

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5473350号  
(P5473350)

(45) 発行日 平成26年4月16日(2014.4.16)

(24) 登録日 平成26年2月14日(2014.2.14)

(51) Int.Cl.	F 1
HO 1 L 21/027	(2006.01)
GO 3 F 7/20	(2006.01)
GO 2 B 5/00	(2006.01)
GO 2 B 19/00	(2006.01)
	HO 1 L 21/30 5 1 5 D
	HO 1 L 21/30 5 1 6 D
	GO 3 F 7/20 5 2 1
	GO 2 B 5/00 A
	GO 2 B 19/00

請求項の数 6 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2009-31964 (P2009-31964)  
 (22) 出願日 平成21年2月13日 (2009.2.13)  
 (65) 公開番号 特開2010-192471 (P2010-192471A)  
 (43) 公開日 平成22年9月2日 (2010.9.2)  
 審査請求日 平成24年2月7日 (2012.2.7)

(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 100076428  
 弁理士 大塚 康徳  
 (74) 代理人 100112508  
 弁理士 高柳 司郎  
 (74) 代理人 100115071  
 弁理士 大塚 康弘  
 (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、露光装置及びデバイスの製造方法

## (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、

前記被照明面に入射する光の入射角度分布を調整するための反射率分布もしくは透過率分布を有する複数の調整部と、

前記被照明面における照明領域を規定する視野絞りと、

を有し、

前記複数の調整部は、

前記被照明面に入射する光の入射角度分布の前記第1の方向における光量差及び前記第1の方向に垂直な第2の方向における光量差のうち少なくとも一方を調整する第1の調整部と、

前記被照明面に入射する光の入射角度分布の第1の方向の光量と、前記第2の方向の光量との差を調整する第2の調整部と、

を含み、

前記第1の調整部は、前記光源と前記視野絞りとの間に配置され、前記照明領域に入射する主光線が通過する第1領域に反射率分布もしくは透過率分布を有する調整膜を有し、前記第1領域の反射率が1.0%以上であり、

前記第2の調整部は、前記被照射面と前記視野絞りとの間に配置され、前記照明領域に入射する主光線が通過する第2領域以外の領域に反射率分布もしくは透過率分布を有する調整膜を有し、前記第2領域の反射率が1.0%未満であることを特徴とする照明光学系

。

**【請求項 2】**

前記複数の調整部は、光の入射位置に応じて異なる反射率分布もしくは透過率分布となる調整膜を有することを特徴とする請求項1に記載の照明光学系。

**【請求項 3】**

前記複数の調整部は、前記被照明面の近傍、又は、前記被照明面の共役面の近傍に配置されていることを特徴とする請求項1又は2に記載の照明光学系。

**【請求項 4】**

前記第1の調整部及び前記第2の調整部のそれぞれは、前記光源からの光の可干渉距離の1/2以上の間隔を有して配置されてい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。

10

**【請求項 5】**

光源からの光を用いてマスクを照明する請求項1乃至4のうちいずれか1項に記載の照明光学系と、

前記マスクのパターンの像を基板に投影する投影光学系と、  
を有することを特徴とする露光装置。

**【請求項 6】**

請求項5に記載の露光装置を用いて基板を露光するステップと、

露光された前記基板を現像するステップと、

を有することを特徴とするデバイスの製造方法。

20

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、照明光学系、露光装置及びデバイスの製造方法に関する。

**【背景技術】****【0002】**

フォトリソグラフィー技術を用いて半導体デバイスを製造する際に、露光装置が使用されている。露光装置は、照明光学系からの光束でレチクル(マスク)を照明し、かかるレチクルに形成されたパターンを投影光学系によってウエハ(基板)に投影してパターンを転写する。

30

**【0003】**

近年では、半導体デバイスの微細化が進んでおり、微細なパターンを正確にウエハに転写するために、ウエハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠になってきている。また、露光装置の焦点深度や解像度を向上させる超解像技術の1つとして、レチクルのパターンに最適化された形状(例えば、輪帯形状や4重極形状)で照明を行う斜入射照明(変形照明)が注目されている。照明光学系内に配置されたオプティカルインテグレータが形成する2次光源は被照明面と瞳の関係になっており、照明光学系の瞳面における光強度分布(瞳輝度分布)を変化させることで斜入射照明を実現することができる。

**【0004】**

但し、最終的な被照明面であるウエハ上(の各点)における入射角度分布に左右方向(又は上下方向)で差(光量差)がある場合には、ウエハが投影光学系の焦点位置からデフォーカスしたときに転写されるパターンに位置ずれが生じる。その結果、ウエハに転写されるパターンの左右方向(又は上下方向)の線幅に差(線幅差)が生じてしまう。同様に、ウエハ上における入射角度分布に縦方向と横方向で光量差がある場合には、ウエハに転写されるパターンの縦方向と横方向で線幅差が生じてしまう。従って、斜入射照明を用いて微細なパターンを正確にウエハに転写するためには、照明光学系の瞳面における光強度分布を所望の形状に調整するだけではなく、被照明面であるウエハ上における入射角度分布が像高差なく均一であることが必要となる。

40

**【0005】**

そこで、所定の反射率分布又は透過率分布を有するフィルターなどの調整ユニットを照

50

明光学系内に配置して、ウエハ上における入射角度分布を調整する技術が提案されている（特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2006-059834号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、従来技術では、フィルターなどの調整ユニットで反射される光（フレア光）の影響を考慮していない。そのため、調整ユニットで反射されたフレア光によって隣接する露光領域が露光され、ウエハに転写されるパターンの線幅均一性が悪化してしまうことになる。また、従来技術では、明光学系内に1つの調整ユニットを配置してウエハ上における入射角度分布を調整しているため、急速な微細化が進むパターンに対して、ウエハ上における入射角度分布を十分な精度で調整することができなくなってきた。

【0008】

本発明は、このような従来技術の課題に鑑みてなされ、フレア光の発生を抑制すると共に、被照明面における入射角度分布を高精度に（即ち、均一に）調整することができる技術を提供することを例示的目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての明光学系は、光源からの光を用いて被照明面を照明する明光学系であって、前記被照明面に入射する光の入射角度分布を調整するための反射率分布もしくは透過率分布を有する複数の調整部と、前記被照明面における照明領域を規定する視野絞りと、を有し、前記複数の調整部は、前記被照明面に入射する光の入射角度分布の前記第1の方向における光量差及び前記第1の方向に垂直な第2の方向における光量差のうち少なくとも一方を調整する第1の調整部と、前記被照明面に入射する光の入射角度分布の第1の方向の光量と、前記第2の方向の光量との差を調整する第2の調整部と、を含み、前記第1の調整部は、前記光源と前記視野絞りとの間に配置され、前記照明領域に入射する主光線が通過する第1領域に反射率分布もしくは透過率分布を有する調整膜を有し、前記第1領域の反射率が1.0%以上であり、前記第2の調整部は、前記被照射面と前記視野絞りとの間に配置され、前記照明領域に入射する主光線が通過する第2領域以外の領域に反射率分布もしくは透過率分布を有する調整膜を有し、前記第2領域の反射率が1.0%未満であることを特徴とする。

【0010】

本発明の更なる目的又はその他の側面は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施形態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、例えば、フレア光の発生を抑制すると共に、被照明面における入射角度分布を高精度に（即ち、均一に）調整する技術を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の一側面としての露光装置の構成を示す概略図である。

【図2】図1に示す露光装置の第1の調整部の構成の一例を示す図である。

【図3】図1に示す露光装置の第2の調整部の構成の一例を示す図である。

【図4】図2に示す第1の調整部の調整膜が形成する反射率分布の一例を示す図である。

【図5】図3に示す第2の調整部の調整膜が形成する反射率分布の一例を示す図である。

【図6】被照明面と第1の調整部の調整膜又は第2の調整部の調整膜との反射光の被照明面における照度分布を示す図である。

10

20

30

40

50

【図7】被照明面を照明するために照明光学系の瞳面に形成される光強度分布（有効光源）を示す図である。

【図8】図1に示す露光装置において、第1の調整部と第2の調整部とが視野絞りを挟んで配置されている場合を示す概略図である。

【図9】図1に示す露光装置の照明光学系において、第1の調整部、第2の調整部及び第3の調整部の配置例を示す概略図である。

【図10】図9に示す第1の調整部、第2の調整部及び第3の調整部のそれぞれを通過する軸上光束と軸外光束とを示す図である。

【図11】図1に示す露光装置の照明光学系の調整方法を説明するためのフローチャートである。

【図12】被照明面の複数点における入射角度分布を測定するための測定装置の構成を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【0014】

図1は、本発明の一側面としての露光装置1の構成を示す概略図である。露光装置1は、本実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式でレチクルのパターンをウエハに転写する投影露光装置である。但し、露光装置1は、ステップ・アンド・リピート方式やその他の露光方式も適用することができる。

【0015】

露光装置1は、図1に示すように、光源10からの光束でレチクル30を照明する照明光学系20と、レチクル30を支持するレチクルステージ35と、投影光学系40と、ウエハ50を支持するウエハステージ55とを有する。また、図1では、レチクル30又はウエハ50に対する光軸に平行な方向をZ軸とし、光軸に垂直な平面をXY平面とする。

【0016】

光源10は、例えば、例えば、波長約248nmのKrFエキシマレーザーや波長約193nmのArFエキシマレーザーなどを使用する。但し、光源10の種類及び個数は限定されるものではない。

【0017】

照明光学系20は、光源10からの光束を用いて、被照明面に配置されたレチクル30を照明する光学系である。照明光学系20は、本実施形態では、リレー光学系201と、回折光学素子202と、コンデンサーレンズ203と、プリズム204と、ズームレンズ205と、ミラー206とを含む。更に、照明光学系20は、オプティカルインテグレータ207と、コンデンサーレンズ208と、視野絞り209と、結像光学系210と、第1の調整部220と、第2の調整部230とを含む。

【0018】

リレー光学系201は、光源10からの光束を、矩形形状の断面を有するほぼ平行な光束に変換して回折光学素子202に導く。

【0019】

回折光学素子202から射出した光束は、コンデンサーレンズ203によって集光され、回折パターン面DPPに回折パターンを形成する。なお、回折光学素子202は、例えば、互いに異なる特性を有する複数の回折光学素子202a及び202bを含み、照明光学系20の光軸上に交換可能に構成される。従って、照明光学系20の光軸上に配置する回折光学素子202を交換することで、輪帯形状や多重極形状などの複数の回折パターンを形成することができる。

【0020】

回折パターン面DPPに形成された回折パターンは、プリズム204やズームレンズ205によって大きさや形状が調整されてミラー206に入射する。プリズム204は、第

10

20

30

40

50

1のプリズム部材204a及び第2のプリズム部材204bで構成されている。第1のプリズム部材204aと第2のプリズム部材204bとの距離が十分に小さい場合、第1のプリズム部材204aと第2のプリズム部材204bとは一体化した1つの平行ガラス平板とみなすことができる。プリズム204を平行ガラス平板とみなすことができる場合、回折パターン面DPPに形成された回折パターンは、略相似形状を保ちながらズームレンズ205で拡大又は縮小されてオプティカルインテグレータ207の入射面に結像する。なお、第1のプリズム部材204aと第2のプリズム部材204bとの距離を離すことによって、回折パターン面DPPに形成された回折パターンの形状（例えば、輪帯の幅）を調整することができる。

## 【0021】

10

ミラー206で反射した光束は、オプティカルインテグレータ207に入射する。オプティカルインテグレータ207は、ハ工の目レンズやマイクロレンズアレイなどを使用し、複数の微小レンズを2次元的に配置した構成を有する。オプティカルインテグレータ207に入射した光束は2次元的に分割され、光束が入射した各微小レンズの後側焦点面には点光源が形成される。従って、オプティカルインテグレータ207の後側焦点面には、オプティカルインテグレータ207に入射した光束と近似的に同じ光強度分布を有する実質的な面光源（2次光源）が形成される。

## 【0022】

オプティカルインテグレータ207から射出した光束はコンデンサーレンズ208によって集光される。なお、オプティカルインテグレータ207の後側焦点面に形成された2次光源は、被照明面であるレチクル30（更には、ウエハ50）と共に位置に配置された視野絞り209を重畳照明する。

20

## 【0023】

視野絞り209は、被照明面における照明領域を規定する機能を有し、本実施形態では、レチクルステージ35に保持されたレチクル30上の照明領域（露光領域）を規定する。視野絞り209は、例えば、複数の遮光板を含み、かかる複数の遮光板を駆動することで照明領域に対応する開口形状を形成することができるよう構成されている。

## 【0024】

結像光学系210は、視野絞り209を通過した光束（即ち、視野絞り209で形成された開口形状）をレチクル30に結像（投影）する光学系である。

30

## 【0025】

本実施形態において、照明光学系20には、図1に示すように、被照明面に入射する光束の入射角度分布を調整するための反射率分布を有する複数の調整部（第1の調整部220及び第2の調整部230）が配置されている。具体的には、視野絞り209の前段（光源側）の近傍（詳細には、光源10と視野絞り209との間）には、第1の調整部220が配置され、視野絞り209とレチクル30との間には、第2の調整部230が配置されている。なお、第1の調整部220及び第2の調整部230の詳細については後述する。

## 【0026】

レチクル30は、回路パターンを有し、レチクルステージ35に支持及び駆動される。レチクル30から発せられた回折光は、投影光学系40を介して、ウエハ50に投影される。露光装置1は、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置であるため、レチクル30とウエハ50とを走査することによって、レチクル30のパターンをウエハ50に転写する。

40

## 【0027】

レチクルステージ35は、レチクル30を支持し、図示しない駆動機構に接続されている。図示しない駆動機構は、例えば、リニアモーターなどで構成され、X軸方向、Y軸方向、Z軸方向及び各軸の回転方向にレチクルステージ35を駆動する。

## 【0028】

投影光学系40は、レチクル30のパターンをウエハ50に投影する光学系である。投影光学系40は、屈折系、反射屈折系、或いは、反射系を使用することができる。

50

## 【0029】

ウエハ50は、レチクル30のパターンが投影（転写）される基板である。但し、ウエハ50は、ガラスプレートやその他の基板に置換することもできる。ウエハ50には、レジスト（感光剤）が塗布されている。

## 【0030】

ウエハステージ55は、ウエハ50を支持し、レチクルステージ35と同様に、リニアモーターを利用して、X軸方向、Y軸方向、Z軸方向及び各軸の回転方向にウエハ50を駆動する。

## 【0031】

以下、第1の調整部220及び第2の調整部230の詳細について説明する。図2は、  
10 第1の調整部220の構成の一例を示す図である。図3は、第2の調整部230の構成の一例を示す図である。図2及び図3は、照明光学系20の光軸方向から第1の調整部220及び第2の調整部230を見た場合を示している。なお、本実施形態では、視野絞り209はスリット状の照明領域を規定し、図2及び図3において破線で示された領域PRは主光線が通過する領域を表している。ここで、主光線とは、照明光学系20の瞳面の中心を通過する光線である。

## 【0032】

第1の調整部220は、図2に示すように、平行平面板221と、光束の入射位置に応じて異なる反射率（又は透過率）を有する調整膜222とで構成されている。例えば、調整膜222は、平行平面板221の光源側の光学面に形成され、平行平面板221におけるX軸方向及びY軸方向の位置ごとに膜厚を制御することで、連続的に変化する所定の反射率分布（又は透過率分布）を形成する。また、平行平面板221において、調整膜222が形成された領域以外の領域には、光源10からの光束の波長及び入射角度に対して最適化された反射防止膜が形成され、第1の調整部220からの余分な反射を抑えている。  
20

## 【0033】

第2の調整部230は、第1の調整部220と同様な構成を有する。具体的には、第2の調整部230は、図3に示すように、平行平面板231と、光束の入射位置に応じて異なる反射率（又は透過率）を有する調整膜232とで構成されている。例えば、調整膜232は、平行平面板231の光源側の光学面に形成され、平行平面板231におけるX軸方向及びY軸方向の位置ごとに膜厚を制御することで、連続的に変化する所定の反射率分布（又は透過率分布）を形成する。また、平行平面板231において、調整膜232が形成された領域以外の領域には、光源10からの光束の波長及び入射角度に対して最適化された反射防止膜が形成され、第2の調整部230からの余分な反射を抑えている。なお、第1の調整部220における調整膜222と第2の調整部230における調整膜232とは、照明光学系20の光軸AXに対して異なる位置（即ち、照明光学系20の光軸AXからの距離が異なる領域）に形成されている。  
30

## 【0034】

図2及び図3を参照するに、LB<sub>220</sub>及びLB<sub>230</sub>は、第1の調整部220及び第2の調整部230における被照明面の軸上に入射する光束（軸上光束）の広がりを示している。換言すれば、LB<sub>220</sub>及びLB<sub>230</sub>は、第1の調整部220及び第2の調整部230での被照明面の軸上における瞳の広がりを示している。また、LB<sub>220'</sub>及びLB<sub>230'</sub>は、第1の調整部220及び第2の調整部230における被照明面の軸外（光軸からX軸方向にずれた位置）に入射する光束（軸外光束）の広がりを示している。換言すれば、LB<sub>220'</sub>及びLB<sub>230'</sub>は、第1の調整部220及び第2の調整部230での被照明面の軸外における瞳の広がりを示している。従って、第1の調整部220及び第2の調整部230での各点に対応する瞳の広がりに対して所定の反射率分布（又は所定の透過率分布）を重ねることによって、被照明面上の各点における入射角度分布を調整することが可能となる。  
40

## 【0035】

第1の調整部220の調整膜222は、本実施形態において、被照明面（レチクル30

50

又はウエハ50)に入射する光束の入射角度分布の左右方向の光量差を調整するための反射率分布(透過率分布)を形成する。即ち、第1の調整部220は、被照明面上の複数点における光束の入射角度分布の左右方向の光量差を調整する。具体的には、第1の調整部220の調整膜222は、図4に示すように、X軸方向に沿って、有効領域の中心において反射率が最も高く(透過率が最も低く)、中心から周辺に向かって反射率が単調に減少するような凸形状の反射率分布を有する。例えば、LB<sub>220</sub>’内の左右の領域で反射率(透過率)に5%の差があれば、X軸上の最軸外における入射角度分布の左右方向の光量差を5%調整することができる。なお、第1の調整部220には、被照明面に入射する光束の入射角度分布の上下方向の光量差を調整するための反射率分布(透過率分布)を形成することも可能である。即ち、第1の調整部220は、被照明面に入射する光束の入射角度分布の第1の方向における光量差及び第1の方向に垂直な第2の方向における光量差のうち少なくとも一方を調整するための反射率分布(透過率分布)を形成する調整膜222を有する。ここで、図4は、第1の調整部220の調整膜222が形成する反射率分布の一例を示す図である。10

#### 【0036】

また、第2の調整部230の調整膜232は、本実施形態において、被照明面(レチクル30又はウエハ50)に入射する光束の入射角度分布の縦横方向の光量差を調整するための反射率分布(透過率分布)を形成する。具体的には、第2の調整部230の調整膜232は、図5に示すように、照明光学系20の光軸AXから離れた位置に、X軸方向に沿って、Y軸上での反射率が最も低く、且つ、Y軸から周辺に向かって反射率が単調に増加する凹形状の反射率分布を有する。例えば、LB<sub>230</sub>’内の上下領域と左右領域との反射率(透過率)に5%の差があれば、軸外における入射角度分布の縦横方向の光量差を5%調整することができる。即ち、第2の調整部230は、被照明面に入射する光束の入射角度分布の第1の方向に沿った光量を示す値と第2の方向に沿った光量を示す値との差を調整するための反射率分布(透過率分布)を形成する調整膜232を有する。ここで、図5は、第2の調整部230の調整膜232が形成する反射率分布の一例を示す図である。20

#### 【0037】

このように、第1の調整部220及び第2の調整部230のそれぞれに、被照明面に入射する光束の入射角度分布の互いに異なる方向に関する対称性を調整する機能をもたせることによって、入射角度分布を高精度に(即ち、均一に)調整することができる。また、照明光学系20の調整(即ち、被照明面に入射する光束の入射角度分布の調整)にかかる時間やコストを低減させることができる。30

#### 【0038】

装置ごとに入射角度分布の調整量(補正量)が異なる場合、装置ごとに1つの調整部を設計及び製造していたのでは、照明光学系20の調整が完了するまでに時間がかかってしまう。このような場合には、互いに異なる調整量を有する(互いに異なる方向に関する非対称性を調整する)複数の調整部を用意しておけばよい。

#### 【0039】

例えば、1つの調整部を用いて、入射角度分布の左右方向の光量差に対する調整量及び縦横方向の光量差に対する調整量のそれぞれが-4%から+4%の範囲で、2%刻みで調整を行う場合を考える。この場合、入射角度分布の左右方向の光量差及び縦横方向の光量差を同時に調整しようとすると、左右方向の光量差を調整するための5種類の調整量に加えて、更に、縦横方向の光量差を調整するための5種類の調整量が必要となる。従って、左右方向の光量差を調整するための5種類の調整量及び縦横方向の光量差を調整するための5種類の調整量に対応して、25種類の調整部を用意する必要がある。換言すれば、左右方向の光量差を調整する際の調整量の種類(数)と縦横方向の光量差を調整する際の調整量の種類(数)との積だけ調整部を用意する必要がある。40

#### 【0040】

一方、本実施形態のように、第1の調整部220及び第2の調整部230を用いて、入射角度分布の左右方向の光量差及び縦横方向の光量差を独立して調整する場合を考える。50

この場合、左右方向の光量差を2%刻みで調整する5種類の調整部（第1の調整部220）と、縦横方向の光量差を2%刻みで調整する5種類の調整部（第2の調整部230）とを用意すればよい。換言すれば、左右方向の光量差を調整する際の調整量の種類（数）と縦横方向の光量差を調整する際の調整量の種類（数）との和だけ調整部を用意すればよい。

#### 【0041】

従って、被照明面に入射する光束の入射角度分布の互いに異なる方向における分布を、複数の調整部で独立して調整することで、被照明面に入射する光束の入射角度分布の調整にかかる時間やコストを低減させることができる。これにより、装置を出荷するまでの時間を短縮したり、例えば、経時変化などで入射角度分布が変化した場合の調整時間を短縮したりすることが可能となる。

#### 【0042】

なお、所定の反射率分布（透過率分布）を有する第1の調整部220及び第2の調整部230を照明光学系20内に配置すると、被照明面における照度分布が変化する場合がある。このような場合には、被照明面における照度分布を調整する照度分布調整機構を照明光学系20内に更に配置すればよい。かかる照度分布調整機構は、第1の調整部220及び第2の調整部230による変化分を含めて、被照明面における照度分布を略均一に調整することが可能である。照度分布調整機構の具体的な構成については、例えば、特開2000-82655号公報に開示されているため、ここでの詳細な説明は省略する。

#### 【0043】

また、第1の調整部220及び第2の調整部230が所定の反射率分布（透過率分布）を有するため、第1の調整部220及び第2の調整部230で反射した光がフレア光（不要光）として被照明面に入射し、線幅均一性を悪化させる恐れがある。

#### 【0044】

被照明面に配置されたレチクル30には、クロム（Cr）などの金属でパターンが形成されているため、照明光の大部分がレチクル30で反射される。図6(a)及び図6(b)は、被照明面と第1の調整部220の調整膜222との反射光（フレア光）の被照明面における照度分布を示す図である。また、図6(c)及び図6(d)は、被照明面と第2の調整部230の調整膜232との反射光の被照明面における照度分布を示す図である。図6(a)及び図6(c)に示す照度分布は、図7(a)に示すような照明光学系20の瞳面の大きさよりも小さい円形の光強度分布（有効光源）で被照明面を照明した場合の被照明面と調整膜222又は224とによる反射光の被照明面上の照度分布である。また、図6(b)及び図6(d)に示す照度分布は、図7(b)に示すようなX軸方向に2つの極が並んだ光強度分布（有効光源）で被照明面を照明した場合の被照明面と調整膜222又は224とによる反射光の被照明面上の照度分布である。図6(a)乃至図6(d)において、IFは、視野絞り209で規定される照明領域である。図6(a)乃至図6(d)に示す照度の値は、第1の調整部220及び第2の調整部230が配置されていない場合における被照明面の軸上の照度を1として規格化した値である。なお、レチクル30のパターンの形成に用いられるクロムのArFエキシマレーザーやKrFエキシマレーザーに対する反射率は40%弱であるため、ここでは、被照明面の反射率を40%としている。また、第1の調整部220の調整膜222及び第2の調整部230の調整膜232の反射率の最大値は4%とし、第1の調整部220又は第2の調整部230において調整膜222又は224が形成されていない領域の反射率は0%としている。

#### 【0045】

第2の調整部230においては、主光線が通過する領域PRに調整膜232が形成されていない。従って、被照明面と調整膜232との間で反射が発生しない、或いは、反射光（フレア光）は各光学素子の有効径よりも外側を通過するために、図6(c)及び図6(d)に示すように、反射光が被照明面に入射しないことがわかる。

#### 【0046】

一方、第1の調整部220においては、主光線が通過する領域PRに調整膜222が形

10

20

30

40

50

成されている。従って、図6(a)及び図6(b)に示すように、第1の調整部220からの反射光(フレア光)が被照明面に入射してしまうため、被照明面における照度分布が変化してしまう。照明領域IF内における照度分布の変化については、上述した照度分布調整機構で調整(補正)することが可能である。但し、照明領域IF外の隣接する領域における照度分布の変化については調整(補正)ができないため、隣接する領域の周辺部分における照度分布が変化してしまう。その結果、レチクル30のパターンを所望の線幅で正確にウエハ50に転写することができなくなる。例えば、図6(a)では、照明領域IFに隣接する領域を約1.5%余分に照明してしまうことになり、図6(b)では、照明領域IFに隣接する領域を約1.6%余分に照明してしまうことになる。

## 【0047】

10

しかしながら、本実施形態では、第1の調整部220は視野絞り209よりも光源側に配置されているため、実際には、照明領域IFの外に入射する光束は視野絞り209で遮光される。換言すれば、第1の調整部220からの反射光(フレア光)は被照明面に入射しないため、照明領域IFに隣接する領域における照度分布を変化させることはない。

## 【0048】

なお、第1の調整部220が視野絞り209よりも被照明面側に配置されている場合には、第1の調整部220からの反射光(フレア光)が視野絞り209で規定された照明領域IFに隣接する領域にも入射してしまう(隣接フレア)。従って、照明領域IFに隣接する領域における照度分布が変化してしまうため、ウエハ50に転写されるパターンの線幅均一性が悪化してしまう。

20

## 【0049】

例えば、線幅45nmの孤立線パターンをウエハ50に転写する場合に、照度が0.4%変化すると、ウエハ50に転写される孤立線パターンの線幅は約0.1nm変化する。隣接フレアの影響を小さくするためには、所定の照明領域に隣接する領域のフレア率が0.4%よりも小さいことが好ましい。被照明面の反射率が最大で40%であるとすると、調整部において主光線が通過する領域PRの反射率が4%のときのフレア率は1.6%である。従って、視野絞り209と被照明面との間に配置される調整部の領域PRにおける反射率は1.0%未満である必要がある。また、主光線が通過する領域PRの反射率が1.0%以上である調整膜を有する調整部は、光源10と視野絞り209との間に配置される必要がある。

30

## 【0050】

本実施形態では、主光線が通過する領域PRの反射率が1.0%以上である第1の調整部220は、上述したように、光源10と視野絞り209との間に配置されている。また、視野絞り209と被照明面との間に配置されている第2の調整部230は、主光線が通過する領域PRの反射率が1.0%未満となっている。従って、本実施形態では、フレア光の発生を抑制すると共に、被照射面における入射角度分布を高精度に(即ち、均一に)調整することができる。その結果、露光装置1は、レチクル30のパターンを所望の線幅で正確にウエハ50に転写することができる。

## 【0051】

40

また、本実施形態では、第1の調整部220と第2の調整部230との間に、結像光学系210が配置されている。これは、第1の調整部220と第2の調整部230との間隔を離して配置することによって、第1の調整部220と第2の調整部230との間の反射光に起因する干渉縞の発生を防止するためである。

## 【0052】

ここで、図8に示すように、第1の調整部220と第2の調整部230とが近接して配置されている場合を考える。図8は、第1の調整部220と第2の調整部230とが視野絞り209を挟んで配置されている場合を示す概略図である。

## 【0053】

光源10から射出した光束のうち大部分の光束は第1の調整部220及び第2の調整部230を透過して被照明面に到達するが、一部の光束は第1の調整部220や第2の調整

50

部 230 で反射されて被照明面に到達する。第 1 の調整部 220 と第 2 の調整部 230 との間に平面度差があったり、互いに傾いていたりすると、第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 を透過した光束と第 1 の調整部 220 や第 2 の調整部 230 で反射した光束との光路長差が位置ごとに微小に変化する。このように、第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 を透過した光束と第 1 の調整部 220 や第 2 の調整部 230 で反射した光束との光路長差が位置ごとに微小に変化すると、光の干渉によって被照明面に干渉縞が発生してしまう。特に、光源 10 にレーザーを用いた場合には、干渉性が非常に高いため、干渉縞が発生しやすい。その結果、被照明面における照度分布にむらが生じてしまうため、照明領域を均一な照度分布で照明することができなくなり、ウエハ 50 に転写されるパターンの線幅均一性が悪化してしまう。

10

#### 【 0054 】

照明面における干渉縞の発生を防止するためには、第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 を透過した光束と、第 2 の調整部 230 および第 1 の調整部 220 で順に反射した後第 2 の調整部 230 を透過した光束との光路長差が可干渉距離以上であればよい。第 1 の調整部 220 と第 2 の調整部 230 との間の距離は、第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 を透過した光束と第 2 の調整部 230 および第 1 の調整部 220 で順に反射した後第 2 の調整部 230 を透過した光束との光路長差の  $1/2$  である。そこで、第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 のそれぞれは、互いに光源 10 からの光束の可干渉距離の  $1/2$  以上の間隔を有して配置されていることが好ましい。本実施形態では、第 1 の調整部 220 と第 2 の調整部 230 とは、結像光学系 210 を挟んで配置されており、光源 10 からの光束の可干渉距離の  $1/2$  以上の間隔を有して配置されている。従って、被照明面に干渉縞が発生することもなく、被照明面を均一な照度分布で照明することができる。その結果、露光装置 1 は、レチクル 30 のパターンを所望の線幅で正確にウエハ 50 に転写することができる。

20

#### 【 0055 】

また、本実施形態では、第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 のそれぞれに形成される調整膜 222 及び 232 は、有効領域の中心又は Y 軸から周辺に向かって反射率（透過率）が単調に増加又は減少する反射率分布（透過率分布）を有している。但し、第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 のそれぞれに形成される調整膜 222 及び 232 には、様々な反射率分布（透過率分布）をもたせることができる。例えば、第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 のそれぞれに形成される調整膜 222 及び 232 は、有効光源の中心から周辺に向かって、反射率（透過率）が増加してから減少するような M 字形状の反射率分布（透過率分布）を有していてもよい。また、調整膜 222 及び 232 が形成される領域の形状（即ち、調整膜 222 及び 232 の形状）も矩形形状に限定するものではなく、円形形状や橍円形状などであってもよい。このように、調整膜 222 及び 232 の有する反射率分布（透過率分布）や調整膜 222 及び 232 の形状は、被照明面に入射する光束の入射角度分布の調整に応じて任意に選択（設定）すればよい。

30

#### 【 0056 】

また、本実施形態では、位置ごとに膜厚が制御された調整膜 222 及び 232 によって第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 に所定の反射率分布（透過率分布）をもたせているが、これに限定するものではない。例えば、クロムのような遮光性物質で形成されたドットパターンを用いて、第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 に所定の反射率分布（透過率分布）をもたせてよい。この場合、各ドットのウエハ 50 への転写や各ドットにおける回折の影響などを考慮して、各ドットの大きさや第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 と被照明面又は被照明面の共役面との距離などを設定する必要がある。

40

#### 【 0057 】

また、本実施形態では、第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 は、光束の入射位置に応じて異なる反射率（透過率）を有しているが、これに限定されるものではない。例えば、光束の入射角度に応じて異なる反射率（透過率）を第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 が有していても、本実施形態と同様な効果を得ることができる。

50

## 【0058】

また、本実施形態では、第1の調整部220及び第2の調整部230の2つの調整部を用いて、被照明面に入射する光束の入射角度分布を調整しているが、調整部の数は2つに限定されるものではない。例えば、図9に示すように、光束の入射角度に応じて異なる反射率（透過率）を有する反射率分布（透過率分布）を形成する3つの調整部（第1の調整部220、第2の調整部230、第3の調整部240）を用いてもよい。図9では、オプティカルインテグレータ207と視野絞り209との間のコンデンサーレンズ208の中に、第1の調整部220、第2の調整部230及び第3の調整部240が配置されている。図9は、照明光学系20において、第1の調整部220、第2の調整部230及び第3の調整部240の配置例を示す概略図である。

10

## 【0059】

図9に示す配置において、軸上光束が第1の調整部220、第2の調整部230及び第3の調整部240のそれぞれを通過する領域は、調整部ごとに異なっている。即ち、図10(a)乃至図10(c)に示すように、被照明面の軸上における瞳の広がり $L B_{220}$ 、 $L B_{230}$ 及び $L B_{240}$ は、第1の調整部220、第2の調整部230及び第3の調整部240ごとに異なっている。同様に、軸外光束が第1の調整部220、第2の調整部230及び第3の調整部240のそれぞれを通過する領域も、調整部ごとに異なっている。即ち、図10(a)乃至図10(c)に示すように、被照明面の軸外における瞳の広がり $L B'_{220}$ 、 $L B'_{230}$ 及び $L B'_{240}$ は、第1の調整部220、第2の調整部230及び第3の調整部240ごとに異なっている。ここで、図10(a)乃至図10(c)は、第1の調整部220、第2の調整部230及び第3の調整部240のそれぞれを通過する軸上光束と軸外光束とを示す図である。

20

## 【0060】

また、図9を参照するに、第2の調整部230及び第3の調整部240は、被照明面の共役面である視野絞り209に比較的近いため、軸上と軸外に対応する瞳の広がり $L B_{230}$ と $L B'_{230}$ 、及び、 $L B_{240}$ と $L B'_{240}$ のそれぞれが離れている。従って、第2の調整部230及び第3の調整部240のそれぞれの反射率分布（透過率分布）を適切に設定することで、被照明面に入射する光束の入射角度分布の互いに異なる方向における分布を独立して調整することができる。このように、被照明面に入射する光束の入射角度分布の互いに異なる方向における分布を独立して調整する調整部は、被照明面の近傍、又は、被照明面の近傍に配置することが好ましい。

30

## 【0061】

一方、第1の調整部220は、オプティカルインテグレータ207、即ち、照明光学系20の瞳面に近いため、軸上と軸外に対応する瞳の広がり $L B_{220}$ と $L B'_{220}$ がほとんど重なっている。従って、第1の調整部220では、被照明面に入射する光束の入射角度分布の互いに異なる方向における分布を独立して調整することはできない。但し、軸上と軸外に対応する瞳の広がり $L B_{220}$ と $L B'_{220}$ がほとんど重なっているため、被照明面に入射する光束の入射角度分布の互いに異なる方向における分布を共通して調整することができる。このように、照明光学系20の瞳面の近傍に調整部を配置することで、被照明面に入射する光束の入射角度分布の非対称性の共通成分を調整することが可能となる。

40

## 【0062】

従って、被照明面の近傍と照明光学系20の瞳面の近傍に、被照明面に入射する光束の入射角度分布を調整する調整部を配置することで、入射角度分布の共通成分と非共通成分の両方を調整することができる。これにより、被照明面に入射する光束の入射角度分布を更に高精度に（即ち、対称、且つ、均一に）調整することができる。

## 【0063】

なお、図9に示す配置において、第1の調整部220は、オプティカルインテグレータ207の射出面の近傍に配置されているが、これに限定されるものではない。第1の調整部220は、オプティカルインテグレータ207の入射面やその共役面である回折パター

50

ン面 D P P の近傍に配置されていてもよい。

**【 0 0 6 4 】**

また、照明光学系 2 0 の瞳面の近傍に配置される調整部は、所定の反射率分布を形成する調整膜を有していないなくてもよく、例えば、特開 2 0 0 6 - 0 1 9 7 0 2 号公報に開示されているような複数の駆動可能な遮光板を有する絞りであってもよい。

**【 0 0 6 5 】**

また、本実施形態では、平行平面板の光学面に調整膜を形成して調整部を構成しているが、レンズやミラーの表面、即ち、凸面又は凹面に調整膜して調整部を構成してもよい。但し、一般的には、平面上に調整膜を形成する方が、凸面又は凹面に調整膜を形成するよりも容易であることは言うまでもない。

10

**【 0 0 6 6 】**

次に、図 1 1 を参照して、照明光学系 2 0 の調整方法、詳細には、第 1 の調整部 2 2 0 及び第 2 の調整部 2 3 0 の調整方法について説明する。

**【 0 0 6 7 】**

ステップ S 1 1 0 2 では、被照明面の複数点における入射角度分布及び照度分布を取得する。

**【 0 0 6 8 】**

被照明面の複数点における入射角度分布及び照度分布は、例えば、照明光学系 2 0 の設計データに基づく光学シミュレーションから算出することができる。具体的には、照明光学系 2 0 の設計データとして、オプティカルインテグレータ 2 0 7、即ち、照明光学系 2 0 の瞳面の後段から被照明面までの光学系（光学要素）のデータを用いる。光学系のデータは、各光学面の曲率半径、面間隔、各光学要素を形成する材料の屈折率及び種類、光源 1 0 からの光束の波長、各光学要素の透過率、光学要素の表面に形成される光学膜（反射防止膜や反射膜など）の透過率特性又は反射率特性などを含む。

20

**【 0 0 6 9 】**

また、被照明面の複数点における入射角度分布及び照度分布は、実際に測定してもよい。具体的には、被照明面の複数点における入射角度分布は、図 1 2 に示すような測定装置 1 2 0 0 を用いて測定することができる。測定装置 1 2 0 0 は、ウエハステージ 5 5 に配置され、ピンホール部材 1 2 1 0 と、ピンホール部材 1 2 1 0 を通過した光束を検出する 2 次元 C C D センサなどの検出部 1 2 2 0 とを有する。ピンホール部材 1 2 1 0 は、投影光学系 4 0 の結像位置に位置決めされ、検出部 1 2 2 0 は、ピンホール部材 1 2 1 0 から所定の距離を有して位置決めされる。ピンホール部材 1 2 1 0 を通過した光束は、その角度分布を反映させたまま検出部 1 2 2 0 に入射する。投影光学系 4 0 からの光束の角度分布は、投影光学系 4 0 の開口絞りの位置（照明光学系 2 0 の瞳面と共に位置）に形成される光強度分布、即ち、被照明面上のピンホール部材 1 2 1 0 に関する入射角度分布を反映している。従って、検出部 1 2 2 0 で検出された光強度分布から光線の角度分布を求めることで、被照明面上のピンホール部材 1 2 1 0 に関する入射角度分布を測定することができる。そして、照明光学系 2 0 の光軸 A X と直交する面に沿って、ピンホール部材 1 2 1 0 の位置を 2 次元的に移動させながら測定を繰り返すことで、被照明面の複数点における入射角度分布を測定することができる。

30

**【 0 0 7 0 】**

一方、被照明面における照度分布は、図示しない照度測定装置を用いて測定することができる。照度測定装置は、ウエハステージ 5 5 に配置され、被照明面における照度分布を測定するための検出部として、例えば、フォトダイオードを備えている。照明光学系 2 0 の光軸 A X と直交する面に沿って、フォトダイオードの位置を 2 次元的に移動させながら測定を繰り返すことで、被照明面における照度分布を測定することができる。なお、照度測定装置は、複数のフォトダイオードを 2 次元的又は 1 次元的に配置することで、被照明面の複数の位置における照度分布を一括して測定することも可能である。また、図 1 2 に示す測定装置 1 2 0 0 を照度測定装置として用いることも可能である。この場合、2 次元 C C D センサの出力の総和が被照明面の各位置の照度として測定される。

40

50

**【0071】**

ステップS1104では、ステップS1102で取得した被照明面の複数点における入射角度分布の均一性が許容範囲内であり、且つ、ステップS1102で取得した被照明面における照度分布が照度分布調整機構で調整可能であるかどうかを判定する。照度分布が照度分布調整機構で調整可能であるかどうかは、照度分布調整機構の特性、即ち、照度分布調整機構の調整特性（駆動特性）や配置位置などに基づいて判定される。

**【0072】**

入射角度分布の均一性が許容範囲内ではない、或いは、照度分布が照度分布調整機構で調整可能でないと判定された場合には、ステップS1106に進む。一方、入射角度分布の均一性が許容範囲内であり、且つ、照度分布が照度分布調整機構で調整可能であると判定された場合には、ステップS1110に進む。

10

**【0073】**

ステップS1106では、入射角度分布の均一性が許容範囲内になるように、入射角度分布の互いに異なる方向における分布を調整する第1の調整部220及び第2の調整部230を設計する。具体的には、入射角度分布の均一性が許容範囲内になるように、第1の調整部220に形成する調整膜222の反射率分布（透過率分布）及び位置、及び、第2の調整部230に形成する調整膜232の反射率分布（透過率分布）及び位置を算出する。この際、調整膜222及び調整膜232の反射率分布は、被照明面における照度分布が照度分布調整機構で調整可能であるようにすることが好ましい。例えば、ステップS1102で取得した入射角度分布及び照度分布を参照して、第1の調整部220や第2の調整部230の位置を決定する。そして、照明面における照度分布が照度分布調整機構で調整可能であり、且つ、入射角度分布の均一性が許容範囲内になるように調整するための調整膜222及び調整膜232の反射率分布を算出する。

20

**【0074】**

ステップS1108では、ステップS1106で設計した第1の調整部220及び第2の調整部230を配置した状態での被照明面の複数点における入射角度分布及び照度分布を算出する。具体的には、上述した照明光学系20の設計データに加えて、第1の調整部220及び第2の調整部230の位置や第1の調整部220及び第2の調整部230の反射率分布に関する情報を用いて、被照明面の複数点における入射角度分布及び照度分布を算出する。

30

**【0075】**

そして、ステップS1108で算出した被照明面の複数点における入射角度分布の均一性が許容範囲内であり、且つ、ステップS1108で算出した被照明面における照度分布が照度分布調整機構で調整可能であるかを判定するために、ステップS1104に戻る。なお、入射角度分布の均一性が許容範囲内ではない、或いは、照度分布が照度分布調整機構で調整可能でないと判定された場合には、ステップS1106及びS1108を繰り返す。

**【0076】**

ステップS1110では、第1の調整部220及び第2の調整部230を製造する。例えば、ステップS1106及びステップS1108を繰り返した場合には、ステップS1106で算出された反射率分布を形成する調整膜の膜厚を決定し、かかる膜厚の調整膜を平行平面板に形成して第1の調整部220及び第2の調整部230を製造する。ここで、ステップS1106及びS1108を一度も経由することなくステップS1104でYesとなつた場合には、調整膜を形成していない（反射防止膜を形成したのみの）平行平面板を第1の調整部220及び第2の調整部230として使用する。なお、第1の調整部220及び第2の調整部230を製造する際、平行平面板に反射防止膜を形成した後、位置に応じて膜厚を制御しながら单一の物質で調整膜を形成すれば、第1の調整部220及び第2の調整部230を容易に製造することができる。

40

**【0077】**

ステップS1112では、ステップS1110で製造した第1の調整部220及び第2

50

の調整部 230 を照明光学系 20 内に配置する。この際、必要に応じて、照度分布調整機構を用いて被照明面における照度分布を均一に調整する。

【 0078 】

本実施形態では、照明光学系 20 を調整する際に、第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 を設計及び製造している。但し、入射角度分布を調整する調整量や調整する位置が異なる複数の調整部を予め設計及び製造し、照明光学系 20 を調整する際には、それら複数の調整部から最適な調整部を選択するようにしてもよい。この場合、第 1 の調整部 220 及び第 2 の調整部 230 を設計（ステップ S1106）及び製造（ステップ S1110）がなくなるため、照明光学系 20 の調整にかかる時間を大幅に短縮することができる。

10

【 0079 】

次に、露光装置 1 によるウエハ 50 の露光について説明する。露光において、光源 10 から発せられた光束は、照明光学系 20 によってレチクル 30 を照明する。レチクル 30 のパターンを反映する光は、投影光学系 40 によってウエハ 50 に結像する。露光装置 1 が使用する照明光学系 20 は、上述したように、フレア光の発生を抑制すると共に、被照射面における入射角度分布を高精度に（即ち、均一に）調整することができる。従って、露光装置 1 は、高いスループットで経済性よく高品位なデバイス（半導体素子、LCD 素子、撮像素子（CCD など）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。なお、かかるデバイスは、露光装置 1 を使用して、感光剤が塗布された基板（ウエハ、ガラスプレート等）を露光する工程と、露光された基板（感光剤）を現像する工程と、他の公知の工程と、を経ることにより製造される。

20

【 0080 】

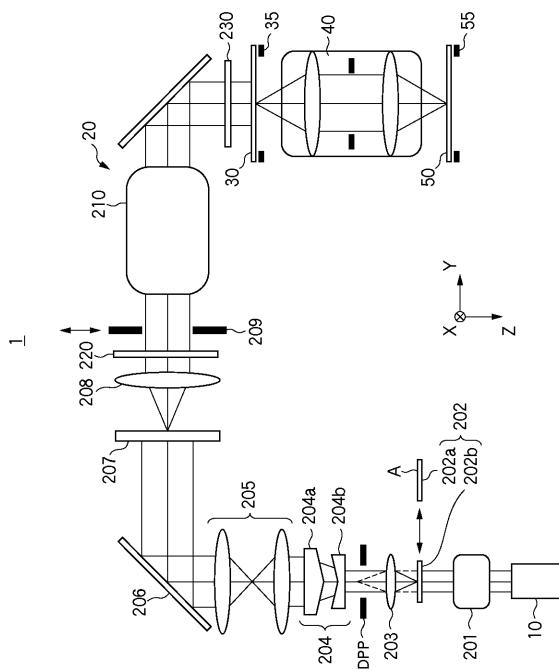
以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【 符号の説明 】

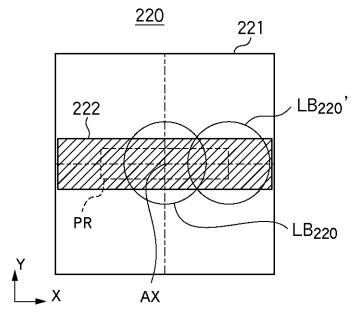
【 0081 】

1	露光装置	
10	光源	
20	照明光学系	30
209	視野絞り	
220	第 1 の調整部	
221	平行平面板	
222	調整膜	
230	第 2 の調整部	
231	平行平面板	
232	調整膜	
240	第 3 の調整部	
40	投影光学系	
50	ウエハ	40

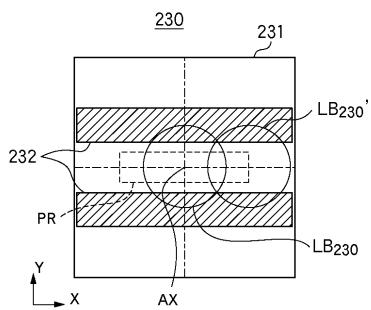
【図1】



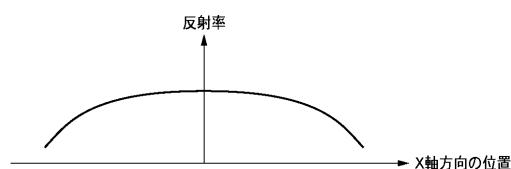
【図2】



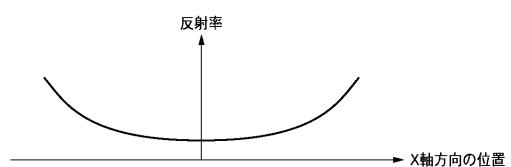
【図3】



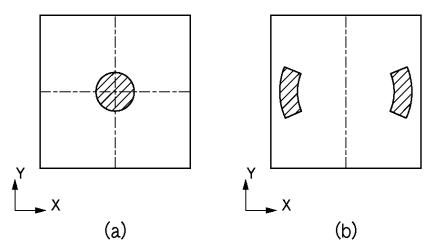
【図4】



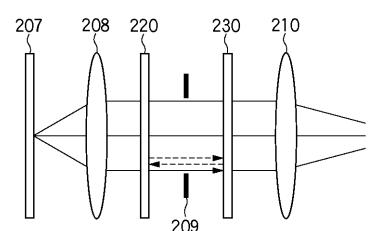
【図5】



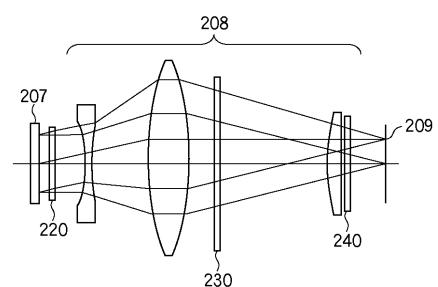
【図7】



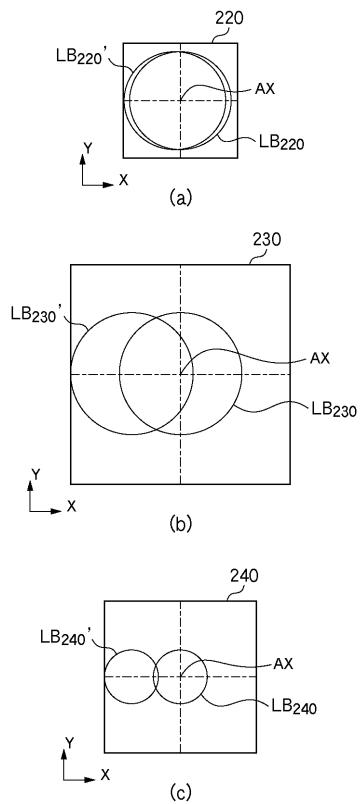
【図8】



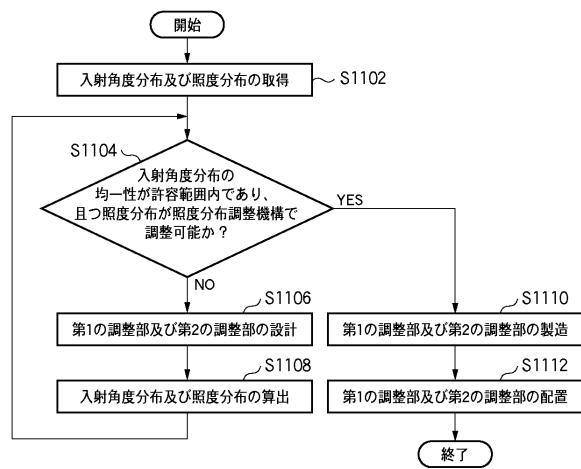
【図9】



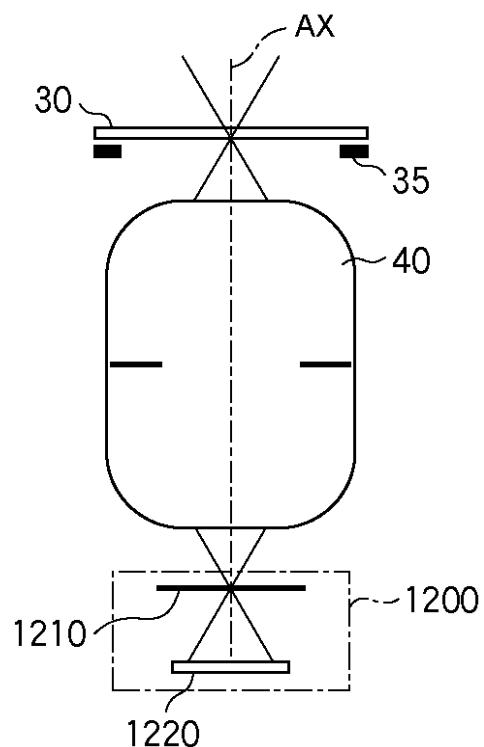
【図 1 0】



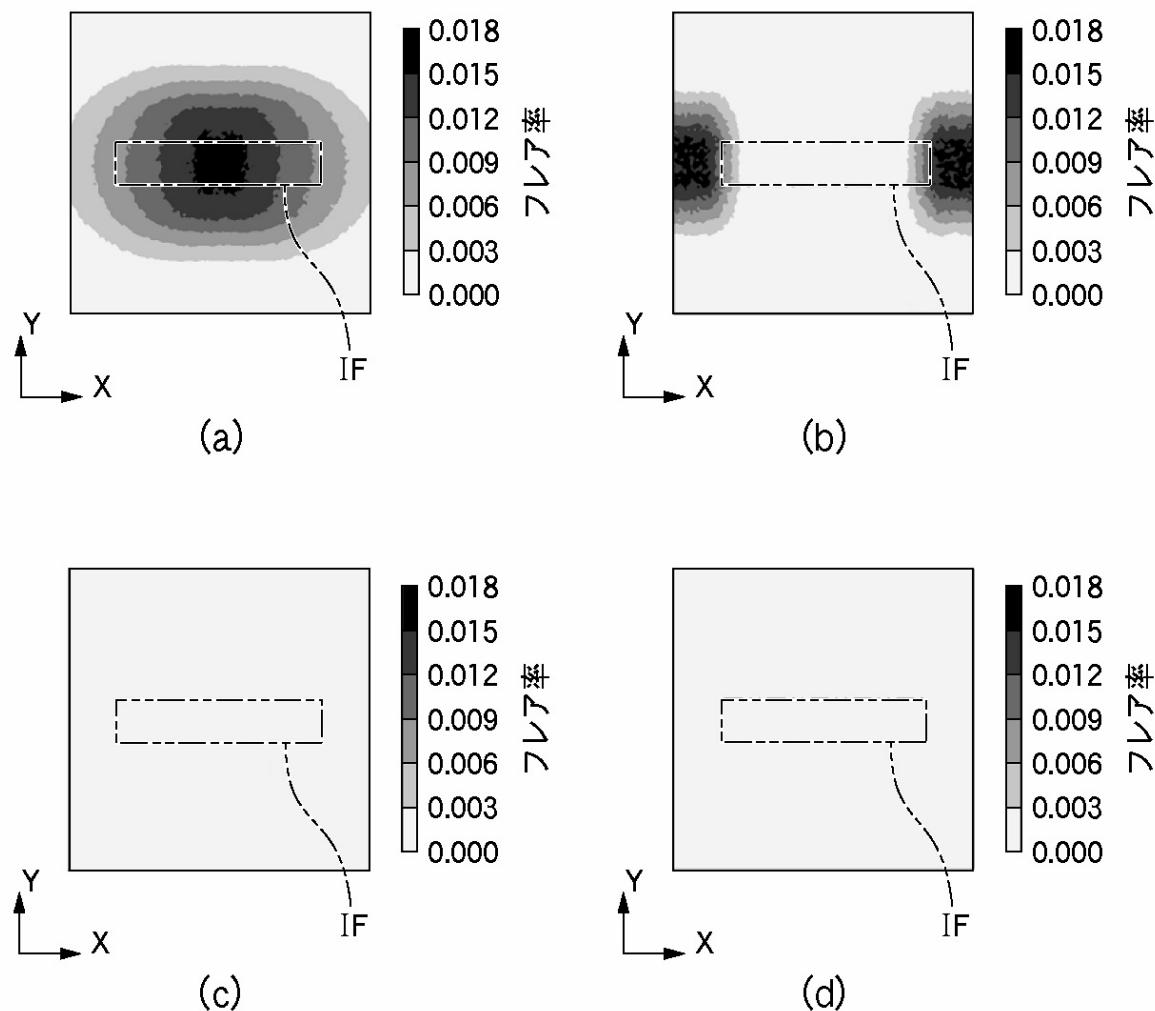
【図 1 1】



【図 1 2】



【図6】



---

フロントページの続き

(72)発明者 箕田 賢

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 渡戸 正義

(56)参考文献 国際公開第2008/092653 (WO, A2)

特開2006-059834 (JP, A)

特開2004-247527 (JP, A)

特開2003-092253 (JP, A)

特開2006-054328 (JP, A)

特開昭62-231924 (JP, A)

特開平09-022869 (JP, A)

特開2002-043221 (JP, A)

特開2008-270564 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 01 L	21 / 027		
G 03 F	7 / 20	-	7 / 24