

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-210760

(P2010-210760A)

(43) 公開日 平成22年9月24日(2010.9.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G O 2 B 13/24 (2006.01)</b>	G O 2 B 13/24	2 H O 8 7
<b>H O 1 L 21/027 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/30 5 1 5 D	5 F O 4 6
<b>G O 2 B 13/14 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/30 5 1 6 A	
<b>G O 2 B 13/18 (2006.01)</b>	G O 2 B 13/14	
	G O 2 B 13/18	
審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 19 頁)		

(21) 出願番号 特願2009-54815 (P2009-54815)  
 (22) 出願日 平成21年3月9日 (2009.3.9)

(71) 出願人 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100110412  
 弁理士 藤元 亮輔  
 (74) 代理人 100104628  
 弁理士 水本 敦也  
 (72) 発明者 住吉 雄平  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
 ヤノン株式会社内  
 Fターム(参考) 2H087 KA01 KA21 LA01 NA01 NA04  
 PA15 PA17 PB20 QA02 QA03  
 QA06 QA14 QA19 QA21 QA22  
 QA25 QA37 QA42 QA45 QA46  
 RA05 RA12 RA13 RA42 UA03  
 5F046 BA03 CA04 CB12 CB25 DA13

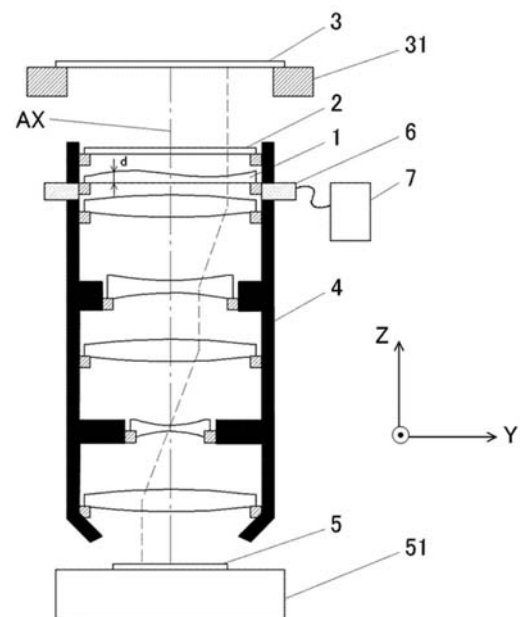
(54) 【発明の名称】 投影光学系、露光装置及びデバイス製造方法

## (57) 【要約】

【課題】収差を抑えた投影光学系、露光装置及びデバイス製造方法を提供する。

【解決手段】投影光学系4は、光軸AXに対して回転非対称な非球面形状を有する移動部材1と、移動部材1を光軸AXと垂直な方向に移動する移動機構6と、光軸AX上に固定され、移動部材1の非球面によって生じる光路長差を低減し、移動部材1の非球面形状と相補的な非球面形状を有しない補正部材2と、を有する。

【選択図】図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

物体面の像を像面に投影する投影光学系であって、  
光軸に対して回転非対称な非球面形状を有する第 1 光学素子と、  
当該第 1 光学素子を前記光軸と垂直な方向に移動する移動手段と、  
前記光軸上に固定され、第 1 光学素子の非球面によって生じる光路長差を低減し、前記  
第 1 光学素子の非球面形状と相補的な非球面形状を有しない第 2 光学素子と、  
を有することを特徴とする投影光学系。

**【請求項 2】**

前記第 1 光学素子と前記第 2 光学素子は隣接して配置されることを特徴とする請求項 1  
に記載の投影光学系。

10

**【請求項 3】**

請求項 1 又は 2 に記載の投影光学系を有することを特徴とする露光装置。

**【請求項 4】**

請求項 3 に記載の露光装置を使用して基板を露光するステップと、  
露光された前記基板を現像するステップと、  
を有することを特徴とするデバイス製造方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

20

本発明は、投影光学系、露光装置及びデバイス製造方法に関する。

**【背景技術】****【0002】**

露光装置において、特許文献 1 は、互いに相補的な非球面を微小距離だけ離して対向し  
て配置した一对の光学素子（アルバレッツレンズ）のそれぞれを光軸と垂直する方向にずら  
して投影光学系の収差を制御する方法を提案している。

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0003】**

【特許文献 1】特開平 10 - 242048 号公報

30

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

しかし、特許文献 1 では、一对の光学素子が微小距離だけ離れていることに起因して収  
差が発生する。例えば、一对の光学素子間の間隔が  $100\ \mu\text{m}$  であると、無視できない量  
のディストーションや非点収差が発生するが、両者の間隔をそれよりも小さくすることは  
困難である。即ち、従来の露光装置は、このような一对の光学素子を挿入することにより  
収差が発生し、重ね合わせ精度が低下するという問題がある。

**【0005】**

本発明は、収差を抑えた投影光学系、露光装置及びデバイス製造方法を提供する。

40

**【課題を解決するための手段】****【0006】**

本発明の一側面としての投影光学系は、物体面の像を像面に投影する投影光学系であっ  
て、光軸に対して回転非対称な非球面形状を有する第 1 光学素子と、当該第 1 光学素子を  
前記光軸と垂直な方向に移動する移動手段と、前記光軸上に固定され、第 1 光学素子の非  
球面によって生じる光路長差を低減し、前記第 1 光学素子の非球面形状と相補的な非球面  
形状を有しない第 2 光学素子と、を有することを特徴とする。かかる投影光学系を有する  
露光装置及びそれを利用したデバイス製造方法も本発明の別の側面を構成する。

**【発明の効果】****【0007】**

50

本発明は、収差を抑えた投影光学系、露光装置及びデバイス製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本実施例の露光装置の断面図である。

【図2】図1に示す投影光学系に適用可能な複数の光学素子の具体的構成例を示す断面図である。（実施例1）

【図3】比較例1のディストーション変化を示す図である。

【図4】実施例1のディストーション変化を示す図である。

【図5】図4において移動部材を移動した場合のディストーション変化を示す図である。

【図6】図3に示す比較例1のフォーカス変化を示す図である。

【図7】図4に示す実施例1のフォーカス変化を示す図である。

【図8】図1に示す投影光学系に適用可能な複数の光学素子の別の具体的構成例を示す断面図である。（実施例2）

【図9】比較例2のディストーション変化を示す図である。

【図10】実施例2のディストーション変化を示す図である。

【図11】図10において移動部材をx方向に移動した場合のディストーション変化を示す図である。

【図12】図10において移動部材をy方向に移動した場合のディストーション変化を示す図である。

【図13】図9に示す比較例2のフォーカス変化を示す図である。

【図14】図10に示す実施例2のフォーカス変化を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

図1は、本実施例の露光装置の部分断面図である。露光装置は、不図示の光源からの光と照明光学系を利用して、原版（マスク又はレチクル）3のパターンの像を基板（ウエハ又は液晶基板）5に露光する。露光装置は、原版3を支持及び駆動する原版ステージ31と、物体面にある原版3のパターンの像を像面にある基板5に投影する投影光学系4と、基板5を支持及び駆動する基板ステージ51と、を有する。

【0010】

投影光学系4は、光軸AXを有し、複数の光学素子を鏡筒に収納している。複数の光学素子は、移動部材（第1光学素子）1と、補正部材（第2光学素子）2と、を含む。図1では、投影光学系4は屈折光学系として示されているが、カタディオプトリック光学系などこれに限定されない。

【0011】

投影光学系4は、移動部材1と補正部材2を有して初期状態における静的収差を抑え、移動部材1を光軸AXと垂直に移動させることにより、少なくとも1つの光学性能を変更可能としている。

【0012】

移動部材1は、移動機構（移動手段）6により保持されて投影光学系の光軸AXと垂直な方向（x方向及びy方向）に移動可能なように構成されている。移動機構6は制御部7によって制御され、制御部7は、周囲の環境情報、露光負荷情報、光学性能の測定値、ユーザ入力情報などに基づいて移動部材1の適正な移動量を演算し、移動部材1を移動する。

【0013】

移動部材1は、実質的に光学的パワーを持たない平行平板に対して、第1面に光軸AXに関して回転非対称な形状の非球面が付加された形状を有する。但し、非球面を付加するのは第2面でも両面でもよい。移動部材1は、本実施例では、透過型光学素子であるが、これに限定されない。

【0014】

10

20

30

40

50

移動部材 1 は、例えば、以下の式で表現される非球面形状を有する。但し、C は定数である。このため、移動部材 1 を y 軸に平行に移動したときに、非等方的な倍率、即ち、y 軸に平行な方向にのみ拡大又は縮小するような倍率成分を変更することができる。また、その倍率成分の変更量は移動部材 1 の移動量に比例する。即ち、非等方的な倍率成分の変更量を移動部材 1 の移動量に応じて連続的に可変とすることができる。もちろん、非球面形状は数式 1 には限定されない。

【 0 0 1 5 】

【 数 1 】

$$f(x,y)=C \cdot y^3$$

10

【 0 0 1 6 】

図 1 に示すように、光軸 A X と平行に z 軸を設定し、z 軸と直交するように x 軸、y 軸を設定する。このとき、移動部材 1 の厚さは  $d(x, y)$  で示すように、x と y の関数として表現することができる。移動部材 1 の屈折率を n とすると、非球面量がそれ程大きくなく屈折効果が無視できる場合には、移動部材 1 を垂直に通過した光線の光路長差は  $(n - 1) \cdot d$  と表すことができる。このように、移動部材 1 は、垂直に入射する平面波に対して  $d(x, y)$  に比例した光路長差を生ぜしめるような位相物体として振る舞う。

【 0 0 1 7 】

移動部材 1 を x 方向に  $x$ 、y 方向に  $y$  だけ移動した場合、座標  $(x, y)$  における移動後の移動部材 1 の厚さ  $d'$  は次式で表すことができる。

20

【 0 0 1 8 】

【 数 2 】

$$d'(x,y)=d(x-\Delta x,y-\Delta y)$$

【 0 0 1 9 】

数式 2 をテイラー展開して  $x$ 、 $y$  の 2 次以上の項は小さいとして無視すると次式が得られる。なお、 $dx(x, y)$  は  $d(x, y)$  の  $x$  での偏微分を表し、 $dy(x, y)$  は  $d(x, y)$  の  $y$  での偏微分を表す。

【 0 0 2 0 】

【 数 3 】

$$d'(x,y)=d(x,y)-\Delta x \cdot dx(x,y)-\Delta y \cdot dy(x,y)$$

30

【 0 0 2 1 】

移動前後の厚さの差分  $d$  は、次式で表すことができる。

【 0 0 2 2 】

【 数 4 】

$$\Delta d(x,y)=-\Delta x \cdot dx(x,y)-\Delta y \cdot dy(x,y)$$

【 0 0 2 3 】

移動部材 1 を光軸と垂直方向に移動させることにより、移動前後で数式 4 に比例した光路長差を生じさせることができる。移動部材 1 の厚さ  $d(x, y)$  によって様々な種類の光学性能を変更可能とすることができる。非球面形状を目的に応じた形状とすることによって、望ましい収差可変効果を得ることができる。

40

【 0 0 2 4 】

移動部材 1 の位置によって制御する光学性能の種類を調節することができる。例えば、縮小倍率の投影光学系の場合、原版付近に移動部材 1 を設置すれば、倍率やディストーションを可変にして、かつ、その他の収差をあまり動かないようにすることができる。また、基板付近に移動部材 1 を設置すれば、倍率やディストーションと共に、球面収差や非点収差なども可変とすることができる。また、投影光学系の瞳付近に移動部材を設置すれば、倍率やディストーションはあまり変化させることなく、画面内一律な波面収差成分を可

50

変とすることができる。このとき、波面収差の可変成分の形は移動部材の非球面形状に依存するので、例えば球面収差や非点収差など、任意に設定することができる。その他、像面湾曲や非点収差などの制御に適した設置位置も存在するので、可変としたい光学性能に応じて、移動部材 1 の位置を決定することができる。本実施例は、移動部材 1 を、原版 3 に近いテレセントリック光路中に配置している。

#### 【0025】

補正部材（第 2 光学素子）2 は、光軸上に固定され、移動部材 1 の非球面により発生する光路長差を低減する。補正部材 2 は、移動部材 1 に非球面を付加したことにより生じる近似的な光路長差  $(n - 1) \cdot d$  に表れない高次の項を補正してもよい。本実施例の補正部材 2 は透過型光学素子であるが、これに限定されない。

10

#### 【0026】

補正部材 2 の数は限定されないが、一般には、複数の補正部材 2 の方が単一の補正部材 2 よりも収差補正能力が高い。また、補正部材 2 の位置も限定されないが、一般には、補正部材 2 は移動部材 1 に近い方が収差補正が容易であるため、本実施例は補正部材 2 を移動部材 1 に隣接して配置している。なお、補正部材 2 を、移動部材 1 よりも基板 5 に近い側に配置してもよい。

#### 【0027】

補正部材 2 は、非球面形状を有する光学素子、回折光学素子、屈折率分布を有する光学素子によって構成されて光路長差をつけることができる。また、補正部材 2 は、パワーを持った光学素子であってもよく、その平行偏心、傾き偏心などによって光路長差を補正してもよい。本実施例では、補正部材 2 は、第 1 面、第 2 面又は両面に非球面を有する透過型光学素子であり、その非球面形状は移動部材 1 の非球面形状とは相補的ではなく（非相補的であり）、従って、移動部材 1 と補正部材 2 はアルパレッツレンズを構成しない。

20

#### 【0028】

補正部材 2 の非球面形状を決定する際には、まず、可変としたい光学性能の情報と、移動部材の移動量の情報から、数式 4 に基づいて移動部材 1 の非球面形状を決定する。その後、移動部材 1 の非球面によって発生した収差を最小にするように、補正部材 2 の非球面係数を最適化計算などによって求める。このとき、スポットダイアグラム、ディストーション、波面収差などを最適化計算の目標にとると効果的である。また、最適化計算の変数として使用する補正部材 2 の非球面係数としては、非球面形状を Z e r n i k e 多項式で展開した各項の係数や、 $x$ 、 $y$  のべき多項式で展開した各項の係数など、回転非対称な成分を用いると効果的である。最適化計算は、一般的な光学設計ソフトウェアに組み込まれている自動設計機能などによって行うことができる。

30

#### 【0029】

本実施例は、移動部材 1 と補正部材 2 を、投影光学系 4 の鏡筒に組み込んでいるが、両者及び移動機構 6 を原版ステージ 3 1 に組み込んでもよい。その場合、移動部材 1 を移動した際の倍率やディストーション以外の収差成分の変動を更に抑制することができる。

#### 【0030】

露光において、光源からの光で不図示の照明光学系が原版を均一に照明し、原版パターンを反映した回折光は投影光学系により基板に投影される。投影光学系は収差が良好に補正されているので高品位な露光を提供することができる。

40

#### 【0031】

デバイス（半導体集積回路素子、液晶表示素子等）は、上述の露光装置を使用して感光剤を塗布した基板（ウエハ、ガラスプレート等）を露光する工程と、基板を現像する工程と、他の周知の工程と、を経ることにより製造される（デバイス製造方法）。

#### 【実施例 1】

#### 【0032】

図 2 は、投影光学系 4 に含まれる複数の光学素子の具体的構成（実施例 1）を示す断面図である。実施例 1 の投影光学系 4 は、光源が波長  $248\text{ nm}$  の Kr F エキシマレーザに使用され、 $NA 0.65$  と投影倍率  $-1/4$  倍を有する。基板 5 は、 $26 \times 33\text{ mm}$  の長

50

方形の露光領域を有する。投影光学系 4 の各面の有効径、曲率半径、面間隔、硝種を表 A に示す。

(表 A)

面番号		有効径	曲率半径	面間隔	硝種	
1		168.4		20.000		
2		175.1		10.000	SiO2	
3	XY	177.3		0.100		
4	XY	177.3		10.000	SiO2	
5		179.6		49.900		
6		201.1	360.35595	24.239	SiO2	10
7		201.2	-2626.12645	1.000		
8	ASP	200.9	194.69048	31.899	SiO2	
9		197.6	1033.39423	1.000		
10		190.2	263.76738	24.000	SiO2	
11		185.3	2469.14371	1.000		
12		169.8	213.75001	13.000	SiO2	
13		145.8	100.99769	40.816		
14		145.0	-345.07487	13.000	SiO2	
15		141.6	380.61350	19.072		
16		141.6	-245.45695	13.000	SiO2	20
17		149.7	177.13312	42.407		
18		151.6	-132.64449	13.000	SiO2	
19	ASP	187.3	-614.48492	14.667		
20		214.1	-1097.46560	30.000	SiO2	
21		223.4	-242.75498	1.000		
22		238.5	-453.28991	30.000	SiO2	
23		246.3	-218.70337	1.000		
24		275.8	-4951.35296	57.003	SiO2	
25		280.0	-217.90659	1.000		
26		280.0	285.85496	49.666	SiO2	30
27		277.1	-1907.93638	1.000		
28		254.9	304.90243	30.000	SiO2	
29		249.0	1313.36200	1.000		
30		223.4	231.71506	30.000	SiO2	
31	ASP	208.0	361.75424	2.705		
32		204.2	419.23175	13.000	SiO2	
33		172.2	148.21569	46.136		
34		170.2	-226.97976	13.000	SiO2	
35	ASP	155.1	134.52001	46.932		
36		155.6	-160.05070	13.000	SiO2	40
37		175.8	1096.12398	27.414		
38		181.3	-233.42897	29.001	SiO2	
39		198.3	-181.92265	-0.234		
40	STOP	221.3		1.234		
41	ASP	242.6	738.67490	46.969	SiO2	
42		247.4	-296.57723	1.000		
43		270.3	403.01957	57.460	SiO2	
44		270.7	-391.65876	39.834		
45		265.8	-203.71190	19.000	SiO2	
46		278.2	-303.46148	8.949		50

47		280.0	560.59801	30.000	SiO2
48		278.0	10237.73553	1.000	
49		271.2	308.20031	30.000	SiO2
50		267.4	953.67033	1.000	
51		249.4	211.61929	29.160	SiO2
52		242.3	375.54148	1.000	
53		222.7	173.49076	44.672	SiO2
54		213.5	1516.75806	50.000	
55	ASP	125.3	-3574.40593	13.000	SiO2
56		98.2	91.30479	1.000	
57		95.7	76.35234	45.000	SiO2
58		66.6	760.08315	15.000	

10

表 A において、S i O<sub>2</sub> は合成石英であり、合成石英の波長 2 4 8 n m に対する屈折率は 1 . 5 0 8 3 9 である。また、A S P は回転対称非球面であり、次式で定義される面形状を有する。ここで、z は z 軸方向の変位、h は ( x<sup>2</sup> + y<sup>2</sup> ) で表される変数、R は面頂点における曲率半径、k はコーニック係数、A ~ D は非球面係数である。

【 0 0 3 3 】

【 数 5 】

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

20

【 0 0 3 4 】

表 1 は、回転対称非球面のコーニック係数 k と非球面係数 A ~ D を示す。

【 0 0 3 5 】

【 表 1 】

面番号	k	A	B	C	D
8	0.16050	7.92822E-09	-4.35365E-13	-1.06805E-19	-1.60548E-22
19	1.00000	4.36130E-08	-2.78749E-13	-3.80445E-17	4.49219E-22
31	-0.34166	-1.43383E-08	-4.26300E-14	-2.54398E-17	-1.08650E-21
35	0.08142	2.44893E-08	-4.44029E-12	-7.51128E-17	1.32959E-20
41	0.90407	9.55672E-09	-1.20116E-13	9.34509E-19	1.82120E-22
55	1.00000	-1.22421E-07	-1.01104E-12	8.35221E-16	-4.27343E-20

30

【 0 0 3 6 】

表 A の X Y は回転非対称な非球面を示し、これらは x、y のべき多項式で表現される面形状を有する。表 A の S T O P は絞り面を示している。

【 0 0 3 7 】

移動部材 1 は、原版側に非球面を有し、その非球面形状 f は次式で与えられる。

【 0 0 3 8 】

【 数 6 】

$$f(x,y)=5.0e-7 \cdot y^3$$

40

【 0 0 3 9 】

移動部材 1 の有効径は 1 7 7 . 3 m m であるから、ベース平面に対する非球面の変位量は 3 5 0 μ m 程度である。移動部材 1 を y 軸と平行な方向に平行移動することにより、x 方向は変わらず、y 方向にのみ倍率成分が生じるような回転非対称なディストーションが発生する。

【 0 0 4 0 】

本実施例は、露光光の吸収によって起こる回転非対称のディストーションの発生量が小さいことに着目し、小さな非球面量しか持たない光学手段を利用して効果のある補正を行っている。本実施例の移動部材 1 は非球面量の変位量が小さいため、ディストーションの補正のみを行い、他の光学特性に与える影響が小さい。

50

## 【 0 0 4 1 】

補正部材 2 は、移動部材 1 から  $100\text{ }\mu\text{m}$  だけ隔てて設けられ、光軸上に固定され、基板側に非球面を有し、その非球面形状  $g$  は次式で与えられる。

## 【 0 0 4 2 】

## 【 数 7 】

$$g(x,y)=1.2394e-09\cdot y^2+5.0188e-07\cdot y^3-3.0435e-13\cdot y^4$$

## 【 0 0 4 3 】

これにより、移動部材 1 の非球面に起因する収差を良好に補正することができる。この補正部材 2 の収差補正効果を以下に説明する。

## 【 0 0 4 4 】

図 3 は、移動部材と補正部材が相補的な非球面形状を有する比較例 1（即ち、アルバレツレンズ）において発生するディストーション変化を示す図である。移動部材 1 の非球面形状は本実施例と同一である。「ディストーション変化」とは、移動部材 1 にも補正部材にも非球面をつけなかった場合と、両者に非球面を付加した場合のディストーションの差である。点線で示された格子は理想格子であり、実線で示された格子がディストーションを含んだ格子である。形状をよく見るため歪みを  $20000$  倍に拡大している。 $26\text{ mm}\times 33\text{ mm}$  の長方形の露光領域に  $9\text{ 点}\times 11\text{ 点}$  の格子状の評価点をとって評価した。

## 【 0 0 4 5 】

図 3 では、ディストーションが画面内の最大値で  $85.1\text{ nm}$  発生する。しかも、回転非対称なディストーション形状であり、レンズの偏心などによって発生する成分とは異なるため、投影光学系の偏心調整などでは除去しづらい。ディストーションがこれだけ存在すると重ね合わせ精度が低下する。

## 【 0 0 4 6 】

図 4 は、数式 6 で表現される非球面形状を有する移動部材 1 と数式 7 で表現される非球面形状を有する補正部材 2 を有する、図 2 に示す投影光学系 4 のディストーションの変化を示す図である。評価点や歪みのプロット倍率は図 3 と同様である。図 4 では、ディストーションの発生量は画面内の最大値で  $0.45\text{ nm}$  であり、図 3 と比べて 2 桁小さく良好に抑えられている。

## 【 0 0 4 7 】

図 5 は、図 4 の投影光学系 4 において、移動部材 1 を  $y$  軸に平行に  $+100\text{ }\mu\text{m}$  移動した場合のディストーション変化を示す図である。「ディストーション変化」とは、移動部材 1 を移動する前後のディストーションの差である。評価点や歪みのプロット倍率は図 3 と同様である。

## 【 0 0 4 8 】

図 5 によると、 $y$  方向にのみ格子が縮み、 $x$  方向はそのままとなっており、回転非対称な倍率成分が発生している。この格子を成分分解することによって、回転対称な倍率成分が  $-2.06\text{ ppm}$ 、縦横倍率差成分  $2.06\text{ ppm}$  が含まれていることが分かる。また、それらの成分以外の残差成分は  $1.1\text{ nm}$  と小さい。

## 【 0 0 4 9 】

投影光学系 4 が露光光を吸収することにより発生する縦横倍率差成分のオーダーは、露光波長や照明モードにもよるが、ほぼ数  $\text{ppm}$  であるから、移動部材 1 を  $\pm$  数百  $\mu\text{m}$  程度移動することにより、熱収差補正に必要な収差補正ストロークが得られる。また、残差成分も十分に小さく重ね合わせ精度への影響も小さい。

## 【 0 0 5 0 】

図 6 は、図 3 の比較例 1 のフォーカス変化を示す図である。「フォーカス変化」とは、移動部材にも補正部材にも非球面をつけなかった場合と、両者に非球面を付加した場合のフォーカスの差である。

## 【 0 0 5 1 】

図 6 において、矢印の向きは、レチクル上のパターンによって生じる回折光の飛ぶ方向

10

20

30

40

50



を表し、矢印の大きさはフォーカスシフトの大きさを表す。例えば、縦方向に向いた矢印は水平方向パターン（水平方向パターン）に対するフォーカスシフトを示し、横方向に向いた矢印は垂直方向パターン（垂直方向パターン）に対するフォーカスシフトを示す。また、濃い矢印は正方向にフォーカスがシフトしていることを示し、薄い矢印は負方向にフォーカスがシフトしていることを示す。評価点の取り方はディストーションと同じである。図 6 では、画面内の P V で 69.9 nm のフォーカスシフト、即ち、像面幅が発生し、プロセス余裕度を著しく減少させてしまう。

#### 【 0 0 5 2 】

図 7 は、図 4 の投影光学系に対応するフォーカス変化を示す図である。評価点や歪みのプロット倍率は図 6 と同様である。図 7 では、像面幅の発生量は画面内の P V で 22.9 nm であり、図 6 の約 1 / 3 に減少しており、プロセス余裕度への影響が低減している。

10

#### 【 実施例 2 】

#### 【 0 0 5 3 】

図 8 は、投影光学系 4 に含まれる複数の光学素子の具体的構成（実施例 2）を示す断面図である。本実施例は、2つの補正部材 21 及び 22 を設けている。実施例 2 の投影光学系 4 は、光源が波長 248 nm の KrF エキシマレーザに使用され、NA 0.60 と投影倍率 - 1 / 4 倍を有する。基板 5 は、26 × 33 mm の長方形の露光領域を有する。投影光学系 4 の各面の有効径、曲率半径、面間隔、硝種を表 B に示す。

（表 B）

面番号		有効径	曲率半径	面間隔	硝種
1		168.4		20.000	
2	XY	174.6		8.000	SiO2
3		176.2		51.900	
4		192.3		10.000	SiO2
5	XY	194.3		0.100	
6	XY	194.3		24.000	SiO2
7		196.1	-317.74375	1.000	
8	ASP	195.0	128.82373	47.208	SiO2
9		189.9	1321.21173	1.000	
10		172.0	180.93016	13.000	SiO2
11		146.9	95.53455	39.689	
12		146.1	-823.63969	13.000	SiO2
13		138.2	126.92359	42.560	
14		138.9	-129.87630	13.000	SiO2
15	ASP	165.5	430.92363	53.786	
16		229.6	-4569.07475	34.601	SiO2
17		236.6	-263.60528	1.000	
18		251.9	-770.76064	44.163	SiO2
19		257.0	-200.73376	1.000	
20		267.7	1012.66170	30.000	SiO2
21		268.0	-691.18493	1.000	
22		262.5	397.75217	38.700	SiO2
23		259.9	-1007.78240	1.000	
24		232.5	229.67477	30.000	SiO2
25		225.3	619.90604	1.000	
26		204.4	198.24797	34.502	SiO2
27	ASP	157.4	105.09593	51.378	
28		154.1	-265.65699	13.000	SiO2
29	ASP	144.2	125.79300	63.614	
30		153.0	-239.33555	13.000	SiO2

20

30

40

50

31		165.1	1195.59834	50.868	
32		193.6	-364.86223	18.472	SiO2
33		202.4	-229.11292	-17.624	
34	STOP	203.7		18.624	
35	ASP	242.6	832.43292	38.675	SiO2
36		246.8	-389.09720	1.000	
37		265.1	452.24289	51.780	SiO2
38		265.8	-413.86377	50.112	
39		258.5	-221.49348	19.000	SiO2
40		268.0	-307.14415	8.547	
41		268.0	490.94417	30.000	SiO2
42		265.8	32409.69300	1.000	
43		257.7	313.61137	30.000	SiO2
44		251.4	737.52560	1.000	
45		237.5	220.30779	29.160	SiO2
46		225.6	316.96456	1.000	
47		211.3	166.42979	42.603	SiO2
48		202.9	1595.28264	50.000	
49	ASP	122.8	21215.62844	18.539	SiO2
50		93.9	88.40230	1.000	
51		91.6	73.90385	45.044	SiO2
52		62.8	401.14620	15.000	

10

20

表 B において表 A における記号と同一の記号は同一の部材を表している。表 2 は A S P のコーニック係数 k と非球面係数 A ~ D を示す。

【 0 0 5 4 】

【 表 2 】

面番号	k	A	B	C	D
8	-0.29291	9.42140E-09	1.05843E-13	4.95453E-18	5.12198E-23
15	0.58103	2.92444E-08	-3.07971E-12	9.24739E-17	-7.49875E-22
27	0.01562	-7.52995E-09	-1.01425E-13	6.24821E-18	2.12781E-22
29	-0.78067	4.35317E-08	-4.10494E-12	-1.97042E-16	2.08866E-20
35	0.05901	9.53367E-09	-1.21552E-13	-1.20596E-18	1.08517E-22
49	1.00000	-1.42543E-07	1.93363E-13	8.12052E-16	-4.46724E-20

30

【 0 0 5 5 】

移動部材 1 は、基板側に非球面を有し、その非球面形状 f は次式で与えられる。

【 0 0 5 6 】

【 数 8 】

$$f(x,y)=3.5e\cdot7\cdot x^3+1.5e\cdot11\cdot y^5$$

40

【 0 0 5 7 】

移動部材 1 の有効径は 194.3 mm であるから、ベース平面に対する非球面の変位量は 321 μm 程度である。移動部材 1 を x 軸と平行な方向に平行移動することにより、y 方向は変わらず、x 方向にのみ倍率成分が生じるような回転非対称なディストーションが発生する。また、移動部材 1 を y 軸と平行な方向に平行移動することにより、x 方向は変わらず、y 方向にのみ像高の 3 次に比例するような回転非対称なディストーションが発生する。x 軸方向の平行移動と y 軸方向の平行移動とを組み合わせることによって、回転非対称な倍率と回転非対称なディストーションを任意の比率で発生させることができ、修正できるディストーションの自由度が高くなる。

【 0 0 5 8 】

50

本実施例も、露光光の吸収によって起こる回転非対称のディストーションの発生量が小さいことに着目し、小さな非球面量しか持たない光学手段を利用して効果のある補正を行っている。本実施例の移動部材 1 は非球面量の変位量が小さいため、ディストーションの補正のみを行い、他の光学特性に与える影響が小さい。

【 0 0 5 9 】

補正部材 2 1 は、移動部材 1 から 5 1 . 9 mm だけ隔てて設けられ、光軸上に固定され、原版側に非球面を有する。その非球面形状  $g$  は次式で与えられる。

【 0 0 6 0 】

【 数 9 】

$$g(x,y)=7.0047e-10 \cdot x^3+2.2587e-13 \cdot x^5+9.6939e-18 \cdot x^7+7.0115e-14 \cdot y^5+3.0903e-18 \cdot y^7$$

10

【 0 0 6 1 】

補正部材 2 2 は、移動部材から 1 0 0  $\mu$  m だけ隔てて隣接して配置され、光軸上に固定され、原版側に非球面を有する。その非球面形状  $h$  は次式で与えられる。

【 0 0 6 2 】

【 数 1 0 】

$$h(x,y)=3.4934e-7 \cdot x^3+3.8442e-14 \cdot x^5+1.3568e-18 \cdot x^7+1.4962e-11 \cdot y^5+4.4384e-19 \cdot y^7$$

【 0 0 6 3 】

補正部材 2 2 のように、パワーのついた部材を補正部材として使用してもよい。

20

【 0 0 6 4 】

補正部材 2 1、2 2 の非球面により、移動部材 1 の非球面に起因する収差を良好に補正することができる。これらの補正部材 2 1、2 2 の収差補正効果を以下に説明する。

【 0 0 6 5 】

図 9 は、補正部材 2 1 を平行平板とし、移動部材 1 と補正部材 2 2 が相補的な非球面形状を有する比較例 2 ( 即ち、アルパレツレンズ ) において発生するディストーション変化を示した図である。移動部材 1 の非球面形状は本実施例と同一である。ディストーション変化の定義は図 3 の場合と同じである。

【 0 0 6 6 】

点線で示された格子は理想格子であり、実線で示された格子がディストーションを含んだ格子である。形状をよく見るため歪みを 2 0 0 0 0 倍に拡大している。2 6 mm  $\times$  3 3 mm の長方形の露光領域に 9 点  $\times$  1 1 点の格子状の評価点をとって評価した。

30

【 0 0 6 7 】

図 9 では、ディストーションが画面内の最大値で 3 8 . 3 nm 発生する。しかも、回転非対称なディストーション形状であり、レンズの偏心などによって発生する成分とは異なるため、投影光学系の偏心調整などでは除去しづらい。ディストーションがこれだけ存在すると重ね合わせ精度が低下する。

【 0 0 6 8 】

図 1 0 は、数式 8 で表現される非球面形状を有する移動部材 1 と数式 9 で表現される非球面形状を有する補正部材 2 1 と数式 1 0 で表現される非球面形状を有する補正部材 2 2 を有する、図 8 に示す投影光学系 4 のディストーションの変化を示した図である。評価点や歪みのプロット倍率は図 9 と同様である。図 1 0 では、ディストーションの発生量は画面内の最大値で 1 . 9 nm であり、図 9 と比べて 1 桁小さく良好に抑えられている。

40

【 0 0 6 9 】

図 1 1 は、図 1 0 の投影光学系 4 において、移動部材 1 を  $x$  軸に平行に + 1 0 0  $\mu$  m 移動した場合のディストーション変化を示す図である。図 1 2 は、図 1 0 の投影光学系 4 において、移動部材 1 を  $y$  軸に平行に + 1 0 0  $\mu$  m 移動した場合のディストーション変化を示す図である。ディストーション変化の定義は図 5 と同じである。評価点や歪みのプロット倍率は図 9 と同様である。

【 0 0 7 0 】

50

図 1 1 によると、x 方向にのみ格子が縮み、y 方向はそのままとなっており、回転非対称な倍率成分が発生している。この格子を成分分解することによって、回転対称な倍率成分が - 4 . 5 0 p p m、縦横倍率差成分 4 . 5 1 p p m が含まれていることが分かる。また、それらの成分以外の残差成分は 1 . 3 n m と小さい。

【 0 0 7 1 】

図 1 2 によると、y 方向にのみ格子が像高の 3 次 に比例して伸び、x 方向はそのままとなっており、回転非対称なディストーション成分が発生していることが分かる。この格子を成分分解することによって、y 方向 3 次ディストーションが、像高 1 6 . 5 m m における値で 9 3 . 6 n m 含まれていることが分かる。また、その成分以外の残差成分は 1 . 4 n m と小さい。

【 0 0 7 2 】

投影光学系 4 が露光光を吸収することにより発生する縦横倍率差成分のオーダーは数 p p m であり、y 方向 3 次ディストーション成分のオーダーは数十 n m である。このため、移動部材 1 を ± 数百 μ m 程度 x 方向と y 方向に移動することにより、熱収差補正に必要な収差補正ストロークが得られる。また、残差成分も十分に小さく重ね合わせ精度への影響も小さい。

【 0 0 7 3 】

図 1 3 は、図 9 の比較例 2 のフォーカス変化を示した図である。フォーカス変化の定義、矢印の方向や大きさや矢印の色などの意味、評価点の取り方などは図 6 と同じである。図 1 3 では、画面内の P V で 1 2 0 . 7 n m のフォーカスシフト、即ち、像面幅が発生し、プロセス余裕度を著しく減少させてしまう。

【 0 0 7 4 】

図 1 4 は、図 1 0 の投影光学系に対応するフォーカス変化を示す。評価点や歪みのプロット倍率は図 1 3 と同様である。図 1 4 では、像面幅の発生量は画面内の P V で 1 3 . 7 n m であり、図 1 3 よりも改善し、プロセス余裕度への影響が低減している。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 7 5 】

投影光学系は、物体面の像を像面に投影する用途に適用することができる。露光装置は、デバイスを製造する用途に適用することができる。

【符号の説明】

【 0 0 7 6 】

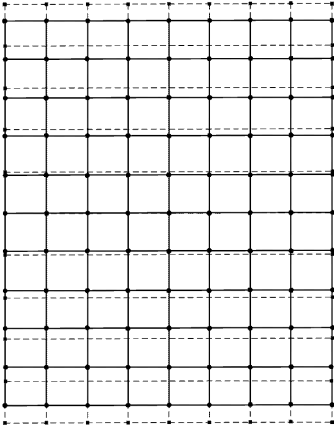
1	移動部材（第 1 光学素子）
2、2 1、2 2	補正部材（第 2 光学素子）
3	原版
4	投影光学系
5	基板
6	移動機構（移動手段）

10

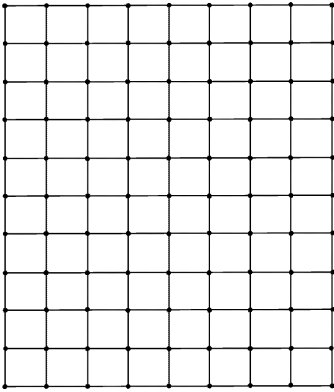
20

30

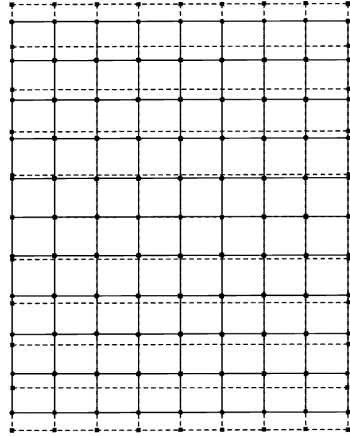
【 図 3 】



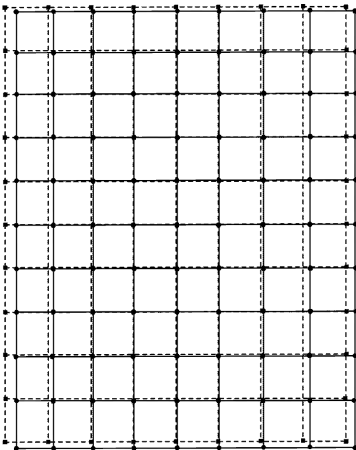
【 図 4 】



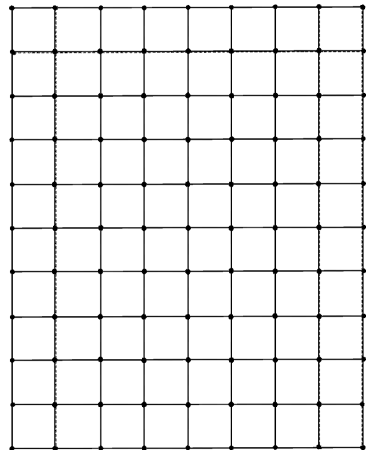
【 図 5 】



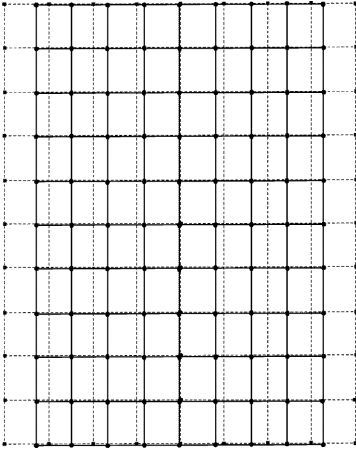
【 図 9 】



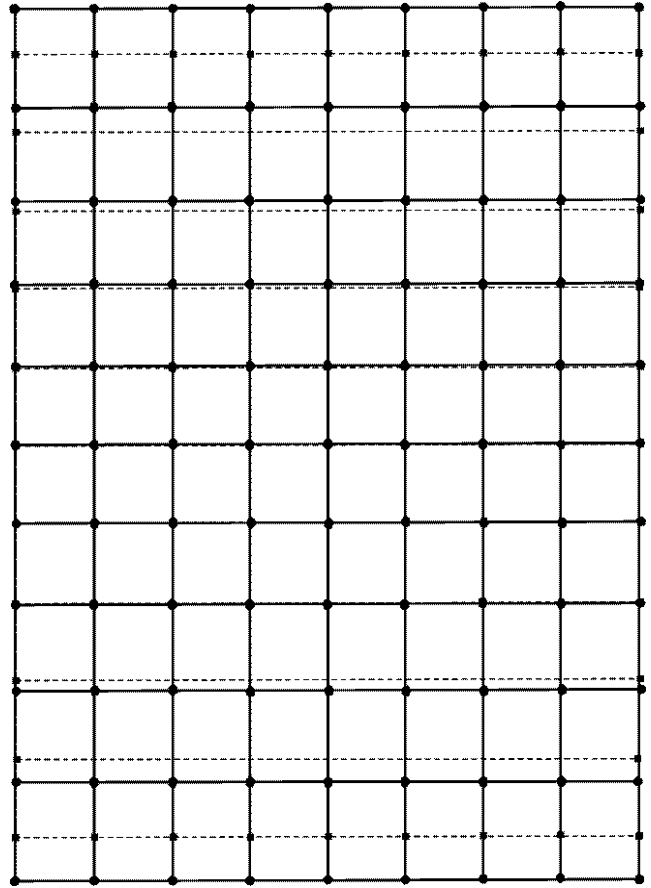
【 図 10 】



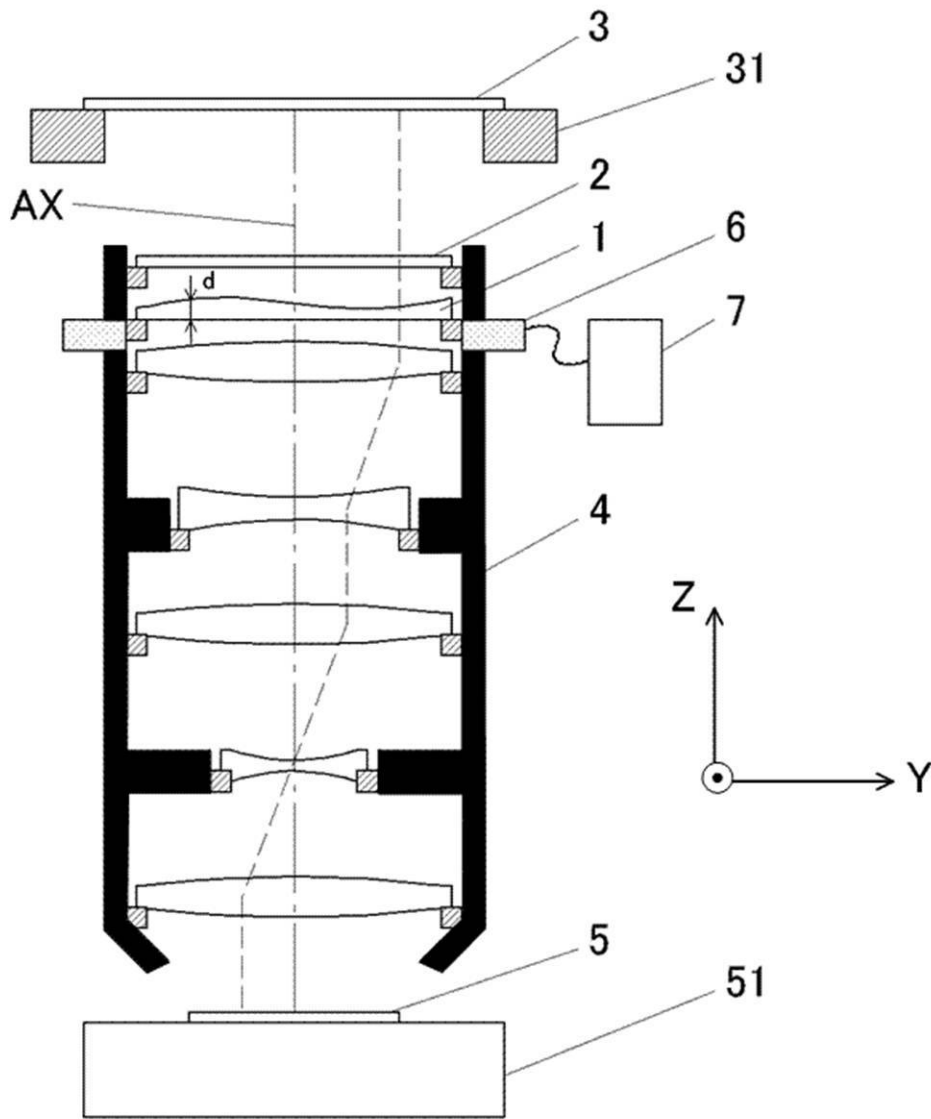
【図 1 1】



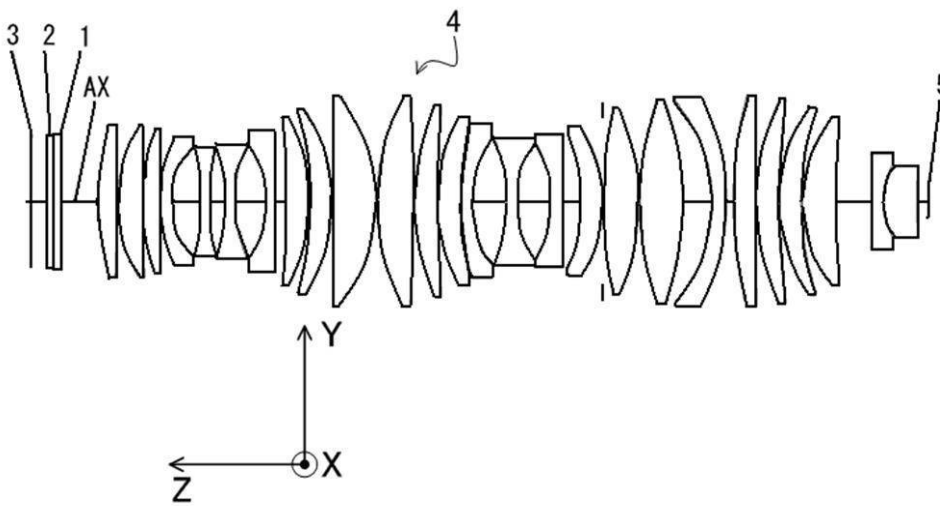
【図 1 2】



【図 1】

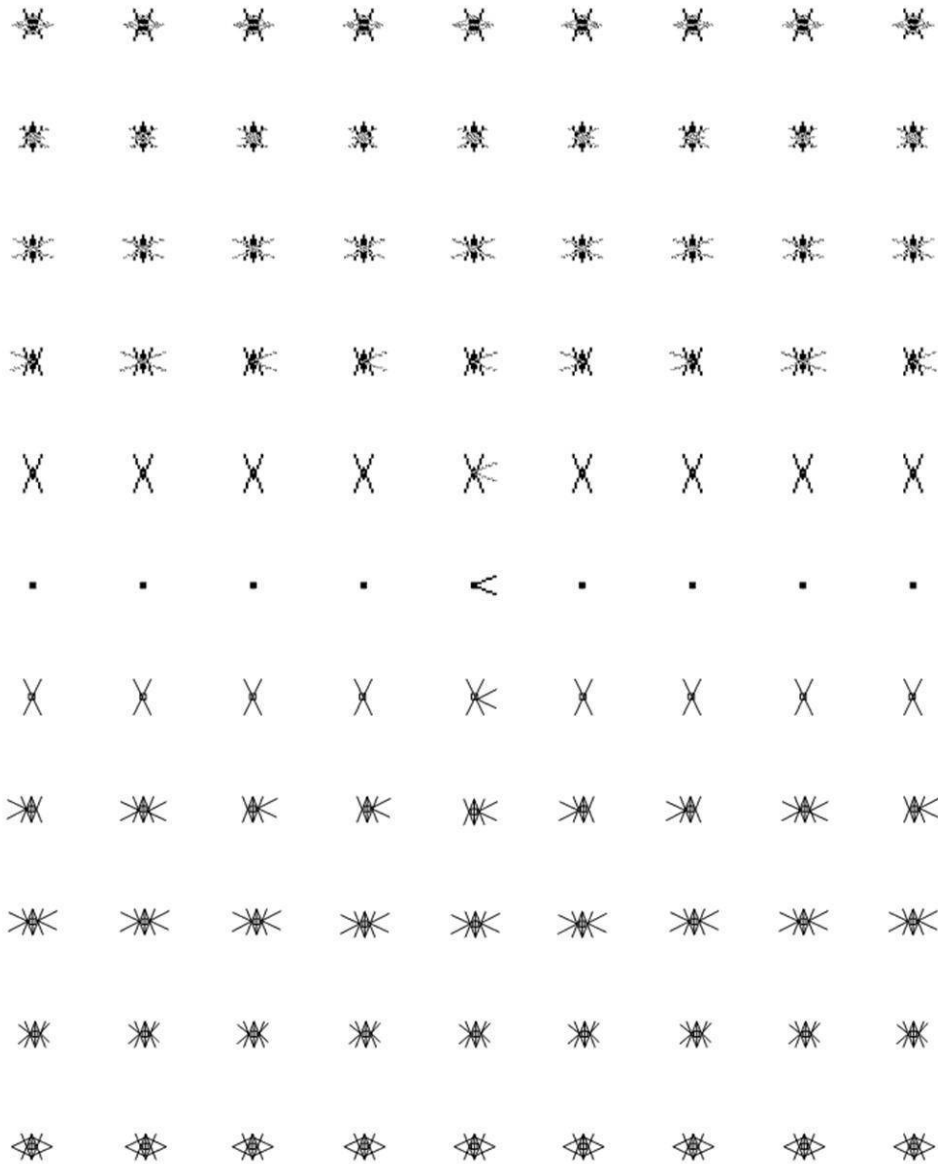


【図 2】

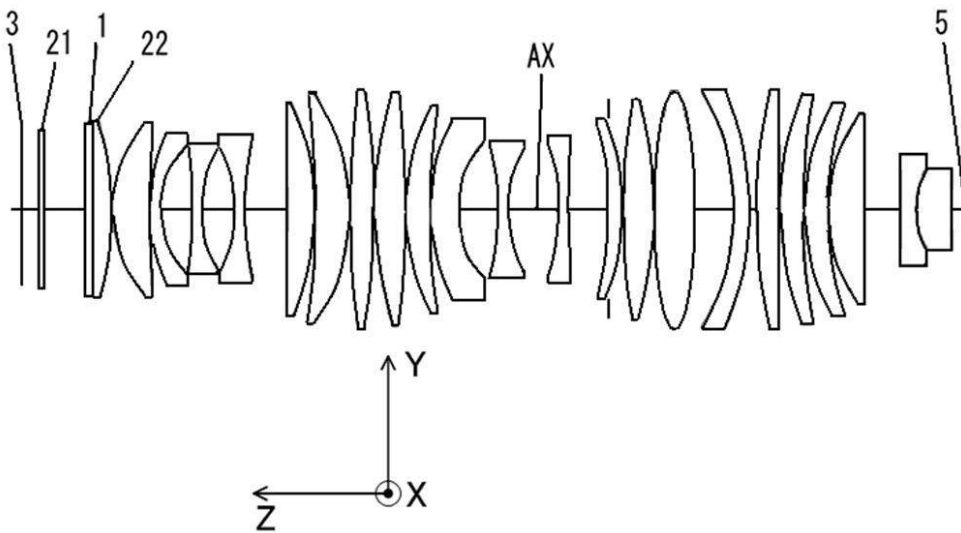




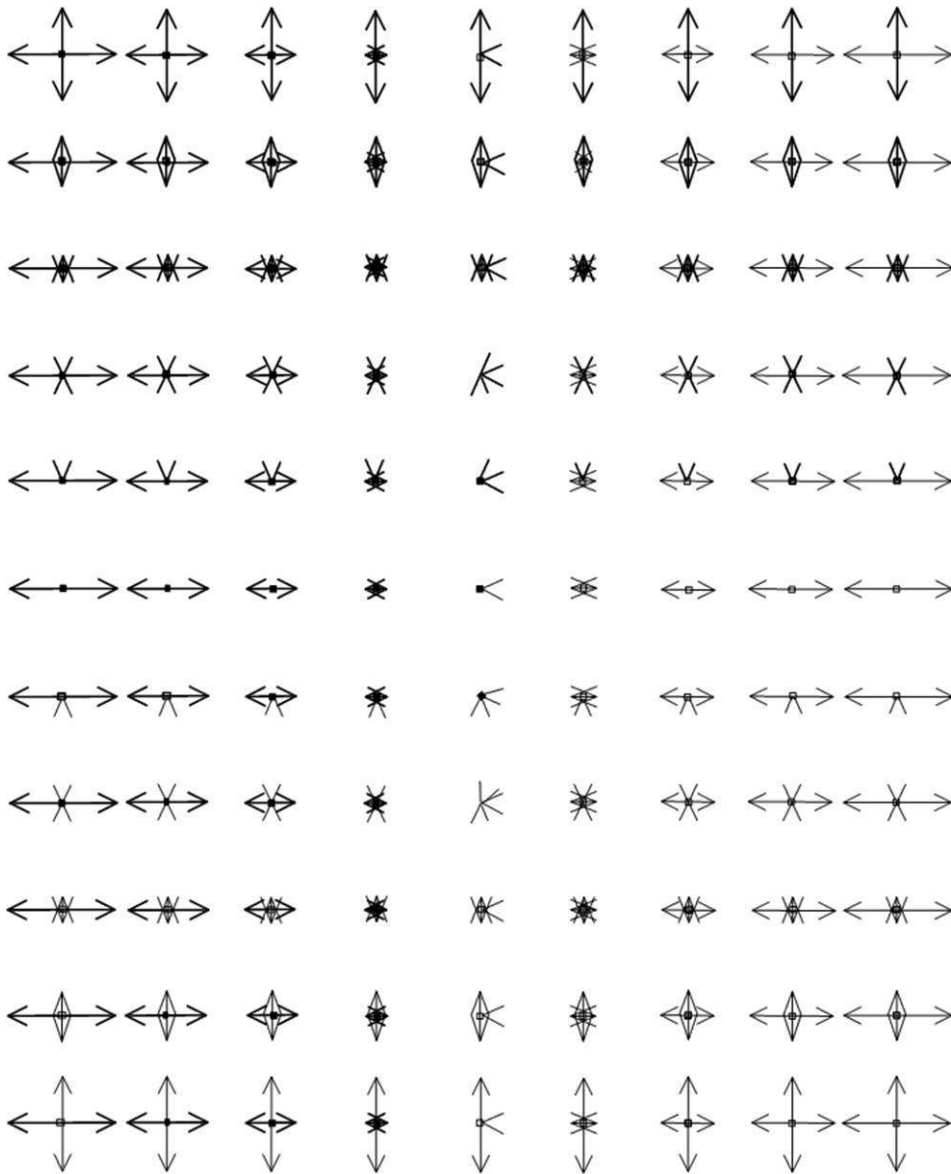

【図 7】



【図 8】



【図 13】



【図 14】

