

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4337067号  
(P4337067)

(45) 発行日 平成21年9月30日 (2009. 9. 30)

(24) 登録日 平成21年7月10日 (2009. 7. 10)

(51) Int. Cl.

F 1

G O 2 B 15/20 (2006. 01)

G O 2 B 15/20

G O 3 F 7/20 (2006. 01)

G O 3 F 7/20 5 2 1

H O 1 L 21/027 (2006. 01)

H O 1 L 21/30 5 1 5 D

請求項の数 7 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願平11-90735  
 (22) 出願日 平成11年3月31日 (1999. 3. 31)  
 (65) 公開番号 特開2000-284176 (P2000-284176A)  
 (43) 公開日 平成12年10月13日 (2000. 10. 13)  
 審査請求日 平成18年1月11日 (2006. 1. 11)

(73) 特許権者 000004112  
 株式会社ニコン  
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号  
 (74) 代理人 100095256  
 弁理士 山口 孝雄  
 (72) 発明者 小松田 秀基  
 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  
 (72) 発明者 高橋 哲男  
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
 式会社ニコン内  
 審査官 原田 英信

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ズーム光学系および該ズーム光学系を備えた露光装置および露光方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マスク上に設けられたパターンを感光性基板へ転写するための露光装置における前記マスクを照明するための照明光学系に用いられるズーム光学系であって、瞳面よりも像側または物体側のみに配置された少なくとも4つのレンズ群を備え、該少なくとも4つのレンズ群のうちの少なくとも3つのレンズ群を光軸に沿って移動させて焦点距離を連続的に変化させるズーム光学系において、

焦点距離の最も長い最大焦点距離状態と焦点距離の最も短い最小焦点距離状態との間の焦点距離の変化に際して、前記少なくとも3つのレンズ群は所定の軌道に沿って移動し、

前記所定の軌道は、物体面および像面の位置並びに入射瞳および射出瞳の位置を実質的に変化させないように定められ、

前記最大焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、前記ズーム光学系の屈折力配置が物体側から順に正・負・正の屈折力配置へ近づくように変化し、

前記最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、前記ズーム光学系の屈折力配置が物体側から順に負・正・負の屈折力配置へ近づくように変化することを特徴とするズーム光学系。

【請求項 2】

前記少なくとも4つのレンズ群は、4つのレンズ群であって、

物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群、負屈折力の第2レンズ群、正屈折力の第3レンズ群、及び負屈折力の第4レンズ群を備え、

10

20

最大焦点距離状態における前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群との間隔は最小焦点距離状態での間隔よりも大きく、最大焦点距離状態における前記第 3 レンズ群と前記第 4 レンズ群との間隔は最小焦点距離状態での間隔よりも小さいことを特徴とする請求項 1 に記載のズーム光学系。

【請求項 3】

前記少なくとも 4 つのレンズ群は、4 つのレンズ群であって、  
物体側から順に、負屈折力の第 1 レンズ群、正屈折力の第 2 レンズ群、負屈折力の第 3 レンズ群、及び正屈折力の第 4 レンズ群を備え、  
最大焦点距離状態における前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群との間隔は最小焦点距離状態での間隔よりも小さく、最大焦点距離状態における前記第 3 レンズ群と前記第 4 レンズ群との間隔は最小焦点距離状態での間隔よりも大きいことを特徴とする請求項 1 に記載のズーム光学系。

10

【請求項 4】

前記少なくとも 4 つのレンズ群は、5 つのレンズ群であって、  
物体側から順に、負屈折力の第 1 レンズ群、正屈折力の第 2 レンズ群、負屈折力の第 3 レンズ群、正屈折力の第 4 レンズ群、及び負屈折力の第 5 レンズ群を備え、  
最大焦点距離状態における前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群との間隔並びに前記第 4 レンズ群と前記第 5 レンズ群との間隔は、最小焦点距離状態での間隔よりも小さいことを特徴とする請求項 1 に記載のズーム光学系。

【請求項 5】

マスク上に設けられたパターンを感光性基板へ転写するための露光装置において、  
光束を供給するための光源からの光束に基づいて所定形状の面光源を形成するためのオプティカルインテグレータと、該オプティカルインテグレータからの光束を前記マスクへ導くためのコンデンサー光学系とを備え、  
前記光源と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中には、前記光源からの光束を前記オプティカルインテグレータへ導くための請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のズーム光学系が配置され、

20

前記マスクのパターンの種類に応じて少なくとも前記ズーム光学系の焦点距離を変化させることを特徴とする露光装置。

【請求項 6】

前記光源と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中には、前記光源からの光束に基づいて複数の光源像を形成するための補助オプティカルインテグレータが設けられ、  
前記ズーム光学系は、前記補助オプティカルインテグレータにより形成される前記複数の光源像からの光束を前記オプティカルインテグレータへ導くことを特徴とする請求項 5 に記載の露光装置。

30

【請求項 7】

マスク上に設けられたパターンを感光性基板へ転写する露光方法において、  
光源からの光束に基づいて所定形状の面光源をオプティカルインテグレータで形成し、  
該オプティカルインテグレータからの光束をコンデンサー光学系により前記マスクへ導き、  
前記光源と前記オプティカルインテグレータとの間に配設した請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載のズーム光学系の焦点距離を前記マスクのパターンの種類に応じて変化させることを特徴とする露光方法。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はズーム光学系および該ズーム光学系を備えた露光装置および露光方法に関し、特に半導体集積回路等の電子デバイスをリソグラフィ工程で製造するための投影露光装置に搭載される照明光学系中の伝達光学系に好適なズーム光学系に関する。

【0002】

50

**【従来の技術】**

この種の典型的な投影露光装置において、光源から供給されたほぼ平行な光束は、整形光学系を介して断面形状が整形された後に第1フライアイレンズに入射し、その後側焦点面に多数の光源像を形成する。この光源像からの光束は、伝達光学系を介してほぼ平行な光束に変換された後に第2フライアイレンズに入射し、その後側焦点面に多数の光源像からなる実質的な面光源を形成する。第2フライアイレンズにより形成された面光源からの光束は、第2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。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エハ上に結像し、ウエハ上にはマスクパターンが投影露光（転写）される。

10

**【0003】**

一般に、投影露光装置においては、転写すべきマスクパターンにより照明光の最適なNA（開口数）が異なることは周知の事実である。このため、現在では、マスクパターン毎に照明光のNAを変更する操作が一般に行われている。上述した投影露光装置において、照明NAを変更する最も容易な方法は、開口絞りの径を変更して照明に寄与する面光源の範囲を変更することである。ただし、開口絞りの径を単に切り替えるだけでは、開口絞りにおいて光束のケラレが発生し、光源から供給された光束を効率良く被露光面へ導くことができない。そこで、本出願人は、開口絞りの径を変更するとともに、面光源の大きさを変更するために伝達光学系を焦点距離の異なる他の伝達光学系に切り替える構成を提案している。あるいは、開口絞りの径を変更するとともに、面光源の大きさを変更するために第1フライアイレンズを焦点距離の異なる他のフライアイレンズに切り替える構成を提案している。

20

**【0004】****【発明が解決しようとする課題】**

また、近年では、半導体集積回路の集積度の向上がめざましく、投影露光装置への仕様要求は年々厳しくなっている。そのため、例えば照明NAの変更についても、マスクパターン毎に細かく行われており、装置の能力を限界まで引き出した状態で投影露光が行われている。この場合、露光効率を低下させないためには、照明NAの変更に応じて、伝達光学系および第1フライアイレンズのうちの少なくとも一方の切り替えを行うことが必要となる。しかしながら、一般に伝達光学系や第1フライアイレンズは小さな部品ではないため、交換すべき多数の部品を装置内に組み込むことは現実的には不可能である。

30

**【0005】**

そこで、伝達光学系の焦点距離を連続的に変化させること、すなわち伝達光学系のズーム化が望まれるが、従来より伝達光学系のズーム化は困難とされてきた。これは、カメラレンズ等のズーム化とは異なり、伝達光学系のズーム化には多くの制約が課せられるためである。

図20は、投影露光装置における照明光学系中の伝達光学系のズーム化に課せられる制約を説明するための図であって、第1フライアイレンズから第2フライアイレンズまでの構成を示している。

40

**【0006】**

図20において、整形光学系（不図示）を介して断面形状が整形された平行光束は、第1フライアイレンズ100に入射し、その後側焦点面（図中破線で示す）101に多数の光源像を形成する。これらの光源像からの光束は、伝達光学系102を介してほぼ平行な光束に変換された後に第2フライアイレンズ103に入射し、その後側焦点面に多数の光源像からなる実質的な面光源を形成する。第2フライアイレンズ103により形成された面光源からの光束は、第2フライアイレンズ103の後側焦点面の近傍に配置された開口絞り104を介して制限された後、コンデンサーレンズ（不図示）に入射する。

**【0007】**

図20に示す伝達光学系102のズーム化には、以下の制約が課せられる。

50

1 光束を効率良く第2フライアイレンズ103の入射面へ導くために、伝達光学系102の焦点距離の変化に際して光束の集光位置が移動してはならない。すなわち、第1フライアイレンズ100による光源像の形成面101に開口絞りが配置されているものとみなし、第2フライアイレンズ103の入射面を像面とみなすとき、焦点距離の変化に際して像面の位置が変化してはならない。さらに一般的に表現すると、焦点距離の変化に際して物体面および像面の位置が変化してはならない。

【0008】

2 第2フライアイレンズ103を構成する各レンズ要素の光軸は基準光軸AXに対して平行であるため、第2フライアイレンズ103に入射する光束が各レンズ要素の光軸に対して傾くと、第2フライアイレンズ103の射出面において光束のケラレが発生し、照明（ひいては露光）の効率が低下する。したがって、第1フライアイレンズ100による光源像の形成面101に開口絞りが配置されているものとみなし、第2フライアイレンズ103の入射面を像面とみなすとき、焦点距離の変化に際して無限遠にある射出瞳の位置が変化してはならない。さらに一般的に表現すると、焦点距離の変化に際して入射瞳および射出瞳の位置が変化してはならない。

【0009】

3 第1フライアイレンズ100による光源像の形成面101に開口絞りが配置されているものとみなし、第2フライアイレンズ103の入射面を像面とみなすとき、開口絞りよりも像側のみにすべてのレンズ成分を配置する必要がある。さらに一般的に表現すると、すべてのレンズ成分は瞳面よりも像側のみに配置されていなければならない。

なお、本発明のズーム光学系においては、開口絞りが物理的に存在しなくても開口絞りが存在するものとみなし得る面に仮想の開口絞りを想定し、この仮想の開口絞りに基づいて、入射瞳および射出瞳の概念を、ひいては瞳面の概念を規定している。

【0010】

以上のように、銀塩カメラ用のズームレンズでは、焦点距離の変化に際して物体面および像面の位置が変化してはならないという制約しか課せられない。しかしながら、伝達光学系のズーム化では、この制約に加えて、焦点距離の変化に際して入射瞳および射出瞳の位置が変化してはならないという制約、およびすべてのレンズ成分が瞳面よりも像側のみに配置されていなければならないという制約が課せられることになる。

【0011】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、すべてのレンズ成分が瞳面よりも像側のみに配置され、焦点距離の変化に際して物体面および像面の位置並びに入射瞳および射出瞳の位置が実質的に変化することなく、所要の倍率比を確保することのできるズーム光学系を提供することを目的とする。また、本発明のズーム光学系を伝達光学系として照明光学系中に組み込むことにより、マスクパターンの種類に応じた最適の照明NAで効率良く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。

【0012】

【課題を解決するための手段】

前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、瞳面よりも像側または物体側のみに配置された少なくとも4つのレンズ群を備え、該少なくとも4つのレンズ群のうちの少なくとも3つのレンズ群を光軸に沿って移動させて焦点距離を連続的に変化させるズーム光学系において、

焦点距離の最も長い最大焦点距離状態と焦点距離の最も短い最小焦点距離状態との間の焦点距離の変化に際して、前記少なくとも3つのレンズ群は所定の軌道に沿って移動し、前記所定の軌道は、物体面および像面の位置並びに入射瞳および射出瞳の位置を実質的に変化させないように定められ、

前記最大焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、前記ズーム光学系の屈折力配置が物体側から順に正・負・正の屈折力配置へ近づくように変化し、

前記最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、前記ズーム光学系の屈折力配置が物体側から順に負・正・負の屈折力配置へ近づくように変化することを特徴とするズーム光

10

20

30

40

50

学系を提供する。

【 0 0 1 3 】

第 1 発明の好ましい第 1 態様によれば、物体側から順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群と、負の屈折力を有する第 2 レンズ群と、正の屈折力を有する第 3 レンズ群と、負の屈折力を有する第 4 レンズ群とを有し、前記最大焦点距離状態における前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群との間隔は、前記最小焦点距離状態での間隔よりも大きく、前記最大焦点距離状態における前記第 3 レンズ群と前記第 4 レンズ群との間隔は、前記最小焦点距離状態での間隔よりも小さいことが好ましい。なお、この第 1 態様においては、前記第 1 レンズ群の焦点距離を  $f_1$  とし、前記第 2 レンズ群の焦点距離を  $f_2$  とし、前記第 3 レンズ群の焦点距離を  $f_3$  とし、前記第 4 レンズ群の焦点距離を  $f_4$  とするとき、

$$|f_1| / |f_2| > 1$$

$$|f_3| / |f_4| < 1$$

の条件を満足することが好ましい。

【 0 0 1 4 】

また、第 1 発明の好ましい第 2 態様によれば、物体側から順に、負の屈折力を有する第 1 レンズ群と、正の屈折力を有する第 2 レンズ群と、負の屈折力を有する第 3 レンズ群と、正の屈折力を有する第 4 レンズ群とを有し、前記最大焦点距離状態における前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群との間隔は、前記最小焦点距離状態での間隔よりも小さく、前記最大焦点距離状態における前記第 3 レンズ群と前記第 4 レンズ群との間隔は、前記最小焦点距離状態での間隔よりも大きいことが好ましい。

【 0 0 1 5 】

さらに、第 1 発明の好ましい第 3 態様によれば、物体側から順に、負の屈折力を有する第 1 レンズ群と、正の屈折力を有する第 2 レンズ群と、負の屈折力を有する第 3 レンズ群と、正の屈折力を有する第 4 レンズ群と、負の屈折力を有する第 5 レンズ群とを有し、前記最大焦点距離状態における前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群との間隔並びに前記第 4 レンズ群と前記第 5 レンズ群との間隔は、前記最小焦点距離状態での間隔よりも小さいことが好ましい。

【 0 0 1 6 】

また、本発明の第 2 発明では、マスク上に設けられたパターンを感光性基板へ転写するための露光装置において、

光束を供給するための光源と、該光源からの光束に基づいて所定形状の面光源を形成するためのオプティカルインテグレータと、該オプティカルインテグレータからの光束を前記マスクへ導くためのコンデンサー光学系を備え、

前記光源と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中には、前記光源からの光束を前記オプティカルインテグレータへ導くための請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のズーム光学系が配置され、

前記マスクのパターンの種類に応じて少なくとも前記ズーム光学系の焦点距離を変化させることを特徴とする露光装置を提供する。

【 0 0 1 7 】

なお、本発明の第 2 発明にかかる露光装置において、オプティカルインテグレータによる所定形状の面光源の形成位置またはその近傍の位置、あるいはそれらの位置と共役な位置には、この面光源の光強度分布を所定の光強度分布に変換するための開口絞りを配置することが好ましく、マスクのパターンの種類に応じてこの光強度分布を変化させることが好ましい。

また、第 2 発明の好ましい態様によれば、前記光源と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中には、前記光源からの光束に基づいて複数の光源像を形成するための補助オプティカルインテグレータが設けられ、前記ズーム光学系は、前記補助オプティカルインテグレータにより形成される前記複数の光源像からの光束を前記オプティカルインテグレータへ導くことが好ましい。

【 0 0 1 8 】

また、本発明の第3発明では、マスク上に設けられたパターンを感光性基板へ転写する露光方法において、光源からの光束に基づいて所定形状の面光源をオプティカルインテグレータで形成し、該オプティカルインテグレータからの光束をコンデンサー光学系により前記マスクへ導き、前記光源と前記オプティカルインテグレータとの間に配設した請求項1に記載のズーム光学系の焦点距離を前記マスクのパターンの種類に応じて変化させ、良好な照明NAで露光を行うことを特徴とする露光方法を提供する。

さらに、本発明の別の観点によれば、瞳面のフーリエ変換像を形成する光学系であって、前記瞳面とフーリエ変換面との間のみに配置された複数のレンズ群を備え、該複数のレンズ群のうちの少なくとも3つのレンズ群は、前記光学系の焦点距離を変化させるために所定の軌道に沿って移動可能であり、該所定の軌道は、前記瞳面および前記フーリエ変換面の位置並びに前記瞳面にて光軸と交差する主光線の前記フーリエ変換面での傾き角を実質的に変化させることなく、且つ前記瞳面における前記主光線の前記光軸に対する角度をとし、前記光学系の焦点距離をFとし、前記フーリエ変換面に達する前記主光線の前記光軸からの距離をYとすると、焦点距離可変範囲の全体に亘って実質的に  $Y = F \sin$  の条件を満たすように定められる。

【0019】

【発明の実施の形態】

銀塩カメラ用の撮影レンズに代表される通常のズームレンズでは、以下の2つの条件を満足する必要がある。

- 1 焦点距離の変化に際して物体面および像面の位置が変化しない。
- 2 焦点距離が連続的に変化する。

したがって、通常のズームレンズでは、2元連立方程式の解を得るために最低2つの変数が必要となる。すなわち、通常のズームレンズでは、光軸に沿って独立に移動する可動レンズ群が少なくとも2つ必要である。

【0020】

これに対し、本発明のズーム光学系では、以下の3つの条件を満足する必要がある。

- 1 焦点距離の変化に際して物体面および像面の位置が変化しない。
- 2 焦点距離が連続的に変化する。
- 3 焦点距離の変化に際して入射瞳および射出瞳の位置が変化しない。

したがって、本発明のズーム光学系では、3元連立方程式の解を得るために最低3つの変数が必要となり、光軸に沿って独立に移動する可動レンズ群が少なくとも3つ必要となる。換言すると、理論的には、3つ以上のレンズ群を備えた光学系において少なくとも3つのレンズ群を光軸に沿って独立に移動させることにより、本発明のズーム光学系を構成することが可能になる。

【0021】

一般に、ズーム光学系の理想は、収差をほとんど発生させることなく、倍率比（最も長い最大焦点距離と最も短い最小焦点距離との比、すなわち変倍比）を極力大きく確保することである。そこで、どのような屈折力配置（パワー配置）を採用すれば理想により近いズーム光学系を構成することができるかについて、以下に考察する。

問題を簡単にするために、図20に示す伝達光学系102のように、すべてのレンズ成分が瞳面よりも像側のみに配置され、且つ物体面および射出瞳が無限遠に位置するズーム光学系について考える。ただし、物体面および射出瞳の位置が無限遠にある状態を想定することは単に配置の問題であって、以下の議論の一般性を失わせるものでないことはいうまでもない。

【0022】

図1は、すべてのレンズ成分を開口絞りと像面との間に配置しつつ、光学系全体の焦点距離を極力長くするのに有利な屈折力配置を示す図である。なお、図1および他の図面において、外向きの矢印は正の焦点距離を有する（すなわち正の屈折力を有する）正レンズ群を、内向きの矢印は負の焦点距離を有する（すなわち負の屈折力を有する）負レンズ群を表わしている。

図 1 に示す光学系は、物体側から順に、正レンズ群 G 11 と、負レンズ群 G 12 と、正レンズ群 G 13 とから構成されている。そして、この正・負・正の屈折力配置により、図 1 に示すように光学系の焦点距離を極力長く設定することが可能となっている。

【 0 0 2 3 】

図 2 は、すべてのレンズ成分を開口絞りと像面との間に配置しつつ、光学系全体の焦点距離を極力短くするのに有利な屈折力配置を示す図である。

図 2 に示す光学系は、物体側から順に、負レンズ群 G 21 と、正レンズ群 G 22 と、負レンズ群 G 23 とから構成されている。そして、この負・正・負の屈折力配置により、図 2 に示すように光学系の焦点距離を極力短く設定することが可能となっている。

なお、図 1 の光学系において、焦点距離を長く設定するには、各レンズ群のパワー（屈折力）をそれぞれ強くしなければならない。また、図 2 の光学系においても、焦点距離を短く設定するには、各レンズ群のパワーをそれぞれ強くしなければならない。

【 0 0 2 4 】

一般に、レンズ設計において収差の発生を良好に抑えるには、各レンズのパワーを必要以上に強くしないことが必要である。このことから、開口絞りと像面との軸上間隔に対して、光学系の焦点距離を極端に長く設定したり短く設定したりしないことが望ましいと結論することができる。したがって、たとえば開口絞りと像面との軸上間隔の半分の値を中心として、焦点距離の範囲を設定することが望ましい。そして、倍率比を大きく確保するには、図 1 の正・負・正の屈折力配置から図 2 の負・正・負の屈折力配置へ円滑に（自然に）移行することのできる屈折力配置が望ましい。

【 0 0 2 5 】

図 3 は、正・負・正の屈折力配置から負・正・負の屈折力配置へ円滑に移行することのできる屈折力配置の第 1 の例として負・正・負・正・負の屈折力配置を有するズーム光学系を示す図であって、（ a ）は最大焦点距離状態を、（ b ）は最小焦点距離状態をそれぞれ示している。なお、最大焦点距離状態とは光学系の焦点距離が最も長い状態であり、最小焦点距離状態とは光学系の焦点距離が最も短い状態である。

【 0 0 2 6 】

図 3 に示すズーム光学系は、物体側から順に、負レンズ群 G 31 と、正レンズ群 G 32 と、負レンズ群 G 33 と、正レンズ群 G 34 と、負レンズ群 G 35 とから構成されている。そして、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、正レンズ群 G 32 が負レンズ群 G 31 に近接した位置から像側へ移動して負レンズ群 G 33 に近接し、正レンズ群 G 34 が負レンズ群 G 35 に近接した位置から物体側へ移動して負レンズ群 G 33 に近接する。

なお、上述したように、本発明のズーム光学系では、少なくとも 3 つのレンズ群が光軸に沿って独立に移動する必要がある。そこで、図 3 に示すズーム光学系では、焦点距離の変化に際して、負レンズ群 G 33 を固定とし、負レンズ群 G 31 および負レンズ群 G 35 を光軸に沿って微動させている。ただし、負レンズ群 G 31、負レンズ群 G 33 および負レンズ群 G 35 のうちの少なくとも 1 つのレンズ群だけを焦点距離の変化に際して微動させることもできる。

【 0 0 2 7 】

また、図 3 に示すズーム光学系では、最大焦点距離状態において正レンズ群 G 32 と負レンズ群 G 31 とが近接した状態で全体として正の合成屈折力を有するように、正レンズ群 G 32 の屈折力および負レンズ群 G 31 の屈折力が規定されている。また、最大焦点距離状態において正レンズ群 G 34 と負レンズ群 G 35 とが近接した状態で全体として正の合成屈折力を有するように、正レンズ群 G 34 の屈折力および負レンズ群 G 35 の屈折力が規定されている。さらに、最小焦点距離状態において正レンズ群 G 32 および正レンズ群 G 34 が負レンズ群 G 33 に近接した状態で全体として正の合成屈折力を有するように、正レンズ群 G 32 の屈折力、負レンズ群 G 33 の屈折力および正レンズ群 G 34 の屈折力が規定されている。

【 0 0 2 8 】

したがって、図 3（ a ）では、ズーム光学系の屈折力配置が上述した合成屈折力に基づいて図 1 の正・負・正の屈折力配置となり、最大焦点距離状態を実現することができる。一

10

20

30

40

50

方、図3(b)では、ズーム光学系の屈折力配置が上述した合成屈折力に基づいて図2の負・正・負の屈折力配置となり、最小焦点距離状態を実現することができる。

しかしながら、図3に示すズーム光学系は、5つのレンズ群を必要とする5群構成の光学系であり、各レンズ群を構成する実際のレンズ成分はある程度の厚みを有する。その結果、焦点距離の変化に際して、隣接するレンズ群との間でレンズ成分が機械的に干渉し易く、いわゆるレンズ群の所要ストロークを確保することができなくなる可能性がある。

【0029】

図4は、正・負・正の屈折力配置から負・正・負の屈折力配置へ円滑に移行することのできる屈折力配置の第2の例として正・負・正・負の屈折力配置を有するズーム光学系を示す図であって、(a)は最大焦点距離状態を、(b)は最小焦点距離状態をそれぞれ示している。

10

図4に示すズーム光学系は、物体側から順に、正レンズ群G41と、負レンズ群G42と、正レンズ群G43と、負レンズ群G44とから構成されている。そして、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、負レンズ群G42が物体側へ移動して正レンズ群G41に近接し、正レンズ群G43が負レンズ群G44に近接した位置から物体側へ移動する。

【0030】

なお、前述したように、本発明のズーム光学系では、少なくとも3つのレンズ群が光軸に沿って独立に移動する必要がある。そこで、図4に示すズーム光学系では、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、負レンズ群G42と正レンズ群G43との間隔が変化するように負レンズ群G42および正レンズ群G43をともに物体側へ移動させている。また、焦点距離の変化に際して、正レンズ群G41および負レンズ群G44を光軸に沿って微動させている。ただし、正レンズ群G41および負レンズ群G44のうちのいずれか一方だけを焦点距離の変化に際して微動させることもできる。

20

【0031】

また、図4に示すズーム光学系では、最大焦点距離状態において正レンズ群G43と負レンズ群G44とが近接した状態で全体として正の合成屈折力を有するように、正レンズ群G43の屈折力および負レンズ群G44の屈折力が規定されている。また、最小焦点距離状態において正レンズ群G41と負レンズ群G42とが近接した状態で全体として負の合成屈折力を有するように、正レンズ群G41の屈折力および負レンズ群G42の屈折力が規定されている。したがって、図4(a)では、ズーム光学系の屈折力配置が上述した合成屈折力に基づいて図1の正・負・正の屈折力配置となり、最大焦点距離状態を実現することができる。一方、図4(b)では、ズーム光学系の屈折力配置が上述した合成屈折力に基づいて図2の負・正・負の屈折力配置となり、最小焦点距離状態を実現することができる。

30

【0032】

図5は、正・負・正の屈折力配置から負・正・負の屈折力配置へ円滑に移行することのできる屈折力配置の第3の例として負・正・負・正の屈折力配置を有するズーム光学系を示す図であって、(a)は最大焦点距離状態を、(b)は最小焦点距離状態をそれぞれ示している。

図5に示すズーム光学系は、物体側から順に、負レンズ群G51と、正レンズ群G52と、負レンズ群G53と、正レンズ群G54とから構成されている。そして、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、正レンズ群G52が負レンズ群G51に近接した位置から像側へ移動し、負レンズ群G53が像側へ移動して正レンズ群G54に近接する。

40

【0033】

なお、前述したように、本発明のズーム光学系では、少なくとも3つのレンズ群が光軸に沿って独立に移動する必要がある。そこで、図5に示すズーム光学系では、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、正レンズ群G52と負レンズ群G53との間隔が変化するように正レンズ群G52および負レンズ群G53をともに像側へ移動させている。また、焦点距離の変化に際して、負レンズ群G51および正レンズ群G54を光軸

50



に沿って微動させている。ただし、負レンズ群 G51 および正レンズ群 G54 のうちのいずれか一方だけを焦点距離の変化に際して微動させることもできる。

【0034】

また、図5に示すズーム光学系では、最大焦点距離状態において負レンズ群 G51 と正レンズ群 G52 とが近接した状態で全体として正の合成屈折力を有するように、負レンズ群 G51 の屈折力および正レンズ群 G52 の屈折力が規定されている。また、最小焦点距離状態において負レンズ群 G53 と正レンズ群 G54 とが近接した状態で全体として負の合成屈折力を有するように、負レンズ群 G53 の屈折力および正レンズ群 G54 の屈折力が規定されている。したがって、図5(a)では、ズーム光学系の屈折力配置が上述した合成屈折力に基づいて図1の正・負・正の屈折力配置となり、最大焦点距離状態を実現することができる。一方、図5(b)では、ズーム光学系の屈折力配置が上述した合成屈折力に基づいて図2の負・正・負の屈折力配置となり、最小焦点距離状態を実現することができる。

10

【0035】

以上のように、図3～図5に示すズーム光学系では、瞳面よりも像側のみに配置された少なくとも4つのレンズ群を備え、そのうちの少なくとも3つの可動レンズ群を光軸に沿って移動させて焦点距離を連続的に変化させている。この場合、少なくとも3つの可動レンズ群を所定の軌道に沿って移動させることにより、最大焦点距離状態と最小焦点距離状態との間の焦点距離の変化に際して、物体面および像面の位置並びに入射瞳および射出瞳の位置を実質的に変化させないようにすることができる。

【0036】

20

なお、上述したように、ズーム光学系の倍率比を大きく確保するには、最大焦点距離状態において屈折力配置が物体側から順に正・負・正の屈折力配置となり、最小焦点距離状態において屈折力配置が物体側から順に負・正・負の屈折力配置となることが好ましい。しかしながら、本発明のズーム光学系においては、最大焦点距離状態への焦点距離の変化に際して屈折力配置が物体側から順に正・負・正の屈折力配置に近づくように変化し、最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して屈折力配置が物体側から順に負・正・負の屈折力配置に近づくように変化することにより、所要の倍率比を確保することができる。

【0037】

具体的には、本発明のズーム光学系を4つのレンズ群で構成する場合、物体側から順に、正・負・正・負の屈折力配置または負・正・負・正の屈折力配置を有することが好ましい。そして、正・負・正・負の屈折力配置において所要の倍率比を確保するには、最大焦点距離状態における第1レンズ群と第2レンズ群との間隔は最小焦点距離状態での間隔よりも大きく、最大焦点距離状態における第3レンズ群と第4レンズ群との間隔は最小焦点距離状態での間隔よりも小さいことが好ましい。

30

【0038】

逆に、負・正・負・正の屈折力配置において所要の倍率比を確保するには、最大焦点距離状態における第1レンズ群と第2レンズ群との間隔は最小焦点距離状態での間隔よりも小さく、最大焦点距離状態における第3レンズ群と第4レンズ群との間隔は、最小焦点距離状態での間隔よりも大きいことが好ましい。

【0039】

40

そして、正・負・正・負の屈折力配置を有するズーム光学系において倍率比を大きく確保するには、次の条件式(1)および(2)を満足することが望ましい。

$$|f_1|/|f_2| > 1 \quad (1)$$

$$|f_3|/|f_4| < 1 \quad (2)$$

ここで、 $f_1$  は第1レンズ群の焦点距離であり、 $f_2$  は第2レンズ群の焦点距離であり、 $f_3$  は第3レンズ群の焦点距離であり、 $f_4$  は第4レンズ群の焦点距離である。

条件式(1)および(2)を満足することにより、最大焦点距離状態において正・負・正の屈折力配置を実現することができ、最小焦点距離状態において負・正・負の屈折力配置を実現することができるので、倍率比を大きく確保することが可能となる。

【0040】

50

また、本発明のズーム光学系を5つのレンズ群で構成する場合、物体側から順に、負・正・負・正・負の屈折力配置を有することが好ましい。そして、負・正・負・正・負の屈折力配置において所要の倍率比を確保するには、最大焦点距離状態における第1レンズ群と第2レンズ群との間隔並びに第4レンズ群と第5レンズ群との間隔は、最小焦点距離状態での間隔よりも小さいことが好ましい。

【0041】

また、図3～図5において、開口絞りを物体面とみなし且つ像面を開口絞りとみなすと、図示のズーム光学系は、瞳面よりも物体側のみに配置されたレンズ群から構成され、その像面および入射瞳は無限遠に位置することになる。そして、このズーム光学系の場合も、最大焦点距離状態と最小焦点距離状態との間の焦点距離の変化に際して、物体面および像面の位置並びに入射瞳および射出瞳の位置が実質的に変化することなく、本発明の範囲に含まれることになる。なお、瞳面よりも物体側のみに配置されたレンズ群から構成される本発明のズーム光学系は、たとえば顕微鏡の接眼レンズ系に適用することができる。

10

【0042】

以上のように、本発明のズーム光学系では、すべてのレンズ成分が瞳面よりも像側または物体側のみに配置され、焦点距離の変化に際して物体面および像面の位置並びに入射瞳および射出瞳の位置が実質的に変化することなく、所要の倍率比を確保することができる。また、本発明のズーム光学系を伝達光学系として露光装置の照明光学系中に組み込むことにより、ズーム光学系の焦点距離を適宜変化させて、光損失を良好に回避しながらマスクパターンの種類に応じて最適な照明NAを実現することができる。その結果、本発明の露光装置では、良好な照明条件で効率の良い露光を行うことができる。

20

【0043】

本発明の実施例を、添付図面に基づいて説明する。

図6は、本発明の第1実施例にかかるズーム光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

図6において、感光性基板であるウエハの法線方向に沿ってZ軸を、ウエハ面内において図6の紙面に平行な方向にY軸を、ウエハ面内において図6の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。

【0044】

図6に示す露光装置は、たとえば高圧水銀ランプからなる光源1を備えている。光源1は、回転楕円面からなる反射面を有する楕円鏡2の第1焦点位置に位置決めされている。したがって、光源1から射出された照明光束は、ミラー3を介して、楕円鏡2の第2焦点位置P1に光源像を形成する。楕円鏡2の第2焦点位置P1に形成された光源像からの光束は、伝達光学系としてのズーム光学系4によりほぼ平行な光束に変換された後、所望の波長域の光束のみを透過させる波長選択フィルター5に入射する。波長選択フィルター5を介して選択された露光波長の光は、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6に入射する。なお、ズーム光学系4の詳細については、2つの数値実施例を参照して後述する。ズーム光学系4の焦点距離変化は、制御系21からの指令に基づいて動作するズーム駆動系22により行われる。

30

【0045】

フライアイレンズ6は、正の屈折力を有する多数のレンズエレメントをその光軸が基準光軸AXと平行になるように縦横配列することによって構成されている。フライアイレンズ6を構成する各レンズエレメントは、マスク上において形成すべき照野の形状（ひいてはウエハ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。また、フライアイレンズ6を構成する各レンズエレメントの入射側の面は入射側に凸面を向けた球面状に形成され、射出側の面は射出側に凸面を向けた球面状に形成されている。

40

【0046】

したがって、フライアイレンズ6に入射した光束は多数のレンズエレメントにより波面分割され、各レンズエレメントの後側焦点面には1つの光源像がそれぞれ形成される。すなわち、フライアイレンズ6の後側焦点面には、多数の光源像からなる実質的な面光源が形

50

成される。フライアイレンズ 6 の後側焦点面に形成された面光源からの光束は、その近傍に配置された可変開口絞り 7 に入射する。可変開口絞り 7 は、後述する投影光学系 10 の入射瞳面と光学的にほぼ共役な位置に配置され、面光源の照明に寄与する範囲を規定するための可変開口部を有する。

【0047】

そして、可変開口絞り 7 は、可変開口部の開口径を変化させることにより、マスクへの照明光の NA すなわち照明 NA を所望の値に設定するとともに、照明条件を決定する値（投影光学系の瞳面の開口径に対するその瞳面上での光源像の口径の比）を所望の値に設定する。なお、可変開口絞り 7 の開口径の変化は、制御系 21 からの指令に基づいて動作する絞り駆動系 23 により行われる。

10

【0048】

可変開口絞り 7 を介した面光源からの光は、コンデンサー光学系 8 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 9 を重畳的に均一照明する。マスク 9 のパターンを透過した光束は、投影光学系 10 を介して、感光性基板であるウエハ 11 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 10 の光軸と直交する平面（XY 平面）内においてウエハ 11 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、ウエハ 11 の各露光領域にはマスク 9 のパターンが逐次露光される。

【0049】

なお、一括露光では、いわゆるステップ・アンド・リピート方式にしたがって、ウエハの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。この場合、マスク 9 上での照明領域の形状は正方形に近い矩形状であり、フライアイレンズ 6 の各レンズエレメントの断面形状も正方形に近い矩形状となる。

20

一方、スキャン露光では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、マスクおよびウエハを投影光学系に対して相対移動させながらウエハの各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光（走査露光）する。この場合、マスク 9 上での照明領域の形状は短辺と長辺との比がたとえば 1 : 3 の矩形状であり、フライアイレンズ 6 の各レンズエレメントの断面形状もこれと相似な矩形状となる。

【0050】

〔第 1 数値実施例〕

図 7 は、第 1 数値実施例にかかるズーム光学系のレンズ構成を示す図であって、最大焦点距離状態におけるレンズ配置を示している。

30

また、図 8 は、第 1 数値実施例にかかるズーム光学系の最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に伴う各レンズ群の移動軌跡を示す図であって、(a) は最大焦点距離状態（焦点距離  $F = 570\text{ mm}$ ）を、(b) は第 1 中間焦点距離状態（焦点距離  $F = 380\text{ mm}$ ）を、(c) は第 2 中間焦点距離状態（焦点距離  $F = 285\text{ mm}$ ）を、(d) は最小焦点距離状態（焦点距離  $F = 190\text{ mm}$ ）をそれぞれ示している。

【0051】

第 1 数値実施例にかかるズーム光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群 G1 と、負の屈折力を有する第 2 レンズ群 G2 と、正の屈折力を有する第 3 レンズ群 G3 と、負の屈折力を有する第 4 レンズ群 G4 とから構成されている。

40

そして、第 1 レンズ群 G1 は、両凸レンズ L1 から構成されている。また、第 2 レンズ群 G2 は、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L2 から構成されている。

【0052】

さらに、第 3 レンズ群 G3 は、物体側から順に、両凹レンズ L31、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L32、両凸レンズ L33、および両凸レンズ L34 から構成されている。また、第 4 レンズ群 G4 は、両凹レンズ L4 から構成されている。

なお、第 1 数値実施例のズーム光学系では、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、第 1 レンズ群 G1 ~ 第 3 レンズ群 G3 が図 8 に示すような軌道に沿って移動し、第 4 レンズ群 G4 は固定である。すなわち、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、第 1 レンズ群 G1 は像側へ移動し、第 2 レン

50

ズ群 G 2 は物体側へ移動する。そして、最小焦点距離状態において、第 1 レンズ群 G 1 と第 2 レンズ群 G 2 とが互いに近接する。

【 0 0 5 3 】

また、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、第 3 レンズ群 G 3 は、固定の第 4 レンズ群 G 4 に近接した位置から物体側へ移動する。

以上のように、第 1 数値実施例のズーム光学系では、最大焦点距離状態における第 1 レンズ群 G 1 と第 2 レンズ群 G 2 との間隔は最小焦点距離状態での間隔よりも大きく、最大焦点距離状態における第 3 レンズ群 G 3 と第 4 レンズ群 G 4 との間隔は最小焦点距離状態での間隔よりも小さい。

【 0 0 5 4 】

こうして、第 1 数値実施例のズーム光学系では、光源像の形成位置 P 1 に開口絞りが配置されているものとみなし、フライアイレンズ 6 の入射面を像面とみなすとき、焦点距離の変化に際して物体面および像面の位置並びに入射瞳および射出瞳の位置が実質的に変化しないように構成されている。以下、光源像の形成位置 P 1 に開口絞りが配置されているものとし、フライアイレンズ 6 の入射面が像面であるものとして、第 1 数値実施例のズーム光学系の特性を説明する。

【 0 0 5 5 】

次の表 ( 1 ) に、第 1 数値実施例のズーム光学系の諸元の値を掲げる。表 ( 1 ) において、F はズーム光学系の焦点距離を、f 1 は第 1 レンズ群 G 1 の焦点距離を、f 2 は第 2 レンズ群 G 2 の焦点距離を、f 3 は第 3 レンズ群 G 3 の焦点距離を、f 4 は第 4 レンズ群 G 4 の焦点距離をそれぞれ示している。また、d 1 は開口絞りと第 1 レンズ群 G 1 との軸上可変間隔を、d 3 は第 1 レンズ群 G 1 と第 2 レンズ群 G 2 との軸上可変間隔を、d 5 は第 2 レンズ群 G 2 と第 3 レンズ群 G 3 との軸上可変間隔を、d 1 3 は第 3 レンズ群 G 3 と第 4 レンズ群 G 4 との軸上可変間隔をそれぞれ示している。さらに、面番号は光線の進行する方向に沿った面の順序を、r は各面の曲率半径 ( mm ) を、d は各面の軸上間隔すなわち面間隔 ( mm ) を、n は照明光 (  $\lambda = 546.1 \text{ nm}$  ) に対する屈折率をそれぞれ示している。

【 0 0 5 6 】

【表 1】

10

20

## (主要諸元)

焦点距離F：570mm～380mm～285mm～190mm

倍率比：3

開口絞り径φ（直径）：60mm

開口絞りへの光線入射角A：0°、2.5°、3.6°、5.1°

## (光学部材諸元)

10

面番号	r	d	n	
1	(開口絞り)	(d1=可変)		
2	171.43815	18.000000	1.50839	(第1レンズ群G1)
3	-1132.08474	(d3=可変)		
4	171.92962	10.000000	1.50839	(第2レンズ群G2)
5	64.53113	(d5=可変)		
6	-60.25508	13.000000	1.50839	(第3レンズ群G3)
7	723.78037	8.551388		
8	-675.45783	30.000000	1.50839	
9	-110.00000	1.000000		
10	1541.19265	40.000000	1.50839	
11	-130.00000	1.000000		
12	288.43523	30.000000	1.50839	
13	-274.48506	(d13=可変)		
14	-1242.27153	13.000000	1.50839	(第4レンズ群G4)
15	173.46912	60.000000		
16	(像面)			

20

30

## (可変間隔)

	最小焦点	第2中間	第1中間	最大焦点
F	190.0	285.0	380.0	570.00
d1	77.95687	24.25432	10.00000	10.00000

40

d3	15.00000	105.08205	145.98277	172.83221
d5	40.00000	42.40557	51.65276	81.87262
d13	142.49166	103.70659	67.81301	10.74371

## (条件式対応値)

$$f1 = +294.2 \text{ mm}$$

$$f2 = -209.8 \text{ mm}$$

$$f3 = +136.6 \text{ mm}$$

$$f4 = -298.5 \text{ mm}$$

$$(1) \quad |f1| / |f2| = 1.4$$

$$(2) \quad |f3| / |f4| = 0.5$$

【0057】

また、次の表(2)に、開口絞りへの入射角Aが0°の光線、入射角Aが2.5°の光線(R1)、入射角Aが3.6°の光線(R2)、および入射角Aが5.1°の光線(R3)に対する光線追跡結果を掲げる。

表(2)において、は開口絞りにおける主光線(開口絞りにて光軸と交差する光線)の光軸に対する角度を、Yは像面に達する主光線の光軸からの距離すなわち像高をそれぞれ示している。また、像面上での主光線の傾斜角とは、像面上における主光線の光軸に対する傾き角をいう。

【0058】

【表2】

10

20

## (最大焦点距離状態)

焦点距離  $F : 570 \text{ mm}$ 開口絞りと像面との軸上間隔 :  $500 \text{ mm}$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $5.4' \quad (R1 : \theta = 2.5^\circ)$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $4.5' \quad (R2 : \theta = 3.6^\circ)$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $4.7' \quad (R3 : \theta = 5.1^\circ)$ 像高  $Y : 24.9 \text{ mm} \quad (R1 : \theta = 2.5^\circ)$ 

10

像高  $Y : 35.8 \text{ mm} \quad (R2 : \theta = 3.6^\circ)$ 像高  $Y : 50.7 \text{ mm} \quad (R3 : \theta = 5.1^\circ)$ 

## (第1中間焦点距離状態)

焦点距離  $F : 380 \text{ mm}$ 開口絞りと像面との軸上間隔 :  $500 \text{ mm}$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $3.0' \quad (R1 : \theta = 2.5^\circ)$ 

20

像面上での主光線の傾斜角 :  $3.0' \quad (R2 : \theta = 3.6^\circ)$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $0.4' \quad (R3 : \theta = 5.1^\circ)$ 像高  $Y : 16.6 \text{ mm} \quad (R1 : \theta = 2.5^\circ)$ 像高  $Y : 23.9 \text{ mm} \quad (R2 : \theta = 3.6^\circ)$ 像高  $Y : 33.8 \text{ mm} \quad (R3 : \theta = 5.1^\circ)$ 

## (第2中間焦点距離状態)

30

焦点距離  $F : 285 \text{ mm}$ 開口絞りと像面との軸上間隔 :  $500 \text{ mm}$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $5.2' \quad (R1 : \theta = 2.5^\circ)$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $6.9' \quad (R2 : \theta = 3.6^\circ)$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $7.9' \quad (R3 : \theta = 5.1^\circ)$ 像高  $Y : 12.4 \text{ mm} \quad (R1 : \theta = 2.5^\circ)$ 

40

像高  $Y : 17.9 \text{ mm} \quad (R2 : \theta = 3.6^\circ)$ 像高  $Y : 25.3 \text{ mm} \quad (R3 : \theta = 5.1^\circ)$

## (最小焦点距離状態)

焦点距離  $F : 190 \text{ mm}$ 開口絞りと像面との軸上間隔 :  $500 \text{ mm}$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $3.0'$  ( $R1 : \theta = 2.5^\circ$ )像面上での主光線の傾斜角 :  $4.8'$  ( $R2 : \theta = 3.6^\circ$ )像面上での主光線の傾斜角 :  $8.1'$  ( $R3 : \theta = 5.1^\circ$ )像高  $Y : 8.3 \text{ mm}$  ( $R1 : \theta = 2.5^\circ$ )像高  $Y : 11.9 \text{ mm}$  ( $R2 : \theta = 3.6^\circ$ )像高  $Y : 16.8 \text{ mm}$  ( $R3 : \theta = 5.1^\circ$ )

10

## 【0059】

図9乃至図12は、第1数値実施例のズーム光学系における横収差を示す図である。すなわち、図9は最大焦点距離状態における収差図であり、図10は第1中間焦点距離状態における収差図であり、図11は第2中間焦点距離状態における収差図であり、図12は最小焦点距離状態における収差図である。

20

各収差図において、Aは開口絞りへの光線入射角を示している。各収差図から明らかなように、第1数値実施例のズーム光学系では、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態までの各焦点距離状態において収差が良好に補正されていることがわかる。

## 【0060】

なお、前述したように、フライアイレンズ6に入射する光束が各レンズエレメントの光軸に対して傾くと、フライアイレンズ6の射出面において光束のケラレが発生し、照明の効率が低下する。一般的な設計例によれば、フライアイレンズ6の射出面において光束のケラレを実質的に回避するには、フライアイレンズ6の入射面上すなわち像面上での主光線の光軸に対する傾斜角が約 $\pm 5^\circ$ 以内であることが必要であり、マスク上での照度分布の変化を良好に抑えるには約 $\pm 1^\circ$ 以内であることが好ましいことがわかっている。

30

## 【0061】

表(2)を参照すると、第1数値実施例のズーム光学系では、像面上での主光線の光軸に対する傾斜角が非常に小さく、射出瞳の位置が焦点距離の変化に際して無限遠からほとんど変化していないことがわかる。また、像面の位置が焦点距離の変化に際して全く変化していないことがわかる。さらに、入射瞳の位置も全く変化していないことはいうまでもない。

以上のように、第1数値実施例のズーム光学系では、すべてのレンズ成分が瞳面よりも像側のみに配置され、焦点距離の変化に際して物体面および像面の位置並びに入射瞳および射出瞳の位置が実質的に変化することなく、所要の倍率比を確保することができる。

## 【0062】

40

## 〔第2数値実施例〕

図13は、第2数値実施例にかかるズーム光学系のレンズ構成を示す図であって、最大焦点距離状態におけるレンズ配置を示している。

また、図14は、第2数値実施例にかかるズーム光学系の最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に伴う各レンズ群の移動軌跡を示す図であって、(a)は最大焦点距離状態(焦点距離  $F = 600 \text{ mm}$ )を、(b)は第1中間焦点距離状態(焦点距離  $F = 400 \text{ mm}$ )を、(c)は第2中間焦点距離状態(焦点距離  $F = 300 \text{ mm}$ )を、(d)は最小焦点距離状態(焦点距離  $F = 200 \text{ mm}$ )をそれぞれ示している。

## 【0063】

第2数値実施例にかかるズーム光学系は、物体側から順に、負の屈折力を有する第1レン

50



ズ群 G 1 と、正の屈折力を有する第 2 レンズ群 G 2 と、負の屈折力を有する第 3 レンズ群 G 3 と、正の屈折力を有する第 4 レンズ群 G 4 とから構成されている。

そして、第 1 レンズ群 G 1 は、両凹レンズ L 1 から構成されている。また、第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に、両凸レンズ L 21、両凸レンズ L 22、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 23、および両凹レンズ L 24 から構成されている。

#### 【 0 0 6 4 】

さらに、第 3 レンズ群 G 3 は、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ L 3 から構成されている。また、第 4 レンズ群 G 4 は、両凸レンズ L 4 から構成されている。

なお、第 2 数値実施例のズーム光学系では、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、第 1 レンズ群 G 1 ~ 第 3 レンズ群 G 3 が図 1 4 に示すような軌道に沿って移動し、第 4 レンズ群 G 4 は固定である。すなわち、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、第 1 レンズ群 G 1 は一旦像側へ移動した後、物体側へ移動し、さらに最小焦点距離状態へ近づくにつれて物体側へ移動する。また、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、第 2 レンズ群 G 2 は、第 1 レンズ群 G 1 と近接した位置から像側へ移動する。

#### 【 0 0 6 5 】

さらに、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に際して、第 3 レンズ群 G 3 は一旦物体側へ移動した後、像側へ移動し、最小焦点距離状態において固定の第 4 レンズ群 G 4 に近接する。

以上のように、第 2 数値実施例のズーム光学系では、最大焦点距離状態における第 1 レンズ群 G 1 と第 2 レンズ群 G 2 との間隔は最小焦点距離状態での間隔よりも大きく、最大焦点距離状態における第 3 レンズ群 G 3 と第 4 レンズ群 G 4 との間隔は最小焦点距離状態での間隔よりも大きい。

#### 【 0 0 6 6 】

こうして、第 2 数値実施例のズーム光学系では、光源像の形成位置 P 1 に開口絞りが配置されているものとみなし、フライアイレンズ 6 の入射面を像面とみなすとき、焦点距離の変化に際して物体面および像面の位置並びに入射瞳および射出瞳の位置が実質的に変化しないように構成されている。以下、光源像の形成位置 P 1 に開口絞りが配置されているものとし、フライアイレンズ 6 の入射面が像面であるものとして、第 2 数値実施例のズーム光学系の特性を説明する。

#### 【 0 0 6 7 】

次の表 ( 3 ) に、第 2 数値実施例のズーム光学系の諸元の値を掲げる。表 ( 3 ) において、F はズーム光学系の焦点距離を、f 1 は第 1 レンズ群 G 1 の焦点距離を、f 2 は第 2 レンズ群 G 2 の焦点距離を、f 3 は第 3 レンズ群 G 3 の焦点距離を、f 4 は第 4 レンズ群 G 4 の焦点距離をそれぞれ示している。また、d 1 は開口絞りと第 1 レンズ群 G 1 との軸上可変間隔を、d 3 は第 1 レンズ群 G 1 と第 2 レンズ群 G 2 との軸上可変間隔を、d 1 1 は第 2 レンズ群 G 2 と第 3 レンズ群 G 3 との軸上可変間隔を、d 1 3 は第 3 レンズ群 G 3 と第 4 レンズ群 G 4 との軸上可変間隔をそれぞれ示している。さらに、面番号は光線の進行する方向に沿った面の順序を、r は各面の曲率半径 ( mm ) を、d は各面の軸上間隔すなわち面間隔 ( mm ) を、n は照明光 (  $\lambda = 546.1 \text{ nm}$  ) に対する屈折率をそれぞれ示している。

#### 【 0 0 6 8 】

#### 【 表 3 】

10

20

30

40

## (主要諸元)

焦点距離F：600mm～400mm～300mm～200mm

倍率比：3

開口絞り径φ（直径）：60mm

開口絞りへの光線入射角A：0°、2.4°、3.3°、4.8°

## (光学部材諸元)

面番号	r	d	n	
1	(開口絞り)	(d1=可変)		
2	-185.06450	13.000000	1.50839	(第1レンズ群G1)
3	3586.41632	(d3=可変)		
4	384.28464	27.438625	1.50839	(第2レンズ群G2)
5	-271.20132	1.000000		
6	97.04956	39.694311	1.50839	
7	-2482.11415	1.000000		
8	93.60504	21.938153	1.50839	
9	144.92710	17.078265		
10	-219.42806	8.000000	1.50839	
11	52.67801	(d11=可変)		
12	-100.31175	13.000000	1.50839	(第3レンズ群G3)
13	-199.93788	(d13=可変)		
14	713.30899	21.983709	1.50839	(第4レンズ群G4)
15	-168.61553	60.000000		
16	(像面)			

## (可変間隔)

	最小焦点	第2中間	第1中間	最大焦点
F	200.0	300.0	400.0	600.0
d1	29.834241	8.531256	15.409789	8.531256

10

20

30

40

d3	176.157154	121.422675	70.994410	10.000000
d11	60.419144	30.985358	60.209359	162.073170
d13	9.456398	114.927649	129.253380	95.262510

(各レンズ群の焦点距離)

$f_1 = -345.8 \text{ mm}$

$f_2 = +157.9 \text{ mm}$

$f_3 = -414.2 \text{ mm}$

$f_4 = +270.5 \text{ mm}$

10

【0069】

また、次の表(4)に、開口絞りへの入射角Aが0°の光線、入射角Aが2.4°の光線(R1)、入射角Aが3.3°の光線(R2)、および入射角Aが4.8°の光線(R3)に対する光線追跡結果を掲げる。

表(4)において、 $\theta$ は開口絞りにおける主光線(開口絞りにて光軸と交差する光線)の光軸に対する角度を、Yは像面に達する主光線の光軸からの距離すなわち像高をそれぞれ示している。また、像面上での主光線の傾斜角とは、像面上における主光線の光軸に対する傾き角をいう。

20

【0070】

【表4】

## (最大焦点距離状態)

焦点距離  $F : 600 \text{ mm}$ 開口絞りと像面との軸上間隔 :  $500 \text{ mm}$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $5.9' \quad (R1 : \theta = 2.4^\circ)$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $4.7' \quad (R2 : \theta = 3.3^\circ)$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $5.9' \quad (R3 : \theta = 4.8^\circ)$ 像高  $Y : 25.1 \text{ mm} \quad (R1 : \theta = 2.4^\circ)$ 

10

像高  $Y : 34.5 \text{ mm} \quad (R2 : \theta = 3.3^\circ)$ 像高  $Y : 50.2 \text{ mm} \quad (R3 : \theta = 4.8^\circ)$ 

## (第1中間焦点距離状態)

焦点距離  $F : 400 \text{ mm}$ 開口絞りと像面との軸上間隔 :  $500 \text{ mm}$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $0.6' \quad (R1 : \theta = 2.4^\circ)$ 

20

像面上での主光線の傾斜角 :  $0.1' \quad (R2 : \theta = 3.3^\circ)$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $2.6' \quad (R3 : \theta = 4.8^\circ)$ 像高  $Y : 16.8 \text{ mm} \quad (R1 : \theta = 2.4^\circ)$ 像高  $Y : 23.0 \text{ mm} \quad (R2 : \theta = 3.3^\circ)$ 像高  $Y : 33.5 \text{ mm} \quad (R3 : \theta = 4.8^\circ)$ 

## (第2中間焦点距離状態)

30

焦点距離  $F : 300 \text{ mm}$ 開口絞りと像面との軸上間隔 :  $500 \text{ mm}$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $1.3' \quad (R1 : \theta = 2.4^\circ)$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $1.6' \quad (R2 : \theta = 3.3^\circ)$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $1.7' \quad (R3 : \theta = 4.8^\circ)$ 像高  $Y : 12.6 \text{ mm} \quad (R1 : \theta = 2.4^\circ)$ 

40

像高  $Y : 17.3 \text{ mm} \quad (R2 : \theta = 3.3^\circ)$ 像高  $Y : 25.1 \text{ mm} \quad (R3 : \theta = 4.8^\circ)$

## (最小焦点距離状態)

焦点距離  $F : 200 \text{ mm}$ 開口絞りと像面との軸上間隔 :  $500 \text{ mm}$ 像面上での主光線の傾斜角 :  $0.4'$  ( $R1 : \theta = 2.4^\circ$ )像面上での主光線の傾斜角 :  $0.6'$  ( $R2 : \theta = 3.3^\circ$ )像面上での主光線の傾斜角 :  $0.6'$  ( $R3 : \theta = 4.8^\circ$ )像高  $Y : 8.4 \text{ mm}$  ( $R1 : \theta = 2.4^\circ$ )像高  $Y : 11.5 \text{ mm}$  ( $R2 : \theta = 3.3^\circ$ )像高  $Y : 16.7 \text{ mm}$  ( $R3 : \theta = 4.8^\circ$ )

10

## 【0071】

図15乃至図18は、第2数値実施例のズーム光学系における横収差を示す図である。すなわち、図15は最大焦点距離状態における収差図であり、図16は第1中間焦点距離状態における収差図であり、図17は第2中間焦点距離状態における収差図であり、図18は最小焦点距離状態における収差図である。

20

各収差図において、 $A$ は開口絞りへの光線入射角を示している。各収差図から明らかなように、第2数値実施例のズーム光学系においても第1数値実施例と同様に、最大焦点距離状態から最小焦点距離状態までの各焦点距離状態において収差が良好に補正されていることがわかる。

## 【0072】

また、表(4)を参照すると、第2数値実施例のズーム光学系においても第1数値実施例と同様に、像面上での主光線の光軸に対する傾斜角が非常に小さく、射出瞳の位置が焦点距離の変化に際して無限遠からほとんど変化していないことがわかる。また、像面の位置が焦点距離の変化に際して全く変化していないことがわかる。さらに、入射瞳の位置も全く変化していないことはいうまでもない。

30

以上のように、第1数値実施例のズーム光学系においても第1数値実施例と同様に、すべてのレンズ成分が瞳面よりも像側のみに配置され、焦点距離の変化に際して物体面および像面の位置並びに入射瞳および射出瞳の位置が実質的に変化することなく、所要の倍率比を確保することができる。

## 【0073】

以下、第1実施例においてズーム光学系4の焦点距離および可変開口絞り7の開口径を変化させて照明 $NA$ を変更する動作について具体的に説明する。

まず、ステップ・アンド・リピート方式またはステップ・アンド・スキャン方式にしたがって露光すべきマスクのパターンの種類に関する情報などが、キーボードのような入力手段20を介して制御系21に入力される。制御系21は、マスクパターンの種類に応じた最適な照明 $NA$ に関する情報および最適な照明 $NA$ を実現するのに必要な条件に関する情報などを内部のメモリー部に記憶しており、入力手段20からの入力に応答してズーム駆動系22および絞り駆動系23に対して最適な照明 $NA$ を実現するための適当な制御信号を供給する。

40

## 【0074】

こうして、第1実施例の露光装置では、マスクパターンの種類に応じた最適な照明 $NA$ を実現するために、ズーム駆動系22は制御系21からの指令に基づいてズーム光学系4の焦点距離を変化させるとともに、絞り駆動系23は制御系21からの指令に基づいて可変開口絞り7の開口径を変化させる。たとえば、照明 $NA$ が小さくなるように変更するには、ズーム光学系4の焦点距離を減少させてフライアイレンズ6の受光範囲を小さくし、こ

50

の光束の大きさに応じて可変開口絞り 7 の開口径を小さくする。

【 0 0 7 5 】

逆に、照明 N A が大きくなるように変更するには、ズーム光学系 4 の焦点距離を増大させてフライアイレンズ 6 の受光範囲を大きくし、この光束の大きさに応じて可変開口絞り 7 の開口径を大きくする。

以上のように、ズーム光学系 4 を伝達光学系として照明光学系中に組み込んだ第 1 実施例の露光装置では、ズーム光学系 4 の焦点距離および可変開口絞り 7 の開口径を適宜変化させて、可変開口絞り 7 における光損失を良好に回避しながらマスクパターンの種類に応じた最適な照明 N A を実現することができる。その結果、第 1 実施例の露光装置では、良好な照明条件で、効率の良い露光を行うことができる。

10

【 0 0 7 6 】

図 1 9 は、本発明の第 2 実施例にかかるズーム光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

第 2 実施例は、第 1 実施例と類似の構成を有する。しかしながら、第 1 実施例では 1 つのフライアイレンズを用いているのに対し、第 2 実施例では 2 つのフライアイレンズを用いている点が基本的に相違している。したがって、図 1 9 において、第 1 実施例の構成要素と同様の機能を有する要素には図 6 と同じ参照符号を付している。また、図 1 9 において、入力手段 2 0、制御系 2 1、ズーム駆動系 2 2 および変倍駆動系 2 3 の図示を省略している。以下、第 1 実施例との相違点に着目して第 2 実施例を説明する。

【 0 0 7 7 】

20

図 1 9 の露光装置は、露光光（照明光）を供給するための光源 3 1 として、248 nm または 193 nm の波長の光を供給するエキシマレーザー光源を備えている。光源 3 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、一対のシリンドリカルレンズ 3 2 a および 3 2 b からなるビームエキスパンダー 3 2 に入射する。各シリンドリカルレンズ 3 2 a および 3 2 b は、図 1 9 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し、基準光軸 A X を含んで紙面と直交する面内（XZ 平面内）において平行平板として機能する。したがって、ビームエキスパンダー 3 2 に入射した光束は、図 1 9 の紙面内において拡大され、所定形状の断面を有する光束、たとえば正方形形状の断面を有する光束に整形される。

【 0 0 7 8 】

30

整形光学系としてのビームエキスパンダー 3 2 を介して断面形状が整形された光束は、折り曲げミラー 3 3 で Y 方向に偏向された後、第 1 オプティカルインテグレートタとしての第 1 フライアイレンズ 3 4 に入射する。第 1 フライアイレンズ 3 4 は、たとえば断面が正方形形状で正の屈折力を有する多数のレンズエレメントをその光軸が基準光軸 A X と平行になるように縦横配列することによって構成されている。なお、各レンズエレメントの入射側の面は入射側に凸面を向けた球面状に形成され、射出側の面は平面状に形成されている。

【 0 0 7 9 】

したがって、第 1 フライアイレンズ 3 4 に入射した光束は多数のレンズエレメントにより波面分割され、各レンズエレメントの後側焦点面にはそれぞれ 1 つの光源像が形成される。第 1 フライアイレンズ 3 4 の後側焦点面に形成された多数の光源像からの光束は、伝達光学系としてのズーム光学系 3 5 を介した後、第 2 オプティカルインテグレートタとしての第 2 フライアイレンズ 3 6 を重畳的に照明する。こうして、第 2 フライアイレンズ 3 6 の入射面には、第 1 フライアイレンズ 3 4 の各レンズエレメントの断面形状に相似な正方形形状の照野が形成される。なお、ズーム光学系 3 5 として、上述の第 1 数値実施例や第 2 数値実施例に示すズーム光学系を用いることができる。

40

【 0 0 8 0 】

第 2 フライアイレンズ 3 6 は、第 1 フライアイレンズ 3 4 と同様に、正の屈折力を有する多数のレンズエレメントをその光軸が基準光軸 A X と平行になるように縦横配列することによって構成されている。しかしながら、第 2 フライアイレンズ 3 6 を構成する各レンズエレメントは、マスク上において形成すべき照野の形状（ひいてはウエハ上において形成

50

すべき露光領域の形状)と相似な矩形状の断面を有する。また、第2フライアイレンズ36を構成する各レンズエレメントの入射側の面は入射側に凸面を向けた球面状に形成され、射出側の面は射出側に凸面を向けた球面状に形成されている。

【0081】

したがって、第2フライアイレンズ36に入射した光束は多数のレンズエレメントにより波面分割され、各レンズエレメントの後側焦点面には第1フライアイレンズ34のレンズエレメントの数の多数の光源像がそれぞれ形成される。すなわち、第2フライアイレンズ36の後側焦点面には、多数の光源像からなる実質的な面光源が形成される。第2フライアイレンズ36の後側焦点面に形成された面光源からの光束は、その近傍に配置された可変開口絞り7に入射する。

10

【0082】

以下、第1実施例と同様に、可変開口絞り7を介した面光源からの光は、コンデンサー光学系8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9を重畳的に均一照明する。マスク9のパターンを透過した光束は、投影光学系10を介して、感光性基板であるウエハ11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10の光軸と直交する平面(XY平面)内においてウエハ11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、ウエハ11の各露光領域にはマスク9のパターンが逐次露光される。

【0083】

なお、一括露光では、いわゆるステップ・アンド・リピート方式にしたがって、ウエハの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。この場合、マスク9上での照明領域の形状は正方形に近い矩形状であり、第2フライアイレンズ36の各レンズエレメントの断面形状も正方形に近い矩形状となる。

20

一方、スキャン露光では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、マスクおよびウエハを投影光学系に対して相対移動させながらウエハの各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光(走査露光)する。この場合、マスク9上での照明領域の形状は短辺と長辺との比がたとえば1:3の矩形状であり、第2フライアイレンズ36の各レンズエレメントの断面形状もこれと相似な矩形状となる。

【0084】

こうして、第2実施例においても第1実施例と同様に、ズーム光学系4の焦点距離および可変開口絞り7の開口径を適宜変化させて、可変開口絞り7における光損失を良好に回避しながらマスクパターンの種類に応じた最適な照明NAを実現することができ、その結果良好な照明条件で効率の良い露光を行うことができる。

30

【0085】

各実施例の露光装置による露光の工程(フォトリソグラフィ工程)を経たウエハは、現像する工程を経てから、現像したレジスト以外の部分を除去するエッチングの工程、エッチングの工程後の不要なレジストを除去するレジスト除去の工程等を経てウエハプロセスが終了する。そして、ウエハプロセスが終了すると、実際の組立工程にて、焼き付けられた回路毎にウエハを切断してチップ化するダイシング、各チップに配線等を付与するボンディング、各チップ毎にパッケージングするパッケージング等の各工程を経て、最終的にデバイスとしての半導体装置(LSI等)が製造される。

40

【0086】

なお、以上の説明では、投影露光装置を用いたウエハプロセスでのフォトリソグラフィ工程により半導体集積回路を製造する例を示したが、露光装置を用いたフォトリソグラフィ工程によって、半導体デバイスとして、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド、撮像素子(CCD等)を製造することができる。

また、上述の各実施例においては、物体側から順に正・負・正・負の屈折力配置または負・正・負・正の屈折力配置を有する4群構成のズーム光学系に本発明を適用しているが、物体側から順に負・正・負・正・負の屈折力配置を有する5群構成のズーム光学系などに本発明を適用することもできる。

50

## 【0087】

さらに、上述の各実施例では、照明に寄与する面光源の範囲を規定する手段として開口絞りを配置し、その開口径を変化させている。しかしながら、照明光学系中の開口絞りの開口径を変化させなくても、ズーム光学系の焦点距離を変化させることにより面光源のサイズを変更することは可能であり、開口絞りの配置は必ずしも必要ない。また、上述の各実施例では、開口絞りの開口径を変化させて円形状の通常照明を行う場合を想定しているが、開口絞りの開口部の大きさおよび形状を適宜変化させて、あるいは透過率分布を有する開口絞りをを用いてその透過率分布を適宜変化させて、輪帯形状の変形照明（すなわち輪帯変形照明）や4つ目形状の変形照明（すなわち4極変形照明）などを行うこともできる。この場合、一般的に表現すれば、開口絞りは、面光源の光強度分布を所定の光強度分布に変換するための手段を構成する。

10

## 【0088】

さらに、上述の各実施例では、投影光学系と照明光学系とを含む投影露光装置において、照明光学系中の伝達光学系に対して本発明を適用している。しかしながら、投影光学系を備えることなく照明光学系のみからなるコンタクト露光型の露光装置において、照明光学系中の伝達光学系に対して本発明を適用することもできる。

また、上述の各実施例では、露光装置における照明光学系中の伝達光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく本発明の範囲内において様々な適用例が可能であることはいうまでもない。

## 【0089】

20

## 【発明の効果】

以上説明したように、本発明のズーム光学系では、すべてのレンズ成分が瞳面よりも像側または物体側のみに配置され、焦点距離の変化に際して物体面および像面の位置並びに入射瞳および射出瞳の位置が実質的に変化することなく、所要の倍率比を確保することができる。

## 【0090】

したがって、本発明のズーム光学系を伝達光学系として露光装置の照明光学系中に組み込むことにより、ズーム光学系の焦点距離を適宜変化させて、光損失を良好に回避しながらマスクパターンに応じて最適な照明NAを実現することができる。その結果、本発明の露光装置では、良好な照明条件で、効率の良い露光を行うことができる。

30

## 【図面の簡単な説明】

【図1】すべてのレンズ成分を開口絞りと像面との間に配置しつつ、光学系全体の焦点距離を極力長くするのに有利な屈折力配置を示す図である。

【図2】すべてのレンズ成分を開口絞りと像面との間に配置しつつ、光学系全体の焦点距離を極力短くするのに有利な屈折力配置を示す図である。

【図3】正・負・正の屈折力配置から負・正・負の屈折力配置へ円滑に移行することのできる屈折力配置の第1の例として負・正・負・正・負の屈折力配置を有するズーム光学系を示す図である。

【図4】正・負・正の屈折力配置から負・正・負の屈折力配置へ円滑に移行することのできる屈折力配置の第2の例として正・負・正・負の屈折力配置を有するズーム光学系を示す図である。

40

【図5】正・負・正の屈折力配置から負・正・負の屈折力配置へ円滑に移行することのできる屈折力配置の第3の例として負・正・負・正の屈折力配置を有するズーム光学系を示す図である。

【図6】本発明の第1実施例にかかるズーム光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図7】第1実施例の第1数値実施例にかかるズーム光学系のレンズ構成を示す図であって、最大焦点距離状態におけるレンズ配置を示している。

【図8】第1実施例の第1数値実施例にかかるズーム光学系の最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に伴う各レンズ群の移動軌跡を示す図である。

50



【図 9】第 1 数値実施例のズーム光学系における最大焦点距離状態での横収差を示す図である。

【図 10】第 1 数値実施例のズーム光学系における第 1 中間焦点距離状態での横収差を示す図である。

【図 11】第 1 数値実施例のズーム光学系における第 2 中間焦点距離状態での横収差を示す図である。

【図 12】第 1 数値実施例のズーム光学系における最小焦点距離状態での横収差を示す図である。

【図 13】第 1 実施例の第 2 数値実施例にかかるズーム光学系のレンズ構成を示す図であって、最大焦点距離状態におけるレンズ配置を示している。

【図 14】第 1 実施例の第 2 数値実施例にかかるズーム光学系の最大焦点距離状態から最小焦点距離状態への焦点距離の変化に伴う各レンズ群の移動軌跡を示す図である。

【図 15】第 2 数値実施例のズーム光学系における最大焦点距離状態での横収差を示す図である。

【図 16】第 2 数値実施例のズーム光学系における第 1 中間焦点距離状態での横収差を示す図である。

【図 17】第 2 数値実施例のズーム光学系における第 2 中間焦点距離状態での横収差を示す図である。

【図 18】第 2 数値実施例のズーム光学系における最小焦点距離状態での横収差を示す図である。

【図 19】本発明の第 2 実施例にかかるズーム光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図 20】投影露光装置における照明光学系中の伝達光学系のズーム化に課せられる制約を説明するための図であって、第 1 フライアイレンズから第 2 フライアイレンズまでの構成を示している。

#### 【符号の説明】

- 1、31 光源
- 2 楕円鏡
- 3、33 ミラー
- 4、35 ズーム光学系
- 5 波長選択フィルタ
- 6、34、36 フライアイレンズ
- 7 可変開口絞り
- 8 コンデンサー光学系
- 9 マスク
- 10 投影光学系
- 11 ウエハ
- 20 入力手段
- 21 制御系
- 22 ズーム駆動系
- 23 絞り駆動系
- 32 ビームエキスパンダー
- G1 第 1 レンズ群
- G2 第 2 レンズ群
- G3 第 3 レンズ群
- G4 第 4 レンズ群
- Li レンズ成分

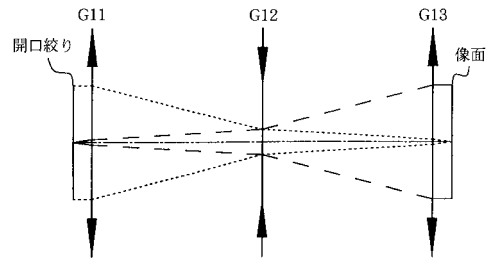
10

20

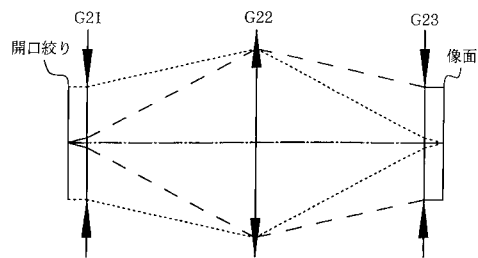
30

40

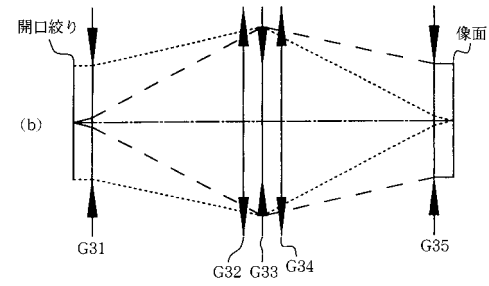
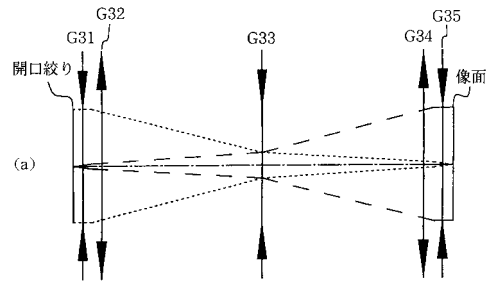
【図 1】



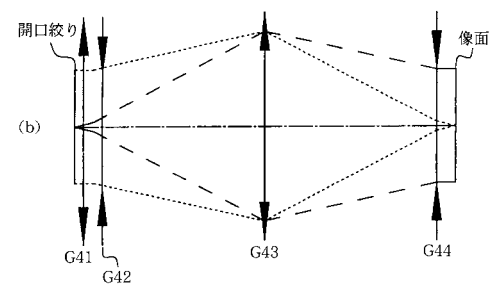
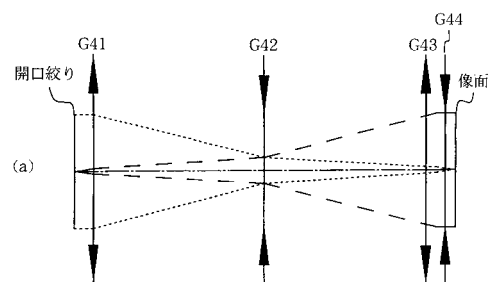
【図 2】



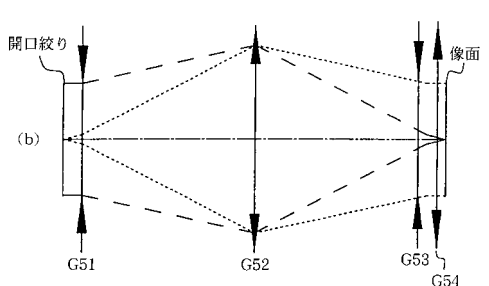
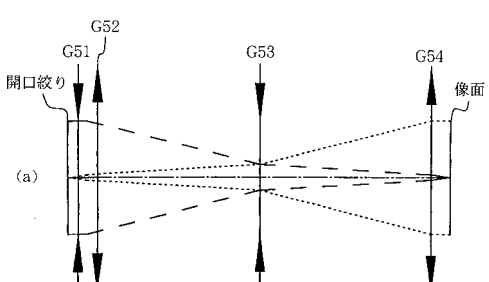
【図 3】



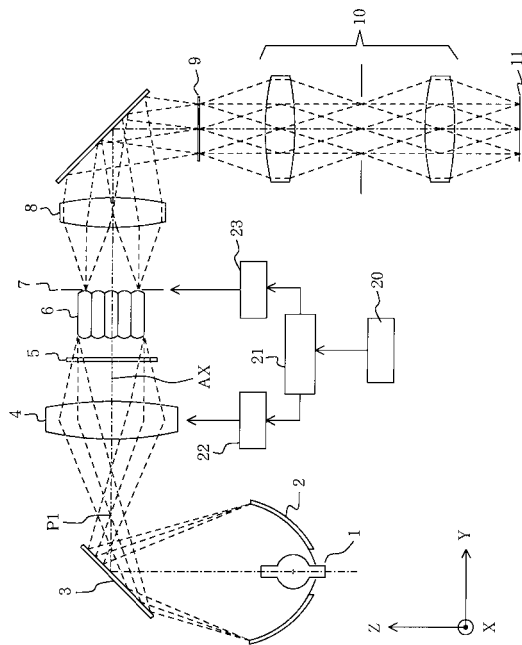
【図 4】



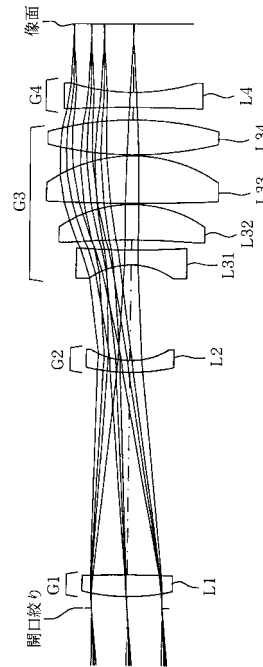
【図 5】



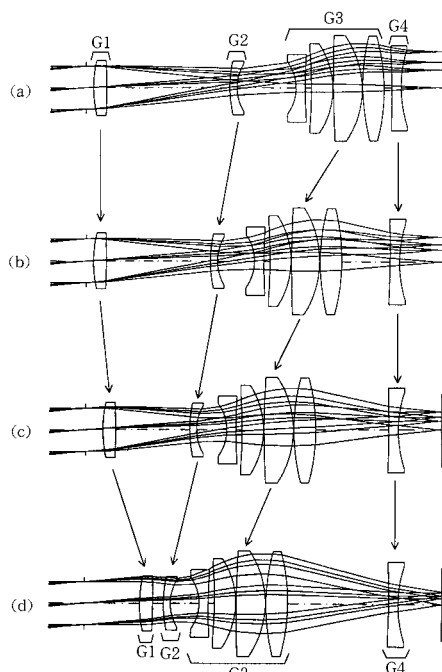
【図 6】



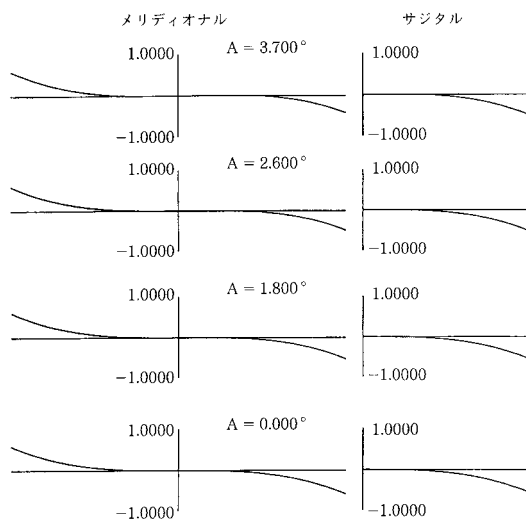
【図 7】



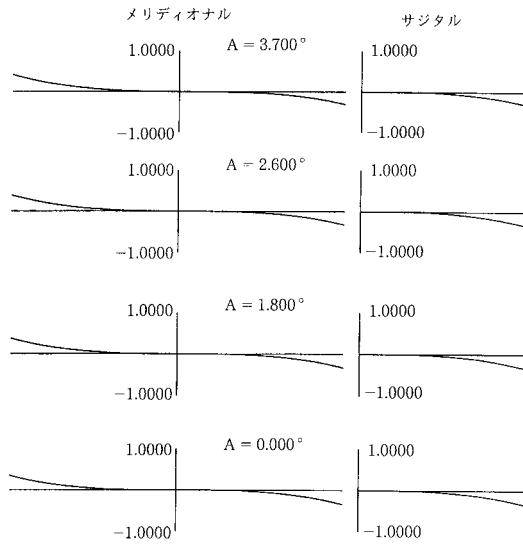
【図 8】



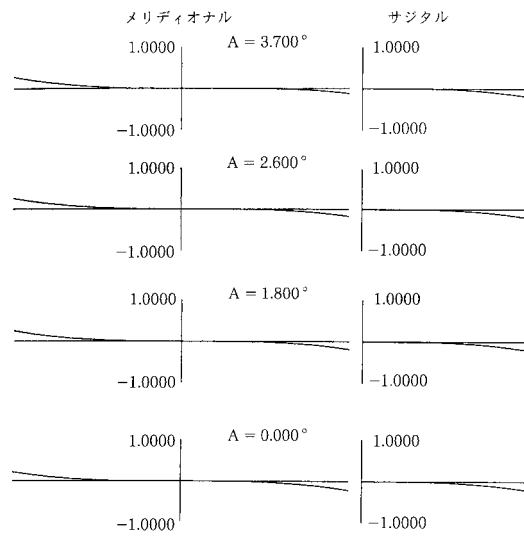
【図 9】



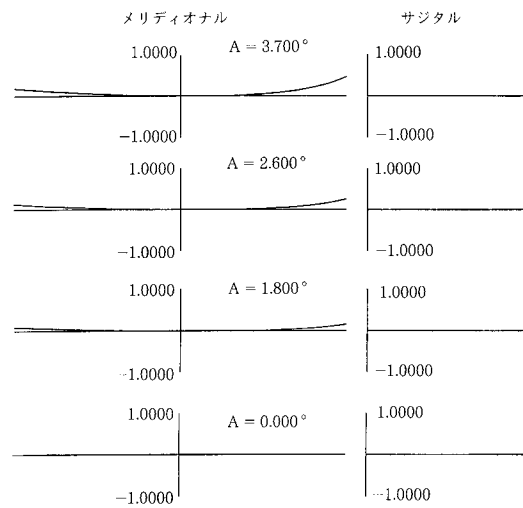
【図 10】



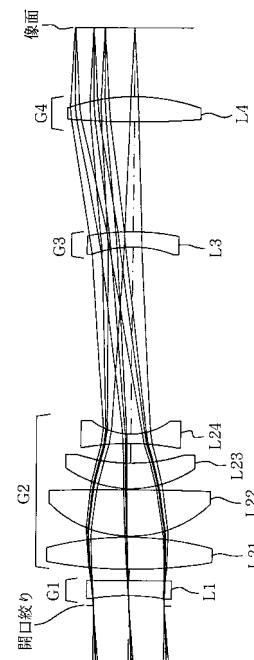
【図 11】



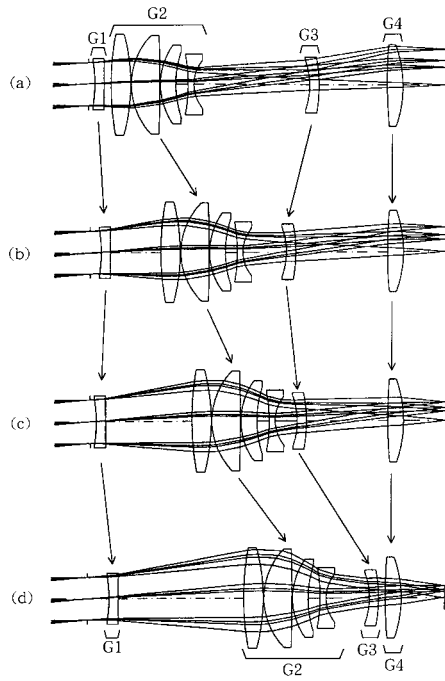
【図 12】



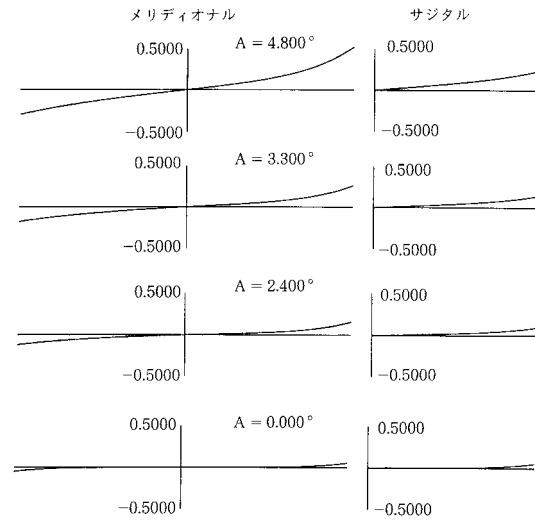
【図 13】



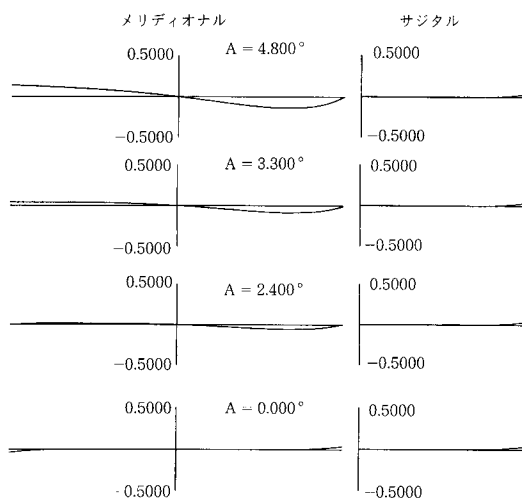
【図 14】



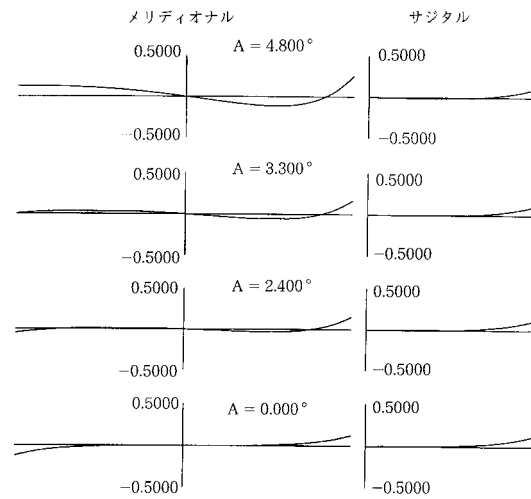
【図 15】



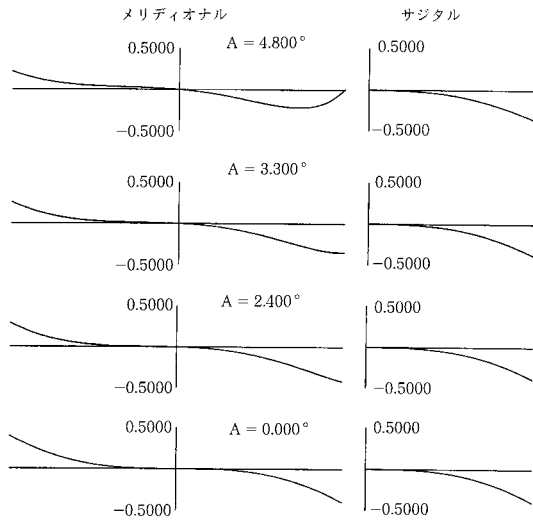
【図 16】



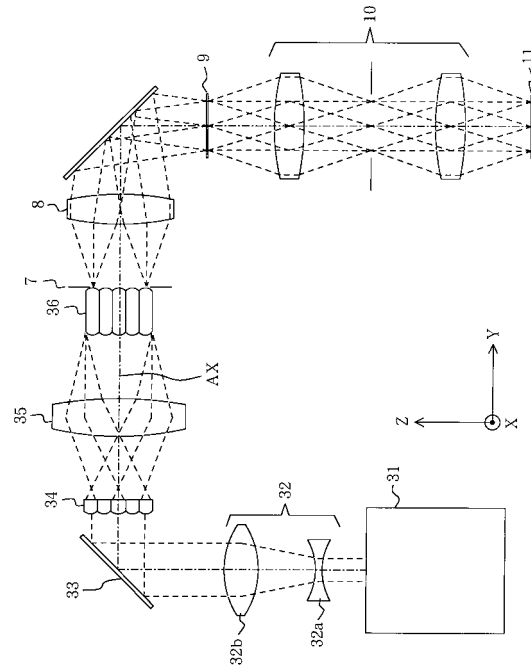
【図 17】



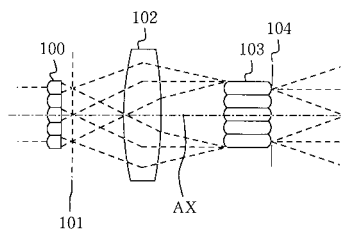
【図 18】



【図 19】



【図 20】



---

フロントページの続き

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

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G02B 9/00 - 17/08

G02B 21/02 - 21/04

G02B 25/00 - 25/04