

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4300509号  
(P4300509)

(45) 発行日 平成21年7月22日(2009.7.22)

(24) 登録日 平成21年5月1日(2009.5.1)

(51) Int.Cl.

F 1

GO2B 13/24	(2006.01)	GO2B 13/24
GO2B 13/14	(2006.01)	GO2B 13/14
GO2B 13/18	(2006.01)	GO2B 13/18
GO2B 13/22	(2006.01)	GO2B 13/22
GO3F 7/20	(2006.01)	GO3F 7/20 521

請求項の数 8 (全 23 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2003-3867 (P2003-3867)

(22) 出願日

平成15年1月10日 (2003.1.10)

(65) 公開番号

特開2004-219501 (P2004-219501A)

(43) 公開日

平成16年8月5日 (2004.8.5)

審査請求日

平成17年10月20日 (2005.10.20)

(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 重松 幸二

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

(56) 参考文献 国際公開第O1/O50171 (WO, A 1)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影光学系、露光装置、および露光方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、

前記第1面側から順に、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、正の屈折力を有する第5レンズ群とを備え、

前記第1レンズ群は、少なくとも2つの負レンズと、少なくとも1つの非球面状の光学面とを含み、

前記第2レンズ群は、前記第2面側に連続して配置された少なくとも4つの正レンズを含み、

前記第3レンズ群は、少なくとも2つの負レンズと、少なくとも1つの非球面状の光学面とを含み、

前記第4レンズ群は、少なくとも5つの正レンズと、少なくとも1つの負レンズと、少なくとも1つの非球面状の光学面とを含み、

前記第5レンズ群は、少なくとも1つの負レンズを含み、

前記第1レンズ群において最も前記第2面側に配置されたレンズは、前記第2面に向かられた第1の凹面を有し、

前記第3レンズ群において最も前記第1面側に配置されたレンズは、前記第1面に向かられた第2の凹面を有し、

前記第4レンズ群と前記第5レンズ群との軸上間隔をD45とし、前記第1面と前記第2

10

20

面との距離を  $L$  とするとき、

$$\underline{0.035} \quad D45 / L < 0.1$$

の条件を満足することを特徴とする投影光学系。

**【請求項 2】**

前記第1レンズ群中の前記第1の凹面から射出される光の最大射出角(度)  $\alpha_1$  と、前記第3レンズ群中の前記第2の凹面へ入射する光の最大入射角(度)  $\alpha_2$  とは、

$$35 < \alpha_1 < 60$$

$$35 < \alpha_2 < 60$$

の条件を満足す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レンズ群中の前記第1の凹面の有効径を  $r_1$  とし、前記第3レンズ群中の前記第2の凹面の有効径を  $r_2$  とし、前記第2レンズ群の最大有効径を  $r_{max}$  とするとき、

$$0.5 < r_1 / r_{max} < 0.8$$

$$0.5 < r_2 / r_{max} < 0.8$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1または2に記載の投影光学系。

**【請求項 4】**

前記投影光学系を構成するすべての光学部材は、1.6以下の屈折率を有する光学材料で形成されていることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の投影光学系。

**【請求項 5】**

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  $f_4$  とし、前記第5レンズ群の焦点距離を  $f_5$  とし、前記第1面と前記第2面との距離を  $L$  とするとき、

$$0.05 < |f_1| / L < 0.5$$

$$0.02 < f_2 / L < 0.2$$

$$0.01 < |f_3| / L < 0.1$$

$$0.03 < f_4 / L < 0.3$$

$$0.1 < f_5 / L < 1$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の投影光学系。

**【請求項 6】**

前記第1面側および前記第2面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乃至5のいずれか1項に記載の投影光学系。

**【請求項 7】**

前記第1面に配置されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第2面に配置された感光性基板上に形成するための請求項1乃至6のいずれか1項に記載の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

**【請求項 8】**

前記第1面に配置されたマスクを照明し、前記マスクに形成されたパターンを請求項1乃至6のいずれか1項に記載の投影光学系を介して前記第2面に配置された感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法。

**【発明の詳細な説明】**

**【0001】**

**【発明の属する技術分野】**

本発明は、投影光学系、露光装置、および露光方法に関し、特に半導体素子や液晶表示素子などのマイクロデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に好適な投影光学系に関するものである。

**【0002】**

**【従来の技術】**

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像を、投影光学系を介して、レジストの塗布されたウェハ(またはガラスプレート等)上に転写する露光装置が

10

20

30

40

50

使用されている。この種の露光装置では、半導体集積回路等のパターンの微細化が進むに従って、投影光学系に対する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、露光光の波長をより短くするか、あるいは開口数をより大きくすることが考えられる。

#### 【0003】

近年、露光光については、水銀ランプのg線(436nm)やi線(365nm)から、より短波長のKrFエキシマレーザ光(248nm)やArFエキシマレーザ光(193nm)へ移行しつつある。しかしながら、投影光学系の解像力を向上させるために露光光の短波長化を図ると、投影光学系を構成する光学部材に使用可能な所定の透過率を有する光学材料の種類は限られたものとなり、投影光学系の設計が困難になる。具体的には、KrFエキシマレーザ光やArFエキシマレーザ光を用いる投影光学系では、使用可能な光学材料が実質的には屈折率の比較的低い石英や萤石などに限定される。

10

#### 【0004】

また、投影光学系においては、解像力の向上と共に、像歪の低減に対する要求も一段と厳しくなってきている。ここで、像歪とは、投影光学系のディストーション(歪曲収差)に起因する像歪だけではなく、投影光学系の像面に設定されてレチクルパターンが焼き付けられるウェハの反り等に起因する像歪や、投影光学系の物体面に設定されて回路パターン等が描かれているレチクルの反りに起因する像歪がある。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】  
上述のように、従来技術では、転写パターンの微細化に伴って、像歪の低減要求も一段と厳しくなってきている。そこで、ウェハの反りの像歪への影響を少なくするために、投影光学系の射出瞳を像面から遠くに位置させる、いわゆる像側にテレセントリックな投影光学系が提案されている。また、レチクルの反りに起因する像歪を軽減するために、投影光学系の入射瞳を物体面から比較的遠くに位置させる提案もなされている。

20

#### 【0006】

しかしながら、従来技術では、高解像力を有する投影光学系について種々の提案がなされているが、十分に広い実効露光領域(イメージフィールド:結像領域)が確保されていない。このため、レチクルとウェハとを投影光学系に対して相対移動させつつウェハの各露光領域にレチクルパターンを走査露光する、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式の投影露光を行っており、十分に高いスループットを実現することができなかった。このように、高スループットな露光装置を実現するために、ウェハ上においてより広いイメージフィールドを確保すること、すなわち広フィールド化が望まれている。

30

#### 【0007】

また、上述したように、解像力を向上させるために露光光の短波長化を図ると、投影光学系を構成する光学材料の透過率低下が問題となり、高透過率を確保するために使用可能な光学材料の種類も限られたものになる。さらに、透過率の低下は単に光量損失を起こすだけでなく、損失光の一部は光学部材によって吸収され、吸収された光が熱に換わることにより光学部材の屈折率の変化や光学面(レンズ面)の変形を引き起こすため、結果的に投影光学系の結像性能を低下させる要因となる。

40

#### 【0008】

また、広フィールド化および高解像力化を図るには収差の補正が必要であるが、限られた種類の光学材料を用いて広い露光領域の全体に亘って収差を補正することは極めて困難である。

#### 【0009】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、両側にほぼテレセントリックで、十分に大きな開口数および十分に広い結像領域を確保しつつ、ディストーションを含む諸収差が良好に補正された、コンパクトで高性能な投影光学系を提供することを目的とする。また、本発明は、コンパクトで高性能な投影光学系を用いて、高いスループットおよび高い解像力で良好な投影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

50

目的とする。

【0010】

【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形態では、第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、

前記第1面側から順に、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、正の屈折力を有する第5レンズ群とを備え、

前記第1レンズ群は、少なくとも2つの負レンズと、少なくとも1つの非球面状の光学面とを含み、

前記第2レンズ群は、前記第2面側に連続して配置された少なくとも4つの正レンズを含み、

前記第3レンズ群は、少なくとも2つの負レンズと、少なくとも1つの非球面状の光学面とを含み、

前記第4レンズ群は、少なくとも5つの正レンズと、少なくとも1つの負レンズと、少なくとも1つの非球面状の光学面とを含み、

前記第5レンズ群は、少なくとも1つの負レンズを含み、

前記第1レンズ群において最も前記第2面側に配置されたレンズは、前記第2面に向けられた第1の凹面を有し、

前記第3レンズ群において最も前記第1面側に配置されたレンズは、前記第1面に向けられた第2の凹面を有し、

前記第4レンズ群と前記第5レンズ群との軸上間隔をD45とし、前記第1面と前記第2面との距離をLとするとき、

$$0.02 < D45 / L < 0.1$$

の条件を満足することを特徴とする投影光学系を提供する。

【0011】

第1形態の好ましい態様によれば、前記第1レンズ群中の前記第1の凹面から射出される光の最大射出角(度)1と、前記第3レンズ群中の前記第2の凹面へ入射する光の最大入射角(度)2とは、 $35 < 1 < 60$ ,  $35 < 2 < 60$ の条件を満足する。また、前記第1レンズ群中の前記第1の凹面の有効径を1とし、前記第3レンズ群中の前記第2の凹面の有効径を2とし、前記第2レンズ群の最大有効径をmaxとするとき、 $0.5 < 1 / \max < 0.8$ ,  $0.5 < 2 / \max < 0.8$ の条件を満足することが好ましい。

【0012】

また、第1形態の好ましい態様によれば、前記投影光学系を構成するすべての光学部材は、1.6以下の屈折率を有する光学材料で形成されている。また、前記第1レンズ群の焦点距離をf1とし、前記第2レンズ群の焦点距離をf2とし、前記第3レンズ群の焦点距離をf3とし、前記第4レンズ群の焦点距離をf4とし、前記第5レンズ群の焦点距離をf5とし、前記第1面と前記第2面との距離をLとするとき、

$$0.05 < |f1| / L < 0.5$$

$$0.02 < f2 / L < 0.2$$

$$0.01 < |f3| / L < 0.1$$

$$0.03 < f4 / L < 0.3$$

$$0.1 < f5 / L < 1$$

の条件を満足することが好ましい。

【0013】

本発明の第2形態では、前記第1面上に配置されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第2面に配置された感光性基板上に形成するための第1形態の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

【0014】

10

20

30

40

50

本発明の第3形態では、前記第1面に配置されたマスクを照明し、前記マスクに形成されたパターンを第1形態の投影光学系を介して前記第2面に配置された感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法を提供する。

【0015】

【発明の実施の形態】

本発明の投影光学系では、物体面（第1面）側から順に、負・正・負・正・正の屈折力配置を有する基本的構成において、第1レンズ群～第5レンズ群がそれぞれ以下のような特徴的構成を有する。すなわち、第1レンズ群は、少なくとも2つの負レンズと、少なくとも1つの非球面状の光学面とを含む。この構成により、特に非球面状の光学面を有する構成により、第1レンズ群は、テレセントリック性を維持しながら、主にディストーションを補正する機能、およびペツツバール和の補正に寄与し、像面の平坦化を達成する機能を有する。

10

【0016】

第2レンズ群は、像面（第2面）側に連続して配置された少なくとも4つの正レンズを含む。この構成により、第2レンズ群は正のディストーションを発生させ、第3レンズ群、第4レンズ群、および第5レンズ群で発生する負のディストーションをバランス良く補正する機能を有する。第3レンズ群は、少なくとも2つの負レンズと、少なくとも1つの非球面状の光学面とを含む。この構成により、特に非球面状の光学面を有する構成により、第3レンズ群は、高次球面収差やコマ収差の発生を抑えながら、主にペツツバール和の補正に寄与し、像面の平坦化を達成する機能を有する。

20

【0017】

第4レンズ群は、少なくとも5つの正レンズと、少なくとも1つの負レンズと、少なくとも1つの非球面状の光学面とを含む。この構成により、特に非球面状の光学面を有する構成により、第4レンズ群は、球面収差の発生を抑えながら像面上に光束を導いて結像させる機能を有する。第5レンズ群は、少なくとも1つの負レンズを含む。この構成により、第5レンズ群は、像側において十分に大きな開口数を確保することができるよう、球面収差を抑えながら像面上に光束を結像させる機能を有する。

【0018】

また、本発明の投影光学系では、第1レンズ群において最も像面側に配置されたレンズは像面に向けられた第1の凹面を有し、第3レンズ群において最も物体面側に配置されたレンズは物体面に向けられた第2の凹面を有するという特徴的構成を有する。第2レンズ群に隣り合う第1レンズ群および第3レンズ群が、それぞれ第2レンズ群に向かって第1の凹面および第2の凹面を有することにより、第2レンズ群の正の屈折力（パワー）で発生する外コマの収差をバランス良く補正することができる。第1の凹面および第2の凹面を有する構成は、大きな像側開口数および広い結像領域を有する投影光学系の収差補正について特に効果が高い。

30

【0019】

さらに、本発明の投影光学系では、径の増大を抑えながらペツツバール和を補正するため、以下の条件式（1）を満足する。条件式（1）において、D45は第4レンズ群と第5レンズ群との軸上間隔であり、Lは物体面（第1面）と像面（第2面）との距離である。

$$0.02 < D45 / L < 0.1 \quad (1)$$

40

【0020】

条件式（1）の下限値を下回ると、ペツツバール和の補正が困難になり、像面の平坦化を達成することができなくなってしまう。一方、条件式（1）の上限値を上回ると、光学系が長大化してしまう。条件式（1）を満足することは、大きな像側開口数および広い結像領域を有する投影光学系の収差補正について特に効果が高い。

【0021】

また、本発明では、第1レンズ群中の第1の凹面から射出される光の最大射出角（度）1、および第3レンズ群中の第2の凹面へ入射する光の最大入射角（度）2が、以下の条件式（2）および（3）をそれぞれ満足することが好ましい。

50

$$3.5 < 1 < 6.0 \quad (2)$$

$$3.5 < 2 < 6.0 \quad (3)$$

### 【0022】

条件式(2)および(3)を満足することにより、第2レンズ群の正の屈折力で発生する外コマの収差をバランス良く補正することができる。すなわち、条件式(2)および(3)の下限値を下回ると、第2レンズ群で発生する外コマをバランス良く補正することが困難になるので好ましくない。一方、条件式(2)および(3)の上限値を上回ると、それぞれ第1の凹面および第2の凹面で発生する高次コマ収差が増大し、結像性能の悪化を招くので好ましくない。条件式(2)および(3)を満足することは、大きな像側開口数および広い結像領域を有する投影光学系の収差補正について特に効果が高い。

10

### 【0023】

また、本発明では、第2レンズ群の最大有効径(直径)を  $\max$ とするとき、第1レンズ群中の第1の凹面の有効径(直径)  $1$ 、および第3レンズ群中の第2の凹面の有効径(直径)  $2$ が、以下の条件式(4)および(5)をそれぞれ満足することが好ましい。

$$0.5 < 1 / \max < 0.8 \quad (4)$$

$$0.5 < 2 / \max < 0.8 \quad (5)$$

### 【0024】

条件式(4)および(5)の下限値を下回ると、第2レンズ群の最大有効径  $\max$ が大きくなりすぎて、光学系の径が大型化するので好ましくない。一方、条件式(4)および(5)の上限値を上回ると、第1の凹面の有効径  $1$  および第2の凹面の有効径  $2$  が大きくなりすぎて、第2レンズ群で発生するコマ収差を補正し切れなくなるとともに、ペツツバール和の補正が困難になるので好ましくない。

20

### 【0025】

また、本発明では、第1レンズ群の焦点距離  $f_1$ 、第2レンズ群の焦点距離  $f_2$ 、第3レンズ群の焦点距離  $f_3$ 、第4レンズ群の焦点距離  $f_4$ 、および第5レンズ群の焦点距離  $f_5$ が、以下の条件式(6)～(10)をそれぞれ満足することが好ましい。

$$0.05 < |f_1| / L < 0.5 \quad (6)$$

$$0.02 < f_2 / L < 0.2 \quad (7)$$

$$0.01 < |f_3| / L < 0.1 \quad (8)$$

$$0.03 < f_4 / L < 0.3 \quad (9)$$

$$0.1 < f_5 / L < 1 \quad (10)$$

30

### 【0026】

条件式(6)～(10)を満足することにより、大きな像側開口数および広い結像領域を有するコンパクトな投影光学系を実現しつつ、各収差をバランス良く補正することができる。具体的には、条件式(6)の下限値を下回ると負のディストーションが増大し、上限値を上回るとテレセントリック性の補正が困難になるので好ましくない。また、条件式(7)の下限値を下回ると高次コマ収差が増大し、上限値を上回ると負のディストーションが補正不足になるので好ましくない。

### 【0027】

さらに、条件式(8)の下限値を下回ると高次コマ収差や高次球面収差が増大し、上限値を上回るとペツツバール和が補正不足になるので好ましくない。また、条件式(9)の下限値を下回ると高次球面収差が増大し、上限値を上回ると光学系が長大化するので好ましくない。さらに、条件式(10)の下限値を下回ると高次コマ収差や高次球面収差が増大し、上限値を上回ると光学系が長大化するので好ましくない。

40

### 【0028】

また、本発明では、投影光学系を構成するすべての光学部材が1.6以下の屈折率を有する光学材料で形成されていることが好ましい。この場合、1.6以下の屈折率を有する光学材料、すなわち比較的低い屈折率を有する光学材料は短波長の光に対しても高い透過率を確保することができるので、使用光の短波長化を実現することができ、ひいては投影光学系の高解像化を達成することができる。なお、本発明の投影光学系では、物体側および

50

像側の双方にほぼテレセントリックな光学系に構成することにより、物体面側の像歪への影響（露光装置に適用した場合にレチクルの反り等に起因する像歪）や、像面側の像歪への影響（露光装置に適用した場合にウェハの反り等に起因する像歪）を小さく抑えることができる。

【0029】

以上のように、本発明では、両側にほぼテレセントリックで、十分に大きな開口数および十分に広い結像領域を確保しつつ、ディストーションを含む諸収差が良好に補正された、コンパクトで高性能な投影光学系を実現することができる。したがって、本発明の投影光学系を用いる露光装置および露光方法では、高いスループットおよび高い解像力で良好な投影露光を行うことができ、ひいては高いスループットおよび高い解像力で良好なマイクロデバイスを製造することができる。 10

【0030】

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投影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。なお、図1において、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に平行にY軸を、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に垂直にX軸を設定している。

【0031】

図1に示す露光装置は、照明光を供給するための光源LSとして、たとえばKrFエキシマレーザ光源（波長248.4nm）を備えている。光源LSから射出された光は、照明光学系ILを介して、所定のパターンが形成された投影原版としてのレチクル（マスク）Rを照明する。照明光学系IL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、照明開口絞り、可変視野絞り（レチクルブラインド）、コンデンサレンズ系等から構成されている。 20

【0032】

レチクルRは、レチクルホルダRHを介して、レチクルステージRS上においてXY平面に平行に保持されている。レチクルステージRSは、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡RMを用いた干渉計RIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。レチクルRに形成されたパターンからの光は、投影光学系PLを介して、フォトレジストの塗布されたウェハW（感光性基板）上にレチクルパターン像を形成する。 30

【0033】

投影光学系PLは、その瞳位置の近傍に配置された可変の開口絞りAS（図1では不図示）を有し、レチクルR側およびウェハW側の双方において実質的にテレセントリックに構成されている。そして、投影光学系PLの瞳位置には照明光学系の照明瞳面における二次光源の像が形成され、投影光学系PLを介した光によってウェハWがケーラー照明される。ウェハWは、ウェハテーブル（ウェハホルダ）WTを介して、ウェハステージWS上においてXY平面に平行に保持されている。 40

【0034】

ウェハステージWSは、図示を省略した駆動系の作用によりウェハ面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウェハ移動鏡WMを用いた干渉計WIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。こうして、本実施形態では、投影光学系PLの光軸AXと直交する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各露光領域に対してレチクルRのパターンを一括的に露光する動作を繰り返すことにより、すなわちステップ・アンド・リピート方式により、ウェハWの各露光領域にはレチクルRのパターンが逐次露光される。

【0035】

以下、具体的な数値例に基づいて、本実施形態の投影光学系PLの各実施例を説明する。各実施例において、投影光学系PLは、レチクル側から順に、負の屈折力を有する第1レ 50

ンズ群G1と、正の屈折力を有する第2レンズ群G2と、負の屈折力を有する第3レンズ群G3と、正の屈折力を有する第4レンズ群G4と、正の屈折力を有する第5レンズ群G5とにより構成されている。また、各実施例において、投影光学系PLを構成するすべてのレンズ成分は石英(SiO<sub>2</sub>)で形成され、光源LSから供給されるKrFエキシマレーザ光の中心波長は248.4nmであり、この中心波長に対する石英ガラスの屈折率は1.50839である。

#### 【0036】

また、各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さをyとし、非球面の頂点における接平面から高さyにおける非球面上の位置までの光軸に沿った距離(サグ量)をzとし、頂点曲率半径をrとし、円錐係数を $\kappa$ とし、n次の非球面係数をC<sub>n</sub>としたとき、以下の数式(a)で表される。後述の表(1)および(2)において、非球面形状に形成されたレンズ面には面番号の右側に\*印を付している。

#### 【0037】

##### 【数1】

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2 / r^2\}^{1/2}] + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} + \dots \quad (a)$$

#### 【0038】

##### 【第1実施例】

図2は、第1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2を参照すると、第1実施例の投影光学系PLにおいて、第1レンズ群G1は、レチクル側から順に、両凸レンズL11と、両凸レンズL12と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL13と、両凹レンズL14と、両凹レンズL15とにより構成されている。第2レンズ群G2は、レチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL21と、両凸レンズL22と、ウェハ側に平面を向けた平凸レンズL23と、ウェハ側に平面を向けた平凸レンズL24と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL25とにより構成されている。

#### 【0039】

第3レンズ群G3は、レチクル側から順に、両凹レンズL31と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL32と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL33とにより構成されている。第4レンズ群G4は、レチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL41と、開口絞りASと、両凸レンズL42と、両凸レンズL43と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL44と、両凸レンズL45と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL46と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL47とにより構成されている。第5レンズ群G5は、レチクル側から順に、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL51と、両凹レンズL52と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL53とから構成されている。

#### 【0040】

第1実施例では、第1レンズ群G1において最もウェハ側(像側)に配置された両凹レンズL15は、ウェハ側に向けられた第1の凹面r1を有する。また、第3レンズ群G3において最もレチクル側(物体側)に配置された両凹レンズL31は、レチクル側に向けられた第2の凹面r2を有する。

#### 【0041】

次の表(1)に、第1実施例にかかる投影光学系の諸元の値を掲げる。表(1)の主要諸元において、 $\lambda$ は露光光の中心波長を、 $\beta$ は投影倍率を、NAは像側(ウェハ側)開口数を、 $Y_0$ は最大像高(イメージフィールド半径)をそれぞれ表している。また、表(1)の光学部材諸元において、面番号はレチクル側からの面の順序を、rは各面の曲率半径(非球面の場合には頂点曲率半径: mm)を、dは各面の軸上間隔すなわち面間隔(mm)を、nは露光光の中心波長に対する屈折率を、 $\theta$ は各面の有効径(mm: 直径)それぞれ示している。上述の表記は、以降の表(2)においても同様である。

10

20

30

40

50

【0042】

【表1】

(主要諸元)

 $\lambda = 248.4 \text{ nm}$  $\beta = -1/4$ 

NA = 0.63

Y<sub>0</sub> = 21.1 mm

10

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	$\phi$	
	(レチクル面)	85.356			
1	336.044	37.114	1.50839	200.9	(L11)
2	-615.588	1		200.8	
3	316.94	33.74	1.50839	196.3	(L12)
4	-989.58	1		191.8	
5	359.629	30.296	1.50839	180.8	(L13)
6*	159.197	30.838		158.2	
7	-337.919	15	1.50839	157.2	(L14)
8	156.559	49.488		152.4	
9	-124.689	15	1.50839	153.8	(L15)
10	1160.675	36.007		189.2	
11	-2954.927	51.128	1.50839	233.7	(L21)
12	-209.121	1		245.8	
13	2955.769	55.617	1.50839	274.8	(L22)
14	-271.245	1.906		280.0	
15	274.463	51.753	1.50839	279.5	(L23)
16	$\infty$	1		274.3	
17	324.91	40.148	1.50839	257.7	(L24)
18	$\infty$	1		248.4	
19	195.148	28.434	1.50839	212.1	(L25)
20*	274.486	31.28		195.1	

20

30

40

21	-989.419	15	1.50839	180.6	(L 3 1)	
22	117.522	43.78		146.6		
23	-183.081	15	1.50839	145.4	(L 3 2)	
24*	257.814	36.097		147.3		
25	-136.607	33.693	1.50839	148.4	(L 3 3)	
26	-3057.785	3.802		186.6		
27	-1540.038	47.077	1.50839	189.1	(L 4 1)	10
28	-207.905	10.539		205.7		
29	$\infty$	4.66		226.6	(A S)	
30	2195.041	42.729	1.50839	232.9	(L 4 2)	
31	-290.604	1		240.0		
32	488.043	44.596	1.50839	258.9	(L 4 3)	
33	-776.102	26.234		260.5		
34	-290.901	27.5	1.50839	260.3	(L 4 4)	20
35	-487.976	1.919		272.4		
36	478.702	42.713	1.50839	280.0	(L 4 5)	
37	-1180.716	4.283		278.8		
38	295.558	41.897	1.50839	267.3	(L 4 6)	
39	2379.702	1.727		260.5		
40	191.779	40.82	1.50839	233.3	(L 4 7)	
41	501.27	52.63		220.2		30
42	271.114	29.675	1.50839	153.9	(L 5 1)	
43*	966.299	14.707		131.7		
44	-1253.623	16.248	1.50839	115.1	(L 5 2)	
45	87.496	1		89.3		
46	70.339	39.582	1.50839	86.7	(L 5 3)	
47	616.178	12.9803		62.0		

(ウェハ面)

## (非球面データ)

6面

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = -3.2030 \times 10^{-8} \quad C_6 = -1.3280 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -5.4530 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 1.8350 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -4.4290 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 1.2610 \times 10^{-29}$$

10

20面

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = -7.2400 \times 10^{-9} \quad C_6 = 1.6610 \times 10^{-14}$$

$$C_8 = 2.3820 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -6.9760 \times 10^{-23}$$

$$C_{12} = 6.6230 \times 10^{-27}$$

24面

20

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = 4.2380 \times 10^{-8} \quad C_6 = -2.3110 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -2.6420 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 4.7740 \times 10^{-21}$$

43面

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = 3.6730 \times 10^{-8} \quad C_6 = 4.4570 \times 10^{-13}$$

30

$$C_8 = 2.7930 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -3.3130 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 4.1110 \times 10^{-25}$$

## (条件式対応値)

 $D45 = 52.63 \text{mm}$  $L = 1249.9933 \text{mm}$  $\phi 1 = 189.195 \text{mm}$ 

40

 $\phi 2 = 180.645 \text{mm}$

$\Phi_{\max} = 279.996 \text{ mm}$

$f_1 = -346.295 \text{ mm}$

$f_2 = 131.579 \text{ mm}$

$f_3 = -59.693 \text{ mm}$

$f_4 = 150.572 \text{ mm}$

$f_5 = 618.339 \text{ mm}$

(1)  $D_{45}/L = 0.042$

10

(2)  $\alpha_1 = 41.4$

(3)  $\alpha_2 = 41.5$

(4)  $\phi_1/\phi_{\max} = 0.676$

(5)  $\phi_2/\phi_{\max} = 0.645$

(6)  $|f_1|/L = 0.277$

(7)  $f_2/L = 0.105$

(8)  $|f_3|/L = 0.048$

20

(9)  $f_4/L = 0.120$

(10)  $f_5/L = 0.495$

#### 【0043】

図3は、第1実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。また、図4は、第1実施例における横収差を示す図である。各収差図において、NAは像側の開口数を、Yは像高( mm )をそれぞれ示している。また、非点収差を示す収差図において、実線はサジタル像面を示し、破線はメリディオナル像面を示している。上述の表記は、以降の図6および図7においても同様である。各収差図から明らかのように、第1実施例では、 $NA = 0.63$ という大きな開口数および $Y_0 = 21.1 \text{ mm}$ という大きな最大像高( ひいては大きなイメージフィールド )を確保しつつ、歪曲収差を含む諸収差が良好に補正されていることがわかる。

30

#### 【0044】

##### [第2実施例]

図5は、第2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5を参照すると、第2実施例の投影光学系PLにおいて、第1レンズ群G1は、レチクル側から順に、両凸レンズL11と、両凸レンズL12と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL13と、両凹レンズL14と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL15とにより構成されている。第2レンズ群G2は、レチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL22と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL23と、両凸レンズL24と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL25とにより構成されている。

40

#### 【0045】

第3レンズ群G3は、レチクル側から順に、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL31と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL32と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL33とにより構成されている。第4レンズ群G4は、レチクル側から順に、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL41と、開口絞りASと、両凸レンズL42と、両凸レンズL43と、レチクル側に凹面を向

50

けた負メニスカスレンズ L 4 4 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズ 4 5 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 4 6 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 4 7 とにより構成されている。第 5 レンズ群 G 5 は、レチクル側から順に、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズ L 5 1 と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 5 2 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 5 3 とから構成されている。

【 0 0 4 6 】

第 2 実施例では、第 1 レンズ群 G 1 において最もウェハ側（像側）に配置された両凹レンズ L 1 5 は、ウェハ側に向けられた第 1 の凹面  $r_1$  を有する。また、第 3 レンズ群 G 3 において最もレチクル側（物体側）に配置された両凹レンズ L 3 1 は、レチクル側に向けられた第 2 の凹面  $r_2$  を有する。次の表（2）に、第 2 実施例にかかる投影光学系の諸元の値を掲げる。10

【 0 0 4 7 】

【表 2】

## (主要諸元)

 $\lambda = 248.4 \text{ nm}$  $\beta = -1/4$  $NA = 0.65$  $Y_0 = 21.1 \text{ mm}$ 

## (光学部材諸元)

10

面番号	r	d	n	$\phi$	
	(レチクル面)	85.000			
1	370.169	36.976	1.50839	201.4	(L 1 1)
2	-539.027	1		201.7	
3	260.614	35.323	1.50839	196.7	(L 1 2)
4	-1805.662	1		191.6	
5	237.342	21.572	1.50839	178.1	(L 1 3)
6*	139.323	31.377		158.7	
7	-516.888	17	1.50839	157.8	(L 1 4)
8	150	42.425		149.4	
9	-147.29	15	1.50839	150.0	(L 1 5)
10*	816.066	35.905		173.3	
11	-147.082	27	1.50839	175.5	(L 2 1)
12	-225.4	1		212.2	
13	-41392	53.976	1.50839	248.9	(L 2 2)
14	-227.618	1		259.7	
15	-8608.53	50.952	1.50839	281.2	(L 2 3)
16	-284.185	1		286.0	
17	243.06	59.2	1.50839	283.0	(L 2 4)
18	-37613.5	1		276.6	
19	203.88	49.991	1.50839	244.7	(L 2 5)
20	1553.442	32.55		231.4	

20

30

40

21	-1036.807	17	1.50839	193.5	(L 3 1)	
22*	148.605	42.594		156.5		
23	-191.614	15	1.50839	155.5	(L 3 2)	
24*	189.595	41.625		154.8		
25	-146.676	18.454	1.50839	155.8	(L 3 3)	
26	-1600.717	18.651		184.0		
27*	-759.531	35.576	1.50839	200.8	(L 4 1)	10
28	-211.058	10.001		211.4		
29	$\infty$	7.194		235.8	(A S)	
30	2974.88	48.903	1.50839	245.2	(L 4 2)	
31	-260.354	1		253.3		
32	533.226	51.054	1.50839	274.9	(L 4 3)	
33	-497.281	16.334		276.0		
34	-297.478	28	1.50839	275.7	(L 4 4)	20
35	-410.191	6.962		284.5		
36	432.489	35.698	1.50839	284.0	(L 4 5)	
37	5542.48	1		280.8		
38	339.32	38.398	1.50839	271.6	(L 4 6)	
39	2529.767	1.073		264.8		
40	205.053	40.997	1.50839	238.5	(L 4 7)	
41	570.26	44.016		225.2		30
42	526.794	28.369	1.50839	173.6	(L 5 1)	
43*	999.637	7.316		150.6		
44	363.9	26.929	1.50839	137.1	(L 5 2)	
45	80.011	6.368		100.2		
46	68.127	47.548	1.50839	94.7	(L 5 3)	
47	333.792	13.6933		63.1		

(ウェハ面)

## (非球面データ)

6面

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = -2.5830 \times 10^{-8} \quad C_6 = -1.4132 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -7.1032 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 9.7808 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = -3.4814 \times 10^{-25}$$

10

10面

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = -5.2948 \times 10^{-9} \quad C_6 = 1.6031 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -4.1130 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -5.8947 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = 3.0968 \times 10^{-26}$$

22面

20

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = 3.2206 \times 10^{-8} \quad C_6 = 1.8939 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 9.9966 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 2.8187 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 4.7609 \times 10^{-25}$$

24面

30

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = 3.8141 \times 10^{-8} \quad C_6 = -3.4162 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 1.2024 \times 10^{-19} \quad C_{10} = 9.9690 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -2.2108 \times 10^{-25}$$

27面

40

 $\kappa = 0$ 

$$C_4 = 1.2927 \times 10^{-9} \quad C_6 = 1.7523 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 3.6435 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 1.1104 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = 1.0330 \times 10^{-26}$$

43面

$\kappa = 0$

$$C_4 = 2.3875 \times 10^{-8} \quad C_6 = 1.3965 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -4.3074 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 3.1012 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -1.9832 \times 10^{-26}$$

10

(条件式対応値)

$$D_{45} = 44.016 \text{ mm}$$

$$L = 1250.0003 \text{ mm}$$

$$\phi_1 = 173.265 \text{ mm}$$

$$\phi_2 = 193.519 \text{ mm}$$

$$\Phi_{\max} = 286.000 \text{ mm}$$

20

$$f_1 = -572.644 \text{ mm}$$

$$f_2 = 148.037 \text{ mm}$$

$$f_3 = -64.162 \text{ mm}$$

$$f_4 = 136.804 \text{ mm}$$

$$f_5 = 542.271 \text{ mm}$$

$$(1) D_{45}/L = 0.035$$

$$(2) \alpha_1 = 36.7$$

30

$$(3) \alpha_2 = 44.0$$

$$(4) \phi_1 / \phi_{\max} = 0.606$$

$$(5) \phi_2 / \phi_{\max} = 0.677$$

$$(6) |f_1|/L = 0.458$$

$$(7) f_2/L = 0.118$$

$$(8) |f_3|/L = 0.051$$

$$(9) f_4/L = 0.109$$

40

$$(10) f_5/L = 0.434$$

#### 【0048】

図6は、第2実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。また、図7は、第2実施例における横収差を示す図である。各収差図から明らかのように、第2実施例では、NA = 0.65という大きな開口数およびY<sub>0</sub> = 21.1mmという大きな最大像高(ひいては大きなイメージフィールド)を確保しつつ、歪曲収差を含む諸収差が良好に補正されていることがわかる。

#### 【0049】

50

上述の実施形態の露光装置では、照明系によってレチクル（マスク）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、本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8のフローチャートを参照して説明する。

#### 【0050】

先ず、図8のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ303において、本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。

10

#### 【0051】

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。なお、ステップ301～ステップ305では、ウェハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウェハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

20

#### 【0052】

また、本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9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9において、パターン形成工程401では、本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工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

30

#### 【0053】

次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えは、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とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

40

#### 【0054】

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。

50

## 【0055】

なお、上述の実施形態では、ウェハWの各露光領域に対してレチクルRのパターンを一括的に露光するステップ・アンド・リピート方式の露光装置に本発明を適用しているが、これに限定されることなく、ウェハWとレチクルRとを投影光学系PLに対して相対移動させつつウェハWの各露光領域に対してレチクルRのパターンを走査露光するステップ・アンド・スキャン方式の露光装置に本発明を適用することもできる。

## 【0056】

また、上述の実施形態では、248.4 nmの波長光を供給するKrFエキシマレーザ光源を用いているが、これに限定されることなく、たとえば193 nmの波長光を供給するArFエキシマレーザ光源、g線(435.8 nm)やi線(365.0 nm)の光を供給する水銀アークランプなどの他の適当な光源に対して本発明を適用することもできる。 10

## 【0057】

さらに、上述の実施形態では、露光装置に搭載される投影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、他の一般的な投影光学系に対して本発明を適用することもできる。

## 【0058】

## 【発明の効果】

以上説明したように、本発明では、両側にほぼテレセントリックで、十分に大きな開口数および十分に広い結像領域を確保しつつ、ディストーションを含む諸収差が良好に補正された、コンパクトで高性能な投影光学系を実現することができる。したがって、本発明の投影光学系を用いる露光装置および露光方法では、レチクルやウェハの反り等に起因する像歪を抑えて、高いスループットおよび高い解像力で良好な投影露光を行うことができ、ひいては高いスループットおよび高い解像力で良好なマイクロデバイスを製造することができる。 20

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態にかかる投影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2】第1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】第1実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。

【図4】第1実施例における横収差を示す図である。 30

【図5】第2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】第2実施例における球面収差、非点収差および歪曲収差を示す図である。

【図7】第2実施例における横収差を示す図である。

【図8】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9】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】

L S 光源

I L 照明光学系

R レチクル

R S レチクルステージ

P L 投影光学系

W ウェハ

W S ウェハステージ

A S 開口絞り

G 1 第1レンズ群

G 2 第2レンズ群

G 3 第3レンズ群

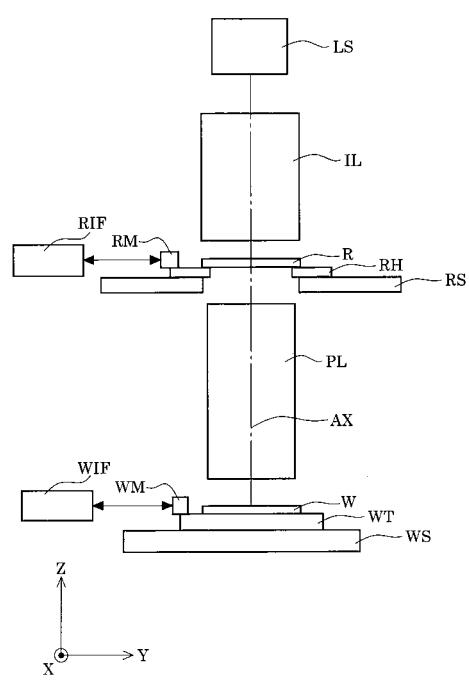
G 4 第4レンズ群

40

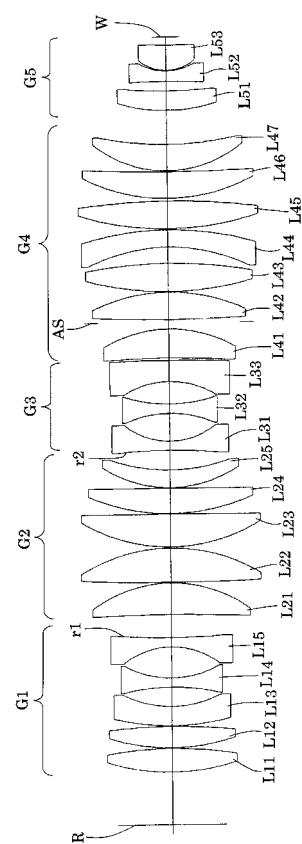
50

G 5 第5レンズ群  
 L<sub>i</sub> レンズ成分

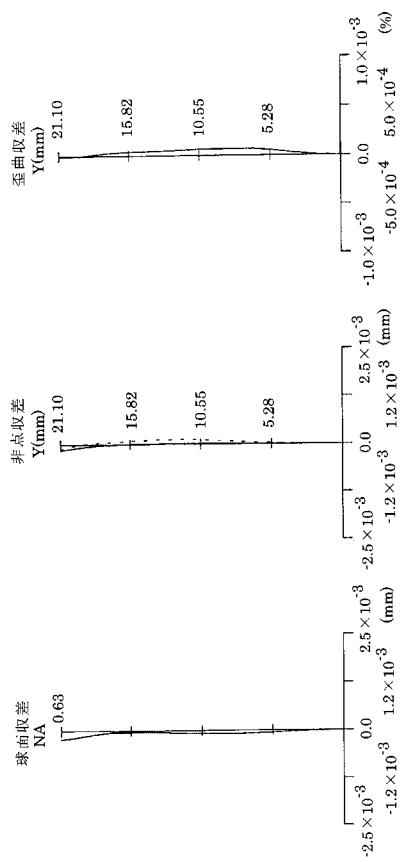
【図1】



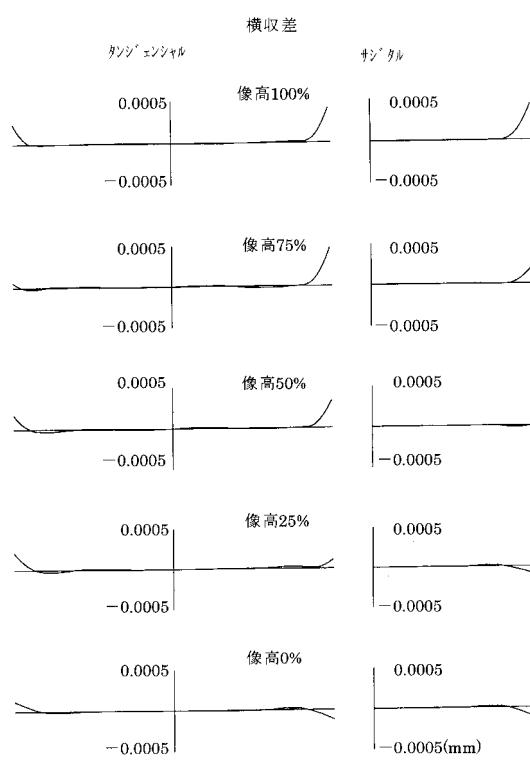
【図2】



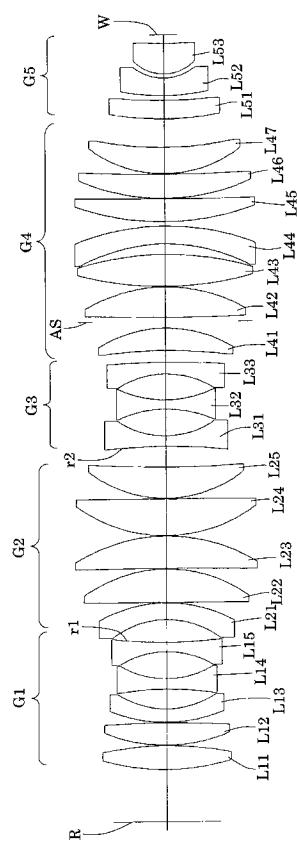
【図3】



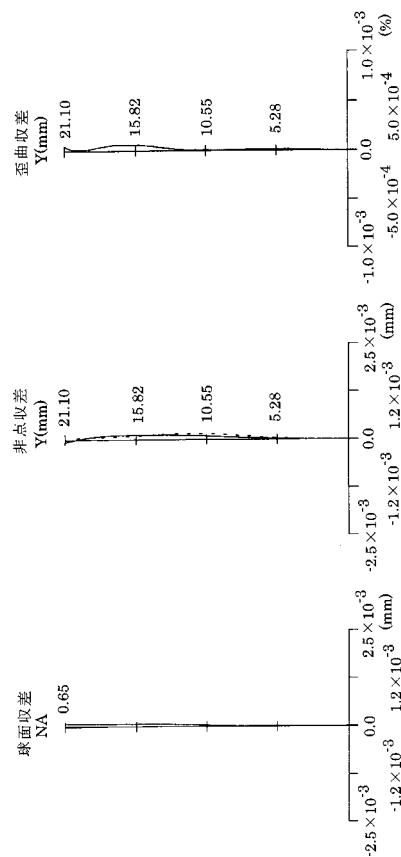
【図4】



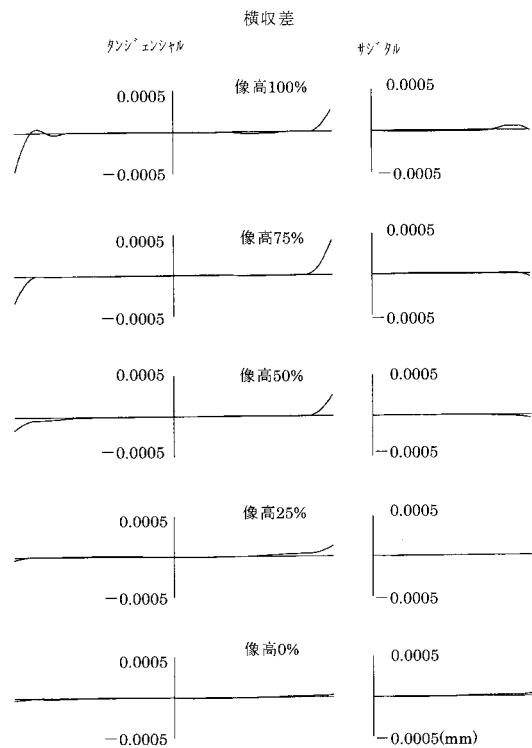
【図5】



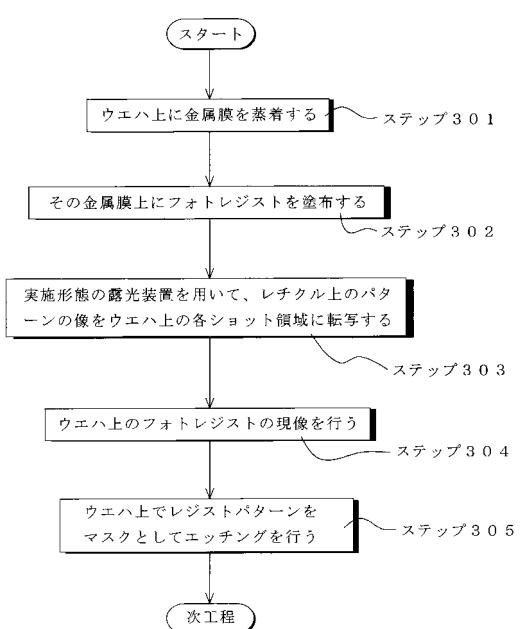
【図6】



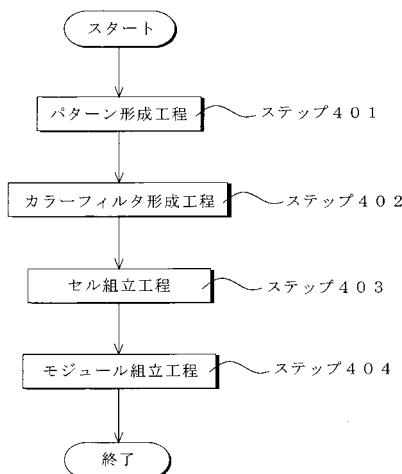
【図7】



【図8】



【図9】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 01 L 21/027 (2006.01) H 01 L 21/30 515 D

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 9/00 - 17/08  
G02B 21/02 - 21/04  
G02B 25/00 - 25/04