

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4228130号
(P4228130)

(45) 発行日 平成21年2月25日 (2009. 2. 25)

(24) 登録日 平成20年12月12日 (2008. 12. 12)

(51) Int. Cl.

F 1

G O 2 B 13/24 (2006. 01)

G O 2 B 13/24

G O 2 B 13/18 (2006. 01)

G O 2 B 13/18

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 6 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2002-200695 (P2002-200695)
 (22) 出願日 平成14年7月10日 (2002. 7. 10)
 (65) 公開番号 特開2003-202494 (P2003-202494A)
 (43) 公開日 平成15年7月18日 (2003. 7. 18)
 審査請求日 平成17年6月30日 (2005. 6. 30)
 (31) 優先権主張番号 特願2001-339424 (P2001-339424)
 (32) 優先日 平成13年11月5日 (2001. 11. 5)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(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 100112427
 弁理士 藤本 芳洋
 (72) 発明者 重松 幸二
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
 (72) 発明者 工藤 慎太郎
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

審査官 原田 英信

(56) 参考文献 特開平08-254652 (JP, A)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影光学系、露光装置及びデバイスの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1物体のパターンを第2物体上に投影するi線用投影光学系において、
 前記投影光学系は、使用波長に対する屈折率1.57以上の硝材を含む複数種類の硝材
 を有し、

前記投影光学系を構成する最像側の負レンズが、該最像側の負レンズの使用波長に對する
焦点距離をf、前記第1物体から前記第2物体までの距離をL、前記最像側の負レンズ
の使用波長に対する屈折率をn、前記最像側の負レンズのアッペ数をgとするととき、

$$|f/L| < 0.25$$

$$n \geq 1.55$$

$$g > 60$$

の条件式を満たし、

前記投影光学系内に少なくとも1面の非球面を有することを特徴とする投影光学系。

【請求項 2】

前記第1物体側から、

負レンズを1枚以上含む正レンズ群である第1レンズ群と、

負レンズを2枚以上含む負レンズ群である第2レンズ群と、

正レンズを3枚以上含む正レンズ群である第3レンズ群と、

負レンズを2枚以上含む負レンズ群である第4レンズ群と、

負レンズを2枚以上含み、かつ正レンズを3枚以上含む正レンズ群である第5レンズ群

により構成されることを特徴とする請求項 1 に記載の投影光学系。

【請求項 3】

前記第 1 レンズ群、前記第 2 レンズ群、前記第 3 レンズ群、前記第 4 レンズ群及び前記第 5 レンズ群の屈折力が、前記第 1 レンズ群の使用波長に対する焦点距離を f_1 、前記第 2 レンズ群の使用波長に対する焦点距離を f_2 、前記第 3 レンズ群の使用波長に対する焦点距離を f_3 、前記第 4 レンズ群の使用波長に対する焦点距離を f_4 、前記第 5 レンズ群の使用波長に対する焦点距離を f_5 、前記第 1 物体から前記第 2 物体までの距離を L とするとき、以下の条件式を満たすことを特徴とする請求項 2 に記載の投影光学系。

$$0.04 < f_1/L < 0.4$$

$$0.015 < -f_2/L < 0.15$$

$$0.02 < f_3/L < 0.2$$

$$0.015 < -f_4/L < 0.15$$

$$0.03 < f_5/L < 0.3$$

10

【請求項 4】

前記第 1 物体側及び前記第 2 物体側がテレセントリックであることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 3 の何れか一項に記載の投影光学系。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 請求項 4 の何れか一項に記載の投影光学系と、

前記第 1 物体としてのマスク及び前記第 2 物体としての基板を位置決めするステージ系と、

20

前記マスクを照明する照明光学系とを備え、

前記照明光学系からの露光光により前記マスクのパターンの像を前記投影光学系を介して前記基板上に投影することを特徴とする露光装置。

【請求項 6】

基板上に感光材料を塗布する第 1 工程と、

請求項 5 に記載の露光装置の前記投影光学系を介して、前記基板上に前記マスクのパターンの像を投影する第 2 工程と、

前記基板上の前記感光材料を現像する第 3 工程と、

該現像後の感光材料をマスクとして前記基板上に所定の回路パターンを形成する第 4 工程とを有することを特徴とするデバイスの製造方法。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、1 物体のパターンの像を第 2 物体上に投影するための投影光学系、この投影光学系を備え、半導体素子、液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程中でマスクのパターンを基板上に転写する際に使用される露光装置、及びこの露光装置を用いたデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

40

半導体素子等を製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンの像を投影光学系を介して、レジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に転写する一括露光型（ステッパー等）、ステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の投影露光装置が使用されている。半導体集積回路等のパターンの微細化が進むに従って、その種の露光装置に備えられている投影光学系に対しては特に解像力の向上が望まれている。投影光学系の解像力を向上させるには、露光波長をより短くするか、あるいは開口数（ NA ）を大きくすることが考えられる。

【0003】

そこで近年、露光光については、水銀ランプの g 線（436nm）から、 i 線（365nm）が主に用いられるようになってきており、更に最近ではより短波長へ露光光は移行してきており

50

、短波長の露光光のもとで利用できる投影光学系が開発されている。また、投影光学系においては、解像力の向上と共に、像歪の低減要求も一段と厳しくなっている。ここで、像歪とは、投影光学系に起因するディストーション（歪曲収差）によるものの他、投影光学系の像側で焼き付けられるウエハの反り等によるものと、投影光学系の物体側で回路パターン等が描かれているレチクルの反りによるものがある。

【 0 0 0 4 】

近年益々転写パターンの微細化が進み、像歪の低減要求も一段と厳しくなっている。そこで、ウエハの反りによる像歪への影響を少なくするために、投影光学系の像側での射出瞳位置を遠くに位置させる、所謂像側テレセントリック光学系が従来より用いられてきた。一方、レチクルの反りによる像歪の軽減についても、投影光学系の入射瞳位置を物体面から遠くに位置させる、所謂物体側テレセントリック光学系にすることが考えられ、またそのように投影光学系の入射瞳位置を物体面から比較的遠くに位置させる提案がなされている。

10

【 0 0 0 5 】

【 発明が解決しようとする課題 】

解像力を向上させるために短波長の露光光を用いる場合には、投影光学系を構成する硝材の透過率の低下が問題となり、高透過率を確保するために使用できる硝材も限られたものになってきている。更に、透過率の低下は光量の損失になるばかりでなく、損失の一部は硝材に吸収され、熱に変ることによって内部の屈折率の変化やレンズ面の変形となり、結果的には結像性能を低下させる要因となっていた。また、広フィールドで高い解像力を得るには色収差の補正が必要であるが、限られた硝材において色収差を低減することは極めて困難であった。

20

【 0 0 0 6 】

この発明の課題は、両側テレセントリックとしながらも、使用する硝材の露光光の吸収による結像性能の悪化を抑え、かつ十分大きな開口数と広い露光領域とを確保しつつ、諸収差を極めて良好に補正し得る投影光学系、それを備えた露光装置及びデバイス製造方法を提供することである。

【 0 0 0 7 】

【 課題を解決するための手段 】

請求項 1 記載の投影光学系は、第 1 物体のパターンを第 2 物体上に投影する i 線用投影光学系において、前記投影光学系は、使用波長に対する屈折率 1.57 以上の硝材を含む複数種類の硝材を有し、前記投影光学系を構成する最像側の負レンズが、該最像側の負レンズの使用波長に対する焦点距離を f、前記第 1 物体から前記第 2 物体までの距離を L、前記最像側の負レンズの使用波長に対する屈折率を n、前記最像側の負レンズのアッペ数を gとするとき、

30

$$|f/L| < 0.25, n \geq 1.55, g > 60$$

の条件式を満たし、前記投影光学系内に少なくとも 1 面の非球面を有することを特徴とする。ここで像側のレンズは、露光光のエネルギー密度が高い所に位置するレンズである。また硝材（光学硝子）においては、一般的に低屈折率のものほど、短波長での透過率が高く、アッペ数も大きい。

40

【 0 0 0 8 】

この請求項 1 記載の投影光学系によれば、投影光学系が使用波長に対する屈折率 1.57 以上の屈折率の高い硝材を含んでいることから諸収差の補正を良好に行うことができる。また最像側の負レンズ、即ち露光光のエネルギー密度が高いところに位置する負レンズが、 $|f/L| < 0.25, n \geq 1.55$ の条件式を満たす。即ち最像側の負レンズが適切な負のパワーを有し、かつ使用波長に対する屈折率が低いため、露光光のエネルギー密度が高い所に位置するレンズでありながら高い透過率を確保することができ、かつ色による像面湾曲収差（波長が変化したときの像面湾曲収差の変化）の補正を良好に行うことができる。

【 0 0 1 0 】

また、最像側の負レンズが $g > 60$ の条件式を満たす。即ち、最像側の負レンズの硝材に

50

アッペ数が更に高いものが用いられているため、色による像面湾曲収差の補正を更に良好に行うことができる。

【 0 0 1 4 】

また、請求項 2 記載の投影光学系は、前記第 1 物体側から、負レンズを 1 枚以上含む正レンズ群である第 1 レンズ群と、負レンズを 2 枚以上含む負レンズ群である第 2 レンズ群と、正レンズを 3 枚以上含む正レンズ群である第 3 レンズ群と、負レンズを 2 枚以上含む負レンズ群である第 4 レンズ群と、負レンズを 2 枚以上含む、かつ正レンズを 3 枚以上含む正レンズ群である第 5 レンズ群により構成されることを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

この請求項 2 記載の投影光学系によれば、ディストーション、高次の像面湾曲、高次の球面収差やコマ収差の発生を抑えながら、コンパクトな投影光学系を実現することができる。

10

【 0 0 1 6 】

また、請求項 3 記載の投影光学系は、前記第 1 レンズ群、前記第 2 レンズ群、前記第 3 レンズ群、前記第 4 レンズ群及び前記第 5 レンズ群の屈折力が、前記第 1 レンズ群の使用波長に対する焦点距離を f_1 、前記第 2 レンズ群の使用波長に対する焦点距離を f_2 、前記第 3 レンズ群の使用波長に対する焦点距離を f_3 、前記第 4 レンズ群の使用波長に対する焦点距離を f_4 、前記第 5 レンズ群の使用波長に対する焦点距離を f_5 、前記第 1 物体から前記第 2 物体までの距離を L とするとき、

$$0.04 < f_1/L < 0.4$$

$$0.015 < -f_2/L < 0.15$$

$$0.02 < f_3/L < 0.2$$

$$0.015 < -f_4/L < 0.15$$

$$0.03 < f_5/L < 0.3$$

20

の条件式を満たすことを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

ここで、 $0.04 < f_1/L < 0.4$ の条件式は、第 1 レンズ群の最適な屈折力を規定するものである。この第 1 レンズ群が $0.04 < f_1/L < 0.4$ の条件式を満たすことにより、投影光学系のディストーションを良好に補正することができる。また、 $0.015 < -f_2/L < 0.15$ の条件式は、第 2 レンズ群の最適な屈折力を規定するものである。この第 2 レンズ群が $0.015 < -f_2/L < 0.15$ の条件式を満たすことにより、投影光学系の高次の像面湾曲を良好に補正することができる。また、 $0.02 < f_3/L < 0.2$ の条件式は、第 3 レンズ群の最適な屈折力を規定するものである。この第 3 レンズ群が $0.02 < f_3/L < 0.2$ の条件式を満たすことにより、投影光学系の長大化を招くことなく投影光学系の高次の球面収差やディストーションを良好に補正することができる。

30

【 0 0 1 8 】

また、 $0.015 < -f_4/L < 0.15$ の条件式は、第 4 レンズ群の最適な屈折力を規定するものである。この第 4 レンズ群が $0.015 < -f_4/L < 0.15$ の条件式を満たすことにより、投影光学系に高次の球面収差やコマ収差を発生させることなく、高次の像面湾曲を良好に補正することができる。更に、 $0.03 < f_5/L < 0.3$ の条件式は、第 5 レンズ群の最適な屈折力を規定するものである。この第 5 レンズ群が $0.03 < f_5/L < 0.3$ の条件式を満たすことにより、投影光学系に高次の球面収差を発生させることなくコンパクトな投影光学系を実現することができる。

40

【 0 0 1 9 】

また、請求項 4 記載の投影光学系は、前記第 1 物体側及び前記第 2 物体側がテレセントリックであることを特徴とする。

また、請求項 5 記載の露光装置は、請求項 1 ~ 請求項 4 の何れか一項に記載の投影光学系と、前記第 1 物体としてのマスク及び前記第 2 物体としての基板を位置決めするステージ系と、前記マスクを照明する照明光学系とを備え、前記照明光学系からの露光光により前記マスクのパターンの像を前記投影光学系を介して前記基板上に投影することを特徴と

50

する。

【 0 0 2 0 】

この請求項 5 記載の露光装置によれば、投影光学系が大きい開口数で、かつ両側テレセントリックに構成されているため、高い解像度が得られると共に、マスクや基板に反りが生じても投影倍率が変化することを防止できる。また、広い露光領域が得られるため、大きなチップパターンを一度に露光することができる。更にエネルギー密度の高い所に位置するレンズに、低屈折率で透過率の高い硝材を使用することで、硝材の吸収によって生じる結像性能の悪化を抑制し高い結像性能を得ることができる。また像側の負レンズに、低屈折率硝材を使用することで、広フィールドの投影光学系に発生しがちな色による像面湾曲収差を補正でき高い結像性能を得ることができる。

10

【 0 0 2 1 】

また、請求項 6 記載のデバイスの製造方法は、基板上に感光材料を塗布する第 1 工程と、請求項 5 記載の露光装置の前記前記投影光学系を介して、前記基板上に前記マスクのパターンの像を投影する第 2 工程と、前記基板上の前記感光材料を現像する第 3 工程と、該現像後の感光材料をマスクとして前記基板上に所定の回路パターンを形成する第 4 工程とを有することを特徴とする。この請求項 6 記載のデバイスの製造方法によれば、基板上において高い解像度でデバイス用の回路パターンを形成することができる。

【 0 0 2 2 】

【 発明の実施形態 】

以下、図面を参照して、この発明の実施の形態について説明する。図 1 は、投影光学系を備えた投影露光装置の構成を示す図である。

20

【 0 0 2 3 】

図 1 に示すように、投影光学系 P L の物体面には所定の回路パターンが形成された投影原版としてレチクル R が配置され、投影光学系 P L の像面には、基板としてのフォトリソが塗布されたウエハ W が配置されている。レチクル R はレチクルステージ R S 上に保持され、ウエハ W はウエハステージ W S 上に保持されている。レチクル R の上方には、レチクル R を均一照明するための照明光学装置 I S が配置されている。

【 0 0 2 4 】

投影光学系 P L は、瞳位置近傍に可変の開口絞り A S を有すると共に、レチクル R 側及びウエハ W 側において、実質的にテレセントリックとなっている。照明光学装置 I S は、露光光の照度分布を均一化するためのフライアイレンズ、照明系開口絞り、可変視野絞り（レチクルブラインド）、及びコンデンサレンズ系等から構成されている。照明光学装置 I S から供給される露光光は、レチクル R を照明し、投影光学系 P L の瞳位置には照明光学装置 I S 中の光源の像が形成され、所謂ケーラー照明が行われる。そして、ケーラー照明されたレチクル R のパターンの像が、投影光学系 P L を介して投影倍率で縮小されてウエハ W 上に露光（転写）される。

30

【 0 0 2 5 】

図 2 は、第 1 の実施例にかかる投影光学系のレンズ断面図である。この投影光学系 P L は、第 1 物体としてのレチクル R 側から、負レンズ L 1 0 1 及び正レンズ L 1 0 2 , L 1 0 3 , L 1 0 4 により構成される正レンズ群（第 1 レンズ群）G 1、負レンズ L 2 0 1 , L 2 0 2 , L 2 0 3 , L 2 0 4 により構成される負レンズ群（第 2 レンズ群）G 2、正レンズ L 3 0 1 , L 3 0 2 , L 3 0 3 , L 3 0 4 , L 3 0 5 , L 3 0 6 により構成される正レンズ群（第 3 レンズ群）G 3、負レンズ L 4 0 1 , L 4 0 2 , L 4 0 3 により構成される負レンズ群（第 4 レンズ群）G 4、負レンズ L 5 0 5 , L 5 0 9 , L 5 1 1 及び正レンズ L 5 0 1 , L 5 0 2 , L 5 0 3 , L 5 0 4 , L 5 0 6 , L 5 0 7 , L 5 0 8 , L 5 1 0 , L 5 1 2 により構成される正レンズ群（第 5 レンズ群）G 5 の 5 群によって構成されている。そして、レチクル（物体面）R 側及び第 2 物体としてのウエハ（像面）W 側の両方でテレセントリックとなっている。

40

【 0 0 2 6 】

また、投影光学系 P L 内に非球面 A S P 1 ~ A S P 4 を有するように構成されている。即

50

ち第1レンズ群G1の正レンズL104のウエハW側のレンズ面が非球面ASP1として構成されており、第2レンズ群G2の負レンズL203のウエハW側のレンズ面が非球面ASP2として構成されており、第4レンズ群G4の負レンズL402のレチクルR側のレンズ面が非球面ASP3として構成されており、第5レンズ群G5の正レンズL508のウエハW側のレンズ面が非球面ASP4として構成されている。

【0027】

この投影光学系PLは、屈折率1.57以上の硝材を含む複数種類の硝材を有しており、最像側の負レンズL511が、この最像側の負レンズL511の焦点距離を f 、レチクルRからウエハWまでの距離を L 、最像側の負レンズL511の屈折率を n とするとき、
 $|f/L| < 0.25 \quad \dots (1)$

10

$n > 1.55 \quad \dots (2)$

の条件式を満たす。この条件式(1)、(2)を満たす最像側の負レンズL511は適切な負のパワーを有している。ここで硝材(光学硝子)においては、一般的に低屈折率のものほど、短波長での透過率が高い。また最像側のレンズ付近は、露光光のエネルギー密度が高くなっている。更に硝材(光学硝子)においては、一般的に低屈折率のものほど、アッペ数が大きい。従って、条件式(1)、(2)を満たす最像側の負レンズL511によって、露光光のエネルギー密度が高い所に位置するレンズでありながら、高い透過率を確保することができ、かつ色による像面湾曲収差の補正を良好に行うことができる。即ち、色の像面湾曲の曲がり又は色に関する高次収差の補正を良好に行うことができる。

【0028】

20

更に、最像側の負レンズL511が、 $g > 50 \quad \dots (3)$ の条件式を満たすように、更に好ましくは、 $g > 60 \quad \dots (4)$ の条件式を満たすように構成されている。ここで、 g は最像側の負レンズのアッペ数であり、アッペ数は、以下の数式で定義される。

【0029】

$$g = (nd - 1) / (ng - nd)$$

nd : d線(587.6nm)の屈折率

ng : g線(435.8nm)の屈折率

最像側の負レンズL511が条件式(3)、更には(4)を満たすため、色による像面湾曲収差の補正を更に良好に行うことができる。

【0030】

30

上述のように、この投影光学系PLは、第1レンズ群G1～第5レンズ群G5の5群により構成されており、各レンズ群(第1レンズ群G1～第5レンズ群G5)の屈折力が以下の条件式を満たすように構成されている。

【0031】

$$0.04 < f_1/L < 0.4 \quad \dots (5)$$

$$0.015 < -f_2/L < 0.15 \quad \dots (6)$$

$$0.02 < f_3/L < 0.2 \quad \dots (7)$$

$$0.015 < -f_4/L < 0.15 \quad \dots (8)$$

$$0.03 < f_5/L < 0.3 \quad \dots (9)$$

この条件式において、 f_1 は第1レンズ群G1の焦点距離、 f_2 は第2レンズ群G2の焦点距離、 f_3 は第3レンズ群G3の焦点距離、 f_4 は第4レンズ群G4の焦点距離、 f_5 は第5レンズ群G5の焦点距離、 L はレチクルR(第1物体)からウエハW(第2物体)までの距離を示す。

40

【0032】

上述の条件式(5)は、第1レンズ群G1の最適な屈折力を規定するものである。この第1レンズ群G1が条件式(5)を満たすことにより、投影光学系PLのディストーションを良好に補正することができる。即ち、 f_1/L の値が条件式(5)の上限を超えると、第1レンズ群G1で発生する正のディストーションが、第2レンズ群G2、第4レンズ群G4及び第5レンズ群G5で発生する負のディストーションを補正しきれなくなるため好ましくない。一方、 f_1/L の値が条件式(5)の下限を超えると、高次の正のディストーション

50

が発生する要因となるため好ましくない。なお、第1レンズ群G1に含まれる非球面（正レンズL104のウエハW側のレンズ面）ASP1は、投影光学系PLのディストーションの良好な補正に寄与している。

【0033】

また、上述の条件式(6)は、第2レンズ群G2の最適な屈折力を規定するものである。この第2レンズ群G2が条件式(6)を満たすことにより、投影光学系PLの高次の像面湾曲を良好に補正することができる。即ち、 $-f2/L$ の値が条件式(6)の上限を超えると、高次の像面湾曲の補正が不十分となり、像面の平坦化の達成が困難となるため好ましくない。一方、 $-f2/L$ の値が条件式(6)の下限を超えると、負のディストーションの発生が大きくなり、第1レンズ群G1、第3レンズ群G3だけでは、この大きな負のディストーションの良好な補正が困難となるため好ましくない。なお、第2レンズ群G2に含まれる非球面（負レンズL203のウエハW側のレンズ面）ASP2は、投影光学系PLの高次の像面湾曲の良好な補正に寄与している。

10

【0034】

また、上述の条件式(7)は、第3レンズ群G3の最適な屈折力を規定するものである。この第3レンズ群G3が条件式(7)を満たすことにより、投影光学系PLの長大化を招くことなく投影光学系PLの高次の球面収差やディストーションを良好に補正することができる。即ち、 $f3/L$ の値が条件式(7)の上限を超えると、第2レンズ群G2と第3レンズ群G3とで形成する望遠系の望遠比（telephoto ratio）が大きくなり、投影光学系PLの長大化を招くと共に、第3レンズ群G3で発生する正のディストーションの発生量が小さくなり、第2レンズ群G2、第4レンズ群G4及び第5レンズ群G5で発生する負のディストーションを良好に補正できなくなるため好ましくない。一方、 $f3/L$ の値が条件式(7)の下限を超えると、高次の球面収差が発生し良好な結像性能をレチクルR（第2物体）上で得ることができなくなるため好ましくない。

20

【0035】

また、上述の条件式(8)は、第4レンズ群G4の最適な屈折力を規定するものである。この第4レンズ群G4が条件式(8)を満たすことにより、投影光学系PLに高次の球面収差やコマ収差を発生させることなく、高次の像面湾曲を良好に補正することができる。即ち、 $-f4/L$ の値が条件式(8)の上限を超えると、高次の像面湾曲の補正が不十分となり、像面の平坦化の悪化を招くため好ましくない。一方、 $-f4/L$ の値が条件式(8)の下限を超えると、高次の球面収差やコマ収差の発生する要因となるため好ましくない。なお、第4レンズ群G4に含まれる非球面（負レンズL402のレチクルR側のレンズ面）ASP3は、投影光学系PLの高次の像面湾曲の良好な補正に寄与している。

30

【0036】

更に、上述の条件式(9)は、第5レンズ群G5の最適な屈折力を規定するものである。この第5レンズ群G5が条件式(9)を満たすことにより、投影光学系PLに高次の球面収差を発生させることなくコンパクトな投影光学系PLを実現することができる。即ち、 $f5/L$ の値が条件式(9)の上限を超えると、第5レンズ群G5全体の屈折力が弱くなり過ぎ、結果的に投影光学系PLの長大化を招くため好ましくない。一方、 $f5/L$ の値が条件式(9)の下限を超えると、高次の球面収差が発生し、レチクルR上の像のコントラストの悪化を招くため好ましくない。なお、第5レンズ群G5に含まれる非球面（負レンズL508のウエハW側のレンズ面）ASP4は、投影光学系PLの高次の球面収差の発生の抑制に寄与している。

40

【0037】

次に、第1の実施例にかかる投影光学系の諸元値を表1、表2、表3に示す。ただし、表1において、D0はレチクルR（第1物体）から第1レンズ群G1の最もレチクルR側のレンズ面までの光軸上の距離、WDは第5レンズ群G5の最もウエハW（第2物体）側のレンズ面からウエハWまでの光軸上の距離（作動距離）、 β は投影光学系の投影倍率、N.A.は投影光学系のウエハW側の開口数、 ϕ は投影光学系のウエハW面における円形の露光領域（投影領域）の直径、Lは物像間（レチクルRとウエハWとの間）の光軸

50

上の距離である。

【 0 0 3 8 】

【表 1】

D0	84.983
WD	12.000
β	0.25
NA	0.62
Φ_{exp}	42.2
L	1250.0

10

また、表 2 において、No. はレチクル R（第 1 物体）側からのレンズ面の順序、r は該当レンズ面の曲率半径、d は該当レンズ面から次のレンズ面までの光軸上の間隔、n は i 線（ $\lambda=365.015\text{nm}$ ）における硝材屈折率、g はアッベ数をそれぞれ示している。

【 0 0 3 9 】

【表 2】

No.	r	d	n	ν g
1	357.877	18.500	1.612904	33.1
2	213.020	3.180	(air) 1	
3	230.543	43.146	1.488040	71.2
4	-603.699	1.000	(air) 1	
5	368.658	31.343	1.615457	48.6
6	-880.911	1.000	(air) 1	
7	263.755	30.100	1.612904	33.1
8	1330.000	1.000	(air) 1	
9	392.296	18.500	1.615457	48.6
10	119.730	21.871	(air) 1	
11	609.994	15.000	1.488040	71.2
12	133.416	26.671	(air) 1	
13	-379.732	15.000	1.488040	71.2
14	163.050	45.384	(air) 1	
15	-107.204	20.746	1.612904	33.1
16	-2557.185	1.000	(air) 1	
17	-2941.702	49.223	1.488040	71.2
18	-165.913	1.000	(air) 1	
19	-522.218	41.255	1.615457	48.6
20	-201.377	1.000	(air) 1	
21	1914.964	32.332	1.615457	48.6
22	-590.355	1.000	(air) 1	
23	334.769	34.977	1.615457	48.6
24	1626.081	1.000	(air) 1	
25	245.009	42.130	1.615457	48.6
26	1496.446	1.000	(air) 1	
27	303.409	33.577	1.488040	71.2
28	∞	1.000	(air) 1	
29	1176.008	19.597	1.615457	48.6
30	144.707	35.780	(air) 1	

10

20

30

40

31	-429.000	15.000	1.612904	33.1
32	205.121	41.267	(air) 1	
33	-127.263	15.500	1.612904	33.1
34	∞	24.497	(air) 1	
35	-302.411	35.725	1.488040	71.2
36	-198.179	10.000	(air) 1	
37	-1536.242	40.682	1.488040	71.2
38	-212.500	1.000	(air) 1	
39	956.359	37.834	1.488040	71.2
40	-454.905	1.000	(air) 1	
41	908.277	50.368	1.488040	71.2
42	-327.594	3.760	(air) 1	
43	-298.405	21.500	1.615457	48.6
44	-586.399	1.000	(air) 1	
45	613.613	29.534	1.488040	71.2
46	-1803.717	1.000	(air) 1	
47	211.409	34.157	1.488040	71.2
48	486.530	1.000	(air) 1	
49	164.691	52.400	1.488040	71.2
50	925.765	2.302	(air) 1	
51	1924.184	15.500	1.612904	33.1
52	100.996	6.187	(air) 1	
53	113.691	42.092	1.474584	55.9
54	∞	1.000	(air) 1	
55	551.382	38.640	1.488040	71.2
56	77.861	1.000	(air) 1	
57	66.506	40.761	1.474584	55.9
58	∞			

10

20

30

また、表 3 において、非球面形状を表す係数を示す。ここで非球面形状を以下に示す数式 40
1 にて定義する。

【 0 0 4 0 】

【 数 1 】

$$Z = \frac{h^2/r}{1 + \sqrt{1 - (1+k)h^2/r^2}} + Ah^4 + Bh^6 + Ch^8 + Dh^{10} + Eh^{12}$$

ただし、Z は s a g 量、h は光軸からの距離、r は面頂点の曲率半径、k は円錐係数 (k = 0 の時は球面) である。

【 0 0 4 1 】

50

【表 3】

No.8 面の非球面係数	
k	0
A	1.27929E-08
B	-4.53146E-1 3
C	1.07483E-17
D	-1.24207E-2 1
E	0

No.31 面の非球面係数	
k	0
A	-2.52517E-0 8
B	1.01980E-12
C	1.07363E-17
D	-7.79521E-2 2
E	5.13524E-27

10

No.14 面の非球面係数	
k	0
A	-6.91630E-0 8
B	-1.79116E-1 2
C	-8.08375E-1 8
D	-3.86358E-2 2
E	0

No.50 面の非球面係数	
k	0
A	-2.45831E-0 8
B	1.02107E-12
C	-1.51768E-1 7
D	-6.84723E-2 2
E	2.96652E-26

20

30

また、表 4 において、第 1 の実施例にかかる上記条件式 (1) ~ (9) に対応する値 (条件対応値) を示す。

【 0 0 4 2 】

【表 4】

f	-190.88
L	1250
$ f/L $	0.153
ν_g	71.2
f_1	176.63
f_1/L	0.141
f_2	-44.30
$-f_2/L$	0.035
f_3	107.24
f_3/L	0.086
f_4	-61.59
$-f_4/L$	0.049
f_5	144.05
f_5/L	0.115

10

20

図3は、第1の実施例にかかる投影光学系の縦収差及びディストーション（歪曲収差）を示し、図4は、その子午方向（タンジェンシャル方向）及び球欠方向（サジタル方向）における横収差（コマ収差）を示している。各収差図において、 $N.A.$ は投影光学系PLのウエハW側の開口数、field heightはウエハW側の像高を示しており、非点収差図中において、点線は子午像面（タンジェンシャル像面）、実線は球欠像面（サジタル像面）を示している。なお、球面収差は実線が基準波長の*i*線(365.015nm)、破線が基準波長に対し+3nm(368.015nm)、一点鎖線が基準波長に対し-3nm(362.015nm)の収差を示している。横収差（コマ収差）についても同様に、実線が基準波長の*i*線(365.015nm)、破線が基準波長に対し+3nm(368.015nm)、一点鎖線が基準波長に対し-3nm(362.015nm)の収差を示している。

30

【0043】

この第1の実施例にかかる投影光学系は、両側テレセントリックであるにも拘わらず、広い露光領域の全てにおいて、特にディストーションが良好に補正されていると共に、色も含めた収差もバランス良く補正されていることが理解できる。

【0044】

次に、第2の実施例にかかる投影光学系の構成を説明する。図5は、第2の実施例にかかる投影光学系のレンズ断面図である。この投影光学系PLは、第1物体としてのレチクルR側から、負レンズL101及び正レンズL102、L103、L104により構成される正レンズ群（第1レンズ群）G1、負レンズL201、L202、L203、L204により構成される負レンズ群（第2レンズ群）G2、正レンズL301、L302、L303、L304、L305、L306により構成される正レンズ群（第3レンズ群）G3、負レンズL401、L402、L403により構成される負レンズ群（第4レンズ群）G4、負レンズL504、L508、L510及び正レンズL501、L502、L503、L505、L506、L507、L509、L511により構成される正レンズ群（第5レンズ群）G5の5群によって構成されている。

40

【0045】

また、投影光学系PL内に非球面ASP1～ASP4を有するように構成されている。即ち第1レンズ群G1の正レンズL104のウエハW側のレンズ面が非球面ASP1として構成されており、第2レンズ群G2の負レンズL203のウエハW側のレンズ面が非球面ASP2として構成されており、第4レンズ群G4の負レンズL402のレチクルR側の

50

レンズ面が非球面 A S P 3 として構成されており、第 5 レンズ群 G 5 の正レンズ L 5 0 8 のウエハ W 側のレンズ面が非球面 A S P 4 として構成されている。

【 0 0 4 6 】

この投影光学系 P L は、屈折率 1 . 5 7 以上の硝材を含む複数種類の硝材を有し、最像側の負レンズ L 5 1 0 が、上述の条件式 (1)、(2) を満たしている。従って、この条件式 (1)、(2) を満たす最像側の負レンズ L 5 1 0 によって、露光光のエネルギー密度が高い所に位置するレンズでありながら高い透過率を確保し、かつ良好に色収差の補正を行うことができる。

【 0 0 4 7 】

更に、最像側の負レンズ L 5 1 0 が、上述の条件式 (3)、好ましくは (4) を満たすように構成されている。この条件式 (3)、更には (4) を満たす最像側の負レンズ L 5 1 0 において、色による像面湾曲収差の補正を良好に行うことができる。

10

【 0 0 4 8 】

上述のように、この投影光学系 P L は、第 1 レンズ群 G 1 ~ 第 5 レンズ群 G 5 の 5 群により構成されており、各レンズ群 (第 1 レンズ群 G 1 ~ 第 5 レンズ群 G 5) の屈折力が、上述の条件式 (5) ~ (9) を満たすように構成されている。

【 0 0 4 9 】

上述の条件式 (5) は、第 1 レンズ群 G 1 の最適な屈折力を規定するものである。この第 1 レンズ群 G 1 が条件式 (5) を満たすことにより、投影光学系 P L のディストーションを良好に補正することができる。なお、第 1 レンズ群 G 1 に含まれる非球面 (正レンズ L 1 0 4 のウエハ W 側レンズ面) A S P 1 はディストーションの良好な補正に寄与している。また、上述の条件式 (6) は、第 2 レンズ群 G 2 の最適な屈折力を規定するものである。この第 2 レンズ群 G 2 が条件式 (6) を満たすことにより、投影光学系 P L の高次の像面湾曲を良好に補正することができる。なお、第 2 レンズ群 G 2 に含まれる非球面 (負レンズ L 2 0 3 のウエハ W 側レンズ面) A S P 2 は投影光学系 P L の高次の像面湾曲の良好な補正に寄与している。また、上述の条件式 (7) は、第 3 レンズ群 G 3 の最適な屈折力を規定するものである。この第 3 レンズ群 G 3 が条件式 (7) を満たすことにより、投影光学系 P L の長大化を招くことなく投影光学系 P L の高次の球面収差やディストーションを良好に補正することができる。

20

【 0 0 5 0 】

また、上述の条件式 (8) は、第 4 レンズ群 G 4 の最適な屈折力を規定するものである。この第 4 レンズ群 G 4 が条件式 (8) を満たすことにより、投影光学系 P L に高次の球面収差やコマ収差を発生させることなく、高次の像面湾曲を良好に補正することができる。なお、第 4 レンズ群 G 4 に含まれる非球面 (負レンズ L 4 0 2 のレチクル R 側レンズ面) A S P 3 は、投影光学系 P L の高次の像面湾曲の良好な補正に寄与している。

30

【 0 0 5 1 】

更に、上述の条件式 (9) は、第 5 レンズ群 G 5 の最適な屈折力を規定するものである。この第 5 レンズ群 G 5 が条件式 (9) を満たすことにより、投影光学系 P L に高次の球面収差を発生させることなくコンパクトな投影光学系 P L を実現することができる。なお、第 5 レンズ群 G 5 に含まれる非球面 (正レンズ L 5 0 6 のウエハ W 側レンズ面) A S P 4 は、投影光学系 P L の高次の球面収差の発生の抑制に寄与している。

40

【 0 0 5 2 】

次に、第 2 の実施例にかかる投影光学系の諸元値を表 5、表 6、表 7 に示す。ただし、表 5 において、D 0 はレチクル R (第 1 物体) から第 1 レンズ群の最もレチクル R 側のレンズ面までの光軸上の距離、W D は第 5 レンズ群の最もウエハ W (第 2 物体) 側のレンズ面からウエハ W までの光軸上の距離 (作動距離)、 β は投影光学系の投影倍率、N . A . は投影光学系のウエハ W 側の開口数、 $e \times p$ は投影光学系のウエハ W 面における円形の露光領域 (投影領域) の直径、L は物像間 (レチクル R とウエハ W との間) の光軸上の距離である。

【 0 0 5 3 】

50

【表 5】

D0	81.751
WD	13.400
β	0.25
NA	0.62
Φ_{exp}	42.2
L	1250.0

10

また、表 6 において、No. はレチクル R（第 1 物体）側からのレンズ面の順序、r は該当レンズ面の曲率半径、d は該当レンズ面から次のレンズ面までの光軸上の間隔、n は i 線（ $\lambda=365.015\text{nm}$ ）における硝材屈折率、g をそれぞれ示している。

【 0 0 5 4 】

【表 6】

No.	r	d	n	ν g
1	335.964	21.205	1.612904	33.1
2	213.975	4.650	(air) 1	
3	248.066	35.553	1.488040	71.2
4	-1619.744	1.000	(air) 1	
5	554.918	31.585	1.615457	48.6
6	-474.240	1.000	(air) 1	
7	203.552	29.380	1.612904	33.1
8	829.921	1.000	(air) 1	
9	392.191	26.135	1.615457	48.6
10	118.078	22.009	(air) 1	
11	903.802	15.000	1.488040	71.2
12	136.923	24.806	(air) 1	
13	-351.266	15.000	1.488040	71.2
14	185.799	42.136	(air) 1	
15	-101.445	15.000	1.612904	33.1
16	1533.831	1.000	(air) 1	
17	1847.934	51.605	1.488040	71.2
18	-166.043	1.000	(air) 1	
19	-443.835	40.200	1.615457	48.6
20	-192.225	1.000	(air) 1	
21	2126.248	37.407	1.615457	48.6
22	-444.093	1.000	(air) 1	
23	380.000	33.651	1.615457	48.6
24	2690.657	1.000	(air) 1	
25	244.797	37.959	1.615457	48.6
26	791.087	1.000	(air) 1	
27	324.991	36.032	1.488040	71.2
28	-2616.9632	1.000	(air) 1	
29	659.689	24.282	1.615457	48.6
30	136.864	37.474	(air) 1	

10

20

30

40

31	-348.340	15.000	1.612904	33.1
32	284.613	36.010	(air) 1	
33	-135.039	30.000	1.612904	33.1
34	∞	43.670	(air) 1	
35	-512.340	34.871	1.488040	71.2
36	-191.230	10.000	(air) 1	
37	8846.029	42.291	1.488040	71.2
38	-259.293	1.000	(air) 1	
39	408.339	58.619	1.488040	71.2
40	-322.549	3.078	(air) 1	
41	-301.443	22.100	1.615457	48.6
42	-911.295	1.000	(air) 1	
43	347.139	35.636	1.488040	71.2
44	12619.174	1.000	(air) 1	
45	230.001	35.473	1.488040	71.2
46	651.090	1.000	(air) 1	
47	155.665	43.740	1.488040	71.2
48	736.429	3.734	(air) 1	
49	1219.698	17.000	1.612904	33.1
50	101.018	7.459	(air) 1	
51	119.027	42.505	1.474584	55.9
52	∞	1.000	(air) 1	
53	818.077	38.000	1.488040	71.2
54	80.92327	1.000	(air) 1	
55	66.885	38.594	1.474584	55.9
56	∞			

10

20

30

また，表 7 において、非球面形状を表す係数を示している。非球面形状を定義する数式は上記第 1 の実施例にかかる非球面形状定義する数式 1 と同一である。

【 0 0 5 5 】

【 表 7 】

40

No.8 面の非球面係数	
k	0
A	1.37724E-09
B	4.74517E-14
C	-1.65812E-17
D	-7.51967E-22
E	0

No.31 面の非球面係数	
k	0
A	-2.43974E-08
B	3.30758E-13
C	7.68269E-18
D	8.50336E-22
E	-2.72295E-26

10

No.14 面の非球面係数	
k	0
A	-3.87313E-08
B	-3.42552E-12
C	4.66140E-17
D	4.55243E-21
E	0

No.46 面の非球面係数	
k	0
A	-4.65669E-09
B	3.20001E-14
C	6.54958E-19
D	-3.46676E-23
E	-6.04525E-28

20

30

また、表 8 において、第 2 の実施例にかかる条件式 (1) ~ (9) に対応する値 (条件対応値) を示す。

【 0 0 5 6 】

【 表 8 】

f	-187.18
L	1250
f/L	0.150
ν_g	71.2
f1	177.42
f1/L	0.142
f2	-41.66
-f2/L	0.033
f3	106.69
f3/L	0.085
f4	-68.55
-f4/L	0.055
f5	148.22
f5/L	0.119

10

20

図6は、第2の実施例にかかる投影光学系の縦収差及びディストーション（歪曲収差）を示し、図7は、その子午方向（タンジェンシャル方向）及び球欠方向（サジタル方向）における横収差（コマ収差）を示している。各収差図において、N.A.は投影光学系のウエハW側の開口数、field heightはウエハW側の像高を示しており、非点収差図中において、点線は子午像面（タンジェンシャル像面）、実線は球欠像面（サジタル像面）を示している。なお、球面収差は実線が基準波長のi線(365.015nm)、破線が基準波長に対し+3nm(368.015nm)、一点鎖線が基準波長に対し-3nm(362.015nm)の収差を示している。横収差（コマ収差）についても同様に、実線が基準波長のi線(365.015nm)、破線が基準波長に対し+3nm(368.015nm)、一点鎖線が基準波長に対し-3nm(362.015nm)の収差を示している。

【0057】

30

この第2の実施例にかかる投影光学系においても、両側テレセントリックであるにも拘わらず、広い露光領域の全てにおいて、特にディストーションが良好に補正されていると共に、色も含めた収差もバランス良く補正されていることが理解できる。

【0058】

次に、第3の実施例にかかる投影光学系の構成を説明する。図8は、第3の実施例にかかる投影光学系のレンズ断面図である。この投影光学系PLは、第1物体としてのレチクルR側から、負レンズL101及び正レンズL102、L103、L104により構成される正レンズ群（第1レンズ群）G1、負レンズL201、L202、L203、L204により構成される負レンズ群（第2レンズ群）G2、正レンズL301、L302、L303、L304、L305により構成される正レンズ群（第3レンズ群）G3、負レンズL401、L402、L403により構成される負レンズ群（第4レンズ群）G4、負レンズL504、L508、L510及び正レンズL501、L502、L503、L505、L506、L507、L509、L511により構成される正レンズ群（第5レンズ群）G5の5群によって構成されている。そして、レチクル（物体面）R側及び第2物体としてのウエハ（像面）W側の両方でテレセントリックとなっている。

40

【0059】

また、投影光学系PL内に非球面ASP1～ASP5を有するように構成されている。即ち第1レンズ群G1の正レンズL104のウエハW側のレンズ面が非球面ASP1として構成されており、第2レンズ群G2の負レンズL203のウエハW側のレンズ面が非球面ASP2として構成されており、第3レンズ群G3の正レンズL305のウエハW側のレ

50

ンズ面が非球面 A S P 3 として構成されており、第 4 レンズ群 G 4 の負レンズ L 4 0 2 のレチクル R 側のレンズ面が非球面 A S P 4 として構成されており、第 5 レンズ群 G 5 の正レンズ L 5 0 7 のウエハ W 側のレンズ面が非球面 A S P 5 として構成されている。

【 0 0 6 0 】

この投影光学系 P L は、屈折率 1 . 5 7 以上の硝材を含む複数種類の硝材を有し、最像側の負レンズ L 5 1 0 が、上述の条件式 (1)、(2) を満たしている。従って、この条件式 (1)、(2) を満たす最像側の負レンズ L 5 1 0 によって、露光光のエネルギー密度が高い所に位置するレンズでありながら高い透過率を確保し、かつ色による像面湾曲収差の補正を良好に行うことができる。

【 0 0 6 1 】

更に、最像側の負レンズ L 5 1 0 が、上述の条件式 (3)、好ましくは (4) を満たすように構成されている。この条件式 (3)、更には (4) を満たす最像側の負レンズ L 5 1 0 において、色による像面湾曲収差の補正を更に良好に行うことができる。

【 0 0 6 2 】

上述のように、この投影光学系 P L は、第 1 レンズ群 G 1 ~ 第 5 レンズ群 G 5 の 5 群により構成されており、各レンズ群 (第 1 レンズ群 G 1 ~ 第 5 レンズ群 G 5) の屈折力が、上述の条件式 (5) ~ (9) を満たすように構成されている。

【 0 0 6 3 】

上述の条件式 (5) は、第 1 レンズ群 G 1 の最適な屈折力を規定するものである。この第 1 レンズ群 G 1 が条件式 (5) を満たすことにより、投影光学系のディストーションを良好に補正することができる。なお、第 1 レンズ群 G 1 に含まれる非球面 (正レンズ L 1 0 4 のウエハ W 側レンズ面) A S P 1 はディストーションの良好な補正に寄与している。また、上述の条件式 (6) は、第 2 レンズ群 G 2 の最適な屈折力を規定するものである。この第 2 レンズ群 G 2 が条件式 (6) を満たすことにより、投影光学系 P L の高次の像面湾曲を良好に補正することができる。なお、第 2 レンズ群 G 2 に含まれる非球面 (負レンズ L 2 0 3 のウエハ W 側レンズ面) A S P 2 は投影光学系 P L の高次の像面湾曲の良好な補正に寄与している。

【 0 0 6 4 】

また、上述の条件式 (7) は、第 3 レンズ群 G 3 の最適な屈折力を規定するものである。この第 3 レンズ群 G 3 が条件式 (7) を満たすことにより、投影光学系 P L の長大化を招くことなく投影光学系 P L の高次の球面収差やディストーションを良好に補正することができる。なお、第 3 レンズ群 G 3 に含まれる非球面 (正レンズ L 3 0 5 のウエハ W 側レンズ面) A S P 3 は、投影光学系 P L の長大化を抑制しつつ投影光学系 P L の高次の球面収差やディストーションの良好な補正に寄与している。

【 0 0 6 5 】

また、上述の条件式 (8) は、第 4 レンズ群 G 4 の最適な屈折力を規定するものである。この第 4 レンズ群 G 4 が条件式 (8) を満たすことにより、投影光学系 P L に高次の球面収差やコマ収差を発生させることなく、高次の像面湾曲を良好に補正することができる。なお、第 4 レンズ群 G 4 に含まれる非球面 (負レンズ L 4 0 2 のレチクル R 側レンズ面) A S P 4 は、投影光学系の高次の像面湾曲の良好な補正に寄与している。

【 0 0 6 6 】

更に、上述の条件式 (9) は、第 5 レンズ群 G 5 の最適な屈折力を規定するものである。この第 5 レンズ群 G 5 が条件式 (9) を満たすことにより、投影光学系 P L に高次の球面収差を発生させることなくコンパクトな投影光学系 P L を実現することができる。なお、第 5 レンズ群 G 5 に含まれる (正レンズ L 5 0 7 のウエハ W 側レンズ面) 非球面 A S P 5 は、投影光学系 P L の高次の球面収差の発生の抑制に寄与している。

【 0 0 6 7 】

この第 3 の実施例にかかる投影光学系の諸元値を表 9、表 1 0、表 1 1 に示す。ただし、表 9 において、D 0 はレチクル R (第 1 物体) から第 1 レンズ群の最もレチクル R 側のレンズ面までの光軸上の距離、W D は第 5 レンズ群の最もウエハ W (第 2 物体) 側のレンズ

10

20

30

40

50

面からウエハWまでの光軸上の距離（作動距離）、 M は投影光学系の投影倍率、 $N.A.$ は投影光学系のウエハW側の開口数、 Φ_{exp} は投影光学系のウエハW面における円形の露光領域（投影領域）の直径、 L は物像間（レチクルRとウエハWとの間）の光軸上の距離である。

【 0 0 6 8 】

【表 9】

D0	90.621
WD	13.400
β	0.25
NA	0.62
Φ_{exp}	42.2
L	1250.0

10

また、表 1 0 において、 $N_o.$ はレチクルR（第 1 物体）側からのレンズ面の順序、 r は該当レンズ面の曲率半径、 d は該当レンズ面から次のレンズ面までの光軸上の間隔、 n は i 線（ $\lambda = 365.015\text{nm}$ ）における硝材屈折率、 g をそれぞれ示している。

【 0 0 6 9 】

【表 1 0】

20

No.	r	d	n	ν g
1	338.289	20.330	1.612904	33.1
2	216.669	4.910	(air) 1	
3	253.403	36.996	1.48804	71.2
4	-1168.441	1.000	(air) 1	
5	604.535	31.489	1.615457	48.6
6	-467.500	1.000	(air) 1	
7	196.358	30.488	1.612904	33.1
8	834.553	1.000	(air) 1	
9	386.236	21.437	1.615457	48.6
10	120.043	22.604	(air) 1	
11	959.319	15.000	1.48804	71.2
12	132.178	26.624	(air) 1	
13	-325.234	15.000	1.48804	71.2
14	188.084	41.473	(air) 1	
15	-105.336	15.000	1.612904	33.1
16	1300.290	1.000	(air) 1	
17	1461.361	51.673	1.48804	71.2
18	-168.547	1.000	(air) 1	
19	-396.052	34.939	1.615457	48.6
20	-201.886	1.000	(air) 1	
21	1806.955	42.379	1.615457	48.6
22	-373.899	1.000	(air) 1	
23	282.486	48.957	1.615457	48.6
24	-3299.328	1.000	(air) 1	
25	183.916	47.052	1.48804	71.2
26	912.025	1.000	(air) 1	
27	493.693	29.201	1.615457	48.6
28	122.344	44.515	(air) 1	
29	-294.101	15.000	1.612904	33.1
30	351.848	30.714	(air) 1	

10

20

30

40

31	-146.417	29.120	1.612904	33.1
32	14050.000	41.566	(air) 1	
33	-516.573	36.329	1.48804	71.2
34	-198.613	10.000	(air) 1	
35	10651.072	43.432	1.48804	71.2
36	-249.279	1.000	(air) 1	
37	444.385	57.724	1.48804	71.2
38	-314.077	3.061	(air) 1	
39	-294.410	22.100	1.615457	48.6
40	-700.091	1.000	(air) 1	
41	301.935	36.548	1.48804	71.2
42	2131.526	1.000	(air) 1	
43	223.029	35.107	1.48804	71.2
44	562.142	1.000	(air) 1	
45	163.029	43.278	1.48804	71.2
46	880.469	3.624	(air) 1	
47	1616.991	17.000	1.612904	33.1
48	100.636	6.851	(air) 1	
49	116.211	41.644	1.474584	55.9
50	∞	1.000	(air) 1	
51	810.875	38.000	1.48804	71.2
52	82.131	1.000	(air) 1	
53	67.868	39.815	1.474584	55.9
54	∞		(air) 1	

10

20

30

また、表 1 1 において、非球面形状を表す係数を示している。非球面形状を定義する数式は第 1 の実施例にかかる非球面形状を定義する数式 1 と同一である。

【 0 0 7 0 】

【 表 1 1 】

No.8 面の非球面係数	
k	0
A	3.67554E-09
B	-3.11182E-14
C	-1.58208E-17
D	-8.43055E-22
E	0

No.14 面の非球面係数	
k	0
A	-4.38224E-08
B	-3.35478E-12
C	4.85230E-17
D	7.17177E-21
E	0

No.26 面の非球面係数	
k	0
A	-6.55332E-09
B	1.61650E-13
C	-1.86302E-18
D	-1.42965E-22
E	0

No.29 面の非球面係数	
k	0
A	-3.75188E-08
B	3.46986E-13
C	1.15899E-17
D	1.26019E-22
E	-1.24869E-25

No.44 面の非球面係数	
k	0
A	-5.94584E-09
B	4.49868E-14
C	5.91348E-19
D	-3.25933E-23
E	-1.06061E-27

10

20

30

40

また、表 1 2 において、第 3 の実施例にかかる上記条件式 (1) ~ (9) に対応する値 (条件対応値) を示す。

【 0 0 7 1 】

【 表 1 2 】

F	-190.51
L	1250
f/L	0.152
ν_g	71.2
F1	173.28
F1/L	0.139
F2	-41.36
-f2/L	0.033
F3	105.88
F3/L	0.085
F4	-70.10
-f4/L	0.056
F5	146.64
F5/L	0.117

10

20

図 9 は、第 3 の実施例にかかる投影光学系の縦収差及びディストーション(歪曲収差)を示し、図 10 は、その子午方向(タンジェンシャル方向)及び球欠方向(サジタル方向)における横収差(コマ収差)を示している。各収差図において、N.A. は投影光学系のウエハ W 側の開口数、field height はウエハ W 側の像高を示しており、非点収差図中において、点線は子午像面(タンジェンシャル像面)、実線は球欠像面(サジタル像面)を示している。球面収差は実線が基準波長の i 線(365.015nm)、破線が基準波長に対し+3nm(368.015nm)、一点鎖線が基準波長に対し-3nm(362.015nm)の収差を示している。横収差(コマ収差)についても同様に、実線が基準波長の i 線(365.015nm)、破線が基準波長に対し+3nm(368.015nm)、一点鎖線が基準波長に対し-3nm(362.015nm)の収差を示している。

【0072】

30

この第 3 の実施例にかかる投影光学系においても、両側テレセントリックであるにも拘わらず、広い露光領域の全てにおいて、特にディストーションが良好に補正されていると共に、色も含めた収差もバランス良く補正されていることが理解できる。

【0073】

なお、上記の実施の形態では、露光光として i 線($\lambda=365.015\text{nm}$)の光を用いた例を示したが、本発明はこれに限定されることなく、エキシマレーザ光等の極紫外光や、水銀ランプの g 線(波長 435.8nm)等、更にはそれ以外の紫外領域の光を使用する場合にも適用できることは言うまでもない。

【0074】

次に、図 11 に示すフローチャートを参照して、上述の各実施例にかかる投影光学系を有する投影露光装置を用いてウエハ W 上に所定の回路パターンを形成する際の動作の説明を行う。

40

【0075】

先ず、図 11 のステップ S1 において、1 ロットのウエハ W 上に金属膜が蒸着される。次のステップ S2 において、その 1 ロットのウエハ W 上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ S3 において、上記実施例の投影光学系 PL (図 2, 5 又は図 8) を備えた図 1 の投影露光装置を用いて、レチクル R 上のパターンの像がその投影光学系 PL を介して、その 1 ロットのウエハ W 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 S4 において、その 1 ロットのウエハ W 上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ S5 において、その 1 ロットのウエハ W 上でレジストパターンをマスク

50

としてエッチングを行うことによって、レチクルR上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハW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。

【0076】

この際に、この投影光学系は、両側テレセントリックであるが、使用する硝材の吸収による結像性能の悪化を抑え、開口数 NA が大きくできるため、レチクルRの反りや露光対象の各ウエハWに反りがあっても、各ウエハW上に微細な回路パターンを高い解像度で安定して形成できる。また、投影光学系PLの露光領域が広いため、大きなデバイスを高いスループットで製造できる。

【0077】

なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【0078】

【発明の効果】

この発明の投影光学系によれば、両側テレセントリックとしながらも、使用する硝材の露光光の吸収による結像性能の悪化を抑えることができ、大きな開口数と広い露光領域とを確保しつつ、諸収差、特にディストーションを極めて良好に補正することができる。また、投影光学系をコンパクトで高性能なものとすることができる。

【0079】

また、この発明の露光装置によれば、両側テレセントリックとしながらも、使用する硝材の露光光の吸収による結像性能の悪化を抑え、大きな開口数と広い露光領域が得られる投影光学系を備えているため、マスクや基板に反りがあっても基板上に高い解像度でマスクパターン像を転写できる。また、投影光学系の露光領域が広いため、極めて微細な回路パターンを基板上の広い露光領域に形成することができる。更に、この発明のデバイスの製造方法によれば、マスクや基板に反りがある場合でも高性能なデバイスをスループット良く製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施の形態にかかる投影光学系を備えた投影露光装置の構成を示す図である。

【図2】この発明の第1の実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

【図3】この発明の第1の実施例にかかる投影光学系の縦収差を示す図である。

【図4】この発明の第1の実施例にかかる投影光学系の横収差を示す図である。

【図5】この発明の第2の実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

【図6】この発明の第2の実施例にかかる投影光学系の縦収差を示す図である。

【図7】この発明の第2の実施例にかかる投影光学系の横収差を示す図である。

【図8】この発明の第3の実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

【図9】この発明の第3の実施例にかかる投影光学系の縦収差を示す図である。

【図10】この発明の第3の実施例にかかる投影光学系の横収差を示す図である。

【図11】この発明の各実施例にかかる投影光学系を用いた半導体デバイスの製造方法を示すフローチャートである。

【符号の説明】

IS...照明光学装置、R...レチクル、RS...レチクルステージ、PL...投影光学系、AS...開口絞り、W...ウエハ、WS...ウエハステージ、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、G5...第5レンズ群。

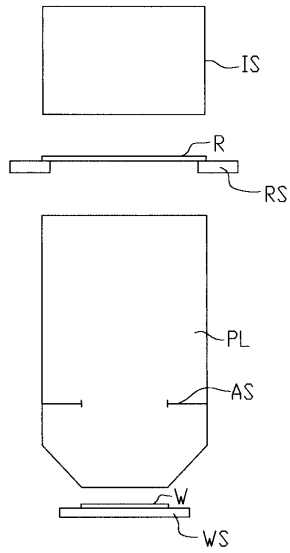
10

20

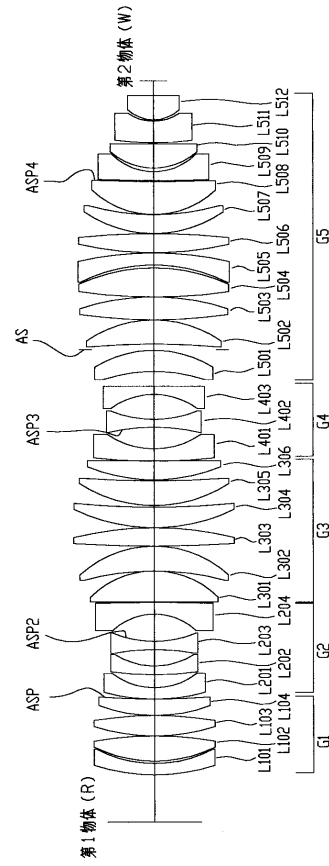
30

40

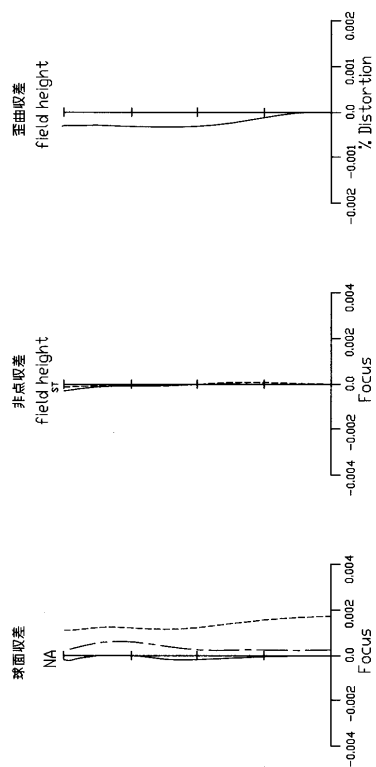
【図 1】



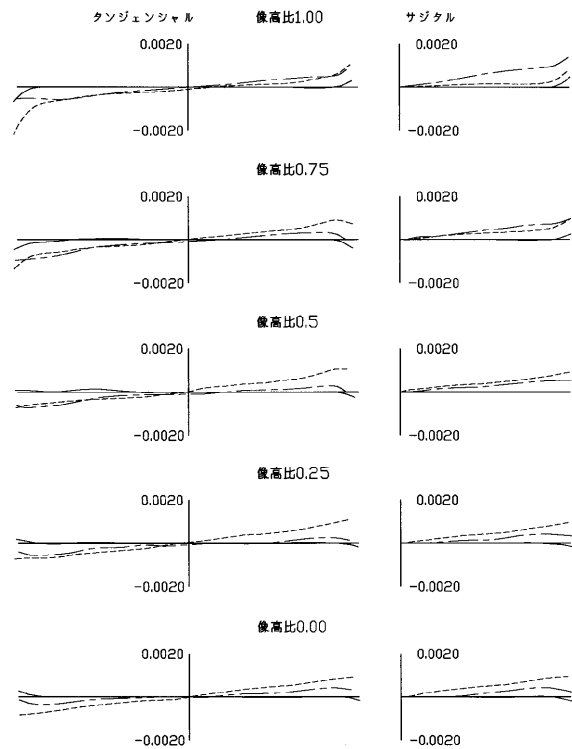
【図 2】



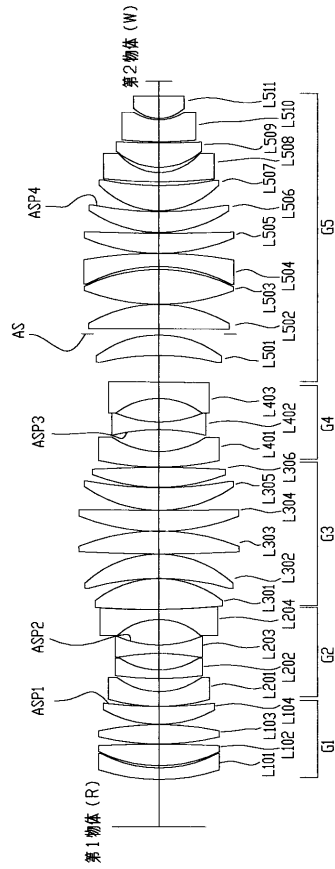
【図 3】



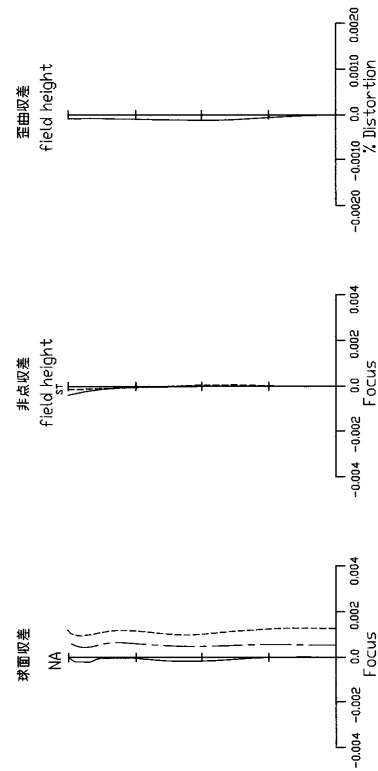
【図 4】



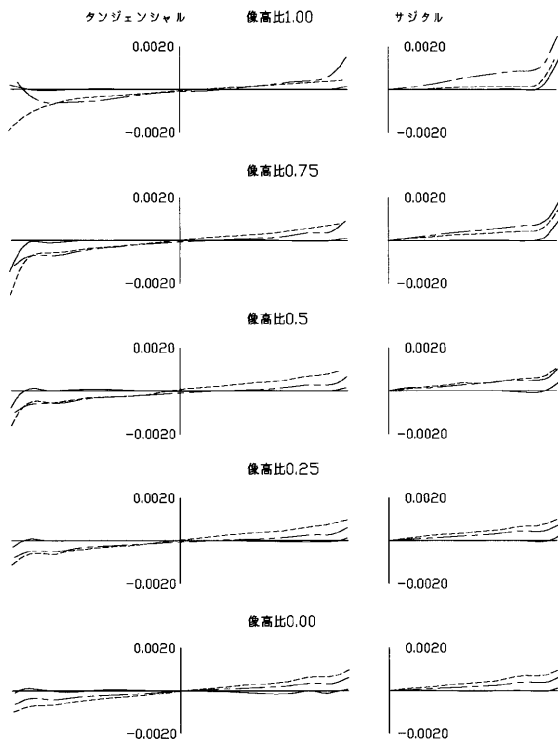
【図 5】



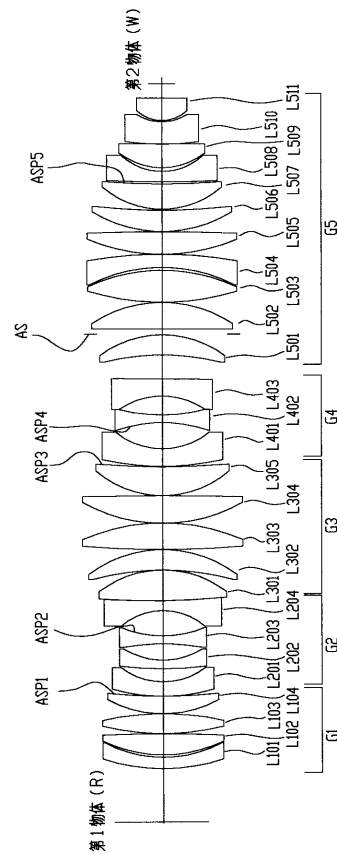
【図 6】



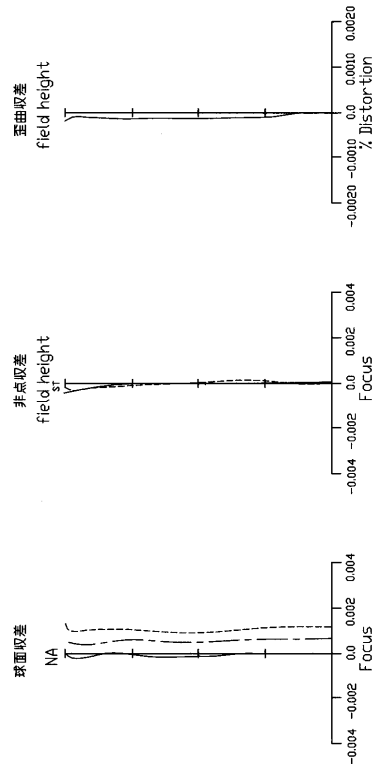
【図 7】



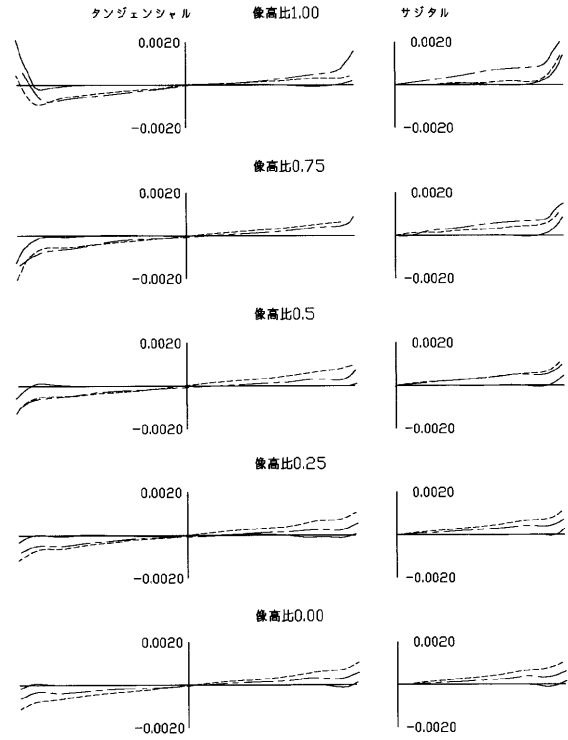
【図 8】



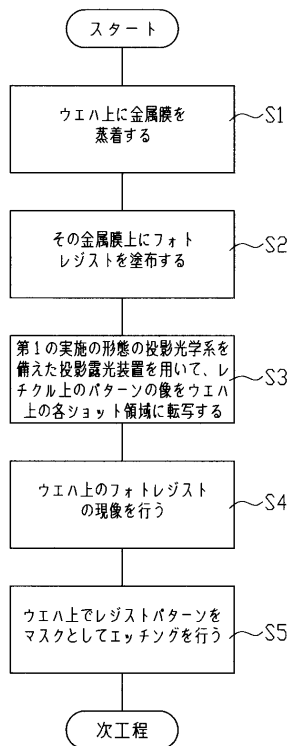
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(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