するために多数の２次光源を形成する。フライアイレンズ５の射出面には照明系の開口絞り６が配置され、その開口絞り６内の２次光源から射出されるレーザビームＬＢは、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ７に入射し、ビームスプリッタ７を通過したレーザビームＬＢは、第１リレーレンズ８Ａを経て固定照野絞り（固定レチクルブラインド）９の矩形の開口部を通過する。固定照野絞り９を通過したレーザビームＬＢは、第２リレーレンズ８Ｂ、及びメインコンデンサーレンズ１０を介して、レチクルステージ１５上に保持されたレチクル１１上の照明領域１２Ｒを均一な照度分布で照明する。レチクル１１上の照明領域１２Ｒ内のパターンを投影光学系１３を介して投影倍率β（βは例えば１／４，１／５等）で縮小した像が、フォトレジストが塗布されたウエハ１４上の照野フィールド１２Ｗに投影露光される。
【００１７】
以下、投影光学系１３の光軸ＡＸに平行な方向にＺ軸を取り、その光軸ＡＸに垂直な平面内で図１の紙面に平行な方向にＹ軸、図１の紙面に垂直な方向にＸ軸を取って説明する。

このときレチクルステージ１５上に固定された移動鏡、及び外部のレーザ干渉計１６により計測されるレチクルステージ１５のＸ座標、Ｙ座標及び回転角がステージコントローラ１７に供給され、ステージコントローラ１７は供給された座標等に基づいてレチクルステージ駆動部１８を介して、レチクルステージ１５の位置を制御する。

【００１８】

一方、ウエハ１４は、不図示のウエハホルダを介してＺチルトステージ１９上に載置され、Ｚチルトステージ１９はＸＹステージ２０上に載置されている。ＸＹステージ２０は、Ｘ方向、Ｙ方向にウエハ１４の位置決めを行う。また、Ｚチルトステージ１９は、ウエハ１４のＺ方向の位置（フォーカス位置）を調整すると共に、ＸＹ平面に対するウエハ１４の傾斜角を調整する機能を有する。Ｚチルトステージ１９上に固定された移動鏡、及び外部のレーザ干渉計２２により計測されるＸＹステージ２０のＸ座標、Ｙ座標及び回転角がステージコントローラ１７に供給され、ステージコントローラ１７は供給された座標等に基づいてウエハステージ駆動部２３を介してＸＹステージ２０の位置を制御する。また、ステージコントローラ１７の動作は、不図示の装置全体を統轄制御する主制御系によって制御されている。

【００１９】

更に、ウエハ１４のフォーカス位置（Ｚ方向の位置）を検出するフォーカス位置検出系（不図示）が配置され、このフォーカス位置検出系の計測値が所定の値に維持されるように、ステージコントローラ１７は、オートフォーカス方式でＺチルトステージ１９の動作を制御する。

また、Ｚチルトステージ１９上のウエハ１４の近傍に光電変換素子からなる照度むらセンサ２１が常設され、照度むらセンサ２１の受光面はウエハ１４の表面と同じ高さに設定されている。照度むらセンサ２１としては、遠紫外で感度があり、且つパルス照明光を検出するために高い応答周波数を有するＰＩＮ型のフォトダイオード等が使用できる。照度むらセンサ２１の検出信号が不図示のピークホールド回路、及びアナログ／デジタル変換器（以下「Ａ／Ｄ変換器」という）を介して露光コントローラ２６に供給されている。

【００２０】

図１において、ビームスプリッタ７で反射されたレーザビームＬＢは、集光レンズ２４を介して光電変換素子よりなるインテグレータセンサ２５で受光され、インテグレータセンサ２５の検出信号ＤＳが、不図示のピークホールド回路及びＡ／Ｄ変換器を介して露光コントローラ２６に供給される。インテグレータセンサ２５の検出信号ＤＳと、ウエハ１４の表面上でのパルス照明光の照度との相関係数は予め求められて露光コントローラ２６内に記憶されている。インテグレータセンサ２５の検出信号は所定の基準照度計を用いて較正されており、本例ではそのインテグレータセンサ２５を用いて、レーザビームＬＢの照野フィールド１２Ｗでの実際の露光量（単位面積当たり、単位パルス当たりの照射エネルギ）を間接的に計測する。

【００２１】

露光コントローラ２６は、露光中に所定周波数の発光トリガ信号ＴＳをエキシマレーザ光源１に供給してパルス発光を行わしめ、インテグレータセンサ２５からの検出信号ＤＳよりパルス照明光の光量のばらつき等を計測すると共に、各パルス照明光毎の検出信号を積算して、順次ウエハ１４上の各点での積算露光量を求める。そして、例えばカットオフ制御でこの積算露光量がウエハ１４上のフォトレジストに対する設定露光量となるように、露光コントローラ２６は露光パルス数Ｎが最小露光パルス数N_{min}以上となるように、露光動作前にエネルギ変調器３を調整し、インテグレータセンサ２５の積算値がクリティカルレベルを超えたらエキシマレーザ光源１の発光を止めるように制御する。

【００２２】

次に、本例の露光量制御装置につき説明する。この場合、前提として以下のような露光条件を想定する。即ち、ウエハ１４上（像面上）でのレーザビームＬＢの１パルス当たりの平均露光エネルギＰは１ｍＪ／ｃｍ^2　であり、パルスエネルギのばらつきの影響を所定の許容範囲内に収めるための最小露光パルス数N_{min}　を３０とする。また、ウエハ１

４上のフォトレジストに対する設定露光量の下限値を５ｍＪ／ｃｍ^2　とする。

【００２３】

図２は、本例の露光量制御装置の減光手段としてのエネルギ変調器３の前段の減光ユニット３ａの概略構成を示し、この図２において、減光ユニット３ａは、露光光としてのレーザビームＬＢの光路に沿ってコーティングされていない同質、同形状、且つ同透過率（α）の石英の素ガラスよりなる６枚のガラスプレートＧＰ$_1$　～ＧＰ$_6$　を縦１列に並べ、その１枚１枚を駆動系５１ａ～５１ｆによりレーザビームＬＢの光路内に挿脱自在に配置したものである。駆動系５１ａ～５１ｆはステッピングモータあるいはエアシリンダにより構成される。なお、ガラスプレートＧＰ$_1$　～ＧＰ$_6$　としては石英の代わりに蛍石等も使用できる。図２では、４枚のガラスプレートＧＰ$_3$　～ＧＰ$_6$　が光路内に配された状態が示してある。コーティングされていない石英のガラスプレートＧＰ$_1$　～ＧＰ$_6$　のＡｒＦエキシマレーザ光に対する透過率αを０．９４と仮定しておくと、図２におけるＡｒＦエキシマレーザ光の全体の透過率Ｔ（％）は、下記の計算より求められる。

【００２４】

Ｔ＝α^4　×１００＝（０．９４）^{4}　×１００＝７８（％）　　（１）

当然のことであるが、光路内に入れるガラスプレートＧＰ$_1$　～ＧＰ$_6$　の挿入枚数をＮ$_{GP}$として全体の透過率ＴはαのＮ$_{GP}$乗に比例する。

ガラスプレートＧＰ$_1$　～ＧＰ$_6$　の挿入枚数Ｎ$_{GP}$毎の全体の透過率Ｔ（％）を以下に示す。但し、小数点以下を四捨五入している。

【００２５】

Ｎ$_{GP}$＝０：Ｔ＝α^0　×１００　＝（０．９４）^{0}×１００　＝１００（％）　（２）

Ｎ$_{GP}$＝１：Ｔ＝α^1　×１００　＝（０．９４）^{1}×１００　＝９４（％）　（３）

Ｎ$_{GP}$＝２：Ｔ＝α^2　×１００　＝（０．９４）^{2}×１００　＝８８（％）　（４）

Ｎ$_{GP}$＝３：Ｔ＝α^3　×１００　＝（０．９４）^{3}×１００　＝８３（％）　（５）

Ｎ$_{GP}$＝４：Ｔ＝α^4　×１００　＝（０．９４）^{4}×１００　＝７８（％）　（６）

Ｎ$_{GP}$＝５：Ｔ＝α^5　×１００　＝（０．９４）^{5}×１００　＝７３（％）　（７）

Ｎ$_{GP}$＝６：Ｔ＝α^6　×１００　＝（０．９４）^{6}×１００　＝６９（％）　（８）

【００２６】

また、減光ユニット３ａのガラスプレートＧＰ$_1$　～ＧＰ$_6$　は、図２で示したようにレーザビームＬＢに対して、所定の同一の角度で傾けて挿脱自在にしてある。但し、透過率αは殆ど変化しない範囲で傾けてある。これは、ガラスプレートＧＰ$_1$　～ＧＰ$_6$　で構成された減光ユニット３ａの減光の原理がコーティングされていない石英の素ガラスの反射を利用しているからであり、所定の傾斜を持たすことによって、各々のガラスプレートＧＰ$_1$　～ＧＰ$_6$　の反射光が例えば光源に戻る影響を軽減するためである。

【００２７】

さて、現行の露光量制御装置の減光手段として、広いダイナミックレンジ（例えば１００倍等）を有し、且つエキシマレーザに対応できうるもので実用に耐えるものとしては、現状では離散的な減光率（透過率）を得られるものしか開発されていない。露光光に対して離散的な減光率を有する減光手段を使用した場合、任意の設定露光量に対して、常に最小露光パルス数Ｎ$_{min}$　での露光は困難であり、過剰なパルスの照射が必要となってくる。これは、露光工程においてスループットを低下させる大きな要因となりうる。そこで、本例のように離散的な減光率の減光手段を使用するときには、任意の設定露光量に対して余分なパルス露光を極力避けるために、その減光率を等比数列的に変化させる必要がある。

【００２８】

本例では、減光率の変化の比率（即ち、透過率α）は０．９４であるため、最大で最小露光パルス数Ｎ$_{min}$　に対して１．０６（　１／０．９４）倍の露光パルス数を要することになる。また、図２の減光ユニット３ａでの最小透過率は（８）式より６９％である。ここで、本例で想定している露光条件中で設定露光量が下限値となる場合の全体の透過率Ｔである最小透過率Ｔ$_{min}$　（％）を計算してみる。以下に計算に用いる露光条件を再

び挙げる。

【００２９】

ａ）像面上の１パルス当たりの露光エネルギＰ＝１（ｍＪ／ｃｍ^2）

ｂ）最小露光パルス数N_{min}＝３０

ｃ）所望の設定露光量下限E_{-lim}＝５（ｍＪ／ｃｍ^2）

上記の想定している条件のときに必要な仮想の最小透過率T_{min}（％）は次式で与えられる。

【００３０】

$$T_{min}=E_{-lim}/(P\times N_{min})$$
$$=5/(1\times 30)\times 100=16.7\ (\%) \qquad (9)$$

しかしながら、減光ユニット３ａでの最小透過率は６９％であるため、本例では更に従来型のＮＤユニットを組み合わせている。

図３は、本例のエネルギ変調器３の全体を示す概略構成図であり、この図３において、エネルギ変調器３は、図２で示したガラスプレートGP_1～GP_6で構成された減光ユニット３ａの後段にＮＤユニット３ｂを設けたものである。ＮＤユニット３ｂは、レボルバＲＶの周囲に減光率の異なるの５個のＮＤフィルタHM_1～HM_5を配設したものである。減光率を変化させるときは減光ユニット３ａを透過したレーザビームＬＢに対して、レボルバＲＶをモータ等の駆動系５０で回転させることにより、所望の減光率を得られるようなＮＤフィルタHM_1～HM_5を選択する。これによって減光率を、複数段階で切り換えることができるようになっている。なお、駆動系５０、及び駆動系５１ａ～５１ｆは露光コントローラ２６によって制御される。

【００３１】

ここで、減光ユニット３ａを構成するガラスプレートの枚数をｎ（図２では、ｎ＝６）とすると、減光ユニット３ａの最大透過率$\alpha^n\times 100$の次の透過率は$\alpha^{n+1}\times 100$となる。そして、α＝０．９４，ｎ＝６では$\alpha^{n+1}=\alpha^7$　０．６５である。従って、ＮＤユニット３ｂの５種類の透過率は、それぞれα^7をβとして、１００％、６５（＝β×１００）％、４２（＝$\beta^2\times 100$）％、２７（＝$\beta^3\times 100$）％、１８（＝$\beta^4\times 100$）％となる。透過率１００％のＮＤフィルタHM_1は素通しのままでよいので、残りの４種類の透過率をそれぞれ有するＮＤフィルタHM_2～HM_5を用意すればよいこととなる。これより、減光ユニット３ａとＮＤユニット３ｂとで定められる全体の最小透過率TAB_{min}（％）は、下記の計算式より１２．４％となるので、（９）式で求めた仮想最小透過率T_{min}（％）の１６．７％より小さくなることとなる。これより、ＡｒＦエキシマレーザを露光光源として用いた場合において、所望の設定露光量の下限が露光可能となる。

【００３２】

$TAB_{min}=(0.94)^6\times 0.18\times 100=12.4\ (\%)$　（１０）また、本例では減光の原理がコーティングされていない石英のガラスの反射を利用しているため、従来懸念されていたレーザビームによる表面コーティング材の劣化及び照射中の透過率変動という現象は生じない。従って、常に安定な減光率（透過率）が得られる。なお、本例で使用されているＮＤユニット３ｂは少ない種類のＮＤフィルタを備えるだけでよいため、例えば上述のＮＤユニット３ｂでは４種類であるので製造は容易である。

【００３３】

また、図２において、ガラスプレートGP_1～GP_6の厚さは十分薄いものとする。これによって、ガラスプレートGP_1～GP_6を透過する際に生じるレーザビームの位置シフトは無視できるレベルである。但し、ガラスプレートGP_1～GP_6の厚さを厚くするか、又は枚数を増やしたときには、その位置シフトが問題となることもある。そこで、次にレーザビームの位置シフトの補正方法の一例を述べることとする。

【００３４】

図４は、図３のエネルギ変調器３の変形例を示し、この図４のエネルギ変調器３Ａは、図

３のＮＤユニット３ｂの後段に光路補正ユニット３ｃを設けたものである。この図４において、光路補正ユニット３ｃは、エネルギ変調器３Ａ中の減光ユニット３ａのガラスプレートＧＰ$_1$ ～ＧＰ$_6$ と同じ枚数で、且つ同じ厚さの両面反射防止（Ａｎｔｉ－Ｒｅｆｌｅｃｔｉｏｎ）コーティングを施したほぼ透過率１００％の光路に挿脱自在な光路シフト補正プレートＣＰ$_1$ ～ＣＰ$_6$ より構成されており、光路シフト補正プレートＣＰ$_1$ ～ＣＰ$_6$ の傾斜角は、ガラスプレートＧＰ$_1$ ～ＧＰ$_6$ の傾斜角と対称に設定されている。この図４において、ガラスプレートＧＰ$_3$ ～ＧＰ$_6$ の４枚がレーザビームＬＢの光路中に挿入された場合、光路シフト補正プレートＣＰ$_3$ ～ＣＰ$_6$ の４枚をレーザビームＬＢの光路に対称に配置することにより、減光ユニット３ａでのビーム位置シフトを相殺する様子を示している。このように、減光ユニット３ａ中のガラスプレートＧＰ$_1$ ～ＧＰ$_6$ の挿入枚数と同数の光路シフト補正プレートＣＰ$_1$ ～ＣＰ$_6$ を光路中に挿入することによりビーム位置シフトの補正が可能となる。

【００３５】

なお、上記の実施の形態では、エネルギ変調器３，３Ａ中のガラスプレートＧＰ$_1$ ～ＧＰ$_6$ に石英ガラス又は蛍石（Ｃ$_a$ Ｆ$_2$ ）を用いたが、エキシマレーザビームに対して、安定で且つ透過率が或る程度高い硝材であれば、使用することができる。

また、上述の実施の形態では、レーザビームＬＢの減光率を離散的に切り換えているが、更にエキシマレーザ光源１の電源変調等によって、比較的狭いレンジ（例えば±数％等）内で変調し、本例のエネルギ変調器３と組み合わせてレーザビームＬＢの露光量を連続的に微調してもよい。更に、本発明は、ステップ・アンド・スキャン方式等の走査型露光装置で露光量制御を行う場合に適用してもよい。また、図２の駆動系５１ａ～５１ｆにもう１軸駆動軸を追加し、ガラスプレートＧＰ$_1$ ～ＧＰ$_6$ の傾きを可変とするようにして、露光量を制御してもよい。

【００３６】

なお、本発明は、上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【００３７】

【発明の効果】

本発明によれば、露光用光源と感光基板との間の照明光の光路上に、照明光を透過させると共に減光用のコーティングが施されていない光学部材を挿脱自在に配置し、この光学部材の挿脱によって感光基板に対する照明光の露光量を制御している。この場合、その光学部材自体及びその挿脱機構の設計及び製造が容易であり、且つその光学部材の持つ反射特性で減光を行っているためその膜の劣化及び照射による物性値変動、つまり減光率の経時変化がないという利点がある。

【００３８】

また、照明光の波長が２００ｎｍ以下で、且つ照明光の光路上にその光学部材を複数枚挿脱自在に配置し、その光学部材の枚数によってその感光基板に対する照明光の露光量を複数段階に切り換えるときには、例えば、ＡｒＦエキシマレーザ等を露光光源として使用可能となり、転写パターンの微細化にも対応できる利点と、その減光率を種々に切り換えられるという利点とがある。

【００３９】

また、その光学部材をｎ枚（ｎは２以上の整数）挿脱自在に配置し、更に複数個の互いに透過率の異なる減光フィルタを選択的に照明光の光路上に配置する減光手段を設け、各光学部材の透過率をαとしたとき、その追加している減光手段の複数枚の減光フィルタの透過率をα^{n+1} の比率で等比数列的に変化させることにより、広い範囲で減光率を比率αで切り換えることができる利点がある。これによって、ＡｒＦエキシマレーザ等のパルス光源を露光光源として使用したときに適正露光量を得るために必要であった過剰なパルスの照射数を低減できるため、スループットが格段に向上するという利点がある。

【００４０】

また、１枚又は複数枚の光学部材を透過した後の照明光の光路のずれを補正するための光

路補正光学系を設けた場合には、減光率を変化させても照明光の光路が横ずれしないため、後続の光学系の調整等が不要になる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明による露光量制御装置の実施の形態の一例を備えた投影露光装置を示す概略構成図である。

【図２】図１のエネルギ変調器３の一部である減光ユニット３ａを示す概略構成図である。

【図３】図１のエネルギ変調器３の全体の構成を示す概略構成図である。

【図４】図３のエネルギ変調器の変形例を示す概略構成図である。

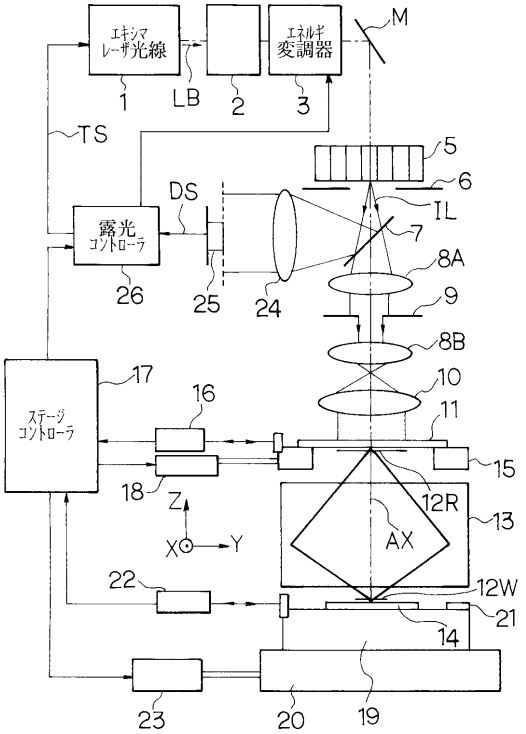
【図５】従来の露光量制御装置の減光手段を示す構成図である。

【図６】ＡｒＦエキシマレーザ光とＫｒＦエキシマレーザ光とに対する減光板の分光透過率特性の一例を示す図である。

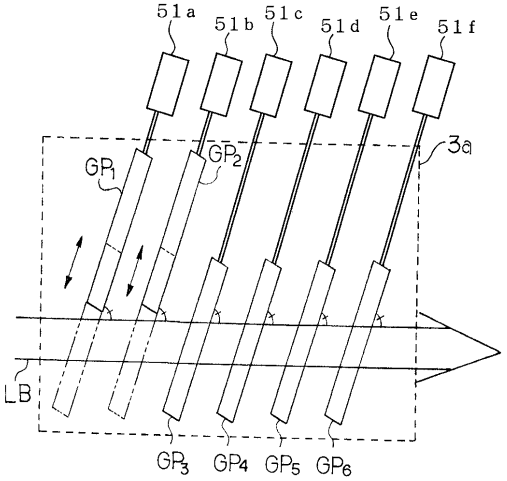
【符号の説明】

１　エキシマレーザ光源
２　ビーム整形光学系
３　エネルギ変調器
３ａ　減光ユニット
３ｂ　ＮＤユニット
３ｃ　光路補正ユニット
５　フライアイレンズ
６　開口絞り
７　ビームスプリッタ
８Ａ　第１リレーレンズ
８Ｂ　第２リレーレンズ
９　固定照野絞り
１０　コンデンサレンズ
１１　レチクル
１３　投影光学系
１４　ウエハ
１５　レチクルステージ
１６　レーザ干渉計
１７　ステージコントローラ
１９　Ｚチルトステージ
２０　ＸＹステージ
２１　照度むらセンサ
２２　レーザ干渉計
２５　インテグレータセンサ
２６　露光コントローラ
ＬＢ　レーザビーム
GP_1　～GP_6　ガラスプレート
CP_1　～CP_6　光路シフト補正プレート
HM_1　～HM_6　ＮＤフィルタ

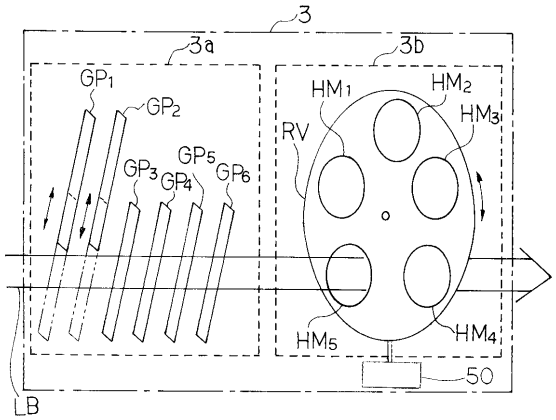
【図１】


エキシマレーザ光線
エネルギ変調器
M
1
LB
2
3
TS
5
6
DS
IL
露光コントローラ
7
8A
26
25
24
9
8B
17
10
ステージコントローラ
16
11
15
18
Z
12R
13
X
Y
AX
22
12W
21
14
23
20
19

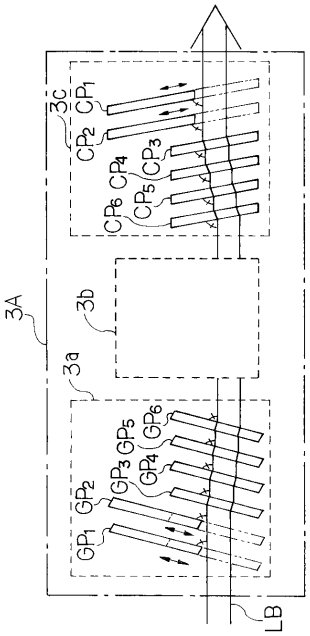
【図２】


51a
51b
51c
51d
51e
51f
GP1
GP2
3a
LB
GP3
GP4
GP5
GP6

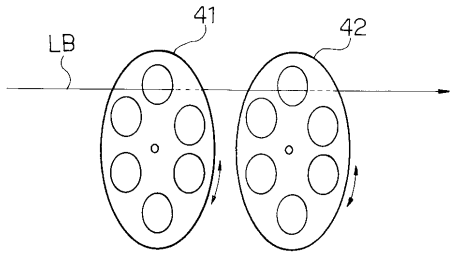
【図３】


3
3a
3b
GP1
GP2
GP3
GP4
GP5
GP6
HM1
HM2
HM3
RV
HM5
HM4
50
LB

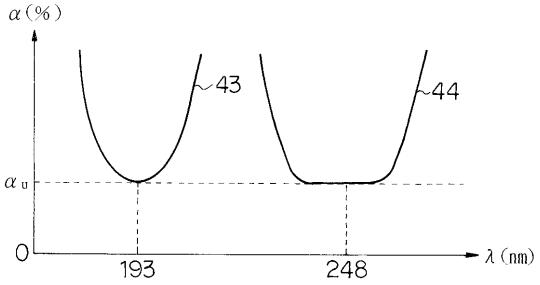
【図４】


3c
CP1
CP2
CP4
CP3
CP6
CP5
3A
3b
3a
GP5
GP6
GP3
GP4
GP2
GP1
LB

【図５】



【図６】



フロントページの続き

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