

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6761306号
(P6761306)

(45) 発行日 令和2年9月23日(2020.9.23)

(24) 登録日 令和2年9月8日(2020.9.8)

(51) Int. Cl.		F I			
G03F	7/20	(2006.01)	G03F	7/20	521
G02B	5/00	(2006.01)	G02B	5/00	A
G02B	19/00	(2006.01)	G02B	19/00	

請求項の数 10 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2016-168546 (P2016-168546)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成28年8月30日 (2016.8.30)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2018-36425 (P2018-36425A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成30年3月8日 (2018.3.8)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	令和1年8月27日 (2019.8.27)		弁理士 大塚 康德
		(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100112508
			弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175
			弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明光学系、リソグラフィ装置、及び物品製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源からの光を用いて被照明面を照明する照明光学系であって、
前記光源と前記被照明面との間に配置されたオプティカルインテグレータと、
前記オプティカルインテグレータに入射される光の強度を調整する調整部を有する光学
フィルタと、

を有し、

前記オプティカルインテグレータは、入射した光を内面で反射させるロッド型オプティ
カルインテグレータであり、

前記光学フィルタは、前記ロッド型オプティカルインテグレータの射出端面で互いに同
じ向きの像が形成される複数の第1領域と、前記射出端面で前記像に対して鏡像の関係を
有する像が形成される複数の第2領域とを含み、

前記調整部は、前記複数の第2領域には設けられておらず、前記複数の第1領域に設け
られており、

前記複数の第1領域に設けられた前記調整部からの光によって前記ロッド型オプティカ
ルインテグレータの前記射出端面に形成される像と、前記複数の第2領域からの光によっ
て前記ロッド型オプティカルインテグレータの前記射出端面に形成される像と、で前記被
照明面を照明し、

前記照明光学系の光軸に垂直な方向における前記調整部の位置を変更することにより前
記被照明面における照度を変更する

10

20

ことを特徴とする照明光学系。

【請求項 2】

光源からの光を用いて被照明面を照明する照明光学系であって、
前記光源と前記被照明面との間に配置されたオプティカルインテグレータと、
前記オプティカルインテグレータに入射される光の強度を調整する調整部を有する光学
フィルタと、を有し、

前記オプティカルインテグレータは、入射した光を内面で反射させるロッド型オプティ
カルインテグレータであり、

前記光学フィルタは、前記ロッド型オプティカルインテグレータの射出端面で互いに同じ向きの像が形成される複数の第 1 領域と、前記射出端面で前記像に対して鏡像の関係を有する像が形成される複数の第 2 領域とを含み、

前記調整部は、前記複数の第 1 領域の一部と前記複数の第 2 領域の一部とに配置され、
前記複数の第 1 領域の前記一部に配置された前記調整部の数と前記複数の第 2 領域の前
記一部に配置された前記調整部の数とは同数であり、

前記複数の第 1 領域に配置された前記調整部からの光によって前記ロッド型オプティカ
ルインテグレータの前記射出端面に形成される像と、前記複数の第 2 領域に配置された前
記調整部からの光によって前記ロッド型オプティカルインテグレータの前記射出端面に形
成される像と、で前記被照明面を照明し、

前記第 1 領域の前記調整部によって調整される前記被照明面における照度分布の特性と
 、前記第 2 領域の前記調整部によって調整される前記被照明面における照度分布の特性と
 が異なり、

前記照明光学系の光軸に垂直な方向における前記調整部の位置を変更することにより前
記被照明面における照度を変更する

ことを特徴とする照明光学系。

【請求項 3】

前記光源と前記オプティカルインテグレータとの間に配置され、前記光源からの光を前
 記オプティカルインテグレータへ導く第 1 リレー光学系を更に有し、

前記第 1 リレー光学系は、光源からの光を平行光にする第 1 レンズと、該第 1 レンズに
 よって平行光とされた光を前記オプティカルインテグレータの入射端面に集光する第 2 レ
 ンズとを含み、

前記光学フィルタは、前記第 1 レンズと前記第 2 レンズとの間に配置される

ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の照明光学系。

【請求項 4】

前記被照明面における照度分布を計測する計測部を更に有し、

前記計測部により計測された前記照度分布に基づいて前記光学フィルタの位置を変更す
 る

ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の照明光学系。

【請求項 5】

前記光学フィルタの駆動を制御する制御部を更に有し、

前記制御部は、前記計測部により計測された前記照度分布から計算される照度ムラが許
 容範囲内に収まるように前記光学フィルタの駆動をフィードバック制御する

ことを特徴とする請求項 4 に記載の照明光学系。

【請求項 6】

前記オプティカルインテグレータと前記被照明面との間に配置され、前記オプティカル
 インテグレータの前記射出端面からの光を前記被照明面へ導く第 2 リレー光学系を更に有
 し、

前記第 2 リレー光学系は、前記オプティカルインテグレータの前記射出端面からの光を
 平行光にする第 3 レンズであって前記第 2 リレー光学系の光軸方向に移動可能に構成され
 た第 3 レンズを含み、

前記制御部は、更に、前記計測部により計測された前記照度分布から計算される照度ム

10

20

30

40

50

ラが許容範囲内に収まるように前記第 3 レンズの駆動をフィードバック制御することを特徴とする請求項 5 に記載の照明光学系。

【請求項 7】

前記複数の第 1 領域は、前記複数の第 1 領域からの光が前記ロッド型オプティカルインテグレータの内面で反射されて前記ロッド型オプティカルインテグレータの前記射出端面に像を形成する領域である、ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の照明光学系。

【請求項 8】

前記複数の第 1 領域のうち、前記複数の第 1 領域からの光が前記ロッド型オプティカルインテグレータの内面で反射されずに前記ロッド型オプティカルインテグレータの前記射出端面に像を形成する領域には、前記調整部が設けられていないことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の照明光学系。

10

【請求項 9】

原版のパターンを基板に形成するリソグラフィ装置であって、被照明面に配置された前記原版を照明する請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の照明光学系と、

前記パターンを前記基板に投影する投影光学系と、
を含むことを特徴とするリソグラフィ装置。

【請求項 10】

請求項 9 に記載のリソグラフィ装置を用いてパターンを基板に形成する工程と、
前記工程で前記パターンが形成された基板を加工する工程と、
を含むことを特徴とする物品製造方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、照明光学系、リソグラフィ装置、及び物品製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

マスクに形成されたパターンをレジスト等の感光性材料が塗布された基板に投影する露光装置においては、マスク面や基板面等の被照明面における照度均一性の向上が求められている。照度均一性を向上させる手法として、ロッド型オプティカルインテグレータを備えた照明光学系を用いることが知られている。ロッド型オプティカルインテグレータを用いることで、ロッド内の内面反射回数に応じて形成した二次光源からの照明光をロッド射出端で重畳させることにより、ロッド射出面での照度分布を均一化することができる。

30

【0003】

しかし、ロッド型オプティカルインテグレータを備えた照明光学系においては、光学系の汚れや偏心、反射防止膜ムラなど様々な要因に起因して、結果的に被照明面上の照度分布に不均一性が認められる場合がある。この課題に対して、特許文献 1 は、ロッド型オプティカルインテグレータの射出面と光学的に共役な関係となる位置に複数の二次光源像に対応して設けた複数の光量調整部を配置した構成を開示している。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2000 - 269114 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、特許文献 1 に開示された照明光学系では、被照明面に集光する角度分布（以下「有効光源分布」という。）が決定されると、被照明面上の照度分布補正量は固定となる。したがって、反射防止膜の成膜状態や組立精度などにより発生する各機体固有の照度不

50

均一性（以下「照度ムラ」という。）を補正することは困難であった。また、装置を長期間使用して光学素子が劣化し、照度ムラが経時変化した場合は、調整部を適宜交換する必要があった。

【0006】

本発明は、例えば、照度ムラの補正性能の向上に有利な技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一側面によれば、光源からの光を用いて被照明面を照明する照明光学系であって、前記光源と前記被照明面との間に配置されたオプティカルインテグレータと、前記オプティカルインテグレータに入射される光の強度を調整する調整部を有する光学フィルタとを有し、前記オプティカルインテグレータは、入射した光を内面で反射させるロッド型オプティカルインテグレータであり、前記照明光学系の光軸に垂直な方向における前記調整部の位置を変更することにより前記被照明面における照度を変更することを特徴とする照明光学系が提供される。

10

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、照度ムラの補正性能の向上に有利な技術が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0009】

20

【図1】露光装置の構成を示す図。

【図2】調整部と二次光源との関係を示す模式図。

【図3】(A)は調整部とオプティカルインテグレータ射出端面との結像関係を示す図、(B)及び(C)は光学フィルタ上の調整部の配置例を示す図。

【図4】光学フィルタの作用を説明する図。

【図5】照度ムラの補正方法を説明する図。

【図6】傾斜状の照度ムラの補正手順を示すフローチャート。

【図7】光軸対称な照度ムラの補正手順を示すフローチャート。

【図8】光学フィルタの作用を説明する図。

【図9】照度ムラの補正方法を説明する図。

30

【図10】光学フィルタの作用を説明する図。

【図11】光学フィルタの作用を説明する図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。なお、本発明は以下の実施形態に限定されるものではなく、以下の実施形態は本発明の実施の具体例を示すにすぎない。また、以下の実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが本発明の課題解決のために必須のものであるとは限らない。

【0011】

<第1実施形態>

40

図1は、本実施形態に係る露光装置100の構成を示す概略図である。露光装置100は、例えば、半導体デバイスの製造工程におけるリソグラフィ工程で用いられるものであり、レチクルR（マスク）に形成されているパターンの像を基板であるウエハW上に露光（転写）する投影型露光装置である。図1において、ウエハWの法線方向に沿ってZ軸をとり、ウエハW面と平行な面内で互いに垂直な方向にX軸とY軸をとっている。露光装置100は、照明光学系101と、レチクルステージ102と、投影光学系103と、ウエハステージ104と、制御部105とを備える。

【0012】

照明光学系101は、光源である放電ランプ1からの光（光束）を調整して、被照明領域であるレチクルRを照明する。放電ランプ1は、例えば、i線（波長365nm）等の

50

光を供給する超高圧水銀ランプでありうる。また、これに限らず、例えば248nmの波長の光を供給するKrFエキシマレーザ、193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザ、157nmの波長の光を供給するF2レーザを用いてもよい。また、照明光学系101および投影光学系103が反射屈折系あるいは反射系で構成される場合には、光源にはX線や電子線等の荷電粒子線を用いてもよい。

【0013】

レチクルRは、ウエハW上に転写されるべきパターン（例えば回路パターン）が形成された、例えば石英ガラス製の原版である。レチクルステージ102は、レチクルRを保持してX、Yの各軸方向に可動である。投影光学系103は、レチクルRを通過した光を所定の倍率でウエハW上に投影する。ウエハWは、表面上にレジスト（感光性材料）が塗布された、例えば単結晶シリコンからなる基板である。ウエハステージ104は、不図示のウエハチャックを介してウエハWを保持し、X、Y、Z（それぞれの回転方向であるx、y、zを含む場合もある）の各軸方向に可動である。ウエハステージ104は、ウエハステージ駆動部114により駆動されうる。

10

【0014】

照明光学系101は、放電ランプ1から被照明領域であるレチクルRに向かって順に、楕円鏡2と、第1リレー光学系3と、オプティカルインテグレータ4と、第2リレー光学系5とを含む。楕円鏡2は、放電ランプ1から放射された光（光束）を第2焦点位置F2に集光する集光鏡である。放電ランプ1のバルブ部内の発光部は、例えば楕円鏡2の第1焦点F1の近傍に配置されている。結像光学系としての第1リレー光学系3は、単数又は複数のレンズからなるレンズ前群3a（第1レンズ）と、単数又は複数のレンズからなるレンズ後群3b（第2レンズ）とを含む。レンズ前群3aは、光源からの光を平行光にする。レンズ後群3bは、レンズ後群3aによって平行光とされた光をオプティカルインテグレータ4の入射端面4aに集光する。これらレンズ前群3aとレンズ後群3bとによって、第2焦点位置F2とオプティカルインテグレータ4の入射端面4aとが光学的に共役となっている。本実施形態において、照明光学系101、特に、第1リレー光学系3とオプティカルインテグレータ4と第2リレー光学系5を含む光学系の光軸はZ軸方向としている。

20

【0015】

本実施形態において、オプティカルインテグレータ4は、入射した光を内面で反射させその反射回数に対応して複数の二次光源像を形成するロッド型オプティカルインテグレータである。オプティカルインテグレータ4の形状は、例えば四角柱である。すなわち、オプティカルインテグレータ4のXY平面と平行な、入射端面及び射出端面の形状は、被照明面と相似の長方形となっている。もっとも、そのような形状は例示であって、オプティカルインテグレータ4と同様の作用を持つ部材の適用を妨げるものではない。例えば、オプティカルインテグレータ4は内部に反射面を形成する中空ロッドより構成されてもよい。また、オプティカルインテグレータ4の入射端面4a及び射出端面4bのXY平面での断面形状は四角形以外の多角形でもよい。

30

【0016】

放電ランプ1とオプティカルインテグレータ4との間において、レチクルRすなわちウエハWと共役な共役面S1の近傍に、光学フィルタ6が、光軸と垂直に配置される。光学フィルタ6は、XY平面に沿って2次元的に移動可能に構成され、その移動は、例えばフィルタ駆動部7によって行われる。光学フィルタ6は、例えば、図1に示されるように、第1リレー光学系3に含まれ、レンズ前群3aとレンズ後群3bと間に配置されうる。光学フィルタ6は、オプティカルインテグレータ4によって形成される二次光源像の数に対応して設けられる、オプティカルインテグレータ4に入射される光の強度を調整する複数の調整部を有する。光学フィルタ6の光学的作用については後ほど詳しく説明する。

40

【0017】

レンズ後群3bは、オプティカルインテグレータ4によって形成される二次光源の虚像面S2の位置から焦点距離だけ離れた位置に配置されており、光学フィルタ6から光軸に

50

ほぼ平行に射出した照明光は、一旦この虚像面 S 2 に集光することになる。

【 0 0 1 8 】

オプティカルインテグレータ 4 の入射端面 4 a は、虚像面 S 2 の近傍に配置されている。レンズ後群 3 b によって集光された照明光は、オプティカルインテグレータ 4 の内面で複数回反射されて射出する。オプティカルインテグレータ 4 から射出される照明光は、あたかも反射回数に対応する離散的な二次光源の虚像から向かうように射出する。このため、オプティカルインテグレータ 4 から射出する照明光の角度は、虚像面 S 2 に配置される二次光源の虚像からの照明光の射出角度に相当している。

【 0 0 1 9 】

オプティカルインテグレータ 4 の射出端面 4 b は、虚像面 S 2 に配置される複数の光源像によって重畳され、一様に照明される。オプティカルインテグレータ 4 の射出端面 4 b を発した光は、第 2 リレー光学系 5 を透過した後、被照明面であるレチクル R を照明する。第 2 リレー光学系 5 は、オプティカルインテグレータ 4 の射出端面 4 b からの光を平行光にする単数又は複数のレンズからなるレンズ前群 5 a を含む。レンズ前群 5 a は、第 2 リレー光学系 5 の光軸方向 (Z 軸方向) に移動可能に構成されている。第 2 リレー光学系 5 は、更に、レンズ前群 5 a で平行光とされた光を被照明面へ集光する単数又は複数のレンズからなるレンズ後群 5 b を含む。レンズ前群 5 a の移動はレンズ駆動部 5 1 により行われる。レンズ前群 5 a を光軸方向に移動させることで、実質的に焦点距離を変えないようにしつつディストーションを変化させることができる。この作用により、レンズ前群 5 a の移動によって、周辺照度を上下させることが可能となっている。

【 0 0 2 0 】

本実施形態において、レンズ前群 5 a の前側焦点位置にオプティカルインテグレータ 4 の射出端面 4 b が配置されており、更にオプティカルインテグレータ 4 の射出端面 4 b は、被照明面であるレチクル R と光学的に共役となっている。なお厳密には、オプティカルインテグレータ 4 の射出端面 4 b 上の異物が転写されるのを避けるため、射出端面 4 b の位置を共役から少しずらしてもよい。そして、レチクル R を射出した光、すなわち、マスクパターンの像は、投影光学系 1 0 3 を介してウエハ W 上に転写されることになる。

【 0 0 2 1 】

照度分布計測部 1 1 5 は、被照明面であるレチクル R における照度分布を計測する。制御部 1 0 5 は、放電ランプ 1、フィルタ駆動部 7、レンズ駆動部 5 1、ウエハステージ駆動部 1 1 4、照度分布計測部 1 1 5 を制御する。制御部 1 0 5 は、制御に必要な各種データを記憶する記憶部 1 0 5 a を含むうる。

【 0 0 2 2 】

次に、光学フィルタ 6 の光学的作用について説明する。図 2 は、光学フィルタ上に設けられる複数の調整部と、オプティカルインテグレータ 4 によって形成される複数の二次光源との関係を模式的に示す図である。図 2 は、光学フィルタ 6 から光軸に平行に射出する照明光の光路を示している。光学フィルタ 6 上に設けられた光軸上の調整部 6 0 は、オプティカルインテグレータ 4 の内面で反射されない二次光源 4 0 からの光束の強度を調整する。また、調整部 6 0 の両外側に隣接する一对の調整部 6 1 a、6 1 b は、オプティカルインテグレータ 4 の内面で 1 回反射される二次光源像 4 1 a、4 1 b からの光束の強度を調整する。さらに、調整部 6 1 a、6 1 b の両外側に隣接する一对の調整部 6 2 a、6 2 b は、オプティカルインテグレータ 4 の内面で 2 回反射される二次光源像 4 2 a、4 2 b からの光束の強度を調整する。このような構成によれば、オプティカルインテグレータ 4 によって形成された複数の二次光源それぞれの光束に対して独立に透過率を制御することができる。

【 0 0 2 3 】

調整部 6 0、6 1 a、6 1 b、6 2 a、6 2 b は、オプティカルインテグレータ 4 の射出端面 4 b と共役な共役面 S 1 の近傍に配置されている。したがって、1 つの調整部の形状は、図 1 のレチクル R 又はウエハ W 上での照明領域と対応しており、調整部 6 0、6 1 a、6 1 b、6 2 a、6 2 b の透過率分布は、ウエハ W 上での照明領域の照度分布に反映

10

20

30

40

50

されることになる。

【 0 0 2 4 】

図 3 (A) は、光学フィルタ 6 における各調整部とオプティカルインテグレータ 4 の射出端面 4 b との結像関係を説明する図である。オプティカルインテグレータ 4 では、隣り合う二次光源からの光束が反転する。このため、オプティカルインテグレータ 4 の射出端面 4 b で形成される像の向きが「 F 」となると、隣り合う調整部の像は逆向きとなり、互いに鏡像関係となっている。

【 0 0 2 5 】

図 3 (B) は、共役面 S 1 の近傍に配置される光学フィルタ 6 を入射側から見た模式図である。ここでは、調整部としてパターンフィルタ（または遮光部材）が用いられている。本実施形態において、複数の調整部を構成する複数のパターンフィルタは、オプティカルインテグレータ 4 の複数の二次光源像における鏡像関係に対応した、光学フィルタ上の所定の位置に配置されている。光学フィルタ 6 は、複数の第 1 領域 A , B と、第 1 領域を除く領域である複数の第 2 領域とを含む。ここで、複数の第 1 領域 A , B は、オプティカルインテグレータ 4 の射出端面 4 b で互いに同じ向きの像が形成される領域である。また、複数の第 2 領域は、オプティカルインテグレータ 4 の射出端面 4 b で第 1 領域の像に対して鏡像の関係を有する像が形成される領域である。本実施形態において、光学フィルタ 6 の表面には、オプティカルインテグレータ 4 の複数の二次光源像に対応して、長方形のパターンフィルタ 6 A , 6 B がそれぞれ、複数の第 1 領域 A , B に配置されている。なお、パターンフィルタ 6 A , 6 B は、複数の第 1 領域 A , B の全てではなく少なくとも一部の領域に配置されていてもよい。

【 0 0 2 6 】

本実施形態では、パターンフィルタ 6 A , 6 B として、大きさの異なる円形状のパターンフィルタを配置することで、各パターンフィルタ部分に図 4 (A) , (B) に示されるような効果を持たせている。各パターンフィルタの径や透過率、配置を適切にすることで、最終的に被照明面において、図 4 (A) , (B) の総和を表す図 4 (C) のように、近似的に像高の 2 乗に比例して被照明面の周辺部の照度を上げる効果が得られる。

【 0 0 2 7 】

一般に、投影露光装置の照明光学系において、被照明面における開口数の均一性と照度分布の均一性を両立させようとする、レンズに用いられる反射防止膜の角度特性により周辺部の照度が低下する傾向にある。そのため、本実施形態のように周辺部の照度を上げる作用を有する光学フィルタは照度分布の補正に有効である。

【 0 0 2 8 】

また、オプティカルインテグレータ 4 に入射する光束は、光軸に対して対称な照度分布を持つように調整してある。これにより、被照明面の有効光源分布は主光線に対して対称になるため、デフォーカスに対して像ズレが生じない。これにより、良好なテレセントリシティでの露光が実現されうる。

【 0 0 2 9 】

仮に、オプティカルインテグレータ 4 に入射する照明光が光軸に対して非対称な照度分布を持つ場合には、有効光源分布の対称性が失われ、テレセントリシティのズレという形で像性能へ影響が及ぶ。しかし本実施形態によれば、パターンフィルタの配置を光軸対称にしているのでテレセントリシティのズレがほとんど生じない。

【 0 0 3 0 】

本実施形態では、調整部としてパターンフィルタ 6 A , 6 B の 2 種類を使用した、例えば、微細なドットパターンの密度を変えるなどにより、1 種類のパターンで近似的に像高の 2 乗に比例した照度分布を作ることにも可能である。

【 0 0 3 1 】

以下では、図 5 (A) に示されるような照度ムラの補正方法について説明する。図 5 (A) の照度ムラは、図 5 (B) に示されるような傾斜状の照度ムラと、図 5 (C) に示されるような、光軸対称な円弧状をなし、周辺に行くほど照度が下がる照度ムラとに分解す

10

20

30

40

50

ることができる。これらは、照度分布から像高別平均照度および傾斜成分を算出することより分離できる。

【0032】

まず、図5(B)の傾斜状の照度ムラの補正方法について説明する。前述したように本実施形態の光学フィルタ6は像高のほぼ2乗に比例して周辺部の照度を上げる効果を持つ。このとき、オプティカルインテグレータ4の入射端面4aを、被照明面相当とし、正規化されたXY座標系とすれば、光学フィルタ6による照度分布調整の効果zは、 $z = a(x^2 + y^2)$ と書ける。ここで、aは定数である。

【0033】

光学フィルタ6のパターンフィルタ6A、6Bは、オプティカルインテグレータ4の射出端面4bで互いに同じ向きの像が形成される複数の第1領域A、Bの少なくとも一部に配置されている。光学フィルタ6は、複数の第1領域A、Bと、それ以外の領域である複数の第2領域とに沿う方向、すなわちXY平面に沿う方向に移動可能である。つまり、照明光学系の光軸(Z軸)に垂直な方向(X方向又はY方向)における光学フィルタ6の位置を変更することが可能である。ここで、光学フィルタ6をXY平面に沿う方向に移動させても、パターンフィルタ6A、6Bによって与えられる被照明面での照度分布変化の効果が互いに打ち消されることない。

【0034】

したがって、光学フィルタ6をX方向及びY方向に所定距離移動したときの光学フィルタ6による照度分布調整の効果z'は、 $z' = a((x + \quad)^2 + (y + \quad)^2)$ と書ける。ここで、aは定数である。つまり、に依存したx、yの1次の項が発生するため、傾斜状の照度分布を発生させることができる。

【0035】

図6は、傾斜状の照度ムラの補正手順を示すフローチャートである。S601において、制御部105は、照度分布計測部115で計測された照度分布データに基づき、被照明面での照度ムラを計算する(照度ムラ測定1)。被照明面での照度値の最大値をSmax、最小値をSminとすると、照度ムラSは例えば次式により算出される。

$$S = (S_{\max} - S_{\min}) / (S_{\max} + S_{\min})$$

その後、制御部105は、S602で光学フィルタ6をX方向に所定距離移動させ、S603で被照明面での照度ムラを測定する(照度ムラ測定2)。次に、制御部105は、S604で光学フィルタ6をY方向に所定距離移動させて、S605で被照明面での照度ムラを測定する(照度ムラ測定3)。その後、制御部105は、S606で、照度ムラ測定1、2、3の結果から照度ムラの変化量を計算し、記憶部105aに記憶する。この変化量が、上記した傾斜状の照度分布の傾きに対応する。

【0036】

次にS607で、制御部105は、S606で算出した変化量に基づいて、光学フィルタ6の移動方向と移動量を計算する。そして、制御部105は、フィルタ駆動部7により光学フィルタ6を、計算された方向へ計算された移動量、移動させる。

【0037】

その後、S609で再度、制御部105は、被照明面での照度ムラを測定し(照度ムラ測定4)、S610で、その照度ムラが所定の許容範囲内に収まっているかを確認する。ここで照度ムラが許容範囲内に収まっていれば、処理は終了する。一方、照度ムラが許容範囲内に収まっていなければ、処理はS611に進み、照度ムラ測定4の結果をフィードバックし、S607に戻って、光学フィルタ6の移動方向と移動量を再計算する。

【0038】

次に、図5(C)の光軸対称な照度ムラの補正方法について、図7のフローチャートを参照して説明する。光軸対称な照度ムラが発生した場合は、周辺照度補正量を調整することになる。上記したように、第2リレー光学系5は、レンズ前群5aを光軸方向に移動させることで、実質的に焦点距離を変えないようにしつつディストーションを変化させる構成を備えている。これにより、レンズ前群5aの移動によって、周辺照度を上下させるこ

10

20

30

40

50

とが可能となっている。

【0039】

制御部105は、S701で、照度分布計測部115により、レンズ前群5aを光軸方向に所定距離 移動させたときの被照明面の最外周部の照度の変化量を求め、この変化量を記憶部105aに記憶させる(照度ムラ測定1)。なお、このS701は、シミュレーション等により前もって行われてもよい。S702で、制御部105は、この変化量に基づいて、レンズ前群5aの光軸方向への移動量を計算する。S703で、制御部105は、レンズ駆動部51により、レンズ前群5aを光軸方向に、計算された移動量、移動させる。

【0040】

その後、S704で再度、制御部105は、レンズ前群5aを光軸方向に所定距離 移動させたときの被照明面の最外周部の照度の変化量を求め(照度ムラ測定2)、S705で、その変動量が所定の許容範囲内に収まっているかを確認する。ここで変動量が許容範囲内に収まっていれば、処理は終了する。一方、変動量が許容範囲内に収まっていなければ、処理はS706に進み、照度ムラ測定2の結果をフィードバックし、S703に戻って、光学フィルタ6の移動量を再計算する。このように、制御部105は、照度分布計測部115により計測された照度分布から計算される照度ムラが許容範囲内に収まるように光学フィルタ6の移動量をフィードバック制御する。

【0041】

以上説明した、図6の制御手順に従う光学フィルタ6の移動と、図7の制御手順に従うレンズ前群の駆動との両方を行うことによって、より精密な補正を行うことができる。このとき、制御部105による図6の制御手順と図7の制御手順は時系列に沿って、直列に実行してもよいし、並列に実行してもよい。

【0042】

なお、図6の制御手順と図7の制御手順それぞれの実行結果は、記憶部105aに記憶されうる。同一照明条件で再度実行される際には、記憶部105aから実行結果を呼び出して各要素を最適位置に駆動させることができる。これにより、図6、図7のような手順を省略して、速やかに傾斜状の照度ムラおよび同心円状の照度ムラ(光軸対称な照度ムラ)の補正を行うことができる。

【0043】

また、照明光学系が長期間使用されると、装置内のいずれかのレンズの透過率が劣化し、回転非対称な傾斜状の照度ムラが発生することが考えられる。このような場合にも、図6および図7の制御手順を再度実行することで、傾斜状の照度ムラおよび同心円状の照度ムラ(光軸対称な照度ムラ)の補正を行うようにしてもよい。

【0044】

なお、例えば、特開2001-135564号公報では、複数の微小レンズが2次元的に所定のピッチで配列されたオプティカルインテグレータの入射面近傍に、光学フィルタを配置している。光学フィルタは、オプティカルインテグレータを構成する複数の微小レンズに各々対応した複数の領域の透過光量を調整できる光量調整部を有している。このような構成によっても、光学フィルタをXY平面内に沿って移動することで照度ムラの制御が可能である。

【0045】

しかし、複数の微小レンズが2次元的に所定のピッチで配列されたオプティカルインテグレータは、一般的に高価であるため、本実施形態によるロッド型オプティカルインテグレータの方が低コストである。ロッド型オプティカルインテグレータを用いた本実施形態の構成によれば、図3(A)に示されたような結像関係となることを利用して各調整部の配置箇所が決定される。具体的には、複数の調整部は、複数の調整部の各々を透過した光によってロッド型オプティカルインテグレータの射出端面に形成される各調整部の像の向きが同じ向きになるように、光学フィルタ上に配置される。これにより照度ムラ制御が可能である。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

< 第 2 実施形態 >

次に、第 2 実施形態に係る照明光学系について説明する。装置の概略構成は図 1 と同様である。図 3 (C) は、本実施形態に係る光学フィルタ 6 を入射側から見た模式図である。この光学フィルタ 6 の表面には、オプティカルインテグレータ 4 の複数の二次光源像に対応して、長方形のパターンフィルタ 6 C が、複数の第 1 領域 C に配置され、長方形のパターンフィルタ 6 D が、複数の第 2 領域 D に配置されている。なお、パターンフィルタ 6 C , 6 D はそれぞれ、複数の第 1 領域 C および複数の第 2 領域 D の全てではなく少なくとも一部の領域に配置されていてもよい。ここで、複数の第 1 領域 C は、オプティカルインテグレータ 4 の射出端面 4 b で互いに同じ向きの像が形成される領域である。また、複数の第 2 領域 D は、オプティカルインテグレータ 4 の射出端面 4 b で複数の第 1 領域 C の像に対して鏡像の関係を有する像が形成される領域である。

10

【 0 0 4 7 】

本実施形態では、パターンフィルタ 6 C には、図 8 (A) のような、近似的に像高の 2 乗に比例して被照明面の周辺部の照度を上げる効果を持たせている。また、パターンフィルタ 6 D には、その逆の特性、すなわち図 8 (B) のような、近似的に像高の 2 乗に比例して周辺部の照度を下げる効果を持たせている。このようなパターンフィルタ 6 C、6 D の組み合わせにより、全体としては照度分布変化の効果が互いに打ち消されるように構成されている。

【 0 0 4 8 】

以下、図 9 (A) のような傾斜状の照度ムラの補正方法について説明する。オプティカルインテグレータ 4 入射端面 4 a を、被照明面相当とし、正規化された X Y 座標系とすれば、光学フィルタ 6 の効果 z は、簡単のため X 方向 1 次元だけ表すと、 $z = a x^2 - a x^2 = 0$ となり、照度分布に影響しない。ここで、 a は定数である。

20

【 0 0 4 9 】

光学フィルタ 6 を X 方向に所定距離 移動したときの効果 z' は、パターンフィルタ 6 C、6 D では の方向が変わるため、 $z' = a (x +)^2 - a (x -)^2$ と書ける。つまり、 に依存した x の 1 次の項が発生するため、傾斜状の照度分布を発生させることができる。

【 0 0 5 0 】

本実施形態においても、図 6 のフローチャートと同様の手順を実行することにより、傾斜状の照度ムラを図 9 (B) のように平坦になるよう補正することができる。このように、もともと 2 次形状の周辺照度低下が小さく、傾斜状の照度ムラが支配的な場合においては、本実施形態のような調整部の構成が照度分布の補正に有効である。

30

【 0 0 5 1 】

< 第 3 実施形態 >

次に、第 3 実施形態に係る照明光学系について説明する。本実施形態では、第 2 実施形態におけるパターンフィルタ 6 C、6 D の効果が異なる。本実施形態におけるパターンフィルタ 6 C には、図 10 (A) のような、近似的に像高の 3 乗に比例して照度分布が変わるような効果を持たせている。また、パターンフィルタ 6 D には、その逆の特性、すなわち図 10 (B) のような、近似的に像高の 3 乗に比例して照度分布が変わるような効果を持たせている。このようなパターンフィルタ 6 C、6 D の組み合わせにより、全体としては照度分布変化の効果が互いに打ち消されるように構成されている。

40

【 0 0 5 2 】

第 2 実施形態と同様、光学フィルタ 6 の効果 z は、X 方向 1 次元だけ表すと、 $z = a x^3 - a x^3 = 0$ となり、照度分布に影響しない。ここで、 a は定数である。

【 0 0 5 3 】

光学フィルタ 6 を X 方向に所定距離 移動したときの効果 z' は、パターンフィルタ 6 C、6 D では の方向が変わるため、 $z' = a (x +)^3 - a (x -)^3$ となる。本実施形態では、 に依存した x の 2 次の項が発生するため、同心円状の 2 次の照度分布を

50

発生させることができる。

【0054】

本実施形態においても、図6のフローチャートと同様の手順を実行することにより、図11(A)のような2次形状の照度分布を、図11(B)のように平坦になるよう補正することができる。このように、もともと傾斜状の照度ムラがなく、同心円状の2次の照度ムラが支配的な場合においては、本実施形態のような調整部の構成が照度分布補正に有効である。

【0055】

なお、補正したい照度分布が3次以降の高次形状であっても、パターンフィルタの透過率分布を適宜設定することにより、照度ムラ補正が可能である。

10

【0056】

<物品製造方法の実施形態>

本発明の実施形態における物品製造方法は、例えば、半導体デバイス等のマイクロデバイスや微細構造を有する素子等の物品を製造するのに好適である。本実施形態の物品製造方法は、上記のリソグラフィ装置（露光装置やインプリント装置、描画装置など）を用いて基板に原版のパターンを転写する工程と、かかる工程でパターンが転写された基板を加工する工程とを含む。更に、かかる製造方法は、他の周知の工程（酸化、成膜、蒸着、ドーピング、平坦化、エッチング、レジスト剥離、ダイシング、ボンディング、パッケージング等）を含む。本実施形態の物品製造方法は、従来の方法に比べて、物品の性能・品質・生産性・生産コストの少なくとも1つにおいて有利である。

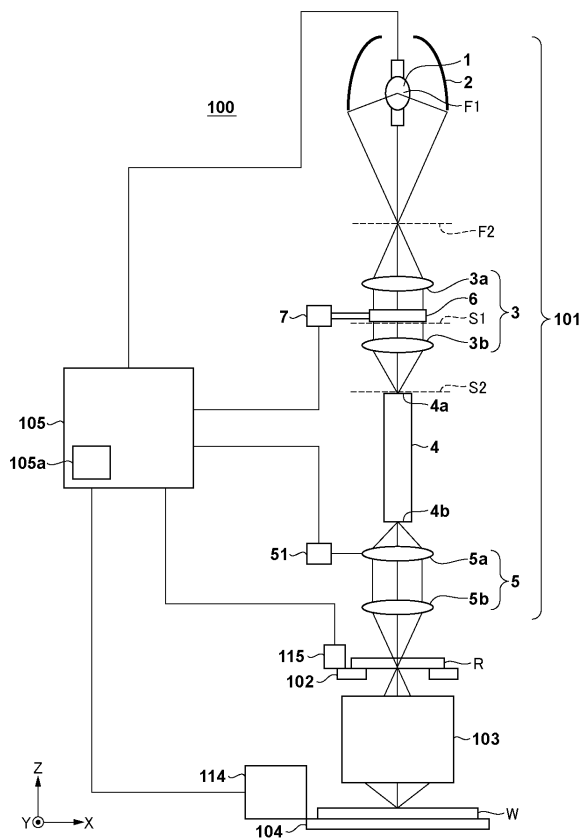
20

【符号の説明】

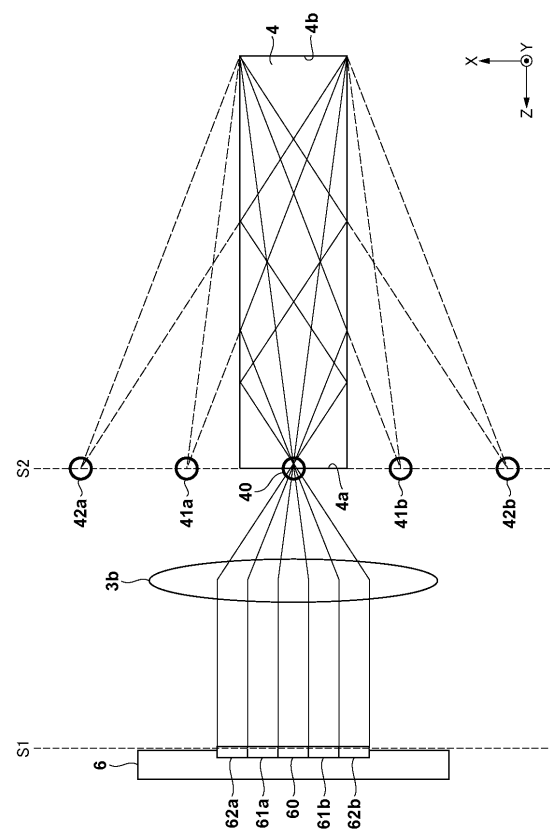
【0057】

100：露光装置、101：照明光学系、103：投影光学系、105：制御部、4：オプティカルインテグレータ、6：光学フィルタ

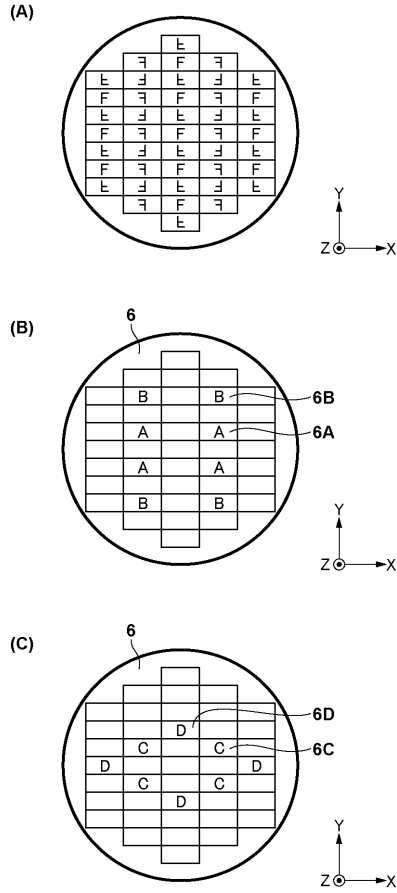
【図1】



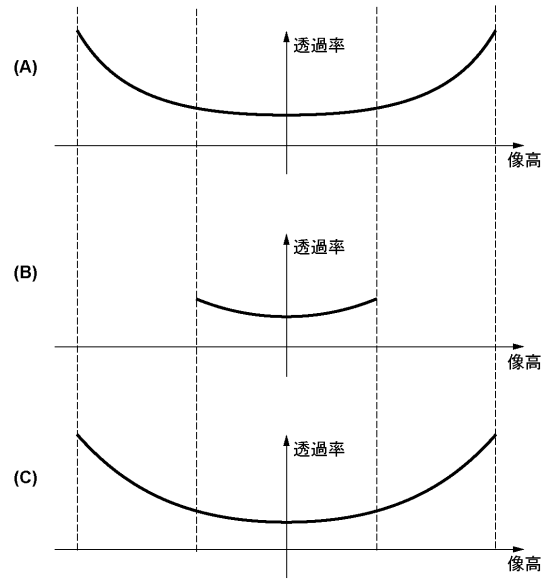
【図2】



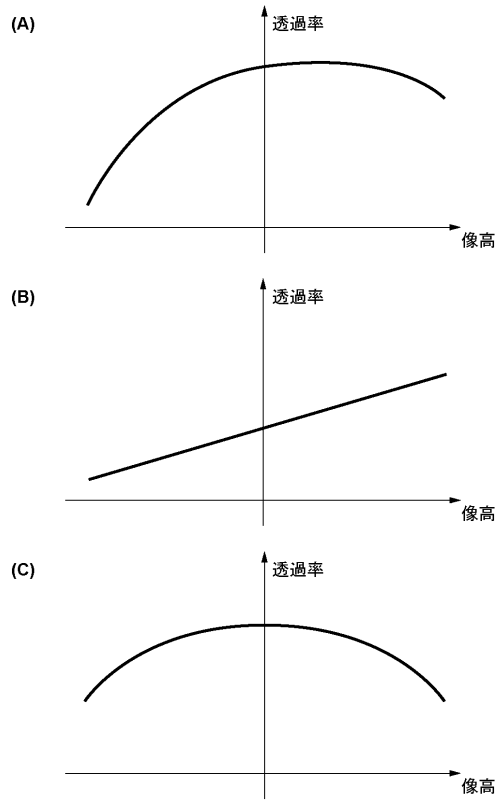
【図3】



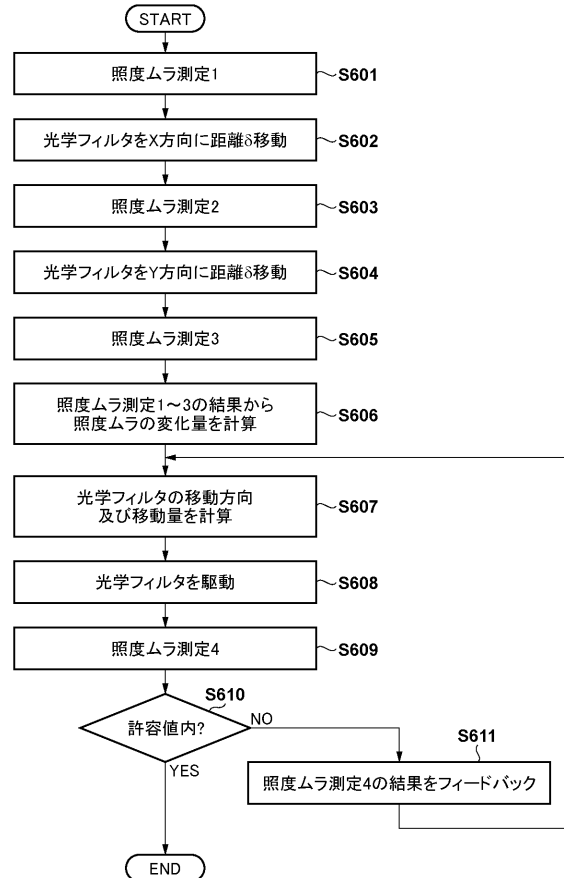
【図4】



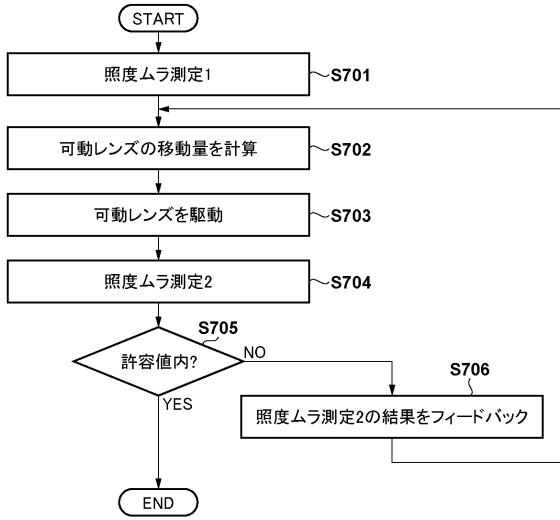
【図5】



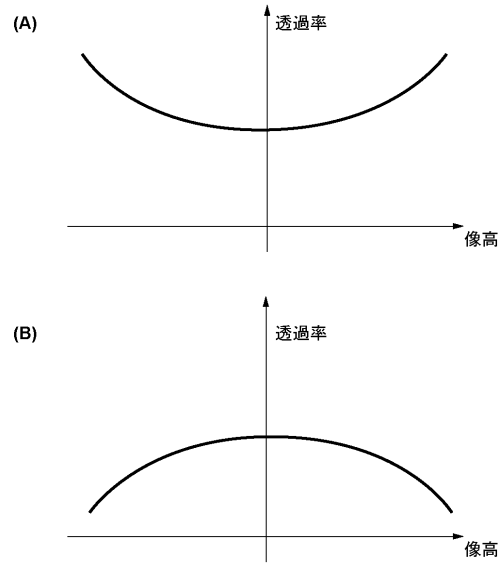
【図6】



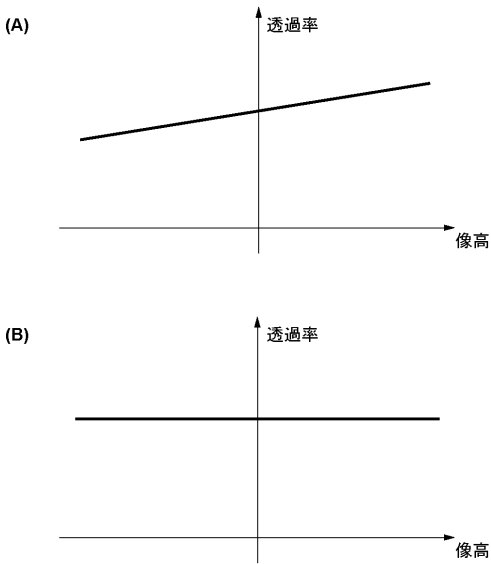
【図7】



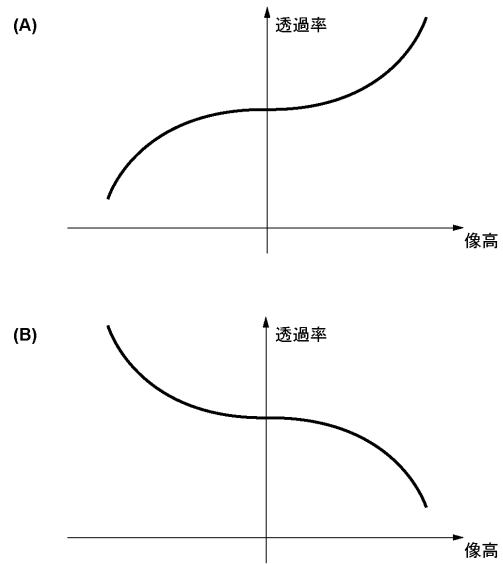
【図8】



【図9】

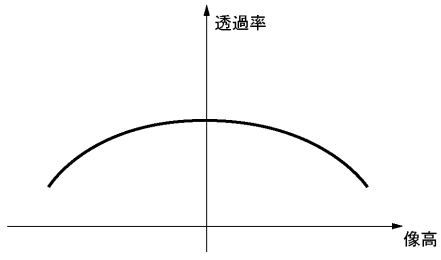


【図10】

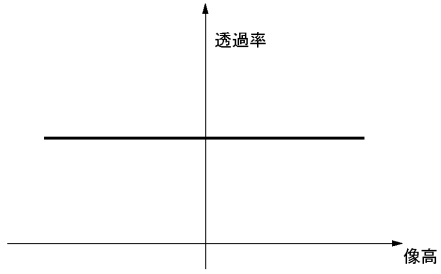


【圖 1 1】

(A)



(B)



フロントページの続き

(72)発明者 須田 広美
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

審査官 山口 敦司

(56)参考文献 米国特許出願公開第2001/0046039(US, A1)
特開2001-135564(JP, A)
特開2000-269114(JP, A)
特開2016-200649(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G03F 7/20
G02B 5/00
G02B 19/00
H01L 21/027