

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4693088号
(P4693088)

(45) 発行日 平成23年6月1日 (2011.6.1)

(24) 登録日 平成23年3月4日 (2011.3.4)

(51) Int.Cl.

F I

GO2B 19/00 (2006.01)

GO3F 7/20 (2006.01)

HO1L 21/027 (2006.01)

GO2B 19/00

GO3F 7/20 5 O 2

HO1L 21/30 5 I 5 D

請求項の数 31 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2004-44243 (P2004-44243)	(73) 特許権者	000004112
(22) 出願日	平成16年2月20日 (2004.2.20)		株式会社ニコン
(65) 公開番号	特開2005-236088 (P2005-236088A)		東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
(43) 公開日	平成17年9月2日 (2005.9.2)	(74) 代理人	100095256
審査請求日	平成19年1月5日 (2007.1.5)		弁理士 山口 孝雄
審判番号	不服2009-16044 (P2009-16044/J1)	(72) 発明者	西永 壽
審判請求日	平成21年9月1日 (2009.9.1)		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

合議体
審判長 木村 史郎
審判官 一宮 誠
審判官 柏崎 康司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明光学装置、露光装置、および露光方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源からの光束で被照射面を照明する照明光学装置において、
前記光源からの光束を分割するための分割素子と、
前記分割素子を介して分割された第1光束を導くための第1光学系と、
前記分割素子を介して分割された前記第1光束とは異なる第2光束を導くための、前記第1光学系とは独立した第2光学系と、
前記光源と前記分割素子との間の光路中に配置されて、前記分割素子の近傍での照度分布をほぼ均一化するための照度均一化手段と、を備え、
前記照度均一化手段は、前記光源からの光束を二次元的に分割する複数のレンズエレメントと、該複数のレンズエレメントからの光束を前記分割素子の近傍へ導くためのコンデンサーレンズとを備え、

前記第1光学系および前記第2光学系からの第1および第2光束を前記被照射面へ導くことを特徴とする照明光学装置。

【請求項 2】

前記第1光学系は、入射する光束を照明瞳面上の第1領域に対応する光束に変換するための第1光束変換素子を備え、

前記第2光学系は、入射する光束を前記照明瞳面上の第2領域に対応する光束に変換するための第2光束変換素子を備えていることを特徴とする請求項1に記載の照明光学装置。

。

【請求項 3】

照明瞳面上の第 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を備え、

前記照明瞳形成手段は、

前記分割素子と、

前記分割素子を介して分割された一方の光束を前記照明瞳面上の第 1 領域へ導くための前記第 1 光学系と、

前記分割素子を介して分割された他方の光束を前記第 1 光学系とは異なる光路に沿って前記照明瞳面上の第 2 領域へ導くための前記第 2 光学系と、

前記分割素子と前記照明瞳面との間の光路中に配置されて、前記第 1 光学系の光軸と前記第 2 光学系の光軸とを合成するための合成素子とを備えていることを特徴とする請求項 2 に記載の照明光学装置。

10

【請求項 4】

前記分割素子は、前記光源からの光束を波面分割して前記第 1 光学系および前記第 2 光学系へ導く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装置。

【請求項 5】

光源からの光束で被照射面を照明する照明光学装置において、

照明瞳面上の第 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、

照度均一化手段とを備え、

20

前記照明瞳形成手段は、

前記光源と前記照明瞳面との間の光路中に配置された分割素子と、

前記分割素子を介して分割された一方の光束を前記照明瞳面上の第 1 領域へ導くための第 1 光学系と、

前記分割素子を介して分割された他方の光束を前記第 1 光学系とは異なる光路に沿って前記照明瞳面上の第 2 領域へ導くための第 2 光学系と、

前記分割素子と前記照明瞳面との間の光路中に配置されて、前記第 1 光学系の光軸と前記第 2 光学系の光軸とを合成するための合成素子とを備え、

前記第 1 光学系は、入射する光束を前記第 1 領域に対応する光束に変換するための第 1 光束変換素子を備え、

30

前記第 2 光学系は、入射する光束を前記第 2 領域に対応する光束に変換するための第 2 光束変換素子を備え、

前記合成素子は、前記第 2 光学系の光軸上に配置され、

前記照度均一化手段は、前記光源と前記分割素子との間の光路中に配置されて、前記分割素子の近傍での照度分布をほぼ均一化することを特徴とする照明光学装置。

【請求項 6】

前記照明瞳形成手段は、前記分割素子を介して分割された光束を前記第 1 光学系および前記第 2 光学系とは異なる光路に沿って前記照明瞳面上の第 3 領域へ導くための第 3 光学系をさらに備えていることを特徴とする請求項 5 に記載の照明光学装置。

【請求項 7】

40

光源からの光束で被照射面を照明する照明光学装置において、

照明瞳面上の第 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 領域の形状と前記第 2 領域の形状とを互いに独立に変更する制御と、前記第 1 領域を通過する光束の偏光状態と前記第 2 領域を通過する光束の偏光状態とを互いに独立に変更する制御とを行うための照明瞳制御手段とを備え、

前記照明瞳形成手段は、前記光源からの光束を分割するための分割素子と、前記分割素子を介して分割された一方の光束を前記照明瞳面上の前記第 1 領域へ導くための第 1 光学系と、前記分割素子を介して分割された他方の光束を前記第 1 光学系とは異なる光路に沿って前記照明瞳面上の前記第 2 領域へ導くための第 2 光学系と、前記分割素子と前記照明

50

瞳面との間の光路中に配置されて、前記第 1 光学系の光軸と前記第 2 光学系の光軸とを合成するための合成素子とを有し、

前記光源と前記分割素子との間の光路中に配置されて、前記分割素子の近傍での照度分布をほぼ均一化するための照度均一化手段をさらに備え、

前記照度均一化手段は、前記光源からの光束を二次元的に分割する複数のレンズエレメントと、該複数のレンズエレメントからの光束を前記分割素子の近傍へ導くためのコンデンサーレンズとを備えていることを特徴とする照明光学装置。

【請求項 8】

前記分割素子は、前記光源からの光束を波面分割して前記第 1 光学系および前記第 2 光学系へ導くことを特徴とする請求項 7 に記載の照明光学装置。

10

【請求項 9】

前記照明瞳制御手段は、前記第 1 光学系の光路中に配置されて入射する光束を前記第 1 領域に対応する光束に変換するための第 1 光束変換素子と、前記第 2 光学系の光路中に配置されて入射する光束を前記第 2 領域に対応する光束に変換するための第 2 光束変換素子と、前記第 1 光束変換素子からの光束および前記第 2 光束変換素子からの光束に基づいて前記照明瞳面に前記照明瞳分布を形成するためのオプティカルインテグレータとを有することを特徴とする請求項 7 または 8 に記載の照明光学装置。

【請求項 10】

前記照明瞳制御手段は、前記第 1 光学系の光路中に配置されて前記第 1 領域の形状を変更するための第 1 形状変更手段と、前記第 2 光学系の光路中に配置されて前記第 2 領域の形状を変更するための第 2 形状変更手段とを有することを特徴とする請求項 7 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

20

【請求項 11】

前記第 1 形状変更手段は、前記第 1 光束変換素子と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置された第 1 アキシコン系を有し、

前記第 2 形状変更手段は、前記第 2 光束変換素子と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置された第 2 アキシコン系を有し、

前記第 1 アキシコン系および前記第 2 アキシコン系は、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 プリズムとをそれぞれ有し、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ていることを特徴とする請求項 10 に記載の照明光学装置。

30

【請求項 12】

前記第 1 形状変更手段は、前記第 1 光束変換素子と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置された第 1 変倍光学系を有し、

前記第 2 形状変更手段は、前記第 2 光束変換素子と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置された第 2 変倍光学系を有することを特徴とする請求項 11 に記載の照明光学装置。

【請求項 13】

前記照明瞳制御手段は、前記第 1 光学系の光路中に配置されて前記第 1 領域を通過する光束の偏光状態を変更するための第 1 偏光状態変更手段と、前記第 2 光学系の光路中に配置されて前記第 2 領域を通過する光束の偏光状態を変更するための第 2 偏光状態変更手段とを有することを特徴とする請求項 7 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

40

【請求項 14】

前記第 1 偏光状態変更手段は、前記第 1 光学系の光路中に配置されて入射する直線偏光の偏光方向を必要に応じて変化させるための第 1 位相部材を有し、

前記第 2 偏光状態変更手段は、前記第 2 光学系の光路中に配置されて入射する直線偏光の偏光方向を必要に応じて変化させるための第 2 位相部材を有することを特徴とする請求項 13 に記載の照明光学装置。

【請求項 15】

前記第 1 偏光状態変更手段は、前記第 1 光学系の光路に対して挿脱自在に構成されて、入

50

射する光を必要に応じて非偏光化するための第 1 偏光解消素子を有し、

前記第 2 偏光状態変更手段は、前記第 2 光学系の光路に対して挿脱自在に構成されて、入射する光を必要に応じて非偏光化するための第 2 偏光解消素子を有することを特徴とする請求項 1 3 または 1 4 に記載の照明光学装置。

【請求項 1 6】

前記照明瞳形成手段は、前記第 1 光学系の光路中に配置されて入射する光束を前記第 1 領域に対応する光束に変換するための第 1 光束変換素子と、前記第 2 光学系の光路中に配置されて入射する光束を前記第 2 領域に対応する光束に変換するための第 2 光束変換素子とを備え、

前記第 1 偏光状態変更手段は、前記分割素子と前記第 1 光束変換素子との間の光路中に配置されて入射する直線偏光の偏光方向を必要に応じて変化させるための第 1 位相部材と、前記分割素子と前記第 1 光束変換素子との間の前記光路中に挿脱自在に配置されて入射する光を必要に応じて非偏光化するための第 1 偏光解消素子とを備え、

前記第 2 偏光状態変更手段は、前記分割素子と前記第 2 光束変換素子との間の光路中に配置されて入射する直線偏光の偏光方向を必要に応じて変化させるための第 2 位相部材と、前記分割素子と前記第 1 光束変換素子との間の前記光路中に挿脱自在に配置されて入射する光を必要に応じて非偏光化するための第 2 偏光解消素子とを備えていることを特徴とする請求項 1 3 乃至 1 5 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 1 7】

前記照明瞳制御手段は、前記第 1 領域を通過する光束の光強度を変更するための第 1 光強度変更手段と、前記第 2 領域を通過する光束の光強度を変更するための第 2 光強度変更手段とを有することを特徴とする請求項 7 乃至 1 6 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 1 8】

前記第 1 光強度変更手段は前記第 1 光学系の光路中に配置され、前記第 2 光強度変更手段は前記第 2 光学系の光路中に配置されていることを特徴とする請求項 1 7 に記載の照明光学装置。

【請求項 1 9】

前記第 1 光強度変更手段は前記第 1 光学系の光路に対して選択的に挿脱自在な少なくとも 1 つの減光手段を有し、前記第 2 光強度変更手段は前記第 2 光学系の光路に対して選択的に挿脱自在な少なくとも 1 つの減光手段を有することを特徴とする請求項 1 8 に記載の照明光学装置。

【請求項 2 0】

前記第 1 光束変換素子および前記第 2 光束変換素子は光路に対してそれぞれ交換可能に構成されていることを特徴とする請求項 7 乃至 1 9 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 2 1】

前記第 1 領域は前記照明瞳面上において光軸を含む領域であり、前記第 2 領域は前記照明瞳面上において前記光軸から離れた領域であることを特徴とする請求項 5 乃至 2 0 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 2 2】

前記第 2 領域は輪帯状または複数極状であることを特徴とする請求項 2 1 に記載の照明光学装置。

【請求項 2 3】

前記オプティカルインテグレータからの光束を前記被照射面へ導くための導光光学系をさらに備えていることを特徴とする請求項 9 乃至 2 2 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 2 4】

前記照明瞳形成手段は、前記分割素子を介して分割された光束を前記第 1 光学系および前記第 2 光学系とは異なる光路に沿って前記照明瞳面上の第 3 領域へ導くための第 3 光学系をさらに備えていることを特徴とする請求項 5 乃至 2 3 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

10

20

30

40

50

【請求項 25】

前記第 1 光学系へ導かれる光束の光量と前記第 2 光学系へ導かれる光束の光量との比を変更する光量分割比変更手段を備えていることを特徴とする請求項 1 乃至 24 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 26】

前記第 1 光学系は前記第 1 光学系へ導かれる光束の光量を検出する第 1 光量検出部を備え、前記第 2 光学系は前記第 2 光学系へ導かれる光束の光量を検出する第 2 光量検出部を備えていることを特徴とする請求項 25 に記載の照明光学装置。

【請求項 27】

前記光量分割比変更手段は前記第 1 および第 2 光量検出部からの出力に応じて制御されることを特徴とする請求項 26 に記載の照明光学装置。

10

【請求項 28】

マスクを照明するための請求項 1 乃至 27 のいずれか 1 項に記載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。

【請求項 29】

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を特徴とする請求項 28 に記載の露光装置。

20

【請求項 30】

請求項 1 乃至 27 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置を用いてマスクを照明する照明工程と、

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。

【請求項 31】

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を特徴とする請求項 30 に記載の露光方法。

30

【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好適な照明光学装置に関するものである。

【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、オブティカルインテグレートとしてのフライアイレンズ（またはマイクロフライアイレンズ）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形成され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。

40

【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

50

化させて照明のコヒーレンシ（値＝開口絞り径／投影光学系の瞳径、あるいは値＝照明光学系の射出側開口数／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。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

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形状や光強度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。

10

【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形状や光強度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。

【０００７】

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。

20

【課題を解決するための手段】

【０００８】

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

照明瞳面上の第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領域の形状と前記第２領域の形状とを互いに独立に変更する制御と、前記第１領域を通過する光束の偏光状態と前記第２領域を通過する光束の偏光状態とを互いに独立に変更する制御とを行うための照明瞳制御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。

30

【０００９】

第１形態の好ましい態様によれば、前記光源からの光束を分割するための分割素子と、前記分割素子を介して分割された一方の光束を前記照明瞳面上の前記第１領域へ導くための第１光学系と、前記分割素子を介して分割された他方の光束を前記第１光学系とは異なる光路に沿って前記照明瞳面上の前記第２領域へ導くための第２光学系とを備えている。この場合、前記光源と前記分割素子との間の光路中に配置されて、前記分割素子の近傍での照度分布をほぼ均一化するための照度均一化手段を備えていることが好ましい。また、前記分割素子は、前記光源からの光束を波面分割して前記第１光学系および前記第２光学系へ導くことが好ましい。

40

【００１０】

また、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、前記第１光学系の光路中に配置されて入射する光束を前記第１領域に対応する光束に変換するための第１光束変換素子と、前記第２光学系の光路中に配置されて入射する光束を前記第２領域に対応する光束に変換するための第２光束変換素子と、前記第１光束変換素子からの光束および前記第２光束変換素子からの光束に基づいて前記照明瞳面に前記照明瞳分布を形成するためのオプティカルインテグレータとを有する。また、前記照明瞳制御手段は、前記第１光学系の光路中に配置されて前記第１領域の形状を変更するための第１形状変更手段と、前記第２光学系の光路中に配置されて前記第２領域の形状を変更するための第２形状変更手段

50

とを有することが好ましい。

【0011】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記第1形状変更手段は、前記第1光束変換素子と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置された第1アキシコン系を有し、前記第2形状変更手段は、前記第2光束変換素子と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置された第2アキシコン系を有し、前記第1アキシコン系および前記第2アキシコン系は、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プリズムとをそれぞれ有し、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ている。この場合、前記第1形状変更手段は、前記第1光束変換素子と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置された第1変倍光学系を有し、前記第2形状変更手段は、前記第2光束変換素子と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置された第2変倍光学系を有することが好ましい。

10

【0012】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記照明瞳制御手段は、前記第1光学系の光路中に配置されて前記第1領域を通過する光束の偏光状態を変更するための第1偏光状態変更手段と、前記第2光学系の光路中に配置されて前記第2領域を通過する光束の偏光状態を変更するための第2偏光状態変更手段とを有する。この場合、前記第1偏光状態変更手段は、前記第1光学系の光路中に配置されて入射する直線偏光の偏光方向を必要に応じて変化させるための第1位相部材を有し、前記第2偏光状態変更手段は、前記第2光学系の光路中に配置されて入射する直線偏光の偏光方向を必要に応じて変化させるための第2位相部材を有することが好ましい。また、前記第1偏光状態変更手段は、前記第1光学系の光路に対して挿脱自在に構成されて、入射する光を必要に応じて非偏光化するための第1偏光解消素子を有し、前記第2偏光状態変更手段は、前記第2光学系の光路に対して挿脱自在に構成されて、入射する光を必要に応じて非偏光化するための第2偏光解消素子を有することが好ましい。

20

【0013】

また、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、前記第1光学系の光路中に配置されて入射する光束を前記第1領域に対応する光束に変換するための第1光束変換素子と、前記第2光学系の光路中に配置されて入射する光束を前記第2領域に対応する光束に変換するための第2光束変換素子とを備え、前記第1偏光状態変更手段は、前記分割素子と前記第1光束変換素子との間の光路中に配置されて入射する直線偏光の偏光方向を必要に応じて変化させるための第1位相部材と、前記分割素子と前記第1光束変換素子との間の前記光路中に挿脱自在に配置されて入射する光を必要に応じて非偏光化するための第1偏光解消素子とを備え、前記第2偏光状態変更手段は、前記分割素子と前記第2光束変換素子との間の光路中に配置されて入射する直線偏光の偏光方向を必要に応じて変化させるための第2位相部材と、前記分割素子と前記第1光束変換素子との間の前記光路中に挿脱自在に配置されて入射する光を必要に応じて非偏光化するための第2偏光解消素子とを備えている。

30

【0014】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記照明瞳制御手段は、前記第1領域を通過する光束の光強度を変更するための第1光強度変更手段と、前記第2領域を通過する光束の光強度を変更するための第2光強度変更手段とを有する。この場合、前記第1光強度変更手段は前記第1光学系の光路中に配置され、前記第2光強度変更手段は前記第2光学系の光路中に配置されていることが好ましい。また、この場合、前記第1光強度変更手段は前記第1光学系の光路に対して選択的に挿脱自在な少なくとも1つの減光手段を有し、前記第2光強度変更手段は前記第2光学系の光路に対して選択的に挿脱自在な少なくとも1つの減光手段を有することが好ましい。

40

【0015】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記第1光束変換素子および前記第2光束変

50

換素子は光路に対してそれぞれ交換可能に構成されている。また、前記第1領域は前記照明瞳面上において光軸を含む領域であり、前記第2領域は前記照明瞳面上において前記光軸から離れた領域であることが好ましい。この場合、前記第2領域は輪帯状または複数極状であることが好ましい。また、前記オプティカルインテグレータからの光束を前記被照射面へ導くための導光光学系をさらに備えていることが好ましい。

【0016】

本発明の第2形態では、光源からの光束で被照射面を照明する照明光学装置において、照明瞳面上の第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を備え、

前記照明瞳形成手段は、

前記光源と前記照明瞳面との間の光路中に配置された分割素子と、

前記分割素子を介して分割された一方の光束を前記照明瞳面上の第1領域へ導くための第1光学系と、

前記分割素子を介して分割された他方の光束を前記第1光学系とは異なる光路に沿って前記照明瞳面上の第2領域へ導くための第2光学系と、

前記分割素子と前記照明瞳面との間の光路中に配置されて、前記第1光学系の光軸と前記第2光学系の光軸とを合成するための合成素子とを備え、

前記第1光学系は、入射する光束を前記第1領域に対応する光束に変換するための第1光束変換素子を備え、

前記第2光学系は、入射する光束を前記第2領域に対応する光束に変換するための第2光束変換素子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。

【0017】

第2形態の好ましい態様によれば、前記照明瞳形成手段は、前記分割素子を介して分割された光束を前記第1光学系および前記第2光学系とは異なる光路に沿って前記照明瞳面上の第3領域へ導くための第3光学系をさらに備えている。

【0018】

本発明の第3形態では、マスクを照明するための第1形態または第2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。

【0019】

本発明の第4形態では、第1形態または第2形態の照明光学装置を用いてマスクを照明する照明工程と、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】

【0020】

本発明の照明光学装置では、たとえば回折光学素子のような光束変換素子やマイクロフライアイレンズのようなオプティカルインテグレータなどの作用により、照明瞳面上の第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、たとえば5極状の二次光源を形成する。そして、たとえばアキシコン系や変倍光学系などの作用により、第1領域の形状と第2領域の形状とを互いに独立に変更する制御を行う。また、たとえば1/2波長板のような位相部材やデポラライザ（偏光解消素子）などの作用により、第1領域を通過する光束の偏光状態と第2領域を通過する光束の偏光状態とを互いに独立に変更する制御を行う。

【0021】

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

10

20

30

40

50

の形状や光強度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。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

図1は、本発明の実施形態にかかる露光装置の全体構成を概略的に示す図である。また、図2は、図1における制御ユニットの内部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。

10

【0023】

図1を参照すると、本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。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延びた矩形形状の断面を有し、一对のレンズ2aおよび2bからなるビームエキスパンダー2に入射する。各レンズ2aおよび2b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。

20

【0024】

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れ、所定の矩形形状の断面を有する光束に整形される。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、ミラー3で+Y方向に偏向された後、制御ユニット5へ導かれる。なお、ミラー3は、ミラー駆動部4の作用により光軸AXに対して傾動可能に構成されている。ミラー駆動部4は、後述する検出器19aおよび19bからの信号に基づいて、ミラー3の傾動を制御する。

【0025】

図2を参照すると、本実施形態の制御ユニット5へ導かれた光束は、たとえば縦横に且つ稠密に配列された多数の正レンズエレメントからなるフライアイレンズ11に入射する。フライアイレンズ11に入射した光束は、多数のレンズエレメントにより二次元的に分割され、その後側焦点面またはその近傍に多数の光源を形成する。フライアイレンズ11の後側焦点面またはその近傍に形成された多数光源からの光束は、コンデンサーレンズ12を介して集光された後、その後側焦点位置またはその近傍にほぼ均一な照度分布を有する照野を形成する。

30

【0026】

コンデンサーレンズ12の後側焦点位置またはその近傍には、分割素子としての直角プリズム13が配置されている。したがって、コンデンサーレンズ12を介して直角プリズム13に入射した光束のうち、その第1反射面13aに入射した光束は-Z方向に反射されて第1光学系へ導かれ、その第2反射面13bに入射した光束は+Z方向に反射されて第2光学系へ導かれる。第1光学系と第2光学系とは基本的に同じ構成を有するが、後述する回折光学素子20の特性だけが互いに相違している。

40

【0027】

そこで、図2において、第1光学系を構成する要素には参照番号に符号「a」を添付し、第2光学系を構成する対応要素には同じ参照番号に符号「b」を添付している。以下、第1光学系および第2光学系の構成および作用の説明に際して、第2光学系の対応する参照符号などを括弧内に記している。第1光学系（第2光学系）へ導かれた光束は、リレーレンズ14a（14b）を介して、ビームスプリッター15a（15b）に入射する。ビームスプリッター15a（15b）で+Y方向に反射された大部分の光束は、リレーレン

50

ズ 16 a (16 b) を介して、偏光状態変更部 17 a (17 b) に入射する。

【 0028 】

偏光状態変更部 17 a (17 b) は、光源側から順に、光路に対して挿脱可能に構成された 1 / 4 波長板 17 a a (17 b a) と、光路に対して挿脱可能に構成された 1 / 2 波長板 17 a b (17 b b) と、光路に対して挿脱可能に構成されたデポライザ (非偏光化素子) 17 a c (17 b c) とにより構成されている。なお、偏光状態変更部 17 a (17 b) の詳細な構成および作用については後述する。

【 0029 】

一方、ビームスプリッター 15 a (15 b) を透過した光束は、リレーレンズ 18 a (18 b) を介して検出器 19 a (19 b) に達する。ここで、コンデンサーレンズ 12 の後側焦点位置と検出器 19 a (19 b) の検出面とは、リレーレンズ 14 a (14 b) およびリレーレンズ 18 a (18 b) を介して、光学的にほぼ共役に配置されている。こうして、リレーレンズ 18 a (18 b) および検出器 19 a (19 b) は、第 1 光学系 (第 2 光学系) へ導かれた光束の光量 (光強度) を検出し、ひいては直角プリズム 13 における光量分割比を検出するための光量検出系を構成している。

【 0030 】

検出器 19 a (19 b) の出力信号は、ミラー駆動部 4 に供給される。ミラー駆動部 4 は、上述したように、検出器 19 a および 19 b からの信号に基づいてミラー 3 を所定角度だけ傾動させ、直角プリズム 13 の近傍に形成される照野を光軸直交方向 (Z 方向) に平行移動させる。換言すると、ミラー駆動部 4 からの指令に基づくミラー 3 の傾動により、直角プリズム 13 における光量分割比が変化し、ひいては第 1 光学系へ導かれる光束の光量 (光強度) と第 2 光学系へ導かれる光束の光量 (光強度) との比が変化する。

【 0031 】

偏光状態変更部 17 a (17 b) を通過した光束は、回折光学素子 20 a (20 b) を介して、アフォーカルレンズ 21 a (21 b) に入射する。ここで、直角プリズム 13 の反射面 13 a (13 b) と回折光学素子 20 a (20 b) とは、リレーレンズ 14 a (14 b) およびリレーレンズ 16 a (16 b) を介して、光学的にほぼ共役に配置されている。また、アフォーカルレンズ 21 a (21 b) は、その前側焦点位置と回折光学素子 20 a (20 b) 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 22 a (22 b) 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。

【 0032 】

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、第 1 光学系の光路中に配置された第 1 回折光学素子 20 a は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファースフィールド (またはフラウンホーファー回折領域) に円形状の光強度分布を形成する機能を有する。一方、第 2 光学系の光路中に配置された第 2 回折光学素子 20 b は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファースフィールド (またはフラウンホーファー回折領域) に 4 極状の光強度分布を形成する機能を有する。

【 0033 】

したがって、光束変換素子としての回折光学素子 20 a (20 b) に入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ 21 a (21 b) の瞳面またはその近傍に円形状 (4 極状) 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 21 a (21 b) から射出される。なお、アフォーカルレンズ 21 a (21 b) の前側レンズ群 21 a a (21 b a) と後側レンズ群 21 a b (21 b b) との間の光路中においてその瞳面またはその近傍には、円錐アキシコン系 23 a (23 b) 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。

【 0034 】

以下、説明を簡単にするために、円錐アキシコン系 23 a (23 b) の作用を無視して

10

20

30

40

50

、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 2 1 a (2 1 b) を介した光束は、値可変用のズームレンズ 2 4 a (2 4 b) およびリレーレンズ 2 5 a (2 5 b) を介して、第 1 光学系 (第 2 光学系) から射出される。第 1 光学系および第 2 光学系からそれぞれ射出された光束は、集光光学系 2 6 を介して、オプティカルインテグレートとしてのマイクロフライアイレンズ (またはフライアイレンズ) 6 に入射する。

【 0 0 3 5 】

なお、制御ユニット 5 において、フライアイレンズ 1 1 の入射面と、直角プリズム 1 3 の反射面 1 3 a (1 3 b) と、検出器 1 9 a (1 9 b) の検出面と、回折光学素子 2 0 a (2 0 b) と、所定面 2 2 a (2 2 b) と、リレーレンズ 2 5 a (2 5 b) の後側焦点面 (あるいは集光光学系 2 6 の前側焦点面) とが光学的にほぼ共役になっている。また、フライアイレンズ 1 1 の後側焦点面 (あるいは射出面) と、ビームスプリッター 1 5 a (1 5 b) と、円錐アキシコン系 2 3 a (2 3 b) と、ズームレンズ 2 4 a (2 4 b) の後側焦点面 (あるいはリレーレンズ 2 5 a (2 5 b) の前側焦点面) とが光学的にほぼ共役になっている。

【 0 0 3 6 】

マイクロフライアイレンズ 6 は、たとえば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、マイクロフライアイレンズは、たとえば平行平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、マイクロフライアイレンズ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、マイクロフライアイレンズは、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。

【 0 0 3 7 】

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フライアイレンズ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トである。なお、所定面 2 2 a (2 2 b) の位置はズームレンズ 2 4 a (2 4 b) の前側焦点位置またはその近傍に配置され、ズームレンズ 2 4 a (2 4 b) の後側焦点位置とリレーレンズ 2 5 a (2 5 b) の前側焦点位置とはほぼ一致している。さらに、リレーレンズ 2 5 a (2 5 b) の後側焦点位置は集光光学系 2 6 の前側焦点面またはその近傍に配置され、集光光学系 2 6 の後側焦点位置またはその近傍にマイクロフライアイレンズ 6 の入射面が配置されている。

【 0 0 3 8 】

換言すると、ズームレンズ 2 4 a (2 4 b) とリレーレンズ 2 5 a (2 5 b) と集光光学系 2 6 とは、所定面 2 2 a (2 2 b) とマイクロフライアイレンズ 6 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 2 1 a (2 1 b) の瞳面とマイクロフライアイレンズ 6 の入射面とを光学的にほぼ共役配置している。したがって、マイクロフライアイレンズ 6 の入射面上には、第 1 光学系中の第 1 アフォーカルレンズ 2 1 a の瞳面またはその近傍に形成される円形状の光強度分布と、第 2 光学系中の第 2 アフォーカルレンズ 2 1 b の瞳面またはその近傍に形成される 4 極状の光強度分布との合成からなる 5 極状の照野が形成される。この 5 極状の照野の全体形状は、ズームレンズ 2 4 a (2 4 b) の焦点距離に依存して相似的に変化する。

【 0 0 3 9 】

マイクロフライアイレンズ 6 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面を有する。マイクロフライアイレンズ 6 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、その後側焦点面またはその近傍に (ひいては照明瞳面に) 、マイクロフライアイレンズ 6 の入射面に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、すなわち図 3 に示すように例えば光軸 A X を中心とした円形状の実質的な面光源 4 0 a と、例えば光軸 A X に関して対称的に配置された 4 つの円弧状の実質的な面光源 4 0 b 1 ~ 4 0 b 4 とからなる 5 極状の二次光源 4 0 が形成される。

【 0 0 4 0 】

マイクロフライアイレンズ 6 の後側焦点面またはその近傍に形成された 5 極状の二次光源（照明瞳分布）からの光束は、ビームスプリッター 7 a およびコンデンサー光学系 8 を介した後、マスクブラインド 9 を重疊的に照明する。こうして、照明視野絞りとしてのマスクブラインド 9 には、マイクロフライアイレンズ 6 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。なお、ビームスプリッター 7 a を内蔵する偏光モニター 7 の内部構成および作用については後述する。マスクブラインド 9 の矩形状の開口部（光透過部）を介した光束は、結像光学系 1 0 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 を重疊的に照明する。

【 0 0 4 1 】

10

すなわち、結像光学系 1 0 は、マスクブラインド 9 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。マスクステージ M S により保持されたマスク M のパターンを透過した光束は、投影光学系 P L を介して、ウェハステージ W S により保持されたウェハ（感光性基板）W 上にマスクパターンの像を形成する。ここで、マイクロフライアイレンズ 6 の後側焦点面またはその近傍の照明瞳面は、投影光学系 P L の瞳位置とほぼ共役に位置決めされている。こうして、投影光学系 P L の光軸 A X と直交する平面（X Y 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。

【 0 0 4 2 】

なお、偏光状態変更部 1 7 a（1 7 b）において、1 / 4 波長板 1 7 a a（1 7 b a）は、光軸 A X を中心として結晶光学軸が回転自在に構成されて、入射する楕円偏光の光を直線偏光の光に変換する。また、1 / 2 波長板 1 7 a b（1 7 b b）は、光軸 A X を中心として結晶光学軸が回転自在に構成されて、入射する直線偏光の偏光面を変化させる。また、デポライザ 1 7 a c（1 7 b c）は、相補的な形状を有する楔形状の水晶プリズムと楔形状の石英プリズムとにより構成されている。水晶プリズムと石英プリズムとは、一体的なプリズム組立体として、照明光路に対して挿脱自在に構成されている。

20

【 0 0 4 3 】

光源 1 として K r F エキシマレーザ光源や A r F エキシマレーザ光源を用いる場合、これらの光源から射出される光は典型的には 9 5 % 以上の偏光度を有し、1 / 4 波長板 1 7 a a（1 7 b a）にはほぼ直線偏光の光が入射する。しかしながら、光源 1 と偏光状態変更部 1 7 a（1 7 b）との間の光路中に裏面反射鏡としての直角プリズムが介在する場合、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楕円偏光に変わる。

30

【 0 0 4 4 】

偏光状態変更部 1 7 a（1 7 b）では、たとえば直角プリズムでの全反射に起因して楕円偏光の光が入射しても、1 / 4 波長板 1 7 a a（1 7 b a）の作用により変換された直線偏光の光が 1 / 2 波長板 1 7 a b（1 7 b b）に入射する。1 / 2 波長板 1 7 a b（1 7 b b）の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して 0 度または 9 0 度の角度をなすように設定された場合、1 / 2 波長板 1 7 a b（1 7 b b）に入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。

40

【 0 0 4 5 】

また、1 / 2 波長板 1 7 a b（1 7 b b）の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して 4 5 度の角度をなすように設定された場合、1 / 2 波長板 1 7 a b（1 7 b b）に入射した直線偏光の光は偏光面が 9 0 度だけ変化した直線偏光の光に変換される。さらに、デポライザ 1 7 a c（1 7 b c）の水晶プリズムの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して 4 5 度の角度をなすように設定された場合、水晶プリズムに入射した直線偏光の光は非偏光状態の光に変換（非偏光化）される。

【 0 0 4 6 】

偏光状態変更部 1 7 a（1 7 b）では、デポライザ 1 7 a c（1 7 b c）が照明光路中に位置決めされたときに水晶プリズムの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対し

50

て45度の角度をなすように構成されている。ちなみに、水晶プリズムの結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定された場合、水晶プリズムに入射した直線偏光の光は偏光面が変化することなくそのまま通過する。また、1/2波長板17a b (17b b)の結晶光学軸が入射する直線偏光の偏光面に対して22.5度の角度をなすように設定された場合、1/2波長板17a b (17b b)に入射した直線偏光の光は、偏光面が変化することなくそのまま通過する直線偏光成分と偏光面が90度だけ変化した直線偏光成分とを含む非偏光状態の光に変換される。

【0047】

偏光状態変更部17a (17b)では、上述したように、直線偏光の光が1/2波長板17a b (17b b)に入射するが、以下の説明を簡単にするために、図2においてZ方向に偏光方向(電場の方向)を有する直線偏光(以下、「Z方向偏光」と称する)の光が1/2波長板17a b (17b b)に入射するものとする。デポライザ17a c (17b c)を照明光路中に位置決めした場合、1/2波長板17a b (17b b)の結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面(偏光方向)に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板17a b (17b b)に入射したZ方向偏光の光は偏光面が変化することなくZ方向偏光のまま通過してデポライザ17a c (17b c)の水晶プリズムに入射する。水晶プリズムの結晶光学軸は入射するZ方向偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定されているので、水晶プリズムに入射したZ方向偏光の光は非偏光状態の光に変換される。

【0048】

水晶プリズムを介して非偏光化された光は、光の進行方向を補償するためのコンペンセータとしての石英プリズムを介して、非偏光状態で回折光学素子20a (20b)に入射する。一方、1/2波長板17a b (17b b)の結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板17a b (17b b)に入射したZ方向偏光の光は偏光面が90度だけ変化し、図2においてX方向に偏光方向(電場の方向)を有する直線偏光(以下、「X方向偏光」と称する)の光になってデポライザ17a c (17b c)の水晶プリズムに入射する。水晶プリズムの結晶光学軸は入射するX方向偏光の偏光面に対しても45度の角度をなすように設定されているので、水晶プリズムに入射したX方向偏光の光は非偏光状態の光に変換され、石英プリズムを介して、非偏光状態で回折光学素子20a (20b)に入射する。

【0049】

これに対し、デポライザ17a c (17b c)を照明光路から退避させた場合、1/2波長板17a b (17b b)の結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板17a b (17b b)に入射したZ方向偏光の光は偏光面が変化することなくZ方向偏光のまま通過し、Z方向偏光状態で回折光学素子20a (20b)に入射する。一方、1/2波長板17a b (17b b)の結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板17a b (17b b)に入射したZ方向偏光の光は偏光面が90度だけ変化してX方向偏光の光になり、X方向偏光状態で回折光学素子20a (20b)に入射する。

【0050】

以上のように、偏光状態変更部17a (17b)では、デポライザ17a c (17b c)を照明光路中に挿入して位置決めすることにより、非偏光状態の光を回折光学素子20a (20b)に入射させることができる。また、デポライザ17a c (17b c)を照明光路から退避させ且つ1/2波長板17a b (17b b)の結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定することにより、Z方向偏光状態の光を回折光学素子20a (20b)に入射させることができる。さらに、デポライザ17a c (17b c)を照明光路から退避させ且つ1/2波長板17a b (17b b)の結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して45度をなすように設定することにより、X方向偏光状態の光を回折光学素子20a (20b)に入射させること

10

20

30

40

50

ができる。

【 0 0 5 1 】

換言すれば、 $1/4$ 波長板 17 a a (17 b a) と $1/2$ 波長板 17 a b (17 b b) とデポライザ 17 a c (17 b c) とからなる偏光状態変更部 17 a (17 b) の作用により、回折光学素子 20 a (20 b) への入射光の偏光状態を、ひいては二次光源 40 の円形状の面光源 40 a (4 極状の面光源 40 b 1 ~ 40 b 4) を通過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、直線偏光状態の場合には互いに直交する偏光状態間 (Z 方向偏光と X 方向偏光との間) で切り換えることができる。

【 0 0 5 2 】

また、一般的には、 $1/2$ 波長板 17 a b (17 b b) の作用により、回折光学素子 20 a (20 b) への入射光の偏光状態を、任意方向に偏光方向を有する直線偏光状態に設定することもできる。さらに、偏光状態変更部 17 a (17 b) では、 $1/2$ 波長板 17 a b (17 b b) およびデポライザ 17 a c (17 b c) をともに照明光路から退避させ、且つ $1/4$ 波長板 17 a a (17 b a) の結晶光学軸を入射する楕円偏光に対して所定の角度をなすように設定することにより、円偏光状態の光を回折光学素子 20 a (20 b) に入射させることができる。

【 0 0 5 3 】

次に、円錐アキシコン系 23 a (23 b) は、光源側から順に、光源側 (光入射側) に平面を向け且つマスク側 (光射出側) に凹円錐状の屈折面を向けた第 1 プリズム部材 23 a a (23 b a) と、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸円錐状の屈折面を向けた第 2 プリズム部材 23 a b (23 b b) とから構成されている。そして、第 1 プリズム部材 23 a a (23 b a) の凹円錐状の屈折面と第 2 プリズム部材 23 a b (23 b b) の凸円錐状の屈折面とは、互いに当接可能なように相補的に形成されている。また、第 1 プリズム部材 23 a a (23 b a) および第 2 プリズム部材 23 a b (23 b b) のうち少なくとも一方の部材が光軸 A X に沿って移動可能に構成され、第 1 プリズム部材 23 a a (23 b a) の凹円錐状の屈折面と第 2 プリズム部材 23 a b (23 b b) の凸円錐状の屈折面との間隔が可変に構成されている。

【 0 0 5 4 】

ここで、第 1 プリズム部材 23 a a (23 b a) の凹円錐状屈折面と第 2 プリズム部材 23 a b (23 b b) の凸円錐状屈折面とが互いに当接している状態では、円錐アキシコン系 23 a (23 b) は平行平板として機能し、形成される二次光源 40 を構成する円形状 (4 極状) の面光源 40 a (40 b) に及ぼす影響はない。しかしながら、第 1 プリズム部材 23 a a (23 b a) の凹円錐状屈折面と第 2 プリズム部材 23 a b (23 b b) の凸円錐状屈折面とを離間させると、円錐アキシコン系 23 a (23 b) は、いわゆるビームエキスパンダーとして機能する。したがって、円錐アキシコン系 23 a (23 b) の間隔の変化に伴って、所定面 22 a (22 b) への入射光束の角度は変化する。

【 0 0 5 5 】

図 4 は、二次光源を構成する 4 極状の面光源に対する円錐アキシコン系の作用を説明する図である。図 4 を参照すると、第 2 光学系中の円錐アキシコン系 23 b の間隔が零で且つズームレンズ 24 b の焦点距離が最小値に設定された状態 (以下、「標準状態」という) で形成された最も小さい 4 極状の面光源 41 b 1 ~ 41 b 4 が、円錐アキシコン系 23 b の間隔を零から所定の値まで拡大させることにより、その幅 (外接円の直径である外径と内接円の直径である内径との差の $1/2$: 図中両方向矢印で示す) が変化することなく、その外径および内径がともに拡大された 4 極状の面光源 42 b 1 ~ 42 b 4 に変化する。換言すると、円錐アキシコン系 23 b の作用により、4 極状の面光源の幅が変化することなく、その輪帯比 (内径 / 外径) および大きさ (外径) がともに変化する。

【 0 0 5 6 】

一方、図示を省略するが、ズームレンズ 24 b の標準状態で形成された 4 極状の面光源は、ズームレンズ 24 b の焦点距離を最小値から所定の値へ拡大させることにより、その

10

20

30

40

50

全体形状が相似的に拡大された4極状の面光源に変化する。換言すると、ズームレンズ24bの変倍作用により、4極状の面光源40b1~40b4の全体が相似的に拡大または縮小され、その輪帯比が変化することなく、その幅および大きさ(外径)がともに変化する。同様に、第1光学系中のズームレンズ24aの変倍作用により、円形状の面光源40aが相似的に拡大または縮小される。なお、第1光学系中の円錐アキシコン系23aの作用により、必要に応じて円形状の面光源40aを輪帯状の面光源に変換し、その幅(外径と内径との差の1/2)を変化させることなく、その輪帯比(内径/外径)および大きさ(外径)をともに変化させることもできる。

【0057】

図5は、5極状の二次光源に対する円錐アキシコン系とズームレンズとの協働作用を説明する図である。本実施形態では、第1光学系中のズームレンズ24aの変倍作用により、図5(a)に示すように円形状の面光源を比較的小さくしたり、図5(b)に示すように円形状の面光源を比較的大きくしたりすることができる。また、第2光学系中の円錐アキシコン系23bとズームレンズ24bとの協働作用により、大きさ(外径)を一定に保ちつつ、図5(a)に示すように4極状の面光源の幅を比較的大きくしたり、図5(b)に示すように4極状の面光源の幅を比較的小さくしたりすることができる。

【0058】

すなわち、図5に示す例に限定されることなく、一般的に、第1光学系中のズームレンズ24aの変倍作用により、4極状の面光源とは独立して円形状の面光源を相似的に拡大または縮小することができる。また、第2光学系中の円錐アキシコン系23bとズームレンズ24bとの協働作用により、円形状の面光源とは独立して、4極状の面光源の幅、輪帯比(内径/外径)、大きさ(外径)などの形状パラメータを変化させることができる。さらに、必要に応じて、第1光学系中の円錐アキシコン系23aとズームレンズ24aとの協働作用により、円形状の面光源を輪帯状の面光源に変換し、その幅、輪帯比(内径/外径)、大きさ(外径)などの形状パラメータを変化させることができる。

【0059】

図6は、図1の偏光モニターの内部構成を概略的に示す斜視図である。図6を参照すると、偏光モニター7は、マイクロフライアイレンズ6とコンデンサー光学系8との間の光路中に配置された第1ビームスプリッター7aを備えている。第1ビームスプリッター7aは、たとえば石英ガラスにより形成されたノンコート(すなわち素ガラス)の形態を有し、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光を光路から取り出す機能を有する。

【0060】

第1ビームスプリッター7aにより光路から取り出された光は、第2ビームスプリッター7bに入射する。第2ビームスプリッター7bは、第1ビームスプリッター7aと同様に、例えば石英ガラスにより形成されたノンコート(すなわち素ガラス)の形態を有し、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光を発生させる機能を有する。そして、第1ビームスプリッター7aに対するP偏光が第2ビームスプリッター7bに対するS偏光になり、且つ第1ビームスプリッター7aに対するS偏光が第2ビームスプリッター7bに対するP偏光になるように設定されている。

【0061】

また、第2ビームスプリッター7bを透過した光は第1光強度検出器7cにより検出され、第2ビームスプリッター7bで反射された光は第2光強度検出器7dにより検出される。第1光強度検出器7cおよび第2光強度検出器7dの出力は、それぞれ制御部(不図示)に供給される。制御部は、偏光状態変更部17a(17b)を構成する1/4波長板17aa(17ba)、1/2波長板17ab(17bb)およびデポラライザ17ac(17bc)を必要に応じて駆動する。

【0062】

上述のように、第1ビームスプリッター7aおよび第2ビームスプリッター7bにおいて、P偏光に対する反射率とS偏光に対する反射率とが実質的に異なっている。したがっ

10

20

30

40

50

て、偏光モニター 7 では、第 1 ビームスプリッター 7 a からの反射光が、例えば第 1 ビームスプリッター 7 a への入射光の 10 % 程度の S 偏光成分（第 1 ビームスプリッター 7 a に対する S 偏光成分であって第 2 ビームスプリッター 7 b に対する P 偏光成分）と、例えば第 1 ビームスプリッター 7 a への入射光の 1 % 程度の P 偏光成分（第 1 ビームスプリッター 7 a に対する P 偏光成分であって第 2 ビームスプリッター 7 b に対する S 偏光成分）とを含むことになる。

【 0 0 6 3 】

また、第 2 ビームスプリッター 7 b からの反射光は、例えば第 1 ビームスプリッター 7 a への入射光の $10 \% \times 1 \% = 0.1 \%$ 程度の P 偏光成分（第 1 ビームスプリッター 7 a に対する P 偏光成分であって第 2 ビームスプリッター 7 b に対する S 偏光成分）と、例えば第 1 ビームスプリッター 7 a への入射光の $1 \% \times 10 \% = 0.1 \%$ 程度の S 偏光成分（第 1 ビームスプリッター 7 a に対する S 偏光成分であって第 2 ビームスプリッター 7 b に対する P 偏光成分）とを含むことになる。

10

【 0 0 6 4 】

こうして、偏光モニター 7 では、第 1 ビームスプリッター 7 a が、その反射特性に応じて、入射光の偏光状態とは異なる偏光状態の反射光を光路から取り出す機能を有する。その結果、第 2 ビームスプリッター 7 b の偏光特性による偏光変動の影響を僅かに受けるものの、第 1 光強度検出器 7 c の出力（第 2 ビームスプリッター 7 b の透過光の強度に関する情報、すなわち第 1 ビームスプリッター 7 a からの反射光とほぼ同じ偏光状態の光の強度に関する情報）に基づいて、第 1 ビームスプリッター 7 a への入射光の偏光状態（偏光度）を、ひいてはマスク M やウェハ W への照明光の偏光状態を検知することができる。

20

【 0 0 6 5 】

また、偏光モニター 7 では、第 1 ビームスプリッター 7 a に対する P 偏光が第 2 ビームスプリッター 7 b に対する S 偏光になり且つ第 1 ビームスプリッター 7 a に対する S 偏光が第 2 ビームスプリッター 7 b に対する P 偏光になるように設定されている。その結果、第 2 光強度検出器 7 d の出力（第 1 ビームスプリッター 7 a および第 2 ビームスプリッター 7 b で順次反射された光の強度に関する情報）に基づいて、第 1 ビームスプリッター 7 a への入射光の偏光状態の変化の影響を実質的に受けることなく、第 1 ビームスプリッター 7 a への入射光の光量（強度）を、ひいてはマスク M への照明光の光量を検知することができる。

30

【 0 0 6 6 】

こうして、偏光モニター 7 を用いて、第 1 ビームスプリッター 7 a への入射光の偏光状態を検知し、ひいてはマスク M への照明光が所望の非偏光状態、直線偏光状態または円偏光状態になっているか否かを判定することができる。そして、制御部が偏光モニター 7 の検知結果に基づいてマスク M（ひいてはウェハ W）への照明光が所望の非偏光状態、直線偏光状態または円偏光状態になっていないことを確認した場合、偏光状態変更部 17 a（17 b）を構成する $1/4$ 波長板 17 a a（17 b a）、 $1/2$ 波長板 17 a b（17 b b）およびデポライザ 17 a c（17 b c）を駆動調整し、マスク M への照明光の状態を所望の非偏光状態、直線偏光状態または円偏光状態に調整することができる。

40

【 0 0 6 7 】

本実施形態では、上述したように、直角プリズム 13 が、光源 1 からの光束を波面分割して第 1 光学系（14 a ~ 25 a）および第 2 光学系（14 b ~ 25 b）へ導くための分割素子を構成している。また、光源 1 と直角プリズム 13 との間の光路中には、直角プリズム 13 の近傍に照度分布のほぼ均一な照野を形成するための手段、すなわち直角プリズム 13 の近傍の照度分布をほぼ均一化するための照度均一化手段として、フライアイレンズ 11 とコンデンサーレンズ 12 とが配置されている。

【 0 0 6 8 】

こうして、直角プリズム 13 により分割された一方の光束は、回折光学素子 20 a を含む第 1 光学系（14 a ~ 25 a）およびマイクロフライアイレンズ 6 を介して、二次光源 40 の円形状の面光源（照明瞳面において光軸 A X を含む第 1 領域に位置する光強度分布

50

）４０aを形成する。一方、直角プリズム１３により分割された他方の光束は、第１光学系（１４a～２５a）とは異なる光路に沿って、回折光学素子２０bを含む第２光学系（１４b～２５b）およびマイクロフライアイレンズ６を介して、二次光源４０の４極状の面光源（照明瞳面において光軸AXから離れた第２領域に位置する光強度分布）４０bを形成する。

【００６９】

ここで、回折光学素子２０a（２０b）は、第１光学系（第２光学系）の光路中に配置されて入射する光束を第１領域の円形状の面光源４０a（第２領域の４極状の面光源４０b）に対応する光束に変換するための第１光束変換素子（第２光束変換素子）を構成している。また、マイクロフライアイレンズ６は、第１光束変換素子としての回折光学素子２

10

【００７０】

さらに、第１光束変換素子としての回折光学素子２０a、第２光束変換素子としての回折光学素子２０b、およびオプティカルインテグレータとしてのマイクロフライアイレンズ６は、円形状の面光源（すなわち照明瞳面上の第１領域に位置する光強度分布）４０aと、４極状の面光源（すなわち照明瞳面上の第２領域に位置する光強度分布）４０bとを有する二次光源（照明瞳分布）４０を形成するための照明瞳形成手段を構成している。また、コンデンサー光学系８および結像光学系１０は、オプティカルインテグレータとして

20

【００７１】

また、上述したように、第１アキシコン系としての円錐アキシコン系２３aとズームレンズ（変倍光学系）２４aとは、第１光学系（１４a～２５a）の光路中に配置されて円形状の面光源（第１領域）４０aの形状を変更するための第１形状変更手段を構成している。同様に、第２アキシコン系としての円錐アキシコン系２３bとズームレンズ（変倍光学系）２４bとは、第２光学系（１４b～２５b）の光路中に配置されて４極状の面光源（第２領域）４０bの形状を変更するための第２形状変更手段を構成している。

【００７２】

30

さらに、上述したように、偏光状態変更部１７a（１７b）において、１／２波長板１７ab（１７bb）は、第１光学系（第２光学系）の光路中に配置されて入射する直線偏光の偏光方向を必要に応じて変化させるための第１位相部材（第２位相部材）を構成している。また、デポラライザ１７ac（１７bc）は、第１光学系（第２光学系）の光路に対して挿脱自在に構成されて、入射する光を必要に応じて非偏光化するための第１偏光解消素子（第２偏光解消素子）を構成している。

【００７３】

また、１／４波長板１７aa（１７ba）は、第１光学系（第２光学系）の光路中に配置されて入射する楕円偏光の光を直線偏光の光に変換するための位相部材を構成している。こうして、偏光状態変更部１７aは、第１光学系の光路中に配置されて第１領域の円形状の面光源４０aを通過する光束の偏光状態を変更するための第１偏光状態変更手段を構成している。一方、偏光状態変更部１７bは、第２光学系の光路中に配置されて第２領域の４極状の面光源４０bを通過する光束の偏光状態を変更するための第２偏光状態変更手段を構成している。

40

【００７４】

また、上述したように、ミラー３、ミラー駆動部４、フライアイレンズ１１、コンデンサーレンズ１２、および直角プリズム１３は、直角プリズム１３における光量分割比を変化させ、ひいては第１光学系へ導かれて第１領域の円形状の面光源４０aを通過する光束の光強度（光量）と第２光学系へ導かれて第２領域の４極状の面光源４０bを通過する光束の光強度（光量）との比を変更するための光強度比変更手段を構成している。

50

【 0 0 7 5 】

こうして、本実施形態では、円錐アキシコン系 2 3 a およびズームレンズ 2 4 a を有する第 1 形状変更手段と、円錐アキシコン系 2 3 b およびズームレンズ 2 4 b を有する第 2 形状変更手段との作用により、第 1 領域の円形状の面光源 4 0 a の形状と第 2 領域 4 極状の面光源 4 0 b の形状とを互いに独立に変更する制御を行うことができる。また、偏光状態変更部 1 7 a を有する第 1 偏光状態変更手段と、偏光状態変更部 1 7 b を有する第 2 偏光状態変更手段との作用により、第 1 領域の円形状の面光源 4 0 a を通過する光束の偏光状態と第 2 領域の 4 極状の面光源 4 0 b を通過する光束の偏光状態とを互いに独立に変更する制御を行うことができる。

【 0 0 7 6 】

10

換言すれば、第 1 形状変更手段と第 2 形状変更手段と第 1 偏光状態変更手段と第 2 偏光状態変更手段とは、第 1 領域の形状と第 2 領域の形状とを互いに独立に変更する制御と、第 1 領域を通過する光束の偏光状態と第 2 領域を通過する光束の偏光状態とを互いに独立に変更する制御とを行うための照明瞳制御手段を構成している。さらに、本実施形態では、ミラー 3、ミラー駆動部 4、フライアイレンズ 1 1、コンデンサーレンズ 1 2、および直角プリズム 1 3 を有する光強度比変更手段の作用により、第 1 領域の円形状の面光源 4 0 a を通過する光束の光強度と第 2 領域の 4 極状の面光源 4 0 b を通過する光束の光強度との比を変更する制御を行うことができる。

【 0 0 7 7 】

20

以上のように、本実施形態の照明光学装置 (1 ~ 1 0) 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、たとえば二次光源の形状や光強度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、本発明の露光装置では、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る。

【 0 0 7 8 】

なお、上述の実施形態では、回折光学素子 2 0 a および 2 0 b が光路に対して挿脱可能に構成され、且つ特性の異なる他の回折光学素子と交換可能に構成されている。したがって、第 2 光学系中の 4 極照明用の回折光学素子 2 0 b に代えて、たとえば 2 極照明用 (8 極照明用) の回折光学素子を光路中に設定することによって、3 極 (9 極) 照明を行うこと

30

【 0 0 7 9 】

また、第 1 光学系中の円形照明用の回折光学素子 2 0 a に代えて、たとえば 4 極照明用の回折光学素子 2 0 b を光路中に設定することによって、8 極照明を行うことができる。同様に、第 1 光学系中の円形照明用の回折光学素子 2 0 a や第 2 光学系中の 4 極照明用の回折光学素子 2 0 b に代えて、適当な特性を有する回折光学素子を光路中に設定することによって、様々な形態の変形照明を行うことができる。さらに、4 極照明用の回折光学素子 2 0 b を光路から退避させて円形照明を行ったり、円形照明用の回折光学素子 2 0 a を光路から退避させて 4 極照明を行ったりすることもできる。

40

【 0 0 8 0 】

また、上述の実施形態では、直角プリズム 1 3 により分割された一方の光束が第 1 光学系 (1 4 a ~ 2 5 a) へ導かれ、直角プリズム 1 3 により分割された他方の光束が第 2 光学系 (1 4 b ~ 2 5 b) へ導かれている。しかしながら、これに限定されることなく、分割素子を介して分割された光束を第 1 光学系および第 2 光学系とは異なる光路に沿って第 3 光学系を介して照明瞳面上の第 3 領域へ導く構成も可能である。

たとえば、第 1 光学系 (1 4 a ~ 2 5 a) によって照明瞳面上の第 1 領域内に、図 3 に示した面光源 4 0 a を形成し、第 2 光学系 (1 4 b ~ 2 5 b) によって照明瞳面上の第 2 領域内に、図 3 に示した面光源 4 0 b 1 , 4 0 b 4 を形成し、これら第 1 光学系および第

50

2 光学系とは異なる第 3 光学系（不図示）によって照明瞳面上の第 3 領域内に、図 3 に示した面光源 4 0 b 2 , 4 0 b 3 を形成する構成として、面光源 4 0 a に達する光束の偏光状態を非偏光、X 方向偏光または Z 方向偏光に設定し、面光源 4 0 b 1 , 4 0 b 4 に達する光束の偏光状態を光軸を中心とした円の接線方向に偏光面を持つ直線偏光に設定し、面光源 4 0 b 2 , 4 0 b 3 に達する光束の偏光状態を光軸を中心とした円の接線方向に偏光面を持つ直線偏光（面光源 4 0 b 1 , 4 0 b 4 に達する光束の偏光方向とは直交する方向に偏光面を持つ直線偏光）に設定することもできる。

【 0 0 8 1 】

図 7 は、本実施形態の第 1 変形例にかかる制御ユニットの構成を概略的に示す図である。第 1 変形例の制御ユニット 5 0 は、図 2 に示す実施形態の制御ユニット 5 と類似の構成を有する。しかしながら、第 1 変形例では、ズームレンズ 2 4 a および 2 4 b とマイクロフライアイレンズ 6 との間の構成だけが、図 2 の実施形態と相違している。以下、図 2 の実施形態との相違点に着目して、第 1 変形例の制御ユニット 5 0 の構成および作用を説明する。

【 0 0 8 2 】

図 7 を参照すると、第 1 変形例の制御ユニット 5 0 では、ズームレンズ 2 4 a を介して第 1 光学系（1 4 a ~ 2 4 a）から射出された光束が、偏向部材としての直角プリズム（あるいは折り曲げミラー）2 7 により + Z 方向に反射される。直角プリズム 2 7 により + Z 方向に反射された光束は、リレーレンズ系 2 8 を介して、第 2 光学系の光軸上に配置された偏向部材としての直角プリズム（あるいは折り曲げミラー）2 9 に入射する。直角プリズム 2 9 により + Y 方向に反射された第 1 光学系からの光束は、リレーレンズ系 3 0 を介して、マイクロフライアイレンズ 6 に達する。

【 0 0 8 3 】

一方、ズームレンズ 2 4 b を介して第 2 光学系（1 4 b ~ 2 4 b）から射出された光束は、直角プリズム 2 9 に遮られることなく、リレーレンズ系 3 0 を介して、マイクロフライアイレンズ 6 に達する。なお、第 1 変形例では、円錐アキシコン系 2 3 a（2 3 b）と、直角プリズム 2 7 の反射面と、直角プリズム 2 9 の反射面と、マイクロフライアイレンズ 6 の入射面とが、光学的にほぼ共役になっている。また、所定面 2 2 a（2 2 b）と、リレーレンズ系 2 8 の瞳面と、リレーレンズ系 3 0 の瞳面と、マイクロフライアイレンズ 6 の後側焦点面（あるいは射出面）とが、光学的にほぼ共役になっている。

【 0 0 8 4 】

そして、直角プリズム 2 7 と 2 9 とは、分割素子である直角プリズム 1 3 と照明瞳面であるマスク M との間の光路中に配置されて、第 1 光学系（1 4 a ~ 2 4 a）の光軸と前記第 2 光学系（1 4 b ~ 2 4 b）の光軸とを合成するための合成素子を構成している。第 1 変形例においても上述の実施形態と同様に、第 1 領域の円形状の面光源 4 0 a の形状と第 2 領域 4 極状の面光源 4 0 b の形状とを互いに独立に変更する制御、第 1 領域の円形状の面光源 4 0 a を通過する光束の偏光状態と第 2 領域の 4 極状の面光源 4 0 b を通過する光束の偏光状態とを互いに独立に変更する制御、および第 1 領域の円形状の面光源 4 0 a を通過する光束の光強度と第 2 領域の 4 極状の面光源 4 0 b を通過する光束の光強度との比を変更する制御を行うことができる。

【 0 0 8 5 】

図 8 は、本実施形態の第 2 変形例にかかる制御ユニットの要部構成を概略的に示す図である。第 2 変形例の制御ユニット 5 1 は、図 2 に示す実施形態の制御ユニット 5 および第 1 変形例の制御ユニット 5 0 と類似の要部構成を有する。しかしながら、第 2 変形例では、ミラー 3 と偏光状態変更部 1 7 a および 1 7 b との間の構成が、図 2 の実施形態および第 1 変形例と相違している。以下、図 2 の実施形態および第 1 変形例との相違点に着目して、第 2 変形例の制御ユニット 5 1 の構成および作用を説明する。

【 0 0 8 6 】

図 8 を参照すると、第 2 変形例の制御ユニット 5 1 では、ミラー 3 により + Y 方向に反射された光束が、ビームスプリッター 3 1 に入射する。ビームスプリッター 3 1 により -

10

20

30

40

50

Z方向に反射されて第1光学系へ導かれた光束は、折り曲げミラー32により+Y方向に反射された後、少なくとも1つの減光フィルター33aを介して、偏光状態変更部17aに達する。一方、ビームスプリッター31を透過して第2光学系へ導かれた光束は、少なくとも1つの減光フィルター33bを介して、偏光状態変更部17bに達する。偏光状態変更部17aおよび17bよりも後側(マイクロフライアイレンズ6側)の構成は、図2の実施形態または第1変形例と同じである。

【0087】

ここで、減光フィルター33aおよび減光フィルター33bが光路に対して挿脱可能に構成され、且つ特性の異なる他の減光フィルターと交換可能に構成されている。すなわち、減光フィルター33aは、第1光学系の光路に対して選択的に挿脱自在な少なくとも1つの減光手段であって、第1光学系の光路中に配置されて第1領域の円形状の面光源40aを通過する光束の光強度を変更するための第1光強度変更手段を構成している。また、減光フィルター33bは、第2光学系の光路に対して選択的に挿脱自在な少なくとも1つの減光手段であって、第2光学系の光路中に配置されて第2領域の4極状の面光源40bを通過する光束の光強度を変更するための第2光強度変更手段を構成している。

【0088】

したがって、第2変形例では、ミラー3を傾動させるためのミラー駆動部4は不要である。そして、たとえばビームスプリッター31における光量分割比を1:1に設定し、減光フィルター33aや減光フィルター33bを特性の異なる他の減光フィルターと交換したり、減光フィルター33aや減光フィルター33bを光路から退避させたりすることにより、図2の実施形態または第1変形例とは異なり、第1領域の円形状の面光源40aを通過する光束の光強度と第2領域の4極状の面光源40bを通過する光束の光強度とを互いに独立に変更する制御を行うことができる。

【0089】

上述の各実施形態または各変形例において、照度均一化手段としてのフライアイレンズ11に替えて、そのファーフールド(またはフラウンホーファー回折領域)にほぼ均一な光強度分布を形成する回折光学素子を適用してもよい。ここで、この回折光学素子のファーフールド(またはフラウンホーファー回折領域)は、照度均一化手段としてのコンデンサーレンズ12の後側焦点位置またはその近傍にリレーされることになる。

【0090】

また、上述の各実施形態または各変形例において、第1光学系(14a~25a)および第2光学系(14b~25b)中の回折光学素子20a(20b)からズームレンズ24a(24b)までの光学系を、たとえば特開2001-176766号公報に開示される照明光学装置の回折光学素子51からズームレンズ7までの光学系や、特開2001-85923号公報に開示される照明光学装置のマイクロレンズアレイ4からズームレンズ7までの光学系、特開2002-231619号公報に開示される回折光学素子4からズームレンズ7までの光学系、特開2003-178951号公報に開示される照明光学装置の回折光学素子4からズームレンズ7までの光学系、特開2003-178952号公報に開示される照明光学装置の角度光束形成部2から変倍光学系4までの光学系などに置き換えることも可能である。

【0091】

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9のフローチャートを参照して説明する。

【0092】

まず、図9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

10

20

30

40

50

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。

10

【0093】

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 10 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 10 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形成工程 402

20

【0094】

次に、カラーフィルタ形成工程 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 本のストライプのフィルタの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルタを形成する。そして、カラーフィルタ形成工程 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形成工程 402 にて得られたカラーフィルタ等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。

【0095】

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形成工程 402 にて得られたカラーフィルタ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。

30

【0096】

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：248 nm）や ArF エキシマレーザ光（波長：193 nm）を用いているが、これに限定されことなく、他の適当なレーザ光源、たとえば波長 157 nm 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露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスクやウェハ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。

40

【0097】

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 WO 99 / 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

50

手法や、特開平 6 - 1 2 4 8 7 3 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 1 0 - 3 0 3 1 1 4 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。

【 0 0 9 8 】

なお、液体としては、露光光に対する透過性がある程度だけ屈折率が高く、投影光学系や基板表面に塗布されているフォトレジストに対して安定なものを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ばフッ素系オイルや過フッ化ポリエーテル (P F P E) 等のフッ素系の液体を用いればよい。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 9 9 】

【図 1】本発明の実施形態にかかる露光装置の全体構成を概略的に示す図である。

【図 2】図 1 における制御ユニットの内部構成を概略的に示す図である。

【図 3】マイクロフライアイレンズの後側焦点面またはその近傍に形成される 5 極状の二次光源を概略的に示す図である。

【図 4】二次光源を構成する 4 極状の面光源に対する円錐アキシコン系の作用を説明する図である。

【図 5】5 極状の二次光源に対する円錐アキシコン系とズームレンズとの協働作用を説明する図である。

20

【図 6】図 1 の偏光モニターの内部構成を概略的に示す斜視図である。

【図 7】本実施形態の第 1 変形例にかかる制御ユニットの構成を概略的に示す図である。

【図 8】本実施形態の第 2 変形例にかかる制御ユニットの要部構成を概略的に示す図である。

【図 9】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 1 0】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。

【符号の説明】

30

【 0 1 0 0 】

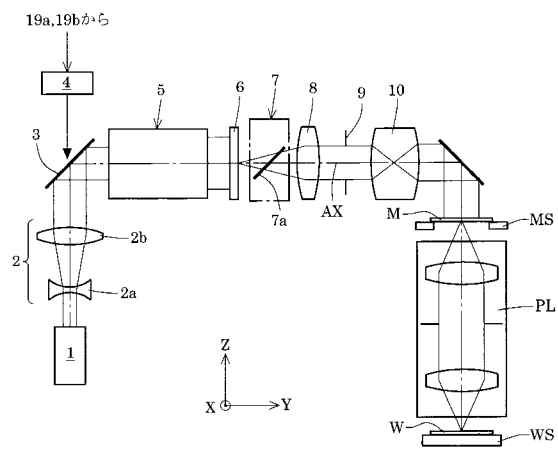
- 1 光源
- 5 , 5 0 , 5 1 制御ユニット
- 6 マイクロフライアイレンズ (フライアイレンズ)
- 7 偏光モニター
- 7 a ビームスプリッター
- 8 コンデンサー光学系
- 9 マスクブラインド
- 1 0 結像光学系
- 1 1 フライアイレンズ
- 1 3 直角プリズム (分割素子)
- 1 7 偏光状態変更部
- 1 9 検出器
- 2 0 回折光学素子 (光束変換素子)
- 2 1 アフォーカルレンズ
- 2 3 円錐アキシコン系
- 2 4 ズームレンズ
- 2 6 集光光学系
- M マスク
- P L 投影光学系

40

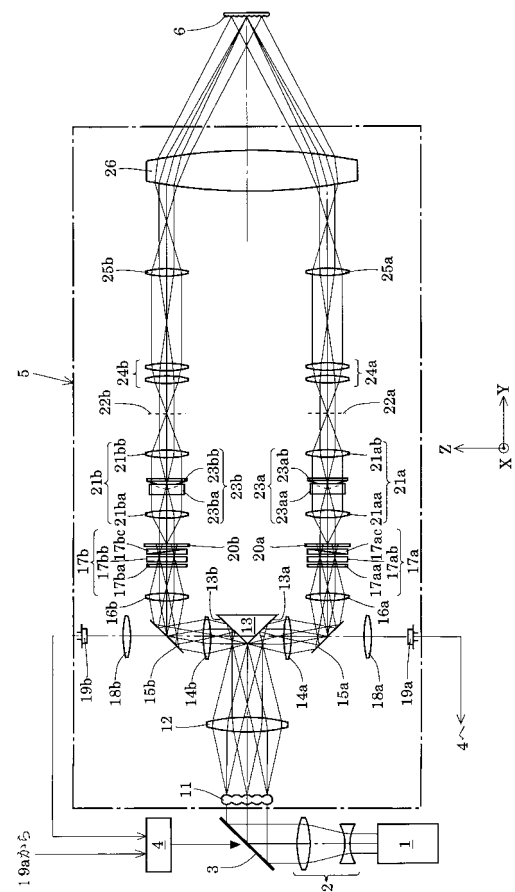
50

W ウェハ

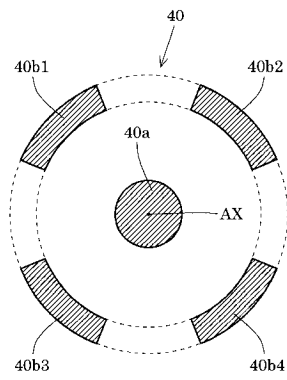
【図 1】



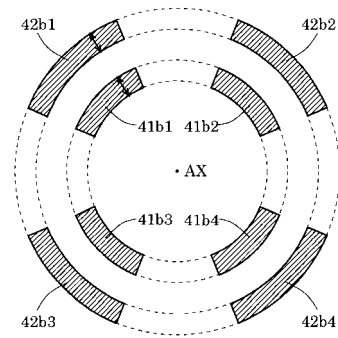
【図 2】



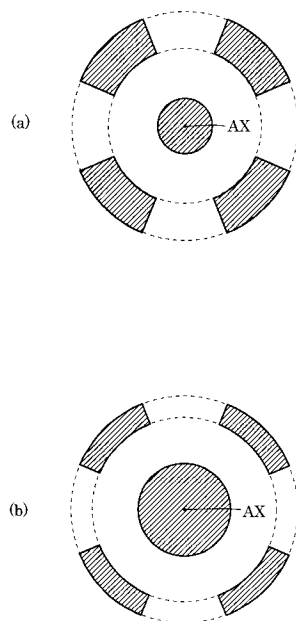
【図 3】



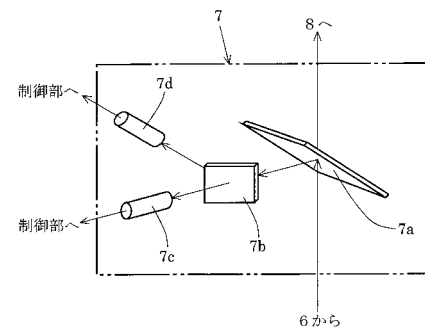
【図 4】



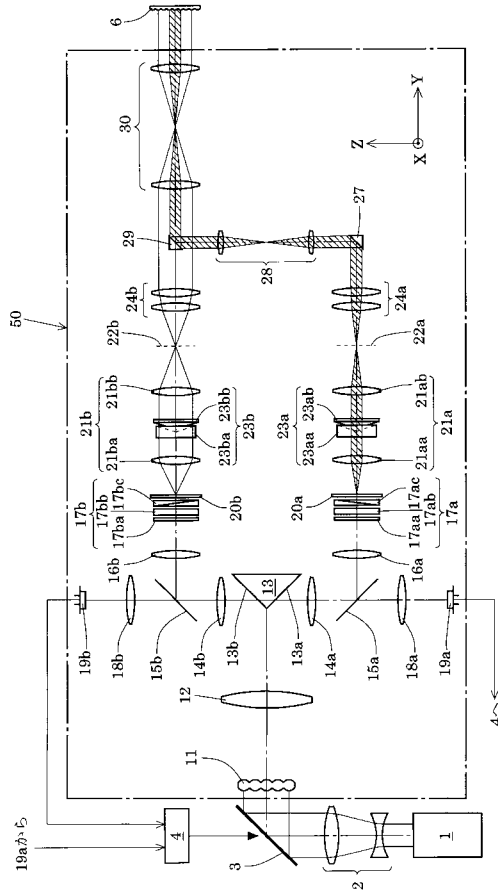
【図 5】



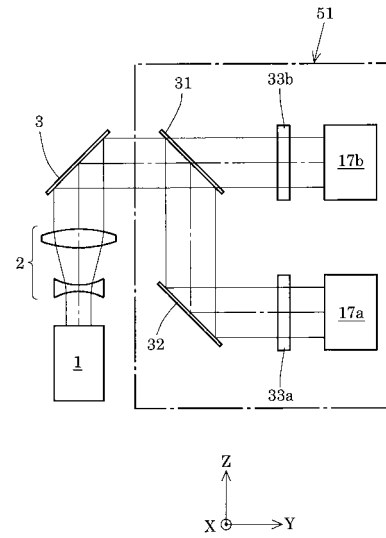
【図 6】



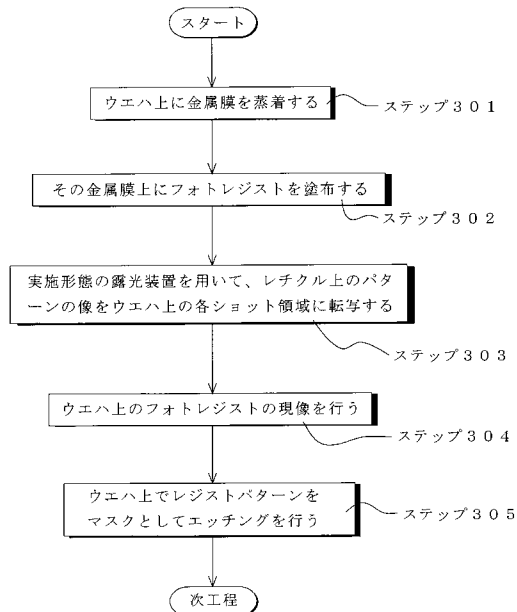
【図 7】



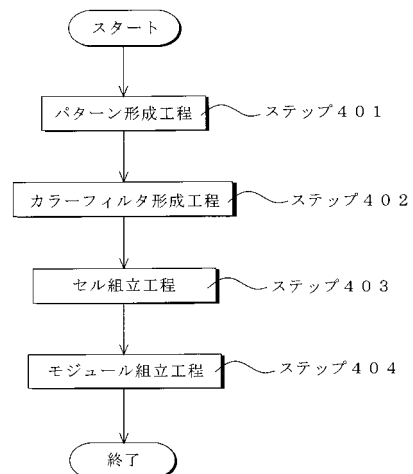
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 6 - 5 3 1 2 0 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 8 6 5 0 3 (J P , A)
特開平 6 - 4 5 1 2 6 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 2 3 1 6 1 9 (J P , A)
特開平 3 - 1 6 1 1 4 (J P , A)
特開平 7 - 3 0 2 7 5 3 (J P , A)
特開平 7 - 2 7 3 0 0 5 (J P , A)
特開平 9 - 3 2 6 3 4 3 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H01L21/027-46