

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2002年5月2日 (02.05.2002)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 02/35273 A1

- (51) 国際特許分類: G02B 17/08, H01L 21/027
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/09266
- (22) 国際出願日: 2001年10月23日 (23.10.2001)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2000-322068 2000年10月23日 (23.10.2000) JP
特願2001-3200 2001年1月11日 (11.01.2001) JP
特願2001-309516 2001年10月5日 (05.10.2001) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 高橋友刀 (TAKA-HASHI, Tomowaki) [JP/JP]; 〒100-8331 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 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 永井冬紀 (NAGAI, Fuyuki); 〒100-0013 東京都千代田区霞が関三丁目2番4号 霞山ビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
- (84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

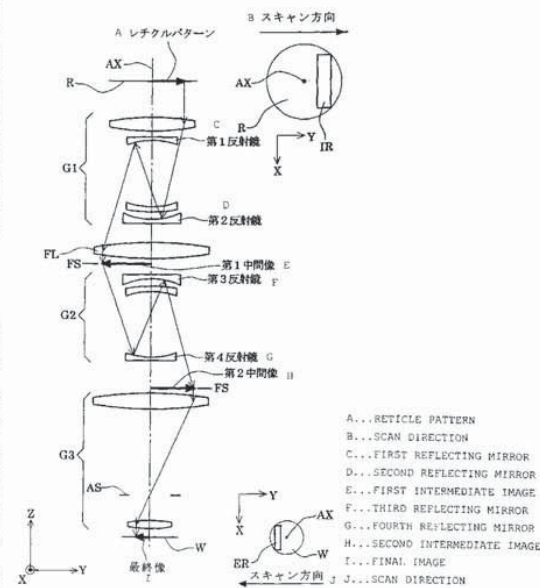
規則4.17に規定する申立て:

- AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VN, YU,

[続葉有]

(54) Title: CATADIOPTRIC SYSTEM AND EXPOSURE DEVICE HAVING THIS SYSTEM

(54) 発明の名称: 反射屈折光学系および該光学系を備えた露光装置



(57) Abstract: A catadioptric system comprising a first image-forming optical system having at least 2 reflecting mirrors and adapted to form a first intermediate image of a first surface of light from the first surface, a second image-forming optical system having at least 2 reflecting mirrors and adapted to form a second intermediate image of the first surface on the basis of light through the first image-forming optical system, and a dioptric type third image-forming optical system adapted to form the final image of the first surface on a second surface on the basis of light through the second image-forming optical system, wherein all optical components that constitute the first, second and third image-forming optical systems are arranged along a single straight optical axis.

[続葉有]

WO 02/35273 A1



ZA, ZW, ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)の指定のための出願し及び特許を与えられる出願人の資格に関する申立て (規則4.17(ii))

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

反射屈折光学系は、少なくとも2つの反射鏡を有し、第1面からの光に基づいて第1面の第1中間像を形成するための第1結像光学系と、少なくとも2つの反射鏡を有し、第1結像光学系を介した光に基づいて第1面の第2中間像を形成するための第2結像光学系と、第2結像光学系を介した光に基づいて第1面の最終像を第2面上に形成するための屈折型の第3結像光学系とを備え、第1結像光学系、第2結像光学系および第3結像光学系を構成するすべての光学部材が単一の直線状光軸に沿って配置されている。

明細書

反射屈折光学系および該光学系を備えた露光装置

本出願は日本国特許出願2000年第322068号(2000年10月23日出願)および日本国特許出願2001年第003200号(2001年1月11日出願)および日本国特許出願2001年第309516号(2001年10月5日出願)を基礎として、その内容は引用文としてここに組み込まれる。

技術分野

本発明は反射屈折光学系および該光学系を備えた露光装置に関し、特に半導体素子など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最適な高解像の反射屈折型の投影光学系に関する。

背景技術

近年、半導体素子の製造や半導体チップ実装基板の製造では、微細化がますます進んでおり、パターンを焼き付ける露光装置ではより解像力の高い投影光学系が要求されてきている。この高解像の要求を満足するには、露光光を短波長化し、且つNA(投影光学系の開口数)を大きくしなければならない。しかしながら、露光光の波長が短くなると、光の吸収のため実用に耐える光学ガラスの種類が限られてくる。たとえば、波長が180nm以下になると、実用上使える硝材は蛍石だけとなる。

この場合、屈折光学部材(レンズ、平行平板など)だけで投影光学系を構成すると、形成された屈折型の投影光学系では色収差の補正が全く不可能となる。換言すると、要求される解像力を有する投影光学系を屈折光学部材だけで構成することは非常に難しいものとなる。これに対して、反射光学部材すなわち反射鏡のみで投影光学系を構成することも試みられている。

しかしながら、この場合、形成される反射型の投影光学系は大型化し、且つ反射面の非球面化が必要となる。なお、反射面を高精度に非球面化することは、製

作の面で極めて困難である。そこで、短波長光の使用に耐える光学ガラスからなる屈折光学部材と反射鏡とを組み合わせ、いわゆる反射屈折型の縮小光学系が種々提案されている。

その中で、凹面反射鏡を1枚だけ用いて中間像を1回だけ形成するタイプの反射屈折光学系が知られている。このタイプの反射屈折光学系では、凹面反射鏡を含む往復兼用光学系部分が負レンズだけを含み、正のパワーを有する屈折光学部材を含んでいない。その結果、光束が広がった状態で凹面反射鏡に入射するため、凹面反射鏡の径が大きくなりがちであった。

特に、凹面反射鏡を含む往復兼用光学系部分が完全対称型の構成を有する場合、この往復兼用光学系部分での収差の発生を極力抑えて後続の屈折光学系部分の収差補正負担を軽くしている。しかしながら、対称型の往復兼用光学系を採用しているため、第1面付近でのワーキングディスタンスを十分に確保しにくく、また光路分岐のためにハーフプリズムを使用しなければならなかった。

また、中間像の形成位置よりも後方に配置される2次結像光学系に凹面反射鏡を使用する場合、光学系の必要な明るさを確保するためには、光束が広がった状態で凹面反射鏡に入射することになる。その結果、凹面反射鏡の径が大きくなりがちであり、その小型化が困難であった。

一方、複数枚の反射鏡を用いて中間像を1回だけ形成するタイプの反射屈折光学系も知られている。このタイプの反射屈折光学系では、屈折光学系部分のレンズ枚数を削減できる可能性がある。しかしながら、このタイプの反射屈折光学系では、以下の不都合があった。

上述のような構成の往復兼用光学系部分を縮小側である第2面側に配置するタイプの反射屈折光学系では、縮小倍率の関係から、反射鏡で反射された後の第2面（ウェハ面）までの距離を十分に長く確保することができない。このため、この光路中にあまり多くの枚数のレンズを挿入することができず、得られる光学系の明るさが限られた値にならざるを得なかった。また、高い開口数を有する光学系をたとえ実現することができたとしても、限られた長さの光路中に多くの屈折光学部材が配置されるため、第2面であるウェハ面と最も第2面側のレンズ面との距離、いわゆるワーキングディスタンスWDを十分に長く確保することができ

なかった。

従来の反射屈折光学系においては、光路を折り曲げる必要があり、必然的に複数の光軸（光学系を構成する屈折曲面または反射曲面の曲率中心を連ねる直線のことをいう）を有することになる。その結果、光学系を形成するために複数の鏡筒を要し、光軸相互の調整作業が非常に困難になり、高精度の光学系を実現することができなかった。なお、中央に開口部（光透過部）を有する一対の反射鏡を用いることにより、すべての光学部材を単一の直線状光軸に沿って配置したタイプの反射屈折光学系も可能である。しかしながら、このタイプの反射屈折光学系では、反射鏡で反射されることなく光軸に沿って進行する不要光を遮るために、中心光束の遮蔽すなわち中心遮蔽が必要になる。その結果、中心遮蔽に起因して特定の周波数のパターンでコントラストの低下が起こるという不都合があった。

また、従来の反射屈折光学系では、有効な視野絞りおよび開口絞りを設置すべき位置を確保することができなかった。さらに、上述したように、従来の反射屈折光学系では、ワーキングディスタンスを十分に長く確保することができなかった。また、上述したように、従来の反射屈折光学系では、凹面反射鏡が大型化し易く、光学系の小型化を図ることができなかった。

さらに、EP 1 0 6 9 4 4 8 A 1 に開示された反射屈折光学系では、第 2 面側（ウェハ側）のワーキングディスタンスが確保され、単一光軸に沿って構成されているという利点があるが、第 1 面側（マスク側）のワーキングディスタンス（第 1 面であるマスク面と最も第 1 面側のレンズ面との距離）を十分に長く確保することができないという不都合があった。また、WO 0 1 / 5 1 9 7 9 A 2 に開示された反射屈折光学系では、反射鏡の径が大きくなり過ぎるため、十分に大きな開口数を達成することができないという不都合があった。同様に、特開 2 0 0 1 - 2 2 8 4 0 1 号公報に開示された反射屈折光学系においても、反射鏡の径が大きくなり過ぎるため、十分に大きな開口数を達成することができないという不都合があった。

発明の開示

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、調整が容易で高精度に光

光学系を製造することができ、たとえば波長が180 nm以下の真空紫外線波長域の光を用いて0.1 μm以下の高解像を達成することのできる反射屈折光学系を提供することを目的とする。

さらに、本発明は、有効な視野絞りおよび開口絞りを設置すべき位置を確保することができ、たとえば波長が180 nm以下の真空紫外線波長域の光を用いて0.1 μm以下の高解像を達成することのできる反射屈折光学系を提供することを目的とする。

また、本発明は、十分に長いワーキングディスタンスを確保することができ、たとえば波長が180 nm以下の真空紫外線波長域の光を用いて0.1 μm以下の高解像を達成することのできる反射屈折光学系を提供することを目的とする。

また、本発明は、凹面反射鏡の大型化を抑えて光学系の小型化を図ることができ、たとえば波長が180 nm以下の真空紫外線波長域の光を用いて0.1 μm以下の高解像を達成することのできる反射屈折光学系を提供することを目的とする。

また、本発明は、第1面側のワーキングディスタンスを十分に長く確保するとともに、反射鏡の径の大型化を抑えて十分に大きな開口数を達成することができ、たとえば波長が180 nm以下の真空紫外線波長域の光を用いて0.1 μm以下の高解像を達成することのできる反射屈折光学系を提供することを目的とする。

さらに、本発明の反射屈折光学系を投影光学系として使用し、たとえば波長が180 nm以下の露光光を用いて、0.1 μm以下の高解像で良好な投影露光を行うことのできる露光装置を提供することを目的とする。

また、本発明の露光装置を用いて、たとえば0.1 μm以下の高解像で良好な投影露光を行うことにより、高精度なマイクロデバイスを製造することのできるマイクロデバイス製造方法を提供することを目的とする。

上記目的を達成するために、本発明の反射屈折光学系は、少なくとも2つの反射鏡を有し、第1面からの光に基づいて第1面の第1中間像を形成するための第1結像光学系と、少なくとも2つの反射鏡を有し、第1結像光学系を介した光に基づいて第1面の第2中間像を形成するための第2結像光学系と、第2結像光学系を介した光に基づいて第1面の最終像を第2面上に形成するための屈折型の第

3結像光学系とを備え、第1結像光学系、第2結像光学系および第3結像光学系を構成するすべての光学部材が単一の直線状光軸に沿って配置されている。

この反射屈折光学系において、第1結像光学系と第2結像光学系との間の光路中にはフィールドレンズが配置されているのが好ましい。

また、第1結像光学系は、2つの反射鏡と少なくとも1つのレンズ成分とを有するのが好ましい。

これらの場合に、第1結像光学系とフィールドレンズとの合成光学系は、第1面側および第2面側にテレセントリックな光学系を構成するのが好ましい。

上記のそれぞれの反射屈折光学系において、第1結像光学系は、2つの反射鏡の間の光路中に配置された少なくとも1つの負レンズ成分を有するのが好ましい。

また、第2結像光学系は、2つの反射鏡の間の光路中に配置された少なくとも1つの負レンズ成分を有するのが好ましい。

本発明の他の反射屈折光学系は、第1面と第2面との間の光路中に第1面の中間像を2回形成し、第1面の第3回目の中間像を最終像として第2面上に形成する複数の光学部材を備え、複数の光学部材は単一の直線状光軸に沿って配置されている。

この反射屈折光学系において、中間像は、光軸から離れた位置に形成されるのが好ましい。

本発明の他の反射屈折光学系は、単一の直線状光軸に沿って配置された複数の反射鏡を備え、第1面上において光軸から離れた矩形領域の像を第2面上に形成する。

この反射屈折光学系は、該反射屈折光学系で形成される像領域を規定する視野絞りと、該反射屈折光学系の開口数を規定する開口絞りとをさらに備えているのが好ましい。

本発明の他の反射屈折光学系は、少なくとも第1反射鏡と第2反射鏡とを有し、第1面からの光に基づいて第1面の第1中間像を形成するための第1結像光学系と、少なくとも第3反射鏡と第4反射鏡とを有し、第1結像光学系を介した光に基づいて第1面の第2中間像を形成するための第2結像光学系と、第2結像光学系を介した光に基づいて第1面の最終像を第2面上に形成するための屈折型の第

6.

3結像光学系とを備え、第1結像光学系、第2結像光学系および第3結像光学系を構成するすべての光学部材が単一の直線状光軸に沿って配置され、第1反射鏡、第2反射鏡、第3反射鏡および第4反射鏡のうちの2つの反射鏡の反射面側の直前に少なくとも1つの負レンズがそれぞれ配置されている。

この反射屈折光学系において、2つの反射鏡の反射面側の直前に少なくとも1つの負レンズがそれぞれ配置されていることにより倍率の色収差の補正が行われ、倍率色収差係数LATは、 $|LAT| < 5 \times 10^{-4}$ の条件を満足するのが好ましい。この場合、あるいは、上記の反射屈折光学系において、2つの反射鏡の反射面側の直前に少なくとも1つの負レンズがそれぞれ配置されていることにより軸上の色収差の補正が行われ、軸上色収差係数AXは、 $|AX| < 2 \times 10^{-4}$ の条件を満足するのが好ましい。

本発明の露光装置は、マスクを照明するための照明系と、マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備え、投影光学系は、上記に記載の反射屈折光学系から構成され、マスクは反射屈折光学系の第1面に対応し、感光性基板は反射屈折光学系の第2面に対応する。

この露光装置において、マスクパターンを感光性基板上に走査露光するために、反射屈折光学系に対してマスクおよび感光性基板を相対移動させる駆動系をさらに備えるのが好ましい。

本発明のマイクロデバイスの製造方法は、上記の露光装置によりマスクのパターンを感光性基板上に露光する露光工程と、露光工程により露光された感光性基板を現像する現像工程とを有する。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の反射屈折光学系の基本的な構成を説明するための図である。

図2は、本発明の各実施例にかかる反射屈折光学系を投影光学系として備えた露光装置の全体構成を概略的に示す図である。

図3は、ウェハ上に形成される矩形状の露光領域（すなわち実効露光領域）と基準光軸との位置関係を示す図である。

図4は、第1実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

図 5 は、第 1 実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

図 6 は、第 2 実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

図 7 は、第 2 実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

図 8 は、第 3 実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

図 9 は、第 3 実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

図 10 は、第 4 実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

図 11 は、第 4 実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

図 12 は、第 5 実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

図 13 は、第 5 実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

図 14 は、第 6 実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

図 15 は、第 6 実施例においてウェハ上に形成される円弧状の実効露光領域と基準光軸との位置関係を示す図である。

図 16 は、第 6 実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

図 17 は、第 7 実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

図 18 は、第 7 実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

図 19 は、第 7 実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

図 20 は、第 8 実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

図 21 は、第 8 実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

図 22 は、第 8 実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

図 23 は、第 9 実施例にかかる反射屈折光学系のレンズ構成を示す図である。

図 24 は、第 9 実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

図 25 は、第 9 実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。

図 26 は、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 27 は、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

図 1 は、本発明の反射屈折光学系の基本的な構成を説明するための図である。

なお、図1では、本発明の反射屈折光学系が走査露光型の露光装置の投影光学系に適用されている。図1に示すように、本発明の反射屈折光学系は、第1面に配置された投影原版としてのレチクルRのパターンの第1中間像を形成するための第1結像光学系G1を備えている。なお、第1結像光学系G1は、少なくとも2つの反射鏡、すなわち第1反射鏡および第2反射鏡を有する。

第1結像光学系G1を介した光は、少なくとも2つの反射鏡、すなわち第3反射鏡および第4反射鏡を有する第2結像光学系G2を介して、レチクルRのパターンの第2中間像を形成する。第2結像光学系G2を介した光は、反射鏡を含むことなく屈折光学部材を有する屈折型の第3結像光学系G3を介して、レチクルRのパターンの最終像を第2面に配置された感光性基板としてのウェハW上に形成する。第1結像光学系G1、第2結像光学系G2および第3結像光学系G3を構成するすべての光学部材が、単一の直線状光軸AXに沿って配置されている。

さらに具体的な態様によれば、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路中に、フィールドレンズFLが配置されている。ここで、フィールドレンズFLは、第1中間像の形成に関して積極的に寄与することなく、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2とを整合接続する機能を有する。また、第1結像光学系G1は、2つの反射鏡に加えて、少なくとも1つのレンズ成分を有する。こうして、第1結像光学系G1とフィールドレンズFLとの合成光学系は、レチクル側（第1面側）およびウェハ側（第2面側）にテレセントリックな光学系を構成する。なお、第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中にも、必要に応じて、フィールドレンズが配置される。

また、具体的な態様によれば、第1結像光学系G1および第2結像光学系G2のうち少なくとも一方の光学系では、2つの反射鏡の間の光路中に、少なくとも1つの負レンズ成分（L13、L21）が配置されていることが好ましい。この構成により、屈折光学部材（レンズ成分）を単一種の光学材料で形成しても、色収差の良好な補正が可能となる。

また、反射屈折光学系で形成される像領域を規定する視野絞りFSを、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間のフィールドレンズFLの近傍、または第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間のフィールドレンズの近傍に

配置することができる。この場合、照明光学系に視野絞りを設けなくてもよい構成とすることができる。さらに、第3結像光学系G3の光路中に、開口絞りASを配置することができる。

以上のように、本発明の反射屈折光学系では、複数の光軸を有する従来の反射屈折光学系とは異なり、すべての光学部材が単一の光軸AXに沿って配置されている。したがって、光学系を形成するために複数の鏡筒を要することなく、光軸相互の調整作業も不要となり、単一光軸AXに沿った各光学部材の傾きや位置ずれなどを光学的に検知し易くなるので、高精度の光学系を製造することができる。また、この構成により、単一光軸AXを重力方向（鉛直方向）に一致させると、重力によるレンズのたわみが回転対称になるように設定することが可能になり、光学調整により結像性能の劣化を小さく抑えることが可能となる。

特に、露光装置の投影光学系に適用された場合、単一光軸AXに沿って直立姿勢で使用することにより、レチクルRおよびウェハWを重力方向に直交する面（すなわち水平面）に沿って互いに平行に配置するとともに、投影光学系を構成するすべてのレンズを重力方向の単一光軸AXに沿って水平に配置することができる。その結果、レチクルR、ウェハW、および投影光学系を構成するすべてのレンズが水平に保持され、自重による非対称な変形を受けることなく、光学調整や機械設計や高解像度の確保などにおいて非常に有利である。

また、本発明では、第3結像光学系G3の屈折光学系部分が正の屈折力（パワー）を有するために正になりがちなペッツバル和を、第1結像光学系G1および第2結像光学系G2における凹面反射鏡部分の負のペッツバル和により相殺し、全体のペッツバル和を完全に0に抑えることができる。

なお、反射鏡を含むすべての光学部材を単一の光軸に沿って配置する構成では、反射鏡に対してどのように光路を設定するかが、大きな問題となる。1つの解決策として、前述したように、反射鏡の中央に開口部（光透過部）を形成し、その中央開口部を介して光路を設定する技術が考えられる。しかしながら、この従来技術では、必然的に入射瞳部分において中心遮蔽を形成せざるを得ず、この中心遮蔽に起因して光学結像性能の低下を招くことになる。

これに対し、本発明では、第1結像光学系G1において、レチクルパターンか

らの光束が第1反射鏡の外側を廻り込んで第2反射鏡に入射する。そして、第2反射鏡で反射された光束は、第1反射鏡で反射された後、第2反射鏡の外側を廻り込んで第1中間像を形成する。さらに、第2結像光学系G2において、第1中間像からの光束は、第3反射鏡の外側を廻り込んで第4反射鏡に入射する。そして、第4反射鏡で反射された光束は、第3反射鏡で反射された後、第4反射鏡の外側を廻り込んで第2中間像を形成する。本発明では、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2とが、第1中間像の形成位置に関してほぼ対称に構成されている。その結果、レチクル側のワーキングディスタンス（最もレチクル側の光学面とレチクルとの間の光軸に沿った距離）を大きく確保することができる。つまり、第2結像光学系G2を介して形成される第2中間像の位置を第3反射鏡から遠ざけるように設定することにより、レチクル側のワーキングディスタンスを大きく確保することができる。シャップマンの色消しの原理「An achromat of the Schupmann (Refer R. Kingstake, "Lens Design Fundamentals", Academic Press, 1978, Page 89)」によれば、負レンズからの共役像（レチクルR、中間像）までの距離差（図1では、レチクルRから第2反射鏡までの距離をcとし、第2反射鏡から第1反射鏡までの距離をbとし、第1反射鏡から中間像までの距離をaとすると、 $a + b - c$ ）が大きいと、色補正が困難である。本発明では、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2とが第1中間像の形成位置に関してほぼ対称に構成されているため、第1結像光学系G1の負レンズからの共役像までの距離差（ $a + b - c$ ）を第2結像光学系G2で相殺（キャンセル）することができ、色収差補正の観点においても有利である。

以上のような構成を採ることにより、入射瞳での中心遮蔽を回避することができ、ひいては中心遮蔽に起因する光学結像特性の低下を回避することができる。なお、反射屈折光学系全体の結像倍率を適宜選択することにより、各反射鏡の外側を廻り込む光路の設定が容易になる。その結果、図1に示すように、レチクルフィールドにおいて光軸AXから偏心した比較的大きな矩形の照明領域IRに形成されたレチクルパターンの最終像を、ウェハフィールドにおいて光軸AXから偏心した比較的大きな矩形の実効露光領域ER上に形成することができる。これに対応して、レチクルパターンの第1中間像および第2中間像は、光軸AX

から離れた位置に形成されることになる。

このように、本発明の反射屈折光学系を投影光学系として搭載した露光装置では、レチクルRおよびウェハWを所定の方向（スキャン方向）に沿って移動させながら、矩形の照明領域IRおよび実効露光領域ERに基づく走査露光を行うことができる。これに対し、すべての光学部材が単一光軸に沿って配置された反射屈折光学系を投影光学系として搭載した従来の露光装置では、比較的大きな矩形の照明領域および実効露光領域を確保することができず、細長い円弧状の照明領域および実効露光領域に基づく走査露光を行っていた。

この場合、従来の露光装置では、実効露光領域の形状が細長い円弧状であるため、走査露光に際して実効露光領域が投影光学系の焦点深度内に常に納まるようにウェハステージの傾きを調整することが困難であった。また、従来の露光装置では、実効露光領域の形状が細長い円弧状であるため、スキャン方向に沿ったレチクルRおよびウェハWの所要移動量、すなわちスキャン幅が大きくなってしまふ。本発明では、実効露光領域の形状が比較的大きな矩形であるため、走査露光に際して実効露光領域が投影光学系の焦点深度内に常に納まるようにウェハステージの傾きを調整することが容易であり、スキャン幅も小さくなる。

以下、本発明の実施例を、添付図面に基づいて説明する。

図2は、本発明の各実施例にかかる反射屈折光学系を投影光学系として備えた露光装置の全体構成を概略的に示す図である。なお、図2において、投影光学系PLを構成する反射屈折光学系の基準光軸AXに平行にZ軸を、光軸AXに垂直な面内において図2の紙面に平行にY軸を、紙面に垂直にX軸を設定している。

図示の露光装置は、紫外領域の照明光を供給するための光源100として、F₂レーザー光源（発振中心波長157.6nm）を備えている。光源100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レチクル（マスク）Rを均一に照明する。なお、光源100と照明光学系ILとの間の光路はケーシング（不図示）で密封されており、光源100から照明光学系IL中の最もレチクル側の光学部材までの空間は、露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

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Rには転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体のうちX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形形状のパターン領域が照明される。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、反射屈折型の投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にレチクルパターン像を形成する。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。そして、レチクルR上での矩形形状の照明領域に光学的に対応するように、ウェハW上ではX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形形状の露光領域にパターン像が形成される。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。

図3は、ウェハ上に形成される矩形形状の露光領域（すなわち実効露光領域）と基準光軸との位置関係を示す図である。図3に示すように、各実施例（ただし第6実施例を除く）では、基準光軸AXを中心とした半径A（最大像高に対応）を有する円形状の領域（イメージサークル）IF内において、基準光軸AXから-Y方向に偏心した位置に所望の大きさを有する矩形形状の実効露光領域ERが設定されている。ここで、実効露光領域ERのX方向の長さはLXであり、そのY方向の長さはLYである。

したがって、図1に示すように、レチクルR上では、基準光軸AXから+Y方向に偏心した位置に実効露光領域ERに対応した大きさおよび形状を有する矩形形状の照明領域IRが形成されていることになる。すなわち、基準光軸AXを中心とした半径B（最大物体高に対応）を有する円形状の領域内において、基準光軸AXから+Y方向に偏心した位置に所望の大きさを有する矩形形状の照明領域IR

が設定されている。

また、図示の露光装置では、投影光学系P Lを構成する光学部材のうち最もレチクル側に配置された光学部材（各実施例ではレンズL 1 1）と最もウェハ側に配置された光学部材（第1および第2実施例ではレンズL 3 8，第3実施例ではレンズL 3 1 2，第4実施例ではレンズL 3 9，第5、第6および第9実施例ではレンズL 3 1 5，第7および第8実施例ではレンズL 3 1 7）との間で投影光学系P Lの内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系P Lの内部の気体はヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

さらに、照明光学系I Lと投影光学系P Lとの間の狭い光路には、レチクルRおよびレチクルステージR Sなどが配置されているが、レチクルRおよびレチクルステージR Sなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

また、投影光学系P LとウェハWとの間の狭い光路には、ウェハWおよびウェハステージW Sなどが配置されているが、ウェハWおよびウェハステージW Sなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。このように、光源1 0 0からウェハWまでの光路の全体に亘って、露光光がほとんど吸収されることのない雰囲気形成されている。

上述したように、投影光学系P Lによって規定されるレチクルR上の照明領域およびウェハW上の露光領域（すなわち実効露光領域E R）は、Y方向に沿って短辺を有する矩形形状である。したがって、駆動系および干渉計（R I F、W I F）などを用いてレチクルRおよびウェハWの位置制御を行いながら、矩形形状の露光領域および照明領域の短辺方向すなわちY方向に沿ってレチクルステージR SとウェハステージW Sとを、ひいてはレチクルRとウェハWとを反対の方向へ（すなわち反対の向きへ）同期的に移動（走査）させることにより、ウェハW上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウェハWの走査量（移動量）に応じた長さを有する領域に対してレチクルパターンが走査露光される。

各実施例において、本発明の反射屈折光学系からなる投影光学系 P L は、第 1 面に配置されたレチクル R のパターンの第 1 中間像を形成するための反射屈折型の第 1 結像光学系 G 1 と、第 1 結像光学系 G 1 を介した光に基づいてレチクル R のパターンの第 2 中間像を形成するための反射屈折型の第 2 結像光学系 G 2 と、第 2 結像光学系 G 2 を介した光に基づいて第 2 面に配置されたウェハ W 上にレチクルパターンの最終像（レチクルパターンの縮小像）を形成するための屈折型の第 3 結像光学系 G 3 とを備えている。

なお、各実施例において、第 1 結像光学系 G 1、第 2 結像光学系 G 2 および第 3 結像光学系 G 3 を構成するすべての光学部材が単一の直線状光軸 A X に沿って配置されている。また、第 1 結像光学系 G 1 と第 2 結像光学系 G 2 との間の光路中には、第 1 フィールドレンズが配置されている。さらに、第 2 結像光学系 G 2 と第 3 結像光学系 G 3 との間の光路中には、第 2 フィールドレンズが配置されている。なお、基準光軸 A X は、重力方向（すなわち鉛直方向）に沿って位置決めされている。その結果、レチクル R およびウェハ W は、重力方向と直交する面すなわち水平面に沿って互いに平行に配置されている。加えて、投影光学系 P L を構成するすべての光学部材（レンズおよび反射鏡）も、基準光軸 A X 上において水平面に沿って配置されている。

各実施例において、投影光学系 P L を構成するすべての屈折光学部材（レンズ成分）には蛍石（ CaF_2 結晶）を使用している。また、露光光である F_2 レーザ光の発振中心波長は 157.6 nm であり、 157.6 nm 付近において CaF_2 の屈折率は、 $+1 \text{ pm}$ の波長変化あたり -2×10^{-6} の割合で変化し、 -1 pm の波長変化あたり $+2 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、 157.6 nm 付近において、 CaF_2 の屈折率の分散 ($dn/d\lambda$) は、 $2 \times 10^{-6}/\text{pm}$ である。

したがって、各実施例において、中心波長 157.6 nm に対する CaF_2 の屈折率は 1.560000 である。そして、第 1 実施例、第 2 実施例および第 4 実施例では、 $157.6 \text{ nm} + 0.5 \text{ pm} = 157.6005 \text{ nm}$ に対する CaF_2 の屈折率は 1.559999 であり、 $157.6 \text{ nm} - 0.5 \text{ pm} = 157.5995 \text{ nm}$ に対する CaF_2 の屈折率は 1.560001 である。また、第 3 実施例、第 5 実施例および第 6 実施例では、 $157.6 \text{ nm} + 0.3 \text{ pm} = 157.6003 \text{ nm}$ に対する CaF_2 の屈折率は 1.559997 であり、 $157.6 \text{ nm} - 0.3 \text{ pm} = 157.5997 \text{ nm}$ に対する CaF_2 の屈折率は 1.560003 である。

6003 nmに対するCaF₂の屈折率は1.5599994であり、157.6 nm-0.3 pm=157.5997 nmに対するCaF₂の屈折率は1.5600006である。さらに、第7実施例～第9実施例では、157.6 nm+0.4 pm=157.6004 nmに対するCaF₂の屈折率は1.5599992であり、157.6 nm-0.4 pm=157.5996 nmに対するCaF₂の屈折率は1.5600008である。

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κとし、n次の非球面係数をC_nとしたとき、以下の数式（a）で表される。

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

各実施例において、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。

〔第1実施例〕

図4は、第1実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示す図である。図4の反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた正メニスカスレンズL11と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた正メニスカスレンズL12と、ウェハ側に平面に近い凹面を向けた凹面反射鏡M11と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL13と、レチクル側に凹面を向けた凹面反射鏡M12とから構成されている。

また、第2結像光学系G2は、レチクル側から順に、ウェハ側に凹面を向けた凹面反射鏡M21と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に平面に近い凹面を向けた凹面反射鏡M22とから構成されている。

さらに、第3結像光学系G3は、レチクル側から順に、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた負メニスカスレンズL31と、レチクル側に非球面状の凸面を向けた負メニスカスレンズL32と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL33と、開口絞りASと、レチクル側に非球面状の凹面を向けた正メ

ニスカスレンズL 3 4と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 5と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 6と、両凸レンズL 3 7と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL 3 8とから構成されている。

なお、第1結像光学系G 1と第2結像光学系G 2との間の光路中には、レチクル側から順に、レチクル側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 4 1と、レチクル側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL 4 2と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 4 3とから構成された第1フィールドレンズが配置されている。また、第2結像光学系G 2と第3結像光学系G 3との間の光路中には、レチクル側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL 5 1から構成された第2フィールドレンズが配置されている。

したがって、第1実施例では、レチクルRからの光が、正メニスカスレンズL 1 1、正メニスカスレンズL 1 2および負メニスカスレンズL 1 3を介して、凹面反射鏡M 1 2に入射する。凹面反射鏡M 1 2で反射された光は、負メニスカスレンズL 1 3を介して凹面反射鏡M 1 1で反射された後、第1フィールドレンズ(L 4 1~L 4 3)中にレチクルパターンの第1中間像を形成する。

第1フィールドレンズ(L 4 1~L 4 3)中に形成された第1中間像からの光は、凹面反射鏡M 2 2で反射され、負メニスカスレンズL 2 1を介して凹面反射鏡M 2 1で反射された後、負メニスカスレンズL 2 1を介して第2フィールドレンズL 5 1の近傍にレチクルパターンの第2中間像を形成する。第2フィールドレンズL 5 1の近傍に形成された第2中間像からの光は、第3結像光学系G 3を構成する各レンズL 3 1~L 3 8を介して、ウェハW上にレチクルパターンの最終像を形成する。

次の表(1)に、第1実施例の反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。表(1)の主要諸元において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率(全系の結像倍率)を、NAは像側(ウェハ側)開口数を、AはウェハW上でのイメージサークルIFの半径すなわち最大像高を、Bは最大像高Aに対応する最大物体高を、LXは実効露光領域ERのX方向に沿った寸法(長辺の寸法)を、LYは実効露光領域ERのY方向に沿った寸法(短辺の寸法)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、第１カラムの面番号はレチクル側からの面の順序を、第２カラムの 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、第３カラムの d は各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、第４カラムの n は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔 d の符号は、凹面反射鏡 M 1 2 から凹面反射鏡 M 1 1 への光路中および凹面反射鏡 M 2 2 から凹面反射鏡 M 2 1 への光路中では負とし、その他の光路中では正としている。また、光の入射方向に関わらず、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を負としている。

表（１）

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/4$$

$$NA = 0.70$$

$$A = 17 \text{ mm}$$

$$B = 68 \text{ mm}$$

$$LX = 22 \text{ mm}$$

$$LY = 5 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	
	(レチクル面)	64.582058		
1	-209.99497	24.525484	1.560000	(レンズ L 1 1)
2*	-166.93294	2.218319		
3	-155.66573	15.657738	1.560000	(レンズ L 1 2)
4*	-112.14862	222.368536		
5	-137.10069	10.687500	1.560000	(レンズ L 1 3)
6	-297.35521	5.164034		
7	-230.99151	-5.164034		(凹面反射鏡 M 1 2)

8	-297.35521	-10.687500	1.560000	(レンズL13)
9	-137.10069	-202.268536		
10	9031.77704	238.120070		(凹面反射鏡M11)
11*	-476.24503	35.519322	1.560000	(レンズL41)
12	-183.40344	1.000000		
13*	232.87955	33.691524	1.560000	(レンズL42)
14	-6107.18575	1.000000		
15	296.13333	25.457233	1.560000	(レンズL43)
16*	365.41518	301.171316		
17	-2848.33830	-261.483816		(凹面反射鏡M22)
18	165.31377	-10.687500	1.560000	(レンズL21)
19	383.70240	-5.000000		
20	255.80102	5.000000		(凹面反射鏡M21)
21	383.70240	10.687500	1.560000	(レンズL21)
22	165.31377	281.483816		
23*	896.07542	60.560876	1.560000	(レンズL51)
24	-133.46870	19.157687		
25	-130.23246	70.000000	1.560000	(レンズL31)
26*	-151.76418	175.887352		
27*	132.53655	15.000000	1.560000	(レンズL32)
28	94.29966	25.759223		
29	104.80691	17.096377	1.560000	(レンズL33)
30*	291.29374	30.716267		
31	∞	6.113832		(開口絞りAS)
32*	-426.89300	18.954117	1.560000	(レンズL34)
33	-107.18535	14.684919		
34	152.17692	18.992313	1.560000	(レンズL35)
35	2173.98608	1.000000		
36	84.63119	31.851802	1.560000	(レンズL36)

19

37*	383.82672	1.072291		
38	262.82386	15.136062	1.560000	(レンズL37)
39	-676.46385	1.000000		
40	80.48028	37.973817	1.560000	(レンズL38)
41*	-2872.34135	6.000000		
	(ウエハ面)			

(非球面データ)

2面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.291653 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.688361 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.173883 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.114644 \times 10^{-18}$$

4面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.245562 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.937520 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.121380 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.619768 \times 10^{-19}$$

11面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.317890 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.350349 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.549441 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.185236 \times 10^{-19}$$

13面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.274807 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.280710 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.990831 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.764627 \times 10^{-20}$$

16面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.507380 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.797166 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.693684 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.761192 \times 10^{-20}$$

23面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.124616 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.245376 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = -0.436363 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.165599 \times 10^{-18}$$

26面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.652972 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.117653 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = -0.107028 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.613946 \times 10^{-19}$$

27面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.272313 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.517344 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.904051 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.601541 \times 10^{-19}$$

30面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.303099 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.157674 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = 0.136800 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.231671 \times 10^{-18}$$

32面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.161006 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.118724 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = 0.790687 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.271051 \times 10^{-19}$$

37面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.894445 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.728182 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = -0.886021 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.108877 \times 10^{-17}$$

41面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.677633 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.377321 \times 10^{-9}$$

$$C_8 = 0.103549 \times 10^{-12} \quad C_{10} = 0.227795 \times 10^{-16}$$

図5は、第1実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。収差図において、Yは像高(mm)を示している。収差図から明らかなように、第1実施例では、波長幅が $157.6 \text{ nm} \pm 0.5 \text{ pm}$ の露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、球面収差、コマ収差、非点収差、ディストーション(歪曲収差)がほぼ無収差に近い状態まで良好に補正され、優れた結像性能を有することを確認している。

〔第2実施例〕

図6は、第2実施例にかかる反射屈折光学系(投影光学系PL)のレンズ構成を示す図である。図6の反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた正メニスカスレンズL11と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた正メニスカスレンズL12と、ウェハ側に平面に近い凹面を向けた凹面反射鏡M11と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL13と、レチクル側に凹面を向けた凹面反射鏡M12とから構成されている。

また、第2結像光学系G2は、レチクル側から順に、ウェハ側に凹面を向けた凹面反射鏡M21と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に平面に近い凹面を向けた凹面反射鏡M22とから構成されている。

さらに、第3結像光学系G3は、レチクル側から順に、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた負メニスカスレンズL31と、レチクル側に非球面状の凸面を向けた負メニスカスレンズL32と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズ

L 3 3 と、開口絞り A S と、レチクル側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズ L 3 4 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 3 5 と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズ L 3 6 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 3 7 と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズ L 3 8 とから構成されている。

なお、第 1 結像光学系 G 1 と第 2 結像光学系 G 2 との間の光路中には、レチクル側から順に、レチクル側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズ L 4 1 と、レチクル側に非球面状の凸面を向けた正メニスカスレンズ L 4 2 と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズ L 4 3 とから構成された第 1 フィールドレンズが配置されている。また、第 2 結像光学系 G 2 と第 3 結像光学系 G 3 との間の光路中には、レチクル側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズ L 5 1 から構成された第 2 フィールドレンズが配置されている。

したがって、第 2 実施例では、レチクル R からの光が、正メニスカスレンズ L 1 1、正メニスカスレンズ L 1 2 および負メニスカスレンズ L 1 3 を介して、凹面反射鏡 M 1 2 に入射する。凹面反射鏡 M 1 2 で反射された光は、負メニスカスレンズ L 1 3 を介して凹面反射鏡 M 1 1 で反射された後、第 1 フィールドレンズ (L 4 1 ~ L 4 3) 中にレチクルパターンの第 1 中間像を形成する。

第 1 フィールドレンズ (L 4 1 ~ L 4 3) 中に形成された第 1 中間像からの光は、凹面反射鏡 M 2 2 で反射され、負メニスカスレンズ L 2 1 を介して凹面反射鏡 M 2 1 で反射された後、負メニスカスレンズ L 2 1 を介して第 2 フィールドレンズ L 5 1 の近傍にレチクルパターンの第 2 中間像を形成する。第 2 フィールドレンズ L 5 1 の近傍に形成された第 2 中間像からの光は、第 3 結像光学系 G 3 を構成する各レンズ L 3 1 ~ L 3 8 を介して、ウェハ W 上にレチクルパターンの最終像を形成する。

次の表 (2) に、第 2 実施例の反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。表 (2) の主要諸元において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率 (全系の結像倍率) を、NA は像側 (ウェハ側) 開口数を、A はウェハ W 上でのイメージサークル I F の半径すなわち最大像高を、B は最大像高 A に対応する最大物体高を、L X は実効露光領域 E R の X 方向に沿った寸法 (長辺の寸法) を、L Y は実効露光

領域ERのY方向に沿った寸法（短辺の寸法）をそれぞれ表している。

また、表（2）の光学部材諸元において、第1カラムの面番号はレチクル側からの面の順序を、第2カラムの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、第3カラムのdは各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、第4カラムのnは中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、面間隔dは、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔dの符号は、凹面反射鏡M12から凹面反射鏡M11への光路中および凹面反射鏡M22から凹面反射鏡M21への光路中では負とし、その他の光路中では正としている。また、光の入射方向に関わらず、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を負としている。

表（2）

（主要諸元）

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/5$$

$$NA = 0.8$$

$$A = 21 \text{ mm}$$

$$B = 105 \text{ mm}$$

$$LX = 22 \text{ mm}$$

$$LY = 5 \text{ mm}$$

（光学部材諸元）

面番号	r	d	n	
	(レチクル面)	89.097796		
1	-183.14650	19.722044	1.560000	(レンズL11)
2*	-172.17054	34.263431		
3	-461.61726	32.462803	1.560000	(レンズL12)
4*	-180.99449	199.550635		
5	-272.56734	13.359375	1.560000	(レンズL13)
6	-988.74052	13.790803		

7	-326.92312	-13.790803		(凹面反射鏡M 1 2)
8	-988.74052	-13.359375	1.560000	(レンズL 1 3)
9	-272.56734	-179.450635		
10	1164.40577	226.600813		(凹面反射鏡M 1 1)
11*	-673.49253	52.893617	1.560000	(レンズL 4 1)
12	-170.57409	1.000000		
13*	145.84783	18.775044	1.560000	(レンズL 4 2)
14	177.50368	1.000000		
15	174.53532	35.709621	1.560000	(レンズL 4 3)
16*	297.00962	294.044471		
17	-2044.05791	-247.356971		(凹面反射鏡M 2 2)
18	160.43373	-10.687500	1.560000	(レンズL 2 1)
19	366.71769	-12.000000		
20	264.23742	12.000000		(凹面反射鏡M 2 1)
21	366.71769	10.687500	1.560000	(レンズL 2 1)
22	160.43373	267.356971		
23*	385.86277	39.609336	1.560000	(レンズL 5 1)
24	-192.31716	45.851242		
25	-210.15146	15.000000	1.560000	(レンズL 3 1)
26*	-216.35913	193.996639		
27*	224.33623	28.450755	1.560000	(レンズL 3 2)
28	112.85221	2.259549		
29	118.06671	31.990438	1.560000	(レンズL 3 3)
30*	-575.87913	51.431023		
31	∞	32.226964		(開口絞りAS)
32*	739.93426	27.150099	1.560000	(レンズL 3 4)
33	-203.64309	1.000000		
34	180.06059	22.479157	1.560000	(レンズL 3 5)
35	737.32257	1.000000		

36	135.48460	23.362271	1.560000	(レンズL36)
37*	559.50671	4.229139		
38	120.70160	24.487231	1.560000	(レンズL37)
39	372.54409	8.973147		
40	91.59293	44.833371	1.560000	(レンズL38)
41*	-2636.41853	6.000000		
	(ウエハ面)			

(非球面データ)

2面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.264407 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.476678 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.155729 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.517698 \times 10^{-20}$$

4面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.280731 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.571906 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.469828 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.988050 \times 10^{-21}$$

11面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.275486 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.579812 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.188014 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.327703 \times 10^{-20}$$

13面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.305645 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.100924 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.185962 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.380314 \times 10^{-20}$$

1 6 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.476746 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.515517 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.536543 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.833063 \times 10^{-20}$$

2 3 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.916646 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.125088 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.367721 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.108975 \times 10^{-20}$$

2 6 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.696241 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.269136 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = -0.305398 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.112606 \times 10^{-18}$$

2 7 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.216592 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.590674 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.832609 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.333598 \times 10^{-19}$$

3 0 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.180772 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.105754 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = 0.691500 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.189377 \times 10^{-19}$$

3 2 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.173909 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.507430 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.989619 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.182632 \times 10^{-19}$$

37面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.764004 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.873773 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.285150 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.481104 \times 10^{-19}$$

41面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.145715 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.124981 \times 10^{-9}$$

$$C_8 = 0.704755 \times 10^{-13} \quad C_{10} = -0.114853 \times 10^{-16}$$

図7は、第2実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。収差図において、Yは像高（mm）を示している。収差図から明らかなように、第2実施例においても第1実施例と同様に、波長幅が157.6nm±0.5pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、球面収差、コマ収差、非点収差、ディストーション（歪曲収差）がほぼ無収差に近い状態まで良好に補正され、優れた結像性能を有することを確認している。

〔第3実施例〕

図8は、第3実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示す図である。図8の反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、両凸レンズL11と、ウェハ側に平面に近い凹面を向けた凹面反射鏡M11と、レチクル側に凹面を向けた凹面反射鏡M12とから構成されている。

また、第2結像光学系G2は、レチクル側から順に、ウェハ側に凹面を向けた凹面反射鏡M21と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に平面に近い凹面を向けた凹面反射鏡M22とから構成されている。

さらに、第3結像光学系G3は、レチクル側から順に、レチクル側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL31と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL32と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL33と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL34と、両凸レンズL

35と、レチクル側に非球面状の凹面を向けた負メニスカスレンズL36と、開口絞りASと、レチクル側に非球面状の凹面を向けた負メニスカスレンズL37と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL38と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL39と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL310と、両凹レンズL311と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL312とから構成されている。

なお、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路中には、レチクル側から順に、両凸レンズL41と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL42とから構成された第1フィールドレンズが配置されている。また、第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中には、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L51と、両凸レンズL52ととから構成された第2フィールドレンズが配置されている。

したがって、第3実施例では、レチクルRからの光が、両凸レンズL11を介して、凹面反射鏡M12に入射する。凹面反射鏡M12で反射された光は、凹面反射鏡M11で反射された後、第1フィールドレンズ(L41およびL42)を介してレチクルパターンの第1中間像を形成する。

第1フィールドレンズ(L41およびL42)を介して形成された第1中間像からの光は、凹面反射鏡M22で反射され、負メニスカスレンズL21を介して凹面反射鏡M21で反射された後、負メニスカスレンズL21を介して、第2フィールドレンズ(L51およびL52)の近傍にレチクルパターンの第2中間像を形成する。第2中間像からの光は、第2フィールドレンズ(L51およびL52)、および第3結像光学系G3を構成する各レンズL31~L312を介して、ウェハW上にレチクルパターンの最終像を形成する。

次の表(3)に、第3実施例の反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。表(3)の主要諸元において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率(全系の結像倍率)を、NAは像側(ウェハ側)開口数を、AはウェハW上でのイメージサークルIFの半径すなわち最大像高を、Bは最大像高Aに対応する最大物体高を、LXは実効露光領域ERのX方向に沿った寸法(長辺の寸法)を、LYは実効露光領域ERのY方向に沿った寸法(短辺の寸法)をそれぞれ表している。

また、表（3）の光学部材諸元において、第1カラムの面番号はレチクル側からの面の順序を、第2カラムの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、第3カラムのdは各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、第4カラムのnは中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、面間隔dは、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔dの符号は、凹面反射鏡M12から凹面反射鏡M11への光路中および凹面反射鏡M22から凹面反射鏡M21への光路中では負とし、その他の光路中では正としている。また、光の入射方向に関わらず、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を負としている。

表（3）

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/5$$

$$NA = 0.8$$

$$A = 18 \text{ mm}$$

$$B = 90 \text{ mm}$$

$$LX = 20 \text{ mm}$$

$$LY = 5 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	
	(レチクル面)	115.557292		
1	637.80078	35.884968	1.560000	(レンズL11)
2	-384.35892	264.955326		
3	-649.27643	-234.955326		(凹面反射鏡M12)
4	1823.09082	264.955326		(凹面反射鏡M11)
5	801.77882	37.945664	1.560000	(レンズL41)
6	-494.28706	3.445777		
7	369.70210	39.503113	1.560000	(レンズL42)

8*	-792.94351	343.865788		
9	-1937.59830	-284.229026		(凹面反射鏡M 2 2)
10	155.49061	-12.344063	1.560000	(レンズL 2 1)
11	512.20865	-17.292699		
12	227.77903	17.292699		(凹面反射鏡M 2 1)
13	512.20865	12.344063	1.560000	(レンズL 2 1)
14	155.49061	314.229026		
15	-689.77068	17.668624	1.560000	(レンズL 5 1)
16	-259.40459	1.000000		
17	8014.40173	18.997331	1.560000	(レンズL 5 2)
18	-384.30480	56.716677		
19*	-1649.43052	30.000000	1.560000	(レンズL 3 1)
20	-393.58799	164.724808		
21	631.85472	15.000000	1.560000	(レンズL 3 2)
22	150.20509	19.656249		
23	538.55887	15.000000	1.560000	(レンズL 3 3)
24	1467.74312	31.821291		
25	165.43316	25.293398	1.560000	(レンズL 3 4)
26*	367.95233	6.929525		
27	350.71428	45.314099	1.560000	(レンズL 3 5)
28	-265.00281	45.939883		
29*	-222.47865	20.000000	1.560000	(レンズL 3 6)
30	-254.36058	1.000000		
31	∞	14.234702		(開口絞りAS)
32*	-300.54174	30.000000	1.560000	(レンズL 3 7)
33	-831.20280	1.000000		
34	202.39550	41.149482	1.560000	(レンズL 3 8)
35*	-341.32295	1.000000		
36	135.74819	60.768405	1.560000	(レンズL 3 9)

37*	873.19608	4.920450		
38	95.14679	23.732322	1.560000	(レンズL310)
39	382.32196	4.152784		
40	-7890.70221	15.000000	1.560000	(レンズL311)
41	554.20021	1.823828		
42	164.57547	17.998214	1.560000	(レンズL312)
43	21350.59500	6.000000		
	(ウェハ面)			

(非球面データ)

8面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.120134 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.141075 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.191837 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.169436 \times 10^{-22}$$

19面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.153558 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.750057 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -0.110884 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.325196 \times 10^{-22}$$

26面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.494425 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.707114 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.176474 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.615523 \times 10^{-21}$$

29面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.755499 \times 10^{-8} \quad C_6 = 0.321947 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.596697 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.457591 \times 10^{-20}$$

3 2 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.509707 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.426764 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.576131 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.691255 \times 10^{-20}$$

3 5 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.283140 \times 10^{-9} \quad C_6 = 0.915262 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.266523 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.112707 \times 10^{-21}$$

3 7 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.443648 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.354423 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.351861 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.206407 \times 10^{-19}$$

図9は、第3実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。収差図において、Yは像高（mm）を示している。収差図から明らかなように、第3実施例では、波長幅が157.6nm±0.3pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、球面収差、コマ収差、非点収差、ディストーション（歪曲収差）がほぼ無収差に近い状態まで良好に補正され、優れた結像性能を有することを確認している。

〔第4実施例〕

図10は、第4実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示す図である。図10の反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL11と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた負メニスカスレンズL12と、ウェハ側に平面に近い凹面を向けた凹面反射鏡M11と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL13と、レチクル側に凹面を向けた凹面反射鏡M12とから構成されている。

また、第2結像光学系G2は、レチクル側から順に、ウェハ側に凹面を向けた凹面反射鏡M21と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に平面に近い凹面を向けた凹面反射鏡M22とから構成されている。

さらに、第3結像光学系G3は、レチクル側から順に、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL31と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた負メニスカスレンズL32と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL33と、開口絞りASと、レチクル側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL34と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL35と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL36と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL37と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL38と、レチクル側に非球面状の凸面を向けた正メニスカスレンズL39とから構成されている。

なお、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路中には、レチクル側から順に、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL41と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL42と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL43とから構成された第1フィールドレンズが配置されている。また、第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中には、レチクル側から順に、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL51と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL52とから構成された第2フィールドレンズが配置されている。

したがって、第4実施例では、レチクルRからの光が、両凸レンズL11、負メニスカスレンズL12および負メニスカスレンズL13を介して、凹面反射鏡M12に入射する。凹面反射鏡M12で反射された光は、負メニスカスレンズL13を介して凹面反射鏡M11で反射された後、第1フィールドレンズ(L41～L43)中にレチクルパターンの第1中間像を形成する。

第1フィールドレンズ(L41～L43)中に形成された第1中間像からの光は、凹面反射鏡M22で反射され、負メニスカスレンズL21を介して凹面反射鏡M21で反射された後、負メニスカスレンズL21を介して第2フィールドレンズ(L51およびL52)中にレチクルパターンの第2中間像を形成する。第

2 フィールドレンズ (L 5 1 および L 5 2) 中に形成された第 2 中間像からの光は、第 3 結像光学系 G 3 を構成する各レンズ L 3 1 ~ L 3 9 を介して、ウェハ W 上にレチクルパターンの最終像を形成する。

次の表 (4) に、第 4 実施例の反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。表 (4) の主要諸元において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率 (全系の結像倍率) を、NA は像側 (ウェハ側) 開口数を、A はウェハ W 上でのイメージサークル I F の半径すなわち最大像高を、B は最大像高 A に対応する最大物体高を、L X は実効露光領域 E R の X 方向に沿った寸法 (長辺の寸法) を、L Y は実効露光領域 E R の Y 方向に沿った寸法 (短辺の寸法) をそれぞれ表している。

また、表 (4) の光学部材諸元において、第 1 カラムの面番号はレチクル側からの面の順序を、第 2 カラムの 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、第 3 カラムの d は各面の軸上間隔すなわち面間隔 (mm) を、第 4 カラムの n は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔 d の符号は、凹面反射鏡 M 1 2 から凹面反射鏡 M 1 1 への光路中および凹面反射鏡 M 2 2 から凹面反射鏡 M 2 1 への光路中では負とし、その他の光路中では正としている。また、光の入射方向に関わらず、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を負としている。

表 (4)

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/5$$

$$\text{NA} = 0.6$$

$$A = 21 \text{ mm}$$

$$B = 10.5 \text{ mm}$$

$$\text{LX} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{LY} = 6 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	
	(レチクル面)	89.750712		
1	487.10912	59.670314	1.560000	(レンズL 1 1)
2*	-519.08376	1.000000		
3	903.03433	15.000000	1.560000	(レンズL 1 2)
4*	1000.08801	242.753250		
5	-175.15215	13.359375	1.560000	(レンズL 1 3)
6	-345.12145	4.339428		
7	-279.08379	-4.339428		(凹面反射鏡M 1 2)
8	-345.12145	-13.359375	1.560000	(レンズL 1 3)
9	-175.15215	-153.071977		
10	1708.26507	200.770780		(凹面反射鏡M 1 1)
11	249.41241	26.953146	1.560000	(レンズL 4 1)
12	718.70577	1.000000		
13	309.55923	20.466222	1.560000	(レンズL 4 2)
14*	307.16348	1.000000		
15	130.97653	54.347087	1.560000	(レンズL 4 3)
16*	-1198.98798	237.403998		
17	-932.83768	-186.980264		(凹面反射鏡M 2 2)
18	136.92807	-10.687500	1.560000	(レンズL 2 1)
19	362.11962	-9.736234		
20	239.02716	9.736234		(凹面反射鏡M 2 1)
21	362.11962	10.687500	1.560000	(レンズL 2 1)
22	136.92807	279.616570		
23	234.11735	35.444231	1.560000	(レンズL 5 1)
24*	166013.12617	19.145884		
25	443.29340	39.864137	1.560000	(レンズL 5 2)
26*	5423.37926	22.505878		
27	224.26889	15.000000	1.560000	(レンズL 3 1)

28*	450.00000	191.487329		
29	131.47312	15.000000	1.560000	(レンズL32)
30*	73.42096	6.655173		
31	107.95341	21.906621	1.560000	(レンズL33)
32*	-557437.69550	42.476569		
33	∞	2.832772		(開口絞りAS)
34*	-431.12055	17.973889	1.560000	(レンズL34)
35	-118.75437	1.000000		
36	99.31449	15.000000	1.560000	(レンズL35)
37	127.78163	1.000000		
38	92.45252	21.852801	1.560000	(レンズL36)
39*	118.80433	6.195531		
40	198.80815	21.182933	1.560000	(レンズL37)
41*	-156.29012	1.000000		
42	77.69761	24.589309	1.560000	(レンズL38)
43*	443.02200	1.000000		
44*	133.51267	31.188952	1.560000	(レンズL39)
45	17904.27963	6.018159		

(ウエハ面)

(非球面データ)

2面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.815643 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.413258 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.113569 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.147898 \times 10^{-20}$$

4面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.114732 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.219867 \times 10^{-11}$$

37

$$C_8 = 0.617602 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.322366 \times 10^{-21}$$

14面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.117278 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.199688 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.688425 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.127291 \times 10^{-20}$$

16面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.191460 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.172729 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.417938 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.122892 \times 10^{-19}$$

24面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.101006 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.601731 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.336098 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.113255 \times 10^{-19}$$

26面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.259409 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.200455 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = -0.886510 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.203312 \times 10^{-19}$$

28面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.254720 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.499612 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.101235 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.475827 \times 10^{-19}$$

30面

$$\kappa = 0.000000$$

38

$$C_4 = -0.122986 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.297417 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = -0.286999 \times 10^{-14} \quad C_{10} = -0.314877 \times 10^{-18}$$

3 2 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.260763 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.278223 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = 0.311168 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.409140 \times 10^{-18}$$

3 4 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.246966 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.328800 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.155119 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.481917 \times 10^{-19}$$

3 9 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.363517 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.688387 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.263082 \times 10^{-14} \quad C_{10} = 0.401937 \times 10^{-18}$$

4 1 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.171166 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.110988 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = 0.989095 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.238040 \times 10^{-18}$$

4 3 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.130469 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.132452 \times 10^{-9}$$

$$C_8 = -0.246540 \times 10^{-13} \quad C_{10} = 0.404311 \times 10^{-17}$$

4 4 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.736368 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.554124 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = 0.111988 \times 10^{-13} \quad C_{10} = 0.498595 \times 10^{-17}$$

図11は、第4実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。収差図において、Yは像高（mm）を示している。収差図から明らかなように、第4実施例においても第1実施例および第2実施例と同様に、波長幅が157.6 nm ± 0.5 pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、球面収差、コマ収差、非点収差、ディストーション（歪曲収差）がほぼ無収差に近い状態まで良好に補正され、優れた結像性能を有することを確認している。

〔第5実施例〕

図12は、第5実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示す図である。図12の反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL11と、ウェハ側に平面に近い凹面を向けた凹面反射鏡M11と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL12と、レチクル側に凹面を向けた凹面反射鏡M12とから構成されている。

また、第2結像光学系G2は、レチクル側から順に、ウェハ側に凹面を向けた凹面反射鏡M21と、レチクル側に平面に近い凹面を向けた凹面反射鏡M22とから構成されている。

さらに、第3結像光学系G3は、レチクル側から順に、両凹レンズL31と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL32と、両凸レンズL33と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL34と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL35と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL36と、両凸レンズL37と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL38と、開口絞りASと、レチクル側に非球面状の凹面を向けた負メニスカスレンズL39と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL310と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL311と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL312と、レチクル側に

凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 1 3と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 1 4と、両凸レンズL 3 1 5とから構成されている。

なお、第1結像光学系G 1と第2結像光学系G 2との間の光路中には、レチクル側から順に、両凸レンズL 4 1と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 4 2とから構成された第1フィールドレンズが配置されている。また、第2結像光学系G 2と第3結像光学系G 3との間の光路中には、レチクル側から順に、レチクル側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 5 1と、両凸レンズL 5 2とから構成された第2フィールドレンズが配置されている。

したがって、第5実施例では、レチクルRからの光が、正メニスカスレンズL 1 1および負メニスカスレンズL 1 2を介して、凹面反射鏡M 1 2に入射する。凹面反射鏡M 1 2で反射された光は、負メニスカスレンズL 1 2を介して凹面反射鏡M 1 1で反射された後、第1フィールドレンズ(L 4 1およびL 4 2)の近傍にレチクルパターンの第1中間像を形成する。

第1中間像からの光は、第1フィールドレンズ(L 4 1およびL 4 2)を介して、凹面反射鏡M 2 2および凹面反射鏡M 2 1で順次反射された後、第2フィールドレンズ(L 5 1およびL 5 2)の近傍にレチクルパターンの第2中間像を形成する。第2中間像からの光は、第2フィールドレンズ(L 5 1およびL 5 2)、および第3結像光学系G 3を構成する各レンズL 3 1～L 3 1 5を介して、ウェハW上にレチクルパターンの最終像を形成する。

次の表(5)に、第5実施例の反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。表(5)の主要諸元において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率(全系の結像倍率)を、NAは像側(ウェハ側)開口数を、AはウェハW上でのイメージサークルIFの半径すなわち最大像高を、Bは最大像高Aに対応する最大物体高を、LXは実効露光領域ERのX方向に沿った寸法(長辺の寸法)を、LYは実効露光領域ERのY方向に沿った寸法(短辺の寸法)をそれぞれ表している。

また、表(5)の光学部材諸元において、第1カラムの面番号はレチクル側からの面の順序を、第2カラムの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、第3カラムのdは各面の軸上間隔すなわち面間隔(mm)を、第4カラムのnは中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、面間隔

dは、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔dの符号は、凹面反射鏡M12から凹面反射鏡M11への光路中および凹面反射鏡M22から凹面反射鏡M21への光路中では負とし、その他の光路中では正としている。また、光の入射方向に関わらず、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を負としている。

表(5)

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/5$$

$$NA = 0.8$$

$$A = 18 \text{ mm}$$

$$B = 90 \text{ mm}$$

$$LX = 20 \text{ mm}$$

$$LY = 5 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	
	(レチクル面)	61.000000		
1	211.27080	26.106514	1.560000	(レンズL11)
2	459.51275	321.906829		
3	-213.95008	20.000000	1.560000	(レンズL12)
4	-1566.75457	16.802820		
5	-284.67128	-16.802820		(凹面反射鏡M12)
6	-1566.75457	-20.000000	1.560000	(レンズL12)
7	-213.95008	-291.906829		
8	1086.35493	358.709650		(凹面反射鏡M11)
9	318.29494	44.860140	1.560000	(レンズL41)
10	-887.18127	1.000000		
11	171.70178	32.360508	1.560000	(レンズL42)

12*	289.71170	292.761556		
13	-1680.12168	-262.761555		(凹面反射鏡M 2 2)
14	417.88785	346.788846		(凹面反射鏡M 2 1)
15*	-280.27770	23.000000	1.560000	(レンズL 5 1)
16	-181.49299	1.000000		
17	362.82014	70.000000	1.560000	(レンズL 5 2)
18	-416.73075	146.098155		
19	-156.85191	20.000000	1.560000	(レンズL 3 1)
20	267.60016	1.000000		
21	187.76395	25.225435	1.560000	(レンズL 3 2)
22*	384.80207	2.961318		
23	431.01527	41.508704	1.560000	(レンズL 3 3)
24	-276.05667	1.000000		
25	308.47916	20.000000	1.560000	(レンズL 3 4)
26	136.01010	20.206121		
27	277.79256	21.000000	1.560000	(レンズL 3 5)
28	333.49880	1.000000		
29	125.27880	25.793541	1.560000	(レンズL 3 6)
30*	216.27362	7.601524		
31	154.24702	48.496542	1.560000	(レンズL 3 7)
32	-544.19222	18.722230		
33	-285.23875	20.000000	1.560000	(レンズL 3 8)
34	-800.51580	10.000000		
35	∞	13.059929		(開口絞りA S)
36*	-322.74880	16.000000	1.560000	(レンズL 3 9)
37	-286.86928	1.000000		
38	164.94509	45.299315	1.560000	(レンズL 3 1 0)
39*	-210.06061	2.818820		
40	-163.13416	15.000000	1.560000	(レンズL 3 1 1)

41	-369.63693	1.000000		
42	111.12796	27.284262	1.560000	(レンズL 3 1 2)
43*	1842.35594	1.000000		
44	92.22880	20.000000	1.560000	(レンズL 3 1 3)
45	177.36266	1.236998		
46	177.43094	16.861444	1.560000	(レンズL 3 1 4)
47	186.23389	1.000000		
48	165.56422	15.000000	1.560000	(レンズL 3 1 5)
49	-1131.06283	6.000000		
	(ウエハ面)			

(非球面データ)

1 2 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.181313 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.145718 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.178341 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.265148 \times 10^{-21}$$

1 5 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.588707 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.844226 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.743823 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.197114 \times 10^{-21}$$

2 2 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.294829 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.384432 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.393756 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.345603 \times 10^{-21}$$

3 0 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.100809 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.669526 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -0.609327 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 0.830042 \times 10^{-21}$$

36面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.137850 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.508803 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.272924 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.202953 \times 10^{-19}$$

39面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.111530 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.650079 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.157560 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.172336 \times 10^{-19}$$

43面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.170111 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.258296 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.608232 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.232160 \times 10^{-19}$$

図13は、第5実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。収差図において、Yは像高（mm）を示している。収差図から明らかなように、第5実施例においても第3実施例と同様に、波長幅が157.6nm±0.3pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、球面収差、コマ収差、非点収差、ディストーション（歪曲収差）がほぼ無収差に近い状態まで良好に補正され、優れた結像性能を有することを確認している。

〔第6実施例〕

図14は、第6実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示す図である。図14の反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL11と、ウェハ側に平面に近い凹面を向けた凹面反射鏡M11と、レチクル側に凹面を向けた凹面反射鏡M12とから構成されている。

また、第2結像光学系G2は、レチクル側から順に、ウェハ側に凹面を向けた凹面反射鏡M21と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に平面に近い凹面を向けた凹面反射鏡M22とから構成されている。

さらに、第3結像光学系G3は、レチクル側から順に、両凹レンズL31と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた負メニスカスレンズL32と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL33と、両凹レンズL34と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL35と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL36と、両凸レンズL37と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL38と、開口絞りASと、レチクル側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL39と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL310と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL311と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL312と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL313と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL314と、両凸レンズL315とから構成されている。

なお、第1結像光学系G1と第2結像光学系G2との間の光路中には、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、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL42とから構成された第1フィールドレンズが配置されている。また、第2結像光学系G2と第3結像光学系G3との間の光路中には、レチクル側から順に、レチクル側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL51と、両凸レンズL52とから構成された第2フィールドレンズが配置されている。

したがって、第6実施例では、レチクルRからの光が、正メニスカスレンズL11を介して、凹面反射鏡M12に入射する。凹面反射鏡M12で反射された光は、凹面反射鏡M11で反射された後、第1フィールドレンズ(L41およびL42)中にレチクルパターンの第1中間像を形成する。

第1フィールドレンズ(L41およびL42)中に形成された第1中間像からの光は、凹面反射鏡M22で反射され、負メニスカスレンズL21を介して凹面反射鏡M21で反射された後、負メニスカスレンズL21を介して、第2フィールドレンズ(L51およびL52)の近傍にレチクルパターンの第2中間像を形

成する。第2中間像からの光は、第2フィールドレンズ(L51およびL52)、および第3結像光学系G3を構成する各レンズL31~L315を介して、ウェハW上にレチクルパターンの最終像を形成する。

なお、上述の第1実施例~第5実施例ではウェハW上に矩形状の実効露光領域ERが形成されるが、第6実施例では円弧状の実効露光領域ERが形成される。図15は、第6実施例においてウェハ上に形成される円弧状の実効露光領域と基準光軸との位置関係を示す図である。図15に示すように、第6実施例では、基準光軸AXを中心とした半径A(最大像高に対応)を有する円形状の領域(イメージサークル)IF内において、基準光軸AXから+Y方向に偏心した位置に所望の大きさを有する円弧状の実効露光領域ERが設定されている。ここで、円弧状の実効露光領域ERのX方向の長さはLX'であり、そのY方向の長さはLY'である。したがって、レチクルR上では、基準光軸AXから-Y方向に偏心した位置に円弧状の実効露光領域ERに対応した大きさおよび形状を有する円弧状の照明領域IRが形成されていることになる。すなわち、基準光軸AXを中心とした半径B(最大物体高に対応)を有する円形状の領域内において、基準光軸AXから-Y方向に偏心した位置に所望の大きさを有する円弧状の照明領域IRが設定されている。

次の表(6)に、第6実施例の反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。表(6)の主要諸元において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率(全系の結像倍率)を、NAは像側(ウェハ側)開口数を、AはウェハW上でのイメージサークルIFの半径すなわち最大像高を、Bは最大像高Aに対応する最大物体高を、LX'は円弧状の実効露光領域ERのX方向に沿った寸法を、LY'は円弧状の実効露光領域ERのY方向に沿った寸法をそれぞれ表している。

また、表(6)の光学部材諸元において、第1カラムの面番号はレチクル側からの面の順序を、第2カラムの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、第3カラムのdは各面の軸上間隔すなわち面間隔(mm)を、第4カラムのnは中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、面間隔dは、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔dの符号は、凹面反射鏡M12から凹面反射鏡M11への光路中および凹面反射鏡M2

2 から凹面反射鏡 M 2 1 への光路中では負とし、その他の光路中では正としている。また、光の入射方向に関わらず、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を負としている。

表 (6)

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/5$$

$$NA = 0.8$$

$$A = 18 \text{ mm}$$

$$B = 90 \text{ mm}$$

$$LX' = 20 \text{ mm}$$

$$LY' = 3 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	
	(レチクル面)	60.000000		
1	419.18852	19.580407	1.560000	(レンズ L 1 1)
2	1680.57391	254.993608		
3	-489.61861	-224.993608		(凹面反射鏡 M 1 2)
4	2084.90414	254.993608		(凹面反射鏡 M 1 1)
5	-1514.77737	69.985952	1.560000	(レンズ L 4 1)
6	-244.82172	1.000000		
7	364.28042	32.967769	1.560000	(レンズ L 4 2)
8*	-3138.44099	509.623508		
9	-2184.60801	-442.835110		(凹面反射鏡 M 2 2)
10	149.68327	-20.000000	1.560000	(レンズ L 2 1)
11	559.08929	-16.788398		
12	263.00265	16.788398		(凹面反射鏡 M 2 1)
13	559.08929	20.000000	1.560000	(レンズ L 2 1)

14	149.68327	442.835110		
15*	1889.70924	23.000000	1.560000	(レンズL51)
16	-264.21722	1.000000		
17	233.99661	35.823627	1.560000	(レンズL52)
18	-619.37646	38.987456		
19	-5441.96593	20.000000	1.560000	(レンズL31)
20	502.25155	1.000000		
21	182.75539	20.000000	1.560000	(レンズL32)
22*	97.20773	1.457183		
23	97.56626	26.063961	1.560000	(レンズL33)
24	183.48181	23.001316		
25	-240.13113	20.000000	1.560000	(レンズL34)
26	145.02922	19.973246		
27	-950.10258	21.000000	1.560000	(レンズL35)
28	-183.48772	69.067372		
29	126.47126	23.315183	1.560000	(レンズL36)
30*	187.64534	7.841194		
31	217.50174	40.946892	1.560000	(レンズL37)
32	-326.63509	22.449513		
33	-196.62797	20.000000	1.560000	(レンズL38)
34	-267.67602	10.000000		
35	∞	12.422431		(開口絞りAS)
36*	-340.00000	16.000000	1.560000	(レンズL39)
37	-248.51990	1.000000		
38	156.19975	43.018450	1.560000	(レンズL310)
39*	-324.35639	5.121067		
40	-177.96849	15.000000	1.560000	(レンズL311)
41	-358.98302	1.000000		
42	107.39866	29.810536	1.560000	(レンズL312)

43*	-5286.38967	1.000000		
44	88.60392	20.000000	1.560000	(レンズL 3 1 3)
45	178.21372	1.000000		
46	177.28766	17.334341	1.560000	(レンズL 3 1 4)
47	131.47878	1.213668		
48	131.32841	15.001321	1.560000	(レンズL 3 1 5)
49	-1923.73296	6.000000		
	(ウェハ面)			

(非球面データ)

8 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.554200 \times 10^{-8} \quad C_6 = -0.280967 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 0.778972 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -0.177500 \times 10^{-22}$$

15 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.109228 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.364285 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.142762 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.362739 \times 10^{-21}$$

22 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.225626 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.154524 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.164766 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.164885 \times 10^{-20}$$

30 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.379428 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.163017 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.684667 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.115849 \times 10^{-20}$$

36面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.146106 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.502919 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.270461 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.186877 \times 10^{-19}$$

39面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.159225 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.844367 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.120649 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.173041 \times 10^{-19}$$

43面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.204302 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.422928 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.824463 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.719034 \times 10^{-20}$$

図16は、第6実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。収差図において、Yは像高（mm）を示している。収差図から明らかなように、第6実施例においても第3実施例および第5実施例と同様に、波長幅が157.6nm±0.3pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、球面収差、コマ収差、非点収差、ディストーション（歪曲収差）がほぼ無収差に近い状態まで良好に補正され、優れた結像性能を有することを確認している。

〔第7実施例〕

図17は、第7実施例にかかる反射屈折光学系（投影光学系PL）のレンズ構成を示す図である。図17の反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、両凸レンズL11と、ウェハ側に平面に近い凸面を向けた凸面反射鏡M11と、レチクル側に凹面を向けた凹面反射鏡M12とから構成されている。

また、第2結像光学系G2は、レチクル側から順に、ウェハ側に凹面を向けた

凹面反射鏡M 2 1 と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 2 1 と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 2 2 と、レチクル側に凹面を向けた凹面反射鏡M 2 2 とから構成されている。

さらに、第3結像光学系G 3は、レチクル側から順に、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 1 と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 3 2 と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 3 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 4 と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 3 5 と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 3 6 と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 7 と、両凸レンズL 3 8 と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 9 と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 3 1 0 と、レチクル側に非球面状の凹面を向けた負メニスカスレンズL 3 1 1 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 1 2 と、ウェハ側の非球面状の凸面を向けた両凸レンズL 3 1 3 と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 3 1 4 と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 1 5 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 1 6 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 1 7 とから構成されている。

なお、第1結像光学系G 1と第2結像光学系G 2との間の光路中には、レチクル側から順に、両凸レンズL 4 1 と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL 4 2 とから構成された第1フィールドレンズが配置されている。また、第2結像光学系G 2と第3結像光学系G 3との間の光路中には、レチクル側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL 5 1 から構成された第2フィールドレンズが配置されている。

したがって、第7実施例では、レチクルRからの光が、両凸レンズL 1 1 を介して、凹面反射鏡M 1 2 に入射する。凹面反射鏡M 1 2 で反射された光は、凸面反射鏡M 1 1 で反射された後、第1フィールドレンズ（L 4 1 およびL 4 2）の近傍にレチクルパターンの第1中間像を形成する。

第1中間像からの光は、負メニスカスレンズL 2 2 を介して凹面反射鏡M 2 2 で反射された後、負メニスカスレンズL 2 2 および負メニスカスレンズL 2 1 を

介して凹面反射鏡M 2 1に入射する。凹面反射鏡M 2 1で反射された光は、負メニスカスレンズL 2 1を介して、第2フィールドレンズ(L 5 1)の近傍にレチクルパターンの第2中間像を形成する。第2中間像からの光は、第3結像光学系G 3を構成する各レンズL 3 1～L 3 17を介して、ウェハW上にレチクルパターンの最終像を形成する。

次の表(7)に、第7実施例の反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。表(7)の主要諸元において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率(全系の結像倍率)を、NAは像側(ウェハ側)開口数を、AはウェハW上でのイメージサークルIFの半径すなわち最大像高を、Bは最大像高Aに対応する最大物体高を、LXは実効露光領域ERのX方向に沿った寸法(長辺の寸法)を、LYは実効露光領域ERのY方向に沿った寸法(短辺の寸法)をそれぞれ表している。

また、表(7)の光学部材諸元において、第1カラムの面番号はレチクル側からの面の順序を、第2カラムの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、第3カラムのdは各面の軸上間隔すなわち面間隔(mm)を、第4カラムのnは中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、面間隔dは、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔dの符号は、凹面反射鏡M 1 2から凹面反射鏡M 1 1への光路中および凹面反射鏡M 2 2から凹面反射鏡M 2 1への光路中では負とし、その他の光路中では正としている。また、光の入射方向に関わらず、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を負としている。さらに、表(7)の条件式対応値において、LATは倍率色収差係数を、AXは軸上色収差係数をそれぞれ示している。

表(7)

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/4$$

$$NA = 0.845$$

$$A = 18 \text{ mm}$$

$$B = 7.2 \text{ mm}$$

L X = 22 mm

L Y = 4 mm

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	
	(レチクル面)	64.313122		
1	633.35560	29.362563	1.560000	(レンズL11)
2	-297.41454	217.631552		
3	-376.41908	-187.631552		(凹面反射鏡M12)
4	-1719.92425	217.631552		(凸面反射鏡M11)
5	1020.41099	44.070507	1.560000	(レンズL41)
6	-406.99116	1.000000		
7	426.60624	46.118329	1.560000	(レンズL42)
8*	-604.42303	465.826853		
9	-401.62011	20.000000	1.560000	(レンズL22)
10	-2157.31867	6.871072		
11	-632.50781	-6.871072		(凹面反射鏡M22)
12	-2157.31867	-20.000000	1.560000	(レンズL22)
13	-401.62011	-401.565841		
14	163.07026	-20.000000	1.560000	(レンズL21)
15	512.54817	-14.261012		
16	296.41597	14.261013		(凹面反射鏡M21)
17	512.54817	20.000000	1.560000	(レンズL21)
18	163.07026	458.436913		
19*	8910.30168	26.990021	1.560000	(レンズL51)
20	-390.02333	1.000000		
21	154.61680	27.437462	1.560000	(レンズL31)
22	266.36618	10.838480		
23	578.36195	20.000000	1.560000	(レンズL32)

24	156.58391	10.000000		
25	200.15045	20.000000	1.560000	(レンズL33)
26*	355.24067	10.000000		
27	199.94207	20.000000	1.560000	(レンズL34)
28	565.87990	165.714184		
29	1057.18610	20.000000	1.560000	(レンズL35)
30	132.35645	30.141989		
31	-325.89570	21.445301	1.560000	(レンズL36)
32	-460.40857	1.000000		
33	180.42036	25.000000	1.560000	(レンズL37)
34*	290.73962	15.607903		
35	153.52191	54.725337	1.560000	(レンズL38)
36	-377.47953	10.000000		
37	-596.78960	16.523215	1.560000	(レンズL39)
38	-292.83030	4.261011		
39	-234.60209	20.000000	1.560000	(レンズL310)
40	-317.15396	19.987264		
41*	-596.23286	16.000000	1.560000	(レンズL311)
42	-10714.58691	1.000000		
43	201.11330	20.217332	1.560000	(レンズL312)
44	561.52434	5.000000		
45	161.81186	41.142108	1.560000	(レンズL313)
46*	-311.48442	7.344549		
47	-177.28368	15.000000	1.560000	(レンズL314)
48	-264.46461	1.000000		
49	114.47887	21.221832	1.560000	(レンズL315)
50*	284.79460	1.000000		
51	87.32352	28.536749	1.560000	(レンズL316)
52	301.26342	4.000000		

53 149.71418 26.671264 1.560000 (レンズL317)
 54 1921.15947 6.000000
 (ウエハ面)

(非球面データ)

8面

$\kappa = 0.000000$
 $C_4 = 0.118332 \times 10^{-7}$ $C_6 = -0.901477 \times 10^{-13}$
 $C_8 = 0.456579 \times 10^{-18}$ $C_{10} = 0.500107 \times 10^{-23}$

19面

$\kappa = 0.000000$
 $C_4 = 0.362526 \times 10^{-7}$ $C_6 = -0.325425 \times 10^{-12}$
 $C_8 = -0.715942 \times 10^{-17}$ $C_{10} = 0.938233 \times 10^{-22}$

26面

$\kappa = 0.000000$
 $C_4 = 0.784516 \times 10^{-7}$ $C_6 = 0.132181 \times 10^{-11}$
 $C_8 = 0.390546 \times 10^{-16}$ $C_{10} = 0.194862 \times 10^{-20}$

34面

$\kappa = 0.000000$
 $C_4 = 0.770740 \times 10^{-7}$ $C_6 = 0.108454 \times 10^{-11}$
 $C_8 = -0.141384 \times 10^{-16}$ $C_{10} = -0.154327 \times 10^{-20}$

41面

$\kappa = 0.000000$
 $C_4 = -0.111168 \times 10^{-6}$ $C_6 = -0.459164 \times 10^{-11}$
 $C_8 = -0.179391 \times 10^{-15}$ $C_{10} = -0.627753 \times 10^{-20}$

46面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.806181 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.979363 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.432122 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.353438 \times 10^{-20}$$

50面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.171550 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.506941 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.172612 \times 10^{-14} \quad C_{10} = -0.907247 \times 10^{-19}$$

(条件式対応値)

$$LAT = -3.9 \times 10^{-7}$$

$$AX = -5.2 \times 10^{-5}$$

図18および図19は、第7実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。収差図において、Yは像高(mm)を示している。収差図から明らかなように、第7実施例では、波長幅が $157.6 \text{ nm} \pm 0.4 \text{ pm}$ の露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、球面収差、コマ収差、非点収差、ディストーション(歪曲収差)がほぼ無収差に近い状態まで良好に補正され、優れた結像性能を有することを確認している。

[第8実施例]

図20は、第8実施例にかかる反射屈折光学系(投影光学系PL)のレンズ構成を示す図である。図20の反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、両凸レンズL11と、ウェハ側に平面に近い凸面を向けた凸面反射鏡M11と、レチクル側に凹面を向けた凹面反射鏡M12とから構成されている。

また、第2結像光学系G2は、レチクル側から順に、ウェハ側に凹面を向けた凹面反射鏡M21と、レチクル側に凸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負メニスカスレンズL22と、レチクル側に凹面を向

けた凹面反射鏡M 2 2 とから構成されている。

さらに、第3結像光学系G 3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L 3 1と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 3 2と、両凸レンズL 3 3と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた負メニスカスレンズL 3 4と、両凹レンズL 3 5と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 3 6と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 7と、両凸レンズL 3 8と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 9と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 3 10と、レチクル側に非球面状の凹面を向けた負メニスカスレンズL 3 11と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 12と、ウェハ側の非球面状の凸面を向けた両凸レンズL 3 13と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 3 14と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 15と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 16と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 17とから構成されている。

なお、第1結像光学系G 1と第2結像光学系G 2との間の光路中には、レチクル側から順に、両凸レンズL 4 1と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL 4 2とから構成された第1フィールドレンズが配置されている。また、第2結像光学系G 2と第3結像光学系G 3との間の光路中には、レチクル側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 5 1から構成された第2フィールドレンズが配置されている。

したがって、第8実施例では、レチクルRからの光が、両凸レンズL 1 1を介して、凹面反射鏡M 1 2に入射する。凹面反射鏡M 1 2で反射された光は、凸面反射鏡M 1 1で反射された後、第1フィールドレンズ(L 4 1およびL 4 2)の近傍にレチクルパターンの第1中間像を形成する。

第1中間像からの光は、負メニスカスレンズL 2 2を介して凹面反射鏡M 2 2で反射された後、負メニスカスレンズL 2 2および負メニスカスレンズL 2 1を介して凹面反射鏡M 2 1に入射する。凹面反射鏡M 2 1で反射された光は、負メニスカスレンズL 2 1を介して、第2フィールドレンズ(L 5 1)の近傍にレチクルパターンの第2中間像を形成する。第2中間像からの光は、第3結像光学系

G 3 を構成する各レンズ L 3 1 ~ L 3 1 7 を介して、ウェハ W 上にレチクルパターンの最終像を形成する。

次の表 (8) に、第 8 実施例の反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。表 (8) の主要諸元において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率 (全系の結像倍率) を、NA は像側 (ウェハ側) 開口数を、A はウェハ W 上でのイメージサークル I F の半径すなわち最大像高を、B は最大像高 A に対応する最大物体高を、L X は実効露光領域 E R の X 方向に沿った寸法 (長辺の寸法) を、L Y は実効露光領域 E R の Y 方向に沿った寸法 (短辺の寸法) をそれぞれ表している。

また、表 (8) の光学部材諸元において、第 1 カラムの面番号はレチクル側からの面の順序を、第 2 カラムの 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、第 3 カラムの d は各面の軸上間隔すなわち面間隔 (mm) を、第 4 カラムの n は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔 d の符号は、凹面反射鏡 M 1 2 から凹面反射鏡 M 1 1 への光路中および凹面反射鏡 M 2 2 から凹面反射鏡 M 2 1 への光路中では負とし、その他の光路中では正としている。また、光の入射方向に関わらず、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を負としている。さらに、表 (8) の条件式対応値において、L A T は倍率色収差係数を、A X は軸上色収差係数をそれぞれ示している。

表 (8)

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/4$$

$$NA = 0.845$$

$$A = 18 \text{ mm}$$

$$B = 7.2 \text{ mm}$$

$$LX = 22 \text{ mm}$$

$$LY = 4 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	
	(レチクル面)	64.644427		
1	567.00647	29.774149	1.560000	(レンズL 1 1)
2	-305.96356	215.805682		
3	-375.35826	-185.805682		(凹面反射鏡M 1 2)
4	-1771.14235	215.805682		(凸面反射鏡M 1 1)
5	1046.06672	43.621058	1.560000	(レンズL 4 1)
6	-403.21536	1.000000		
7	421.69510	45.558190	1.560000	(レンズL 4 2)
8*	-640.00612	490.635779		
9	-305.40131	10.000000	1.560000	(レンズL 2 2)
10	-663.42492	1.000000		
11	-681.00059	-1.000000		(凹面反射鏡M 2 2)
12	-663.42492	-10.000000	1.560000	(レンズL 2 2)
13	-305.40131	-433.352800		
14	163.68529	-12.344063	1.560000	(レンズL 2 1)
15	526.44415	-14.938916		
16	294.23457	14.938916		(凹面反射鏡M 2 1)
17	526.44415	12.344063	1.560000	(レンズL 2 1)
18	163.68529	474.352800		
19*	-742.11875	26.894368	1.560000	(レンズL 5 1)
20	-266.21012	1.000000		
21	-400.00000	15.000000	1.560000	(レンズL 3 1)
22	-534.63536	1.000000		
23	184.35678	20.000000	1.560000	(レンズL 3 2)
24	153.88212	10.000000		
25	168.88100	50.000000	1.560000	(レンズL 3 3)
26	-1758.10942	10.000000		

27	235.07511	20.000000	1.560000	(レンズL34)
28*	189.46638	163.801245		
29	-2896.25856	20.000000	1.560000	(レンズL35)
30	124.65800	29.898504		
31	-242.21131	17.005799	1.560000	(レンズL36)
32	-357.22247	1.000000		
33	192.53113	25.000000	1.560000	(レンズL37)
34*	412.29894	8.987693		
35	152.52351	53.177839	1.560000	(レンズL38)
36	-296.92089	10.000000		
37	-316.87875	15.000000	1.560000	(レンズL39)
38	-219.63445	3.105791		
39	-194.61097	20.000000	1.560000	(レンズL310)
40	-271.06241	20.333056		
41*	-523.95508	16.000000	1.560000	(レンズL311)
42	-1588.24429	1.000000		
43	255.61070	18.833104	1.560000	(レンズL312)
44	1097.97464	5.000000		
45	151.14790	42.445707	1.560000	(レンズL313)
46*	-331.45182	8.725261		
47	-170.85207	15.000000	1.560000	(レンズL314)
48	-227.87568	1.000000		
49	112.98983	21.658527	1.560000	(レンズL315)
50*	277.63494	1.000000		
51	85.92800	24.591365	1.560000	(レンズL316)
52	235.86682	4.000000		
53	137.24923	31.502456	1.560000	(レンズL317)
54	1707.95360	6.000000		

(ウエハ面)

(非球面データ)

8 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.115614 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.898054 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 0.586813 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 0.189867 \times 10^{-23}$$

19 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.128999 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.445747 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.542677 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -0.302494 \times 10^{-22}$$

28 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.535059 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.132973 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.750691 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.629454 \times 10^{-20}$$

34 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.887048 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.117209 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.416125 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.382530 \times 10^{-20}$$

41 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.113856 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.516355 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.221902 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.928183 \times 10^{-20}$$

46 面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.824280 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.998838 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.426713 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 0.170015 \times 10^{-20}$$

50面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.159085 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.478787 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.166305 \times 10^{-14} \quad C_{10} = -0.824509 \times 10^{-19}$$

(条件式対応値)

$$LAT = -5.7 \times 10^{-8}$$

$$AX = -3.9 \times 10^{-5}$$

図21および図22は、第8実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。収差図において、Yは像高(mm)を示している。収差図から明らかのように、第8実施例において第7実施例と同様に、波長幅が157.6nm±0.4pmの露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、球面収差、コマ収差、非点収差、ディストーション(歪曲収差)がほぼ無収差に近い状態まで良好に補正され、優れた結像性能を有することを確認している。

[第9実施例]

図23は、第9実施例にかかる反射屈折光学系(投影光学系PL)のレンズ構成を示す図である。図23の反射屈折光学系において、第1結像光学系G1は、レチクル側から順に、両凸レンズL11と、ウェハ側に平面に近い凸面を向けた凸面反射鏡M11と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL12と、レチクル側に凹面を向けた凹面反射鏡M12とから構成されている。

また、第2結像光学系G2は、レチクル側から順に、ウェハ側に凹面を向けた凹面反射鏡M21と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL21と、レチクル側に平面に近い凹面を向けた凹面反射鏡M22とから構成されている。

さらに、第3結像光学系G3は、レチクル側から順に、両凸レンズL31と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた両凹レンズL32と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL33と、両凹レンズL34と、レチクル側に凸面を向

けた負メニスカスレンズL 3 5 と、ウェハ側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 6 と、両凸レンズL 3 7 と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 8 と、レチクル側に非球面状の凹面を向けた両凹レンズL 3 9 と、両凸レンズL 3 1 0 と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL 3 1 1 と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL 3 1 2 と、ウェハ側の非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 3 1 3 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 1 4 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 1 5 とから構成されている。

なお、第1結像光学系G 1 と第2結像光学系G 2 との間の光路中には、レチクル側から順に、両凸レンズL 4 1 と、ウェハ側に非球面状の凸面を向けた両凸レンズL 4 2 とから構成された第1フィールドレンズが配置されている。また、第2結像光学系G 2 と第3結像光学系G 3 との間の光路中には、レチクル側に非球面状の凹面を向けた正メニスカスレンズL 5 1 と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 5 2 とから構成された第2フィールドレンズが配置されている。

したがって、第9実施例では、レチクルRからの光が、両凸レンズL 1 1 および負メニスカスレンズL 1 2 を介して、凹面反射鏡M 1 2 に入射する。凹面反射鏡M 1 2 で反射された光は、凸面反射鏡M 1 1 で反射された後、第1フィールドレンズ(L 4 1 およびL 4 2) の近傍にレチクルパターンの第1中間像を形成する。

第1中間像からの光は、凹面反射鏡M 2 2 で反射された後、負メニスカスレンズL 2 1 を介して凹面反射鏡M 2 1 に入射する。凹面反射鏡M 2 1 で反射された光は、負メニスカスレンズL 2 1 を介して、第2フィールドレンズ(L 5 1 およびL 5 2) の近傍にレチクルパターンの第2中間像を形成する。第2中間像からの光は、第3結像光学系G 3 を構成する各レンズL 3 1 ~ L 3 1 5 を介して、ウェハW上にレチクルパターンの最終像を形成する。

次の表(9)に、第9実施例の反射屈折光学系の諸元の値を掲げる。表(9)の主要諸元において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率(全系の結像倍率)を、NAは像側(ウェハ側)開口数を、AはウェハW上でのイメージサーク

ル I F の半径すなわち最大像高を、B は最大像高 A に対応する最大物体高を、L X は実効露光領域 E R の X 方向に沿った寸法（長辺の寸法）を、L Y は実効露光領域 E R の Y 方向に沿った寸法（短辺の寸法）をそれぞれ表している。

また、表（9）の光学部材諸元において、第 1 カラムの面番号はレチクル側からの面の順序を、第 2 カラムの 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、第 3 カラムの d は各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、第 4 カラムの n は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔 d の符号は、凹面反射鏡 M 1 2 から凹面反射鏡 M 1 1 への光路中および凹面反射鏡 M 2 2 から凹面反射鏡 M 2 1 への光路中では負とし、その他の光路中では正としている。また、光の入射方向に関わらず、レチクル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、レチクル側に向かって凹面の曲率半径を負としている。さらに、表（9）の条件式対応値において、L A T は倍率色収差係数を、A X は軸上色収差係数をそれぞれ示している。

表（9）

(主要諸元)

$$\lambda = 157.6 \text{ nm}$$

$$\beta = 1/4$$

$$NA = 0.845$$

$$A = 18 \text{ mm}$$

$$B = 72 \text{ mm}$$

$$LX = 22 \text{ mm}$$

$$LY = 4 \text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n
	(レチクル面)	60.000000	
1	991.47248	28.195143	1.560000 (レンズ L 1 1)
2	-267.50588	192.866330	

3	-212.01226	15.000000	1.560000	(レンズL12)
4	-359.05656	7.438380		
5	-274.13902	-7.438380		(凹面反射鏡M12)
6	-359.05656	-15.000000	1.560000	(レンズL12)
7	-212.01226	-162.866330		
8	-2397.49986	215.304710		(凸面反射鏡M11)
9	480.51853	46.865206	1.560000	(レンズL41)
10	-546.66851	1.000000		
11	379.33588	44.717026	1.560000	(レンズL42)
12*	-630.25132	422.571113		
13	-1860.74365	-369.081141		(凹面反射鏡M22)
14	136.07113	-15.000000	1.560000	(レンズL21)
15	388.51075	-8.489972		
16	269.57337	8.489972		(凹面反射鏡M21)
17	388.51075	15.000000	1.560000	(レンズL21)
18	136.07113	399.081141		
19*	-368.26543	30.000000	1.560000	(レンズL51)
20	-253.70093	1.000000		
21	-2467.73840	30.000000	1.560000	(レンズL52)
22	-400.60099	68.350972		
23	171.28983	44.279149	1.560000	(レンズL31)
24	-3312.88121	44.770000		
25	-448.65736	20.000000	1.560000	(レンズL32)
26*	168.02309	10.000000		
27	170.42305	25.208415	1.560000	(レンズL33)
28	769.81302	99.804041		
29	-1652.36364	20.000000	1.560000	(レンズL34)
30	132.90519	15.026016		
31	530.98620	70.000000	1.560000	(レンズL35)

32	452.64324	1.000000		
33	177.34168	25.000000	1.560000	(レンズL36)
34*	415.66350	1.000000		
35	138.37477	47.565338	1.560000	(レンズL37)
36	-654.96909	10.000000		
37	-2112.93849	34.994222	1.560000	(レンズL38)
38	-411.84982	16.215559		
39*	-4467.59569	16.000000	1.560000	(レンズL39)
40	568.03899	1.000000		
41	359.65731	20.527531	1.560000	(レンズL310)
42	-5233.89502	5.000000		
43	146.19360	42.262782	1.560000	(レンズL311)
44*	-225.18468	5.392886		
45	-155.97378	15.000000	1.560000	(レンズL312)
46	-257.64593	1.000000		
47	87.50795	24.651827	1.560000	(レンズL313)
48*	221.10625	1.000000		
49	83.17065	29.222819	1.560000	(レンズL314)
50	263.21163	4.000000		
51	149.89321	16.010949	1.560000	(レンズL315)
52	1461.12239	6.000000		

(ウエハ面)

(非球面データ)

12面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.269991 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.510706 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.110177 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.123713 \times 10^{-21}$$

19面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.121430 \times 10^{-7} \quad C_6 = -0.146728 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 0.126272 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 0.894134 \times 10^{-23}$$

26面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.691903 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.102075 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.983473 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 0.117306 \times 10^{-20}$$

34面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.993275 \times 10^{-7} \quad C_6 = 0.240380 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.301051 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -0.215154 \times 10^{-20}$$

39面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.140256 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.785178 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = -0.323968 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.150679 \times 10^{-19}$$

44面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = -0.100300 \times 10^{-6} \quad C_6 = 0.114834 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = -0.384285 \times 10^{-15} \quad C_{10} = -0.139887 \times 10^{-20}$$

48面

$$\kappa = 0.000000$$

$$C_4 = 0.200382 \times 10^{-6} \quad C_6 = -0.794777 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 0.361073 \times 10^{-14} \quad C_{10} = -0.138717 \times 10^{-18}$$

(条件式対応値)

$$LAT = +9.7 \times 10^{-7}$$

$$AX = -4.5 \times 10^{-5}$$

図24および図25は、第9実施例にかかる反射屈折光学系の横収差を示す図である。収差図において、Yは像高(mm)を示している。収差図から明らかなように、第9実施例において第7実施例および第8実施例と同様に、波長幅が $157.6\text{ nm} \pm 0.4\text{ pm}$ の露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。また、球面収差、コマ収差、非点収差、ディストーション(歪曲収差)がほぼ無収差に近い状態まで良好に補正され、優れた結像性能を有することを確認している。

以上のように、第1実施例では、中心波長が 157.6 nm の F_2 レーザー光に対して、 0.7 の像側NAを確保するとともに、ウェハW上において色収差をはじめとする諸収差が十分に補正された半径が 1.7 mm のイメージサークルを確保することができる。一方、第2実施例では、中心波長が 157.6 nm の F_2 レーザー光に対して、 0.8 の像側NAを確保するとともに、ウェハW上において色収差をはじめとする諸収差が十分に補正された半径が 2.1 mm のイメージサークルを確保することができる。さらに、第3実施例、第5実施例および第6実施例では、中心波長が 157.6 nm の F_2 レーザー光に対して、 0.8 の像側NAを確保するとともに、ウェハW上において色収差をはじめとする諸収差が十分に補正された半径が 1.8 mm のイメージサークルを確保することができる。また、第4実施例では、中心波長が 157.6 nm の F_2 レーザー光に対して、 0.6 の像側NAを確保するとともに、ウェハW上において色収差をはじめとする諸収差が十分に補正された半径が 2.1 mm のイメージサークルを確保することができる。さらに、第7実施例～第9実施例では、中心波長が 157.6 nm の F_2 レーザー光に対して、 0.845 の像側NAを確保するとともに、ウェハW上において色収差をはじめとする諸収差が十分に補正された半径が 1.8 mm のイメージサークルを確保することができる。

したがって、第1実施例および第2実施例では $2.2\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ の十分に大き

な矩形形状の実効露光領域を確保した上で、第4実施例では22mm×約6mmの十分に大きな矩形形状の実効露光領域を確保した上で、0.1μm以下の高解像を達成することができる。そして、ウェハWにおいて、たとえば22mm×33mmの大きさを有する各露光領域に、レチクルRのパターンを走査露光により高精度に転写することができる。また、第3実施例および第5実施例では20mm×5mmの十分に大きな矩形形状の実効露光領域を確保した上で、0.1μm以下の高解像を達成することができる。そして、ウェハWにおいて、たとえば20mm×33mmの大きさを有する各露光領域に、レチクルRのパターンを走査露光により高精度に転写することができる。さらに、第6実施例では20mm×3mmの十分に大きな円弧状の実効露光領域を確保した上で、0.1μm以下の高解像を達成することができる。そして、ウェハWにおいて、たとえば20mm×33mmの大きさを有する各露光領域に、レチクルRのパターンを走査露光により高精度に転写することができる。また、第7実施例～第9実施例では22mm×4mmの十分に大きな矩形形状の実効露光領域を確保した上で、0.1μm以下の高解像を達成することができる。そして、ウェハWにおいて、たとえば22mm×33mmの大きさを有する各露光領域に、レチクルRのパターンを走査露光により高精度に転写することができる。なお、上述の各実施例では、約6mmの十分に長いウェハ側ワーキングディスタンスを確保することができる。また、各実施例では、約60mm～115mmの十分に長いマスク側ワーキングディスタンスを確保することができる。

また、第1実施例では、レンズL41の有効径が約240mmで最大であり、その他の大部分のレンズの有効径は200mm以下である。一方、第2実施例では、凹面反射鏡M21の有効径が約250mmで最大であり、レンズL41の有効径が約268mmで最大である。そして、その他の大部分のレンズの有効径は200mm以下である。さらに、第3実施例では、レンズL41の有効径が約260mmで最大であり、その他の大部分のレンズの有効径は200mm以下である。また、第4実施例では、レンズL11の有効径が約235mmで最大であり、その他の大部分のレンズの有効径は200mm以下である。さらに、第5実施例では、レンズL41の有効径が約250mmで最大であり、その他の大部分のレ

レンズの有効径は200mm以下である。また、第6実施例では、レンズL41の有効径が約250mmで最大であり、その他の大部分のレンズの有効径は200mm以下である。さらに、第7実施例では、凹面反射鏡M21の有効径が約260mmで最大であり、レンズL41およびL42の有効径が約280mmで最大である。そして、その他の大部分のレンズの有効径は190mm以下である。また、第7実施例では、凹面反射鏡M21の有効径が約260mmで最大であり、レンズL41およびL42の有効径が約277mmで最大である。そして、その他の大部分のレンズの有効径は179mm以下である。さらに、第9実施例では、凹面反射鏡M21の有効径が約217mmで最大であり、レンズL41およびL42の有効径が約280mmで最大である。そして、その他の大部分のレンズの有効径は176mm以下である。このように、各実施例において、凹面反射鏡やレンズの大型化を抑えて、光学系の小型化が図られている。

さらに、上述の各実施例では、3回結像方式の光学系でありながら、レンズ枚数が非常に少ない構成（第1実施例および第2実施例では16枚であり、第3実施例および第4実施例では18枚であり、第5実施例および第6実施例では21枚であり、第7実施例および第8実施例では23枚であり、第9実施例では21枚）となっている。F₂レーザー光を用いる光学系では、良好な反射防止コートが得られないため、レンズ枚数が多いとレンズ面において光量損失を招きやすい。この観点から、上述の各実施例では、レンズ枚数が少なく、レンズ面における光量損失を抑える構成になっている。また、上述の各実施例では、導入された非球面の数も非常に少ない構成（第1実施例および第2実施例では12枚であり、第3実施例、第4実施例では14枚であり、第5実施例および第6実施例では7枚であり、第7実施例～第9実施例では7枚）となっている。

ところで、第7実施例～第9実施例では、第1結像光学系G1に含まれる2つの反射鏡M11およびM12と第2結像光学系G2に含まれる2つの反射鏡M21およびM22とのうち、2つの反射鏡の直前にそれぞれ1つの負レンズが配置されている。具体的には、第7実施例および第8実施例において、凹面反射鏡M21の直前に負メニスカスレンズL21が配置され、凹面反射鏡M22の直前に負メニスカスレンズL22が配置されている。一方、第9実施例では、凹面反射

鏡M12の直前に負メニスカスレンズL12が配置され、凹面反射鏡M21の直前に負メニスカスレンズL21が配置されている。こうして、第7実施例～第9実施例では、2つの反射鏡の直前に1つの負レンズがそれぞれ配置されていることにより、倍率の色収差および軸上の色収差の補正が行われている。

ここで、表(7)～(9)の条件式対応値を参照すると、第7実施例～第9実施例では、倍率色収差係数LATおよび軸上色収差係数AXが、以下の条件式

(1) および (2) を満足している。

$$|LAT| < 5 \times 10^{-6} \quad (1)$$

$$|AX| < 2 \times 10^{-4} \quad (2)$$

なお、倍率の色収差および軸上の色収差をさらに良好に補正するには、条件式(1)の上限値を 2.5×10^{-6} に、条件式(2)の上限値を 1.0×10^{-4} にそれぞれ設定することが好ましい。

上述の実施形態にかかる露光装置では、照明光学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レチクルに形成された転写用のパターンを感光性基板に走査露光する（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26のフローチャートを参照して説明する。

まず、図26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リソが塗布される。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、レチクル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リソ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、レチクル上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤ

の回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

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27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27において、パターン形成工程401では、各実施形態の露光装置を用いてレチクル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、レチクル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。

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、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができ

る。

なお、上述の実施形態では、波長が157.6nmの光を供給するF₂レーザーを用いているが、これに限定されることなく、たとえば波長248nmの光を供給するKrFエキシマレーザーや波長193nmの光を供給するArFエキシマレーザーや波長126nmの光を供給するAr₂レーザーなどを用いることもできる。

また、上述の実施形態では、走査露光型の露光装置の投影光学系に本発明を適用しているが、これに限定されることなく、一括露光型の露光装置の投影光学系に本発明を適用したり、露光装置の投影光学系以外の一般的な結像光学系に本発明を適用したりすることもできる。

請求の範囲

1. 反射屈折光学系は、
少なくとも2つの反射鏡を有し、第1面からの光に基づいて前記第1面の第1中間像を形成するための第1結像光学系と、
少なくとも2つの反射鏡を有し、前記第1結像光学系を介した光に基づいて前記第1面の第2中間像を形成するための第2結像光学系と、
前記第2結像光学系を介した光に基づいて前記第1面の最終像を第2面上に形成するための屈折型の第3結像光学系とを備え、
前記第1結像光学系、前記第2結像光学系および前記第3結像光学系を構成するすべての光学部材が単一の直線状光軸に沿って配置されている。
2. クレーム1に記載の反射屈折光学系において、
前記第1結像光学系と前記第2結像光学系との間の光路中にはフィールドレンズが配置されている。
3. クレーム1または2に記載の反射屈折光学系において、
前記第1結像光学系は、前記2つの反射鏡と、少なくとも1つのレンズ成分とを有する。
4. クレーム2または3に記載の反射屈折光学系において、
前記第1結像光学系と前記フィールドレンズとの合成光学系は、第1面側および第2面側にテレセントリックな光学系を構成している。
5. クレーム1から4のいずれか1項に記載の反射屈折光学系において、
前記第1結像光学系は、前記2つの反射鏡の間の光路中に配置された少なくとも1つの負レンズ成分を有する。
6. クレーム1から5のいずれか1項に記載の反射屈折光学系において、
前記第2結像光学系は、前記2つの反射鏡の間の光路中に配置された少なくとも

も1つの負レンズ成分を有する。

7. 反射屈折光学系は、

第1面と第2面との間の光路中に前記第1面の中間像を2回形成し、前記第1面の第3回目の中間像を最終像として前記第2面上に形成する複数の光学部材を備え、

前記複数の光学部材は単一の直線状光軸に沿って配置されている。

8. クレーム7に記載の反射屈折光学系において、

前記中間像は、前記光軸から離れた位置に形成される。

9. 反射屈折光学系は、

単一の直線状光軸に沿って配置された複数の反射鏡を備え、

第1面上において前記光軸から離れた矩形状の領域の像を第2面上に形成する。

10. クレーム9に記載の反射屈折光学系は、

該反射屈折光学系で形成される像領域を規定する視野絞りと、該反射屈折光学系の開口数を規定する開口絞りとを備えている。

11. 反射屈折光学系は、

少なくとも第1反射鏡と第2反射鏡とを有し、第1面からの光に基づいて前記第1面の第1中間像を形成するための第1結像光学系と、

少なくとも第3反射鏡と第4反射鏡とを有し、前記第1結像光学系を介した光に基づいて前記第1面の第2中間像を形成するための第2結像光学系と、

前記第2結像光学系を介した光に基づいて前記第1面の最終像を第2面上に形成するための屈折型の第3結像光学系とを備え、

前記第1結像光学系、前記第2結像光学系および前記第3結像光学系を構成するすべての光学部材が単一の直線状光軸に沿って配置され、

前記第1反射鏡、前記第2反射鏡、前記第3反射鏡および前記第4反射鏡のう

ちの2つの反射鏡の反射面側の直前に少なくとも1つの負レンズがそれぞれ配置されている。

12. クレーム11に記載の反射屈折光学系において、

前記2つの反射鏡の反射面側の直前に少なくとも1つの負レンズがそれぞれ配置されていることにより倍率の色収差の補正が行われ、

倍率色収差係数LATは、

$$|LAT| < 5 \times 10^{-6}$$

の条件を満足する。

13. クレーム11または12に記載の反射屈折光学系において、

前記2つの反射鏡の反射面側の直前に少なくとも1つの負レンズがそれぞれ配置されていることにより軸上の色収差の補正が行われ、

軸上色収差係数AXは、

$$|AX| < 2 \times 10^{-4}$$

の条件を満足する。

14. 露光装置は、

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感光性基板上に形成するための投影光学系とを備え、

前記投影光学系は、クレーム1から13のいずれか1項に記載の反射屈折光学系から構成され、

前記マスクは前記反射屈折光学系の前記第1面に対応し、前記感光性基板は前記反射屈折光学系の前記第2面に対応する。

15. クレーム14に記載の露光装置において、

前記マスクパターンを前記感光性基板上に走査露光するために、前記反射屈折光学系に対して前記マスクおよび前記感光性基板を相対移動させる駆動系をさら

に備える。

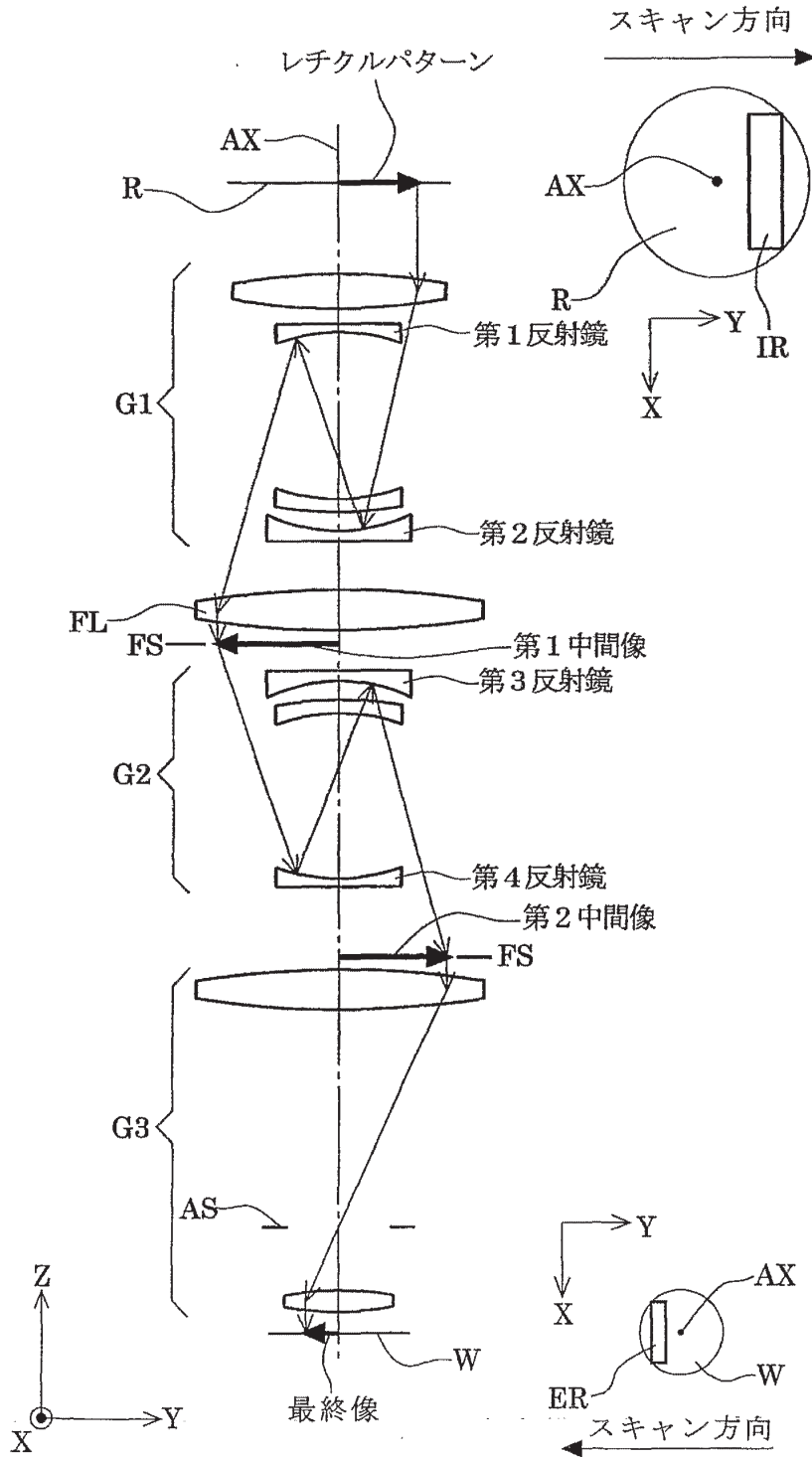
16. マイクロデバイスの製造方法は、

クレーム14または15に記載の露光装置により前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、

前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを有する。

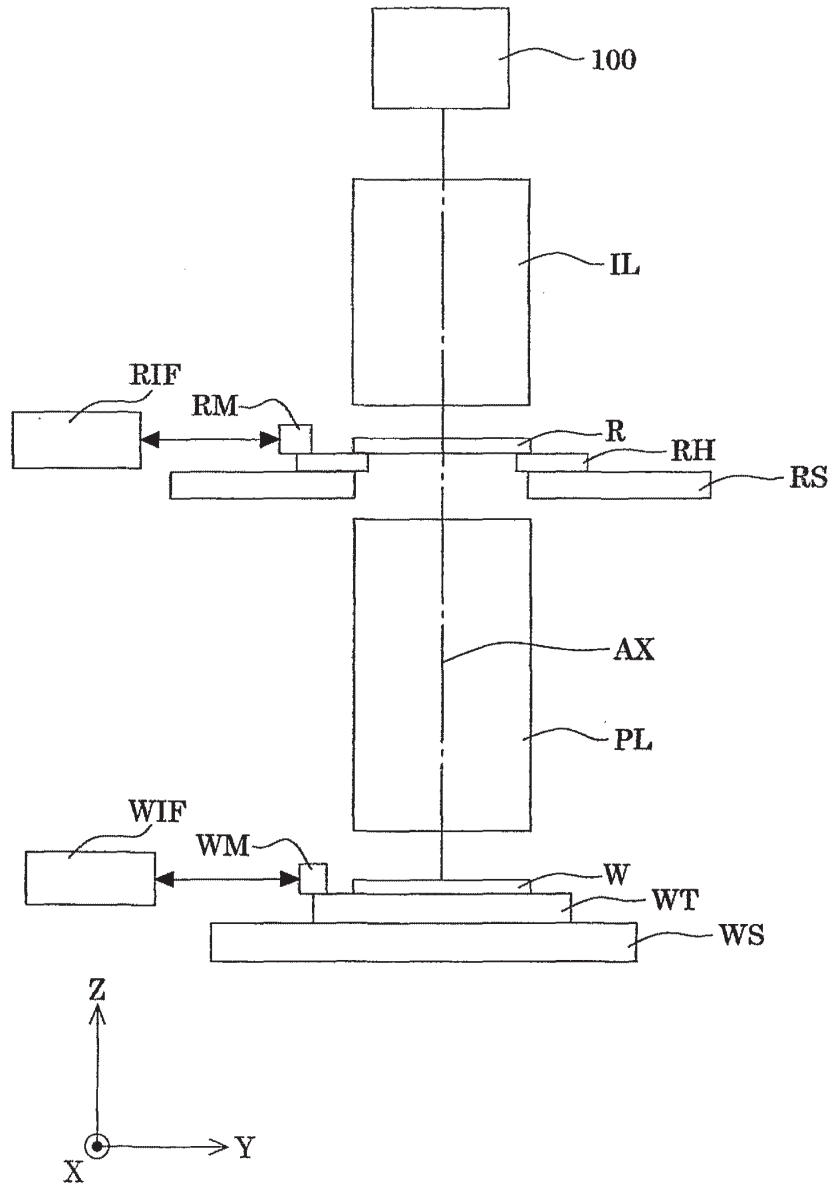
1/27

FIG. 1



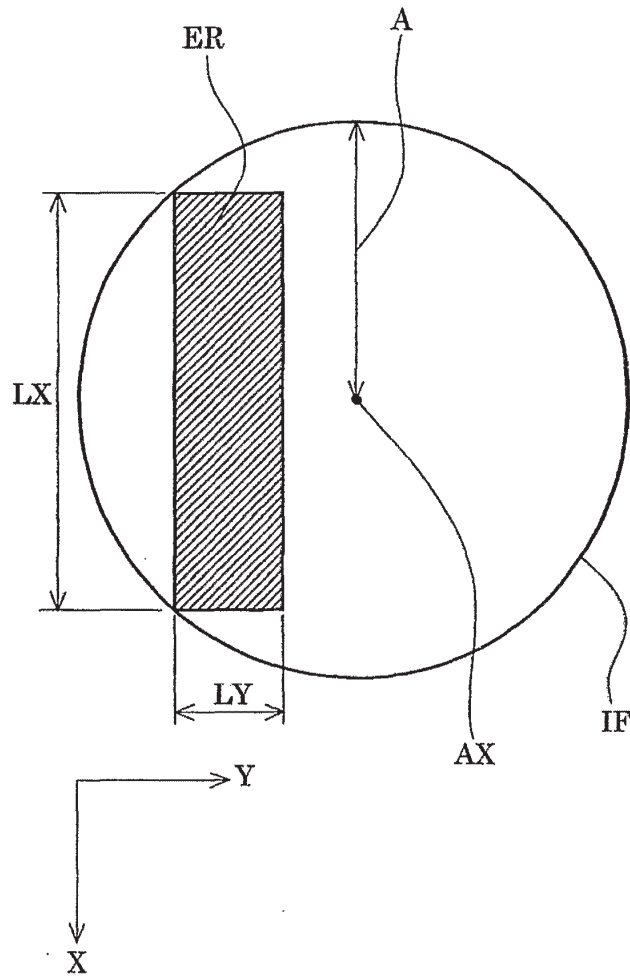
2/27

FIG. 2



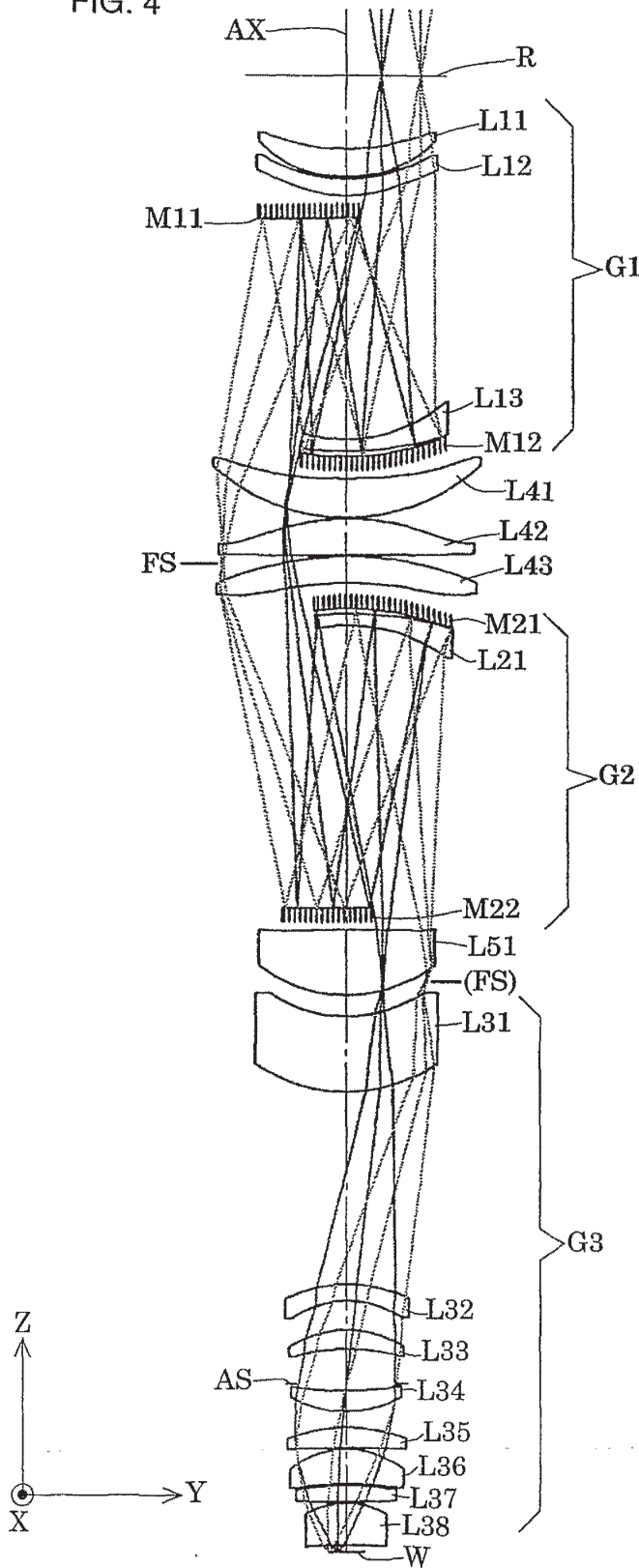
3/27

FIG. 3



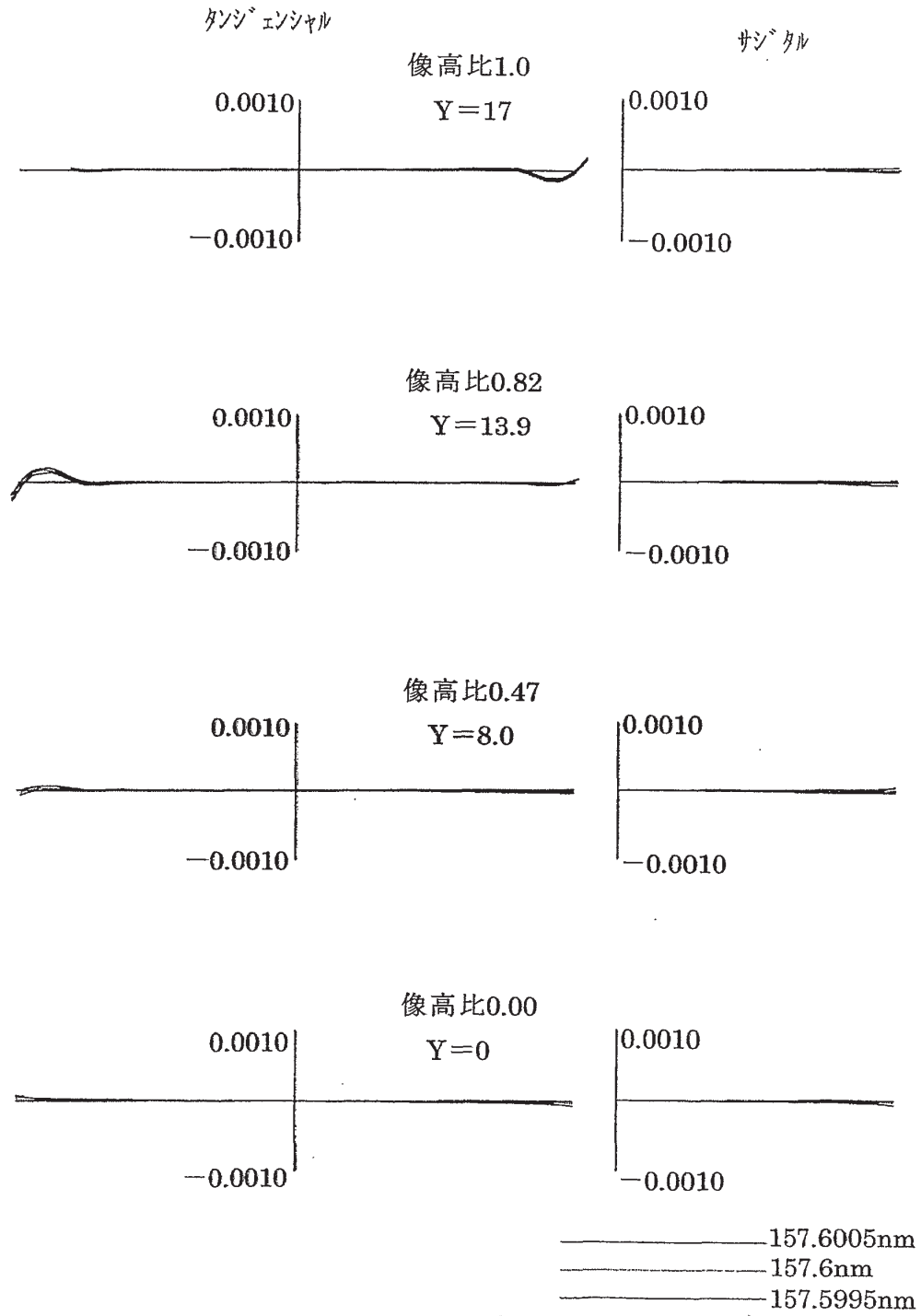
4/27

FIG. 4



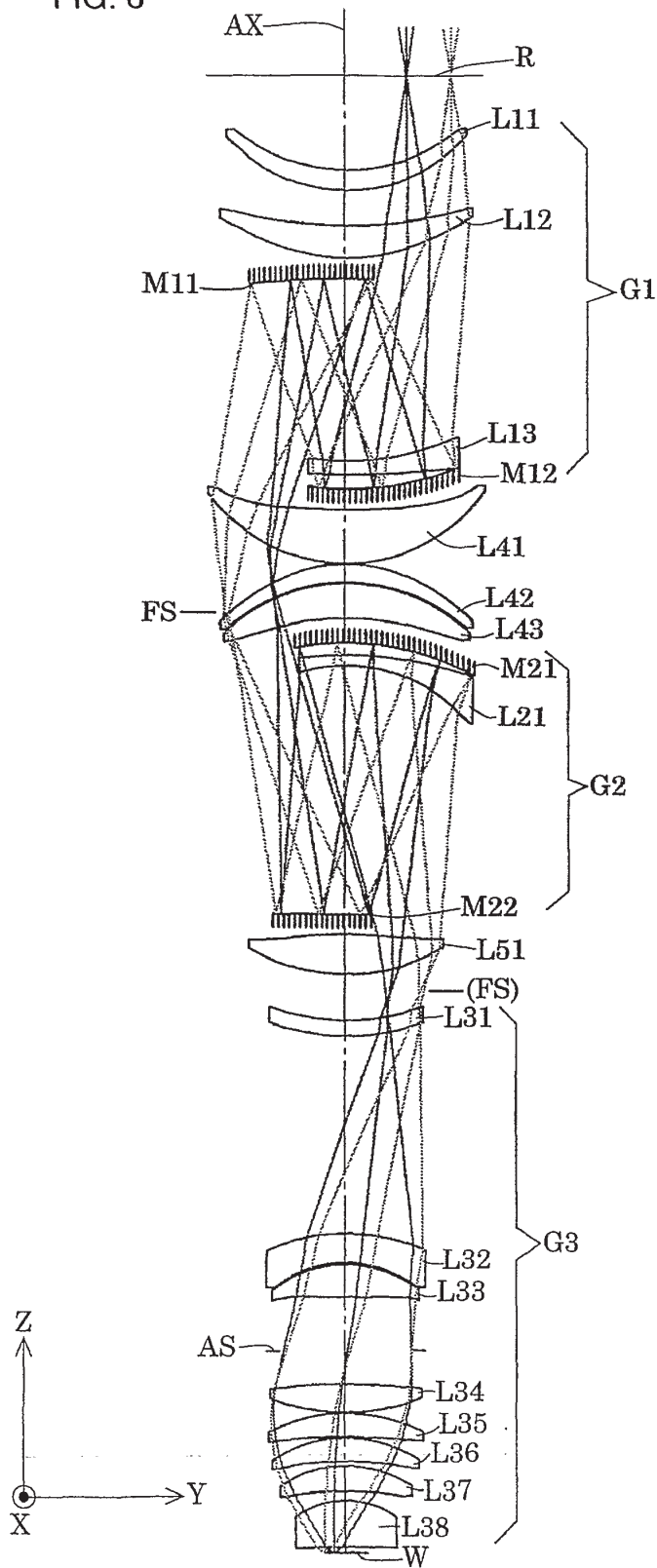
5/27

FIG. 5



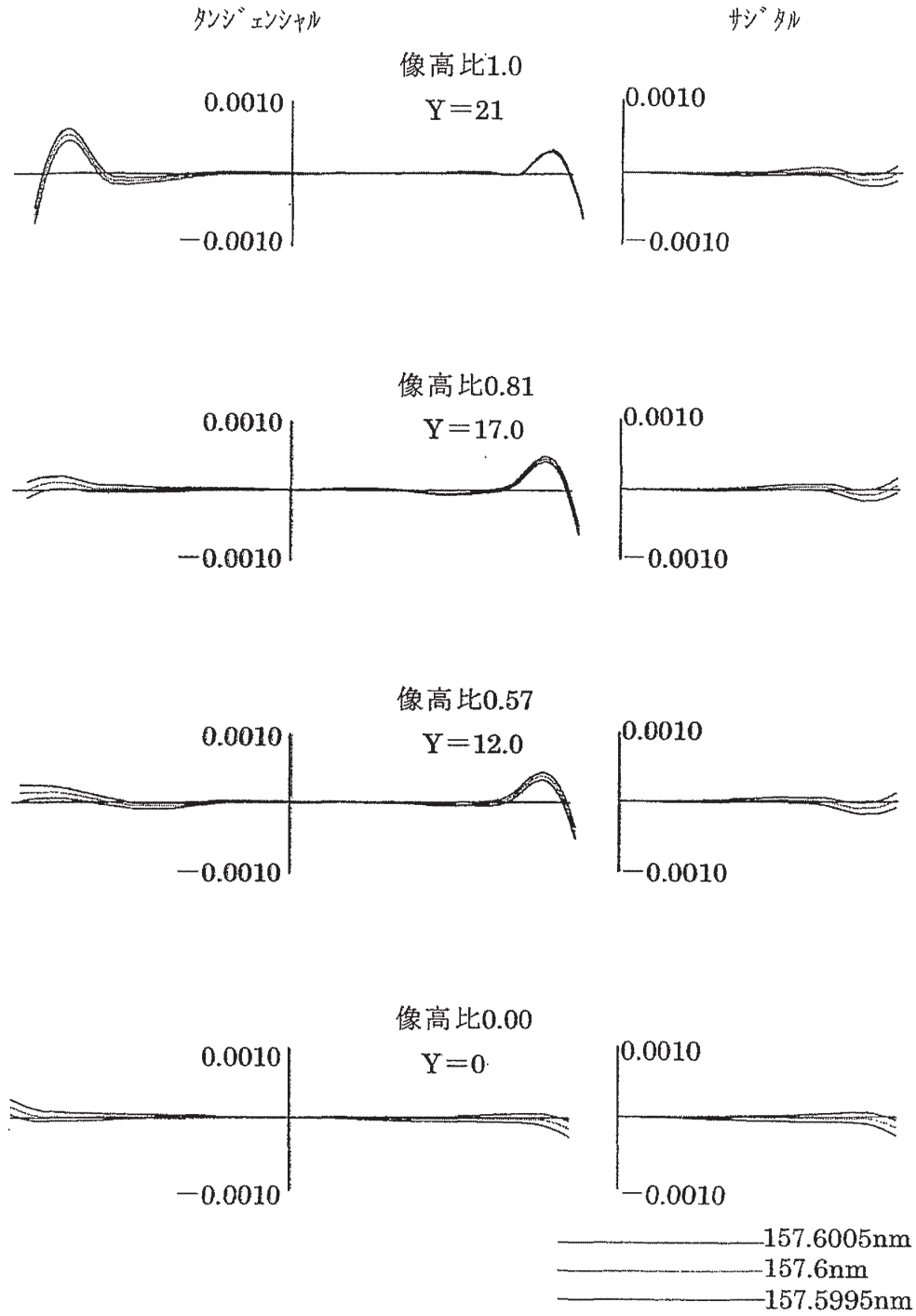
6/27

FIG. 6

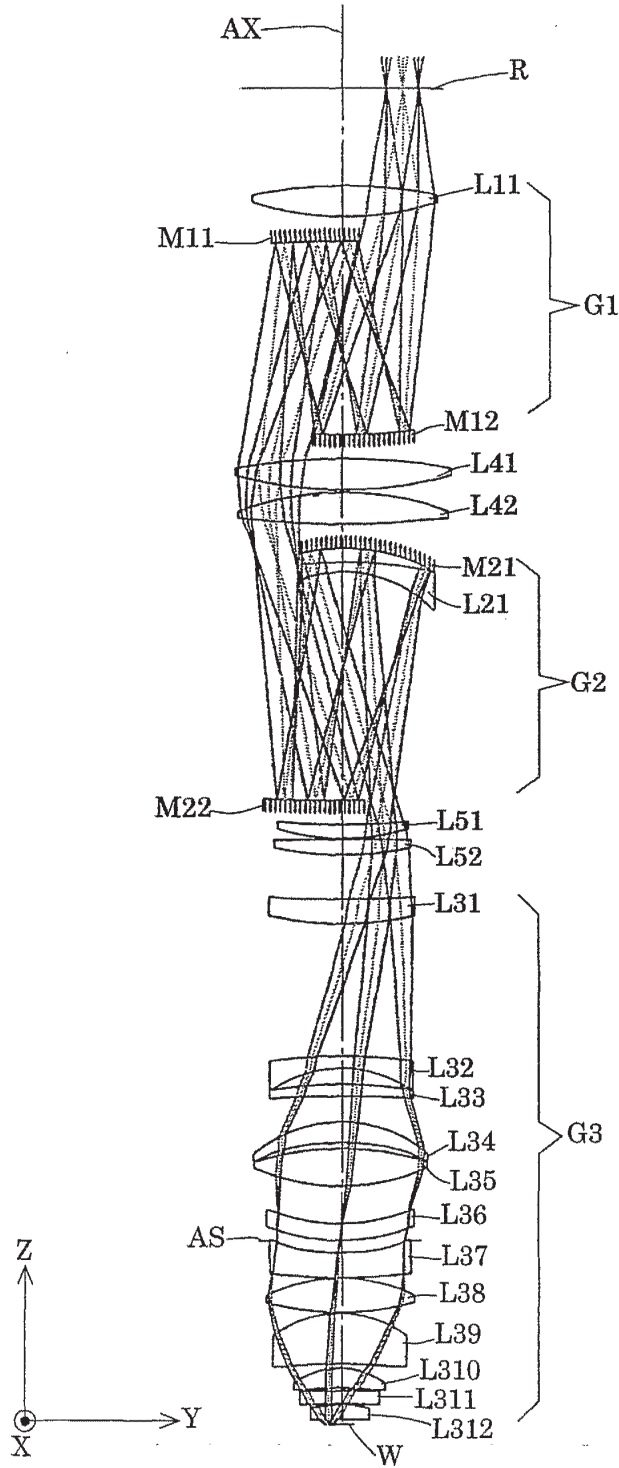


7/27

FIG. 7

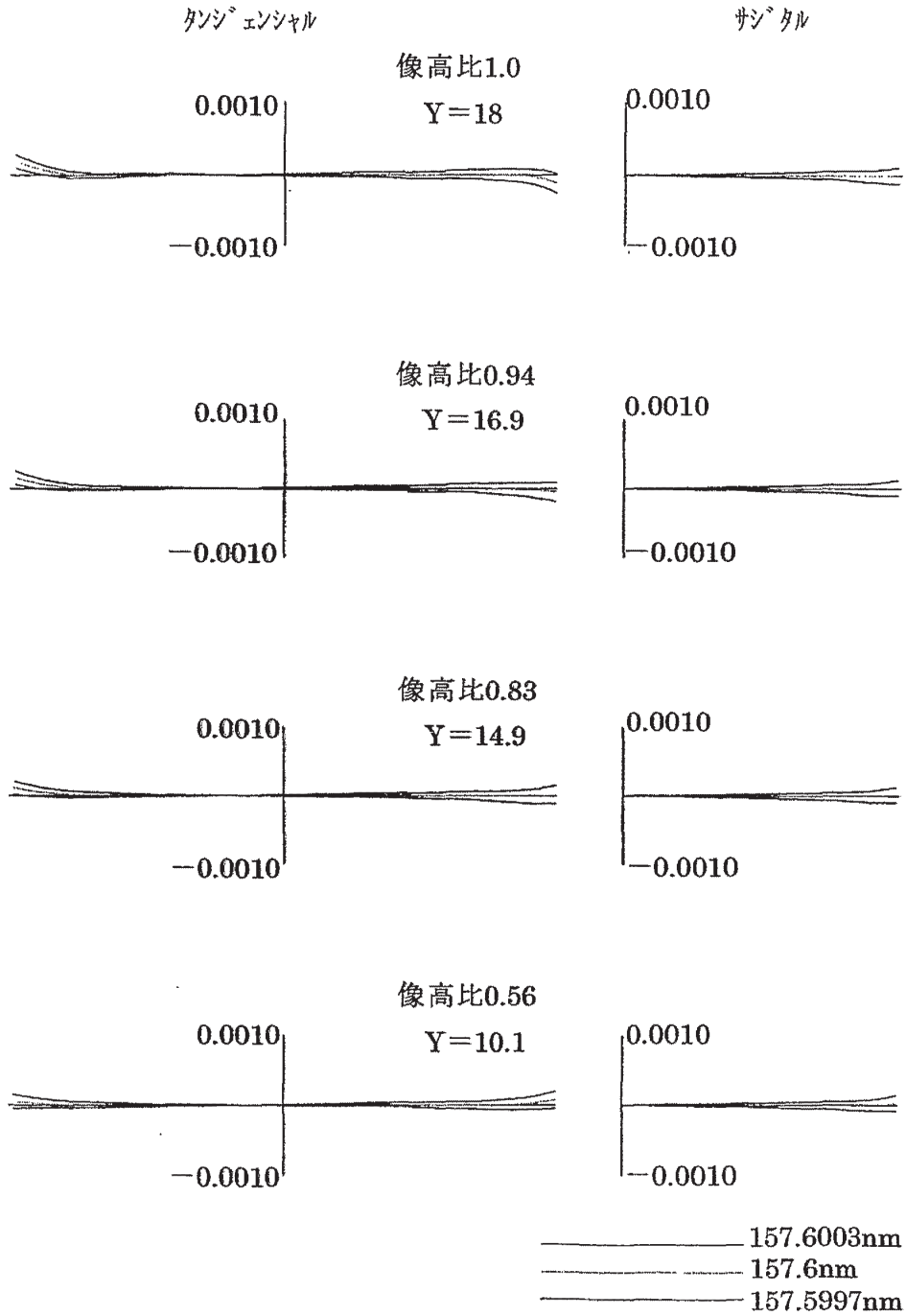


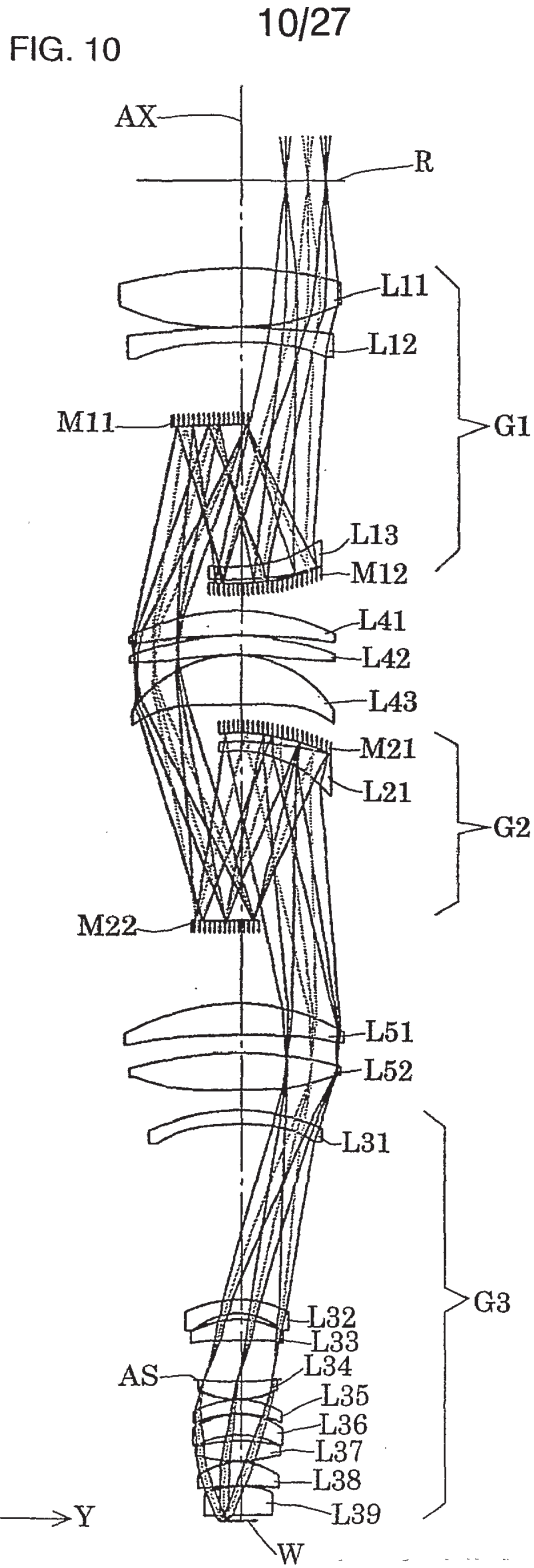
8/27
FIG. 8



9/27

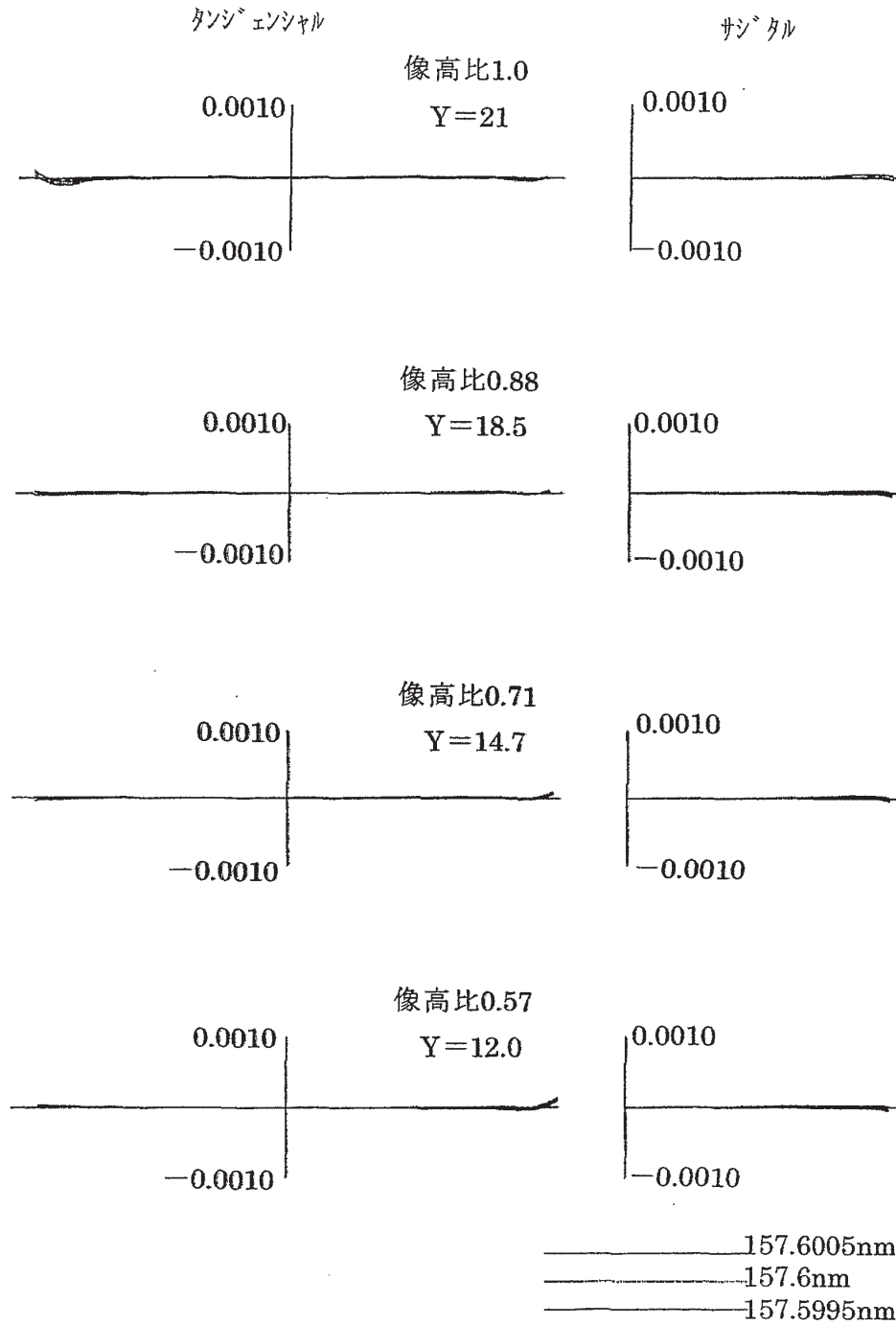
FIG. 9

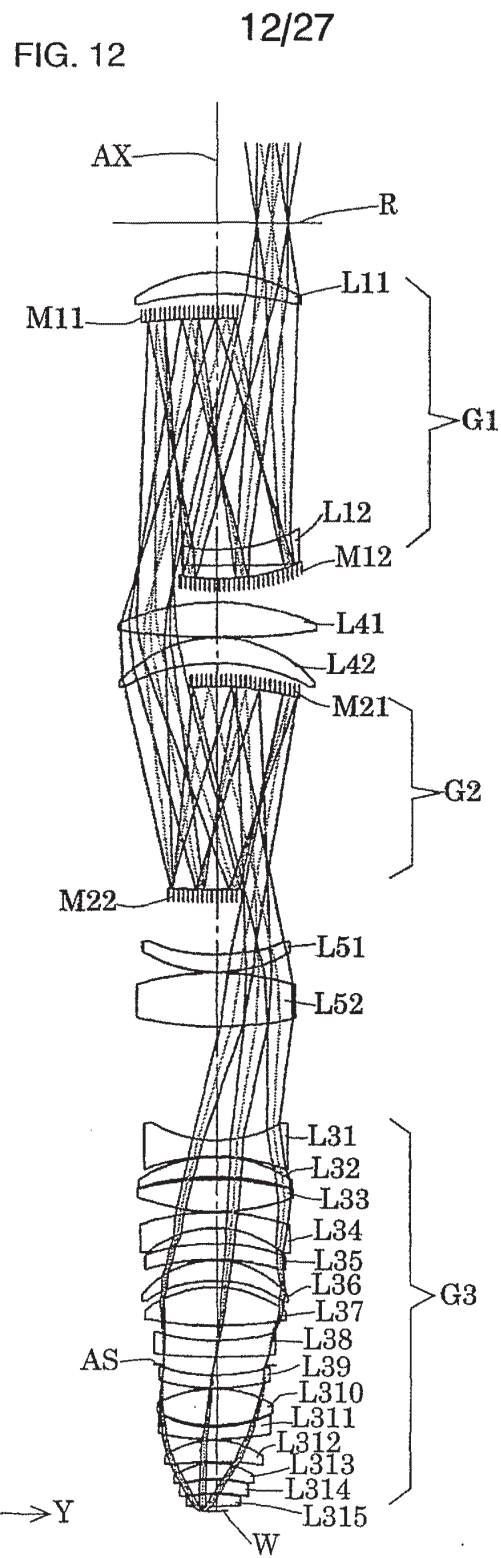




11/27

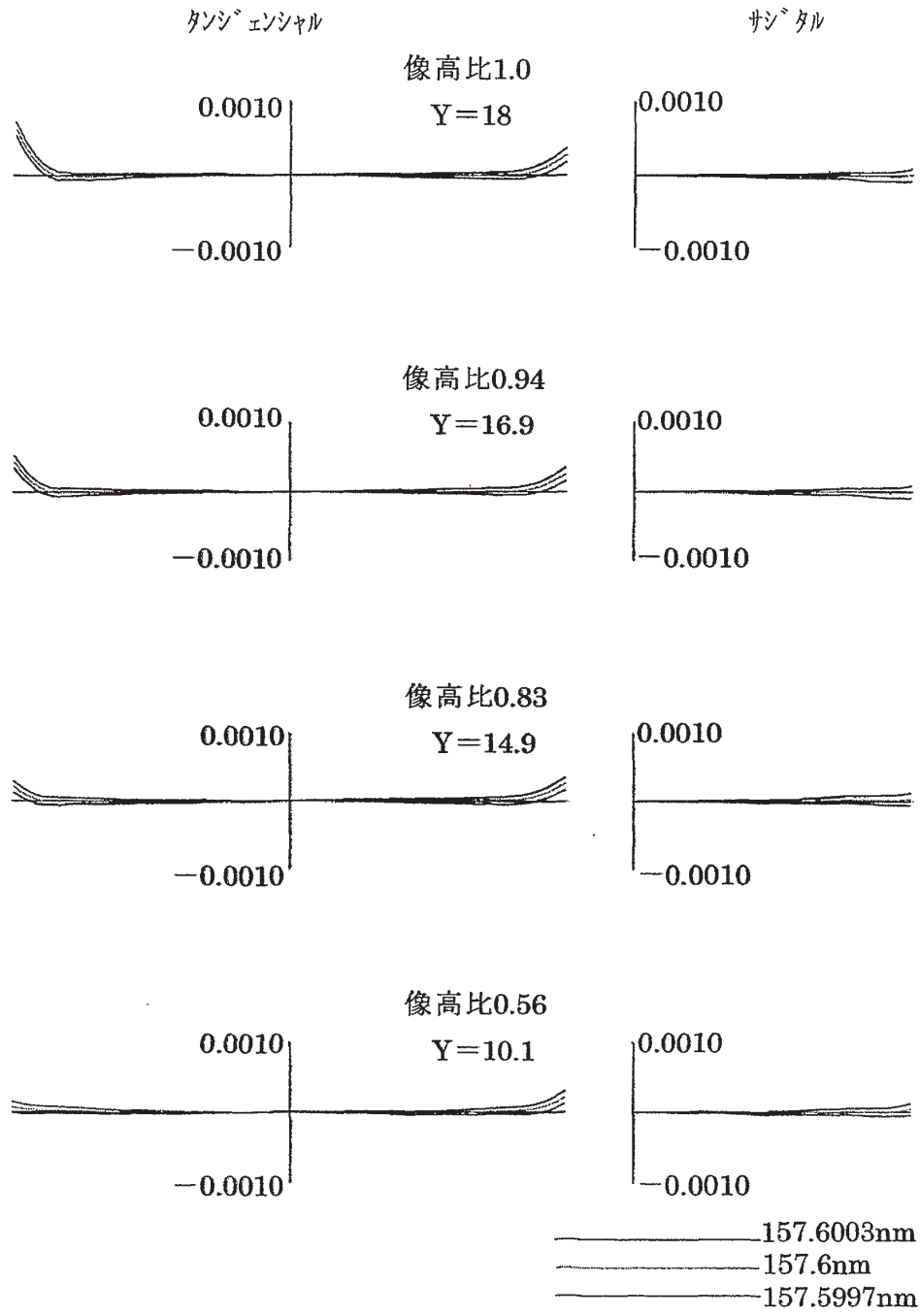
FIG. 11





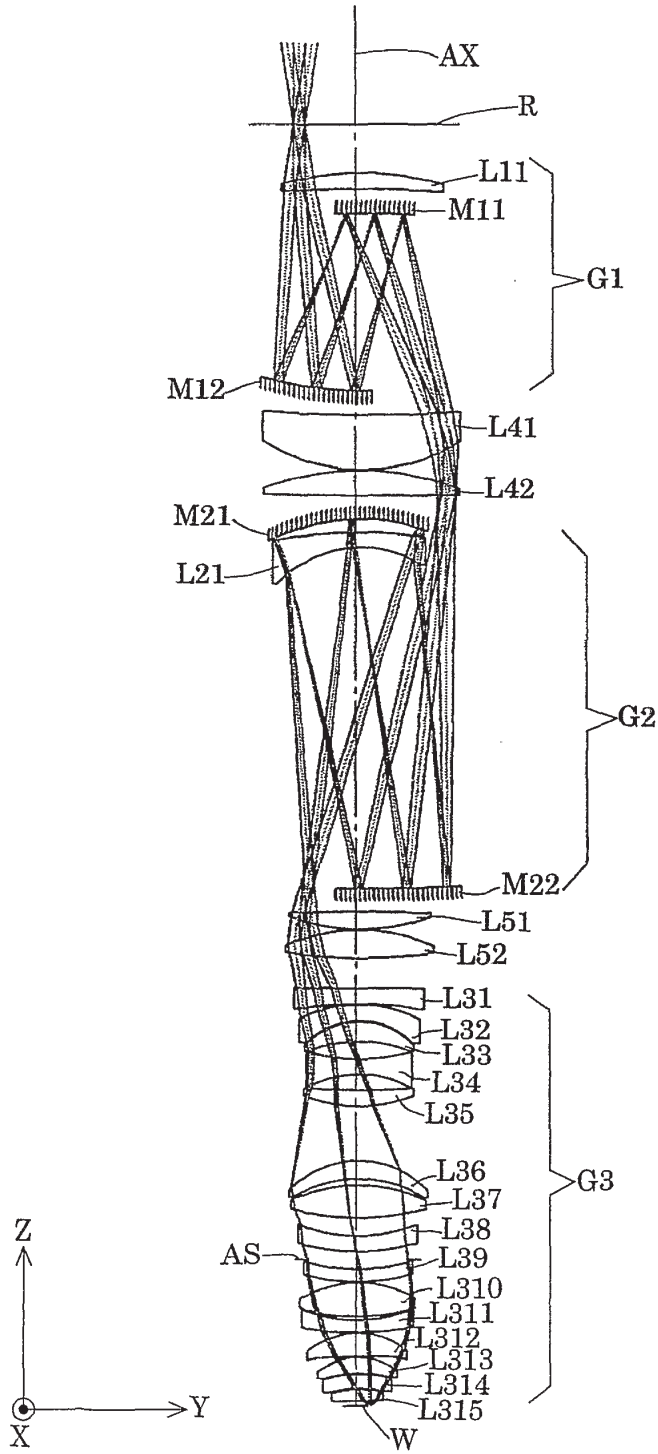
13/27

FIG. 13

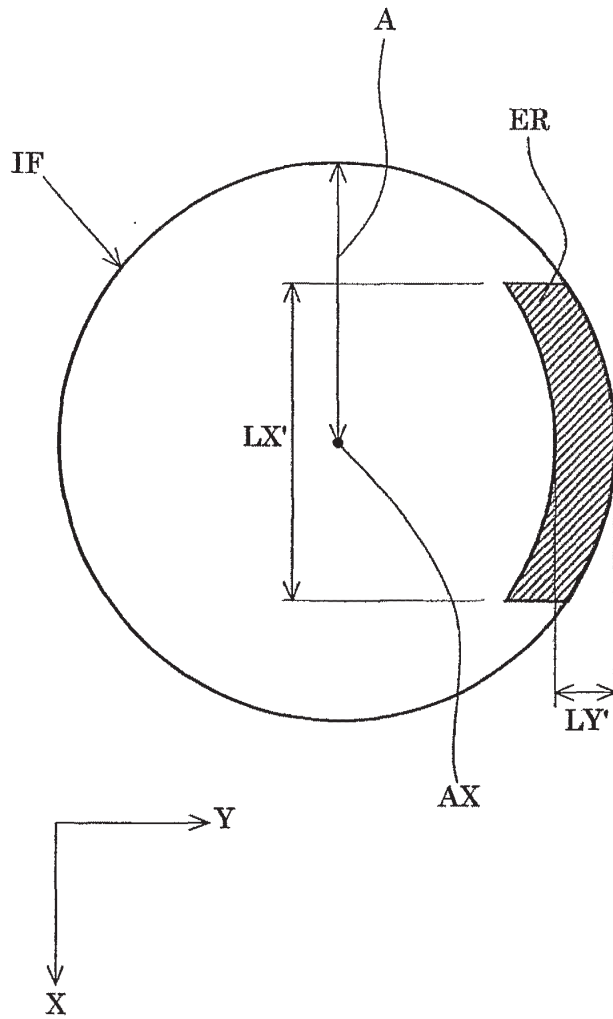


14/27

FIG. 14

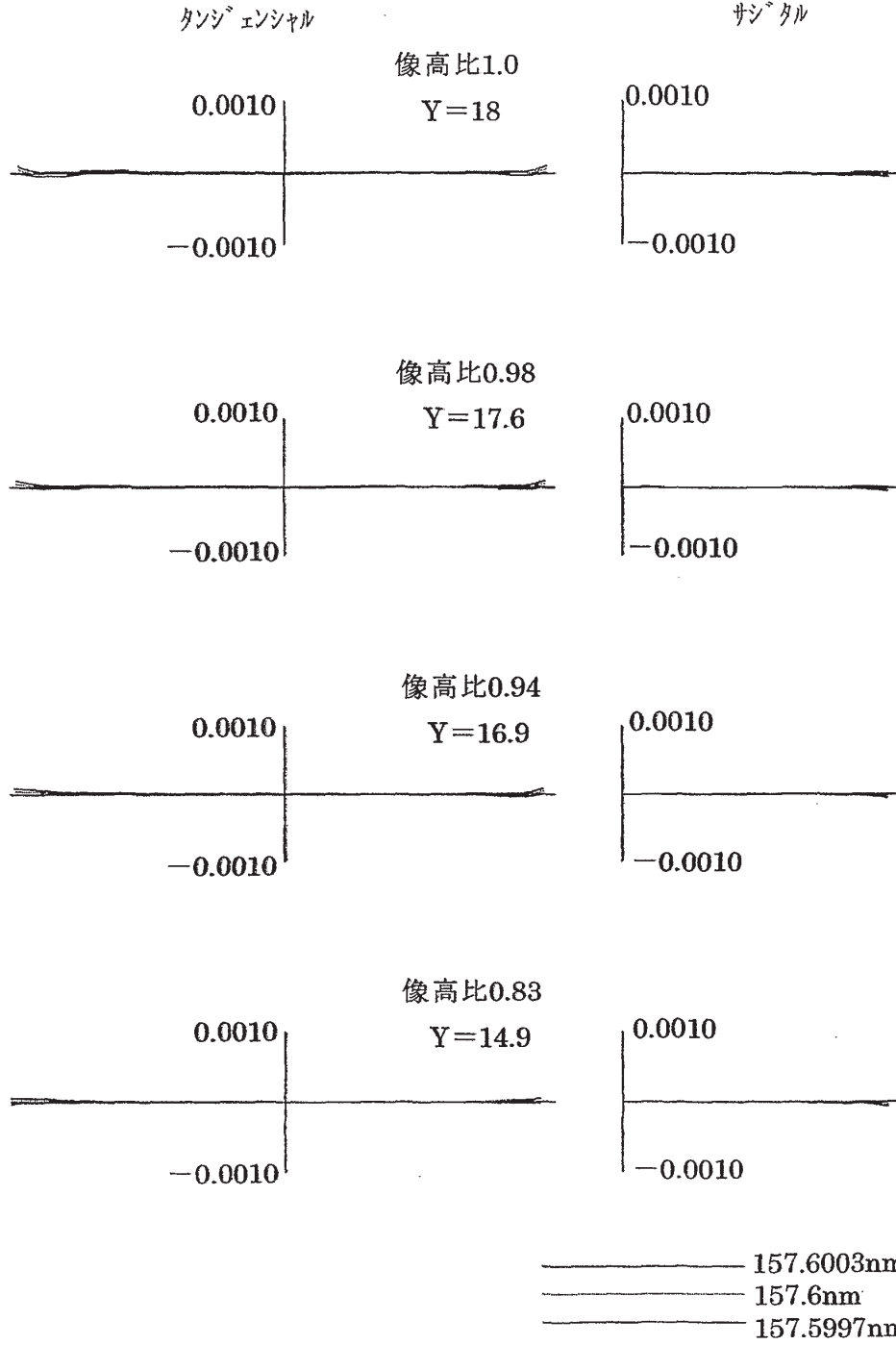


15/27
FIG. 15



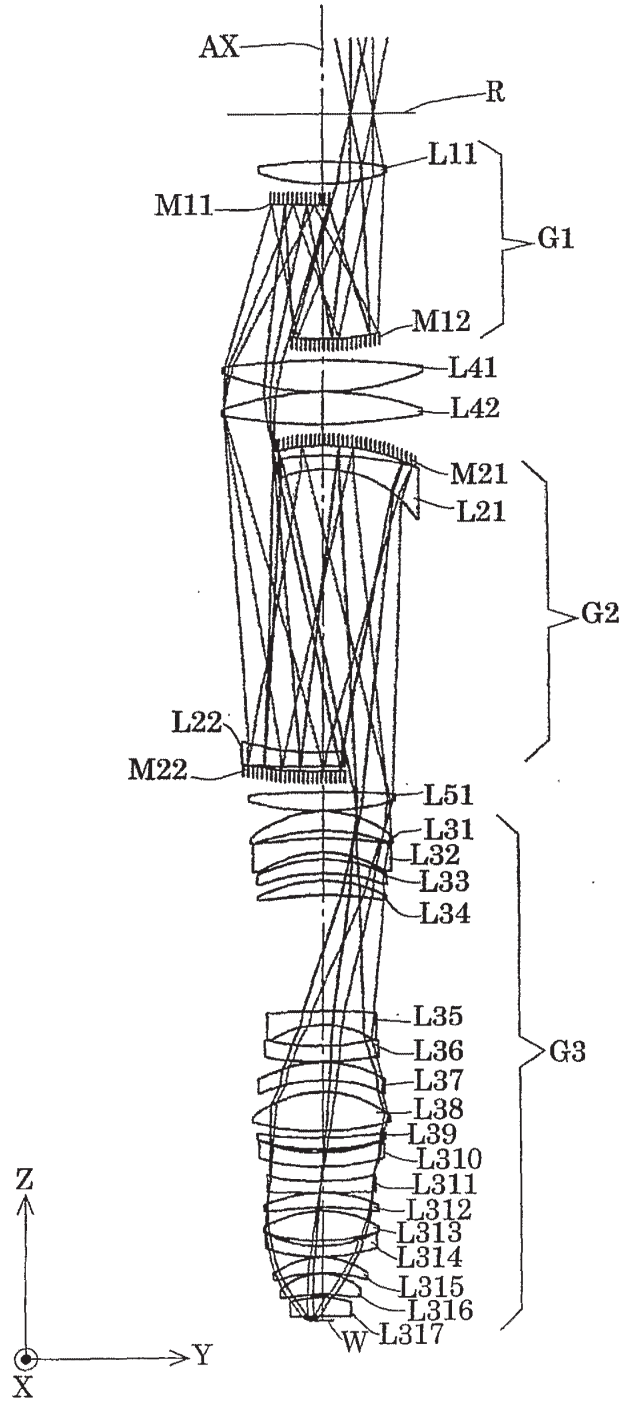
16/27

FIG. 16

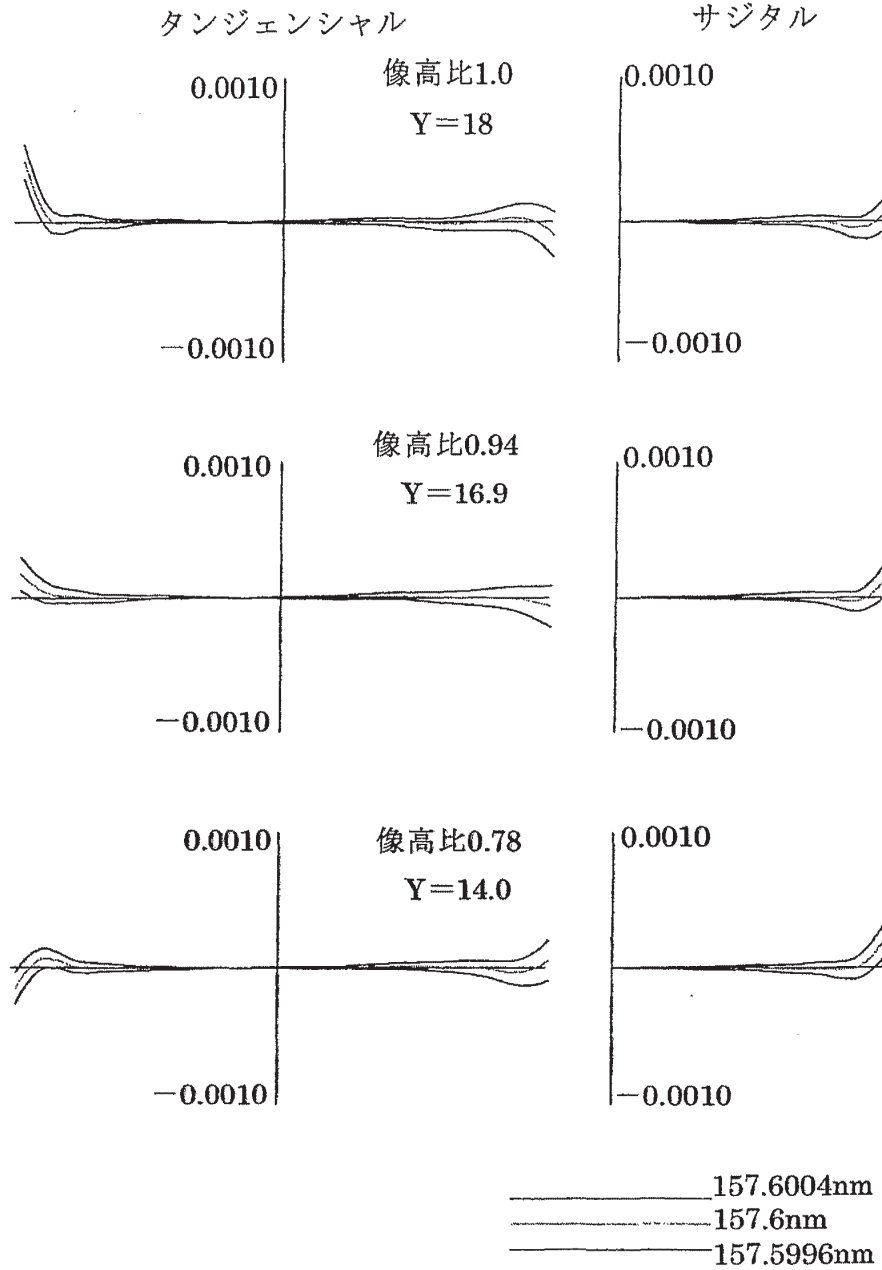


17/27

FIG. 17

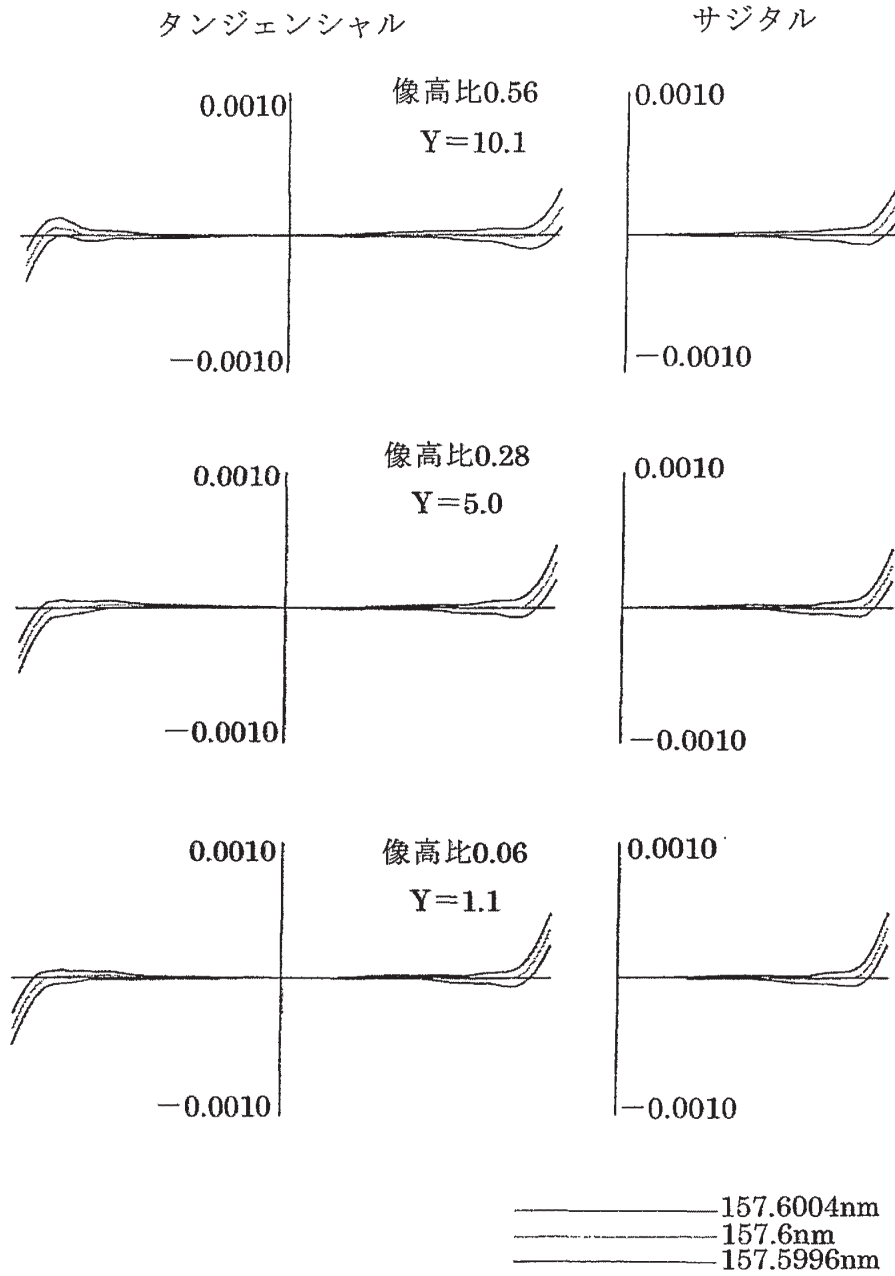


18/27
FIG. 18



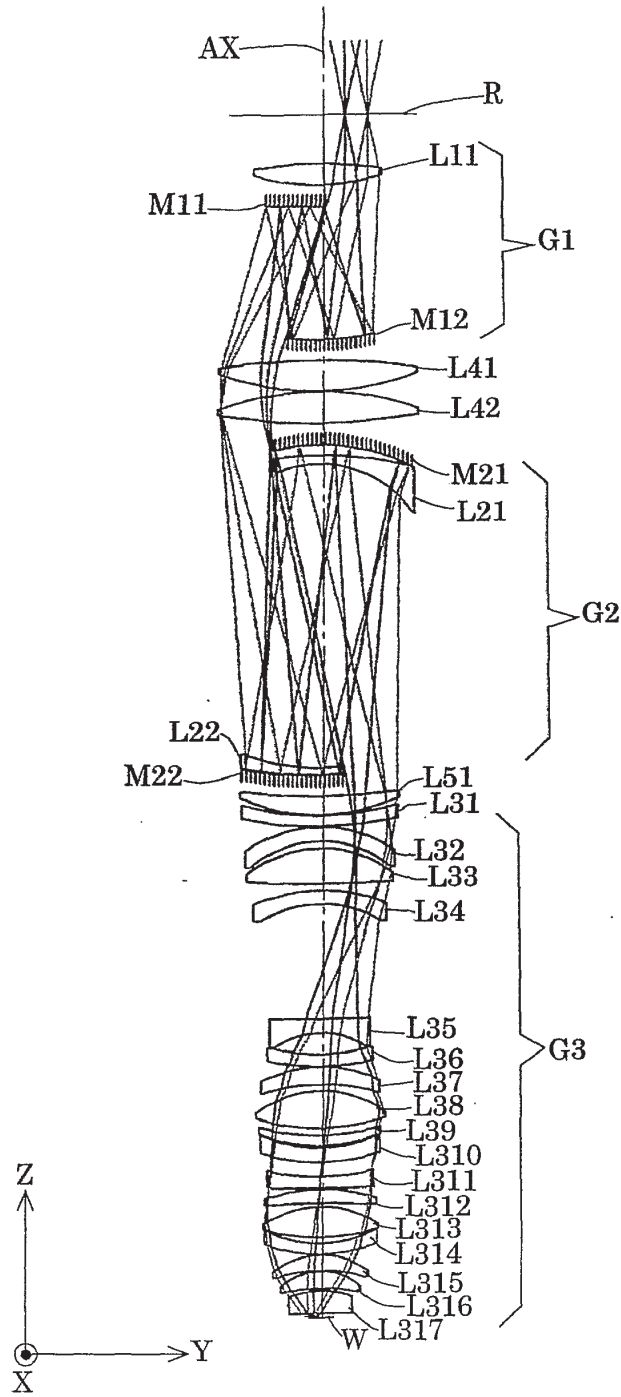
19/27

FIG. 19



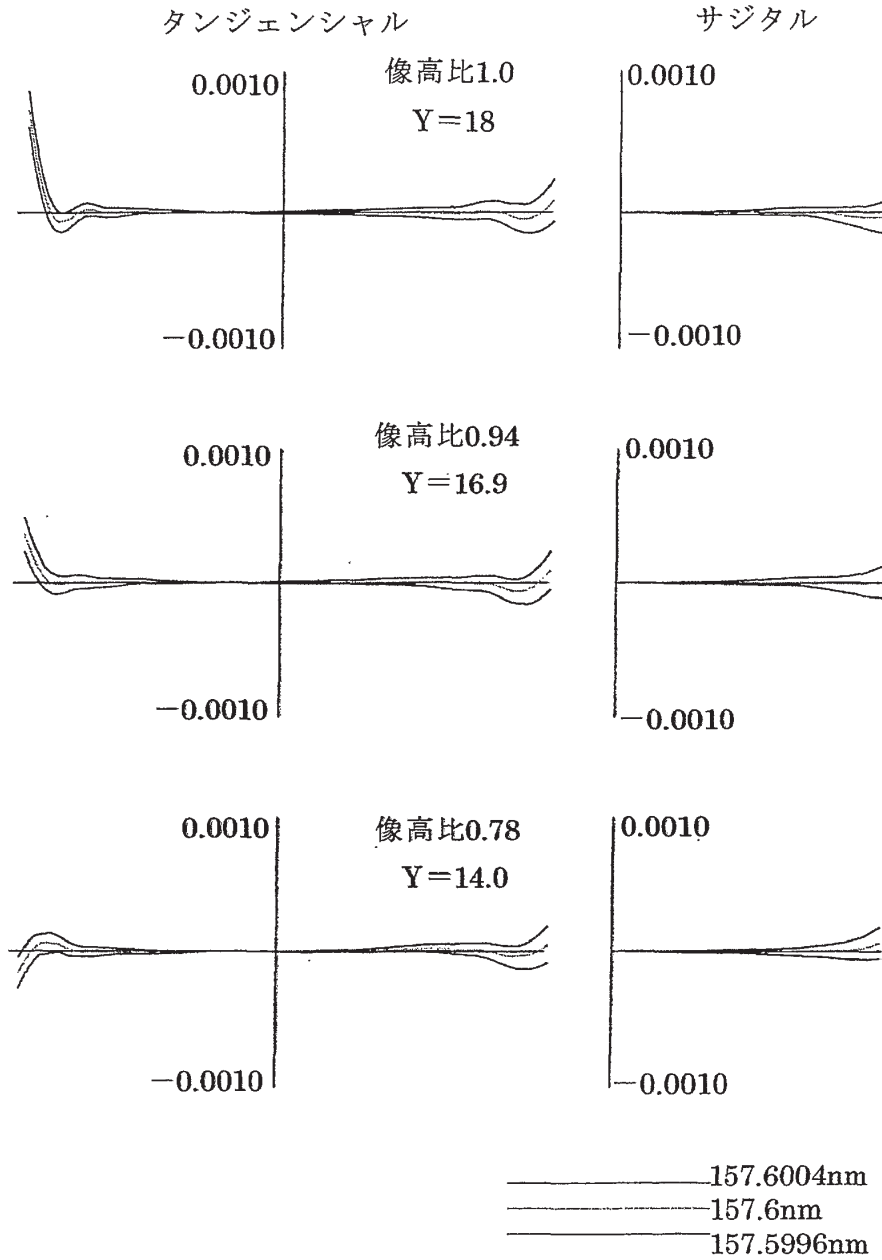
20/27

FIG. 20



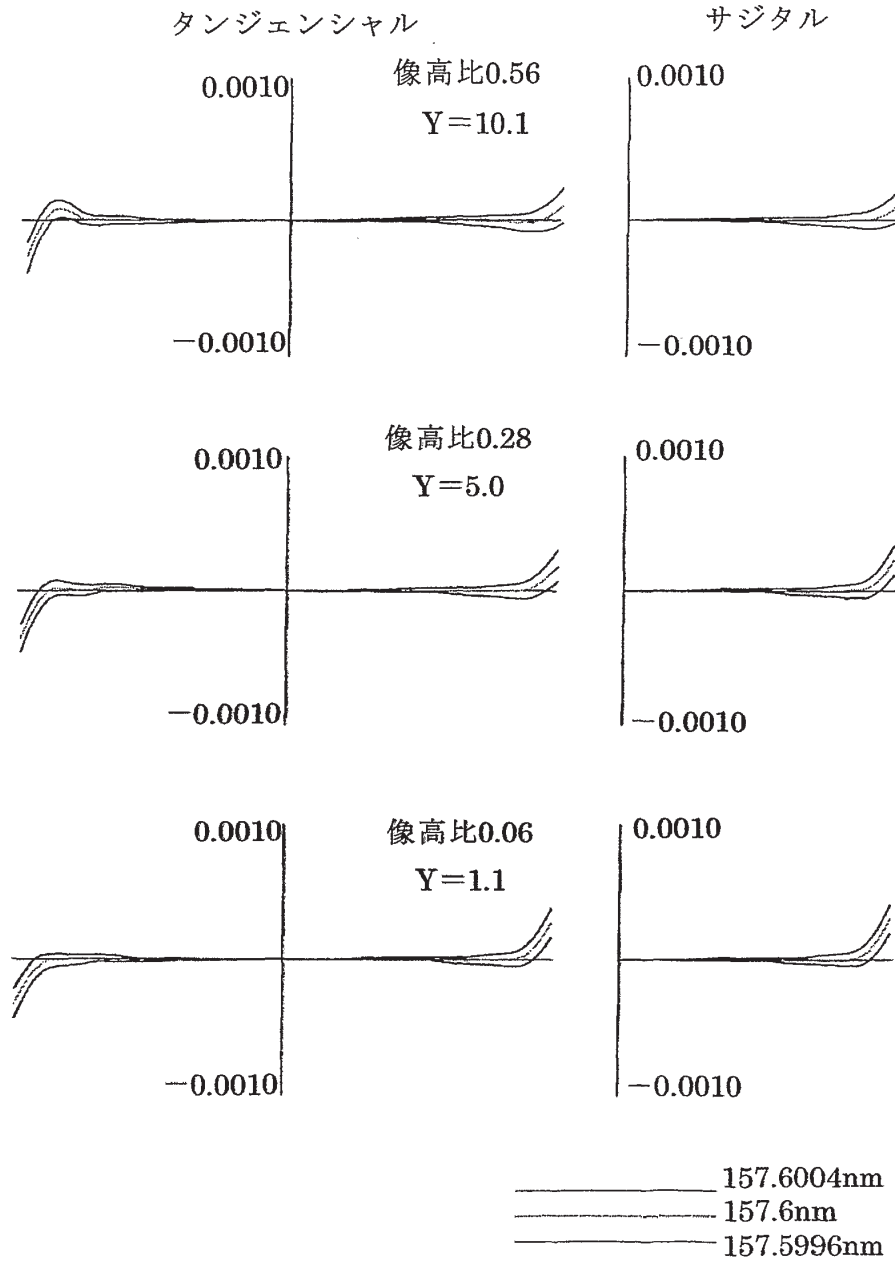
21/27

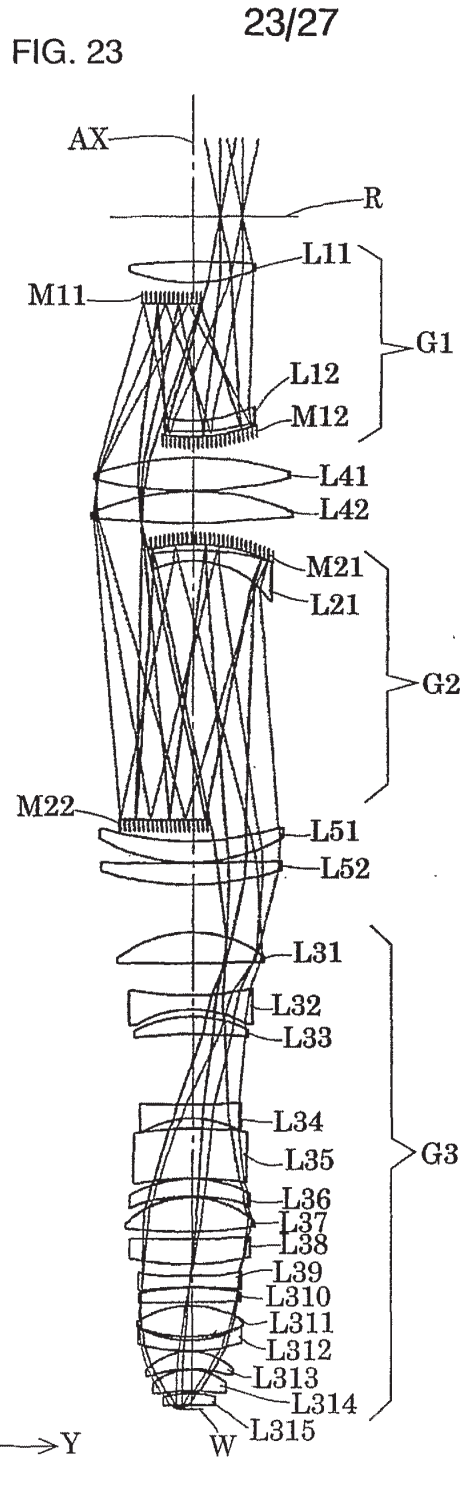
FIG. 21



22/27

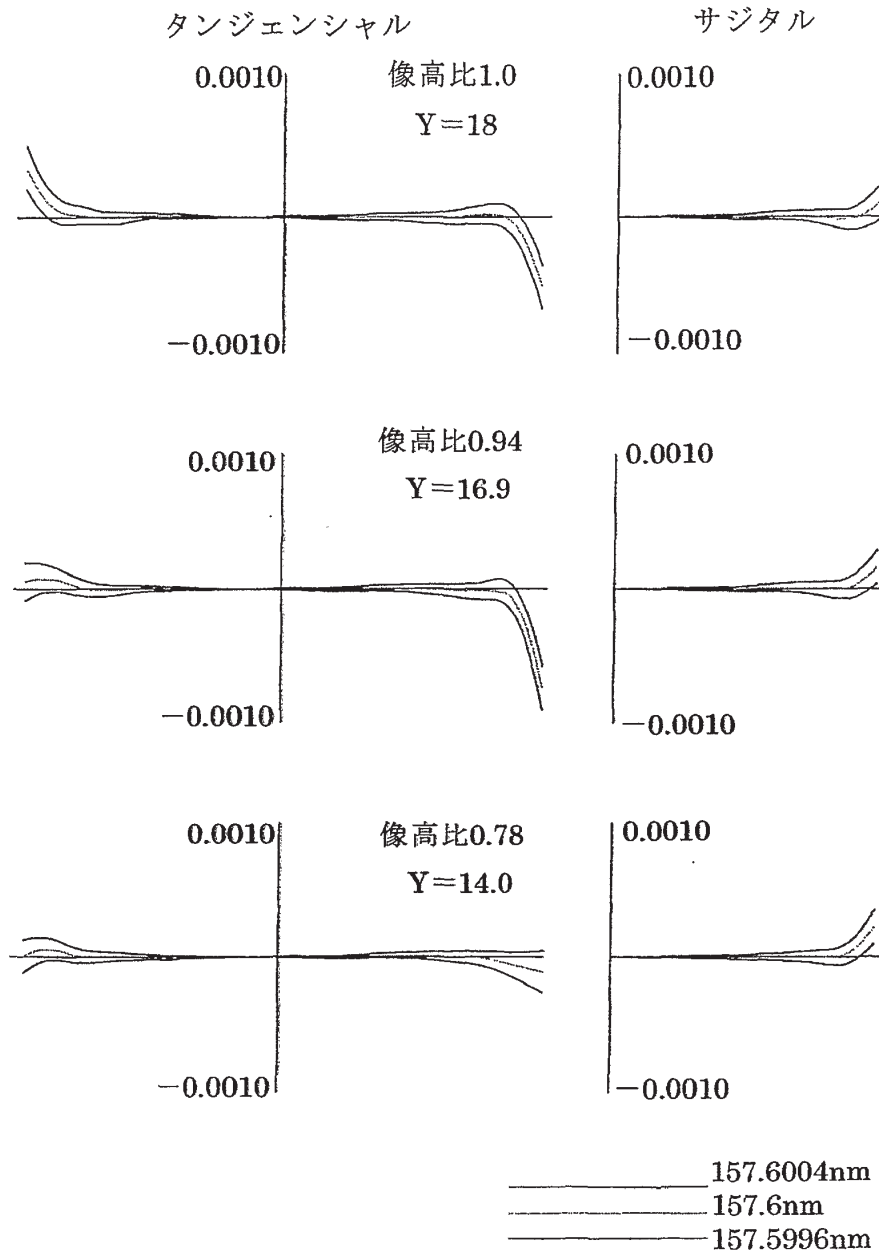
FIG. 22





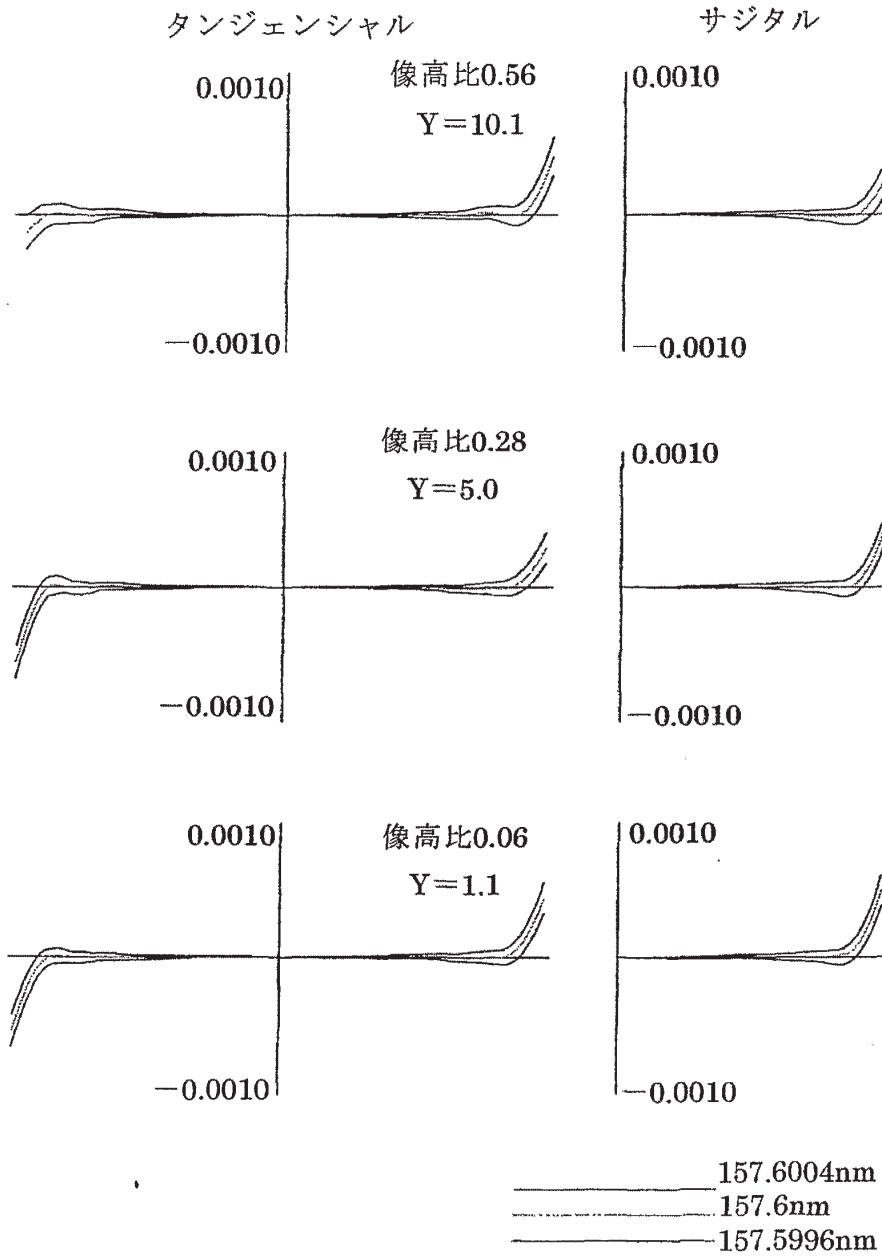
24/27

FIG. 24



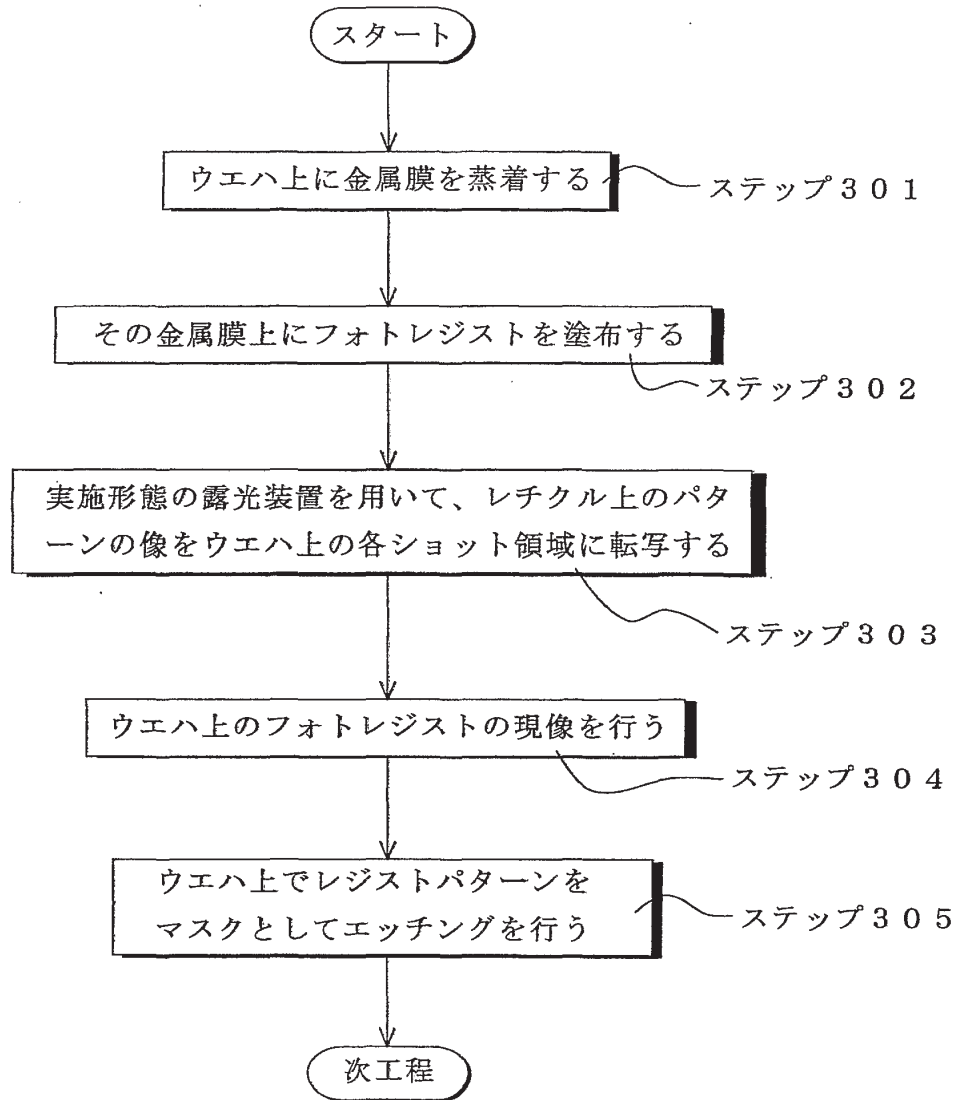
25/27

FIG. 25



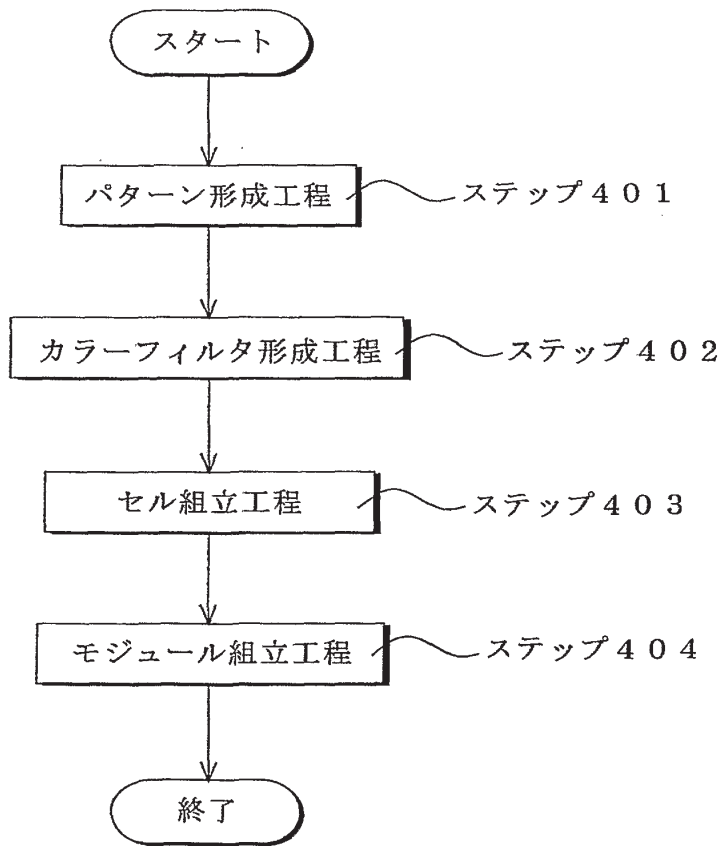
26/27

FIG. 26



27/27

FIG. 27



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP01/09266

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G02B17/08, H01L21/027

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G02B17/08, H01L21/027

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2001
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2001 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2001

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5515207 A (Nikon Precision Inc.), 07 May, 1996 (07.05.96), Full text; all drawings (Family: none)	1-16
A	US 4861148 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 29 August, 1989 (29.08.89), Full text; all drawings & JP 63-14113 A, Full text; all drawings & EP 237041 B1 & DE 3787035 G	1-16
Y A	JP 6-265789 A (Nikon Corporation), 22 September, 1994 (22.09.94), Full text; all drawings (Family: none)	9, 10 1-8, 11-16
Y	US 5861997 A (Nikon Corporation), 19 January, 1999 (19.01.99), Full text; all drawings & JP 8-62502 A, Full text; all drawings	1-16

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
---	--

Date of the actual completion of the international search 21 December, 2001 (21.12.01)	Date of mailing of the international search report 15 January, 2002 (15.01.02)
---	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/09266

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 779528 A2 (SVG Lithography Systems, Inc.), 18 June, 1997 (18.06.97), Full text; all drawings & JP 9-211332 A, Full text; all drawings & CA 2192604 A & US 5815310 A & KR 97048693 A	1-16
Y A	US 5805334 A (Nikon Corporation), 08 September, 1998 (08.09.98), Full text; all drawings & JP 9-311278 A, Full text; all drawings	9,10 1-8,11-16
Y	JP 10-10430 A (Nikon Corporation), 16 January, 1998 (16.01.98), Full text; all drawings & US 6157498 A	1-16
Y	JP 10-104513 A (Carl Zeiss Stiftung), 24 April, 1998 (24.04.98), Full text; all drawings & EP 833180 A2 & DE 19639586 A1 & KR 99075861 A & US 6169627 B1	1-16
Y	US 6097537 A (Nikon Corporation), 01 August, 2000 (01.08.00), Full text; all drawings & JP 11-295606 A, Full text; all drawings	1-16
Y	JP 2000-98228 A (Nikon Corporation), 07 April, 2000 (07.04.00), Full text; all drawings & US 6213610 B1 & US 20010002155 A1 & US 6302548 B2	1-16
Y	JP 2000-100694 A (Nikon Corporation), 07 April, 2000 (07.04.00), Full text; all drawings & US 6172825 B1	1-16
Y	JP 2000-235144 A (Carl Zeiss Stiftung Trading As Carl Zeiss), 29 August, 2000 (29.08.00), Full text; all drawings & DE 19948240 A1 & EP 1035445 A2 & KR 2000076656 A	1-16
PX PY	EP 1069448 A1 (Nikon Corporation), 17 January, 2001 (17.01.01), Full text; all drawings & JP 2001-27727 A, Full text; all drawings	9,10 1-8,11-16
PX PY	JP 2001-166210 A (Carl Zeiss Stiftung), 22 June, 2001 (22.06.01), Full text; all drawings & EP, 1098215, A1	7-10 1-6,11-16
PX PY	JP 2001-185480 A (Nikon Corporation), 06 July, 2001 (06.07.01), Full text; all drawings (Family: none)	9,10 1-8,11-16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/09266

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX PY	JP 2001-228401 A (Canon Inc.), 24 August, 2001 (24.08.01), Full text; all drawings (Family: none)	9,10 1-8,11-16
Y	WO 00/39623 A1 (Nikon Corporation), 06 July, 2000 (06.07.00), Full text; all drawings & EP 1059550 A1 & KR 2001041257 A	1-16

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/09266

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 1 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- 1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

- 2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

- 3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 2 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

(See extra sheet.)

- 1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
- 2. As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
- 3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

- 4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

- Remark on Protest** The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
 No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.II of continuation of first sheet (1)

1. Claim 1 is an invention relating to a catadioptric system comprising a first image-forming optical system having at least 2 reflecting mirrors and adapted to form a first intermediate image of a first surface on the basis of light from the first surface, a second image-forming optical system having at least 2 reflecting mirrors and adapted to form a second intermediate image of the first surface on the basis of light through the first image-forming optical system, and a dioptric type third image-forming optical system adapted to form the final image of the first surface on a second surface on the basis of light through the second image-forming optical system, wherein all optical components that constitute the first, second and third image-forming optical systems are arranged along a single straight optical axis.

Further, Claims 2 - 6 are inventions dependent on Claim 1.

2. Claim 7 is an invention relating to a catadioptric system comprising a plurality of optical members for forming an intermediate image of the first surface in an optical path between the first and second surfaces twice and forming, for the third time, an intermediate image of the first surface as the final image on the second surface, wherein the plurality of optical members are arranged along a single straight optical axis.

Further, Claim 8 is an invention dependent on Claim 7.

3. Claim 9 is an invention relating to a catadioptric system comprising a plurality of reflecting mirrors arranged along a single straight optical axis, wherein an image of a rectangular region spaced away from the optical axis in a first surface is formed on a second surface.

Further, Claim 10 is an invention dependent on Claim 9.

4. Claim 11 is an invention relating to a catadioptric system comprising a first image-forming optical system having at least a first reflecting mirror and a second reflecting mirror and adapted to form a first intermediate image of a first surface on the basis of light from the first surface, a second image-forming optical system having at least a third reflecting mirror and a fourth reflecting mirror and adapted to form a second intermediate image of the first surface on the basis of light through the first image-forming optical system, and a dioptric type third image-forming optical system adapted to form the final image of the first surface on a second surface on the basis of light through the second image-forming optical system, wherein all optical components that constitute the first, second and third image-forming optical systems are arranged along a single straight optical axis, and at least one negative lens is disposed immediately in front of each of the reflecting surface sides of two of the first, second, third and fourth reflecting mirrors.


Further, Claims 12 - 13 are inventions dependent on Claim 11.

Further, Claim 14 is an invention dependent on any one of Claim 1 - 13.

Further, Claims 15 - 16 are inventions dependent on Claim 14.

However, the technical content itself, wherein in a catadioptric system having a plurality of optical members, the plurality of optical members are arranged along a single straight optical axis, is a technique which has heretofore been known as described, for example, in JP 10-104 513 A (Carl Zeiss Stiftung) 24 April 1998 (24. 04. 98). Therefore, of the groups of inventions, the 3 and the others have no matter in common which is novel as compared with the prior art.

Thus, of the groups of inventions, the 3 and the others have no matter in common which is considered to be a special technical feature in the sense of the second sentence in PCT Rule 13. 2, and of the groups of inventions, the 3 and the others cannot be said to be a group of inventions so linked as to form a single general inventive concept. Therefore, of the groups of inventions, the 3 and the others cannot be said to be in a relationship that satisfies unity.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ G02B17/08, H01L21/027		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ G02B17/08, H01L21/027		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公報 1926-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2001年 日本国登録実用新案公報 1994-2001年 日本国実用新案登録公報 1996-2001年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	US 5515207 A (Nikon Precision Inc.) 7. 5月. 1996 (07. 05. 96) 全文、全図 (ファミリーなし)	1-16
A	US 4861148 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.) 29. 8月. 1989 (29. 08. 89) 全文、全図 & JP 63-14113 A, 全文、全図 & EP 237041 B1 & DE 3787035 G	1-16
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		
の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	21. 12. 01	国際調査報告の発送日
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 森内 正明 
		2V 9222
		電話番号 03-3581-1101 内線 3269

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	JP 6-265789 A (株式会社ニコン) 22. 9月. 1994 (22. 09. 94) 全文、全図 (ファミリーなし)	9, 10 1-8, 11-16
Y	US 5861997 A (Nikon Corporation) 19. 1月. 1999 (19. 01. 99) 全文、全図 &JP 8-62502 A, 全文、全図	1-16
Y	EP 779528 A2 (SVG Lithography Systems, Inc.) 18. 6月. 1997 (18. 06. 97) 全文、全図 &JP 9-211332 A, 全文、全図 &CA 2192604 A &US 5815310 A &KR 97048693 A	1-16
Y A	US 5805334 A (Nikon Corporation) 8. 9月. 1998 (08. 09. 98) 全文、全図 &JP 9-311278 A, 全文、全図	9, 10 1-8, 11-16
Y	JP 10-10430 A (株式会社ニコン) 16. 1月. 1998 (16. 01. 98) 全文、全図 &US 6157498 A	1-16
Y	JP 10-104513 A (カール・ツァイス・スティアツング) 24. 4月. 1998 (24. 04. 98) 全文、全図 &EP 833180 A2 &DE 19639586 A1 &KR 99075861 A &US 6169627 B1	1-16
Y	US 6097537 A (Nikon Corporation) 1. 8月. 2000 (01. 08. 00) 全文、全図 &JP 11-295606 A, 全文、全図	1-16
Y	JP 2000-98228 A (株式会社ニコン) 7. 4月. 2000 (07. 04. 00) 全文、全図 &US 6213610 B1 &US 20010002155 A1 &US 6302548 B2	1-16

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2000-100694 A (株式会社ニコン) 7. 4月. 2000 (07. 04. 00) 全文、全図 &US 6172825 B1	1-16
Y	JP 2000-235144 A (カール ツァイス シュティフトゥング トレディング アズ カ ル ツァイス) 29. 8月. 2000 (29. 08. 00) 全文、全図 &DE 19948240 A1 &EP 1035445 A2 &KR 2000076656 A	1-16
PX PY	EP 1069448 A1 (Nikon Corporation) 17. 1月. 2001 (17. 01. 01) 全文、全図 &JP 2001-27727 A, 全文、全図	9,10 1-8,11-16
PX PY	JP 2001-166210 A (カール・ツァイス・シュティフトゥング) 22. 6月. 2001 (22. 06. 01) 全文、全図 &EP 1098215 A1	7-10 1-6,11-16
PX PY	JP 2001-185480 A (株式会社ニコン) 6. 7月. 2001 (06. 07. 01) 全文、全図 (ファミリーなし)	9,10 1-8,11-16
PX PY	JP 2001-228401 A (キャノン株式会社) 24. 8月. 2001 (24. 08. 01) 全文、全図 (ファミリーなし)	9,10 1-8,11-16
Y	WO 00/39623 A1 (株式会社ニコン) 6. 7月. 2000 (06. 07. 00) 全文、全図 &EP 1059550 A1 &KR 2001041257 A	1-16

第I欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第II欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところこの国際調査機関は認めた。

特別ページ参照

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

第 I I 欄の続き

1. 請求の範囲 1 は、反射屈折光学系が、少なくとも 2 つの反射鏡を有し、第 1 面からの光に基づいて前記第 1 面の第 1 中間像を形成するための第 1 結像光学系と、少なくとも 2 つの反射鏡を有し、前記第 1 結像光学系を介した光に基づいて前記第 1 面の第 2 中間像を形成するための第 2 結像光学系と、前記第 2 結像光学系を形成するための第 2 結像光学系と、前記第 2 の結像光学系を介した光に基づいて前記第 1 面の最終像を第 2 面上に形成するための屈折型の第 3 結像光学系とを備え、前記第 1 結像光学系、前記第 2 結像光学系および前記第 3 結像光学系を構成するすべての光学部材が単一の直線状光軸に沿って配置されている発明である。

また、請求の範囲 2 - 6 は、前記請求の範囲 1 を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

2. 請求の範囲 7 は、反射屈折光学系が、第 1 面と第 2 面との間の光路中に前記第 1 面の中間像を 2 回形成し、前記第 1 面の第 3 回目の中間像を最終像として前記第 2 面上に形成する複数の光学部材を備え、前記複数の光学部材は単一の直線状光軸に沿って配置されている発明である。

また、請求の範囲 8 は、前記請求の範囲 7 を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

3. 請求の範囲 9 は、反射屈折光学系が、単一の直線状光軸に沿って配置された複数の反射鏡を備え、第 1 面上において前記光軸から離れた矩形状の領域の像を第 2 面上に形成する発明である。

また、請求の範囲 10 は、前記請求の範囲 9 を引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

4. 請求の範囲 11 は、反射屈折光学系が、少なくとも第 1 反射鏡と第 2 反射鏡とを有し、第 1 面からの光に基づいて前記第 1 面の第 1 中間像を形成するための第 1 結像光学系と、少なくとも第 3 反射鏡と第 4 反射鏡を有し、前記第 1 結像光学系を介した光に基づいて前記第 1 面の第 2 中間像を形成するための第 2 結像光学系と、前記第 2 結像光学系を形成するための第 2 結像光学系と、前記第 2 の結像光学系を介した光に基づいて前記第 1 面の最終像を第 2 面上に形成するための屈折型の第 3 結像光学系とを備え、前記第 1 結像光学系、前記第 2 結像光学系および前記第 3 結像光学系を構成するすべての光学部材が単一の直線状光軸に沿って配置され、前記第 1 反射鏡、前記第 2 反射鏡、前記第 3 反射鏡および前記第 4 反射鏡のうち 2 つの反射鏡の反射面側の直前に少なくとも 1 つの負レンズがそれぞれ配置されている発明である。

また、請求の範囲 12 - 13 は、前記請求の範囲 11 を引用する従属形式の発明である。

また、請求の範囲 14 は、前記請求の範囲 1 - 13 のいずれかを引用する従属形式の発明である。

また、請求の範囲 15 - 16 は、前記請求の範囲 14 を引用する従属形式の発明である。

しかしながら、複数の光学部材を備えた反射屈折光学系において、前記複数の光学部材が単一の直線状光軸に沿って配置されている技術内容自体は、例えば、JP 10-104513 A (カールツァイス・スティアツング), 24. 4月. 1998 (24. 04. 98) にも記載されているように従来から知られた技術であるので、上記発明の群のうち、3. とそれ以外との間では、従来技術に対して新規なものとしての共通する事項は存在していない。

よって、上記発明の群のうち 3. とそれ以外との間において、PCT 規則 13. 2、第 2 文の意味において特別の技術的特徴と考えられる共通事項は存在してなく、前記発明の群のうち 3. とそれ以外の群同士は、単一の一般的発明概念を形成する連関している一群の発明であるとはいえない。したがって、前記発明の群のうち、3. とそれ以外との間は、単一性を満足する関係であるとはいえない。