

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6547887号
(P6547887)

(45) 発行日 令和1年7月24日(2019.7.24)

(24) 登録日 令和1年7月5日(2019.7.5)

(51) Int.Cl.

F 1

GO3F	7/20	(2006.01)	GO3F	7/20	521
GO2B	19/00	(2006.01)	GO3F	7/20	502
GO2B	5/04	(2006.01)	GO3F	7/20	505
GO2B	5/30	(2006.01)	GO2B	19/00	
			GO2B	5/04	B

請求項の数 17 (全 30 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2018-150800 (P2018-150800)
 (22) 出願日 平成30年8月9日 (2018.8.9)
 (62) 分割の表示 特願2017-94910 (P2017-94910)
 の分割
 原出願日 平成15年11月20日 (2003.11.20)
 (65) 公開番号 特開2019-23732 (P2019-23732A)
 (43) 公開日 平成31年2月14日 (2019.2.14)
 審査請求日 平成30年8月9日 (2018.8.9)

(73) 特許権者 000004112
 株式会社ニコン
 東京都港区港南二丁目15番3号
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100113435
 弁理士 黒木 義樹
 (72) 発明者 谷津 修
 東京都港区港南二丁目15番3号 株式会
 社ニコン内
 (72) 発明者 西永 壽
 東京都港区港南二丁目15番3号 株式会
 社ニコン内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明光学系、露光装置およびデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

照明光により物体を照明する照明光学装置であって、
 前記照明光の偏光状態を変化させる偏光素子と、
 前記照明光学装置の照明瞳面において前記照明光学装置の光軸から離れた領域に分布さ
 れる前記照明光の位置を前記光軸に対して変更可能な領域変更部材と、
 前記照明光の光路のうち前記偏光素子と前記照明瞳面との間の光路に配置されたフライ
 アイレンズと、を備え、
 前記偏光素子は、前記光軸の方向に関して並んで配置される第1位相部材および第2位
 相部材を含み、

前記第1位相部材および前記第2位相部材は、前記照明光の一部の光束が前記第1及び
 第2位相部材を通過し、前記照明光の他の一部の光束が前記第1及び第2位相部材の一方
 を通過し他方を通過しないように配置されて、前記一部の光束と前記他の一部の光束とが
 前記照明瞳面において互いに異なる方向を偏光方向とする直線偏光状態になるように前記
 照明光の偏光状態を変化させ、

前記領域変更部材は、前記照明光の光路のうち前記第1位相部材および前記第2位相部
 材より入射側の光路に配置される、照明光学装置。

【請求項 2】

請求項1に記載の照明光学装置であって、
 前記他の一部の光束の光路は、前記第1位相部材において、前記一部の光束の光路より

も光軸から離れている、照明光学装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の照明光学装置であって、

前記第 1 及び第 2 位相部材は、前記一部の光束の偏光方向と前記他の一部の光束の偏光方向とが前記照明瞳面において互いに直交するように前記照明光の偏光状態を変化させる、照明光学装置。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の照明光学装置であって、

前記第 1 位相部材と前記第 2 位相部材とは各々回転可能に配置される、照明光学装置。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の照明光学装置であって、

前記第 1 位相部材と前記第 2 位相部材とは、前記光軸の方向に関して互いに間隔を隔てて配置される、照明光学装置。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の照明光学装置であって、

前記偏光素子は、前記照明光の光路のうち前記領域変更部材より入射側の光路に回転可能に設けられた 1 / 2 波長板を含み、前記 1 / 2 波長板は、前記一部の光束および前記他の一部の光束が通過するように配置される、照明光学装置。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の照明光学装置であって、

前記偏光素子は、前記照明光の光路のうち前記領域変更部材より入射側の光路に回転可能に設けられた 1 / 4 波長板を含み、前記 1 / 4 波長板は、前記一部の光束および前記他の一部の光束が通過するように配置される、照明光学装置。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載の照明光学装置であって、

前記第 1 位相部材の結晶光学軸と前記第 2 位相部材の結晶光学軸とは、前記光軸と交差する面内で互いに異なる方向に設定される、照明光学装置。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の照明光学装置であって、

前記フライアイレンズは、前記フライアイレンズの後側焦点面と前記照明瞳面とが一致するように配置される、照明光学装置。

【請求項 10】

マスクに形成されたパターンを基板に転写する露光装置において、

前記パターンを照明光により照明する請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の照明光学装置と、

前記照明光により照明された前記パターンの像を前記基板上に投影する投影光学系と、を備える露光装置。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の露光装置において、

前記照明光学装置は、前記照明瞳面の位置が前記投影光学系の瞳位置と共に役になるように配置される、露光装置。

【請求項 12】

請求項 10 または 11 に記載の露光装置において、

前記投影光学系は、前記投影光学系と前記基板との間の光路に設けられる液体を介して前記パターンの像を前記基板上に形成する、露光装置。

【請求項 13】

マスクに形成されたパターンを基板に転写する露光方法において、

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の照明光学装置からの照明光により前記パターンを照明することと、

前記照明光により照明された前記パターンの像を投影光学系によって前記基板上に投影

10

20

30

40

50

することと、
を含む露光方法。

【請求項 14】

請求項 13 に記載の露光方法において、
前記投影光学系と前記基板との間の光路に液体を設けることと、
前記液体を介して前記基板上に前記パターンの像を投影することと、
を含む露光方法。

【請求項 15】

請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の照明光学装置からの照明光によりマスクを照明することと、

前記照明光により照明された前記マスク上のパターンを基板に転写することと、
前記パターンが転写された前記基板を現像することと、
を含むデバイス製造方法。

【請求項 16】

請求項 10 ~ 12 のいずれか一項に記載の露光装置を用いて基板にパターンを転写することと、

前記パターンが転写された前記基板を現像することと、
を含むデバイス製造方法。

【請求項 17】

請求項 13 または 14 に記載の露光方法を用いて基板にパターンを転写することと、
前記パターンが転写された前記基板を現像することと、

を含むデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は照明光学装置、露光装置および露光方法に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィー工程で製造するための露光装置に関する。

【背景技術】

【0002】

この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束が、オプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ（またはマイクロレンズアレイ）を介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源（一般には照明瞳面における所定の光強度分布）を形成する。二次光源からの光束は、フライアイレンズの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。

【0003】

コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウェハ上に結像する。こうして、ウェハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

【0004】

そこで、フライアイレンズの後側焦点面に円形状の二次光源を形成し、その大きさを変化させて照明のコヒーレンシィ（ $\text{値} = \text{開口絞り径} / \text{投影光学系の瞳径}$ 、あるいは $\text{値} = \text{照明光学系の射出側開口数} / \text{投影光学系の入射側開口数}$ ）を変化させる技術が注目されている。また、フライアイレンズの後側焦点面に輪帯状や 4 極状の二次光源を形成し、投影光学系の焦点深度や解像力を向上させる技術が注目されている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

10

20

30

40

50

上述のような従来の露光装置では、マスクのパターン特性に応じて、円形状の二次光源に基づく通常の円形照明を行ったり、輪帯状や4極状の二次光源に基づく変形照明（輪帯照明や4極照明）を行ったりしている。しかしながら、様々な特性を有するマスクパターンを忠実に転写するために必要な適切な照明条件、たとえば二次光源の光強度分布や偏光状態などに関して多様性に富んだ照明条件を実現することができなかった。

【0006】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、たとえば露光装置に搭載された場合に、様々な特性を有するマスクパターンを忠実に転写するために必要な適切な照明条件、たとえば二次光源の光強度分布や偏光状態などに関して多様性に富んだ照明条件を実現することのできる照明光学装置を提供することを目的とする。また、本発明は、たとえば様々な特性を有するマスクパターンを忠実に転写するために必要な適切な照明条件を実現することのできる照明光学装置を用いて、マスクのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、被照射面を照明する照明光学装置において、

前記照明光学装置の瞳面またはその近傍に、光軸を含む中心領域に位置する光強度分布と前記光軸から間隔を隔てた複数の周辺領域に位置する光強度分布とを有する照明瞳分布を形成するための照明瞳形成手段と、前記複数の周辺領域に位置する光強度分布の位置および大きさを前記中心領域に位置する光強度分布とは独立して変更するための領域変更手段とを備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

20

【0008】

第1形態の好ましい態様によれば、前記照明瞳形成手段は、入射する光束を前記中心領域に対応する中心光束と前記複数の周辺領域にそれぞれ対応する複数の周辺光束とに変換して前記領域変更手段に入射させるための光束変換素子を有する。また、前記領域変更手段は、凹状断面の屈折面を有する第1プリズムと、該第1プリズムの前記凹状断面の屈折面とほぼ相補的に形成された凸状断面の屈折面を有する第2プリズムとを有し、前記第1プリズムと前記第2プリズムとの間隔は可変に構成され、前記屈折面は、前記光軸とほぼ直交する平面状の中央部を有することが好ましい。

30

【0009】

この場合、前記屈折面は、前記中央部と、前記光軸を中心とする円錐体の側面に対応する周辺円錐部とを有することが好ましい。また、この場合、前記周辺円錐部は、前記光軸を中心とする1つの円錐体の側面に対応する1つの周辺円錐部を有することが好ましい。あるいは、前記周辺円錐部は、前記光軸を中心とする第1円錐体の側面に対応する内側周辺円錐部と、前記光軸を中心とし且つ前記第1円錐体よりも小さな頂角を有する第2円錐体の側面に対応する外側周辺円錐部とを有することが好ましい。また、第1形態では、前記領域変更手段は、交換可能な前記第1プリズムと前記第2プリズムとの組を複数個有し、各組毎に前記中央部の面積が異なることが好ましい。

40

【0010】

本発明の第2形態では、被照射面を照明する照明光学装置において、前記照明光学装置の瞳面またはその近傍に、第1領域に位置する光強度分布と第2領域に位置する光強度分布とを有する照明瞳分布を形成するための照明瞳形成手段と、前記第1領域を通過する光束を非偏光状態に設定すると共に、前記第2領域を通過する光束を偏光状態に設定するための偏光設定手段とを備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0011】

第2形態の好ましい態様によれば、前記第1領域は、光軸を含む中心領域を有し、前記第2領域は、前記光軸から間隔を隔てた周辺領域を有する。この場合、前記第2領域は、

50

第1方向に沿って前記光軸に関してほぼ対称に配置された2つの周辺領域を有し、前記偏光設定手段は、前記2つの周辺領域を通過する光束の偏光状態を、前記第1方向とほぼ直交する方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することが好ましい。あるいは、前記第2領域は、第1方向に沿った辺と該第1方向とほぼ直交する第2方向に沿った辺とを有する矩形状の四角形の各々の頂点の位置に配置された4つの周辺領域を有し、前記偏光設定手段は、前記4つの周辺領域を通過する光束の偏光状態を、前記第1方向または前記第2方向とほぼ45度の角度をなす方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することが好ましい。

【0012】

あるいは、第2形態では、前記第2領域は、第1方向に沿った辺と該第1方向とほぼ直交する第2方向に沿った辺とを有する矩形状の四角形の各々の頂点の位置に配置された4つの周辺領域を有し、前記偏光設定手段は、前記4つの周辺領域を通過する光束の偏光状態を、前記第1方向または前記第2方向とほぼ45度の角度をなす方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することが好ましい。この場合、前記偏光設定手段は、前記4つの周辺領域のうち、前記光軸を挟んで対向する一方の対の周辺領域を通過する光束の偏光状態を、前記第1方向とほぼ45度の角度をなす第3方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定すると共に、前記光軸を挟んで対向する他方の対の周辺領域を通過する光束の偏光状態を、前記第1方向とほぼ45度の角度をなし且つ前記第3方向とほぼ直交する第4方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することが好ましい。

10

【0013】

あるいは、第2形態では、前記第2領域は、第1方向に沿った辺と該第1方向とほぼ直交する第2方向に沿った辺とを有する矩形状の第1四角形の各々の頂点の位置に配置された4つの内側周辺領域と、前記第1方向に沿った辺と前記第2方向に沿った辺とを有し且つ前記第1四角形を包囲する矩形状の第2四角形の各々の頂点の位置に配置された4つの外側周辺領域とを有し、前記偏光設定手段は、前記4つの内側周辺領域を通過する光束の偏光状態を、前記第1方向または前記第2方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定すると共に、前記4つの外側周辺領域を通過する光束の偏光状態を、前記第2方向または前記第1方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することが好ましい。

20

【0014】

あるいは、第2形態では、前記第2領域は、第1方向に沿った辺と該第1方向とほぼ直交する第2方向に沿った辺とを有する矩形状の第1四角形の各々の頂点の位置に配置された4つの内側周辺領域と、前記第1方向に沿った辺と前記第2方向に沿った辺とを有し且つ前記第1四角形を包囲する矩形状の第2四角形の各々の頂点の位置に配置された4つの外側周辺領域とを有し、前記偏光設定手段は、前記4つの内側周辺領域および前記4つの外側周辺領域を通過する光束の偏光状態を、前記第1方向とほぼ45度の角度をなす方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することが好ましい。

30

【0015】

また、第2形態の好ましい態様によれば、前記偏光設定手段は、前記第1領域へ向かう直線偏光の光束を必要に応じて非偏光化するための偏光解消素子を有する。また、前記偏光設定手段は、前記第2領域へ向かう直線偏光の光束の偏光面を必要に応じて変化させるための位相部材を有することが好ましい。また、前記偏光設定手段は、入射する橈円偏光の光を、所定の方向に偏光面を有する直線偏光の光に変化させるための第2位相部材をさらに有することが好ましい。また、複数の前記周辺領域の位置および大きさを前記中心領域とは独立して変更するための領域変更手段とをさらに備えていることが好ましい。この場合、前記照明瞳形成手段は、入射する光束を前記中心領域へ向かう中心光束と前記複数の周辺領域へそれぞれ向かう複数の周辺光束とに変換して前記領域変更手段へ入射させるための光束変換素子を有することが好ましい。

40

【0016】

また、第2形態の好ましい態様によれば、前記領域変更手段は、凹状断面の屈折面を有する第1プリズムと、該第1プリズムの前記凹状断面の屈折面とほぼ相補的に形成された凸状断面の屈折面を有する第2プリズムとを有し、前記第1プリズムと前記第2プリズム

50

との間隔は可変に構成され、前記屈折面は、前記光軸とほぼ直交する平面状の中央部を有する。この場合、前記屈折面は、前記中央部と、前記光軸を中心とする円錐体の側面に対応する周辺円錐部とを有することが好ましい。また、この場合、前記周辺円錐部は、前記光軸を中心とする1つの円錐体の側面に対応する1つの周辺円錐部を有することが好ましい。あるいは、前記周辺円錐部は、前記光軸を中心とする第1円錐体の側面に対応する内側周辺円錐部と、前記光軸を中心とし且つ前記第1円錐体よりも小さな頂角を有する第2円錐体の側面に対応する外側周辺円錐部とを有することが好ましい。また、前記領域変更手段は、交換可能な前記第1プリズムと前記第2プリズムとの組を複数個有し、各組毎に前記中央部の面積が異なることが好ましい。

【0017】

10

本発明の第3形態では、被照射面を照明する照明光学装置において、前記照明光学装置の瞳面またはその近傍に、第1領域に位置する光強度分布と第2領域に位置する光強度分布とを有する照明瞳分布を形成するための照明瞳形成手段と、前記第2領域を通過する光束の偏光状態を、前記第1領域を通過する光束の偏光状態とは独立に変更するための偏光状態変更手段とを備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0018】

20

第3形態の好ましい態様によれば、前記第1領域は、光軸を含む中心領域を有し、前記第2領域は、前記光軸から間隔を隔てた周辺領域を有する。また、前記偏光状態変更手段は、前記第1領域を通過する光束の状態を非偏光状態と直線偏光状態との間で変更することが好ましい。また、前記偏光状態変更手段は、前記第2領域を通過する光束の状態を互いに異なる方向に偏光面を有する2つの直線偏光状態の間で変更することが好ましい。また、前記偏光状態変更手段は、前記第1領域へ向かう直線偏光の光束を必要に応じて非偏光化するための偏光解消素子を有することが好ましい。この場合、前記偏光解消素子は、光路に対して挿脱可能に構成されていることが好ましい。

【0019】

また、第3形態の好ましい態様によれば、前記偏光状態変更手段は、前記第2領域へ向かう直線偏光の光束の偏光面を必要に応じて変化させるための位相部材を有する。また、前記偏光状態変更手段は、入射する楕円偏光の光を、所定の方向に偏光面を有する直線偏光の光に変化させるための第2位相部材をさらに有することが好ましい。また、複数の前記周辺領域の位置および大きさを前記中心領域とは独立して変更するための領域変更手段とをさらに備えていることが好ましい。この場合、前記照明瞳形成手段は、入射する光束を前記中心領域へ向かう中心光束と前記複数の周辺領域へそれぞれ向かう複数の周辺光束とに変換して前記領域変更手段に入射させるための光束変換素子を有することが好ましい。

【0020】

30

また、第3形態の好ましい態様によれば、前記領域変更手段は、凹状断面の屈折面を有する第1プリズムと、該第1プリズムの前記凹状断面の屈折面とほぼ相補的に形成された凸状断面の屈折面を有する第2プリズムとを有し、前記第1プリズムと前記第2プリズムとの間隔は可変に構成され、前記屈折面は、前記光軸とほぼ直交する平面状の中央部を有する。この場合、前記屈折面は、前記中央部と、前記光軸を中心とする円錐体の側面に対応する周辺円錐部とを有することが好ましい。また、この場合、前記周辺円錐部は、前記光軸を中心とする1つの円錐体の側面に対応する1つの周辺円錐部を有することが好ましい。あるいは、前記周辺円錐部は、前記光軸を中心とする第1円錐体の側面に対応する内側周辺円錐部と、前記光軸を中心とし且つ前記第1円錐体よりも小さな頂角を有する第2円錐体の側面に対応する外側周辺円錐部とを有することが好ましい。また、前記領域変更手段は、交換可能な前記第1プリズムと前記第2プリズムとの組を複数個有し、各組毎に前記中央部の面積が異なることが好ましい。

【0021】

本発明の第4形態では、被照射面を照明する照明光学装置において、

40

50

前記照明光学装置の瞳面またはその近傍に、光軸をほぼ中心とする輪帯状の領域に位置する光強度分布を形成するための照明瞳形成手段を備え、

前記輪帯状の領域は、前記光軸をほぼ中心とする円の周方向に沿って複数の領域を有し、前記輪帯状の領域の前記複数の領域をそれぞれ通過する複数の光束の偏光状態を、前記複数の領域の各々のほぼ中心において前記円にほぼ接する方向に沿った偏光面を有する直線偏光状態に設定する偏光設定手段をさらに備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【 0 0 2 2 】

第4形態の好ましい態様によれば、前記偏光設定手段は、前記複数の領域に対応するよう10に配置された複数の位相部材を有し、各位相部材は入射する直線偏光の光の偏光面を必要に応じて変化させる。

【 0 0 2 3 】

本発明の第5形態では、マスクを照明するための第1形態～第4形態の照明光学装置を備え、前記マスクのパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光装置を提供する。この場合、前記マスクのパターンの像を前記感光性基板上に形成するための投影光学系をさらに備え、前記照明光学装置の瞳面は、前記投影光学系の瞳位置とほぼ共役に位置決めされていることが好ましい。

【 0 0 2 4 】

本発明の第6形態では、第1形態～第4形態の照明光学装置を用いてマスクを照明する20照明工程と、

前記マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。この場合、前記露光工程は、投影光学系を用いて前記マスクのパターンの像を前記感光性基板上に形成する投影工程を含み、前記照明光学装置の瞳面は、前記投影光学系の瞳位置とほぼ共役に位置決めされることが好ましい。

【発明の効果】

【 0 0 2 5 】

本発明の照明光学装置では、たとえばプリズム対からなる領域変更手段の作用により、瞳面またはその近傍に形成されて光軸から間隔を隔てた複数の周辺領域に位置する光強度分布の位置および大きさを、光軸を含む中心領域に位置する光強度分布とは独立して変更することができる。また、たとえば1/2波長板と偏角プリズム組立体とからなる偏光設定手段の作用により、光軸を含む中心領域としての第1領域を通過する光束を非偏光状態30に設定すると共に、光軸から間隔を隔てた1つまたは複数の周辺領域としての第2領域を通過する光束を直線偏光状態（一般には偏光状態）に設定することができる。また、たとえば1/2波長板と偏角プリズム組立体とからなる偏光状態変更手段の作用により、光軸から間隔を隔てた1つまたは複数の周辺領域としての第2領域を通過する光束の偏光状態を、光軸を含む中心領域としての第1領域を通過する光束の偏光状態とは独立に変更することができる。

【 0 0 2 6 】

したがって、たとえば露光装置に本発明の照明光学装置を搭載した場合、様々な特性を40有するマスクパターンを忠実に転写するために必要な適切な照明条件、たとえば二次光源の光強度分布や偏光状態などに関して多様性に富んだ照明条件を実現することができる。また、本発明の照明光学装置を用いる露光装置および露光方法では、様々な特性を有するマスクパターンを忠実に転写するために必要な適切な照明条件を実現することができるので、マスクのパターン特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができ、ひいては高いスループットで良好なデバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 7 】

【図1】本発明の第1実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】瞳面に形成されるZ方向3極状の二次光源およびX方向3極状の二次光源を示す50

図である。

【図3】アフォーカルレンズの前側レンズ群と後側レンズ群との間の光路中に配置されたプリズム対の構成および動作を概略的に示す図である。

【図4】Z方向3極状の二次光源に対するプリズム対の作用を説明する図である。

【図5】Z方向3極状の二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。

【図6】X方向3極状の二次光源に対するプリズム対の作用を説明する図である。

【図7】X方向3極状の二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。

【図8】瞳面に形成される5極状の二次光源および9極状の二次光源を示す図である。

【図9】5極状の二次光源に対するプリズム対の作用を説明する図である。

【図10】5極状の二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。 10

【図11】9極照明用の2段式プリズム対の構成および動作を概略的に示す図である。

【図12】9極状の二次光源に対する2段式プリズム対の作用を説明する図である。

【図13】中央部の面積が異なる交換可能なプリズム対の例を概略的に示す図である。

【図14】本発明の第2実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図15】第2実施形態の要部構成を概略的に示す図である。

【図16】第2実施形態の3極照明における周辺面光源および中心面光源の偏光状態の設定例を説明する図である。

【図17】第2実施形態の5極照明における周辺面光源および中心面光源の偏光状態の設定例を説明する図である。 20

【図18】第2実施形態の5極照明における周辺面光源および中心面光源の偏光状態のもう1つの設定例を説明する図である。

【図19】第2実施形態の9極照明における周辺面光源および中心面光源の偏光状態の設定例を説明する図である。

【図20】第2実施形態の9極照明における周辺面光源および中心面光源の偏光状態のもう1つの設定例を説明する図である。

【図21】図19の偏光状態を実現するための要部構成の一例を概略的に示す図である。

【図22】図19の偏光状態を実現するための要部構成の別の例を概略的に示す図である。

【図23】第2実施形態の輪帶照明における偏光状態の設定例を説明する図である。 30

【図24】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

【図25】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0028】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

【0029】

図1は、本発明の第1実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。図1において、感光性基板であるウェハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハWの面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハWの面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。第1実施形態の露光装置は、露光光(照明光)を供給するための光源1を備えている。 40

【0030】

光源1として、たとえば248nmの波長の光を供給するKrFエキシマレーザ光源や193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザ光源などを用いることができる。光源1からZ方向に沿って射出されたほぼ平行な光束は、X方向に沿って細長く伸びた矩形状の断面を有し、一対のレンズからなるビームエキスパンダー2に入射する。各レンズは、図1の紙面内(YZ平面内)において負の屈折力および正の屈折力をそれぞれ有する。したがって、ビームエキスパンダー2に入射した光束は、図1の紙面内において拡大さ 50

れ、所定の矩形状の断面を有する光束に整形される。

【0031】

整形光学系としてのビームエキスパンダー2を介したほぼ平行な光束は、折り曲げミラーでY方向に偏向された後、回折光学素子3を介して、アフォーカルレンズ(リレー光学系)4に入射する。一般に、回折光学素子は、基板に露光光(照明光)の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、回折光学素子3は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファーフィールド(またはフラウンホーファー回折領域)に、たとえば光軸AXを中心とする円形状の光強度分布と光軸AXを中心としてZ方向に間隔を隔てた2つの円形状の光強度分布とからなる3つの円形状の光強度分布を形成する機能を有する。

10

【0032】

一方、アフォーカルレンズ4は、その前側焦点位置と回折光学素子3の位置とがほぼ一致し且つその後側焦点位置と図中破線で示す所定面5の位置とがほぼ一致するように設定されたアフォーカル系(無焦点光学系)である。したがって、回折光学素子3に入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ4の瞳面に3つの円形状の光強度分布を形成した後、ほぼ平行光束となってアフォーカルレンズ4から射出される。なお、アフォーカルレンズ4の前側レンズ群4aと後側レンズ群4bとの間の光路中において瞳またはその近傍には、アキシコン系としてのプリズム対6が配置されているが、その詳細な構成および作用については後述する。

【0033】

20

回折光学素子3は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、そのファーフィールドに異なる光強度分布を形成する他の回折光学素子と交換可能に構成されている。同様に、プリズム対6は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、構成および作用の異なる他のプリズム対と交換可能に構成されている。以下、説明を簡単にするために、プリズム対6の作用を無視して、第1実施形態の基本的な構成および作用を説明する。アフォーカルレンズ4を介した光束は、ズームレンズ(変倍光学系)7を介して、マイクロレンズアレイ8に入射する。

【0034】

ここで、所定面6の位置はズームレンズ7の前側焦点位置の近傍に配置され、マイクロレンズアレイ8の入射面はズームレンズ7の後側焦点位置の近傍に配置されている。換言すると、ズームレンズ7は、所定面6とマイクロレンズアレイ8の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に配置し、ひいてはアフォーカルレンズ4の瞳面とマイクロレンズアレイ8の入射面とを光学的にほぼ共役に配置している。したがって、マイクロレンズアレイ8の入射面上には、アフォーカルレンズ4の瞳面と同様に、光軸AXを中心とする円形状の照野と光軸AXを中心としてZ方向に間隔を隔てた2つの円形状の照野とからなる3つの円形状の照野が形成される。3つの円形状の照野の全体形状は、ズームレンズ7の焦点距離に依存して相似的に変化する。

30

【0035】

マイクロレンズアレイ8は、縦横に且つ稠密に配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子である。一般に、マイクロレンズアレイは、たとえば平行平面板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。ここで、マイクロレンズアレイを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロレンズアレイは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズ(微小屈折面)が互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロレンズアレイはフライアイレンズと同じ波面分割型のオプティカルインテグレータである。

40

【0036】

マイクロレンズアレイ8を構成する各微小レンズは、マスクM上において形成すべき照野の形状(ひいてはウェハW上において形成すべき露光領域の形状)と相似な矩形状の断

50

面を有する。マイクロレンズアレイ 8 に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、その後側焦点面（ひいては照明瞳面またはその近傍）には、マイクロレンズアレイ 8 への入射光束によって形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、図 2 (a) に示すように、光軸 AX を中心とする円形状の光強度分布（実質的な面光源）30a と光軸 AX を中心として Z 方向に間隔を隔てた 2 つの円形状の光強度分布（実質的な面光源）30b とからなる Z 方向 3 極状の二次光源が形成される。

【 0037 】

マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面に形成された Z 方向 3 極状の二次光源（一般的には照明光学装置の瞳面またはその近傍に形成された所定の光強度分布）からの光束は、コンデンサー光学系 9 を介した後、マスクブラインド 10 を重畳的に照明する。こうして、照明視野絞りとしてのマスクブラインド 10 には、マイクロレンズアレイ 8 を構成する各微小レンズの形状と焦点距離とに応じた矩形状の照野が形成される。マスクブラインド 10 の矩形状の開口部（光透過部）を介した光束は、結像光学系 11 の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスク M を重畳的に照明する。

10

【 0038 】

こうして、結像光学系 11 は、マスクブラインド 10 の矩形状開口部の像をマスク M 上に形成することになる。マスク M のパターンを透過した光束は、投影光学系 PL を介して、感光性基板であるウェハ W 上にマスクパターンの像を形成する。こうして、投影光学系 PL の光軸 AX と直交する平面（XY 平面）内においてウェハ W を二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハ W の各露光領域にはマスク M のパターンが逐次露光される。

20

【 0039 】

以上のように、回折光学素子 3、アフォーカルレンズ 4、ズームレンズ 7 およびマイクロレンズアレイ 8 は、照明光学装置（1～11）の瞳面またはその近傍に、光軸 AX を含む中心領域に位置する光強度分布すなわち光軸 AX を中心とする円形状の面光源 30a と、光軸 AX から間隔を隔てた複数の周辺領域に位置する光強度分布すなわち光軸 AX を中心として Z 方向に間隔を隔てた 2 つの円形状の面光源 30b とを有する照明瞳分布を形成するための照明瞳形成手段を構成している。また、回折光学素子 3 は、入射する光束を、光軸 AX を中心とする円形状の面光源 30a に対応する中心光束と、光軸 AX を中心として Z 方向に間隔を隔てた 2 つの円形状の面光源 30b にそれぞれ対応する複数の周辺光束と変換するための光束変換素子を構成している。

30

【 0040 】

図 3 は、アフォーカルレンズの前側レンズ群と後側レンズ群との間の光路中に配置されたプリズム対の構成および動作を概略的に示す図である。プリズム対 6 は、図 3 に示すように、光源側から順に、光源側に平面を向け且つマスク側に凹状断面の屈折面を向けた第 1 プリズム部材 6a と、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸状断面の屈折面を向けた第 2 プリズム部材 6b とにより構成されている。そして、第 1 プリズム部材 6a の凹状断面の屈折面と第 2 プリズム部材 6b の凸状断面の屈折面とは、互いに当接可能なように相補的に形成されている。

40

【 0041 】

さらに具体的には、第 1 プリズム部材 6a の凹状断面の屈折面は、光軸 AX と直交する平面状の中央部 6c と、光軸 AX を中心とする円錐体の側面に対応する周辺円錐部 6d とを有する。同様に、第 2 プリズム部材 6b の凸状断面の屈折面は、光軸 AX と直交する平面状の中央部 6e と、光軸 AX を中心とする円錐体の側面に対応する周辺円錐部 6f とを有する。また、第 1 プリズム部材 6a および第 2 プリズム部材 6b のうち少なくとも一方の部材が光軸 AX に沿って移動可能に構成され、第 1 プリズム部材 6a の凹状断面の屈折面と第 2 プリズム部材 6b の凸状断面の屈折面との間隔が可変に構成されている。

【 0042 】

プリズム対 6 では、図 3 に示すように、Z 方向 3 極状の二次光源のうち光軸 AX を中心とする円形状の中心面光源 30a を形成する中心光束 31a が、第 1 プリズム部材 6a の

50

中央部 6 c および第 2 プリズム部材 6 b の中央部 6 e を通過する。一方、Z 方向 3 極状の二次光源のうち、光軸 A X を中心として Z 方向に間隔を隔てた 2 つの円形状の周辺面光源 3 0 b を形成する 2 つの周辺光束 3 1 b は、第 1 プリズム部材 6 a の周辺円錐部 6 d および第 2 プリズム部材 6 b の周辺円錐部 6 f を通過する。

【 0 0 4 3 】

ここで、第 1 プリズム部材 6 a の凹状屈折面と第 2 プリズム部材 6 b の凸状屈折面とが互いに当接している状態では、中心光束 3 1 a および 2 つの周辺光束 3 1 b に対してプリズム対 6 は平行平面板として機能し、形成される Z 方向 3 極状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、第 1 プリズム部材 6 a の凹状屈折面と第 2 プリズム部材 6 b の凸状屈折面とを離間させると、中心光束 3 1 a に対してプリズム対 6 は影響を及ぼさないが、2 つの周辺光束 3 1 b に対してプリズム対 6 はいわゆるビームエキスパンダーとして機能する。

【 0 0 4 4 】

図 4 は、Z 方向 3 極状の二次光源に対するプリズム対の作用を説明する図である。図 4 に示すように、Z 方向 3 極状の二次光源を構成する 2 つの円形状の周辺面光源 3 2 b は、プリズム対 6 の間隔を零から所定の値まで拡大させることにより、光軸 A X を中心とした円の径方向に沿って外方へ移動するとともに、その形状が円形状から楕円形状に変化する。すなわち、変化前の円形状の周辺面光源 3 2 b の中心点と変化後の楕円形状の周辺面光源 3 3 b の中心点とを結ぶ線分は光軸 A X を通り、中心点の移動距離はプリズム対 6 の間隔に依存する。

【 0 0 4 5 】

さらに、変化前の円形状の周辺面光源 3 2 b を光軸 A X から見込む角度（光軸 A X から周辺面光源 3 2 b への一対の接線がなす角度）と、変化後の楕円形状の周辺面光源 3 3 b を光軸 A X から見込む角度とが等しい。そして、変化前の円形状の周辺面光源 3 2 b の直径すなわち光軸 A X として 2 つの周辺面光源 3 2 b に外接する円の半径と内接する円の半径との差と、光軸 A X として変化後の楕円形状の周辺面光源 3 3 b に外接する円の半径と内接する円の半径との差とが等しい。このように、円形状の周辺面光源 3 2 b はプリズム対 6 の間隔に依存して周方向に変化するが、径方向には変化しない。一方、Z 方向 3 極状の二次光源を構成する円形状の中心面光源 3 2 a は、プリズム対 6 の間隔を零から所定の値まで拡大させても影響を受けない。

【 0 0 4 6 】

したがって、プリズム対 6 の間隔を零から所定の値まで拡大させると、Z 方向 3 極状の二次光源を構成する 2 つの円形状の周辺面光源 3 2 b の位置および大きさが、Z 方向 3 極状の二次光源を構成する円形状の中心面光源 3 2 a とは独立して変化する。換言すれば、プリズム対 6 は、瞳面またはその近傍に形成されて光軸 A X から間隔を隔てた複数の周辺領域に位置する光強度分布（2 つの周辺面光源 3 2 b）の位置および大きさを、瞳面またはその近傍に形成されて光軸 A X を含む中心領域に位置する光強度分布（中心面光源 3 2 a）とは独立して変更するための領域変更手段を構成している。

【 0 0 4 7 】

図 5 は、Z 方向 3 極状の二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。図 5 に示すように、ズームレンズ 7 の焦点距離が変化すると、光軸 A X を中心として Z 方向に間隔を隔てた 2 つの円形状の周辺面光源 3 2 b は、円形状を維持したまま光軸 A X を中心とした円の径方向に沿って移動する。そして、変化前の周辺面光源 3 2 b の中心点と変化後の周辺面光源 3 4 b の中心点とを結ぶ線分は光軸 A X を通り、中心点の移動距離および移動の向きはズームレンズ 7 の焦点距離の変化に依存する。

【 0 0 4 8 】

また、変化前の周辺面光源 3 2 b を光軸 A X から見込む角度と、変化後の周辺面光源 3 4 b を光軸 A X から見込む角度とが等しい。一方、ズームレンズ 7 の焦点距離の変化に際して、光軸 A X を中心とする円形状の中心面光源 3 2 a の中心点は移動しないが、その大きさが変化する。具体的には、変化前の中心面光源 3 2 a の直径と変化後の中心面光源 3

10

20

30

40

50

4 a の直径との比は、変化前の周辺面光源 3 2 b の直径と変化後の周辺面光源 3 4 b の直径との比と同じである。こうして、ズームレンズ 7 の焦点距離を変化させることにより、3 極状の二次光源の全体形状を相似的に変化させることができる。

【 0 0 4 9 】

なお、Z 方向 3 極照明用の回折光学素子 3 に代えて、X 方向 3 極照明用の回折光学素子を照明光路中に設定することによって、X 方向 3 極照明を行うことができる。X 方向 3 極照明用の回折光学素子は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドに、たとえば光軸 A X を中心とする円形状の光強度分布と光軸 A X を中心として X 方向に間隔を隔てた 2 つの円形状の光強度分布とからなる 3 つの円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、X 方向 3 極照明用の回折光学素子を介した光束は、図 2 (b) に示すように、光軸 A X を中心とする円形状の光強度分布（中心面光源）3 0 a と光軸 A X を中心として X 方向に間隔を隔てた 2 つの円形状の光強度分布（周辺面光源）3 0 c とからなる X 方向 3 極状の二次光源を形成する。10

【 0 0 5 0 】

そして、図 6 に示すように、プリズム対 6 の間隔を零から所定の値まで拡大させると、図 4 の Z 方向 3 極照明の場合と同様に、X 方向 3 極状の二次光源を構成する 2 つの円形状の周辺面光源 3 2 c の位置および大きさが、X 方向 3 極状の二次光源を構成する円形状の中心面光源 3 2 a とは独立して変化する。すなわち、円形状の周辺面光源 3 2 c は、プリズム対 6 の間隔に依存して、その中心位置が径方向に移動し、その大きさが周方向にだけ変化して、橢円形状の周辺面光源 3 3 c になる。一方、円形状の中心面光源 3 2 a は、プリズム対 6 の間隔が変化しても、その中心位置および大きさは変化しない。20

【 0 0 5 1 】

また、図 7 に示すように、ズームレンズ 7 の焦点距離を変化させると、図 5 の Z 方向 3 極照明の場合と同様に、円形状の中心面光源 3 2 a と 2 つの円形状の周辺面光源 3 2 c とからなる X 方向 3 極状の二次光源の全体形状は相似的に変化する。すなわち、円形状の周辺面光源 3 2 c は、ズームレンズ 7 の焦点距離の変化に依存して、その中心位置が径方向に移動し、その大きさが相似的に変化して、円形状の周辺面光源 3 4 c になる。一方、円形状の中心面光源 3 2 a は、ズームレンズ 7 の焦点距離の変化に依存して、その大きさが相似的に変化して円形状の中心面光源 3 4 a になるが、その中心位置は変化しない。30

【 0 0 5 2 】

また、Z 方向 3 極照明用の回折光学素子 3 に代えて、5 極照明用の回折光学素子を照明光路中に設定することによって、5 極照明を行うことができる。5 極照明用の回折光学素子は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドに、たとえば光軸 A X を中心とする円形状の光強度分布と、光軸 A X を中心として X 方向に沿った辺および Z 方向に沿った辺を有する正方形（または長方形）の各頂点の位置に配置された 4 つの円形状の光強度分布とからなる 5 つの円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、5 極照明用の回折光学素子を介した光束は、図 8 (a) に示すように、光軸 A X を中心とする円形状の光強度分布（中心面光源）3 0 a と、光軸 A X を中心として X 方向に沿った辺および Z 方向に沿った辺を有する正方形の各頂点の位置に配置された 4 つの円形状の光強度分布（周辺面光源）3 0 d とからなる 5 極状の二次光源を形成する。40

【 0 0 5 3 】

そして、図 9 に示すように、プリズム対 6 の間隔を零から所定の値まで拡大させると、図 4 の Z 方向 3 極照明や図 6 の X 方向 3 極照明の場合と同様に、5 極状の二次光源を構成する 4 つの円形状の周辺面光源 3 2 d の位置および大きさが、5 極状の二次光源を構成する円形状の中心面光源 3 2 a とは独立して変化する。すなわち、円形状の周辺面光源 3 2 d は、プリズム対 6 の間隔に依存して、その中心位置が径方向に移動し、その大きさが周方向にだけ変化して、橢円形状の周辺面光源 3 3 d になる。一方、円形状の中心面光源 3 2 a は、プリズム対 6 の間隔が変化しても、その中心位置および大きさは変化しない。50

【 0 0 5 4 】

また、図 10 に示すように、ズームレンズ 7 の焦点距離を変化させると、図 5 の Z 方向

3極照明や図7のX方向3極照明の場合と同様に、円形状の中心面光源32aと4つの円形状の周辺面光源32dとからなる5極状の二次光源の全体形状は相似的に変化する。すなわち、円形状の周辺面光源32dは、ズームレンズ7の焦点距離の変化に依存して、その中心位置が径方向に移動し、その大きさが相似的に変化して、円形状の周辺面光源34dになる。一方、円形状の中心面光源32aは、ズームレンズ7の焦点距離の変化に依存して、その大きさが相似的に変化して円形状の中心面光源34aになるが、その中心位置は変化しない。

【0055】

また、Z方向3極照明用の回折光学素子3に代えて、9極照明用の回折光学素子を照明光路中に設定することによって、9極照明を行うことができる。9極照明用の回折光学素子は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドに、たとえば光軸AXを中心とする円形状の光強度分布と、光軸AXを中心としてX方向に沿った辺およびZ方向に沿った辺を有する第1正方形（または第1長方形）の各頂点の位置に配置された4つの円形状の光強度分布と、光軸AXを中心としてX方向に沿った辺およびZ方向に沿った辺を有し且つ第1正方形（または第1長方形）を包囲する第2正方形（または第2長方形）の各頂点の位置に配置された4つの円形状の光強度分布とからなる5つの円形状の光強度分布を形成する機能を有する。

【0056】

したがって、9極照明用の回折光学素子を介した光束は、図8（b）に示すように、光軸AXを中心とする円形状の光強度分布（中心面光源）30aと、光軸AXを中心としてX方向に沿った辺およびZ方向に沿った辺を有する第1正方形の各頂点の位置に配置された4つの円形状の光強度分布（内側周辺面光源）30eと、光軸AXを中心としてX方向に沿った辺およびZ方向に沿った辺を有し且つ第1正方形を包囲する第2正方形の各頂点の位置に配置された4つの円形状の光強度分布（外側周辺面光源）30fとからなる9極状の二次光源を形成する。

【0057】

この場合、図示を省略するが、プリズム対6の間隔を零から所定の値まで拡大させると、図9の5極照明の場合と同様に、9極状の二次光源を構成する4つの円形状の内側周辺面光源および4つの円形状の外側周辺面光源の位置および大きさが、9極状の二次光源を構成する円形状の中心面光源とは独立して変化する。すなわち、円形状の内側周辺面光源および外側周辺面光源は、プリズム対6の間隔に依存して、その中心位置が径方向に移動し、その大きさが周方向にだけ変化して、橢円形状の内側周辺面光源および外側周辺面光源になる。一方、円形状の中心面光源は、プリズム対6の間隔が変化しても、その中心位置および大きさは変化しない。

【0058】

また、ズームレンズ7の焦点距離を変化させると、図10の5極照明の場合と同様に、円形状の中心面光源と4つの円形状の内側周辺面光源と4つの円形状の外側周辺面光源とからなる9極状の二次光源の全体形状は相似的に変化する。すなわち、円形状の内側周辺面光源および外側周辺面光源は、ズームレンズ7の焦点距離の変化に依存して、その中心位置が径方向に移動し、その大きさが相似的に変化して、円形状の内側周辺面光源および外側周辺面光源になる。一方、円形状の中心面光源は、ズームレンズ7の焦点距離の変化に依存して、その大きさが相似的に変化して円形状の中心面光源になるが、その中心位置は変化しない。

【0059】

なお、上述の説明では、9極照明に際して、図2に示すように屈折面が1つの周辺円錐部（6d, 6f）を有する1段式のプリズム対6を用いている。しかしながら、9極照明に際して、図11に示すように屈折面が2つの周辺円錐部を有する2段式のプリズム対60を用いることもできる。図11を参照すると、2段式プリズム対60は、光源側から順に、光源側に平面を向け且つマスク側に凹状断面の屈折面を向けた第1プリズム部材60aと、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸状断面の屈折面を向けた第2プリズム部材6

10

20

30

40

50

0 b とにより構成されている。そして、第1プリズム部材 60 a の凹状断面の屈折面と第2プリズム部材 60 b の凸状断面の屈折面とは、互いに当接可能なように相補的に形成されている。

【 0 0 6 0 】

さらに具体的には、第1プリズム部材 60 a の凹状断面の屈折面は、光軸 AX と直交する平面状の中央部 60 c と、光軸 AX を中心とする第1円錐体の側面に対応する内側周辺円錐部 60 d と、光軸 AX を中心とし且つ第1円錐体よりも小さな頂角を有する第2円錐体の側面に対応する外側周辺円錐部 60 e とを有する。同様に、第2プリズム部材 60 b の凸状断面の屈折面は、光軸 AX と直交する平面状の中央部 60 f と、光軸 AX を中心とする第1円錐体の側面に対応する内側周辺円錐部 60 g と、光軸 AX を中心とし且つ第1円錐体よりも小さな頂角を有する第2円錐体の側面に対応する外側周辺円錐部 60 h とを有する。また、第1プリズム部材 60 a および第2プリズム部材 60 b のうち少なくとも一方の部材が光軸 AX に沿って移動可能に構成され、第1プリズム部材 60 a の凹状断面の屈折面と第2プリズム部材 60 b の凸状断面の屈折面との間隔が可変に構成されている。10

【 0 0 6 1 】

2段式プリズム対 60 では、図 11 に示すように、9 極状の二次光源のうち光軸 AX を中心とする円形状の中心面光源 30 a を形成する中心光束 31 a が、第1プリズム部材 60 a の中央部 60 c および第2プリズム部材 60 b の中央部 60 f を通過する。また、9 極状の二次光源のうち、光軸 AX を中心とした第1正方形の各頂点の位置に配置された4つの内側周辺面光源 30 e を形成する4つの内側周辺光束 31 e は、第1プリズム部材 60 a の内側周辺円錐部 60 d および第2プリズム部材 60 b の周辺円錐部 60 g を通過する。また、9 極状の二次光源のうち、光軸 AX を中心とした第2正方形の各頂点の位置に配置された4つの外側周辺面光源 30 f を形成する4つの外側周辺光束 31 f は、第1プリズム部材 60 a の外側周辺円錐部 60 e および第2プリズム部材 60 b の周辺円錐部 60 h を通過する。20

【 0 0 6 2 】

ここで、第1プリズム部材 60 a の凹状屈折面と第2プリズム部材 60 b の凸状屈折面とが互いに当接している状態では、中心光束 31 a 、4つの内側周辺光束 31 e および4つの外側周辺光束 31 f に対して2段式プリズム対 60 は平行平面板として機能し、形成される9極状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、第1プリズム部材 60 a の凹状屈折面と第2プリズム部材 60 b の凸状屈折面とを離間させると、中心光束 31 a に対して2段式プリズム対 60 は影響を及ぼさないが、4つの内側周辺光束 31 e および4つの外側周辺光束 31 f に対して2段式プリズム対 60 はいわゆるビームエキスパンダーとして機能する。30

【 0 0 6 3 】

図 12 は、9 極状の二次光源に対する2段式プリズム対の作用を説明する図である。ただし、図 12 では、図面の明瞭化のために、9 極状の二次光源のうち、中心面光源 32 a 、1つの内側周辺面光源 32 e 、および1つの外側周辺面光源 32 f だけを示している。図 12 に示すように、内側周辺面光源 32 e および外側周辺面光源 32 f は、2段式プリズム対 60 の間隔を零から所定の値まで拡大させることにより、光軸 AX を中心とした円の径方向に沿って外方へ移動するとともに、その形状が円形状から橍円形状に変化する。すなわち、変化前の円形状の内側周辺面光源 32 e および外側周辺面光源 32 f の中心点と変化後の橍円形状の内側周辺面光源 33 e および外側周辺面光源 33 f の中心点とを結ぶ線分は光軸 AX を通り、中心点の移動距離は2段式プリズム対 60 の間隔に依存する。40

【 0 0 6 4 】

ここで、2段式プリズム対 60 の場合には、変化前の円形状の外側周辺面光源 32 f から変化後の橍円形状の外側周辺面光源 33 f への移動距離の方が、変化前の円形状の内側周辺面光源 32 e から変化後の橍円形状の内側周辺面光源 33 e への移動距離よりも大きくなり、その移動距離の差は2段式プリズム対 60 の間隔に依存して変化する。さらに、50

変化前の円形状の内側周辺面光源 3 2 e を光軸 A X から見込む角度（光軸 A X から内側周辺面光源 3 2 e への一対の接線がなす角度）と、変化後の橜円形状の内側周辺面光源 3 3 e を光軸 A X から見込む角度とが等しい。

【 0 0 6 5 】

同様に、変化前の円形状の外側周辺面光源 3 2 f を光軸 A X から見込む角度（光軸 A X から外側周辺面光源 3 2 f への一対の接線がなす角度）と、変化後の橜円形状の外側周辺面光源 3 3 f を光軸 A X から見込む角度とが等しい。ここで、変化前の円形状の内側周辺面光源 3 2 e と変化前の円形状の外側周辺面光源 3 2 f とが同じ大きさを有する場合、変化前の円形状の内側周辺面光源 3 2 e を光軸 A X から見込む角度の方が、変化前の円形状の外側周辺面光源 3 2 f を光軸 A X から見込む角度よりも大きくなる。

10

【 0 0 6 6 】

そして、変化前の円形状の内側周辺面光源 3 2 e の直径すなわち光軸 A X として 4 つの内側周辺面光源 3 2 e に外接する円の半径と内接する円の半径との差と、光軸 A X として変化後の橜円形状の内側周辺面光源 3 3 e に外接する円の半径と内接する円の半径との差とが等しい。同様に、変化前の円形状の外側周辺面光源 3 2 f の直径すなわち光軸 A X として 4 つの外側周辺面光源 3 2 f に外接する円の半径と内接する円の半径との差と、光軸 A X として変化後の橜円形状の外側周辺面光源 3 3 f に外接する円の半径と内接する円の半径との差とが等しい。一方、9 極状の二次光源を構成する円形状の中心面光源 3 2 a は、2 段式プリズム対 6 0 の間隔を零から所定の値まで拡大させても影響を受けない。

【 0 0 6 7 】

20

以上のように、第 1 実施形態では、領域変更手段としてのプリズム対 6 (または 2 段式プリズム対 6 0) の作用により、瞳面またはその近傍に形成されて光軸 A X から間隔を隔てた複数の周辺領域に位置する光強度分布 (周辺面光源) の位置および大きさを、光軸 A X を含む中心領域に位置する光強度分布 (中心面光源) とは独立して変更することができる。その結果、第 1 実施形態では、たとえば中心面光源とは独立して変更される複数の周辺面光源の位置および大きさに関して多様性に富んだ (すなわち瞳面またはその近傍に形成される光強度分布に関して多様性に富んだ) 3 極照明、5 極照明および 9 極照明を実現することができる。

【 0 0 6 8 】

30

なお、上述の第 1 実施形態では、光軸 A X を中心とする円形状の中心面光源と光軸 A X に関する対称に配置された複数の円形状の周辺面光源とからなる二次光源を形成している。しかしながら、各面光源の形状および位置はこれに限定されることなく、一般に、光軸 A X を含む中心領域に位置する光強度分布と光軸 A X から間隔を隔てた複数の周辺領域に位置する光強度分布とを有する二次光源 (照明瞳分布) を形成することができる。

【 0 0 6 9 】

40

また、上述の第 1 実施形態では、光軸 A X を含む中心面光源と光軸 A X から間隔を隔てた各周辺面光源とがほぼ同じ大きさを有する二次光源を形成している。しかしながら、これに限定されることなく、所望の特性を有する回折光学素子を照明光路に設定することにより、各周辺面光源よりも中心面光源を実質的に大きくしたり、各周辺面光源よりも中心面光源を実質的に小さくしたりする変形例も可能である。この場合、中央部の面積が異なる 1 つまたは複数のプリズム対を交換可能に備えていることが好ましい。

【 0 0 7 0 】

具体的には、各周辺面光源よりも中心面光源を実質的に小さく設定する場合には、図 1 3 (a) に示すような中央部の面積が比較的小さいプリズム対を用いることができる。また、各周辺面光源よりも中心面光源を実質的に大きく設定する場合には、図 1 3 (b) に示すような中央部の面積が比較的大きいプリズム対を用いることができる。なお、図 1 3 には 1 段式プリズム対の例だけを示しているが、必要に応じて、中央部の面積が異なる 1 つまたは複数の 2 段式プリズム対を交換可能に備えていることが好ましい。

【 0 0 7 1 】

50

図 1 4 は、本発明の第 2 実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略

的に示す図である。また、図15は、第2実施形態の要部構成を概略的に示す図である。なお、図14および図15では、照明光学装置がZ方向3極照明の状態に設定されている。第2実施形態は、第1実施形態と類似の構成を有する。しかしながら、第2実施形態では、プリズム対6の光源側に1/4波長板12および1/2波長板13が付設され、プリズム対6のマスク側に1/2波長板14および偏角プリズム組立体15が付設されている点が第1実施形態と相違している。以下、第1実施形態との相違点に着目して第2実施形態を説明する。

【0072】

図14および図15を参照すると、第2実施形態では、アフォーカルレンズ4の前側レンズ群4aとプリズム対6との間の光路中において、光源側から順に、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成された1/4波長板12と、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成された1/2波長板13とが配置されている。ここで、1/4波長板12は、入射する橢円偏光の光を直線偏光の光に変換する機能を有する。また、1/2波長板13は、入射する直線偏光の光を、所定の方向に偏光面を有する直線偏光の光に変換する機能を有する。

10

【0073】

光源1としてKrFエキシマレーザ光源やArFエキシマレーザ光源を用いる場合、光源1からほぼ直線偏光の光が供給される。また、光源1と回折光学素子3との間の光路中には、裏面反射鏡としての直角プリズムが複数個配置されるのが通常である。一般に、裏面反射鏡としての直角プリズムに直線偏光が入射する場合、入射する直線偏光の偏光面がP偏光面またはS偏光面に一致していないと、直角プリズムでの全反射により直線偏光が橢円偏光に変わる。

20

【0074】

第2実施形態では、たとえば直角プリズムに起因して橢円偏光が回折光学素子3に入射することがあっても、入射する橢円偏光の特性に応じて1/4波長板12の結晶光学軸を設定することにより、後続する1/2波長板13に直線偏光が入射する。また、1/2波長板13に入射した直線偏光の光は、その結晶光学軸の方向に応じて、任意の方向に偏光面を有する直線偏光の光に変換される。こうして、1/4波長板12と1/2波長板13との協働作用により、任意の方向に偏光面を有する直線偏光の光がプリズム対6へ導かれる。なお、1/4波長板12を1/2波長板13のマスク側に配置しても光学的に等価な効果が得られる。

30

【0075】

また、第2実施形態では、プリズム対6とアフォーカルレンズ4の後側レンズ群4bとの間において、光軸AXから間隔を隔てた2つの周辺面光源30bを形成する2つの周辺光束31bの光路中には、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成された輪帯状の1/2波長板14が配置されている。さらに、プリズム対6とアフォーカルレンズ4の後側レンズ群4bとの間において、光軸AXを含む中心面光源30aを形成する中心光束31aの光路中には、くさび形状の水晶プリズム15aと、この水晶プリズム15aと相補的な形状を有するくさび形状の石英プリズム15bとにより一体的に構成された偏角プリズム組立体15が配置されている。

40

【0076】

偏角プリズム組立体15は、光軸AXを中心として回転可能に構成されている。また、偏角プリズム組立体15では、水晶プリズム15aの頂点方向と石英プリズム15bの頂点方向とが逆向きに設定され、水晶プリズム15aによる偏角作用を石英プリズム15bが補償（補正）するように構成されている。偏角プリズム組立体15では、入射する直線偏光の偏光面に対して水晶プリズム15aの結晶光学軸の方向が45度の角度をなすように設定することにより、偏角プリズム組立体15からの射出光が実質的に非偏光状態の光に変換される。一方、入射する直線偏光の偏光面に対して水晶プリズム15aの結晶光学軸の方向が0度または90度の角度をなすように設定すると、入射した直線偏光の偏光面が変化することなくそのまま偏角プリズム組立体15を通過する。

50

【0077】

こうして、1/2 波長板 14 は、光軸 AX から間隔を隔てた 2 つの周辺面光源 30b へ向かう直線偏光の光束の偏光面を必要に応じて変化させるための位相部材を構成している。具体的には、1/2 波長板 14 の結晶光学軸を所要の角度位置に設定することにより、2 つの周辺面光源 30b に達する光の偏光状態を、任意の方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することができる。

【0078】

また、偏角プリズム組立体 15 は、光軸 AX を含む中心面光源 30a へ向かう直線偏光の光束を必要に応じて非偏光化するための偏光解消素子を構成している。具体的には、偏角プリズム組立体 15 における水晶プリズム 15a の結晶光学軸を所要の角度位置に設定することにより、中心面光源 30a に達する光の偏光状態を、直線偏光状態と非偏光状態との間で切り換えることができる。あるいは、偏角プリズム組立体 15 を光路に対して挿脱自在に構成し、偏角プリズム組立体 15 を光路中に設定することにより非偏光状態を実現したり、偏角プリズム組立体 15 を光路から退避させることにより光量損失を回避しつつ直線偏光状態を実現したりすることもできる。以下、具体的に、第 2 実施形態の 3 極照明、5 極照明および 9 極照明における周辺面光源および中心面光源の偏光状態の設定例を説明する。

10

【0079】

図 16 は、第 2 実施形態の 3 極照明における周辺面光源および中心面光源の偏光状態の設定例を説明する図である。Z 方向 3 極照明または X 方向 3 極照明の場合、図 16 に示すように、マスクに形成されたライン・アンド・スペース・パターン 51 のピッチ方向に沿って光軸 AX を中心として間隔を隔てた 2 つの周辺面光源 41b を形成し、この 2 つの周辺面光源 41b を通過する光束の偏光状態を、たとえばパターン 51 のピッチ方向と直交する方向に偏光面（図中両方向矢印で示す）を有する直線偏光状態に設定する。また、光軸 AX を中心とした中心面光源 41a を通過する光束の偏光状態を、たとえば非偏光状態に設定する。

20

【0080】

この場合、ライン・アンド・スペース・パターン 51 に適した 2 極照明（2 つの周辺面光源 41b からの光束によるマスクの照明）と、孤立パターン 52 に適した小 照明（中心面光源 41a からの光束によるマスクの照明）との組み合わせからなる 3 極照明により、投影光学系の結像性能の向上を図りつつ忠実なパターン転写を実現することができる。なお、3 極照明において、中心面光源 41a を通過する光束の偏光状態を、所望する方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することもできる。また、2 つの周辺面光源 41b を通過する光束の偏光状態を、所望する方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することもできる。

30

【0081】

図 17 は、第 2 実施形態の 5 極照明における周辺面光源および中心面光源の偏光状態の設定例を説明する図である。5 極照明の場合、図 17 に示すように、マスクに形成されたライン・アンド・スペース・パターン 51 のピッチ方向に沿った辺を有する正方形（または長方形）の各頂点の位置に 4 つの周辺面光源 41d を形成し、この 4 つの周辺面光源 41d を通過する光束の偏光状態を、たとえばパターン 51 のピッチ方向と直交する方向に偏光面（図中両方向矢印で示す）を有する直線偏光状態に設定する。また、光軸 AX を中心とした中心面光源 41a を通過する光束の偏光状態を、たとえば非偏光状態に設定する。

40

【0082】

この場合、ライン・アンド・スペース・パターン 51 に適した 4 極照明（4 つの周辺面光源 41d からの光束によるマスクの照明）と、孤立パターン 52 に適した小 照明（中心面光源 41a からの光束によるマスクの照明）との組み合わせからなる 5 極照明により、投影光学系の結像性能の向上を図りつつ忠実なパターン転写を実現することができる。なお、5 極照明において、中心面光源 41a を通過する光束の偏光状態を、所望する方向

50

に偏光面を有する直線偏光状態に設定することもできる。また、4つの周辺面光源41dを通過する光束の偏光状態を、所望する方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することもできる。特に、4つの周辺面光源41dを通過する光束の偏光状態を、たとえば周辺面光源41dの間隔方向と45度の角度をなす方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することもできる。

【0083】

また、各周辺面光源41dを通過する光束の偏光状態を、それぞれ所望する方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することもできる。典型的には、図18に示すように、4つの周辺面光源のうち、光軸AXを挟んで対向する一方の対の周辺面光源41d1および41d3を通過する光束の偏光状態を、周辺面光源41d1と41d3との間隔方向と45度の角度をなす同一方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定し、光軸AXを挟んで対向する他方の対の周辺面光源41d2および41d4を通過する光束の偏光状態を、周辺面光源41d1および41d3を通過する直線偏光の偏光面方向と直交する方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することもできる。ただし、図18に示す偏光状態を実現するには、図15に示す輪帯状の1/2波長板14に代えて、一方の対の周辺面光源41d1および41d3に向かう光束の光路中に第1の1/2波長板を設けると共に、他方の対の周辺面光源41d2および41d4に向かう光束の光路中に第2の1/2波長板を設ける必要がある。

【0084】

図19は、第2実施形態の9極照明における周辺面光源および中心面光源の偏光状態の設定例を説明する図である。9極照明の場合、図19に示すように、マスクに形成されたライン・アンド・スペース・パターン51aのピッチ方向に沿った辺を有する正方形（または長方形）の各頂点の位置に4つの内側周辺面光源41eを形成し、この4つの内側周辺面光源41eを通過する光束の偏光状態を、たとえばパターン51aのピッチ方向と直交する方向に偏光面（図中両方向矢印で示す）を有する直線偏光状態に設定する。また、4つの外側周辺面光源41fを通過する光束の偏光状態を、4つの内側周辺面光源41eを通過する直線偏光の偏光面方向と直交する方向に偏光面（図中両方向矢印で示す）を有する直線偏光状態に設定する。

【0085】

また、光軸AXを中心とした中心面光源41aを通過する光束の偏光状態を、たとえば非偏光状態に設定する。この場合、ライン・アンド・スペース・パターン51aに適した4極照明（4つの内側周辺面光源41eからの光束によるマスクの照明）と、パターン51aよりも微細で且つパターン51aのピッチ方向と直交するピッチ方向を有するライン・アンド・スペース・パターン51bに適した4極照明（4つの外側周辺面光源41fからの光束によるマスクの照明）と、孤立パターン52に適した小照明（中心面光源41aからの光束によるマスクの照明）との組み合わせからなる9極照明により、投影光学系の結像性能の向上を図りつつ忠実なパターン転写を実現することができる。

【0086】

なお、9極照明において、中心面光源41aを通過する光束の偏光状態を、所望する方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することもできる。また、4つの内側周辺面光源41eを通過する光束の偏光状態、および4つの外側周辺面光源41fを通過する光束の偏光状態を、それぞれ所望する方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することもできる。特に、4つの内側周辺面光源41eを通過する光束の偏光状態および4つの外側周辺面光源41fを通過する光束の偏光状態を、たとえば周辺面光源の間隔方向と45度の角度をなす方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することもできる。

【0087】

典型的には、図20に示すように、4つの内側周辺面光源のうち、光軸AXを挟んで対向する一方の対の内側周辺面光源41e1および41e3を通過する光束の偏光状態を、内側周辺面光源41e1と41e3との間隔方向と45度の角度をなす同一方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定し、光軸AXを挟んで対向する他方の対の内側周辺面光源4

10

20

30

40

50

1 e 2 および 4 1 e 4 を通過する光束の偏光状態を、内側周辺面光源 4 1 e 1 および 4 1 e 3 を通過する直線偏光の偏光面方向と直交する方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することもできる。

【0088】

同様に、4つの外側周辺面光源のうち、光軸 A X を挟んで対向する一方の対の外側周辺面光源 4 1 f 1 および 4 1 f 3 を通過する光束の偏光状態を、外側周辺面光源 4 1 f 1 と 4 1 f 3 との間隔方向と 45 度の角度をなす同一方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定し、光軸 A X を挟んで対向する他方の対の外側周辺面光源 4 1 f 2 および 4 1 f 4 を通過する光束の偏光状態を、外側周辺面光源 4 1 f 1 および 4 1 f 3 を通過する直線偏光の偏光面方向と直交する方向に偏光面を有する直線偏光状態に設定することもできる。

10

【0089】

ただし、図 19 に示す偏光状態を実現するには、図 21 に示すように、図 15 に示すプリズム対 6 に代えて 2 段式プリズム対 6 0 を配置し（あるいはプリズム対 6 をそのまま用いて）、図 15 に示す輪帯状の 1 / 2 波長板 1 4 に代えて、内側周辺面光源 4 1 e に向かう光束 3 1 e の光路中に光軸 A X を中心として回転可能な第 1 の輪帯状の 1 / 2 波長板 1 4 a を設けると共に、外側周辺面光源 4 1 f に向かう光束 3 1 f の光路中に光軸 A X を中心として回転可能な第 2 の輪帯状の 1 / 2 波長板 1 4 b を設ける必要がある。

【0090】

あるいは、図 22 に示すように、図 21 の第 1 の輪帯状の 1 / 2 波長板 1 4 a に代えて、中心面光源 4 1 a に向かう光束 3 1 a および内側周辺面光源 4 1 e に向かう光束 3 1 e の光路中に光軸 A X を中心として回転可能な第 1 の円形状の 1 / 2 波長板 1 4 c を設けると共に、図 21 の第 2 の輪帯状の 1 / 2 波長板 1 4 b に代えて、中心面光源 4 1 a に向かう光束 3 1 a、内側周辺面光源 4 1 e に向かう光束 3 1 e および外側周辺面光源 4 1 f に向かう光束 3 1 f の光路中に光軸 A X を中心として回転可能な第 2 の円形状の 1 / 2 波長板 1 4 d を設ける構成も可能である。

20

【0091】

図 22 の構成では、内側周辺面光源 4 1 e を通過する光束の偏光状態および外側周辺面光源 4 1 f を通過する光束の偏光状態を、ともに横偏光状態または縦偏光状態に設定することができる。また、内側周辺面光源 4 1 e を通過する光束の偏光状態を横偏光状態に設定し、外側周辺面光源 4 1 f を通過する光束の偏光状態を縦偏光状態に設定することもできる。また、内側周辺面光源 4 1 e を通過する光束の偏光状態を縦偏光状態に設定し、外側周辺面光源 4 1 f を通過する光束の偏光状態を横偏光状態に設定することもできる。

30

【0092】

一方、図 20 に示す偏光状態を実現するには、図 15 に示すプリズム対 6 に代えて 2 段式プリズム対 6 0 を配置し（あるいはプリズム対 6 をそのまま用いて）、図 15 に示す輪帯状の 1 / 2 波長板 1 4 に代えて、一方の対の内側周辺面光源 4 1 e 1 および 4 1 e 3 に向かう光束の光路中に第 1 の 1 / 2 波長板を設け、他方の対の内側周辺面光源 4 1 e 2 および 4 1 e 4 に向かう光束の光路中に第 2 の 1 / 2 波長板を設け、一方の対の外側周辺面光源 4 1 f 1 および 4 1 f 3 に向かう光束の光路中に第 3 の 1 / 2 波長板を設け、他方の対の外側周辺面光源 4 1 f 2 および 4 1 f 4 に向かう光束の光路中に第 4 の 1 / 2 波長板を設ける必要がある。

40

【0093】

以上のように、第 2 実施形態では、1 / 2 波長板 1 4 および偏角プリズム組立体 1 5 は、光軸 A X を中心とした中心面光源（一般には瞳面またはその近傍において光軸を含む中心領域としての第 1 領域）を通過する光束を非偏光状態に設定すると共に、光軸 A X から間隔を隔てた周辺面光源（一般には瞳面またはその近傍において光軸から間隔を隔てた 1 つまたは複数の周辺領域としての第 2 領域）を通過する光束を直線偏光状態（一般には偏光状態）に設定するための偏光設定手段を構成している。

【0094】

また、別の観点によれば、1 / 2 波長板 1 4 および偏角プリズム組立体 1 5 は、光軸 A

50

X から間隔を隔てた周辺面光源（一般には瞳面またはその近傍において光軸から間隔を隔てた 1 つまたは複数の周辺領域としての第 2 領域）を通過する光束の偏光状態を、光軸 A X を中心とした中心面光源（一般には瞳面またはその近傍において光軸を含む中心領域としての第 1 領域）を通過する光束の偏光状態とは独立に変更するための偏光状態変更手段を構成している。この偏光状態変更手段（14, 15）は、たとえば光軸 A X を中心とした中心面光源（第 1 領域）を通過する光束の状態を非偏光状態と直線偏光状態との間で変更する。

【0095】

また、この偏光状態変更手段（14, 15）は、たとえば光軸 A X から間隔を隔てた周辺面光源（第 2 領域）を通過する光束の偏光状態を互いに異なる方向に偏光面を有する 2 つの直線偏光状態の間で変更する。その結果、第 2 実施形態では、周辺面光源の位置および大きさに関して多様性に富んだ 3 極照明、5 極照明および 9 極照明を実現することができるという第 1 実施形態の効果に加えて、周辺面光源および中心面光源の偏光状態（非偏光状態を含む）に関して多様性に富んだ 3 極照明、5 極照明および 9 極照明を実現することができる。

【0096】

なお、上述の第 2 実施形態において、Z 方向 3 極照明用の回折光学素子 3 に代えて輪帯照明用の回折光学素子を照明光路中に設定するとともに、プリズム対 6 に代えて屈折面が平面状の中央部を有することなく 1 つの円錐部だけを有するプリズム対（以下、「円錐プリズム対」という）を用いることによって、輪帯照明を行うことができる。輪帯照明用の回折光学素子は、平行光束が入射した場合に、そのファーフィールドに、たとえば光軸 A X を中心とする円形状の光強度分布を形成する機能を有する。

【0097】

したがって、輪帯照明用の回折光学素子を介した光束は、アフォーカルレンズ 4 の瞳面に、光軸 A X を中心とする円形状の光強度分布を形成する。そして、円錐プリズム対の間に応じて、マイクロレンズアレイ 8 の入射面には光軸 A X を中心とする輪帯状の照野が形成される。その結果、マイクロレンズアレイ 8 の後側焦点面（照明光学装置の瞳面またはその近傍）には、図 23 (a) に示すように、光軸 A X を中心とする輪帯状の実質的な面光源 35 が形成される。

【0098】

通常、輪帯状の面光源を通過する光束は、その全体に亘って一定の偏光状態（非偏光状態を含む）を有する。これに対し、図 23 (a) に示す輪帯状の面光源 35 は、光軸 A X を中心とする円の周方向に沿って複数（図 23 では 8 つ）の領域 35a ~ 35h を有し、各領域 35a ~ 35h を通過する光束の偏光状態が、各領域 35a ~ 35h の中心において上記円にほぼ接する方向に沿った偏光面（図中両方向矢印で示す）を有する直線偏光状態に設定されている。

【0099】

図 23 (a) に示す偏光状態を実現するには、図 15 に示す輪帯状の 1/2 波長板 14 および偏角プリズム組立体 15 に代えて、たとえば図 23 (b) に示す位相部材組立体 16 を光路中に設定する必要がある。ここで、位相部材 16 は、輪帯状の面光源 35 を構成する 8 つの領域 35a ~ 35h に対応する 8 つの位相部材 16a ~ 16h を有し、各位相部材 16a ~ 16h は入射する直線偏光の光の偏光面を必要に応じて変化させる。具体的には、図中水平方向に偏光面を有する直線偏光すなわち横偏光の光が位相部材 16 に入射する場合、位相部材 16a および 16e は図中水平方向に対して 0 度の角度をなす方向に結晶光学軸を有する 1/2 波長板により形成されている。

【0100】

また、位相部材 16c および 16g は図中水平方向に対して 45 度の角度をなす方向に結晶光学軸を有する 1/2 波長板により形成されている。また、位相部材 16b および 16f は図中水平方向に対して反時計回りに 22.5 度の角度をなす方向に結晶光学軸を有する 1/2 波長板により形成されている。また、位相部材 16d および 16h は図中水平

10

20

30

40

50

方向に対して時計回りに 22.5 度の角度をなす方向に結晶光学軸を有する 1/2 波長板により形成されている。

【0101】

この構成により、マスク M またはウェハ W 上に照射される光を S 偏光を主成分とする偏光状態に設定することが可能である。なお、位相部材組立体 16 よりもウェハ W 側の光学系（照明光学系や投影光学系）が偏光収差（リターデーション）を有している場合には、この偏光収差（リターデーション）に起因して偏光方向がある。この場合には、これらの光学系の偏光収差の影響を考慮した上で、位相部材組立体 16 により偏光面を変化させる状態を設定すれば良い。また、位相部材組立体 16 よりもウェハ W 側の光学系（照明光学系や投影光学系）中に反射部材が配置されている場合、当該反射部材において反射光が偏光方向ごとに位相差を有することがある。この場合においても、反射面の偏光特性に起因する光束の位相差を考慮した上で、位相部材組立体 16 により偏光面を変化させる状態を設定すれば良い。ここで、上述の事項は、図 23 に示した変形例だけではなく、第 1 実施形態および第 2 実施形態にも適用することができる。なお、図 23 に示した変形例において、円周方向に偏光面を持つ輪帯状の面光源 35 に加えて、光軸 AX を中心とする円形状の中心面光源を形成するようにしても良い。

10

【0102】

上述の実施形態にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク（レチクル）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、上述の実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図 24 のフローチャートを参照して説明する。

20

【0103】

先ず、図 24 のステップ 301 において、1 ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ 302 において、その 1 ロットのウェハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ 303 において、上述の実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その 1 ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ 304 において、その 1 ロットのウェハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ 305 において、その 1 ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

30

【0104】

また、上述の実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図 25 のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図 25 において、パターン形成工程 401 では、上述の実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程 402 へ移行する。

40

【0105】

次に、カラーフィルター形成工程 402 では、R (Red)、G (Green)、B (Blue) に対応した 3 つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、または R、G、B の 3

50

本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。

【0106】

セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【0107】

なお、上述の実施形態では、露光光としてKrFエキシマレーザ光（波長：248nm）やArFエキシマレーザ光（波長：193nm）を用いているが、これに限定されることはなく、他の適当なレーザ光源、たとえば波長157nmのレーザ光を供給するF₂レーザ光源などに対して本発明を適用することもできる。さらに、上述の実施形態では、照明光学装置を備えた投影露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスク以外の被照射面を照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。

【0108】

また、上述の実施形態において、投影光学系と感光性基板との間の光路中を1.1よりも大きな屈折率を有する媒体（典型的には液体）で満たす手法、所謂液浸法を適用しても良い。この場合、投影光学系と感光性基板との間の光路中に液体を満たす手法としては、国際公開番号WO99/49504号公報に開示されているような局所的に液体を満たす手法や、特開平6-124873号公報に開示されているような露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる手法や、特開平10-303114号公報に開示されているようなステージ上に所定深さの液体槽を形成し、その中に基板を保持する手法などを採用することができる。

【0109】

なお、液体としては、露光光に対する透過性があつてできるだけ屈折率が高く、投影光学系や基板表面に塗布されているフォトトレジストに対して安定なものを用いることが好ましく、たとえばKrFエキシマレーザ光やArFエキシマレーザ光を露光光とする場合には、液体として純水、脱イオン水を用いることができる。また、露光光としてF₂レーザ光を用いる場合は、液体としてはF₂レーザ光を透過可能な例えはフッ素系オイルや過フッ化ポリエーテル（PFPF₂）等のフッ素系の液体を用いればよい。

【符号の説明】

【0110】

- 1 光源
- 3 回折光学素子
- 4 アフォーカルレンズ
- 6 プリズム対（アキシコン系）
- 7 ズームレンズ
- 8 マイクロレンズアレイ
- 9 コンデンサー光学系
- 10 マスクブラインド
- 11 結像光学系
- 12 1/4波長板
- 13 1/2波長板

10

20

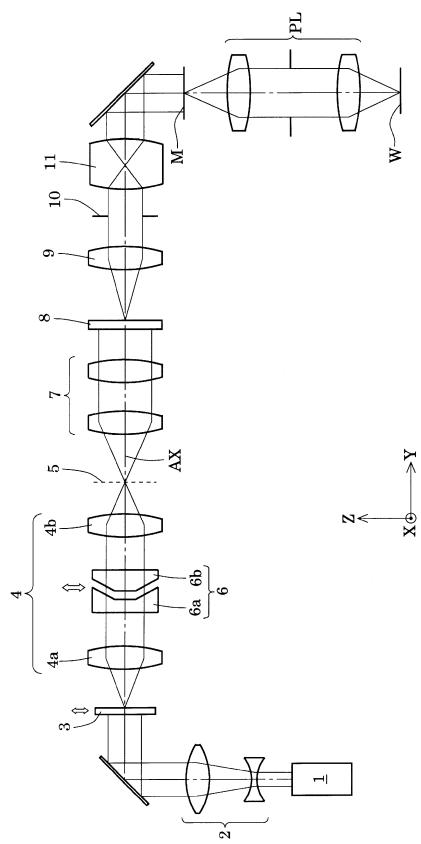
30

40

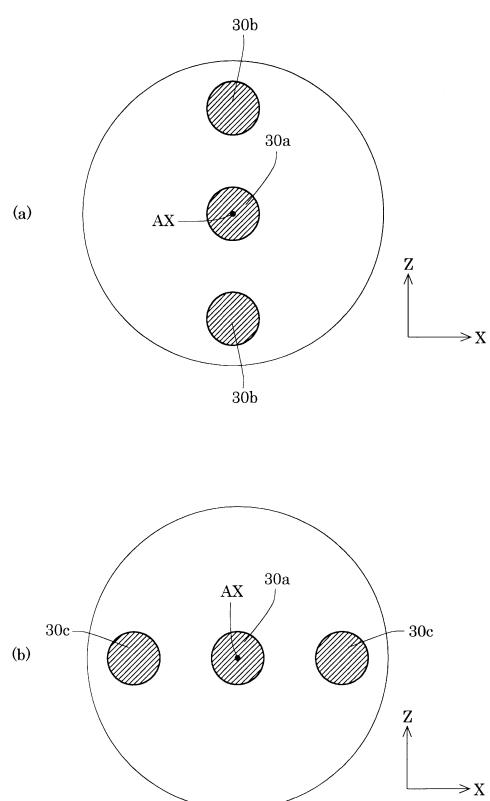
50

1 4 1 / 2 波長板
 1 5 偏光解消素子
 1 5 a 水晶偏角プリズム
 1 5 b 石英偏角プリズム
 M マスク
 P L 投影光学系
 W ウエハ

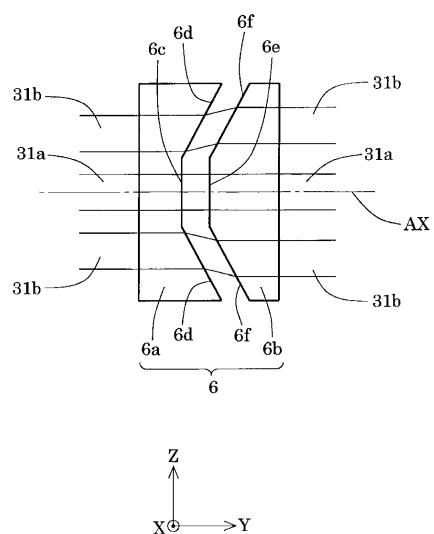
【図 1】



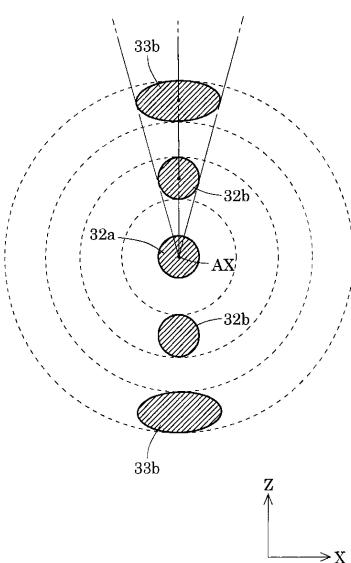
【図 2】



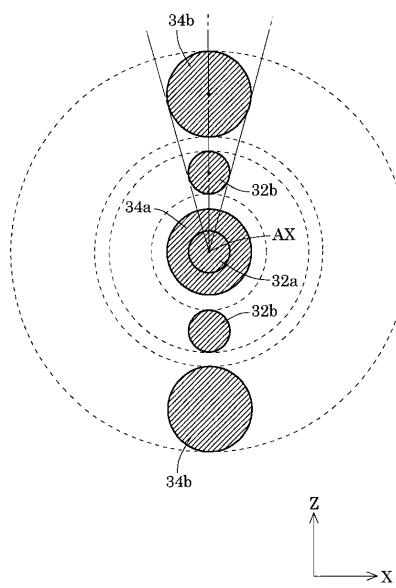
【図3】



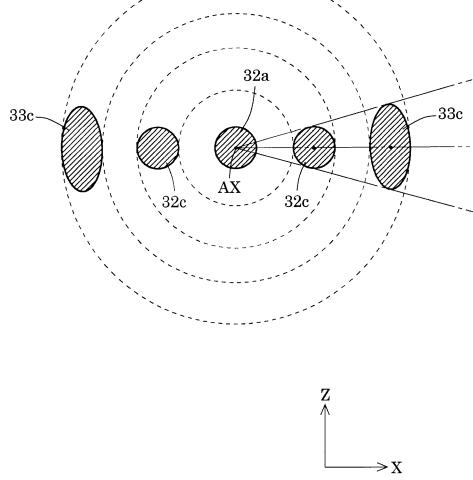
【図4】



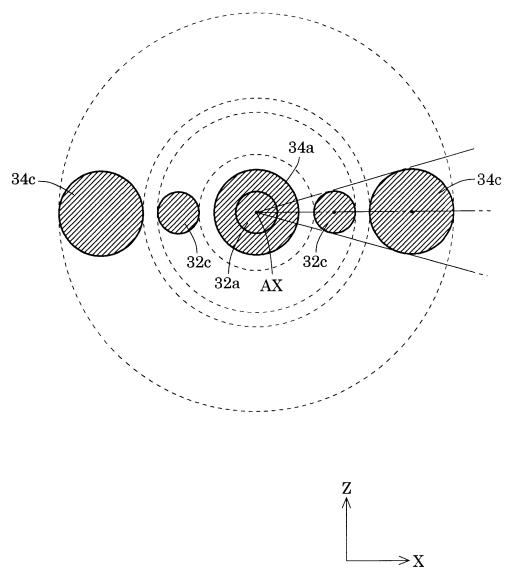
【図5】



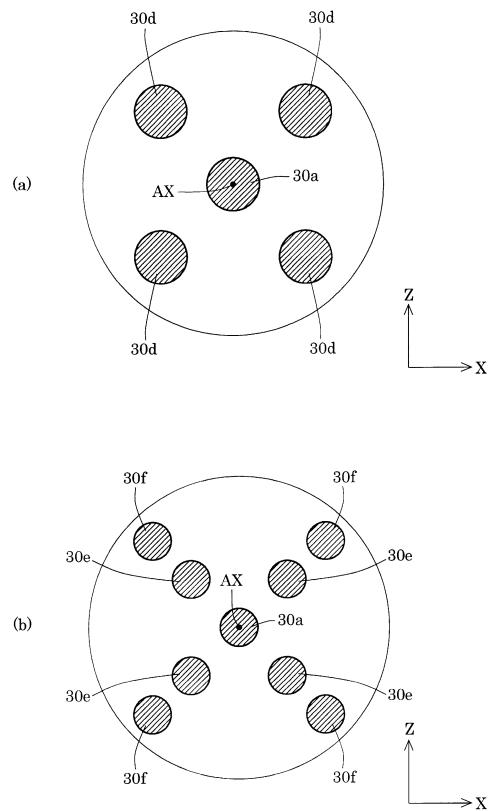
【図6】



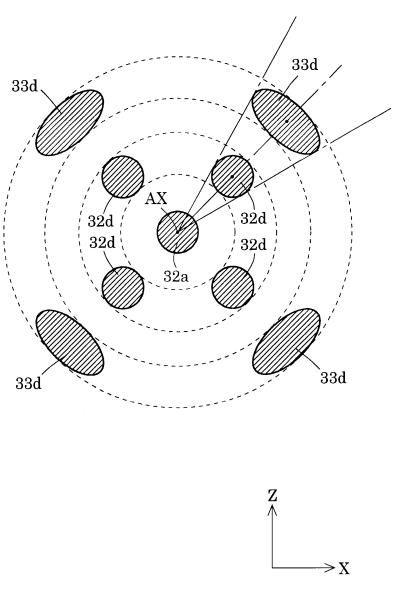
【図7】



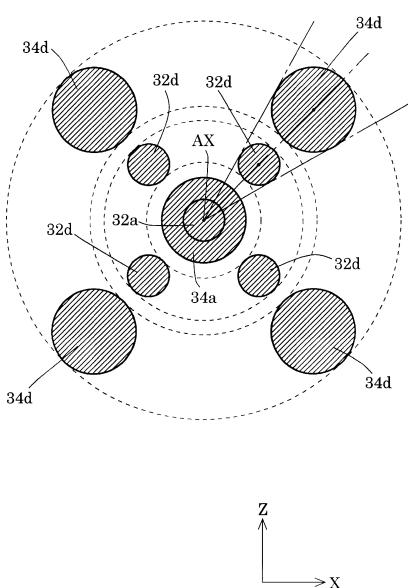
【図8】



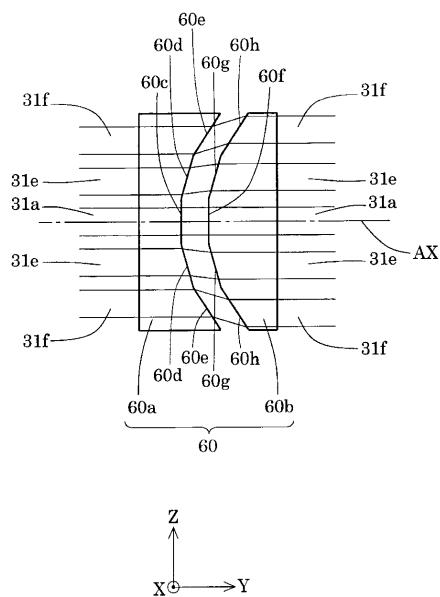
【図9】



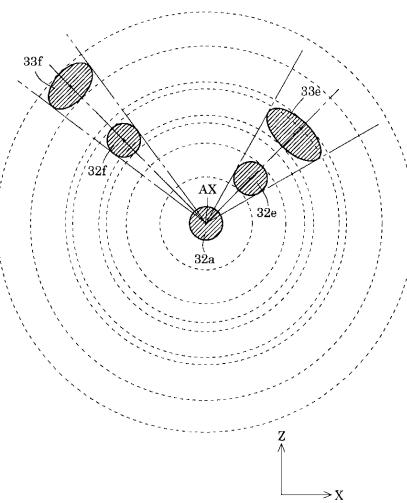
【図10】



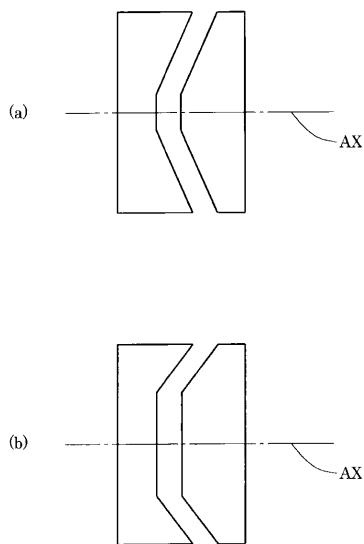
【図11】



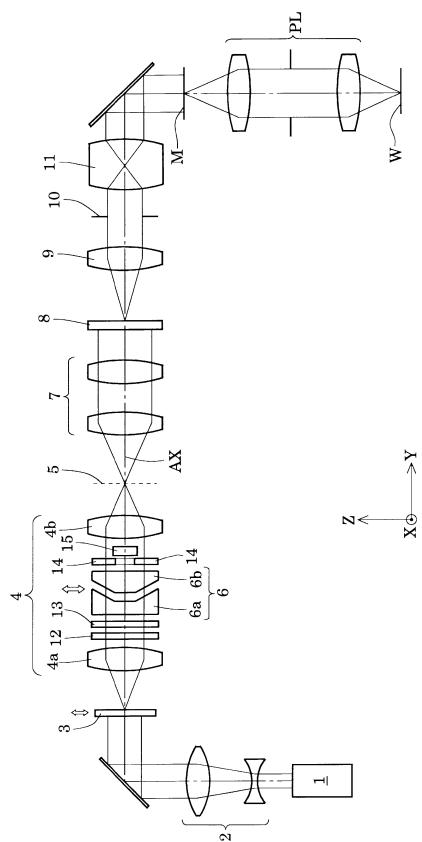
【図12】



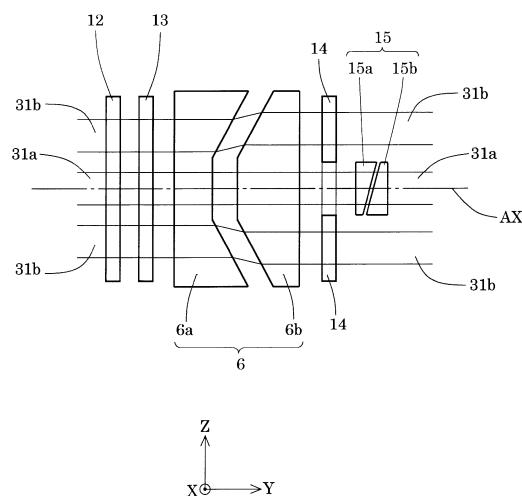
【図13】



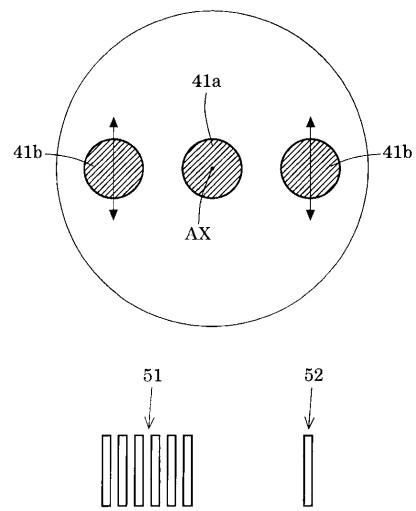
【図14】



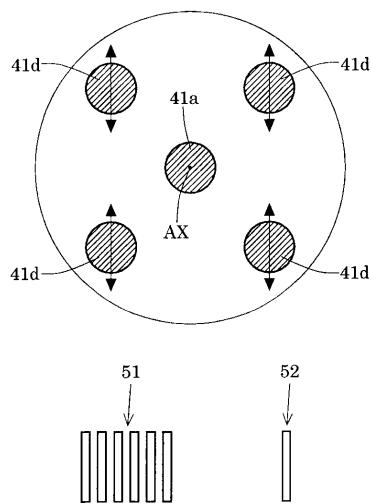
【図15】



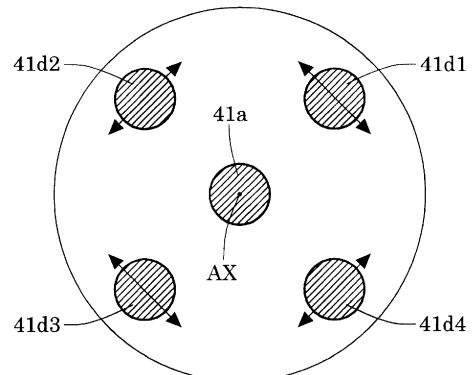
【図16】



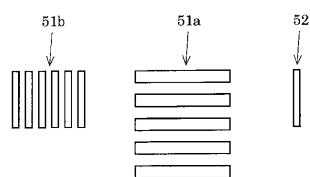
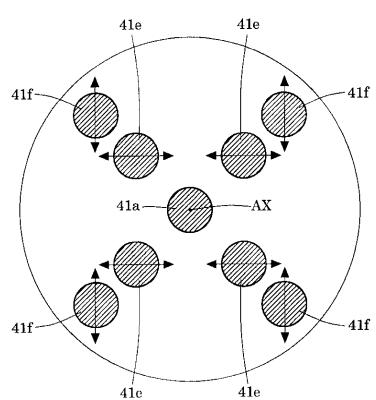
【図17】



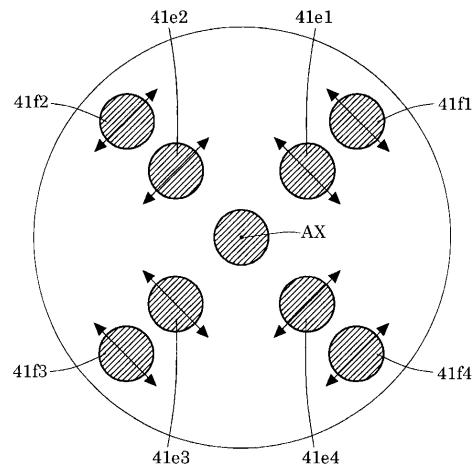
【図18】



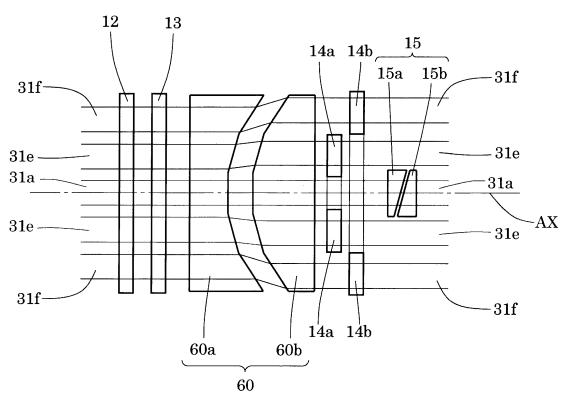
【図19】



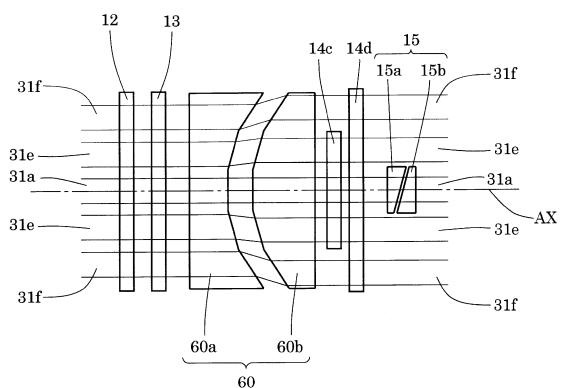
【図20】



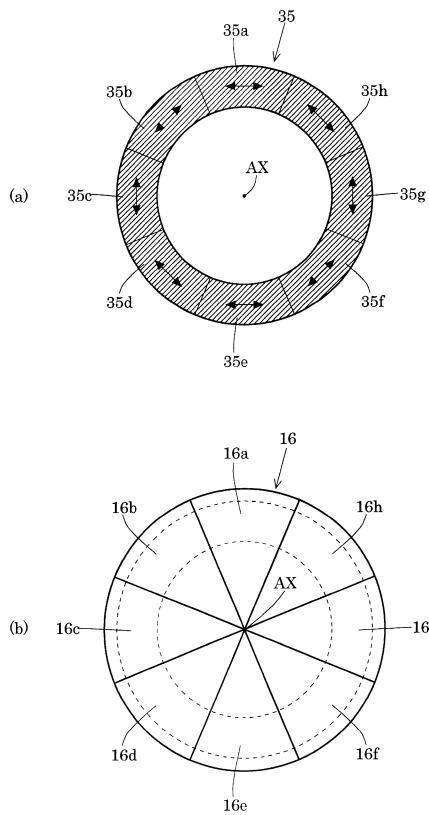
【図21】



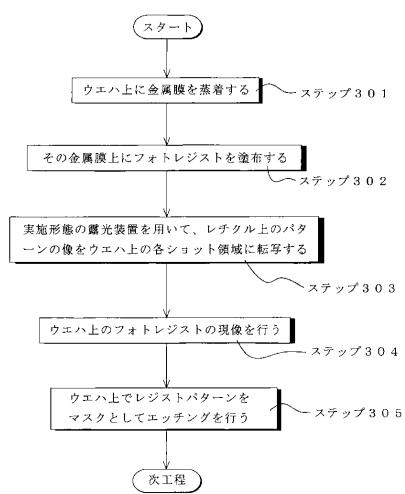
【図22】



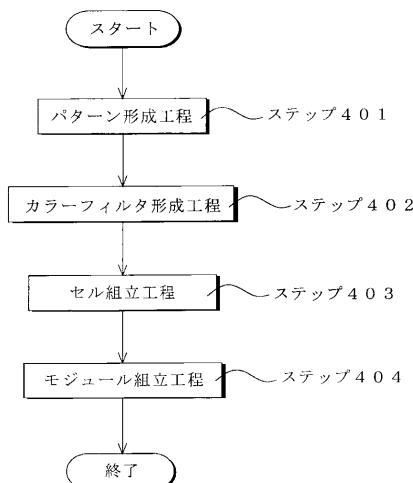
【図23】



【図24】



【図25】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 2 B 5/04 F
G 0 2 B 5/30

(72)発明者 工藤 威人
東京都港区港南二丁目15番3号 株式会社ニコン内

審査官 山口 敦司

(56)参考文献 特開2003-297727(JP, A)
特開平07-183201(JP, A)
特開2002-231619(JP, A)
特開平10-340846(JP, A)
特開平07-142327(JP, A)
再公表特許第2004/090952(JP, A1)
特開平06-053120(JP, A)
特開2017-173839(JP, A)
特許第6330830(JP, B2)
特許第5928632(JP, B2)
特許第5761329(JP, B2)
特許第5338863(JP, B2)
特許第4952800(JP, B2)
特許第4470095(JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 0 3 F 7 / 2 0
G 0 2 B 5 / 0 4
G 0 2 B 5 / 3 0
G 0 2 B 1 9 / 0 0
H 0 1 L 2 1 / 0 2 7