

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年 7 月 15 日 (15.07.2004)

PCT

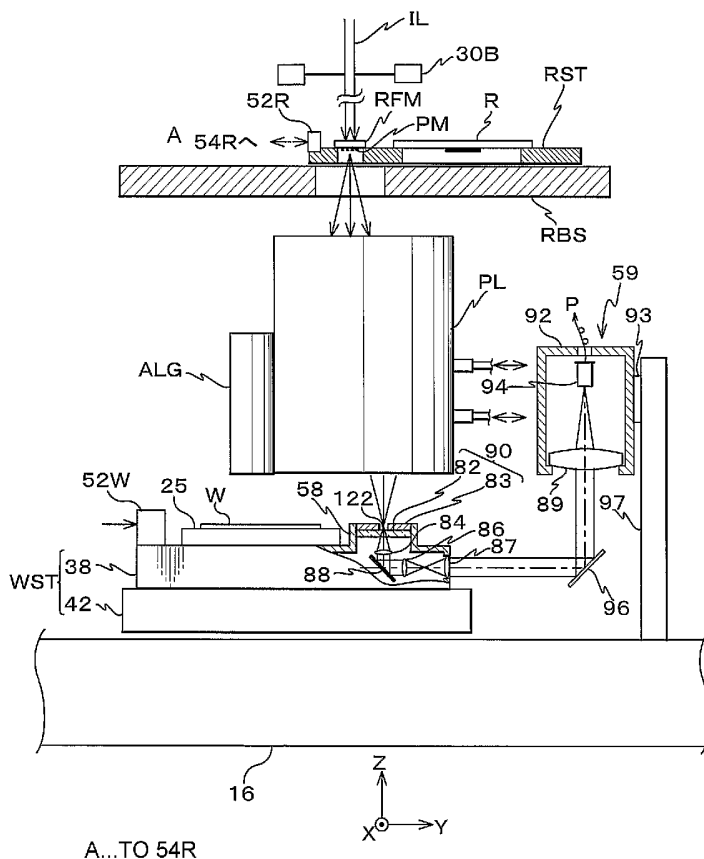
(10) 国際公開番号
WO 2004/059710 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01L 21/027, G03F 7/20, G01M 11/02 (72) 発明者; および
(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/016259 (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 萩原 恒幸 (HAGIWARA, Tsuneyuki) [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).
(22) 国際出願日: 2003 年 12 月 18 日 (18.12.2003)
(25) 国際出願の言語: 日本語 (74) 代理人: 立石 篤司 (TATEISHI, Atsushi); 〒194-0013 東京都町田市原町田5丁目4番20号 パセオビル5階 立石国際特許事務所 Tokyo (JP).
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ:
特願 2002-371258 2002 年 12 月 24 日 (24.12.2002) JP (81) 指定国(国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD,
(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).

/ 続葉有 /

(54) Title: ABERRATION MEASURING METHOD, EXPOSURE METHOD AND EXPOSURE SYSTEM

(54) 発明の名称: 収差計測方法、露光方法及び露光装置



(57) Abstract: A light intensity signal corresponding to a measuring mark (PM) is obtained by using the relation between the aberration quantity of even-function aberration that constitutes one of the imaging characteristics of a projection optical system (PL) and the magnitude of a spatial frequency component with a specified degree contained in a light intensity distribution corresponding to the spatial image of the measuring mark (PM), a specified degree contained in that light intensity signal, for example the magnitude of a first-degree spatial frequency component is measured, and the aberration quantity of even-function aberration in the projection optical system (PL) is calculated based on the measured magnitude.

(57) 要約: 投影光学系 (PL) の結像特性の1つである偶関数収差の収差量と計測マーク (PM) の空間像に対応する光強度分布に含まれる所定次数の空間周波数成分の大きさとの関係を利用して、計測マーク (PM) に対応する光強度信号を得て、その光強度信号に含まれる所定次数、例えば1次の空間周波数成分の大きさを計測し、計測されたその大きさに基づいて投影光学系 (PL) の偶関数収差の収差量を算

出する。



SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (BW, GH, GM, KE, LS,
MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, 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, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,

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。

明 細 書

収差計測方法、露光方法及び露光装置

技術分野

本発明は、収差計測方法、露光方法及び露光装置に係り、さらに詳しくは、投影光学系の収差を計測する収差計測方法、該収差計測方法を含む露光方法、及び投影光学系の収差を計測するのに好適な露光装置に関する。

背景技術

従来より、半導体素子又は液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に、フォトマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターンを、投影光学系を介して、表面にフォトレジスト等の感光剤が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板上に転写する投影露光装置、例えばステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパ）や、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置（いわゆるスキャニング・ステッパ）等が用いられている。

半導体素子等を製造する場合には、異なる回路パターンを基板上に幾層にも積み重ねて形成する必要があるため、上述のパターンを転写する投影露光装置には、回路パターンが描画されたレチクルを、基板上の各ショット領域に既に形成されたパターンに正確に重ね合わせて転写可能であることが求められている。かかる重ね合わせ転写を精度良く実行するため、その投影露光装置の投影光学系の結像特性が適切に調整されていることが必要不可欠となる。

投影光学系の結像特性を適切に調整するには、まず、その結像特性を正確に計測する必要がある。この結像特性の計測方法として、所定のパターンが形成された計測用マスクを用いて露光を行い、そのパターンの投影像が転写形成さ

れた基板を現像することによって得られるレジスト像を計測した計測結果に基づいて結像特性を算出する方法（以下、「焼き付け法」と呼ぶ）が、主として用いられている。これに対し、実際に基板を露光することなく、計測用マスクの計測マークが照明光により照明され投影光学系によって投影され形成された計測用パターンの空間像（投影像）を計測し、この計測結果に基づいてその投影光学系の結像特性を算出する方法（以下、「空間像計測法」と呼ぶ）も行われている。かかる空間像の計測及びこれに基づく投影光学系の結像特性の算出については、例えば、特開平10-170399号公報に開示されている。

また、複数の回折格子を照明し、投影光学系を介して得られる各回折格子の像強度を、投影光学系の複数のフォーカス位置にて計測し、その結果に基づいてその投影光学系の波面収差を求める方法が開示されている（例えば、特開2001-57337号公報及びこれに対応する米国特許第6,360,012号等参照）。

しかしながら、投影光学系の波面収差を計測する上述の方法には、以下に示す不都合があった。

- （１） 複数のフォーカス位置で像強度を計測する必要があり、計測に時間を要する。
- （２） 複数の回折格子の像強度をそれぞれ計測する必要があり、計測に時間を要する。
- （３） 照明系がコヒーレント照明系であることを前提としているため、照明系のコヒーレンスファクタが大きい場合に、計測精度が低下する。

本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、投影光学系の収差を短時間で精度良く計測することができる収差計測方法を提供することにある。

また、本発明の第2の目的は、マスクのパターンを基板上に精度良く転写することができる露光方法を提供することにある。

また、本発明の第 3 の目的は、マスクのパターンを基板上に精度良く転写することができる露光装置を提供することにある。

発明の開示

本発明は、第 1 の観点からすると、投影光学系の収差を計測する収差計測方法であって、前記投影光学系の有効視野内に周期パターンを含む少なくとも 1 つの計測マークを位置させた状態で、照明光により前記計測マークを照明して前記投影光学系により前記計測マークの空間像を形成し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で前記空間像に対して所定の計測用パターンを相対的に走査して該走査中に前記計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を行う工程と；前記光強度信号に含まれる所定次数の空間周波数成分の大きさに基づいて、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が偶関数で表される偶関数収差の収差量を算出する工程と；を含む第 1 の収差計測方法である。

一般に、投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数（これを $W(\rho, \theta)$ とする。 W は極座標形式で表されており、 ρ は投影光学系の射出瞳の半径方向の規格化された瞳位置であり、 θ は角度である。）は、その動径 ρ と角度 θ の変数が分離した形で表される完全直交系の動径多項式、例えば以下の式（1）に示されるフリンジツェルニケの多項式を用いて級数展開することが可能である。

$$W(\rho, \theta) = \sum_i Z_i \cdot f_i(\rho, \theta) \quad (1)$$

ここで、 Z_i は、投影光学系の諸収差の大きさを表す係数である。なお、一例として第 1 項～第 37 項までの f_i を例示すると、次の表 1 のようになる。

（表 1）

Z_1	1	Z_{19}	$(5\rho^5-4\rho^3) \cos 3\theta$
Z_2	$\rho \cos \theta$	Z_{20}	$(5\rho^5-4\rho^3) \sin 3\theta$
Z_3	$\rho \sin \theta$	Z_{21}	$(15\rho^6-20\rho^4+6\rho^2) \cos 2\theta$
Z_4	$2\rho^2-1$	Z_{22}	$(15\rho^6-20\rho^4+6\rho^2) \sin 2\theta$
Z_5	$\rho^2 \cos 2\theta$	Z_{23}	$(35\rho^7-60\rho^5+30\rho^3-4\rho) \cos \theta$
Z_6	$\rho^2 \sin 2\theta$	Z_{24}	$(35\rho^7-60\rho^5+30\rho^3-4\rho) \sin \theta$
Z_7	$(3\rho^3-2\rho) \cos \theta$	Z_{25}	$70\rho^8-140\rho^6+90\rho^4-20\rho^2+1$
Z_8	$(3\rho^3-2\rho) \sin \theta$	Z_{26}	$\rho^5 \cos 5\theta$
Z_9	$6\rho^4-6\rho^2+1$	Z_{27}	$\rho^5 \sin 5\theta$
Z_{10}	$\rho^3 \cos 3\theta$	Z_{28}	$(6\rho^6-5\rho^4) \cos 4\theta$
Z_{11}	$\rho^3 \sin 3\theta$	Z_{29}	$(6\rho^6-5\rho^4) \sin 4\theta$
Z_{12}	$(4\rho^4-3\rho^2) \cos 2\theta$	Z_{30}	$(21\rho^7-30\rho^5+10\rho^3) \cos 3\theta$
Z_{13}	$(4\rho^4-3\rho^2) \sin 2\theta$	Z_{31}	$(21\rho^7-30\rho^5+10\rho^3) \sin 3\theta$
Z_{14}	$(10\rho^5-12\rho^3+3\rho) \cos \theta$	Z_{32}	$(56\rho^8-105\rho^6+60\rho^4-10\rho^2) \cos 2\theta$
Z_{15}	$(10\rho^5-12\rho^3+3\rho) \sin \theta$	Z_{33}	$(56\rho^8-105\rho^6+60\rho^4-10\rho^2) \sin 2\theta$
Z_{16}	$20\rho^6-30\rho^4+12\rho^2-1$	Z_{34}	$(126\rho^9-280\rho^7+210\rho^5-60\rho^3+5\rho) \cos \theta$
Z_{17}	$\rho^4 \cos 4\theta$	Z_{35}	$(126\rho^9-280\rho^7+210\rho^5-60\rho^3+5\rho) \sin \theta$
Z_{18}	$\rho^4 \sin 4\theta$	Z_{36}	$252\rho^{10}-630\rho^8+560\rho^6-210\rho^4+30\rho^2-1$
		Z_{37}	$924\rho^{12}-2772\rho^{10}+3150\rho^8-1680\rho^6+420\rho^4-42\rho^2+1$

上記表 1 に示されるように、動径多項式の各項の $f_i(\rho, \theta)$ は、動径 (ρ) と角度 (θ) の変数が分離した形で表現される。このうち、動径 (ρ) で表される部分は動径関数と呼ばれる。

また、動径多項式の各項は、その動径関数が奇関数であるものと偶関数であるものへと分類することができる。例えば、表 1 に示される f_7 及び f_8 については、その動径関数がともに $3\rho^3 - 2\rho$ で、奇関数であり、 f_5 及び f_6 は、その動径関数がともに ρ^2 で、偶関数となっている。このように、その角度成分 $m\theta$ (m を 0 又は自然数とする) の m が奇数である場合には、その動径関数が奇関数となり、 m が 0 又は偶数である場合には、その動径関数が偶関数となる。このように、動径関数が奇関数で表される収差を奇関数収差と呼び、偶関数で表される収差を偶関数収差と呼ぶ。

ところで、一般的に、物面上のパターンの空間像を像面上に投影する投影光学系は、物面上のパターンから発せられた複数の回折光を像面上に集光させ、そのパターンの像を像面上に結像させる。しかしながら、それらの回折光が通過する投影光学系の射出瞳における位置はそれぞれ異なるため、投影光学系の

収差が存在する場合には、各回折光の結像状態がその収差の影響を受ける。特に、その投影光学系に偶関数収差が存在する場合、各次の回折光の結像位置は、投影光学系の光軸方向にそれぞれずれるようになる。この場合、その光軸方向に関する如何なる位置も、各次の回折光のうちのいずれかについては、最適な結像位置からずれた位置となる。ある回折光の最適な結像位置からずれた位置では、その回折光による光強度分布に含まれる空間周波数成分の大きさは、最適な結像位置でのその空間周波数成分の大きさよりも小さくなる。

本発明者は、投影光学系の結像特性の1つである偶関数収差の収差量とそのパターンの空間像に対応する光強度分布に含まれる所定次数の空間周波数成分の大きさとが、所定の関係にあることをつきとめた。本発明では、この関係を利用して、周期パターンを含む計測マークに対応する光強度信号を得て、その光強度信号に含まれる所定次数の空間周波数成分の大きさを計測し、計測された大きさに基づいて投影光学系の偶関数収差の収差量を算出する。このようにすれば、1つの周期パターンの空間像に対応する光強度信号（光強度分布）を、1回計測するだけで偶関数収差の収差量を計測することができるため、短時間で偶関数収差を求めることができる。

また、前述の偶関数収差の収差量とそのパターンの空間像に対応する光強度分布に含まれる所定次数の空間周波数成分の大きさととの関係は、部分コヒーレント照明系を前提として定められたものであるため、本発明を用いれば、照明系のコヒーレンスファクタが大きくても、精度良く偶関数収差を計測することが可能となる。

この場合において、前記算出する工程で算出された偶関数収差の収差量に基づいて前記投影光学系の結像特性を調整したうえで、前記空間像計測及び前記偶関数収差の収差量算出を再び実行し、今回算出された偶関数収差の収差量と前回算出された偶関数収差の収差量との比較結果に基づいて、前記偶関数収差の極性を決定する工程をさらに含むこととすることができる。

空間像計測により計測された光強度信号に含まれる所定次数の空間周波数成分の大きさは、偶関数収差の収差量に対してほぼ余弦関数状に変化する。余弦関数は偶関数であるため、前記空間像計測及び前記偶関数収差算出を1回実行しただけでは、偶関数収差の収差量の大きさを求めることはできるが、その収差量の極性まで求めることはできない。従って、本発明では、その収差量の極性を仮に決めておいて投影光学系の結像特性を調整し、その調整後に再び前記空間像計測及び前記偶関数収差算出を実行して偶関数収差の収差量を求め、その収差量と前回の収差量とを比較して、偶関数収差の収差量の極性を決定する。具体的には、今回計測された偶関数収差の収差量が前回計測された偶関数収差の収差量よりも小さくなっている場合には、その極性が所期のもの（仮に決めておいた極性）であったと判断し、大きくなっている場合にはその極性が所期のものとは反対であったと判断する。ここで、偶関数収差の収差量の「極性」とは、投影光学系の光軸方向に関するその収差の向きをいう。

また、本発明の第1の収差計測方法において、前記所定次数の空間周波数成分の大きさが最大となる前記投影光学系の光軸方向に関する位置から所定のオフセットを有する位置で、前記空間像計測を実行し、前記所定のオフセットを有する位置における前記偶関数収差の収差量の変化に対する前記所定次数の空間周波数成分の大きさの変化の特性を求め、その特性に基づいて前記偶関数収差の収差量の極性を決定することとすることができる。

これによれば、光強度信号に含まれる所定次数の空間周波数成分に着目し、その空間周波数成分の大きさが最大となる投影光学系の光軸方向に関する位置を、例えばシミュレーション等によって求めておく。そして、所定の計測用パターンを走査するその光軸方向の位置を、空間周波数成分の大きさが最大となる位置から所定のオフセットを有する位置に設定したうえで、空間像計測を実行し、さらに、投影光学系の結像特性を調整して偶関数収差の収差量を変化させながら空間像計測を実行し、偶関数収差の収差量の変化に対するその空間周

波数成分の大きさの変化の特性を求める。この特性からその偶関数収差の収差量の極性を容易に求めることができる。

この場合において、前記所定のオフセットとして、前記投影光学系の数学モデルを用いたシミュレーションによって算出された前記投影光学系の特性に基づいて決定されたオフセットを用いることとすることができる。

また、この場合において、前記所定次数の空間周波数成分の大きさがほぼ 0 となるように前記所定のオフセットを決定することとすることができる。

本発明は、第 2 の観点からすると、投影光学系の収差を計測する収差計測方法であって、前記投影光学系の有効視野内に周期パターンを含む少なくとも 1 つの計測マークを位置させた状態で、照明光により前記計測マークを照明して前記投影光学系により前記計測マークの空間像を形成し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で前記空間像に対して所定の計測用パターンを相対的に走査して該走査中に前記計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を、前記投影光学系の光軸方向における複数の位置について実行する工程と；前記光強度信号に含まれる基本周波数成分の大きさが最大となる位置とその所定次数の高調波成分の大きさが最大となる位置との前記投影光学系の光軸方向に関する位置ずれに基づいて、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が偶関数で表される偶関数収差の収差量を算出する工程と；を含む第 2 の収差計測方法である。

これによれば、前述のように、各次数の回折光の結像位置は、投影光学系の偶関数収差によって投影光学系の光軸方向にずれるようになる。そのため、投影光学系の光軸方向の位置について、上記の空間像計測により得られる光強度信号に含まれる基本周波数成分の大きさが最大となる位置と、所定次数の高調波成分の大きさが最大となる位置とに位置ずれが発生する。

本発明者は、投影光学系の結像特性に含まれる偶関数収差の収差量と前述の

位置ずれとが、所定の関係にあることをつきとめた。本発明では、この関係を利用して、その周期パターンを含む計測マークに対応する光強度信号を投影光学系の光軸方向に関する複数の位置で得て、その光強度信号に含まれる基本周波数成分の大きさが最大となる位置と、所定次数の空間周波数成分の大きさが最大となる位置のその光軸方向に関する位置ずれを計測し、計測された位置ずれに基づいて投影光学系の偶関数収差の収差量を算出する。このようにすれば、1つの周期パターンの空間像に対応する光強度信号を計測するだけで偶関数収差を計測することができるため、周期パターンの製造誤差に関わらず、短時間で精度良く偶関数収差を求めることができる。また、パターンの製造誤差のみならず、偶関数収差の1つであるフォーカス位置を検出するフォーカスセンサのゆらぎなどによる誤差も複数の周波数成分を同時に計測するために相殺されるので、短時間で精度良く偶関数収差を求めることができる。

また、この場合において、前記空間像を、周期パターンの周期が異なる複数の前記計測マークについて実行し、前記収差量の算出に際し、計測マーク毎に得られる前記光強度信号に含まれる基本周波数成分の大きさが最大となる位置とその高調波成分の大きさが最大となる位置との位置ずれと、前記各計測マークにおける位置ずれの変化に対応する複数の偶関数収差の感度とに基づいて、前記複数の偶関数収差の各々の収差量を算出することとすることができる。

前述のように、偶関数収差には、低次及び高次の球面収差等が含まれており、低次の球面収差と高次の球面収差とを分離する必要がある場合もある。周期が異なる周期パターンでは、0次回折光の進行方向と各次の回折光の進行方向とのなす角度の大きさはそれぞれ異なり、同じ次数の回折光の投影光学系の射出瞳上の通過位置も、それぞれの周期によって異なったものとなる。そのため、周期パターンの周期が異なれば、その周期パターン毎に得られる空間周波数成分の大きさが最大となる位置間の位置ずれと、各位置ずれの変化に対応する複数の偶関数収差（低次の球面収差及び高次の球面収差等）の感度とは当然異な

ったものとなる。従って、周期パターン毎に求められる位置ずれと、その周期パターン毎に異なる偶関数収差の感度とを用いて、例えばそれらに基づいて作成される連立方程式を解くことによって、それぞれの偶関数収差、例えば低次の球面収差の成分と高次の球面収差の成分とを抽出することが可能となる。

この場合、前記各計測マークにおける前記位置ずれと前記複数の偶関数収差の感度とに基づいて、最小二乗法を用いて、前記複数の偶関数収差の各々の収差量を算出することとすることができる。

本発明の第1、第2の収差計測方法の各々では、前記所定次数は、奇数であることとすることができる。

なお、投影光学系の光軸方向に関して、基本周波数成分の大きさが最大となる位置と、偶数次、例えば2次の高調波成分の大きさが最大となる位置との位置ずれに基づいて偶関数収差の収差量を求めることも可能であるが、特に、計測マークの周期パターンが、デューティが50%で、その像強度が矩形状に変化するようなパターンである場合には、その偶数次の回折光の強度はほぼ0となる。従って、奇数次の高調波成分を用いた方が、周期パターンの製造誤差や空間像を計測する計測器の入出力特性などの影響を受けにくくなる。また、このような場合、空間像に含まれる偶数次の高調波成分は、複数次数の空間周波数成分のビート成分となるため、例えば5次の高調波成分や7次の高調波成分の存在の有無によって、その大きさが変化し、不安定となる。そのため、奇数次の高調波成分を用いた方が、偶関数収差の収差量を精度良く算出することができる場合が多い。

また、本発明の第1、第2の収差計測方法の各々では、前記偶関数収差は球面収差であることとすることができる。

また、本発明の第1、第2の収差計測方法の各々では、前記計測用パターンは、ピンホールパターンであってもよい。

本発明は、第3の観点からすると、投影光学系の収差を計測する収差計測方

法であって、周期が異なる複数の周期パターンがそれらの周期方向と垂直な方向に並列に配置された計測マークを、前記投影光学系の有効視野内に位置させた状態で、照明光により前記計測マークを照明して前記投影光学系を介して形成された前記計測マークの空間像に対し、前記垂直な方向における前記空間像の長さ以上の長さを前記垂直な方向に有する計測用パターンを相対的に走査させながら、前記計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を、前記投影光学系の光軸方向に関する少なくとも1つの位置について実行する工程と；前記光強度信号に含まれる前記各周期パターンに対応する空間周波数成分の位相及び大きさの少なくとも一方に基づいて、前記投影光学系の収差量を算出する工程と；を含む第3の収差計測方法である。

これによれば、並列に配置された周期が互いに異なる複数の周期パターンを含む計測マークの空間像に対して走査させる計測用パターンの長さを、周期パターンの周期方向に垂直な方向における計測マークの空間像の長さ以上としている。従って、この計測用パターンを用いれば、1回の走査で全ての周期パターンを介した照明光の光強度信号を得ることができるようになる。そのため、投影光学系の収差の計測に要する時間を短縮することができるようになる。

この場合において、前記複数の周期パターンでは、最小周期に対する最大周期の比が3倍以下であることとすることができる。かかる場合には、最大周期の周期パターンに対応する3次の高調波成分と、最小周期の周期パターンに対応する基本周波数成分とが混在して、投影光学系の収差の計測精度が低下するのを防止することができる。

本発明の第3の収差計測方法では、前記収差量の算出に際し、前記光強度信号に含まれる前記各周期パターンに対応する空間周波数成分同士の位相差に基づいて、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が奇関数で表される奇関数収差

の収差量を算出することとすることができる。

周期パターンの周期に応じ、そのパターンにより発生する回折光の回折角度はそれぞれ異なり、その回折光の射出瞳上の通過位置が、周期パターン毎に異なったものとなる。そのため、それぞれの周期パターンに対応する空間周波数成分の位相はずれるようになる（横ずれ）。従って、計測された光強度信号に含まれる各周期パターンにそれぞれ対応する空間周波数成分の間の位相差を計測すれば、投影光学系の奇関数収差の収差量を求めることができる。

この場合において、前記計測マークに配置された少なくとも3つの周期パターンから選択される一対の周期パターンの組合せにおいてそれぞれ算出される空間周波数成分同士の位相差と、前記各位相差の変化に対応する複数の奇関数収差の感度とに基づいて、前記複数の奇関数収差の各々の収差量を算出することとすることができる。かかる場合には、複数の位相差の変化に対する複数の奇関数収差の感度に基づいて、各奇関数収差の分離が可能となる。

この場合において、前記各位相差と前記複数の奇関数収差の感度とに基づいて、最小二乗法を用いて、前記複数の奇関数収差の各々の収差量を求めることとすることができる。

また、本発明の第3の収差計測方法では、前記複数の周期パターンには、基本周期を有する第1周期パターンと、前記基本周期とは異なる所定周期を有する少なくとも一対の第2周期パターンとが含まれており、前記一対の第2周期パターンは、前記第1周期パターンを挟んで、互いの前記周期方向の位相差がほぼ0となるように配設されていることとすることができる。

これによれば、基本周期を有する第1周期パターンを挟むように、同じ周期を有する一対の第2周期パターンが、周期方向の互いの位相差がほぼ0となるように配設されている。このようにすれば、それらの空間周波数成分の位相差に基づいて奇関数収差の収差量を計測する際に、それらの周期パターンの周期方向と計測用パターンの走査方向との誤差である回転誤差をキャンセルして、

奇関数収差を精度良く計測することができる。

また、本発明の第3の収差計測方法では、前記空間像計測を、前記投影光学系の光軸方向における複数の位置についてそれぞれ実行し、前記光強度信号に含まれる前記複数の周期パターンのうちの第1周期パターンの周期に対応する空間周波数成分の大きさが最大となる位置と前記複数の周期パターンのうちの第2周期パターンの周期に対応する空間周波数成分の大きさが最大となる位置との前記投影光学系の光軸方向に関する位置ずれに基づいて、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が偶関数で表される偶関数収差の収差量を算出することとすることができる。

これによれば、周期が異なる周期パターンでは、回折光の回折角度がそれぞれ異なるため、その回折光の射出瞳上の通過位置は、周期パターン毎に異なったものとなる。従って、それぞれの周期パターンによって、各次回折光の結像位置が、投影光学系の光軸方向にずれるようになる。すなわち、周期パターンによって、その空間周波数成分の大きさが最大となる投影光学系の光軸方向の位置がずれる。そのため、周期パターン間におけるその位置ずれの大きさを計測すれば、偶関数収差の収差量を求めることができるようになる。

この場合において、前記周期パターン毎に得られる前記光強度信号に含まれる基本周波数成分の大きさが最大となる位置とその奇数次の高調波成分の大きさが最大となる位置との位置ずれと、前記各周期パターンにおける前記位置ずれの変化に対応する複数の偶関数収差の感度とに基づいて、前記複数の偶関数収差の各々の収差量を算出することとすることができる。かかる場合には、周期パターンの周期の変化に対する偶関数収差との感度に基づいて、例えばそれらに基づいて連立一次方程式を作成し、それを解けば、全体の偶関数収差の収差量を、複数の偶関数収差成分に分離することが可能となる。

この場合において、前記各周期パターンにおける前記位置ずれと前記複数の

偶関数収差の感度とに基づいて、最小二乗法を用いて、前記複数の偶関数収差の各々の収差量を算出することとすることができる。

また、本発明の第 1、第 2、第 3 の収差計測方法の各々では、前記動径多項式は、フリンジツェルニケ多項式であり、前記計測用パターンは、スリットパターンであることとすることができる。

本発明は、第 4 の観点からすると、投影光学系の収差を計測する収差計測方法であって、前記投影光学系の有効視野内に、線幅が異なる複数の周期パターンがそれらの周期方向に混在するように配置された少なくとも 1 つの計測マークを位置させた状態で、照明光により前記計測マークを照明して前記投影光学系により前記計測マークの空間像を形成し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で前記空間像に対して、所定の計測用パターンを相対的に走査し、該走査中に前記計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を行う工程と；前記光強度信号に含まれる、前記各周期パターンに対応する空間周波数成分の位相及び大きさの少なくとも一方に基づいて、前記投影光学系の収差量を算出する工程と；を含む第 4 の収差計測方法である。

これによれば、計測マークが、線幅の異なる複数の周期パターンを含むので、その空間像の中に、それぞれの周期パターンに対応する大きな空間周波数成分が含まれるようになる。そのため、投影光学系の収差量の指標となるそれらの成分の大きさが大きくなるので、求める収差量の計測値の S/N 比を向上させることができるようになり、高精度に収差量を計測することができるようになる。また、計測対象となる複数の空間周波数成分の大きさを均一化させることができるようになるので、光強度信号を計測するための検出装置の非線形性の影響を低減することができるようになり、高精度に収差量を計測することができるようになる。

この場合において、前記各周期パターンは、互いに周期が同一でデューティ

比が異なるパターンであることとすることができる。

この場合において、前記各周期パターンの線幅は、前記周期の自然数分の一であることとすることができる。

この場合において、前記計測マークでは、前記複数の周期パターンとして、光透過部と遮光部との比が1 : 1である第1周期パターンと、光透過部と遮光部との比が1 : m (mは奇数) の第2周期パターンとが配置されており、前記第1周期パターンの遮光部であって、前記第1周期パターンのみから成る計測マークを用いて前記空間像計測を実行したときに得られる光強度信号に含まれる $(m+1)/2$ 次の空間周波数成分の極性が負である部分に対応する部分に、前記第2周期パターンの光透過部が形成されていることとすることができる。

このようにすれば、第1周期パターンに対応するその高調波成分と、第2周期パターンに対応する基本周波数成分とがその周期方向にほぼ完全に一致ようになり、結果的に、第1周期パターンに対応する高調波成分が強調されるようになる。したがって、その高調波成分のS/N比を向上させることができ、結果的に、投影光学系の収差を精度良く検出することができるようになる。また、基本波と高調波の同時測定は、計測用パターンの位置を計測するための干渉計のゆらぎを相殺することができ、有利である。また、計測用パターンがピンホールパターンのような、複数のパターンを併置不可である場合には特に有用である。

また、本発明の第4の収差計測方法において、前記計測マークでは、前記複数の周期パターンとして、光透過部と遮光部との比が1 : 1である第1周期パターンと、光透過部と遮光部との比が1 : m (mは奇数) の第2周期パターンとが配置されており、前記第1周期パターンの光透過部であって、前記第1周期パターンのみから成る計測マークを用いて前記空間像計測を実行したときに得られる光強度信号に含まれる $(m+1)/2$ 次の空間周波数成分の極性が正である部分に対応する部分に、前記第2周期パターンの遮光部が形成されてい

ることとすることができる。

また、本発明の第1～第4の収差計測方法の各々では、前記計測用パターンとして、互いに長手方向が交差する複数のスリットパターンを含むこととすることができる。

この場合において、前記計測用パターンとして、ピンホールパターンをさらに含むこととすることができる。

この場合において、前記周期方向が互いに交差する複数の前記計測マークを有することとすることができる。

これによれば、計測時間を短縮する場合には、スリットパターンを計測用パターンとして選択すればよく、投影光学系の収差の計測精度をより高めようとする場合には、ピンホールパターンを計測用パターンとして選択し、周期方向が互いに交差する複数の計測マークを用いて、計測マーク毎に投影光学系の収差の計測を行うようにすればよい。すなわち、本発明では、要求される計測時間や計測精度に応じた適切な計測を実行することができる。

また、この場合において、前記スリットパターンと前記ピンホールパターンとは、前記空間像に対して前記スリットパターンを相対的に走査する際に、前記ピンホールパターンが前記空間像に干渉することなく、かつ前記空間像に対して前記ピンホールパターンを相対走査する際に、前記スリットパターンが前記空間像に干渉することのない位置関係となるように配置されていることとすることができる。

これによれば、オペレータがいずれの計測用パターンを選択しても、計測していない方の計測用パターンを通過した光の影響を受けることなく、高精度な収差計測を行うことが可能となる。特に、計測用パターンを通過した光を検出する光センサが1つである場合には、この効果は顕著に現れる。

本発明は、第5の観点からすると、投影光学系の収差を計測する収差計測方法であって、前記投影光学系の有効視野内に周期パターンを含む少なくとも1

つの計測マークを位置させた状態で、照明光により前記計測マークを照明して前記投影光学系により前記計測マークの空間像を形成し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で前記空間像に対して所定の計測用パターンを相対的に走査して該走査中に前記計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を、前記投影光学系の第1の収差を複数の収差量に設定したときの各々について実行する工程と；前記第1の収差を所定量だけ変化させた場合の、前記光強度信号に含まれる所定周波数成分の大きさが最大となる位置の変化量を評価量として少なくとも1つの第2の収差の収差量を算出する工程と；を含む第5の収差計測方法である。

これによれば、計測用パターンを投影光学系の光軸方向に関する複数の位置に位置決めする必要がないため、例えば、その位置決めを行うための検出器（例えばフォーカスセンサ）のゆらぎや非線形性等の計測精度による影響を受けることなく、収差計測を高精度、短時間に実行することができる。

この場合において、前記第2の収差が複数ある場合には、前記空間像計測を、周期パターンの周期が異なる複数の前記計測マークについて実行し、前記収差量の算出に際し、前記計測マーク毎に得られる、前記第1の収差を所定量だけ変化させた場合の前記光強度信号に含まれる所定周波数成分の大きさが最大となる位置の変化量と、前記各計測マークにおける複数の第2の収差各々の変化に対する第1の収差換算の前記所定周波数成分の大きさが最大となる位置の変化の割合とに基づいて、前記複数の第2の収差の各々の収差量を算出することとしてもよいし、前記第2の収差が複数ある場合には、前記空間像計測を、複数の光学条件の下で実行し、前記収差量の算出に際し、前記光学条件毎に得られる、前記第1の収差を所定量だけ変化させた場合の前記光強度信号に含まれる所定周波数成分の大きさが最大となる位置の変化量と、前記各光学条件における複数の第2の収差各々の変化に対する第1の収差換算の前記所定周波数成

分の大きさが最大となる位置の変化の割合とに基づいて、前記複数の第2の収差の各々の収差量を算出することとしてもよい。

本発明の第5の収差計測方法では、前記第1の収差及び前記第2の収差はともに、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が偶関数で表される偶関数収差であって、前記第1の収差は前記第2の収差よりも低次の項であることとすることができ、かかる場合には、高次の偶関数収差を高精度、かつ短時間に計測することができる。

本発明の第1～第5の収差計測方法の各々では、前記光強度信号に含まれる空間周波数成分の振幅を、その大きさの評価量とすることとしてもよいし、前記光強度信号に含まれる空間周波数成分のコントラストを、その大きさの評価量とすることとしてもよい。

ここで、コントラストとは、その空間周波数成分の振幅を、光強度信号に含まれる直流成分で除したものである。このコントラストを評価量とすることによって、例えば照明光の光源の光量変化に対する収差計測への影響を緩和することができるようになる。

本発明の第1～第5の収差計測方法の各々では、前記計測用パターンは、前記相対走査方向に関してその幅が前記空間像の幅と同程度以下であることとすることができる。

本発明は、第6の観点からすると、マスクのパターンを、投影光学系を介して感光物体上に転写する露光方法であって、本発明の第1ないし第5の収差計測方法のいずれかによって、前記投影光学系の収差を計測する工程と；前記計測された収差に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する工程と；前記調整後の前記投影光学系を介して前記パターンを前記感光物体上に転写する工程と；を含む露光方法である。

これによれば、本発明の収差計測方法によって、投影光学系の収差を精度良

く計測することができ、その計測された収差に基づいて、投影光学系の結像特性を調整することができるため、結像特性が適切な状態に調整された投影光学系を介してマスクのパターンを感光物体に精度良く転写することが可能となる。

本発明は、第7の観点からすると、マスクのパターンを、投影光学系を介して感光物体上に転写する露光装置であって、周期パターンを含む少なくとも1つの計測マークが形成されたマーク形成部材と；前記マーク形成部材を照明光により照明する照明ユニットと；前記照明ユニットによる照明により前記投影光学系を介して形成された前記計測マークの空間像に対し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で、所定の計測用パターンを相対的に走査し、該走査中に前記所定の計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測装置と；前記光強度信号に含まれる所定次数の空間周波数成分の大きさに基づいて、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が偶関数で表される偶関数収差の収差量を算出する処理装置と；前記計測された収差量に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する調整装置と；を備える第1の露光装置である。

これによれば、空間像計測装置によって計測された光強度信号に含まれる所定次数の基本周波数成分との大きさに基づいて、投影光学系の偶関数収差が処理装置によって精度良く算出される。さらに、算出された偶関数収差に基づいて、投影光学系の結像特性が調整装置によって調整され、結像特性が適切な状態に調整される。従って、この結像特性が調整された投影光学系を介してマスクのパターンを感光物体上に精度良く転写することが可能となる。

本発明は、第8の観点からすると、マスクのパターンを、投影光学系を介して感光物体上に転写する露光装置であって、周期パターンを含む少なくとも1つの計測マークが形成されたマーク形成部材と；前記マーク形成部材を照明光により照明する照明ユニットと；前記照明ユニットによる照明により前記投影

光学系を介して形成された前記計測マークの空間像に対し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で、所定の計測用パターンを相対的に走査し、該走査中に前記所定の計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を、前記投影光学系の光軸方向に関する複数の位置について実行する空間像計測装置と；前記光強度信号に含まれる基本周波数成分の大きさが最大となる位置とその所定次数の高調波成分の大きさが最大となる位置との前記投影光学系の光軸方向に関する位置ずれに基づいて、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が偶関数で表される偶関数収差の収差量を算出する処理装置と；前記算出された収差量に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する調整装置と；を備える第2の露光装置である。

これによれば、空間像計測装置によって計測された光強度信号から、基本周波数成分の大きさが最大となる位置と所定次数の空間周波数成分の大きさが最大となる位置との投影光学系の光軸方向に関する位置ずれに基づいて、投影光学系の偶関数収差が処理装置によって精度良く算出される。さらに、計測された偶関数収差に基づいて、投影光学系の結像特性が調整装置によって調整され、結像特性が適切な状態に調整される。従って、この結像特性が調整された投影光学系を介してマスクのパターンを感光物体上に精度良く転写することが可能となる。

本発明は、第9の観点からすると、マスクのパターンを、投影光学系を介して感光物体上に転写する露光装置であって、周期が異なる複数の周期パターンがそれらの周期方向と垂直な方向に並列に配置されている少なくとも1つの計測マークが形成されたマーク形成部材と；前記マーク形成部材を照明光により照明する照明ユニットと；前記照明ユニットによる照明により前記投影光学系を介して形成された前記計測マークの空間像に対し、前記投影光学系の光軸方

向に関する像面近傍の位置で、前記垂直な方向における前記空間像の長さ以上の長さを前記垂直な方向に有する計測用パターンを相対的に走査し、該走査中に前記計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測装置と；前記光強度信号に含まれる前記各周期パターンの周期に対応する奇数次の空間周波数成分の位相差及び大きさの少なくとも一方に基づいて、前記投影光学系の収差量を算出する処理装置と；前記計測された収差量に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する調整装置と；を備える第3の露光装置である。

これによれば、計測用パターンの長さを、周期が異なる複数の周期パターンがそれらの周期方向と垂直な方向に並列に配置されている計測マークの空間像のその垂直な方向の長さ以上としているため、この計測用パターンを用いれば、1回の走査で、すべての周期パターンを介した照明光の光強度信号を得ることができる。このようにすれば、空間像計測装置による1回の空間像計測により、処理装置によって投影光学系の収差を計測することができるようになるので、投影光学系の収差の計測に要する時間を短縮することができるようになる。

本発明は、第10の観点からすると、マスクのパターンを、投影光学系を介して感光物体上に転写する露光装置であって、線幅が異なる複数の周期パターンがそれらの周期方向に混在するように配置された少なくとも1つの計測マークが形成されたマーク形成部材と；前記マーク形成部材を照明光により照明する照明ユニットと；前記照明ユニットによる照明により前記投影光学系を介して形成された前記計測マークの空間像に対し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で、所定の計測用パターンを相対的に走査し、該走査中に前記所定の計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測装置と；前記光強度信号に含まれる、前記各周期パターンに対応する空間周波数成分の位相及び大きさの少なくとも一方に基づいて、前記投影光学系の収差量を算出する処理装置と；前記算

出された収差量に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する調整装置と；を備える第4の露光装置である。

これによれば、計測マークが、線幅の異なる複数の周期パターンを含むので、その空間像の中に、それぞれの周期パターンに対応する大きな空間周波数成分が含まれるようになる。そのため、投影光学系の収差量の指標となるそれらの成分の大きさが大きくなるので、求める収差量の計測値のS/N比を向上させることができるようになり、高精度に収差量を計測することができるようになる。また、計測対象となる複数の空間周波数成分の大きさを均一化させることができるようになるので、光強度信号を計測するための検出装置の非線形性の影響を低減することができるようになり、高精度に投影光学系の収差量を計測することができるようになる。そして、精度良く計測された収差に基づいて、投影光学系の結像特性が調整装置によって調整されるので、結像特性が適切な状態に調整される。従って、この結像特性が調整された投影光学系を介してマスクのパターンを感光物体に精度良く転写することが可能となる。

本発明は、第11の観点からすると、マスクのパターンを、投影光学系を介して感光物体上に転写する露光装置であって、周期パターンを含む少なくとも1つの計測マークが形成されたマーク形成部材と；前記マーク形成部材を照明光により照明する照明ユニットと；前記照明ユニットによる照明により前記投影光学系を介して形成された前記計測マークの空間像に対し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で、所定の計測用パターンを相対的に走査し、該走査中に前記所定の計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を、前記投影光学系の第1の収差を複数の収差量に設定したときの各々について実行する空間像計測装置と；前記第1の収差を所定量だけ変化させた場合の、前記光強度信号に含まれる所定周波数成分の大きさが最大となる位置の変化量を評価量として少なくとも1つの第2の収差の収差量を算出する処理装置と；前記算出された

収差量に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する調整装置と；を備える第5の露光装置である。

これによれば、計測用パターンを投影光学系の光軸方向に関する複数の位置に位置決めする必要がないため、例えば、その位置決めを行うための検出器（例えばフォーカスセンサ）のゆらぎや非線形性等の計測精度による影響を受けることなく、収差計測を、空間像計測装置及び処理装置によって、高精度、短時間に実行することができる。そして、精度良く計測された収差に基づいて、投影光学系の結像特性が調整装置によって調整されるので、結像特性が適切な状態に調整される。従って、この結像特性が調整された投影光学系を介してマスクのパターンを感光物体に精度良く転写することが可能となる。

本発明の第1ないし第5の露光装置の各々では、前記パターンが形成されたマスクを保持するマスクステージを更に備え、前記マーク形成部材は、前記マスクステージ上に配置された基準マーク板であることとすることができる。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の第1の実施形態に係る露光装置の概略的な構成を示す図である。

図2は、図1のウエハステージ近傍を拡大し、Zチルトステージの駆動装置とともに示す図である。

図3は、図1の空間像計測装置の内部構成を示す図である。

図4Aは、スリット板上のスリットを示す図であり、図4Bは、空間像計測の際に得られる光電変換信号の一例を示す図である。

図5は、実際のスリット板上のスリットの配置を示す図である。

図6は、計測される光強度分布の一例を示す図である。

図7は、投影光学系のフォーカス位置に対する所定次数の空間周波数成分のコントラストカーブの一例を示す図である。

図 8 A は、低次球面収差の収差量の変化と、1 次の基本周波数成分のコントラストの変化との関係の一例を示す図であり、図 8 B は、高次球面収差の収差量と 1 次の基本周波数成分のコントラストの変化との関係を示す図である。

図 9 A は、各次数の空間周波数成分のコントラストカーブの一例を示す図であり、図 9 B は、フォーカス差と偶関数収差の収差量との関係の一例を示す図である。

図 10 は、規格化された瞳位置に対する偶関数成分の各収差による位相遅れレベルの変化を示す図である。

図 11 は、 Z_9 による振幅の調整を説明するための図である。

図 12 は、 Z_9 を変化させたときの、空間像強度の基本周波数成分の振幅をシミュレーションで計算したときの計算結果を示す図である。

図 13 は、 Z_{16} の収差量と Z_9 換算でのピーク位置との相関関係を示す図である。

図 14 A は、本発明の第 3 の実施形態に係るレチクルマーク板 R F M' 上の計測マーク群の一例を示す図であり、図 14 B は、空間像計測を行う際のスリット板の一例を示す図である。

図 15 A は、周期が異なる 2 つの L / S パターンにおけるコントラストカーブの一例を示す図であり、図 15 B は、フォーカス差と偶関数収差の収差量との関係の一例を示す図である。

図 16 A は、レチクルマーク板 R F M'' の一例を示す図であり、図 16 B は、レチクルマーク板 R F M'' の他の例を示す図であり、図 16 C は、レチクルマーク板 R F M'' の他の例を示す図である。

図 17 A は、レチクルマーク板 R F M'' の他の例を示す図であり、図 17 B は、レチクルマーク板 R F M'' の他の例を示す図である。

図 18 は、本発明の第 4 の実施形態における空間像のシミュレーションの解析結果を示すグラフである。

図 19 は、2 次高調波強調マークの設計方法を示すグラフである。

図 20 は、3 次高調波強調マークの設計方法を示すグラフである。

図 21 は、4 次高調波強調マークの設計方法を示すグラフである。

図 22 は、5 次高調波強調マークの設計方法を示すグラフである。

図 23 は、6 次高調波強調マークの設計方法を示すグラフである。

図 24 は、2 次高調波強調マークの空間像シミュレーションの結果を示すグラフである。

図 25 は、3 次高調波強調マークの空間像シミュレーションの結果を示すグラフである。

図 26 A は、本発明の第 4 の実施形態に用いられる計測用パターンを示す図であり、図 26 B は、スリットパターンを用いて空間像計測を行う際の様子を示す図である。

図 27 は、ピンホールパターンを用いて空間像計測を行う際の様子を示す図である。

図 28 は、フォト・マルチプライヤ・チューブの入出力特性を示すグラフである。

発明を実施するための最良の形態

《第 1 の実施形態》

以下、本発明の第 1 の実施形態を図 1 ～図 8 B に基づいて説明する。

図 1 には、本発明の第 1 の実施形態に係る露光装置 10 の概略的な構成が示されている。この露光装置 10 は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置、すなわちいわゆるスキャニング・ステッパである。

この露光装置 10 は、光源 14 及び照明光学系 12 を含む照明系（照明ユニット）、マスクとしてのレチクル R を保持するマスクステージとしてのレチクルステージ R S T、投影光学系 P L、感光物体としてのウエハ W を保持し図 1 に

示されるX軸及びY軸を含むXY平面内を自在に移動可能なウエハステージWST、及びこれらを制御する制御系等を備えている。また、上記各構成部分のうち、光源14及び制御系以外の部分は、実際には、内部の温度、圧力等の環境条件が高精度に制御され一定に維持されている不図示の環境制御チャンバ（エンバイロンメンタル・チャンバ）内に收容されている。

前記光源14としては、ここでは、ArFエキシマレーザ光（波長193nm）を出力するエキシマレーザ光源が用いられている。この光源14は、実際には、上記環境制御チャンバが設置されるクリーンルームとは別のクリーン度の低いサービスルーム等に設置されており、不図示の送光光学系を介して環境制御チャンバ内部の照明光学系12に接続されている。光源14は、主制御装置50によってそのレーザ発光のオン・オフや、中心波長、スペクトル半値幅、繰り返し周波数などが制御される。なお、光源として、KrFエキシマレーザ（発振波長248nm）の光源等を用いることもできる。

前記照明光学系12は、ビーム整形光学系18、オプティカルインテグレータ（ホモジナイザ）としてのフライアイレンズ22、照明系開口絞り板24、第1リレーレンズ28A及び第2リレーレンズ28Bから成るリレー光学系、固定レチクルブラインド30A、可動レチクルブラインド30B、ミラーM、及びコンデンサレンズ32等を備えている。なお、オプティカルインテグレータとして、ロッド型（内面反射型）インテグレータ、あるいは回折光学素子等を用いてもよい。

前記ビーム整形光学系18内には、光源14でパルス発光されたレーザビームLBの断面形状を、該レーザビームLBの光路後方に設けられたフライアイレンズ22に効率良く入射するように整形するための、例えばシリンダレンズやビームエキスパンダ（いずれも図示省略）等が含まれている。

前記フライアイレンズ22は、ビーム整形光学系18から出たレーザビームLBの光路上に配置され、レチクルRを均一な照度分布で照明するために多数

の点光源（光源像）からなる面光源、即ち２次光源を形成する。この２次光源から射出されるレーザビームを、以下においては、「照明光ⅠＬ」と呼ぶものとする。

フライアイレンズ２２の射出側焦点面の近傍には、円板状部材から成る照明系開口絞り板２４が配置されている。この照明系開口絞り板２４には、ほぼ等角度間隔で、例えば通常の円形開口より成る開口絞り（通常絞り）、小さな円形開口より成りコヒーレンスファクタである σ 値を小さくするための開口絞り（小 σ 絞り）、輪帯照明用の輪帯状の開口絞り（輪帯絞り）、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置して成る変形開口絞り（例えばSHRINCとも呼ばれる四重極照明絞り）等が配置されている。この照明系開口絞り板２４は、主制御装置５０により制御されるモータ等の駆動装置４０により回転されるようになっており、この回転動作により、いずれかの開口絞りが照明光ⅠＬの光路上に選択的に設定される。

なお、この開口絞り板２４の代わりに、あるいはそれと組み合わせて、例えば照明光学系１２内で光源１４とオプティカルインテグレータ２２との間に配置される光学ユニット（成形光学系）を用いて、照明光学系１２の瞳面上での照明光ⅠＬの光量分布（２次光源の大きさや形状）、即ちレチクルＲの照明条件を変更し、その変更時における光量損失を抑える（照明光の利用効率を向上させる）ようにしても良い。この成形光学系は、例えば照明光学系１２内に交換可能に配置され、かつ照明光学系１２の瞳面上で形状、大きさ及び位置の少なくとも１つが異なる領域にそれぞれ回折光を分布させる複数の回折光学素子と、照明光学系１２の光軸ＡＸと平行な方向に関する間隔が可変な複数のプリズム（例えば円錐型、Ｖ型あるいは角錐型など）と、ズーム光学系（アフォーカル系）とを含むものである。また、本第１の実施形態ではオプティカルインテグレータ２２としてフライアイレンズを用いるものとしているので、不図示のレンズ系によってフライアイレンズにほぼ平行な光束を入射させているが、内面

反射型インテグレータ（ロッド・インテグレータ）を用いる場合には、不図示のレンズ系によって照明光 I L（回折光）を集光して内面反射型インテグレータに入射させることになる。このとき、不図示のレンズ系による照明光 I L の集光点は内面反射型インテグレータの入射面からずらしておくが良い。

照明系開口絞り板 24 から出た照明光 I L の光路上に、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ 26 が配置され、更にこの後方の光路上に、レチクルブラインド 30 A、30 B を介在させてリレー光学系（28 A, 28 B）が配置されている。

固定レチクルブラインド 30 A は、レチクル R のパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置されており、その固定レチクルブラインド 30 A には、レチクル R 上での照明領域 I A R を規定する矩形開口が形成されている。また、この固定レチクルブラインド 30 A の近傍には、走査露光時の走査方向（ここでは Y 軸方向とする）及び、これに直交する非走査方向（X 軸方向）に光学的にそれぞれ対応する位置及び幅が可変の開口部を有する可動レチクルブラインド 30 B が配置されている。走査露光の開始時及び終了時において、主制御装置 50 からの指示により、固定レチクルブラインド 30 A によって規定されている照明領域 I A R が、可動レチクルブラインド 30 B によって更に制限されることによって、不要な部分（後述するレチクル R 上の回路パターン等の転写すべき部分以外の部分）の露光が防止されるようになっている。また、本第 1 の実施形態では、可動レチクルブラインド 30 B は、後述する空間像計測の際の照明領域の設定にも用いられる。

一方、照明光学系 12 内のビームスプリッタ 26 で反射された照明光 I L の光路上には、集光レンズ 44、受光素子から成るインテグレータセンサ 46 が配置されている。この場合、インテグレータセンサ 46 の受光素子としては、例えば遠紫外域で感度が良く、かつ光源 14 のパルス発光を検出するために高い応答周波数を有する P I N 型フォトダイオード等が用いられる。

このようにして構成された照明系の作用を簡単に説明すると、光源 14 からパルス発光されたレーザビーム LB は、ビーム整形光学系 18 に入射し、ここで後方のフライアイレンズ 22 に効率よく入射するようにその断面形状が整形された後、フライアイレンズ 22 に入射する。これにより、フライアイレンズ 22 の射出側焦点面（照明光学系 12 の瞳面）に 2 次光源が形成される。この 2 次光源から射出された照明光 IL は、照明系開口絞り板 24 上のいずれかの開口絞りを通過した後、透過率が大きく反射率が小さなビームスプリッタ 26 に至る。このビームスプリッタ 26 を透過した照明光 IL の大部分は、第 1 リレーレンズ 28 A を経て固定レチクルブラインド 30 A の矩形の開口部及び可動レチクルブラインド 30 B の開口を通過し、さらに第 2 リレーレンズ 28 B を通過してミラー M によって光路が垂直下方に折り曲げられた後、コンデンサレンズ 32 を経て、レチクル R 上での X 軸方向に細長く延びるスリット状照明領域 IAR を均一な照度分布で照明する。

一方、ビームスプリッタ 26 で反射された照明光 IL の一部は、集光レンズ 44 を介してインテグレータセンサ 46 で受光され、インテグレータセンサ 46 の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及び A/D 変換器を有する信号処理装置 80 を介して主制御装置 50 に供給される。本第 1 の実施形態では、インテグレータセンサ 46 の計測値は、露光量制御に用いられる他、投影光学系 PL に対する照射量の計算に用いられ、この照射量は、ウエハ反射率（これは、インテグレータセンサの出力と不図示の反射率モニタの出力とに基づいて求めることもできる）とともに、投影光学系 PL の照明光吸収による結像特性の変化量の算出にも用いられる。

本第 1 の実施形態では、主制御装置 50 によって、その照射量がインテグレータセンサ 46 の出力に基づいて所定の時間間隔で計算され、その計算結果が照射履歴として、後述するメモリ 51 内に記憶されるようになっている。

前記レチクルステージ RST 上には、レチクル R が、例えば真空吸着（又は

静電吸着)により固定されている。レチクルステージRSTは、ここでは、リニアモータ等を含むレチクルステージ駆動系56Rにより、後述する投影光学系PLの光軸AXに垂直なXY平面内で2次元的に(X軸方向及びこれに直交するY軸方向及びXY平面に直交するZ軸回りの回転方向(θ_z 方向)に)微小駆動可能であるとともに、レチクルステージRSTの基盤であるレチクルベースRBS上をY軸方向に指定された走査速度で移動可能となっている。

また、レチクルステージRST上には、レチクルレーザ干渉計(以下、「レチクル干渉計」という)54Rからのレーザビームを反射する移動鏡52Rが固定されており、レチクルステージRSTのXY面内の位置はレチクル干渉計54Rによって、例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出される。ここで、実際には、レチクルステージRST上には走査露光時の走査方向(Y軸方向)に直交する反射面を有する移動鏡(又はレトロリフレクタ)と非走査方向(X軸方向)に直交する反射面を有する移動鏡とが設けられ、レチクル干渉計54RはY軸方向に少なくとも2軸、X軸方向に少なくとも1軸設けられているが、図1ではこれらが代表的に移動鏡52R、レチクル干渉計54Rとして示されている。

レチクル干渉計54RからのレチクルステージRSTの位置情報は、ステージ制御装置70、及びこれを介して主制御装置50に送られる。ステージ制御装置70は、主制御装置50の指示により、レチクルステージ駆動系56Rを介してレチクルステージRSTの移動を制御する。なお、移動鏡52RをレチクルステージRSTに固定する代わりに、レチクルステージRSTの端面を鏡面加工して前述の反射面を形成しても良い。

また、レチクルステージRSTの-Y側端部近傍には、空間像計測用基準マークが形成されたマーク形成部材としてのレチクルフィデューシャルマーク板(以下、「レチクルマーク板」と略述する)RFMが、レチクルRと並ぶように配置されている。このレチクルマーク板RFMは、レチクルRと同材質のガラ

ス素材、例えば合成石英やホタル石、フッ化リチウムその他のフッ化物結晶などから構成されており、レチクルステージRSTに固定されている。なお、このレチクルマーク板RFMの具体的構成等については後述する。レチクルステージRSTは、レチクルRの全面とレチクルマーク板RFMの全面とが少なくとも投影光学系PLの光軸AXを横切ることができる程度のY軸方向の移動ストロークを有している。

また、レチクルステージRSTには、レチクルR及びレチクルマーク板RFMの下方に、開口がそれぞれ形成されている。後述するように、これらの開口は照明光ILの通路となる。また、レチクルベースRBSの投影光学系PLのほぼ真上の部分（光軸AXを中心とする部分）にも、照明光ILの通路となる、少なくとも照明領域IARより大きな長方形の開口が形成されている。

また、露光装置10では、レチクルRの上方には、投影光学系PLを介してレチクルR上又はレチクルマーク板RFM上のマークと、ウエハステージWST上の後述する基準マーク板（不図示）上の基準マークとを同時に観察するための露光波長の光を用いたTTR（Through The Reticle）アライメント系から成る一対のレチクルアライメント検出系（以下、便宜上「RA検出系」と呼ぶ）が設けられていてもよい。これらのRA検出系の検出信号は、不図示のアライメント制御装置を介して、主制御装置50に供給されるようになっている。この場合、レチクルRからの検出光をそれぞれのRA検出系に導くための不図示の偏向ミラーが移動自在に配置され、露光工程が開始されると、主制御装置50からの指令のもとで、不図示のミラー駆動装置により偏向ミラーが待避される。なお、RA検出系と同等の構成は、例えば特開平7-176468号公報及びこれに対応する米国特許第5,646,413号等の開示されており、公知であるからここでは詳細な説明を省略する。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及びこれに対応する米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

前記投影光学系 P L は、レチクルベース R B S の図 1 における下方に配置されている。その光軸 A X の方向を Z 軸方向とする。投影光学系 P L は、ここでは両側テレセントリックな縮小系であり、光軸 A X 方向に沿って所定間隔で配置された複数枚、例えば 8 枚のレンズエレメント 1 3₁、1 3₂、……、1 3₈ (図 2 参照) から成る屈折光学系が使用されている。この投影光学系 P L の投影倍率は、例えば 1 / 4 (又は 1 / 5) 等となっている (以下の説明では、1 / 4 であるとする)。このため、照明光学系 1 2 からの照明光 I L によってレチクル R 上でのスリット状照明領域 I A R が照明されると、このレチクル R を通過した照明光 I L により、投影光学系 P L を介してそのスリット状照明領域 I A R 内のレチクル R の回路パターンの縮小像 (部分倒立像) が、表面にフォトリソグが塗布されたウエハ W 上の前記照明領域 I A R と共役な露光領域 I A に形成される (図 1 参照)。

図 2 に示されるように、投影光学系 P L を構成するレンズエレメント 1 3₁、1 3₂、……、1 3₈ のうち、その一部、例えばレンズエレメント 1 3₁、1 3₂ は、それぞれ複数の駆動素子 (例えばピエゾ素子など) 2 0 によって光軸 A X 方向及び X Y 面に対する傾斜方向に微小駆動可能に構成されている。また、レンズエレメント 1 3₄、1 3₅ の間、レンズエレメント 1 3₆、1 3₇ の間には、それぞれ密閉状態とされた第 1、第 2 密閉室 3 4、3 6 が形成されている。これら第 1、第 2 密閉室 3 4、3 6 内には、不図示のガス供給機構から圧力調整機構 4 1 を介してクリーンな気体、例えば窒素が供給されるようになっている。

本第 1 の実施形態では、各駆動素子 2 0 に与えられる駆動電圧 (駆動素子の駆動量) と、第 1、第 2 密閉室 3 4、3 6 内部の気体の圧力 (以下、適宜「内部の圧力」又は「内部圧力」という) を調整する圧力調整機構 4 1 とが、主制御装置 5 0 からの指令に応じて結像特性補正コントローラ 7 8 により制御される。これによって、投影光学系 P L の結像特性、例えば、像面湾曲、ディストーション、倍率、コマ収差、非点収差、球面収差等が補正される。なお、係る

結像特性を調整する結像特性調整機構は、レンズエレメント 13₁ のような可動レンズエレメントのみによって構成しても良く、その可動レンズエレメントの数は任意で良い。但し、この場合、可動レンズエレメントの数が、フォーカスを除く、投影光学系 P L の結像特性の補正可能な種類に対応するので、補正が必要な結像特性の種類に応じて可動レンズエレメントの数を定めれば良い。このとき、補正が必要な結像特性の種類（数）よりも可動レンズエレメントの数を少なくとも 1 つ多くし、複数の可動レンズエレメントの駆動による結像特性の調整時に、その少なくとも 1 つの可動レンズエレメントによって投影光学系 P L の波面収差を小さくするようにしても良い。また、本第 1 の実施形態の結像特性調整機構の構成はこれらに限定されるものではなく任意で構わない。

図 1 に戻り、前記ウエハステージ W S T は、X Y ステージ 4 2 と、該 X Y ステージ 4 2 上に搭載された Z チルトステージ 3 8 とを含んで構成されている。

前記 X Y ステージ 4 2 は、ウエハステージ W S T の基盤であるウエハベース 1 6 の上面の上方に不図示のエアベアリングによって例えば数 μ m 程度のクリアランスを介して浮上支持されている。さらに、X Y ステージ 4 2 は、ウエハステージ駆動系 5 6 W を構成する不図示のリニアモータ等によって走査方向である Y 軸方向（図 1 における紙面内左右方向）及びこれに直交する X 軸方向（図 1 における紙面直交方向）に 2 次元駆動可能に構成されている。この X Y ステージ 4 2 上に Z チルトステージ 3 8 が搭載され、該 Z チルトステージ 3 8 上にウエハホルダ 2 5 が載置されている。このウエハホルダ 2 5 によって、ウエハ W が真空吸着等により保持されている。

Z チルトステージ 3 8 は、図 2 に示されるように、3 つの Z 位置駆動部 2 7 A、2 7 B、2 7 C（但し、紙面奥側の Z 位置駆動部 2 7 C は不図示）によって X Y ステージ 4 2 上に 3 点で支持されている。これらの Z 位置駆動部 2 7 A ~ 2 7 C は、Z チルトステージ 3 8 下面のそれぞれの支持点を投影光学系 P L の光軸方向（Z 軸方向）に独立して駆動する 3 つのアクチュエータ（例えばボ

イスコイルモータなど) 21A、21B、21C (但し、図2における紙面奥側のアクチュエータ21Cは不図示) と、Zチルトステージ38のZ位置駆動部27A、27B、27Cによる各支持点のアクチュエータ21A、21B、21CによるZ軸方向の駆動量 (基準位置からの変位) を検出するエンコーダ23A~23C (但し、図2における紙面奥側のエンコーダ23Cは不図示) とを含んで構成されている。

ここで、エンコーダ23A~23Cとしては、例えば光学式又は静電容量式等のリニアエンコーダが使用されている。本第1の実施形態では、上記アクチュエータ21A、21B、21Cによって、Zチルトステージ38を、光軸AX方向 (Z軸方向) 及び光軸に直交する面 (XY面) に対する傾斜方向、すなわちX軸回りの回転方向である θ_x 方向、Y軸回りの回転方向である θ_y 方向に駆動する。また、エンコーダ23A~23Cで計測されるZチルトステージ38のZ位置駆動部27A、27B、27Cによる各支持点のZ軸方向の駆動量 (基準点からの変位量) は、ステージ制御装置70及びこれを介して主制御装置50に供給される。主制御装置50は、Zチルトステージ38のZ軸方向の位置及びレベリング量 (θ_x 回転量、 θ_y 回転量) を算出する。なお、図1では、XYステージ42を駆動するリニアモータ等、及びZ位置駆動部27A~27C (アクチュエータ21A~21C及びエンコーダ23A~23C) がまとめてウエハステージ駆動系56Wとして示されている。

前記Zチルトステージ38上には、ウエハレーザ干渉計 (以下、「ウエハ干渉計」という) 54Wからのレーザビームを反射する移動鏡52Wが固定されている。ウエハ干渉計54Wによって、Zチルトステージ38 (ウエハステージWST) のXY面内の位置が、例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出されるようになっている。

ここで、実際には、Zチルトステージ38上には、走査露光時の走査方向であるY軸方向に直交する反射面を有する移動鏡と非走査方向であるX軸方向に

直交する反射面を有する移動鏡とが設けられ、これに対応してウエハ干渉計も X 軸方向、Y 軸方向にそれぞれ複数軸設けられ、Z チルトステージ 38 の 5 自由度方向（X 軸方向、Y 軸方向、 θ_x 方向、 θ_y 方向、 θ_z 方向）の位置が計測可能となっているが、図 1 ではこれらが代表的に移動鏡 52W、ウエハ干渉計 54W として示されている。ウエハステージ WST の位置情報（又は速度情報）は、ステージ制御装置 70、及びこれを介して主制御装置 50 に供給されるようになっている。ステージ制御装置 70 は、主制御装置 50 の指示に応じてウエハステージ駆動系 56W を介してウエハステージ WST の XY 面内の位置を制御する。なお、移動鏡 52W を Z チルトステージ 38 に固定する代わりに、ウエハステージ WST、例えば Z チルトステージ 38 の端面を鏡面加工して前述の反射面を形成するようにしてもよい。

また、Z チルトステージ 38 の内部には、投影光学系 PL の光学特性の計測に用いられる空間像計測装置 59 を構成する光学系の一部が配置されている。ここで、この空間像計測装置 59 の構成について詳述する。この空間像計測装置 59 は、図 3 に示されるように、Z チルトステージ 38 に設けられたステージ側構成部分、すなわちパターン形成部材としてのスリット板 90、レンズ 84、86 から成るリレー光学系、光路折り曲げ用のミラー 88、送光レンズ 87 と、ウエハステージ WST 外部に設けられたステージ外構成部分、すなわちミラー 96、受光レンズ 89、光電変換素子から成る光センサ 94 等とを備えている。

これを更に詳述すると、スリット板 90 は、図 3 に示されるように、ウエハステージ WST の一端部上面に設けられた上部が開口した突設部 58 に対し、その開口を塞ぐ状態で上方から嵌め込まれている。このスリット板 90 は、平面視長形状の受光ガラス 82 の上面に遮光膜を兼ねる反射膜 83 が形成され、その反射膜 83 の一部に所定の計測用パターンとしての所定幅 2D のスリット状の開口パターン（以下、「スリット」と呼ぶ）122 が形成されている。

前記受光ガラス 82 の素材としては、ここでは、A r F エキシマレーザ光の透過性の良い、合成石英、あるいはホタル石などが用いられる。

スリット 122 下方の Z チルトステージ 38 内部には、スリット 122 を介して鉛直下向きに入射した照明光束（像光束）の光路を水平に折り曲げるミラー 88 を介在させてレンズ 84、86 から成るリレー光学系（84、86）が配置されている。また、このリレー光学系（84、86）の光路後方のウエハステージ W S T の + Y 側の側壁には、リレー光学系（84、86）によって所定の光路長分リレーされた照明光束をウエハステージ W S T の外部に送光する送光レンズ 87 が固定されている。

送光レンズ 87 によってウエハステージ W S T の外部に送り出される照明光束の光路上には、X 軸方向に所定長さを有するミラー 96 が傾斜角 45° で斜設されている。このミラー 96 によって、ウエハステージ W S T の外部に送り出された照明光束の光路が鉛直上方に向けて 90° 折り曲げられるようになっている。この折り曲げられた光路上に送光レンズ 87 に比べて大径の受光レンズ 89 が配置されている。この受光レンズ 89 の上方には、光センサ 94 が配置されている。これら受光レンズ 89 及び光センサ 94 は、所定の位置関係を保ってケース 92 内に収納されている。ケース 92 は、取付け部材 93 を介してウエハベース 16 の上面に植設された支柱 97 の上端部近傍に固定されている。

前記光センサ 94 としては、微弱な光を精度良く検出することが可能な光電変換素子（受光素子）、例えばフォト・マルチプライヤ・チューブ（P M T、光電子増倍管）などが用いられる。光センサ 94 からの光電変換信号 P は、図 1 の信号処理装置 80 を介して主制御装置 50 に送られるようになっている。なお、信号処理装置 80 は、例えば増幅器、サンプルホルダ、A / D コンバータ（通常 16 ビットの分解能のものが用いられる）などを含んで構成することができる。

なお、前述の如く、スリット１２２は反射膜８３に形成されているが、以下においては、便宜上スリット板９０にスリット１２２が形成されているものとして説明を行う。なお、スリット１２２の配置及び寸法については、後述する。

上述のようにして構成された空間像計測装置５９によると、後述する、レチクルマーク板ＲＦＭに形成された計測マークＰＭの投影光学系ＰＬを介して得られる投影像（空間像）の計測の際に、投影光学系ＰＬを透過してきた照明光ＩＬによって空間像計測装置５９を構成するスリット板９０が照明されると、そのスリット板９０上のスリット１２２を透過した照明光ＩＬがレンズ８４、ミラー８８及びレンズ８６、送光レンズ８７を介してウエハステージＷＳＴの外部に導き出される。そして、そのウエハステージＷＳＴの外部に導き出された光は、ミラー９６によって光路が鉛直上方に折り曲げられ、受光レンズ８９を介して光センサ９４によって受光され、該光センサ９４からその受光量に応じた光電変換信号（光量信号）Ｐが信号処理装置８０を介して主制御装置５０に出力される。

本第１の実施形態では、計測マークの投影像（空間像）の計測がスリットスキャン方式によって実行されるので、その際には、送光レンズ８７が、受光レンズ８９及び光センサ９４に対して移動することになる。そこで、空間像計測装置５９では、所定の範囲内で移動する送光レンズ８７を介した光がすべて受光レンズ８９に入射するように、各レンズ、及びミラー９６の大きさが設定されている。

このように、空間像計測装置５９では、スリット板９０、レンズ８４、８６、ミラー８８、及び送光レンズ８７により、スリット１２２を介した光をウエハステージＷＳＴ外に導出する光導出部が構成され、受光レンズ８９及び光センサ９４によって、ウエハステージＷＳＴ外へ導出された光を受光する受光部が構成されている。この場合、これら光導出部と受光部とは、機械的に分離されている。そして、空間像計測に際してのみ、光導出部と受光部とは、ミラー９

6を介して光学的に接続される。

すなわち、空間像計測装置59では、光センサ94がウエハステージWSTの外部の所定位置に設けられているため、光センサ94の発熱に起因するウエハ干渉計54Wの計測精度等に及ぼす悪影響を可能な範囲で抑制するようにしている。また、ウエハステージWSTの外部と内部とがライトガイド等によって接続されていないので、ウエハステージWSTの外部と内部とがライトガイドによって接続された場合のようにウエハステージWSTの駆動精度がそのライトガイドによって悪影響を受けることはない。

勿論、熱の影響等を見放し、あるいは排除できるような場合には、光センサ94をウエハステージWSTの内部に設けてもよい。なお、空間像計測装置59を用いて行われる空間像計測及び収差計測方法などについては、後に詳述する。

図1に戻り、投影光学系PLの側面には、ウエハW上のアライメントマーク（位置合わせマーク）又は位置制御の基準となる基準マークを検出するマーク検出系としてのオフアクシス・アライメント系ALGが設けられている。本第1の実施形態では、このアライメント系ALGとして、画像処理方式のアライメントセンサ、いわゆるFIA（Field Image Alignment）系が用いられている。このアライメント系ALGは、アライメント用光源と、ハーフミラー及び対物レンズ群から成る光学系、指標マークが形成されている指標板、撮像素子（CCD）等を含んで構成されている。アライメント用光源として、ブロードバンドの照明光を出射するハロゲンランプ等が用いられる。このアライメント用光源からの照明光により、光学系を介してウエハW上のアライメントマークが照明され、そのアライメントマークからの反射光を、光学系及び指標板を介して撮像素子が受光する。これにより、撮像素子の受光面に、そのアライメントマークの明視野像（指標マークの像を含む）が結像される。そして、この明視野像に対応する光電変換信号、すなわちアライメントマークの反射像に対応する光強度信号が撮像素子から不図示のアライメント制御装置を介して主制御

装置 50 に供給される。主制御装置 50 は、この光強度信号に基づき、アライメント系 A L G の検出中心（前述の指標マークの中心に相当する）を基準とするウエハ W 上のアライメントマークの位置を算出するとともに、その算出結果とそのときのウエハ干渉計 54 W の出力であるウエハステージ W S T の位置情報とに基づいて、ウエハ干渉計 54 W の光軸で規定されるステージ座標系におけるアライメントマークの座標位置を算出している。

さらに、本第 1 の実施形態の露光装置 10 では、図 1 に示されるように、照射系 60 a 及び受光系 60 b から成る斜入射方式の多点焦点位置検出系（60 a, 60 b）が設けられている。照射系 60 a は、主制御装置 50 によってそのオン・オフが制御される光源を有しており、投影光学系 P L の結像面に向けて多数のピンホール又はスリットの像を形成するための結像光束を、光軸 A X に対して斜め方向よりウエハ W の表面に照射する。受光系 60 b は、それらの結像光束がウエハ W 表面で反射することによって発生する反射光束を受光し、主制御装置 50 に対して焦点ずれを検出するための焦点ずれ信号を送信する。なお、この多点焦点位置検出系（60 a、60 b）と、同様の多点焦点位置検出系の詳細な構成は、例えば特開平 6-283403 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,448,332 号公報等の開示されているため、その構成についての詳細な説明を省略する。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各米国特許における開示を援用して本明細書の一部とする。

主制御装置 50 は、後述する走査露光時等に、受光系 60 b からの焦点ずれ信号（デフォーカス信号）、例えば S カーブ信号に基づいて、投影光学系 P L の焦点ずれが零となるように、ウエハステージ駆動系 56 W を介して Z チルトステージ 38 の Z 軸方向への移動及び傾斜（すなわち、 θ_x , θ_y 方向の回転）を制御する。すなわち、主制御装置 50 は、多点焦点位置検出系（60 a、60 b）を用いて Z チルトステージ 38 の移動を制御することにより、照明光 I

Lの照射領域である露光領域IA（照明領域IARと結像関係にある）内で投影光学系PLの結像面とウエハWの表面とを実質的に合致させるオートフォーカス（自動焦点合わせ）及びオートレベリングを実行する。なお、投影光学系PLのフォーカスが変動した場合、主制御装置50は、例えば、受光系60b内の図示しない平行平板の反射光束の光軸に対する傾きを制御することにより、投影光学系PLのフォーカス変動量に応じて多点焦点位置検出系（60a、60b）に原点の再設定を行ってそのキャリブレーションを行うようになっている。

また、前述した不図示の環境制御チャンバ内の投影光学系PL近傍には、大気圧変動や、温度変動を検知する環境センサ81が設けられている。この環境センサ81による計測結果は主制御装置50に供給されている。

前記制御系は、ワークステーション（又はマイクロコンピュータ）から成る主制御装置50を中心として、該主制御装置50の制御下にあるステージ制御装置70などを含んで構成されている。また、主制御装置50が読み書き可能な記憶装置としてのメモリ51が設けられている。このメモリ51内には、本第1の実施形態の収差計測方法によって求められた投影光学系PLの収差量などが記憶される。

次に、本第1の実施形態の露光装置10における走査露光動作について簡単に説明する。

まず、不図示のレチクル搬送系により回路パターンが形成されたレチクルRが搬送され、ローディングポジションにあるレチクルステージRSTにレチクルRが吸着保持される。次に、主制御装置50は、レチクルRを用いた露光に最適な照明条件をオペレータの指示に基づいて設定する。

次いで、主制御装置50の指示の下、ステージ制御装置70によりウエハステージWST及びレチクルステージRSTの位置が制御され、主制御装置50により、レチクルR上に形成された不図示のレチクルアライメントマークの投

影像（空間像）が空間像計測装置 59 を用いて後述するようにして計測され、レチクルパターン像の投影位置が求められる。すなわち、レチクルアライメントが行われる。なお、レチクルアライメントは、前述の一对の RA 検出系（不図示）により、レチクル R 上の一对のレチクルアライメントマーク（不図示）の像とウエハステージ WST 上の基準マーク板（不図示）に形成されたレチクルアライメント用基準マークの投影光学系 PL を介した像とを同時に観察し、両マーク像の相対位置関係と、そのときのレチクル干渉計 54 R 及びウエハ干渉計 54 W の計測値とに基づいてレチクルパターン像の投影位置を求めることにより行ってもよい。

次に、主制御装置 50 によって、スリット板 90 がアライメント系 ALG の直下へ位置するように、ウエハステージ WST が移動され、アライメント系 ALG によって空間像計測装置 59 の位置基準となるスリット 122 が検出される。主制御装置 50 は、このアライメント系 ALG の検出信号及びそのときのウエハ干渉計 54 W の計測値、並びに先に求めたレチクルパターン像の投影位置に基づいて、レチクル R のパターン像の投影位置とアライメント系 ALG との相対位置、すなわちアライメント系 ALG のベースラインを求める。なお、ベースライン計測ではスリット 122 の代わりに、ウエハステージ WST 上の基準マーク板（不図示）に形成されたベースライン計測用基準マークを用いても良い。

かかるベースライン計測が終了すると、主制御装置 50 により、例えば特開昭 61-44429 号公報及びこれに対応する米国特許 4,780,617 号などに詳細に開示される EGA（エンハンスド・グローバル・アライメント）等のウエハアライメントが行われ、ウエハ W 上の全てのショット領域の位置が求められる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各米国特許における開示を援用して本明細書の一部とする。なお、このウエハアライメントの際には、ウエハ W 上の複数のショット領

域のうちの予め定められた所定のサンプルショットのウエハアライメントマークが、アライメント系ALGを用いて、前述したように計測される。

次いで、主制御装置50は、上で求めたウエハW上の各ショット領域の位置情報及びベースラインに基づいて、干渉計54W、54Rからの位置情報をモニタしつつ、ウエハステージWSTを第1ショット領域の走査開始位置（加速開始位置）に移動するとともに、レチクルステージRSTを走査開始位置（加速開始位置）に移動して、その第1ショット領域の走査露光を行う。

具体的には、主制御装置50は、レチクルステージRSTとウエハステージWSTとをY軸方向に互いに逆向きに移動させることによって相対走査を開始させる。両ステージRST、WSTがそれぞれの目標走査速度に達すると、照明光ILによってレチクルRのパターン領域が照明され始め、走査露光が開始される。なお、この走査露光の開始に先立って、光源14の発光は開始されており、主制御装置50によって可動レチクルブラインド30Bの各ブレードの移動がレチクルステージRSTの移動に対して同期制御されている。これにより、レチクルR上のパターン領域外への照明光ILの照射が遮光される。

主制御装置50は、上述の走査露光時には、レチクルステージRSTのY軸方向の移動速度 V_r とウエハステージWSTのY軸方向の移動速度 V_w とが前述の投影光学系PLの投影倍率に応じた速度比に維持されるようにレチクルステージRST及びウエハステージWSTを同期制御する。

そして、レチクルRのパターン領域の異なる領域が、照明光ILで逐次照明され、パターン領域全面に対する照明が完了することにより、ウエハW上の第1ショット領域の走査露光が終了する。これにより、レチクルRの回路パターンが投影光学系PLを介して第1ショット領域に縮小転写される。

こうして第1ショット領域の走査露光が終了すると、ウエハステージWSTを次の第2ショット領域の走査開始位置（加速開始位置）へ移動させるショット間のステッピング動作を行う。そして、その第2ショット領域に対する走査

露光を上述と同様にして行う。以後、第3ショット領域以降のショット領域に対する走査露光も同様にして行う。

このようにして、ショット間のステッピング動作とショットの走査露光動作とが繰り返され、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハW上の全てのショット領域にレチクルRのパターンが転写される。

なお、上記の走査露光中には、投影光学系PLに一体的に取付けられた多点焦点位置検出系(60a、60b)を用いて、前述したオートフォーカス、オートレベリングが行われる。

ところで、上述した走査露光動作において、レチクルRのパターンとウエハW上のショット領域に既に形成されたパターンとを正確に重ね合わせるためには、投影光学系PLの収差やベースラインが正確に計測されていること、及び投影光学系PLの結像特性が適切な状態に調整されていることなどが重要である。このような投影光学系PLの収差には、球面収差や、フォーカス等の偶関数収差が含まれる。なお、偶関数収差とは、波面収差を表すフリンジツェルニケ多項式の各項の動径関数が偶関数で表される収差である。

本第1の実施形態では、上記の球面収差等の偶関数収差の計測に、前述した空間像計測装置59が用いられる。以下、この空間像計測装置59による空間像計測、及び投影光学系PLの偶関数収差の計測等について詳述する。

図3には、空間像計測装置59を用いて、レチクルマーク板RFMに形成された計測マークPMの空間像が計測されている最中の状態が示されている。なお、レチクルマーク板RFMに代えて、空間像計測専用のレチクル、あるいはデバイスの製造に用いられるレチクルRに専用の計測マークを形成したものなどを用いることも可能である。ここで、レチクルマーク板RFMには、所定の箇所にY軸方向に周期性を有するライン部の幅とスペース部の幅との比(デューティ比)が1:1のラインアンドスペース(L/S)パターン(周期パターン)から成る計測マークPMが形成されているものとする。なお、このような

計測マークPMは、レチクルマーク板RFM上に複数設けられていても良い。

ここで、空間像計測装置59を用いた空間像計測の方法について簡単に説明する。なお、スリット板90には、例えば図4Aに示されるように、X軸方向に延びる所定幅2Dのスリット122が形成されているものとする。

空間像の計測にあたり、主制御装置50によって、可動レチクルブラインド30Bが不図示のブラインド駆動装置を介して駆動され、図3に示されるように、レチクルRの照明光ILの照明領域が計測マークPMを含む所定領域のみに制限される。

この状態で、照明光ILがレチクルマーク板RFMに照射されると、図4Aに示されるように、計測マークPMによって回折、散乱した光（照明光IL）は、投影光学系PLにより屈折され、該投影光学系PLの像面に計測マークPMの空間像（投影像）PM'が形成される。このとき、ウエハステージWSTは、空間像計測装置59のスリット板90上のスリット122の+Y側（-Y側でもよい）に前記空間像PM'が形成される位置に設定されているものとする。このときの空間像計測装置59の投影光学系PL側から見たときの上面図が図4Aに示されている。なお、投影光学系PLの投影倍率が1/4であるとする、この空間像PM'の周期は、計測マークPMのL/Sパターンの周期の1/4となる。なお、以下の説明では、計測マーク等の周期（ピッチ）は、この空間像の周期を指しているものとする。

そして、主制御装置50によって、ウエハステージ駆動系56Wを介してウエハステージWSTが図4A中に矢印Fで示されるように+Y方向に駆動されると、スリット122が空間像PM'に対してY軸方向に走査される。この走査中に、スリット122を通過する光（照明光IL）がウエハステージWST内の光導出部、ミラー^{9b}、受光レンズ89を介して光センサ94で受光され、その光電変換信号Pが信号処理装置80を介して主制御装置50に供給される。主制御装置50は、その光電変換信号Pに基づいて空間像PM'に対応する光

強度分布を取得する。

図 4 B には、上記の空間像計測の際に得られる光電変換信号（光強度信号） P の一例が示されている。この場合、空間像 PM' は、スリット 122 の走査方向（ Y 軸方向）の幅（ $2D$ ）の影響で像が平均化する。

従って、スリット 122 を $p(y)$ とし、空間像の強度分布を $i(y)$ とし、観測される光強度信号を $m(y)$ とすると、空間像の強度分布 $i(y)$ と観測される強度信号 $m(y)$ との関係は、以下の式（2）で表される。なお、この式（2）において、強度分布 $i(y)$ 、強度信号 $m(y)$ の単位は、単位長さ当たりの強度であり、 u 軸は、 y 軸と同一の座標軸であるとする。

$$m(y) = \int_{-\infty}^{\infty} p(y-u) \cdot i(u) du \quad (2)$$

但し、スリット 122 の関数 $p(y)$ は、以下の式（3）で表される。

$$p(y) = \begin{cases} 1 & (|y| \leq D) \\ 0 & (|y| > D) \end{cases} \quad (3)$$

すなわち、観測される強度信号 $m(y)$ は、スリットの関数 $p(y)$ と空間像の強度分布 $i(y)$ とのコンボリューションになる。

従って、計測精度の面からは、スリット 122 の走査方向（ Y 軸方向）の幅（以下、単に「スリット幅」と呼ぶ） $2D$ は小さい程良い。本第 1 の実施形態のように、フォト・マルチプライヤ・チューブ（PMT）を光センサ 94 として用いる場合には、スリット幅が非常に小さくなっても走査速度を遅くして計測に時間をかければ光量（光強度）の検出は可能である。しかしながら、現実には、スループットの面から空間像計測時の走査速度に一定の制約があるため、スリット幅 $2D$ があまりにも小さいと、スリット 122 を透過する光量が小さくなり過ぎて、計測が困難となってしまう。

なお、実際には、空間像計測装置 59 を構成するスリット板 90 上には、図

5に示されるように、X軸方向に伸びる所定幅2D、長さLのスリット122aと、Y軸方向に伸びる所定幅2D、長さLのスリット122bとが形成されている。ここで、2Dは例えば200nm以下に設定されており、Lは例えば16μmに設定され、図4Aに示されるように、計測マークのラインパターンの長さより短くなるように設定されている。また、スリット122bはスリット122aの-X側及び+Y側に約4μmそれぞれ隔てて配置されている。また、空間像計測装置59では、ウエハステージWSTの内部の光導出部、ミラー96及び受光レンズ89を介して、光センサ94によりスリット122a、122bのいずれを透過した光をも受光が可能になっているものとする。なお、以下では、特に必要が無い限り、スリット122a、122bを区別することなくスリット122と呼ぶ。

以上述べたように、空間像計測装置59を用いた上述の空間像計測動作によって、計測マークPMの空間像（投影像）PM'における光強度分布を計測することができる。本第1の実施形態では、計測された光強度分布に基づいて、投影光学系PLの偶関数収差、例えば球面収差を計測する。

ここで、計測マークPMの空間像PM'におけるY軸方向の複素振幅分布を $o(y)$ とし、その空間周波数スペクトルを $O(s)$ とする（sは、空間周波数軸の流通座標である）。計測マークPMの空間像PM'の周期パターンに含まれる空間周波数成分のうち、2つの空間周波数成分をそれぞれ f' 、 f'' とすると、そのスペクトル $O(f')$ 、 $O(f'')$ とのビートによって生じる干渉縞に、ある重みを掛けたものを全体の空間周波数で積分したものが計測マークPMの空間像PM'の強度分布 $i(y)$ となる。この重みをクロスモジュレーション係数（The Cross modulation coefficient）というが、このクロスモジュレーション係数は、以下の式（4）によって定義される。

$$T(f', f'') = \iint \sigma(\xi, \eta) F(f' + \xi, \eta) F^*(f'' + \xi) d\xi d\eta \quad (4)$$

ここで、 F は投影光学系 PL の射出瞳における瞳関数であり（*は複素共役を示す）、 $\sigma(\xi, \eta)$ は有効光源である。なお、 ξ, η は、投影光学系 PL の射出瞳上における直交座標軸である。

従って、部分コヒーレント照明による計測マーク PM の結像式は、以下の式（５）によって表される。

$$I(y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} T(f', f'') O(f') O(f'') \exp(2\pi i y (f' - f'')) df' df'' \quad (5)$$

図４Ａに示されるように、計測マーク PM の投影像である空間像 PM' の周期が $P_h = 1/f_h$ であり、５０％デューティ（ラインとスペースの幅が同じ）であるとする。空間像 PM' の周期 P_h に対応する空間周波数成分を基本周波数成分とした場合の N 次の高調波成分（ N は奇数）の強度 $I_{hN_even}(y)$ は、以下の式（６）で示される。なお、この場合、 f_h は空間像 PM' の基本周波数である。

$$\begin{aligned} I_{hN_even}(y) &= c_0 c_N [T(0, Nf_h) + T(Nf_h, 0)] [\exp(2\pi i y Nf_h) + \exp(-2\pi i y Nf_h)] \\ &= 2c_0 c_N [T(0, Nf_h) + T(Nf_h, 0)] \cos(2\pi y Nf_h) \\ &= 2c_0 c_N [T(0, Nf_h) + T^*(0, Nf_h)] \cos(2\pi y Nf_h) \\ &= 4c_0 c_N \operatorname{Re}[T(0, Nf_h)] \cos(2\pi y Nf_h) \end{aligned} \quad (6)$$

従って、投影光学系 PL の偶関数収差の収差量を $\exp(i\phi_{N_even})$ とすると、コヒーレント照明での前述の強度 $I_{hN_even_coh}(y)$ は、上述の式（６）から、以下の式（７）で示される。

$$\begin{aligned} I_{hN_even_coh}(y) &= c_0 c_N [\exp(i\phi_{N_even}) + \exp(-i\phi_{N_even})] [\exp(2\pi i y Nf_h) + \exp(-2\pi i y Nf_h)] \\ &= 4c_0 c_N \cos(\phi_{N_even}) \cos(2\pi y Nf_h) \end{aligned} \quad (7)$$

上記式（７）から明らかなように、偶関数収差によって、基本周波数成分の N 次の高調波成分の位相差は変化せず、その成分の振幅が変化する。従って、本第１の実施形態の収差計測方法では、所定次数（ N 次）の空間周波数成分の振幅に基づいて、投影光学系 PL の偶関数収差の収差量を算出する。なお、本

第1の実施形態では、偶数次、例えば2次の高調波成分の振幅に基づいて、偶関数収差の収差量を求めるようにしてもよい。しかしながら、この場合には、デューティ50%のL/Sパターンである計測マークPMの空間像PM'の空間周波数成分には、2次の高調波成分が原則的には存在しないため、偶数次の高調波成分の振幅に基づいて、他の周波数成分同士のビート成分の合成を、2次の高調波成分として用いる必要がある。

上述のように、計測マークが50%デューティでピッチ（周期）が $P_h = 1/f_h$ のL/Sパターンである場合、 $O(y)$ はフーリエ級数によって以下の式（8）のように表される。なお、計測マークPMを $0.5\mu\text{m}$ L/Sパターン（空間像PM'のピッチ P_h が $1.0\mu\text{m}$ となるパターン）とし、投影光学系PLの開口数（N.A.）を0.78とすると、コヒーレント照明の場合を考えると、投影光学系PLを実際に通過する高調波は3次までとなる。また、1次の基本周波数成分の偶関数収差の収差量を $\exp(i\phi_1)$ 及び3次の高調波成分の偶関数収差の収差量を $\exp(i\phi_3)$ としている。

$$O(y) = 0.5 \left[\begin{aligned} &1 + \frac{1}{2} \exp(2\pi i y (f_h) + i\phi_1) + \frac{1}{2} \exp(2\pi i y (-f_h) + i\phi_1) \\ &- \frac{1}{6} \exp(2\pi i y (3f_h) + i\phi_3) - \frac{1}{6} \exp(2\pi i y (-3f_h) + i\phi_3) \end{aligned} \right] \quad (8)$$

上記式（8）より、2次の高調波に相当するビート成分には、1次の基本周波数成分及び3次の高調波成分のビート成分と、1次の基本周波数成分及び1次（-1）の基本周波数成分のビート成分とが考えられる。

まず、1次の基本周波数成分同士のビート成分 $I_{h2_1_1_even}(y)$ は、以下の式（9）のように表される。

$$\begin{aligned} I_{h2_1_1_even}(y) &= c_1 c_1 [T(-f_h, f_h) \exp(-4\pi i y f_h) + T(f_h, -f_h) \exp(4\pi i y f_h)] \\ &= 2c_1 c_1 [T(-f_h, f_h)] \cos(4\pi y f_h) \\ &= 2c_1 c_1 \text{Re}[T(-f_h, f_h)] \cos(4\pi y f_h) \end{aligned} \quad (9)$$

このビート成分 $I_{h2_1_1_even}(y)$ は、コヒーレント照明の場合には、以下の式 (10) (これを $I_{h2_1_1_even_coh}(y)$ とする) のように表される。

$$\begin{aligned} I_{h2_1_1_even_coh}(y) &= 2c_1c_1 \operatorname{Re}[T(-f_h, f_h)] \cos(4\pi y f_h) \\ &= 2c_1c_1 \cos(4\pi y f_h) \end{aligned} \quad (10)$$

上記式 (10) から、1 次同士のビート成分は、偶関数収差に影響を受けないということがわかる。

一方、1 次の基本周波数成分とその 3 次の高調波成分とのビート成分 $I_{h2_1_3_even}(y)$ は、以下の式 (11) のように表される。

$$\begin{aligned} I_{h2_1_3_even}(y) &= 2c_1c_3 [T(f_h, 3f_h) + T(3f_h, f_h)] \cos(4\pi y f_h) \\ &= 2c_1c_3 [T(f_h, 3f_h) + T^*(f_h, 3f_h)] \cos(4\pi y f_h) \\ &= 4c_1c_3 \operatorname{Re}[T(f_h, 3f_h)] \cos(4\pi y f_h) \end{aligned} \quad (11)$$

上記式 (11) に示されるように、1 次の基本周波数成分と 3 次の高調波成分とのビート成分の振幅は $T(f_h, 3f_h)$ の実数部の大きさによって決まる。

このビート成分 $I_{h2_1_3_even}(y)$ は、コヒーレント照明の場合、1 次の基本周波数成分についての収差量を $\exp(i\phi_1)$ とし、3 次の高調波成分についての収差量を $\exp(i\phi_3)$ とすると、以下の式 (12) のように表される。

$$\begin{aligned} I_{h2_1_3_even_coh}(y) &= 4c_1c_3 \operatorname{Re}[T(f_h, 3f_h)] \cos(4\pi y f_h) \\ &= 4c_1c_3 \cos(\phi_1 - \phi_3) \cos(4\pi y f_h) \end{aligned} \quad (12)$$

上記式 (12) から明らかなように、1 次の基本周波数成分の位相 ϕ_1 と 3 次の高調波成分の位相 ϕ_3 の差によって振幅が変化するようになる。

以上述べたように、偶関数収差の収差量の変化によって、2 次等の偶数次の高調波成分の振幅も変化するようになるため、その振幅によって偶関数収差の収差量を求めることができるが、偶数次の高調波成分は、複数次数の高調波成分同士のビート成分であるため、例えば 5 次の高調波成分や 7 次の高調波成分の存在の有無によって、その振幅が変化し、不安定となり易い。従って、偶数

次の高調波成分の振幅を偶関数収差の評価量として用いるよりも、前述の5次、7次の高調波成分に影響を受けない奇数次の高調波成分の振幅を偶関数収差の評価量として用いて直接的に偶関数収差の収差量を求めた方が、より高精度に投影光学系P Lの偶関数収差を求めることができる場合が多い。高調波成分として、2次を用いるか3次を用いるかは、高調波成分の状態を考慮して、適宜決定するのが望ましい。

次に、本第1の実施形態における投影光学系P Lの偶関数収差の計測方法について具体的に説明する。

まず、上述した空間像計測動作で述べたように、主制御装置50の指示により、ウエハステージ駆動系がウエハステージW S Tを+Y方向に駆動してスリット122が空間像P M' に対して相対的にY軸方向に走査されると、空間像計測装置59によってその光電変換信号Pが得られる。この光電変換信号Pは、最終的に主制御装置50に供給される。主制御装置50は、その光電変換信号Pに基づいて空間像P M' に対応する光強度分布を取得する(第1工程)。なお、このとき、周期パターンとしてのL/Sパターンを含む計測マークP Mは、図3に示されるように、常に投影光学系P Lの有効視野内に位置された状態となっている。また、投影光学系P Lの光軸A Xの方向に関するスリット122(所定の計測用パターン)の位置は、空間像P M' が、結像する像面の近傍の位置であれば良いものとする。

図6には、計測された空間像P M' の光強度分布が示されている。図6では、横軸はスリット122のY軸方向の位置を示し、縦軸はそのY軸方向の位置にあるときに得られた光強度を示す。図6に示されるように、この空間像P M' の光強度分布は、Y軸方向に9つのピークを有している。このピークの出現周期は、空間像P M' の周期に対応している。なお、投影光学系P Lのコマ収差等の要因により、空間像P M' の周期に対応する1次の空間周波数成分と、その3次の高調波成分との間にはY軸方向に位相差が生じているため、各ピーク

がそれぞれ有する２つのピークは非対称となっている。

処理装置としての主制御装置５０は、この光強度分布を $i(y)$ とすると、計測マークＰＭのウエハＷ上での周期を基準とする所定次数の空間周波数成分（ここでは１次の基本周波数成分）の振幅を示す以下のサイン関数で表現されるフーリエ係数（ a_1 ）を算出する（以下の式（１３）参照）。これにより、光強度分布 $i(y)$ に含まれる１次の基本周波数成分の大きさ（例えば、振幅あるいはコントラスト等）を抽出することができる。

$$a_1 = \int_{-\pi}^{\pi} i(y) \cdot \cos(2\pi / p) dy \quad (13)$$

主制御装置５０は、前述の式（７）に示される例えば１次の基本周波数成分の振幅と偶関数収差との関係に基づいて、振幅の値 a_1 に対応する偶関数収差の収差量の大きさを算出する（第２工程）。

次に、調整装置としての主制御装置５０は、算出された偶関数収差の収差量の大きさに基づいて、結像特性補正コントローラ７８を駆動して投影光学系ＰＬの結像特性を調整する。なお、この時点では、偶関数収差の収差量の大きさだけが求められた状態であり、その極性（投影光学系ＰＬの光軸ＡＸの方向における正負の向き）は未知のままとなっている。本第１の実施形態では、偶関数収差の収差量の極性を所定の向き（投影光学系ＰＬの光軸方向における正負のいずれか）に決めておき、その方向に基づいて投影光学系ＰＬの結像特性を調整する。なお、ここでは、その収差量の極性が正であるとして、主制御装置５０は、その正の収差量をキャンセルするように、結像特性補正コントローラ７８を駆動して投影光学系ＰＬの結像特性を調整するものとする。

次に、主制御装置５０は、ウエハステージ駆動系を介してウエハステージＷＳＴを再び＋Ｙ方向に駆動させる。この駆動により、スリット１２２が空間像ＰＭ' に対してＹ軸方向に走査され、空間像計測装置５９によって光電変換信号Ｐが得られる。得られた光電変換信号Ｐは、最終的に主制御装置５０に供給

される。主制御装置 50 は、その光電変換信号 P に基づいて空間像 P M' に対応する光強度分布を取得する。すなわち、主制御装置 50 によって、再び前述の第 1 工程が実行される。そして、主制御装置 50 は、今回の第 1 工程で得られた光強度分布に含まれる 1 次の基本周波数成分の振幅を示す上述の式 (13) で表現されるサイン関数のフーリエ係数 (a_1) を算出する。さらに、主制御装置 50 は、上述の式 (7) に示される 1 次の基本周波数成分と偶関数収差の収差量との関係から、振幅の大きさ a_1 に対応する偶関数収差の収差量の大きさを算出する第 2 工程を再び実行する。

そして、主制御装置 50 は、今回の第 2 工程で算出された偶関数収差の収差量と、前回の第 2 工程で算出された偶関数収差の収差量とを比較する。そして、今回算出された収差量が前回算出された収差量よりも大きくなっている場合には、実際の偶関数収差の収差量の極性は、仮に決定されていた偶関数収差の収差量の極性（ここでは正）の逆であるということになる。この場合、主制御装置 50 は、改めて、偶関数収差の収差量の極性がここでは負であるとして、その負の収差量をキャンセルするように、投影光学系 P L の結像特性を調整する。また、今回算出された収差量が前回算出された収差量よりも小さくなって、所定の収差量以下に収束している場合、前回の投影光学系 P L の調整時に仮に決定されていた偶関数収差の収差量の極性（正）は、実際の偶関数収差の収差量に一致していたということになる。この場合、主制御装置 50 は、投影光学系 P L が、適切に調整されたものと判断してその極性をそのまま正として決定し、偶関数収差の収差量の計測及び投影光学系 P L の調整を終了する。なお、今回算出された収差量が前回算出された収差量よりも小さくなっていても、まだ所定の収差量より大きい場合には、第 1 工程及び第 2 工程を再び繰り返せば良い。

そして、主制御装置 50 が、投影光学系 P L の結像特性が調整された後に、上述の走査露光動作を実行すれば、レチクル R 上に形成された回路パターンを精度良くウエハ W 上に転写することができるようになる。

以上詳細に述べたように、本第 1 の実施形態の収差計測方法では、偶関数収差の収差量と空間像の所定次数（本第 1 の実施形態では 1 次であるが、3 次及び 5 次その他の次数であってもよい）の空間周波数成分の大きさとが所定の関係にあることを利用して、計測マーク P M の空間像 P M' に対応する光強度信号を得て、その光強度信号に含まれる所定次数の空間周波数成分の大きさを計測し、計測されたその大きさに基づいて投影光学系の偶関数収差の収差量を算出する。このようにすれば、1 つの周期パターンの空間像を 1 回計測するだけで、偶関数収差の収差量（少なくともその大きさ）を計測することができるようになるため、短時間に偶関数収差の収差量を計測することができる。なお、収差量を計測するための周期パターンを 1 つだけとすれば、複数の周期パターンの製造誤差などの外乱要因が収差の計測値に含まれるのを回避することができるので、高精度に投影光学系 P L の収差を計測することができる。

また、前述の偶関数収差の収差量とそのパターンの空間像に対応する光強度分布に含まれる所定次数の空間周波数成分の大きさととの関係（上述の式（7）で表される）は、部分コヒーレント照明系を前提として定められたものであるため、照明系のコヒーレンスファクタ（ σ 値）が大きくても、精度良く偶関数収差を計測することが可能となる。

また、本第 1 の実施形態の収差計測方法では、第 1 工程及び第 2 工程を 1 回実行した時点では、偶関数収差の収差量の大きさを求めることができるが、その収差量の極性まで求めることはできない。そこで、本第 1 の実施形態では、投影光学系 P L の結像特性の調整後に再び第 1 工程及び第 2 工程を実行して偶関数収差の収差量を求め、前回計測された偶関数収差の収差量と比較することによって、偶関数収差の極性を決定する。具体的には、今回計測された偶関数収差の収差量が、前回計測された偶関数収差の収差量よりも小さくなっている場合には、その調整時の極性が所期のものであると判断し、大きくなっている場合には、その調整時の極性が所期のものとは反対であると判断する。このよ

うにすれば、結果的に、投影光学系の結像特性を適切に調整することができるようになる。

なお、本第 1 の実施形態では、偶関数収差の収差量の極性を正負いずれかに仮に設定したうえで投影光学系 P L の結像特性を調整したが、本発明はこれに限定されるものではなく、次に説明するように、偶関数収差の収差量の極性を検出してもよい。

例えば、投影光学系 P L の数学モデルを用いたシミュレーションによって、図 7 に示されるような、その投影光学系 P L のフォーカス位置と、光電変換信号 P に基づく光強度分布に含まれる所定次数の空間周波数成分のコントラスト（その空間周波数成分を、光強度分布に含まれる直流成分で除したもの）との関係を示す曲線、すなわちコントラストカーブを予め求めておく。ここで、図 7 では、横軸は投影光学系 P L のフォーカス位置を示し、縦軸はそのときの所定次数の空間周波数成分のコントラストを示す。ここでは、所定次数の空間周波数成分が、1 次の基本周波数成分であるとする。なお、図 7 においては、シミュレーション条件として、照明光 I L の波長を 193 nm とし、コヒーレンスファクタ σ を 0.15 とし、投影光学系 P L の N. A. を 0.78 とし、空間像 P M' の周期を 200 nm とした。また、図 7 に示すコントラストカーブは、実際の装置における空間像計測によって算出されたものであってもよい。

そして、主制御装置 50 は、そのコントラストカーブにおいて、その空間周波数成分のコントラストがほぼ 0 となるフォーカス位置（例えば図 7 に示される約 0.3 μ m の位置、すなわちコントラストの値が最大となる位置から所定のオフセットを有する位置）に、スリット 122 を、ステージ制御装置 70 及びウエハステージ駆動系 56 W 等を介して位置させる。そして、主制御装置 50 は、この状態で、前述の第 1 工程及び第 2 工程を実行して、空間像 P M' に対応する 1 次の基本周波数成分の大きさを上述の式 (13) に基づいて算出し、前述の式 (7) に基づいて偶関数収差の収差量の大きさを得る。

次いで、主制御装置 50 は、投影光学系 PL のフォーカス位置をその位置としたまま、結像特性補正コントローラ 78 を介して、投影光学系 PL に所望の値の偶関数収差を発生させ、その偶関数収差の収差量の変化と空間像 PM' に対応する光強度分布に含まれる 1 次の基本周波数成分のコントラストの変化との関係を求める。

図 8 A、図 8 B には、上述の動作によって求められた偶関数収差の収差量の変化と、1 次基本周波数のコントラストの変化との関係の一例が示されている。図 8 A には、低次の球面収差 Z_9 の収差量の変化と 1 次の基本周波数成分のコントラストの変化との関係が示されており、図 8 B には、高次の球面収差 Z_{16} の収差量と 1 次の基本周波数成分のコントラストの変化との関係が示されている。両図とも、コヒーレンスファクタ σ 及び計測マーク PM の空間像 PM' の周期パターンの複数の組合せ（コヒーレンスファクタは 0.05 及び 0.3 のいずれか、L/S パターンのピッチは、0.12、0.2、0.25、0.3 のいずれか）における各球面収差 Z_9 、 Z_{16} の収差量と 1 次の基本周波数成分のコントラストとの関係が示されている。

図 8 A、図 8 B に示されるように、投影光学系 PL のフォーカス位置を 1 次の基本周波数成分のコントラストが 0 となる位置に設定しているため、投影光学系 PL の偶関数収差を意識的に発生させていない状態、すなわち図 8 A における低次球面収差 Z_9 の収差量が $0\text{ m}\lambda$ 、図 8 B における高次球面収差 Z_{16} の収差量が $0\text{ m}\lambda$ である場合には、その 1 次の基本周波数成分のコントラストは 0 となっている。この状態で、主制御装置 50 は、結像特性補正コントローラ 78 を介して、低次球面収差 Z_9 や高次球面収差 Z_{16} の収差量をプラス方向及びマイナス方向に発生させながら、その都度、上述した空間像計測装置 59 を介して空間像計測を実行し、得られた光強度分布に含まれる 1 次の空間周波数成分の大きさを求めていく。そのようにすれば、主制御装置 50 は、図 8 A、図 8 B に示されるような、偶関数収差の収差量に対するコントラストの特性を得る

ことができる。

この図 8 A、図 8 B を参照すると、低次球面収差 Z_9 及び高次球面収差 Z_{16} の収差量がマイナスからプラスに増加するのに比例して 1 次の空間周波数成分のコントラストが直線的に減少していったのがわかる。このような、コントラストの変化に対する各偶関数収差の変化の特性から、偶関数収差の収差量を読み取ることができるとともに、その極性を明らかとすることができる。

主制御装置 50 は、上述のようにして、求められたオフセット位置における偶関数収差の収差量と 1 次の基本周波数成分の大きさ（ここではコントラスト）との関係を求め、その関係に基づいて偶関数収差の収差量の極性を決定する。このようにすれば、第 1 工程において、偶関数収差の収差量の大きさだけでなく、その収差量の極性も決定することができるようになるため、本第 1 の実施形態のように、トライアル・アンド・エラーによる投影光学系 PL の調整によって、偶関数収差を所定の収差量以下に収斂させていくのではなく、1 回の投影光学系 PL の調整だけで偶関数収差を調整することができるようになる。

なお、この場合、1 次の基本周波数成分の大きさ（コントラスト）がほぼ 0 となるように、所定のオフセット位置を決定したが、発生しうる偶関数収差の収差量は予想することができるので、そこから計測すべきコントラスト値の範囲を予想し、その範囲から、必要な最小限度のフォーカスオフセット量を見積もるようにしてもよい。

また、本第 1 の実施形態の収差計測方法のように、露光装置の投影光学系 PL の収差をオンボディで計測する場合には、投影光学系 PL の低次収差が重要な計測対象となる。低次収差とは、一般的には、フリンジツェルニケ多項式において Z_9 までを指す。従来、低次収差の収差量は時間や温度に依存して変化する可能性が高いが、高次収差の収差量は、レンズエレメントの形状の誤差が支配的であって時間や温度によって変化する可能性は低く、投影光学系 PL の収差を低減するためには、低次収差の収差量を計測し、低次収差をキャンセル

する機能があればよいと考えられてきた。しかしながら、本発明者は、温度変化に対応する投影光学系 P L の収差変動を解析した結果、投影光学系 P L の光軸に対称な収差、すなわち偶関数収差のうち、低次収差 Z_9 だけでなく、高次収差 Z_{16} 、 Z_{25} まで変化することを突きとめた。従って、本第 1 の実施形態の収差計測方法では、計測された偶関数収差の収差量から、低次収差と高次収差とを分離して、温度変化に応じた球面収差の補正を行うことが望ましい。

その点、上述のように、そのオフセット位置における低次球面収差 Z_9 及び高次球面収差 Z_{16} の特性（図 8 A、図 8 B 参照）をそれぞれ求めておけば、低次球面収差の収差量と高次球面収差の収差量とを分離することも可能となる。

なお、本第 1 の実施形態では、上述のように、その空間周波数成分の振幅をその大きさの評価量としてもよいし、そのコントラストを評価量としてもよい。コントラストとは、その空間周波数成分の振幅を、光強度信号に含まれる直流成分で除したものであり、このコントラストを評価量とすることによって、照明光の光源の光量変化の収差計測への影響を緩和することができるようになる。

また、上記第 1 の実施形態では、レチクルマーク板 R F M に計測マーク P M だけ形成されているとしたが、他の計測マークを形成しておいてもよい。例えば、その周期方向が X 軸方向に配置された L / S パターンの計測マークなどを形成し、X 軸方向のスリットスキャン動作を実行して（この場合には、スリット板 9 0 上のスリット 1 2 2 b を用いる）、空間像を計測するようにしてもよい。

また、上記第 1 の実施形態では、空間像計測装置 5 9 の光導出部と受光部とを機械的に分離しているとしたが、これらを可撓な光ファイバケーブルで接続するようにしてもよい。

《第 2 の実施形態》

次に、本発明の第 2 の実施形態について、図 9 A、図 9 B 等に基づいて説明する。

本第 2 の実施形態に係る露光装置は、投影光学系 P L の収差計測の際の主制

御装置 50 内の動作等が前述の第 1 の実施形態と相違するのみで、装置構成などは、図 1 ～図 5 に示される第 1 の実施形態の露光装置 10 と同一となっている。従って、以下においては、重複説明を避けるため、第 1 の実施形態との相違点、すなわち投影光学系 PL の偶関数収差計測の動作を中心に説明する。また、同様の趣旨から同一若しくは同等の構成部分について同一の符号を用いるとともに、その説明を省略するものとする。

本第 2 の実施形態の露光装置における投影光学系 PL の偶関数収差の計測方法について具体的に説明する。まず、主制御装置 50 は、空間像計測動作を実行する。上記第 1 の実施形態では、スリット板 90 を走査させる投影光学系 PL の光軸方向の位置、すなわち投影光学系 PL のフォーカス位置（所定の計測用パターンとしてのスリット 122 を走査させる位置）を、1 箇所に固定して空間像計測を行ったが、本第 2 の実施形態では、投影光学系 PL の光軸方向の複数の位置（以下、「フォーカス位置」と略述する）で、空間像計測を行う（第 1 工程）。なお、各フォーカス位置における空間像計測動作は、上記第 1 の実施形態での動作と同一であるため、詳細な説明を省略する。

複数のフォーカス位置における空間像計測動作により、各フォーカス位置で計測された光電変換信号 P は、主制御装置 50 に送信される。そして、主制御装置 50 は、各フォーカス位置における光電変換信号 P に基づく光強度分布から、それぞれのフォーカス位置で計測された光強度分布に含まれる 1 次の基本周波数成分、その 3 次の高調波成分、その 5 次の高調波成分などの大きさ（ここでは、コントラストとする）を抽出する。そして、主制御装置 50 は、複数のフォーカス位置におけるそれぞれの周波数成分のコントラストに基づいて、図 9 A に示されるような各次数の空間周波数成分のコントラストカーブを算出する。なお、図 9 A では、1 次の基本周波数成分のコントラストカーブ（実線）と、3 次の高調波成分のコントラストカーブ（点線）だけが示されている。

図 9 A では、横軸はフォーカス位置を示し、縦軸は空間周波数成分のコント

ラストを示す。図 9 A に示されるように、投影光学系 P L に偶関数収差がある場合には、1 次の基本周波数成分のコントラストカーブが最大となるフォーカス位置（図 9 A のグラフでは、このフォーカス位置を原点としている）と、3 次の高調波成分のコントラストカーブが最大となるフォーカス位置との間には位置ずれ、いわゆるフォーカス差が生じる。

図 9 B には、フォーカス差と偶関数収差の収差量との関係が示されている。図 9 B では、横軸は偶関数収差の収差量を示し、縦軸はその収差量によって発生する 1 次の基本周波数成分のベストフォーカス位置と 3 次の高調波成分のベストフォーカス位置とのフォーカス差を示す。図 9 B に示されるように、偶関数収差の収差量とそれらのベストフォーカス位置同士のフォーカス差とは、比例関係にあり、このフォーカス差を計測すれば、そのときの偶関数収差の収差量を求めることが可能となる。なお、このようなフォーカス差と偶関数収差の収差量との関係は、投影光学系 P L の数学モデルを用いた空間像シミュレーションによって求められており、メモリ 5 1 に記憶されているものとする。

従って、処理装置としての主制御装置 5 0 は、図 9 A に示されるような 1 次の基本周波数成分のコントラストカーブと、3 次の高調波成分のコントラストカーブとを求め、それぞれのベストフォーカス位置を求め、ベストフォーカス位置のフォーカス差（図 9 A では、R 1 で示される）を求めた後、そのフォーカス差 R 1 に対応する偶関数収差の収差量をメモリ 5 1 に記憶された図 9 B に示されるフォーカス差と偶関数収差の収差量との特性を参照して算出する（第 2 工程）。

調整装置としての主制御装置 5 0 は、算出された偶関数収差の収差量に基づいて、結像特性補正コントローラ 7 8 を介して投影光学系 P L の偶関数収差の収差量を調整する。そして、主制御装置 5 0 が、投影光学系 P L の結像特性が調整された後に、上述の走査露光動作を実行すれば、レチクル R 上に形成された回路パターンを精度良くウエハ W 上に転写することができるようになる。

以上詳細に述べたように、本第2の実施形態の露光装置及びその収差計測方法によれば、空間像に含まれる1次の基本周波数成分のコントラストが最大となるフォーカス位置と、その3次の高調波成分のコントラストが最大となるフォーカス位置との位置ずれ、すなわちフォーカス差を算出すれば、偶関数収差の収差量を算出することができる。なお、このフォーカス差は、符号付きで求められるので、この方法では、収差量の大きさとともにその極性も同時に求めることができる。なお、本第2の実施形態では、収差量を計測するための周期パターンを1つだけとして、複数の周期パターンの製造誤差などの外乱要因が収差の計測に含まれるのを回避することができるので、高精度に投影光学系P Lの収差を計測することができる。

ところで、計測された偶関数収差の収差量から低次の球面収差と高次の球面収差とを分離するためには、周期の異なる複数のL/Sパターンを計測マークとして用意する必要がある。

例えば、レチクルマーク板RFM上の計測マークとして、異なる周期を有する2つの周期パターン、それぞれの空間像の周期がそれぞれ $0.5\mu\text{m}$ と $1.0\mu\text{m}$ となるような2つのL/Sパターンを有する計測マークを用意して、計測マーク毎に前述の第1工程及び第2工程を実行して、それぞれの空間像を計測する。

L/Sパターンの周期によって、低次の球面収差と高次の球面収差とのフォーカス差に関する寄与度、すなわちフォーカス差に対するツェルニケ感度（以下、フォーカス差感度と略述する）がそれぞれ異なる。そのため、低次の球面収差（ Z_9 ）と高次の球面収差（ Z_{16} ）との分離が可能となる。空間像の周期が $1.0\mu\text{m}$ となるL/Sパターンでの1次の基本周波数成分と3次の高調波成分とのフォーカス差を δF （ $L/S=1.0$ ）とし、空間像の周期が $0.5\mu\text{m}$ となるL/Sパターンでの1次の基本周波数成分と3次の高調波成分とのフォーカス差を δF （ $L/S=0.5$ ）とする。さらに、 $1.0\mu\text{m}$ の低次球面

収差 Z_9 に対するフォーカス差感度を α_1 とし、 $1.0 \mu\text{m}$ の高次球面収差 Z_{16} に対するフォーカス差感度を β_1 とし、 $0.5 \mu\text{m}$ の低次球面収差 Z_9 に対するフォーカス差感度を α_2 、 $0.5 \mu\text{m}$ の高次球面収差 Z_{16} に対するフォーカス差感度を β_2 とすると、以下の式 (14)、式 (15) が成立する。

$$\delta F (L/S = 1.0) = \alpha_1 Z_9 + \beta_1 Z_{16} \quad (14)$$

$$\delta F (L/S = 0.5) = \alpha_2 Z_9 + \beta_2 Z_{16} \quad (15)$$

上述したフォーカス差感度は、投影光学系 PL の数学モデルを用いた空間像シミュレーションによって求めることができる。以下の表 2 に、 $\sigma = 0.15$ 、 $N.A. = 0.78$ 、波長 193 nm の場合に空間像シミュレーションによって求められたフォーカス差感度を示す。この表 2 では、3 種類の L/S パターンについての、フォーカス差の変化に対する偶関数収差である各球面収差 Z_9 、 Z_{16} 、 Z_{25} 、 Z_{36} の感度が表示されている。4 つの球面収差 Z_9 、 Z_{16} 、 Z_{25} 、 Z_{36} を分離するためには、 L/S パターンの周期及び高調波の次数の組合せであって、少なくとも 4 種類の組合せについての基本周波数成分とその所定次数 (3 次又は 5 次) の高調波成分とのフォーカス差を算出し、そのフォーカス差と、下の表 2 に示されるその組合せでのツェルニケ感度を用いて連立方程式を作成し、それを解く必要がある。

(表 2)

	Z_9		Z_{16}		Z_{25}		Z_{36}	
	3次-1次	5次-1次	3次-1次	5次-1次	3次-1次	5次-1次	3次-1次	5次-1次
$1.0 \mu\text{m}$	-0.65	-1.6	1.15	4.2	-4.7	-7.4	7.15	-9.85
$0.7 \mu\text{m}$	-8.3		3.65		-6.7		8.9	
$0.5 \mu\text{m}$	-1.29		5.85		-6.8		6.95	

例えば、 $0.5 \mu\text{m}$ L/S パターンについての 1 次の基本周波数成分と 3 次の高調波成分とのフォーカス差に対する Z_9 、 Z_{16} 、 Z_{25} 、 Z_{36} のツェルニケ感度をそれぞれ α_1 、 β_1 、 γ_1 、 δ_1 とし、 $0.7 \mu\text{m}$ L/S パターンについての

1 次の基本周波数成分と 3 次の高調波成分とのフォーカス差に対する Z_9 、 Z_{16} 、 Z_{25} 、 Z_{36} のツェルニケ感度をそれぞれ α_2 、 β_2 、 γ_2 、 δ_2 とし、1. 0 μmL / S パターンについての 1 次の基本周波数成分と 3 次の高調波成分とのフォーカス差に対する Z_9 、 Z_{16} 、 Z_{25} 、 Z_{36} のツェルニケ感度をそれぞれ α_3 、 β_3 、 γ_3 、 δ_3 とする。また、1. 0 μmL / S パターンについての 1 次の基本周波数成分と 5 次の高調波成分とのフォーカス差に対する Z_9 、 Z_{16} 、 Z_{25} 、 Z_{36} のツェルニケ感度をそれぞれ α_4 、 β_4 、 γ_4 、 δ_4 とすると、以下の式 (16) ~ 式 (19) が得られ、これらの式から Z_9 、 Z_{16} 、 Z_{25} 、 Z_{36} の分離が可能となる。

$$\delta F (L/S = 0.5) = \alpha_1 Z_9 + \beta_1 Z_{16} + \gamma_1 Z_{25} + \delta_1 Z_{36} \quad (16)$$

$$\delta F (L/S = 0.7) = \alpha_2 Z_9 + \beta_2 Z_{16} + \gamma_2 Z_{25} + \delta_2 Z_{36} \quad (17)$$

$$\delta F (L/S = 1.0, 3\text{次}) = \alpha_3 Z_9 + \beta_3 Z_{16} + \gamma_3 Z_{25} + \delta_3 Z_{36} \quad (18)$$

$$\delta F (L/S = 1.0, 5\text{次}) = \alpha_4 Z_9 + \beta_4 Z_{16} + \gamma_4 Z_{25} + \delta_4 Z_{36} \quad (19)$$

なお、本第 2 の実施形態では、求められたフォーカス差の数が、求める球面収差の数よりも多い場合などには、最小二乗法を用いて、各偶関数収差の各々の収差量を求めるようにしてもよい。なお、最小二乗法による収差量の計測方法の詳細については後述する。

また、上記第 1、第 2 の実施形態では、デューティ 50% の L/S パターンには、基本的に偶数次の空間周波数成分が存在しないため、所定次数の空間周波数成分として、奇数次の空間周波数成分を用いるのが望ましい。

また、上記第 1、第 2 の実施形態では、計測用パターンとしてスリット 122 を用いたが、本発明はこれに限定されるものではなく、ピンホールパターンを用いてもよい。なお、この場合、スリット 122 と同レベルの光量を確保するため、ピンホールパターンの直径は、その幅の 2 倍程度 (400 nm 以下) とすることが望ましい。

また、上記第 2 の実施形態では、複数のフォーカス位置においてスリット板

90を走査させて空間像計測を行ったが、投影光学系PLの実際の収差、例えば偶関数収差の一部の収差量を変化させながら、他の偶関数収差の収差量を計測することも可能である。具体的には、例えば Z_9 などの低次偶関数収差成分を変化させ、各周波数成分の振幅のピークを与える Z_9 の値を評価量として他の収差、例えば Z_{16} 等の高次の偶関数収差の収差量を計測することができる。

上記第1、第2の実施形態における露光装置10に用いられる投影光学系PLのような、最近の半導体露光装置に用いられる投影光学系は、前述のように、収差を補正するための駆動素子20を内蔵している（図2参照）。この駆動素子20を駆動し、投影光学系PLのレンズのレンズエレメントを調整することによって、 Z_9 の値を変化させることができる。駆動素子20は駆動しうる軸数、自由度によって補正しうる収差の種類が異なるが、最新の投影光学系（すなわち、投影光学系PL）では、駆動素子20を複数のレンズエレメントについて装備しており、球面収差 Z_9 、 Z_{16} 、コマ収差 Z_7 、 Z_8 、 Z_{14} 、 Z_{15} 、ディストーション Z_2 、 Z_3 など多種多様な収差の収差量を所望の値に調整することが可能となっている。

ここで、 Z_{16} の計測方法について説明する。図10には、規格化された瞳位置に対する偶関数成分の各収差（ Z_4 、 Z_9 、 Z_{16} 、 Z_{25} ）による位相遅れレベルの変化が示され、図11には、 Z_9 による振幅の調整を説明するための図が示されている。図10に示されるように、実線で表される Z_{16} についての位相遅れレベルは、瞳位置の座標値が ± 0.525 のところで極値を有しており、その値は 0.447 となっている。瞳位置の座標値 0.525 に位置する1次回折光を発生するパターンとしては、光学系の条件を、 $N.A. = 0.78$ 、 $\sigma = 0$ （コヒーレント照明）、 $\lambda = 193\text{ nm}$ とした場合に、ピッチ $= \lambda / (N.A. \times 0.525) = 471\text{ nm}$ となるので、 235 nm L/S パターンが用いられている。このパターンの振幅は、投影光学系PLの収差が Z_{16} のみであるとする、 Z_{16} が0の時に最大となる。このことは、式（7）から明らかで

ある。

フリンジツェルニケ係数相当で Z_{16} の収差量が C （今のところ未知数のため「 C 」と規定している）だけ存在するとした場合、瞳座標 0.525 に位置する1次回折光と0次光との位相差 A は、 $A = C \times 1.447$ となる（図11参照）。この位相差 A が0となるときに 235 nm L/S パターンの空間像の振幅は最大となる。また、位相差 A は、 Z_9 を変化させることによって任意に設定可能である。

また、図11に示されるように、 Z_9 相当で $1.2C$ の収差を発生させると、 $B = -C \times 1.2^2 = -1.44C$ の位相差を0次光と1次回折光との位相差に対して発生させることができ、 Z_{16} による位相差 A を相殺することができる。すなわち、言い換えれば、 Z_{16} の値を Z_9 の値から換算可能ということになる。なお、この際には、計測精度を高める観点からすれば、 Z_9 を順次変更した際の空間像の基本波成分の振幅が最大となる Z_9 の値から、 Z_{16} の値を換算するのが望ましい。

図12には、 Z_9 を変化させたときの、空間像強度の基本周波数成分の振幅をシミュレーションで計算したときの計算結果が示されている。このシミュレーションでは、光学系の条件を、 $N.A. = 0.78$ 、 $\sigma = 0.1$ 、 $\lambda = 193 \text{ nm}$ とし、計測マークを $0.235 \mu\text{m L/S}$ とした。なお、ここで、 Z_9 を変化させながら振幅の値を順次計測しているのは振幅のピーク位置を高精度に決定するためである。

振幅のピーク位置は Z_9 換算で求められる。振幅のピーク位置は Z_{16} の量に比例して変化する。図13には Z_{16} の収差量と Z_9 換算でのピーク位置との相関関係が示されている。図13に示されるように、 Z_{16} の収差量と Z_9 換算でのピーク位置とは、ほぼ完全に比例関係にあり、相関係数 $R^2 = 1$ となっている。 Z_{16} の変化に対するピーク位置の変化の割合は、いわゆるツェルニケ感度で 0.9157 と計算される。なお、この感度は $N.A.$ 、 σ 、波長、計測マークによっ

て変化する。

以上述べたように、空間像計測を、投影光学系 P L の第 1 の収差としての Z_9 を複数の収差量に設定して実行し、計測された空間像、すなわち光強度信号に含まれる所定周波数成分の大きさが最大となる位置の変化量を Z_9 換算で求め、これらの位置の変化量を評価量として第 2 の収差としての Z_{16} を算出することができる。

なお、その他の偶関数成分の収差 Z_{25} , Z_{36} も計測する場合、計測マークを 3 種類以上とし、これらの計測マークにおけるツェルニケ感度を Z_{16} , Z_{25} , Z_{36} に関して求めておき、3 種類以上のマークで Z_9 換算での振幅のピーク位置 δ_m を測定し、以下の式 (20) に示されるような連立方程式を解くことによって Z_{16} , Z_{25} , Z_{36} それぞれの収差量を求めることができる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_1 = a_{11}Z_{16} + a_{12}Z_{25} + a_{13}Z_{36} \\ \delta_2 = a_{21}Z_{16} + a_{22}Z_{25} + a_{23}Z_{36} \\ \delta_3 = a_{31}Z_{16} + a_{32}Z_{25} + a_{33}Z_{36} \\ \delta_4 = a_{41}Z_{16} + a_{42}Z_{25} + a_{43}Z_{36} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \delta_m = a_{m1}Z_{16} + a_{m2}Z_{25} + a_{m3}Z_{36} \end{array} \right. \quad (20)$$

ここで、上述の式 (20) における係数

$$a_{11}, \dots, a_{m3}$$

は、各偶関数収差 Z_{16} , Z_{25} , Z_{36} の成分の量に対する Z_9 相当の振幅のピーク位置の変化の割合、すなわちツェルニケ感度を示す。ツェルニケ感度

$$a_{11}, \dots, a_{m3}$$

は、空間像シミュレーションにより、前もって計算しておくのが一般的である

が、場合によっては投影光学系 P L の駆動素子 20 を駆動させて収差を変化させて実測しても良い。例えば

$$a_{11}$$

は、偶関数収差 Z_{16} に対する Z_9 換算の振幅ピーク位置の変化の割合、すなわちツェルニケ感度を示し、空間像シミュレーションによって、偶関数収差 Z_{16} を変化させたときの Z_9 換算の振幅ピーク位置の変化の割合から、ツェルニケ感度を求めることができる。

m 個の L/S パターンの位相差を計測すると、m 個の 1 次式を作成することができる。収差量 Z_{16} , Z_{25} , Z_{36} が未知数であり、3 つあるとする。一般に未知数を n とすると、 $m = n$ の場合、上述の式 (20) の連立 1 次方程式を解けばすべての未知数の値を求めることができる。すなわち、3 個の L/S パターンの位相差を計測すると、収差量 Z_{16} , Z_{25} , Z_{36} の値を求めることができる。なお、 $m \geq n$ の場合には、最小二乗法を用いて未知数の値を求めるようにすれば良い。

なお、複数のマークを用いる代わりに、同一マークで σ , N, A, など他の条件を変えて Z_{16} , Z_{25} , Z_{36} に対するツェルニケ感度を変化させ、連立方程式を解くことも可能である。

以上、 Z_9 を変化させて偶関数の収差を計測する例を説明したが、投影光学系 P L のレンズエレメントの位置、内部の圧力などを変化させて、 Z_9 の代わりに他の偶関数収差成分を変化させて計測を行っても良い。例えば Z_4 は、フォーカス（デフォーカス）と等価な収差であるが、投影光学系 P L の像面側の焦点距離、即ち光軸 A X の方向に関する像面の位置を変化させずに Z_4 を投影光学系 P L 内の収差変動として与えることが可能である。すなわち Z_4 を Z_9 の代わりに変化させても良い。

なお、本第 2 の実施形態では、投影光学系 P L と空間像計測装置 59 との距

離を等距離に保って偶関数収差の計測を行えるので、照明光学系のテレセントリシティ（照明テレセン）が斜めでも、デフォーカス時に像がずれないという特徴がある。このため、投影光学系PLのZ₉をステップさせながら複数のZ₉の発生状態で像コントラストと像位置を同時に計測することで偶関数と奇関数の収差を同時に計測することができる。これは、特にマイクロフライアイレンズを有する照明光学系では重要な特徴である。なぜならば、この照明光学系には0次光をカットする遮光円板が照明光学系の開口数（コヒーレンスファクタσ値）相当で0.04～0.05程度の大きさでその瞳面の中心に位置しているので、照明テレセンを斜めにしないと、照明光学系の開口数（σ値）を小さくする、特に0.04～0.05以下にする場合には照明光ILがけられてしまい、上記計測を実現できないためである。

《第3の実施形態》

次に、本発明の第3の実施形態について、図14A、図14B、図15A、図15B等に基づいて説明する。

本第3の実施形態に係る露光装置は、投影光学系PLの収差計測の際の動作が前述の第1、第2の実施形態と相違するが、装置構成などは、一部を除き第1の実施形態の露光装置10とほぼ同一となっている。従って、重複説明を避けるため、以下においては第1、第2の実施形態との相違点を中心に説明する。また、同様の趣旨から同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるとともに、その説明を省略するものとする。

本第3の実施形態では、マーク保持部材としてのレチクルマーク板と、計測用パターンとしてのスリットの構成が、上記第1、第2の実施形態と異なっている。本第3の実施形態では、図14A、図14Bに示されるように、レチクルマーク板RFMの代わりにレチクルマーク板RFM'を用い、スリット122の代わりに、スリット122'を用いる。

図14Aには、本第3の実施形態におけるレチクルマーク板RFM'上の計

測マークの一例が示されている。図 1 4 A に示されるように、このレチクルマーク板 R F M' の計測マークには、第 1 周期パターンとしての 1 つの L / S パターン L S 1 と、第 2 周期パターンとしての一対の L / S パターン L S 2 と、一対の L / S パターン L S 3 とが、その周期方向に直交する方向に並列に配置されている。L / S パターン L S 1 ~ L S 3 は、互いに周期が異なるデューティ 50 % のパターンである。一対の L / S パターン L S 2 は、L / S パターン L S 1 を挟むように、周期方向の互いの位相差がほぼ 0 となるように配設され、一対の L / S パターン L S 3 も、L / S パターン L S 1、L S 2 を挟むように、周期方向の互いの位相差がほぼ 0 となるように配設されている。なお、各 L / S パターン L S 1 ~ L S 3 は、その周期方向における空間像の全長が $12\ \mu\text{m}$ より小さくなるように設定されており、それぞれの X 軸方向（L / S パターン L S 1 ~ L S 3 の周期方向に垂直な方向）の空間像の長さが $2\ \mu\text{m}$ 程度で、各 L / S パターン L S 1 ~ L S 3 の空間像の隙間が $1\ \mu\text{m}$ 程度となるように設定されている。

図 1 4 B には、本第 3 実施形態の収差計測方法において、空間像計測を行う際のスリット板 90' の一例が示されている。このスリット板 90' には、図 1 4 B に示されるように、X 軸方向に延びる所定幅 2 D のスリット 1 2 2' が形成されている。スリット 1 2 2' は、その X 軸方向の長さが L / S パターン L S 1、L S 2（2 つ）、L S 3（2 つ）全体の空間像の X 軸方向の長さ以上となるように形成されている。

本第 3 実施形態では、周期が異なる複数の L / S パターン L S 1 ~ L S 3 を並列して配置した計測マークを、上記第 1、第 2 実施形態と同様に（計測マーク P M と同じように）、それらのパターンを全て投影光学系 P L の有効視野内に位置させた状態で、照明光 I L により計測マークを照明する。このようにすれば、投影光学系 P L を介して計測マークの空間像が形成される。

主制御装置 50 は、図 1 4 B に示されるように、それらの空間像を一括して

スリット 1 2 2' にて走査させながら、スリット 1 2 2' を介して得られる計測マークを介した照明光を空間像計測装置 5 9 によって光電検出する（第 1 工程）。このようにすれば、空間像計測装置 5 9 において、それぞれの L/S パターンの空間像の成分を含む合成空間像強度に相当する光強度信号 P を検出することができるようになる。主制御装置 5 0 は、空間像計測装置 5 9 より得られた光強度信号 P に基づく合成空間像強度を周波数解析することによって、各 L/S パターンに対応する空間周波数成分の大きさを求め、これによって投影光学系 P L の収差量を計測し、その収差量に基づいて投影光学系 P L の結像特性を調整する。

なお、本第 3 実施形態では、複数の L/S パターンにおける最小周期に対する最大周期の比率は、3 倍以下とすることが望ましい。図 1 4 A に示されるように、L/S パターン L S 1 ~ L S 3 の中では、L/S パターン L S 1 の周期が最大となっており、L/S パターン L S 3 の周期が最小となっている。従って、レチクルマーク板 R F M' では、L/S パターン L S 3 の周期に対して L/S パターン L S 1 の周期が 3 倍以下となるように設定されている。このようにすれば、空間像計測装置 5 9 によって得られる光強度信号 P に基づく光強度分布に含まれる空間周波数成分において、最小周期を有する L/S パターン L S 3 による 1 次の基本周波数成分と、最大周期を有する L/S パターン L S 1 による 3 次の高調波成分とが混在するのを防ぐことができる。例えば、各 L/S パターン L S 1 ~ L S 3 の空間像の周期の組合せとしては、それらの単位を μm とすると、それぞれ (L S 1, L S 2, L S 3) = (0. 2 2 5, 0. 1 7 5, 0. 1 2 5)、(0. 2 7 5, 0. 2 2 5, 0. 1 5 0)、(0. 2 7 5, 0. 2 5 0, 0. 2 0 0)、(0. 4 5 0, 0. 3 5 0, 0. 3 0 0)、(0. 6 0 0, 0. 4 5 0, 0. 3 2 5)、(0. 6 0 0, 0. 5 0 0, 0. 4 0 0) などが考えられる。

なお、図 1 4 A では、周期が異なる L/S パターンとして L S 1 ~ L S 3 だ

け示されているが、周期が異なるL/Sパターンは、4種類以上（例えば、L/SパターンLS1～LS3とは周期が異なるL/SパターンLS4、LS5等をさらに含むものとする）あっても良い。

まず、投影光学系PLの偶関数収差を計測する場合について説明する。この場合には、上記第2の実施形態と同様に、スリット122'を走査する位置を、投影光学系PLの光軸AXの方向に関する複数の位置に変更しながら、上述した第1工程における空間像計測を実行する。そして、主制御装置50は、それらの位置でそれぞれ得られた基本周波数成分の大きさ（ここではコントラストとする）に基づいて、各L/SパターンLS1～LS3に対応するコントラストカーブを作成する。

図15Aには、周期が異なる2つのL/SパターンLS1、LS2におけるコントラストカーブの一例が示されている。図15Aに示されるように、L/SパターンLS1においてコントラストが最大となる位置と、L/SパターンLS2においてコントラストが最大となる位置との間には位置ずれ、すなわちフォーカス差が生じている。なお、図15Aでは、L/SパターンLS1のコントラストカーブが最大となる位置が原点として設定されている。

図15Bには、このフォーカス差と偶関数収差の収差量との関係の一例が示されている。図15Bでは、横軸は偶関数収差の収差量を示し、縦軸はその収差量によって発生するL/SパターンLS1とL/SパターンLS2とのフォーカス差を示す。図15Bに示されるように、偶関数収差の収差量とそれらのベストフォーカス位置同士のフォーカス差とは比例関係にあり、このフォーカス差（例えばR'）を計測すれば、そのときの偶関数収差の収差量を求めることが可能となる。なお、このようなフォーカス差と偶関数収差の収差量との関係は、投影光学系PLの数学モデルを用いた空間像シミュレーションによって求めることが可能であり、この関係が予めメモリ51に記憶されているものとする。

主制御装置 50 は、各パターンについて図 15 A に示されるようなコントラストカーブを作成し、それらのカーブの値が最大となる位置の各パターン間の位置ずれ、すなわちフォーカス差を算出し、メモリ 51 に記憶された図 15 B に示される関係に基づいて、偶関数収差の収差量を求める。

次いで、主制御装置 50 は、最も長いピッチの L/S パターン LS1 の第 1 の基本周波数成分を基準とし、他の L/S パターン LS2、LS3、LS4、LS5・・・との相対的な前述のフォーカス差をそれぞれ第 1 フォーカス差 δF_1 、第 2 フォーカス差 δF_2 、第 3 フォーカス差 δF_3 、第 4 フォーカス差 δF_4 として前述のようにして求める。これらのフォーカス差と、低次球面収差 Z_9 、高次球面収差 Z_{16} 等の複数の偶関数収差 (Z_9 、 Z_{16} 、 Z_{25} 、 Z_{36}) との関係は以下の式 (21) に示される連立方程式で表される。主制御装置 50 は、この式 (21) を解いて、各偶関数収差 (Z_9 、 Z_{16} 、 Z_{25} 、 Z_{36}) を求める。

$$\begin{cases} \delta F_1 = \alpha_1 Z_9 + \beta_1 Z_{16} + \gamma_1 Z_{25} + \delta_1 Z_{36} \\ \delta F_2 = \alpha_2 Z_9 + \beta_2 Z_{16} + \gamma_2 Z_{25} + \delta_2 Z_{36} \\ \delta F_3 = \alpha_3 Z_9 + \beta_3 Z_{16} + \gamma_3 Z_{25} + \delta_3 Z_{36} \\ \delta F_4 = \alpha_4 Z_9 + \beta_4 Z_{16} + \gamma_4 Z_{25} + \delta_4 Z_{36} \end{cases} \quad (21)$$

ここで、係数 $\alpha_1 \sim \alpha_4$ 、 $\beta_1 \sim \beta_4$ 、 $\gamma_1 \sim \gamma_4$ 、 $\delta_1 \sim \delta_4$ は、フォーカス差の変化に対する各偶関数収差 (球面収差等) の成分の量の感度である。例えば、係数 α_1 は、第 1 フォーカス差 δF_1 (L/S パターン LS1 の 1 次の基本周波数成分と、L/S パターン LS2 の 1 次の基本周波数成分との位相差) の変化に対する低次球面収差 Z_9 の感度を示す。これらの感度は、投影光学系 PL の数学モデルを用いた空間像シミュレーションによって前もって計算されたものを用いることができる。

なお、本第 3 実施形態では、上述のように、各 L/S パターンにおけるフォーカス差に基づいて各偶関数収差を計測したが、本発明はこれに限定されるものではなく、上記第 1 の実施形態と同様に、各 L/S パターンに対応する所定

次数の空間周波数成分の大きさに基づいて、各偶関数収差を求めるようにしてもよい（投影光学系P Lの光軸方向に関して、その空間周波数成分が最大となる位置から所定のオフセットを有する位置でスリットを走査させて空間像計測を行う方法を含む）。

また、図14Aに示されるような周期が異なる複数のL/Sパターンを用いて投影光学系P Lの奇関数収差、例えばコマ収差を計測することも可能である。例えば、主制御装置50は、前述の第1工程を実行し、計測された合成空間像強度を周波数解析することによって各L/Sパターンに対応する空間周波数成分を抽出する。そして、主制御装置50は、例えば、最も長い周期を有するL/SパターンLS1に対応する基本周波数成分の位相を基準とし、他のL/SパターンLS2、LS3、LS4、LS5・・・の基本周波数成分との相対的な位相差をそれぞれ第1位相差 ϕ_1 、第2位相差 ϕ_2 、第3位相差 ϕ_3 、第4位相差 ϕ_4 とする。これらの位相差と、低次コマ収差 Z_7 、高次コマ収差 Z_{14} 等の複数の奇関数収差（ Z_7 、 Z_{14} 、 Z_{23} 、 Z_{34} ）との関係は以下の式（22）のように表される。主制御装置50は、この式（22）を解いて、各奇関数収差（ Z_7 、 Z_{14} 、 Z_{23} 、 Z_{34} ）を求める。

$$\begin{cases} \phi_1 = \alpha_1 Z_7 + \beta_1 Z_{14} + \gamma_1 Z_{23} + \delta_1 Z_{34} \\ \phi_2 = \alpha_2 Z_7 + \beta_2 Z_{14} + \gamma_2 Z_{23} + \delta_2 Z_{34} \\ \phi_3 = \alpha_3 Z_7 + \beta_3 Z_{14} + \gamma_3 Z_{23} + \delta_3 Z_{34} \\ \phi_4 = \alpha_4 Z_7 + \beta_4 Z_{14} + \gamma_4 Z_{23} + \delta_4 Z_{34} \end{cases} \quad (22)$$

ここで、係数 $\alpha_1 \sim \alpha_4$ 、 $\beta_1 \sim \beta_4$ 、 $\gamma_1 \sim \gamma_4$ 、 $\delta_1 \sim \delta_4$ は、各奇関数収差（コマ収差）の成分に対する位相差変化の感度である。例えば、係数 α_1 は、低次コマ収差 Z_7 に対する第1位相差 ϕ_1 （L/SパターンLS1の1次の基本周波数成分と、L/SパターンLS2の1次の基本周波数成分との位相差）の変化の感度を示す。これらの感度は、投影光学系P Lの数学モデルを用いた空間像シミュレーションにより前もって計算されたものを用いることができる。

なお、本第3実施形態では、 n 個の奇関数収差を計測しようとする場合には、 n 個以上の位相差を計測すればよい。例えば、6個の奇関数収差を計測しようとする場合には、6個以上の位相差を計測する必要がある。このとき、レチクルマーク板RFM'には、必ずしも6個のL/Sパターンを用意する必要はなく、L/Sパターンは少なくとも4個配設されていればよい。なぜならば、前述のように各位相差の基準を1つのL/Sパターン（例えばL/SパターンLS1）に限定する必要はなく、周期が異なるL/Sパターンを4つ配設しておけば、1組のL/Sパターンの組合せとして6つの組合せを作成することができ、6つの位相差を計測可能となるからである。

以上述べたように、 n 個の奇関数収差を計測しようとして、 n 個の位相差が計測されている場合には、上述のように n 個の連立方程式を解くことによって、各奇関数収差の収差量が得られる。ところで、 n 個より多い m 個の位相差が計測されている場合には、以下の式(23)に表される m 個の位相差に対応する m 個の1次方程式から成る連立方程式を作成し、最小二乗法を用いて未知数、すなわち各奇関数収差を求めればよい。

$$\left\{ \begin{array}{l} \phi_1 = a_{11} S_1 + a_{12} S_2 + a_{13} S_3 + a_{14} S_4 + \cdots + a_{1n} S_n \\ \phi_2 = a_{21} S_1 + a_{22} S_2 + a_{23} S_3 + a_{24} S_4 + \cdots + a_{2n} S_n \\ \phi_3 = a_{31} S_1 + a_{32} S_2 + a_{33} S_3 + a_{34} S_4 + \cdots + a_{3n} S_n \\ \phi_4 = a_{41} S_1 + a_{42} S_2 + a_{43} S_3 + a_{44} S_4 + \cdots + a_{4n} S_n \\ \vdots \\ \phi_m = a_{m1} S_1 + a_{m2} S_2 + a_{m3} S_3 + a_{m4} S_4 + \cdots + a_{mn} S_n \end{array} \right. \quad (23)$$

ここで、 S_j ($j = 1 \sim n$) は、未知数、すなわち計測対象となる各奇関数収差のいずれかを示し、 a_{ij} ($i = 1 \sim m$ 、 $j = 1 \sim n$) は、各奇関数収差の収差量 S_j に対する位相差 ϕ_i ($i = 1 \sim m$) の変化の感度を示す。

最小二乗法による各奇関数収差の収差量の求め方について説明する。上述の式(23)は、右辺を、 a_{ij} ($i = 1 \sim m$ 、 $j = 1 \sim n$) を各要素とする m 行 n

列の定数行列 A と、未知数 S_j ($j = 1 \sim n$) を要素とする n 次元ベクトル S とでまとめて表すことができる。左辺の位相差 Φ_i ($i = 1 \sim m$) を m 次元ベクトル Φ としてまとめて表すと、以下の式 (24) のように表される。

$$\Phi = AS \quad (24)$$

最小二乗法は、上記式 (24) のように、ベクトル形式で表現した場合に、ベクトル $AS - \Phi$ 同士の内積 ($AS - \Phi, AS - \Phi$) を最小とする S を求める方法である。なお、上述の式 (24) は、以下の式 (25) のように変形される。

$$A^T AS = A^T \Phi \quad (25)$$

ここで、行列 A^T は、行列 A の転置行列である。 $A^T A$ は n 次元の正方行列であり、 $A^T \Phi$ は、 n 次元のベクトルであるから、上述の式 (25) は、その解を解くことができ、これにより n 次元ベクトル S を求めることができる。 n 次元ベクトル S は、以下の式 (26) のように表される。従って、主制御装置 50 は、以下の式 (26) を計算して、各奇関数収差の収差量を求める。

$$S = (A^T A)^{-1} A^T \Phi \quad (26)$$

なお、このような最小二乗法を用いた、収差計測方法は、前述のように、奇関数収差だけではなく、前述 (上記第 2 の実施形態も含む) の各偶関数収差の計測にも利用できることはいうまでもない。なお、この場合には、上述の式 (23) における連立方程式の左辺は、各 L/S パターン間の位相差ではなく、各パターン間のコントラストが最大となる位置の位置ずれ等になる。

以上詳細に述べたように、本第 3 の実施形態では、並列に配置された周期が互いに異なる複数の周期パターン $LS1$ 、 $LS2 \dots$ を含む計測マークの空間像に対して走査させる計測用パターン $122'$ の長さを、計測マークの空間像の長さ以上としている。従って、この計測用パターン $122'$ を用いれば、1 回の走査で、すべての周期パターンを介した照明光の光強度信号を得ること

ができるようになるため、投影光学系P Lの収差（低次、高次球面収差等を含む偶関数収差や低次、高次コマ収差等を含む奇関数収差）の計測時間を短縮することができるようになる。

なお、本第3の実施形態でも、上記第1、第2の実施形態と同様に、その空間周波数成分の振幅をその大きさの評価量としてもよいし、そのコントラストを評価量としてもよい。コントラストとは、その空間周波数成分の振幅を、光強度信号に含まれる直流成分で除したものであり、このコントラストを評価量とすることによって、照明光の光源の光量変化の収差計測への影響を緩和することができるようになる。

《第4の実施形態》

次に、本発明の第4の実施形態について、図16A～図28に基づいて説明する。

上記第2の実施形態では、デューティ比が1：1のL/Sパターンの計測マークの空間像を複数のフォーカス位置で計測して、この空間像に対しフーリエ変換を実行することにより、その空間像に含まれる基本周波数成分と3次高調波成分のフーリエ係数を求め、そのフーリエ係数に基づいて、基本周波数成分と3次高調波成分とのコントラストカーブを求め、それらのコントラストカーブが最大になる位置の位置ずれに基づいて、投影光学系P Lの収差量を求めた。

このような高調波成分を用いて投影光学系P Lの収差を求める方法では、L/Sパターンのデューティ比の精度が、投影光学系P Lの収差量の計測精度に多大な影響を与える。例えば、以下の表3に、デューティ比が異なるL/Sパターンでの、1次の基本周波数成分とその高調波成分との位相差、いわゆる横ずれ量（この量が、投影光学系P Lのコマ収差等の奇関数収差に対応する）の違いを示す。なお、ここでは、照明光I Lの波長が193 nm、コヒーレンスファクタ σ が0.3、投影光学系P Lの開口数が0.78、L/Sパターンの空間像の周期が1.0 μ mという条件の下、その空間像のラインとスペースと

の幅の比を、それぞれ $0.5 \mu\text{m} : 0.5 \mu\text{m}$ 、 $0.45 \mu\text{m} : 0.55 \mu\text{m}$ 、 $0.55 \mu\text{m} : 0.45 \mu\text{m}$ としている。

(表 3)

評価量	L/S=0.5:0.5	L/S=0.45:0.55	L/S=0.55:0.45
基本波と3次高調波の横ずれ量 (Z7換算で20mλのコマ収差量あたり)	-6.8 nm	-9.7 nm	-5.3 nm
基本波と2次高調波の横ずれ量 (Z7換算で20mλのコマ収差量あたり)	18.3 nm	6.3 nm	46.7 nm

なお、このときの基本周波数成分と、2次の高調波成分と、3次の高調波成分との振幅比は、 $0.31 : 0.032 : 0.071$ となった。すなわち、空間像に含まれる各空間周波数成分の大きさは、次数が高くなればなるほど小さくなっており、ここでは、3次の高調波成分の大きさは、基本周波数成分の大きさの約30%程度となっている。

また、このような空間像計測には、前述のように、光電変換素子としてフォト・マルチプライヤ・チューブ（以下、「PMT」と略述する）を用いるが、計測される収差量は、このPMTの非線形性による出力電圧の歪みにも影響を受ける。このようなPMTの非線形性を考慮した場合、上述の条件による横ずれ量の計測値は、以下の表4のように表される。

(表 4)

評価量	L/S=0.5:0.5	L/S=0.45:0.55	L/S=0.55:0.45
基本波と3次高調波の横ずれ量 (Z7換算で20mλのコマ収差量あたり)	-5.9 nm	-8.2 nm	-4.7 nm
基本波と2次高調波の横ずれ量 (Z7換算で20mλのコマ収差量あたり)	18.0 nm	6.1 nm	37 nm

なお、このときの基本周波数成分と、2次の高調波成分と、3次の高調波成分との振幅比は、 $0.31 : 0.030 : 0.07$ となった。

また、以下の表5には、照明光 I L の波長を 248 nm とし、投影光学系 P L の開口数 N. A. を 0.82 とし、PMT の非線形性を考慮しない場合の横ずれ量の計測値が示されている。

(表5)

評価量	L/S=0.5:0.5	L/S=0.45:0.55	L/S=0.55:0.45
基本波と3次高調波の横ずれ量 (Z7換算で20mλのコマ収差量あたり)	-8.1 nm	-15 nm	-7.1 nm
基本波と2次高調波の横ずれ量 (Z7換算で20mλのコマ収差量あたり)	8.6 nm	2.8 nm	63 nm

なお、このときの基本周波数成分と、2次の高調波成分と、3次の高調波成分との振幅比は、0.31 : 0.053 : 0.045 となった。

また、以下の表6には、照明光 I L の波長を 248 nm とし、投影光学系 P L の開口数 N. A. を 0.82 とし、PMT の非線形性を考慮した場合の横ずれ量の計測値が示されている。

(表6)

評価量	L/S=0.5:0.5	L/S=0.45:0.55	L/S=0.55:0.45
基本波と3次高調波の横ずれ量 (Z7換算で20mλのコマ収差量あたり)	-6.8 nm	-10.6 nm	-6.2 nm
基本波と2次高調波の横ずれ量 (Z7換算で20mλのコマ収差量あたり)	8.7 nm	2.9 nm	86 nm

なお、このときの基本周波数成分と、2次の高調波成分と、3次の高調波成分との振幅比は、0.31 : 0.048 : 0.046 となった。

上記表3～表6から明らかなように、L/Sパターンのデューティ比が変化すると、そのデューティ比の変化率を大幅に上回る横ずれ量等の感度変化が発生して収差量の計測精度が悪化してしまうという不都合がある。また、PMT

の非線形性により、投影光学系 P L の収差量の計測精度に限界があるという不都合もある。

また、上記第 1 ～ 第 3 実施形態では、透過光量が減少して S / N 比が悪化するのを防ぎ、計測時間を短縮するという観点から、計測用パターンとして、ピンホールパターンよりも、スリットパターンを用いていた。しかし、投影光学系 P L の収差を、より精度良く求めるためには、あらゆる方向に延びる周期パターンの空間周波数成分を計測することが望ましく、所定の計測用パターンをスリットパターンのみとすると、前述のように、計測マークの周期方向が、スリットパターンの長手方向に垂直な方向に限られてしまうという不都合がある。

本第 4 の実施形態に係る露光装置は、上述の不都合を解決するためのものである。本第 4 の実施形態に係る露光装置は、その装置構成などは、一部を除き第 1 の実施形態の露光装置 10 とほぼ同一となっている。従って、重複説明を避けるため、以下においては第 1 ～ 第 3 の実施形態との相違点を中心に説明する。また、同様の趣旨から同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるとともに、その説明を省略するものとする。

本第 4 の実施形態では、マーク保持部材としてのレチクルマーク板と、計測用パターンとしてのスリットの構成が、上記第 1 ～ 第 3 の実施形態と異なっている。本第 4 の実施形態では、図 16 A ～ 図 16 C 又は図 17 A、図 17 B に示されるレチクルマーク R F M” のうち、いずれか 1 つのレチクルマーク板 R F M” を用いる。

図 16 A には、本第 4 の実施形態におけるレチクルマーク板 R F M” 上の計測マークの一例が示されている。図 16 A に示されるように、このレチクルマーク板 R F M” の計測マークでは、幅 4 d の光透過部（斜線で示される部分）が周期（周期 8 d）的に設けられており、幅 2 d の光透過部（斜線で示される部分）が、幅 d の 2 つの遮光部に挟まれるように周期的（周期 8 d）に設けられている。従って、この計測マークでは、周期 8 d のデューティ比 1 : 1 の基

本パターン（第1周期パターン）と、周期8 dのデューティ比1 : 3の補助パターン（基本パターンとは線幅が異なる第2周期パターン）とが、それらの周期方向に混在するように配置されているとみなすことができる。

図16Bには、本第4の実施形態におけるレチクルマーク板RFM”上の計測マークの他の例が示されている。図16Bに示されるように、このレチクルマーク板RFM”の計測マークでは、幅3 dの光透過部（斜線で示される部分）が周期的（周期6 d）に設けられており、幅dの光透過部（斜線で示される部分）が、幅dの2つの遮光部に挟まれるように周期的（周期6 d）に設けられている。従って、この計測マークでは、周期6 dのデューティ比1 : 1の基本パターン（第1周期パターン）と、周期6 dのデューティ比1 : 5の補助パターン（第2周期パターン）とが、それらの周期方向に混在するように配置されているとみなすことができる。

図16Cには、本第4の実施形態におけるレチクルマーク板RFM”上の計測マークの他の例が示されている。図16Cに示されるように、このレチクルマーク板RFM”の計測マークでは、幅8 dの光透過部（斜線で示される部分）が周期的（周期16 d）に設けられており、幅2 dの2つの光透過部（斜線で示される部分）が、幅2 dの遮光部を挟んだ状態で、かつ幅dの2つの遮光部に挟まれるように周期的（周期16 d）に設けられている。従って、この計測マークでは、周期16 dのデューティ比1 : 1の基本パターン（第1周期パターン）と、周期16 dのデューティ比1 : 7の補助パターン（第2周期パターン）とが、それらの周期方向に混在するように配置されているとみなすことができる。

また、図17Aには、本第4の実施形態におけるレチクルマーク板RFM”上の計測マークの他の例が示されている。図17Aに示されるように、このレチクルマーク板RFM”の計測マークでは、幅5 dの光透過部（斜線で示される部分）が周期的（周期10 d）に設けられており、幅dの2つの光透過部（斜

線で示される部分)が、幅 d の遮光部を挟んだ状態で、かつ幅 d の 2 つの遮光部に挟まれるように周期的 (周期 $10d$) に設けられている。従って、この計測マークでは、周期 $10d$ のデューティ比 $1:1$ の基本パターン (第 1 周期パターン) と、周期 $10d$ のデューティ比 $1:9$ の補助パターンとが、それらの周期方向に混在するように配置されているとみなすことができる。

図 17B には、本第 4 の実施形態におけるレチクルマーク板 RFM” 上の計測マークの他の例が示されている。図 17B に示されるように、このレチクルマーク板 RFM” の計測マークでは、幅 $12d$ の光透過部 (斜線で示される部分) が周期的 (周期 $24d$) に設けられており、幅 $2d$ の 3 つの光透過部 (斜線で示される部分) が、それぞれの間隔 (遮光部) がそれぞれ $2d$ となり、幅 $12d$ の遮光部との間隔 (遮光部) がそれぞれ d となるように周期的 (周期 $24d$) に設けられている。従って、この計測マークでは、周期 $24d$ のデューティ比 $1:1$ の基本パターン (第 1 周期パターン) と、周期 $24d$ のデューティ比 $1:11$ の補助パターン (第 2 周期パターン) とが、それらの周期方向に混在するように配置されているとみなすことができる。

次に、図 16A ~ 図 16C、図 17A、図 17B に示されるような計測マークの設計方法について説明する。まず、基本パターンだけの計測マークを考慮する。例えば、図 16A に示される計測マークを設計する場合には、周期 $8d$ でデューティ比 $1:1$ の基本パターン (幅 $4d$ の遮光部及び光透過部のみから成る周期パターン) だけの計測マークを考慮する。そして、その計測マークの空間像を、上記第 1、第 2 の実施形態と同様にスリットパターンを走査させて、その計測マークの空間像を、空間像計測装置 59 を用いて計測するか、シミュレーションによって解析する。

図 18 には、基本パターンのみの計測マークの空間像をシミュレーションで解析したときの解析結果が示されている。図 18 に示されるように、太線の矩形波は、レチクルパターン (投影光学系 PL の投影倍率によって縮小されてい

る)を示しており、実線Qは、投影光学系PLによって実際に結像する空間像を示している。また、点線Pは、空間像計測装置59による走査(スリットスキャン)によって検出される光強度信号Pを示している。図18に示されるように、空間像計測装置59による走査によって得られた光強度信号Pは、実際の空間像をほぼ再現しているとみなすことができる。

光強度信号Pをフーリエ変換すると、その所望の空間周波数成分(例えば基本周波数成分、2次~6次の高調波成分)のフーリエ係数が得られる。そして、所望の空間周波数成分のフーリエ係数を逆フーリエ変換すると、その周波数成分の正弦波が得られる。図18には、そのようにして得られた基本周波数成分、その2次~6次の高調波成分が示されている。なお、図18では、これらの成分を元の計測マークの空間像等とあわせて表示するために、各空間周波数成分の値に0.5だけオフセットが付与されている。なお、この図18に示されるシミュレーションでは、照明光ILの波長を193nmとし、投影光学系PLのN.A.を0.82とし、コヒーレンスファクタ σ を0.3とし、L/Sパターンの空間像の周期を1.0 μ mとした。

次に、補助パターンを形成する場所を特定する。例えば、図19に示されるように、基本周波数成分が負となっており、2次の高調波成分が正となっている区間に対応する計測マークの部分(ここは遮光部となっている)に、新たに幅2d(周期 $P=8d$ の1/4、すなわち $P/4$)の光透過部を設ける。このようにすれば、基本パターンの周期の1/2の周期を有する補助パターンを形成して、図16Aに示されるような計測マークを設計することができる。なお、図18等では、各成分に0.5のオフセットを与えていることに注意する。

このように、基本周波数成分が負(すなわち基本パターンの遮光部に相当)となっていて、その高調波成分が正となっている区間に対応する部分に補助パターンの光透過部を設ければ、図16A~図16C、図17A、図17Bに示されるような計測マークを設計することが可能となる。例えば、図20に示さ

れるように、基本周波数成分が負となっていて、3次の高調波成分が正となっている区間に対応する部分に補助パターンとして光透過部（P／6で示される部分）を設ければ、図16Bに示されるような計測マークを設計することができる。また、図21に示されるように、基本周波数成分が負となっていて、4次の高調波成分が正となっている区間に対応する部分に補助パターンとして光透過部（P／8で示される部分）を設ければ、図16Cに示されるような計測マークを設計することができる。また、図22に示されるように、基本周波数成分が負となっていて、5次の高調波成分が正となっている区間に対応する部分に補助パターンとして光透過部（P／10で示される部分）を設ければ、図17Aに示されるような計測マークを設計することができる。また、図23に示されるように、基本周波数成分が負となっていて、6次の高調波成分が正となっている区間に対応する部分に補助パターンとして光透過部（P／12で示される部分）を設ければ、図17Bに示されるような計測マークを設計することができる。

このように、基本周波数成分が負になっていて、高調波成分が正になっている部分に対応する部分に補助パターンの光透過部を設ければ、基本パターンによる高調波成分と、補助パターンによる空間周波数成分との周期方向の位相差をほぼ0にすることができるようになるため、結果的に、基本パターンに対応する空間像の高調波成分が強調される。なお、以下では、図16Aに示されるような2次高調波成分を強調するように設計された計測マークを2次高調波強調マークとし、図16Bに示されるような3次高調波成分を強調するように設計された計測マークを3次高調波強調マークとし、図16Cに示されるような4次高調波成分を強調するように設計された計測マークを4次高調波強調マークとし、図17Aに示されるような5次高調波成分を強調するように設計された計測マークを5次高調波強調マークとし、図17Bに示されるような6次高調波成分を強調するように設計された計測マークを6次高調波強調マークとす

る。

図24には、ピッチ1.0 μm の2次高調波強調マーク（図16A）を計測マークとした場合の空間像計測のシミュレーションの結果が示されている。この図24では、実線が投影光学系PLを介して得られる空間像を示し、点線がスリットスキャンによって得られる空間像を示している。図24に示されるように、2次高調波強調マークを用いれば、2次の高調波成分の大きさが図19に示される2次の高調波成分の大きさよりも大きくなり、2次高調波成分がより強調されたものになっている。また、図25には、ピッチ1.0 μm の3次高調波強調マーク（図16B）を計測マークとした場合の空間像計測のシミュレーションの結果が示されている。図25に示されるように、3次高調波強調マークを用いれば、3次の高調波成分の大きさが図20に示される3次の高調波成分の大きさよりも大きくなっており、その3次高調波成分がより強調されたものになっている。なお、図24、図25に示されるシミュレーション結果はいずれも、投影光学系PLのN.A.が0.78、照明光ILの波長が193 nm、コヒーレンスファクタ σ が0.3の条件で算出されたものである。

また、本第4の実施形態では、空間像計測装置59を構成するスリット板90”上には、図26Aに示されるように、X軸方向に伸びる所定幅2D、長さLのスリット122aと、Y軸方向に伸びる所定幅2D、長さLのスリット122bと、ピンホールパターン123とが形成されている。ここで、2Dは例えば200 nm以下に設定されており、Lは例えば16 μm に設定されている。また、スリット122bはスリット122aの-X側及び+Y側にそれぞれ約4 μm 隔てて配置されている。また、ピンホールパターンの直径は、400 nm以下（スリット122a、122bの約2倍程度）となるように設定されている。

本第4の実施形態では、このようにスリットパターンとピンホールパターンとを組み合わせた計測用パターンを用いて空間像計測動作を実行する。例えば、

投影光学系PLのフォーカス管理等を行う場合のような、できるだけ計測時間を短縮することが望まれる場合には、空間像を計測する際には、例えば図26Bに示されるように、スリット122a（又はスリット122b）を計測用パターンとして、空間像計測動作を実行すればよい（図26Bでは、 $0.2\mu\text{m}$ L/Sパターン（5本）3組のマークの空間像を計測するようになっている）。スリットパターンは、ピンホールパターンに比べて多くの光量を受光可能であり、計測値のS/N比が高く、計測時間の短縮化が可能だからである。なお、計測用パターンとして、スリットを用いる場合、ピンホールパターン123は、図26Bに示されるように、走査中の計測マークを介した照明光IL（空間像）を入射しない位置に配設されている必要がある。すなわち、スリットパターン122a、122bとピンホールパターン123とは、計測する空間像に対してスリットパターン122a、122bを相対的に走査させる際に、ピンホールパターン123がその空間像に干渉することなく、かつ空間像に対してピンホールパターン123を相対走査する際に、スリットパターン122a、122bがその空間像に干渉することのない位置関係となるように配置されている。

また、定期的に投影光学系PLの収差の計測を行う際には、ピンホールパターン123を用いて空間像計測を行うのが望ましい。ピンホールパターン123を計測用パターンとして用いれば、図27に示されるように、レチクルマーク板に形成されたあらゆる周期方向の計測マークに対して、計測用パターンを走査させることができるようになるので、投影光学系PLの収差をさらにきめ細かく計測することが可能となり、その収差を精度良く求めることができるからである。

すなわち、本第4の実施形態に係る露光装置では、計測用パターンとしてスリットパターン122a、122bとピンホールパターン123とを有しているため、その空間像の計測目的、計測時間、計測精度等に合わせて、適宜、計測用パターンを選択して空間像計測を実行することができる。

本第4の実施形態では、前述した図16A～図16C、図17A、図17Bに示されるような計測マークを用い、スリット122a、122bやピンホールパターン123を、計測用パターンとして適宜選択し、上記各実施形態と同様に空間像計測動作を実行し（第1工程）、検出された光強度信号に含まれる基本パターンの周期に相当する基本周波数成分の大きさ又は位相と、補助パターンの周期に相当する高調波成分の大きさ又は位相とに基づいて、投影光学系PLのコマ収差等の奇関数収差又は球面収差等の偶関数収差などを算出する（第2工程）。このようにすれば、単調なL/Sパターン（基本パターンのみの計測マーク）の空間像を計測するよりも、光強度信号に含まれる高調波成分の大きさが大きくなるため、S/N比が大きくなるので、PMTの非線形性や計測マークの線幅誤差の計測結果に対する影響を低くすることができる。従って、投影光学系PLの収差を精度良く計測することができるようになる。なお、上記各実施形態で説明したように、第2工程では、奇関数収差の収差量は、前述の基本周波数成分と高調波成分との位相差に基づいて算出することができ、偶関数収差の収差量は、基本周波数成分の大きさ（振幅又はコントラスト）が最大となる位置と、高調波成分の大きさ（振幅又はコントラスト）が最大となる位置との投影光学系PLの光軸AXの方向に関する位置ずれ等に基づいて、算出することができる。

図16Aに示される2次高調波強調マークを用い、照明光ILの波長を193nmとし、投影光学系PLのN.A.を0.78とした場合のシミュレーションの結果を以下の表7に示す。

(表 7)

評価量	線幅=100% (PMTの線形性考慮せず)	線幅=90% (PMTの線形性考慮せず)
基本波と3次高調波の横ずれ量(Z ₇ 換算で20mλのコマ収差量あたり)	14.7nm (12.4nm)	16.4nm (14.3nm)
基本波と2次高調波の横ずれ量(Z ₇ 換算で20mλのコマ収差量あたり)	7.7nm (6.2nm)	9.2nm (8.0nm)

なお、このときの基本周波数成分の大きさと、2次の高調波成分の大きさと、3次の高調波成分の大きさとの比は、0.11 : 0.18 : 0.17となった。すなわち、前述の表3に示される単純な矩形波の計測マークでの計測結果に比べて、基本周波数成分の大きさは、1/3程度まで減少しているものの、2次の高調波成分の大きさは約6倍、3次の高調波成分の大きさは2倍以上と、高調波成分の大きさは著しく大きくなっている。そして、各空間周波数成分の大きさがほぼ同じ大きさとなっているため、PMTの非線形性(10%)の影響が少なくなっている。また、線幅誤差(線幅100%→90%)による感度変化(横ずれ量の変化)も著しく減少しており、その感度変化は線幅変化と比例して大きくなる程度となっている。

図16Aに示される2次高調波強調マークを用い、照明光ILの波長を248nm(krFエキシマレーザの発振波長相当)とし、投影光学系PLのN.A.を0.82とした場合のシミュレーションの結果を以下の表8に示す。

(表 8)

評価量	線幅=100% (PMTの線形性考慮せず)	線幅=90% (PMTの線形性考慮せず)
基本波と3次高調波の横ずれ量(Z7換算で20mλのコマ収差量あたり)	15.1nm (13.8nm)	16.0nm (14.9nm)
基本波と2次高調波の横ずれ量(Z7換算で20mλのコマ収差量あたり)	8.4nm (8.0nm)	8.8nm (8.8nm)

なお、このときの基本周波数成分の大きさと、2次の高調波成分の大きさと、3次の高調波成分の大きさととの比は、0.13 : 0.19 : 0.11となった。すなわち、上述の表4に示した単純な矩形波の計測マークに比べて、基本周波数成分の大きさは、1/2程度まで減少しているものの、2次の高調波成分の大きさは約6倍、3次の高調波成分の大きさは2倍以上と、高調波成分の大きさは著しく大きくなっている。そして、各空間周波数成分の大きさがほぼ同じ大きさとなっているため、PMTの非線形性(10%)の影響が少なくなっている。また、線幅誤差(線幅100%→90%)による感度変化(横ずれ量の変化)も著しく減少しており、その感度変化は線幅変化と比例して大きくなる程度となっている。

図16Bに示される3次高調波強調マークを用い、照明光ILの波長を193nm(ArFエキシマレーザの発振波長相当)とし、投影光学系PLのN.A.を0.78とした場合のシミュレーションの結果を以下の表9に示す。

(表 9)

評価量	線幅＝100% (PMTの線形性考慮せず)	線幅＝90% (PMTの線形性考慮せず)
基本波と3次高調波の横ずれ量(Z7換算で20mλのコマ収差量あたり)	14. 7nm (13. 2nm)	14. 2nm (12. 8nm)
基本波と2次高調波の横ずれ量(Z7換算で20mλのコマ収差量あたり)	14. 8nm (13. 2nm)	14. 9nm (13. 4nm)

なお、このときの基本周波数成分の大きさと、2次の高調波成分の大きさと、3次の高調波成分の大きさととの比は、0. 18 : 0. 13 : 0. 16となった。すなわち、上述の表5に示した単純な矩形波の計測マークに比べて、基本周波数成分の大きさは、2/3程度まで減少しているものの、2次の高調波成分の大きさは約2倍、3次の高調波成分の大きさは3倍以上と、高調波成分の大きさは著しく大きくなっている。そして、各空間周波数成分の大きさがほぼ同じ大きさとなっているため、PMTの非線形性(10%)の影響が少なくなっている。また、線幅誤差(線幅100%→90%)による感度変化(横ずれ量の変化)も著しく減少しており、その感度変化は線幅変化と比例して大きくなる程度となっている。

図16Bに示される3次高調波強調マークを用い、照明光ILの波長を248nm(KrFエキシマレーザの発振波長相当)とし、投影光学系PLのN.A.を0.82とした場合のシミュレーションの結果を以下の表10に示す。

(表 10)

評価量	線幅＝100% (PMTの線形性考慮せず)	線幅＝90% (PMTの線形性考慮せず)
基本波と3次高調波の横ずれ量(Z ₇ 換算で20mλのコマ収差量あたり)	14. 1nm (13. 0nm)	15. 2nm (13. 7nm)
基本波と2次高調波の横ずれ量(Z ₇ 換算で20mλのコマ収差量あたり)	14. 8nm (13. 4nm)	17. 0nm (15. 0nm)

なお、このときの基本周波数成分の大きさと、2次の高調波成分の大きさと、3次の高調波成分の大きさととの比は、0. 20 : 0. 14 : 0. 10となった。すなわち、上述の表6に示した単純な矩形波の計測マークに比べて、基本周波数成分の大きさは、2/3程度まで減少しているものの、2次の高調波成分の大きさは約2倍、3次の高調波成分の大きさは3倍以上と、高調波成分の大きさは著しく大きくなっている。そして、各空間周波数成分の大きさがほぼ同じ大きさとなっているため、PMTの非線形性（10%）の影響が少なくなっている。また、線幅誤差（線幅100%→90%）による感度変化（横ずれ量の変化）も著しく減少しており、その感度変化は線幅変化と比例して大きくなる程度となっている。

以上詳細に述べたように、本第4の実施形態によれば、計測マークに空間像の高調波成分に対応する周期の周期パターンが含まれているため、高調波成分の大きさを大きくして、S/N比を大きくすることができるので、PMTの非線形性や計測マーク（レチクルマーク板など）の製造誤差の影響を低減することができるようになり、投影光学系PLの収差を精度良く計測することができる。

なお、本第4の実施形態では、投影光学系PLの収差の計測をさらに高精度化するため、PMTの非線形性を予め計測しておき、計測された空間像の所定次数の空間周波数成分の大きさや位相を、計測された非線形性をキャンセルす

るように補正することも可能である。図 28 には、PMT の入出力特性が示されている。図 28 に示されるように、PMT の入出力特性は線形ではないので、この特性を予め計測しておき、PMT の出力電圧を補正することができる。

また、計測マークの線幅誤差を予め計測しておけば、収差に対する感度をシミュレーションによって予想可能となる。なお、上述した本第 4 の実施形態の計測マークのサイズは、すべて投影光学系 PL を介して得られる空間像のサイズであり、実際の計測マークのサイズは、投影光学系 PL の投影倍率 ($1/4$) の逆数、すなわち 4 倍程度であるので、既存の検査装置でも、それらの線幅を十分精度良く計測することができる。

なお、本第 4 の実施形態の計測マークでは、基本パターンの遮光部に補助パターンを設けたが、本発明はこれに限定されるものではなく、基本パターンの光透過部に補助パターン（この場合、補助パターンとしては、遮光部が新たに形成される）を形成するようにしてもよい。また、本第 4 の実施形態では、透過型マスクを用いたが、反射型マスクでも本発明を適用することができるのは勿論である。

また、図 16C、図 17A、図 17B に示されるレチクルマーク板では、補助パターンの一部として、2 つの光透過部を作成したが、いずれか一方の光透過部はなくてもよい。

また、上記各実施形態の収差計測方法によって計測された収差量に基づいて、投影光学系 PL を調整し、本来なら投影光学系 PL の収差を 0 にすることが望ましいが、実際には、投影光学系 PL の調整後にも収差が若干残留するようになる。そのため、露光装置 10 の運用に関しては、投影光学系 PL の調整後に、上記第 1 の実施形態の収差計測方法を用いて、投影光学系 PL に残留した収差を、初期収差量として改めて計測しておく。そして、露光装置 10 では、上記第 1 の実施形態の収差計測方法によって収差の変動を定期的に計測し、経時変化等により収差に変化が生じた場合には、主制御装置 50 が、結像特性補正コ

ントローラ 78 を介してレンズエレメント 13₁…を駆動させてそれらの収差量が初期の収差量に戻るよう投影光学系 PL の結像特性を調整すればよい。なお、投影光学系 PL の少なくとも 1 つの収差を、零以外の所定値（前述した初期の収差量）に設定してレチクルパターンの転写を行うときなどは、収差量がその所定値に戻るよう投影光学系 PL の結像特性を調整すればよい。

一般に、投影光学系 PL の収差の経時変化は、投影光学系 PL の鏡筒の温度変化による伸び縮み、レンズエレメント 13₁…の駆動素子 20 のリセット時の位置の微小誤差などによって発生する低次の収差の変化を考慮すればよい。従って、投影光学系 PL の調整後の初期収差量を空間像計測によって求め、定期的な収差計測の際に、これを参照することによって低次収差の経時変化を検出し、低次収差の収差量を初期収差量に復帰させればよい。なお、定期的な収差の計測は、レチクルマーク板 RFM 等に形成された計測マークを用いて行うことが計測の安定性の観点から望ましい。

また、上記各実施形態では、コマ収差あるいは球面収差を計測対象としたが、本発明はこれに限定されるものではなく、フリンジツェルニケ多項式における各項によって示される収差であれば、その収差量を計測することができる。

また、上記各実施形態では、投影光学系 PL の投影視野（イメージフィールド）内、特に照明光 IL が照射される露光領域（即ち、照明領域と共役な投影領域）内の 1 つの計測点のみで前述の収差計測を行うものとしたが、露光領域内の複数の計測点にそれぞれ対応する照明領域内の各位置に計測マークを配置して、その計測点毎に収差を計測するようにしても良い。このとき、1 つの計測マークのみを用いて複数の計測点での収差計測を行っても良いが、例えば複数の計測点と実質的に同じ配置で複数の計測マークが設けられるレチクルマーク板（又はレチクル）を用いる、あるいは非走査方向（X 軸方向）に所定間隔で複数の計測マークが配置されるレチクルマーク板（又はレチクル）を Y 軸方向にステップ移動することで、前述の露光領域内で 2 次元に設定される複数の

計測点での収差計測を行うようにしても良い。

また、上記各実施形態では計測マークの照明条件について説明していなかったが、例えばコヒーレンスファクタ (σ 値) が小さい照明条件 (いわゆる小 σ 照明) とすることが好ましい。このとき、特に σ 値は 0.1 程度以下に設定すると良い。

なお、上記第 3 の実施形態では、Z チルトステージ 38 を駆動して複数のフォーカス位置でそれぞれ前述の光強度信号を得るものとしたが、上記第 2 の実施形態と同様に投影光学系 PL の球面収差などを調整して複数の光強度信号を得るようにしても良い。即ち、上記第 2 及び第 3 の実施形態に限らず、Z チルトステージ 38 を駆動する代わりに、投影光学系 PL の球面収差などを調整しても良い。さらに、上記各実施形態で用いる空間像計測装置は図 3 の構成に限られるものではなく任意で良いし、前述の光強度信号を得るためにウエハステージ WST を駆動する代わりに、レチクルステージ RST を駆動しても良い。

また、上記各実施形態では、露光用照明光として ArF エキシマレーザ光 (波長 193 nm) などを用いる場合について説明したが、これに限らず、前述の KrF エキシマレーザ光 (波長 248 nm)、あるいは g 線 (波長 436 nm)、i 線 (波長 365 nm)、F₂ レーザ光 (波長 157 nm)、銅蒸気レーザ、YAG レーザ、半導体レーザなどの高調波、EUV 光、硬 X 線、電子線やイオンビームなどの荷電粒子線等を露光用照明光として用いることができる。なお、EUV 光を用いる露光装置では、前述の計測マークが反射型となり、空間像計測装置 59 は EUV 光を、例えば蛍光などによって波長変換して前述の光強度信号を得ることになる。

また、上記各実施形態では、投影光学系として縮小系を用いる場合について説明したが、これに限らず、投影光学系として等倍あるいは拡大系を用いても良いし、屈折系、反射屈折系、及び反射系のいずれであっても良いし、投影像は倒立像だけでなく、正立像などでも良い。また、上記各実施形態と同様の縮

小系を用いる場合に、その投影倍率は $1/5$ 、 $1/6$ などであっても良く、このような場合には、計測マーク、基準マークのサイズ、配置などを、その投影倍率に応じて定めることが望ましい。

なお、複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系PLを露光装置本体に組み込み光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージRSTやウエハステージWSTを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより上記各実施形態の露光装置100を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

また、上記各実施形態では、本発明がステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に適用された場合について説明したが、これに限らず、マスクとウエハとを静止した状態でマスクのパターンをウエハに転写するとともに、ウエハを順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート型の露光装置等他のタイプの露光装置にも本発明を適用することができる。

また、本発明は、半導体製造用の露光装置に限らず、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられるデバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、及び撮像素子（CCDなど）、有機EL、マイクロマシン、DNAチップなどの製造に用いられる露光装置などにも適用することができる。また、半導体素子などのマイクロデバイスだけでなく、光露光装置、EUV露光装置、X線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチクル又はマスクを製造するために、ガラス基板又はシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。ここで、DUV（遠紫外）光やVUV（真空紫外）光などを用いる露光装置では一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては石英ガラス、フッ素がドーブされた石英ガラス、螢石、フッ化マグネシウム、又は水晶などが用いられる。

また、プロキシミティ方式のX線露光装置、又は電子線露光装置などでは透過型マスク（ステンシルマスク、メンブレンマスク）が用いられ、マスク基板としてはシリコンウエハなどが用いられる。この他、例えば国際公開WO 99/49504号などに開示される、投影光学系PLとウエハとの間に液体が満たされる液浸型露光装置などに本発明を適用しても良く、この液浸型露光装置では投影光学系PLとスリット板90との間に液体を満たした状態で前述の計測を行うことが好ましい。また、投影光学系を介してレチクルパターンの転写が行われる露光位置と、ウエハアライメント系によるマーク検出が行われる計測位置（アライメント位置）とにそれぞれウエハステージを配置して、露光動作と計測動作とをほぼ並行して実行可能なツインウエハステージ方式の露光装置などに本発明を適用しても良い。このツインウエハステージ方式の露光装置は、例えば特開平10-214783号公報及び対応する米国特許第6,341,007号、あるいは国際公開WO 98/40791号及び対応する米国特許第6,262,796号などに開示されており、本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、その米国特許の開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、前述した実施形態の露光装置によりレチクルのパターンをウエハに転写するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップ等を経て製造される。

産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明の収差計測方法は、投影光学系の収差の計測に適している。また、本発明の露光方法及び装置は、投影光学系を用いて露光するのに適している。

請 求 の 範 囲

1. 投影光学系の収差を計測する収差計測方法であって、

前記投影光学系の有効視野内に周期パターンを含む少なくとも1つの計測マークを位置させた状態で、照明光により前記計測マークを照明して前記投影光学系により前記計測マークの空間像を形成し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で前記空間像に対して所定の計測用パターンを相対的に走査して該走査中に前記計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を行う工程と；

前記光強度信号に含まれる所定次数の空間周波数成分の大きさに基づいて、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が偶関数で表される偶関数収差の収差量を算出する工程と；を含む収差計測方法。

2. 請求項1に記載の収差計測方法において、

前記算出する工程で算出された偶関数収差の収差量に基づいて前記投影光学系の結像特性を調整したうえで、前記空間像計測及び前記偶関数収差の収差量算出を再び実行し、今回算出された偶関数収差の収差量と前回算出された偶関数収差の収差量との比較結果に基づいて、前記偶関数収差の極性を決定する工程をさらに含む収差計測方法。

3. 請求項1に記載の収差計測方法において、

前記所定次数の空間周波数成分の大きさが最大となる前記投影光学系の光軸方向に関する位置から所定のオフセットを有する位置で、前記空間像計測を実行し、

前記所定のオフセットを有する位置における前記偶関数収差の収差量の変化に対する前記所定次数の空間周波数成分の大きさの変化の特性を求め、その特性に基づいて前記偶関数収差の収差量の極性を決定することを特徴とする収差計測方法。

4. 請求項3に記載の収差計測方法において、

前記所定のオフセットとして、前記投影光学系の数学モデルを用いたシミュレーションによって算出された前記投影光学系の特性に基づいて決定されたオフセットを用いることを特徴とする収差計測方法。

5. 請求項4に記載の収差計測方法において、

前記所定次数の空間周波数成分の大きさがほぼ0となるように前記所定のオフセットを決定することを特徴とする収差計測方法。

6. 請求項1に記載の収差計測方法において、前記所定次数は、奇数であることを特徴とする収差計測方法。

7. 請求項1に記載の収差計測方法において、

前記偶関数収差は球面収差であることを特徴とする収差計測方法。

8. 請求項1に記載の収差計測方法において、前記所定の計測用パターンは、ピンホールパターンであることを特徴とする収差計測方法。

9. 請求項1に記載の収差計測方法において、

前記動径多項式は、フリンジツェルニケ多項式であり、

前記計測用パターンは、スリットパターンであることを特徴とする収差計測

方法。

10. 請求項1に記載の収差計測方法において、

前記計測用パターンとして、互いに長手方向が交差する複数のスリットパターンを含むことを特徴とする収差計測方法。

11. 請求項1に記載の収差計測方法において、

前記光強度信号に含まれる空間周波数成分の振幅を、その大きさの評価量とすることを特徴とする収差計測方法。

12. 請求項1に記載の収差計測方法において、

前記光強度信号に含まれる空間周波数成分のコントラストを、その大きさの評価量とすることを特徴とする収差計測方法。

13. 請求項1に記載の収差計測方法において、

前記計測用パターンは、前記相対走査方向に関してその幅が前記空間像の幅と同程度以下であることを特徴とする収差計測方法。

14. 投影光学系の収差を計測する収差計測方法であって、

前記投影光学系の有効視野内に周期パターンを含む少なくとも1つの計測マークを位置させた状態で、照明光により前記計測マークを照明して前記投影光学系により前記計測マークの空間像を形成し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で前記空間像に対して所定の計測用パターンを相対的に走査して該走査中に前記計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を、前記投影光学系の光軸方向における複数の位置について実行する工程と；

前記光強度信号に含まれる基本周波数成分の大きさが最大となる位置とその所定次数の高調波成分の大きさが最大となる位置との前記投影光学系の光軸方向に関する位置ずれに基づいて、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が偶関数で表される偶関数収差の収差量を算出する工程と；を含む収差計測方法。

15. 請求項14に記載の収差計測方法において、

前記空間像計測を、周期パターンの周期が異なる複数の前記計測マークについて実行し、

前記収差量の算出に際し、前記計測マーク毎に得られる前記光強度信号に含まれる基本周波数成分の大きさが最大となる位置とその高調波成分の大きさが最大となる位置との位置ずれと、前記各計測マークにおける前記位置ずれの変化に対応する複数の偶関数収差の感度とに基づいて、前記複数の偶関数収差の各々の収差量を算出することを特徴とする収差計測方法。

16. 請求項15に記載の収差計測方法において、

前記各計測マークにおける前記位置ずれと前記複数の偶関数収差の感度とに基づいて、最小二乗法を用いて、前記複数の偶関数収差の各々の収差量を求めることを特徴とする収差計測方法。

17. 請求項14に記載の収差計測方法において、

前記所定次数は、奇数であることを特徴とする収差計測方法。

18. 請求項14に記載の収差計測方法において、

前記偶関数収差は球面収差であることを特徴とする収差計測方法。

19. 請求項14に記載の収差計測方法において、

前記所定の計測用パターンは、ピンホールパターンであることを特徴とする収差計測方法。

20. 請求項14に記載の収差計測方法において、

前記動径多項式は、フリンジツェルニケ多項式であり、

前記計測用パターンは、スリットパターンであることを特徴とする収差計測方法。

21. 請求項14に記載の収差計測方法において、

前記計測用パターンとして、互いに長手方向が交差する複数のスリットパターンを含むことを特徴とする収差計測方法。

22. 請求項14に記載の収差計測方法において、

前記光強度信号に含まれる空間周波数成分の振幅を、その大きさの評価量とすることを特徴とする収差計測方法。

23. 請求項14に記載の収差計測方法において、

前記光強度信号に含まれる空間周波数成分のコントラストを、その大きさの評価量とすることを特徴とする収差計測方法。

24. 請求項14に記載の収差計測方法において、

前記計測用パターンは、前記相対走査方向に関してその幅が前記空間像の幅と同程度以下であることを特徴とする収差計測方法。

25. 投影光学系の収差を計測する収差計測方法であって、

周期が異なる複数の周期パターンがそれらの周期方向と垂直な方向に並列に配置された計測マークを、前記投影光学系の有効視野内に位置させた状態で、照明光により前記計測マークを照明して前記投影光学系を介して形成された前記計測マークの空間像に対し、前記垂直な方向における前記空間像の長さ以上の長さを前記垂直な方向に有する計測用パターンを相対的に走査させながら、前記計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を、前記投影光学系の光軸方向に関する少なくとも1つの位置について実行する工程と；

前記光強度信号に含まれる前記各周期パターンに対応する空間周波数成分の位相及び大きさの少なくとも一方に基づいて、前記投影光学系の収差量を算出する工程と；を含む収差計測方法。

26. 請求項25に記載の収差計測方法において、

前記複数の周期パターンでは、最小周期に対する最大周期の比が3倍以下であることを特徴とする収差計測方法。

27. 請求項25に記載の収差計測方法において、

前記収差量の算出に際し、前記光強度信号に含まれる前記各周期パターンに対応する空間周波数成分同士の位相差に基づいて、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が奇関数で表される奇関数収差の収差量を算出することを特徴とする収差計測方法。

28. 請求項27に記載の収差計測方法において、

前記計測マークに配置された少なくとも3つの周期パターンから選択される一対の周期パターンの組合せにおいてそれぞれ算出される空間周波数成分同士

の位相差と、前記各位相差の変化に対応する複数の奇関数収差の感度とに基づいて、前記複数の奇関数収差の各々の収差量を算出することを特徴とする収差計測方法。

29. 請求項28に記載の収差計測方法において、

前記各位相差と前記複数の奇関数収差の感度とに基づいて、最小二乗法を用いて、前記複数の奇関数収差の各々の収差量を算出することを特徴とする収差計測方法。

30. 請求項25に記載の収差計測方法において、

前記複数の周期パターンには、基本周期を有する第1周期パターンと、前記基本周期とは異なる所定周期を有する少なくとも一対の第2周期パターンとが含まれており、

前記一対の第2周期パターンは、前記第1周期パターンを挟んで、互いの前記周期方向の位相差がほぼ0となるように配設されていることを特徴とする収差計測方法。

31. 請求項25に記載の収差計測方法において、

前記空間像計測を、前記投影光学系の光軸方向における複数の位置についてそれぞれ実行し、

前記光強度信号に含まれる前記複数の周期パターンのうちの第1周期パターンの周期に対応する空間周波数成分の大きさが最大となる位置と前記複数の周期パターンのうちの第2周期パターンの周期に対応する空間周波数成分の大きさが最大となる位置との前記投影光学系の光軸方向に関する位置ずれに基づいて、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が偶関数で表される偶関数収差の収

差量を算出することを特徴とする収差計測方法。

32. 請求項31に記載の収差計測方法において、

前記周期パターン毎に得られる前記光強度信号に含まれる基本周波数成分の大きさが最大となる位置とその奇数次の高調波成分の大きさが最大となる位置との位置ずれと、前記各周期パターンにおける前記位置ずれの変化に対応する複数の偶関数収差の感度とに基づいて、前記複数の偶関数収差の各々の収差量を算出することを特徴とする収差計測方法。

33. 請求項32に記載の収差計測方法において、

前記各周期パターンにおける前記位置ずれと前記複数の偶関数収差の感度とに基づいて、最小二乗法を用いて、前記複数の偶関数収差の各々の収差量を算出することを特徴とする収差計測方法。

34. 請求項25に記載の収差計測方法において、

前記動径多項式は、フリンジツェルニケ多項式であり、

前記計測用パターンは、スリットパターンであることを特徴とする収差計測方法。

35. 請求項25に記載の収差計測方法において、

前記計測用パターンとして、互いに長手方向が交差する複数のスリットパターンを含むことを特徴とする収差計測方法。

36. 請求項25に記載の収差計測方法において、

前記光強度信号に含まれる空間周波数成分の振幅を、その大きさの評価量とすることを特徴とする収差計測方法。

37. 請求項25に記載の収差計測方法において、

前記光強度信号に含まれる空間周波数成分のコントラストを、その大きさの評価量とすることを特徴とする収差計測方法。

38. 請求項25に記載の収差計測方法において、

前記計測用パターンは、前記相対走査方向に関してその幅が前記空間像の幅と同程度以下であることを特徴とする収差計測方法。

39. 投影光学系の収差を計測する収差計測方法であって、

前記投影光学系の有効視野内に、線幅が異なる複数の周期パターンがそれらの周期方向に混在するように配置された少なくとも1つの計測マークを位置させた状態で、照明光により前記計測マークを照明して前記投影光学系により前記計測マークの空間像を形成し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で前記空間像に対して、所定の計測用パターンを相対的に走査し、該走査中に前記計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を行う工程と；

前記光強度信号に含まれる、前記各周期パターンに対応する空間周波数成分の位相及び大きさの少なくとも一方に基づいて、前記投影光学系の収差量を算出する工程と；を含む収差計測方法。

40. 請求項39に記載の収差計測方法において、

前記各周期パターンは、互いに周期が同一でデューティ比が異なるパターンであることを特徴とする収差計測方法。

41. 請求項40に記載の収差計測方法において、

前記各周期パターンの線幅は、前記周期の自然数分の一であることを特徴とする収差計測方法。

4 2. 請求項 4 1 に記載の収差計測方法において、

前記計測マークでは、前記複数の周期パターンとして、光透過部と遮光部との比が 1 : 1 である第 1 周期パターンと、光透過部と遮光部との比が 1 : m (m は奇数) の第 2 周期パターンとが配置されており、

前記第 1 周期パターンの遮光部であって、前記第 1 周期パターンのみから成る計測マークを用いて前記空間像計測を実行したときに得られる光強度信号に含まれる $(m+1)/2$ 次の空間周波数成分の極性が負である部分に対応する部分に、前記第 2 周期パターンの光透過部が形成されていることを特徴とする収差計測方法。

4 3. 請求項 4 1 に記載の収差計測方法において、

前記計測マークでは、前記複数の周期パターンとして、光透過部と遮光部との比が 1 : 1 である第 1 周期パターンと、光透過部と遮光部との比が 1 : m (m は奇数) の第 2 周期パターンとが配置されており、

前記第 1 周期パターンの光透過部であって、前記第 1 周期パターンのみから成る計測マークを用いて前記空間像計測を実行したときに得られる光強度信号に含まれる $(m+1)/2$ 次の空間周波数成分の極性が正である部分に対応する部分に、前記第 2 周期パターンの遮光部が形成されていることを特徴とする収差計測方法。

4 4. 請求項 3 9 に記載の収差計測方法において、

前記計測用パターンとして、互いに長手方向が交差する複数のスリットパターンを含むことを特徴とする収差計測方法。

45. 請求項44に記載の収差計測方法において、
前記計測用パターンとして、ピンホールパターンをさらに含むことを特徴とする収差計測方法。

46. 請求項45に記載の収差計測方法において、
前記周期方向が互いに交差する複数の前記計測マークを有することを特徴とする収差計測方法。

47. 請求項45に記載の収差計測方法において、
前記スリットパターンと前記ピンホールパターンとは、前記空間像に対して前記スリットパターンを相対的に走査する際に、前記ピンホールパターンが前記空間像に干渉することなく、かつ前記空間像に対して前記ピンホールパターンを相対走査する際に、前記スリットパターンが前記空間像に干渉することのない位置関係となるように配置されていることを特徴とする収差計測方法。

48. 請求項39に記載の収差計測方法において、
前記光強度信号に含まれる空間周波数成分の振幅を、その大きさの評価量とすることを特徴とする収差計測方法。

49. 請求項39に記載の収差計測方法において、
前記光強度信号に含まれる空間周波数成分のコントラストを、その大きさの評価量とすることを特徴とする収差計測方法。

50. 請求項39に記載の収差計測方法において、
前記計測用パターンは、前記相対走査方向に関してその幅が前記空間像の幅

と同程度以下であることを特徴とする収差計測方法。

5 1. 投影光学系の収差を計測する収差計測方法であって、

前記投影光学系の有効視野内に周期パターンを含む少なくとも 1 つの計測マークを位置させた状態で、照明光により前記計測マークを照明して前記投影光学系により前記計測マークの空間像を形成し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で前記空間像に対して所定の計測用パターンを相対的に走査して該走査中に前記計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を、前記投影光学系の第 1 の収差を複数の収差量に設定したときの各々について実行する工程と；

前記第 1 の収差を所定量だけ変化させた場合の、前記光強度信号に含まれる所定周波数成分の大きさが最大となる位置の変化量を評価量として少なくとも 1 つの第 2 の収差の収差量を算出する工程と；を含む収差計測方法。

5 2. 請求項 5 1 に記載の収差計測方法において、

前記第 2 の収差が複数ある場合には、

前記空間像計測を、周期パターンの周期が異なる複数の前記計測マークについて実行し、

前記収差量の算出に際し、前記計測マーク毎に得られる、前記第 1 の収差を所定量だけ変化させた場合の前記光強度信号に含まれる所定周波数成分の大きさが最大となる位置の変化量と、前記各計測マークにおける複数の第 2 の収差各々の変化に対する第 1 の収差換算の前記所定周波数成分の大きさが最大となる位置の変化の割合とに基づいて、前記複数の第 2 の収差の各々の収差量を算出することを特徴とする収差計測方法。

5 3. 請求項 5 1 の記載の収差計測方法において、

前記第 2 の収差が複数ある場合には、

前記空間像計測を、複数の光学条件の下で実行し、

前記収差量の算出に際し、前記光学条件毎に得られる、前記第 1 の収差を所定量だけ変化させた場合の前記光強度信号に含まれる所定周波数成分の大きさが最大となる位置の変化量と、前記各光学条件における複数の第 2 の収差各々の変化に対する第 1 の収差換算の前記所定周波数成分の大きさが最大となる位置の変化の割合とに基づいて、前記複数の第 2 の収差の各々の収差量を算出することを特徴とする収差計測方法。

5 4. 請求項 5 1 に記載の収差計測方法において、

前記第 1 の収差及び前記第 2 の収差はともに、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が偶関数で表される偶関数収差であって、前記第 1 の収差は前記第 2 の収差よりも低次の項であることを特徴とする収差計測方法。

5 5. 請求項 5 1 に記載の収差計測方法において、

前記光強度信号に含まれる空間周波数成分の振幅を、その大きさの評価量とすることを特徴とする収差計測方法。

5 6. 請求項 5 1 に記載の収差計測方法において、

前記光強度信号に含まれる空間周波数成分のコントラストを、その大きさの評価量とすることを特徴とする収差計測方法。

5 7. 請求項 5 1 に記載の収差計測方法において、

前記計測用パターンは、前記相対走査方向に関してその幅が前記空間像の幅と同程度以下であることを特徴とする収差計測方法。

58. マスクのパターンを、投影光学系を介して感光物体上に転写する露光方法であって、

請求項1～57のいずれか一項に記載の収差計測方法によって、前記投影光学系の収差を計測する工程と；

前記計測された収差に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する工程と；

前記調整後の前記投影光学系を介して前記パターンを前記感光物体上に転写する工程と；を含む露光方法。

59. マスクのパターンを、投影光学系を介して感光物体上に転写する露光装置であって、

周期パターンを含む少なくとも1つの計測マークが形成されたマーク形成部材と；

前記マーク形成部材を照明光により照明する照明ユニットと；

前記照明ユニットによる照明により前記投影光学系を介して形成された前記計測マークの空間像に対し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で、所定の計測用パターンを相対的に走査し、該走査中に前記所定の計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測装置と；

前記光強度信号に含まれる所定次数の空間周波数成分の大きさに基づいて、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が偶関数で表される偶関数収差の収差量を算出する処理装置と；

前記算出された収差量に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する調整装置と；を備える露光装置。

60. マスクのパターンを、投影光学系を介して感光物体上に転写する露光装置であって、

周期パターンを含む少なくとも1つの計測マークが形成されたマーク形成部材と；

前記マーク形成部材を照明光により照明する照明ユニットと；

前記照明ユニットによる照明により前記投影光学系を介して形成された前記計測マークの空間像に対し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で、所定の計測用パターンを相対的に走査し、該走査中に前記所定の計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を、前記投影光学系の光軸方向に関する複数の位置について実行する空間像計測装置と；

前記光強度信号に含まれる基本周波数成分の大きさが最大となる位置とその所定次数の高調波成分の大きさが最大となる位置との前記投影光学系の光軸方向に関する位置ずれに基づいて、前記投影光学系の射出瞳上の波面収差を示す収差関数を展開することによって得られる動径多項式の各項の動径関数が偶関数で表される偶関数収差の収差量を算出する処理装置と；

前記算出された収差量に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する調整装置と；を備える露光装置。

61. マスクのパターンを、投影光学系を介して感光物体上に転写する露光装置であって、

周期が異なる複数の周期パターンがそれらの周期方向と垂直な方向に並列に配置されている少なくとも1つの計測マークが形成されたマーク形成部材と；

前記マーク形成部材を照明光により照明する照明ユニットと；

前記照明ユニットによる照明により前記投影光学系を介して形成された前記

計測マークの空間像に対し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で、前記垂直な方向における前記空間像の長さ以上の長さを前記垂直な方向に有する計測用パターンを相対的に走査し、該走査中に前記計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測装置と；

前記光強度信号に含まれる前記各周期パターンの周期に対応する奇数次の空間周波数成分の位相差及び大きさの少なくとも一方に基づいて、前記投影光学系の収差量を算出する処理装置と；

前記算出された収差量に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する調整装置と；を備える露光装置。

62. マスクのパターンを、投影光学系を介して感光物体上に転写する露光装置であって、

線幅が異なる複数の周期パターンがそれらの周期方向に混在するように配置された少なくとも1つの計測マークが形成されたマーク形成部材と；

前記マーク形成部材を照明光により照明する照明ユニットと；

前記照明ユニットによる照明により前記投影光学系を介して形成された前記計測マークの空間像に対し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で、所定の計測用パターンを相対的に走査し、該走査中に前記所定の計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測装置と；

前記光強度信号に含まれる、前記各周期パターンに対応する空間周波数成分の位相及び大きさの少なくとも一方に基づいて、前記投影光学系の収差量を算出する処理装置と；

前記算出された収差量に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する調整装置と；を備える露光装置。

63. マスクのパターンを、投影光学系を介して感光物体上に転写する露光装置であって、

周期パターンを含む少なくとも1つの計測マークが形成されたマーク形成部材と；

前記マーク形成部材を照明光により照明する照明ユニットと；

前記照明ユニットによる照明により前記投影光学系を介して形成された前記計測マークの空間像に対し、前記投影光学系の光軸方向に関する像面近傍の位置で、所定の計測用パターンを相対的に走査し、該走査中に前記所定の計測用パターンを介して得られる前記照明光を光電検出し、前記空間像に対応する光強度信号を得る空間像計測を、前記投影光学系の第1の収差を複数の収差量に設定したときの各々について実行する空間像計測装置と；

前記第1の収差を所定量だけ変化させた場合の、前記光強度信号に含まれる所定周波数成分の大きさが最大となる位置の変化量を評価量として少なくとも1つの第2の収差の収差量を算出する処理装置と；

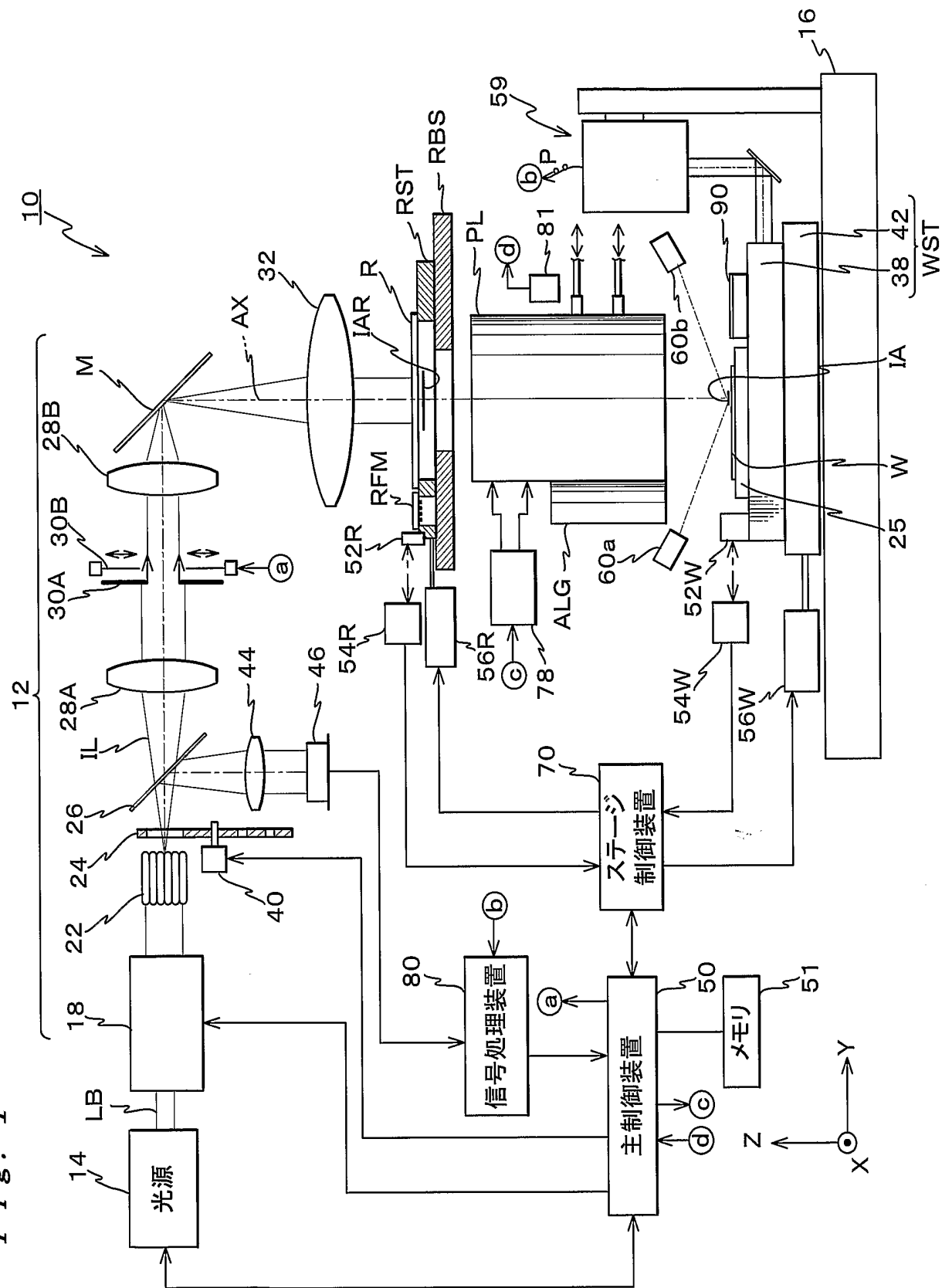
前記算出された収差量に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する調整装置と；を備える露光装置。

64. 請求項59～63のいずれか一項に記載の露光装置において、

前記パターンが形成されたマスクを保持するマスクステージを更に備え、

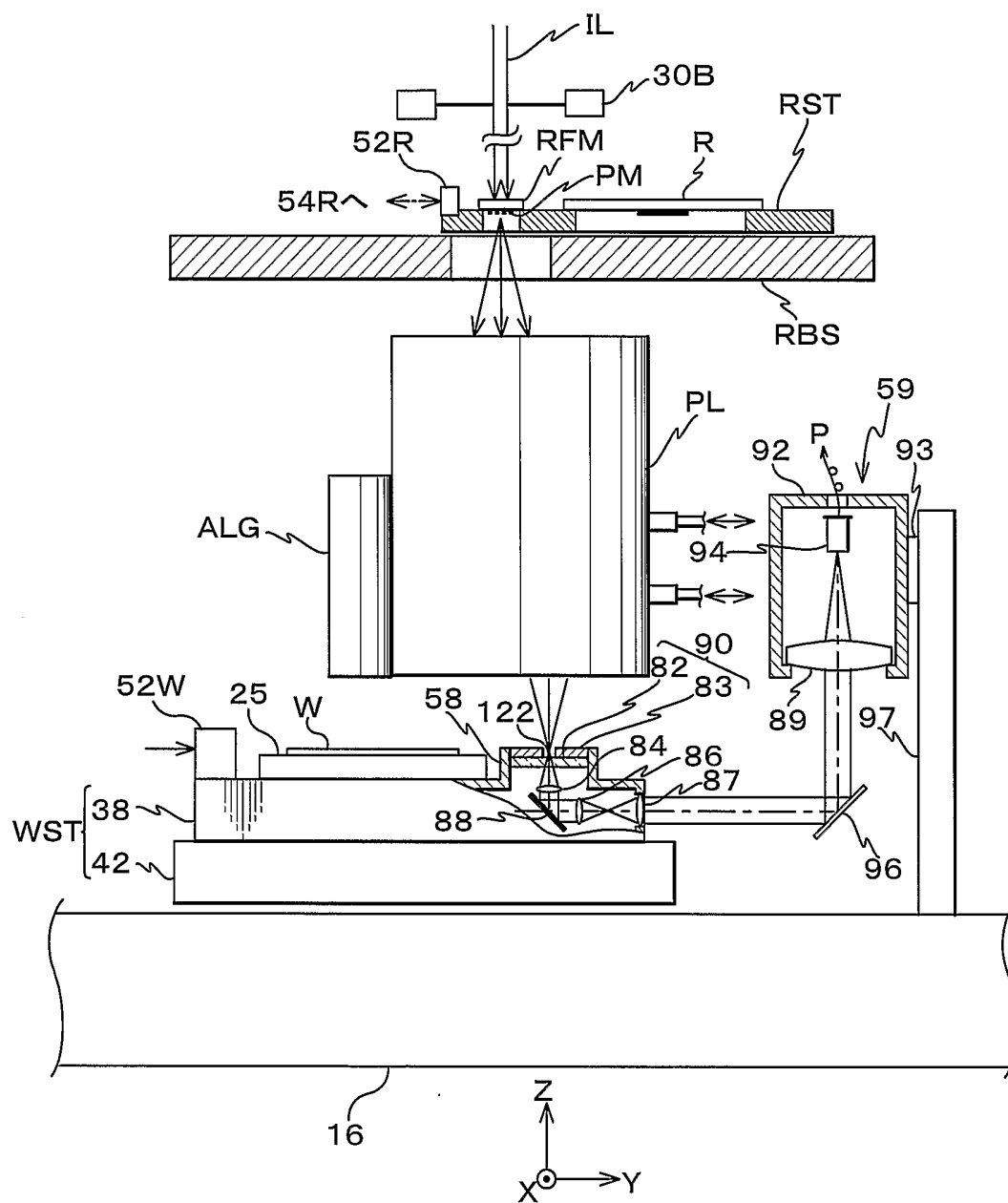
前記マーク形成部材は、前記マスクステージ上に配置された基準マーク板であることを特徴とする露光装置。

Fig. 1

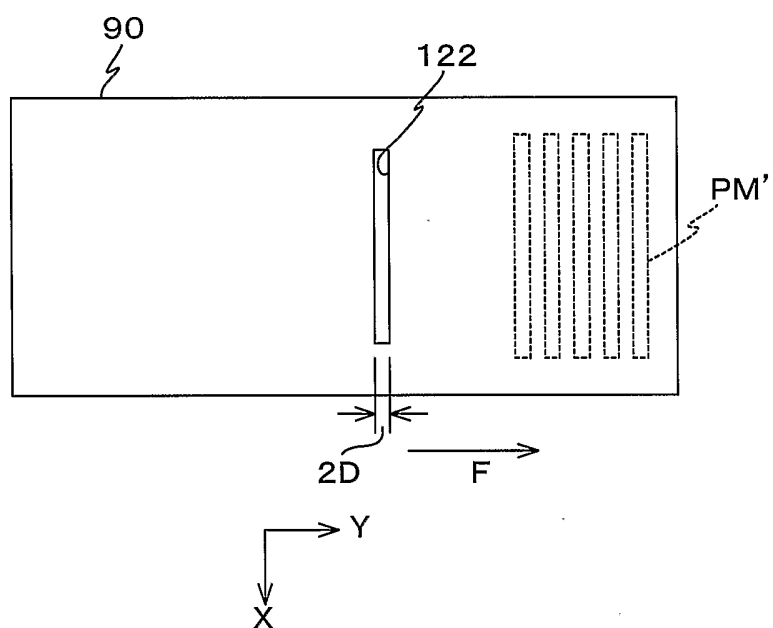
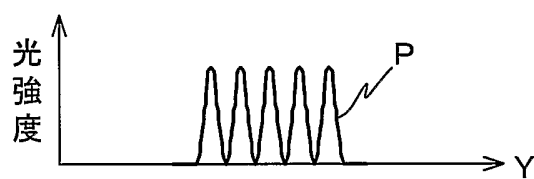


3 / 2 0

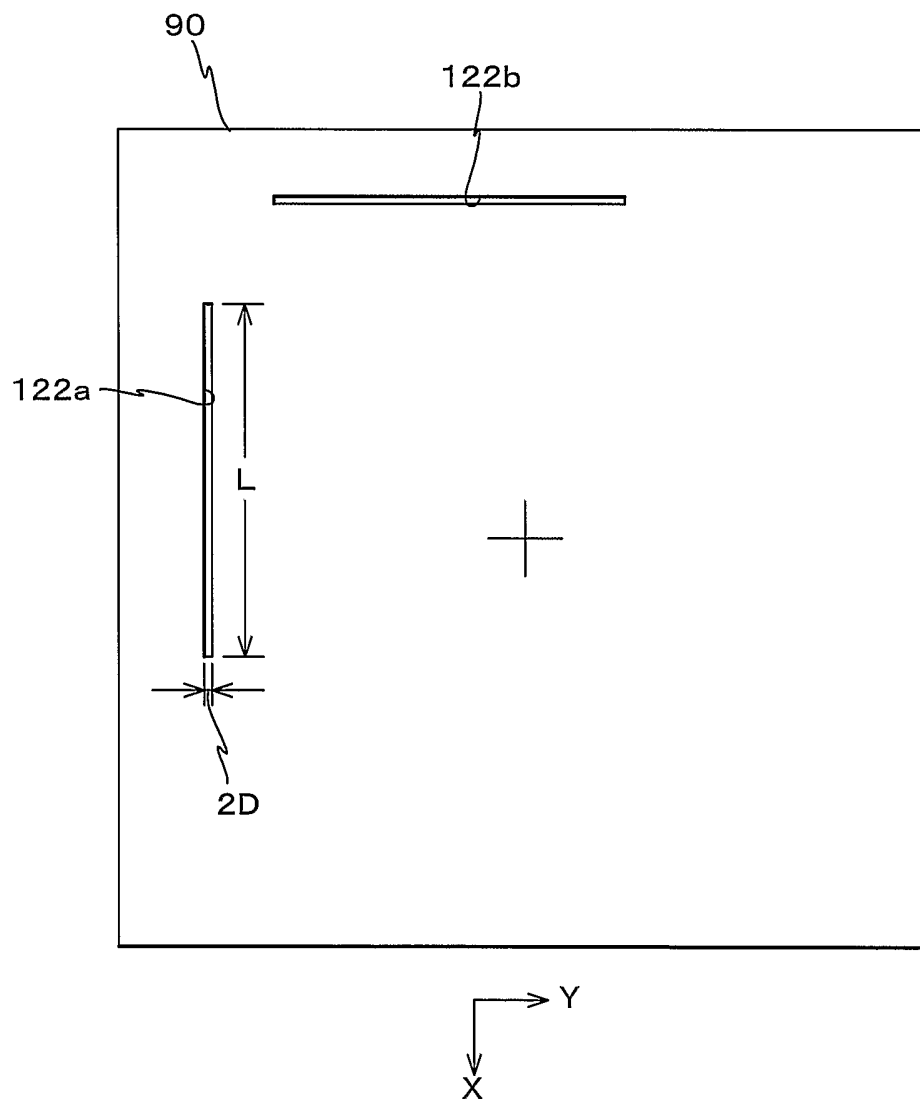
Fig. 3



4 / 20

Fig. 4A*Fig. 4B*

5 / 20

Fig. 5

6 / 20

Fig. 6

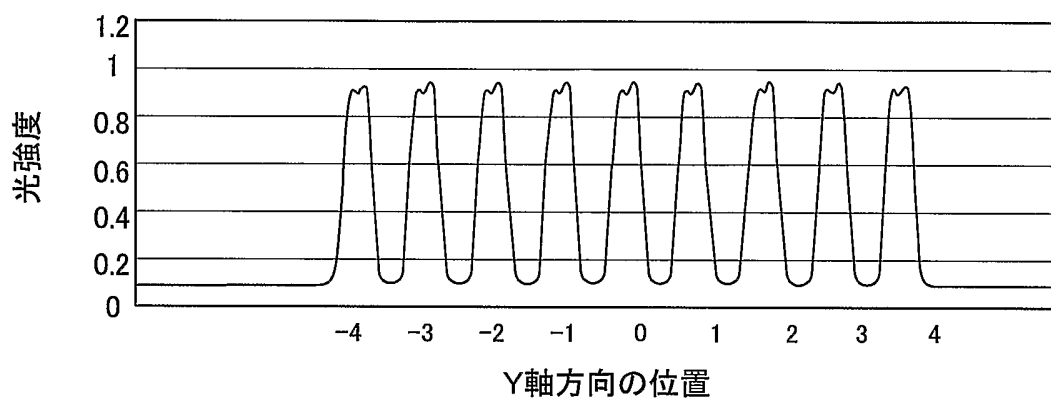
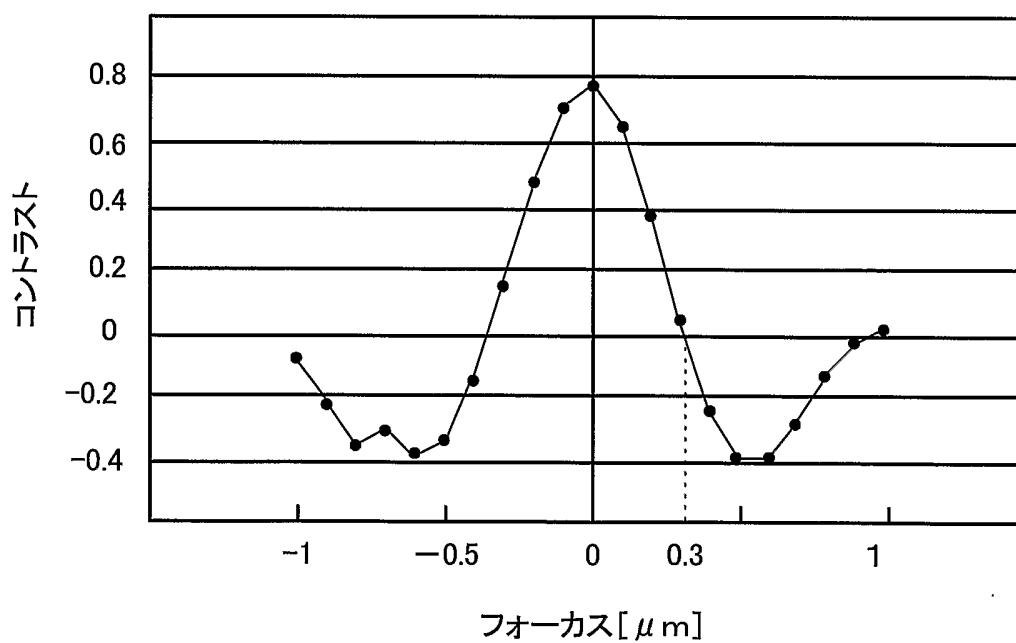


Fig. 7



7 / 20

Fig. 8A

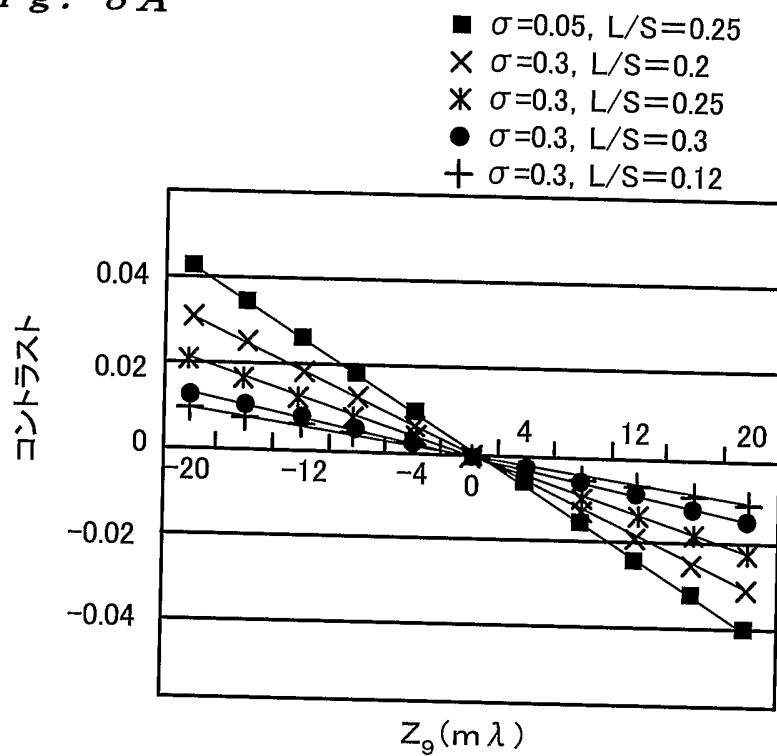
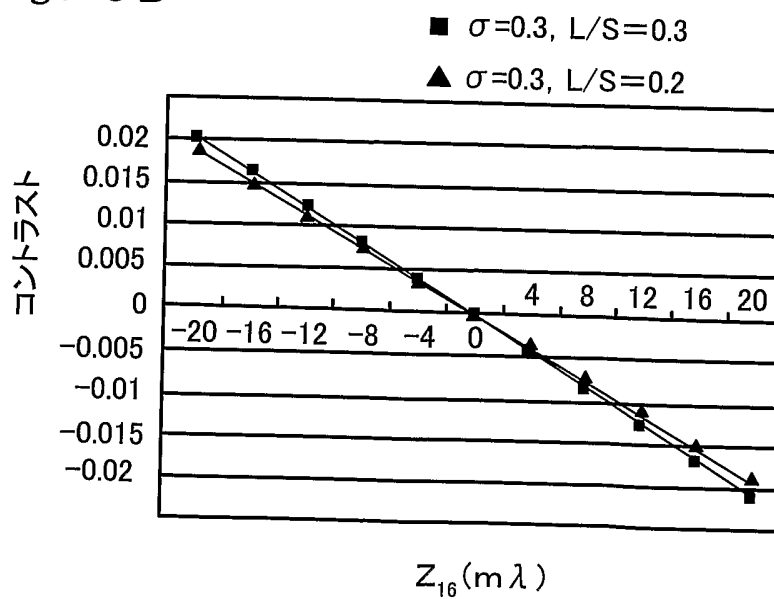
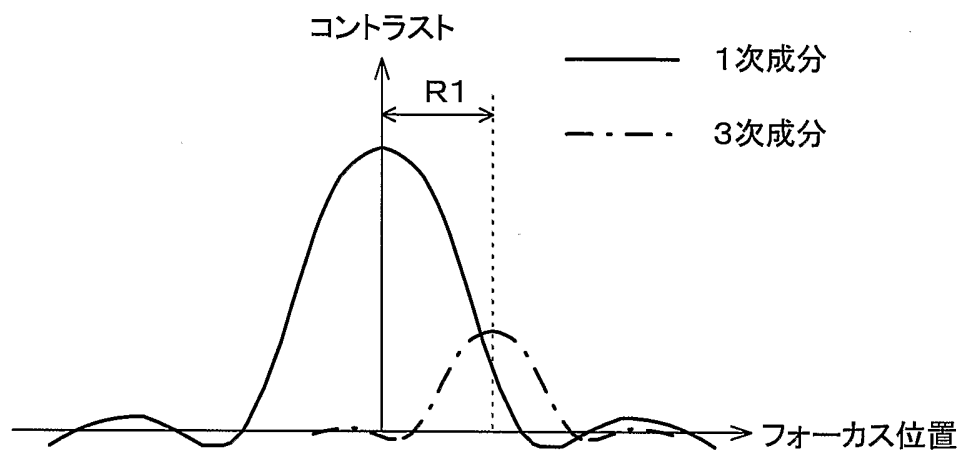
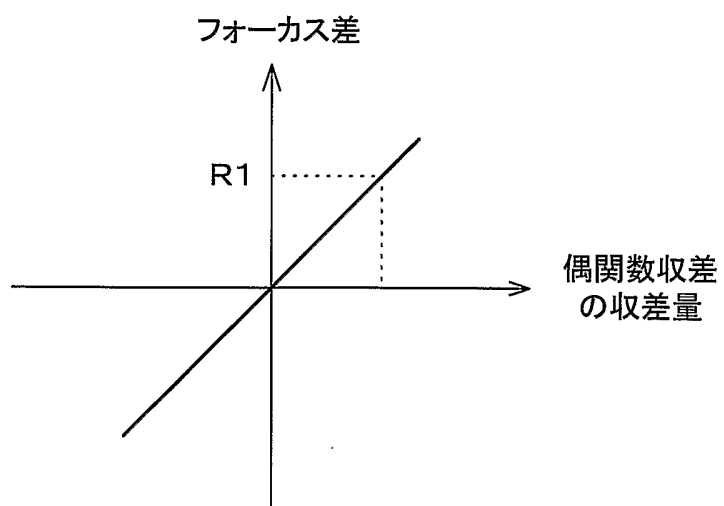


Fig. 8B



8 / 20

Fig. 9A*Fig. 9B*

9 / 20

Fig. 10

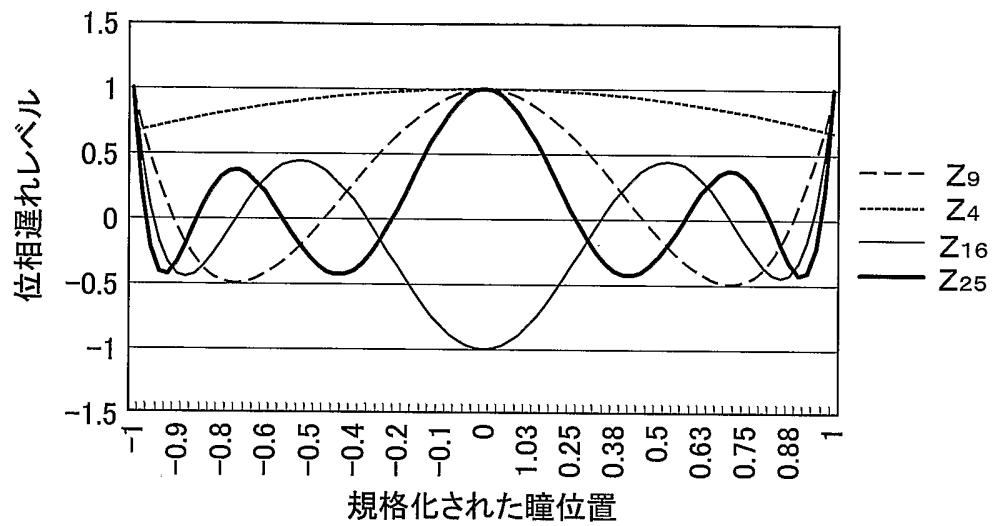
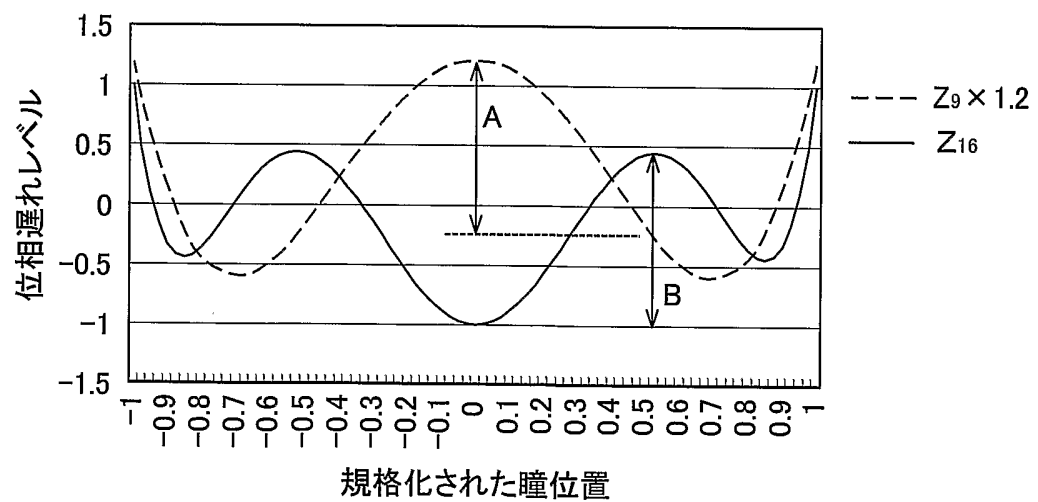


Fig. 11



10/20

Fig. 12

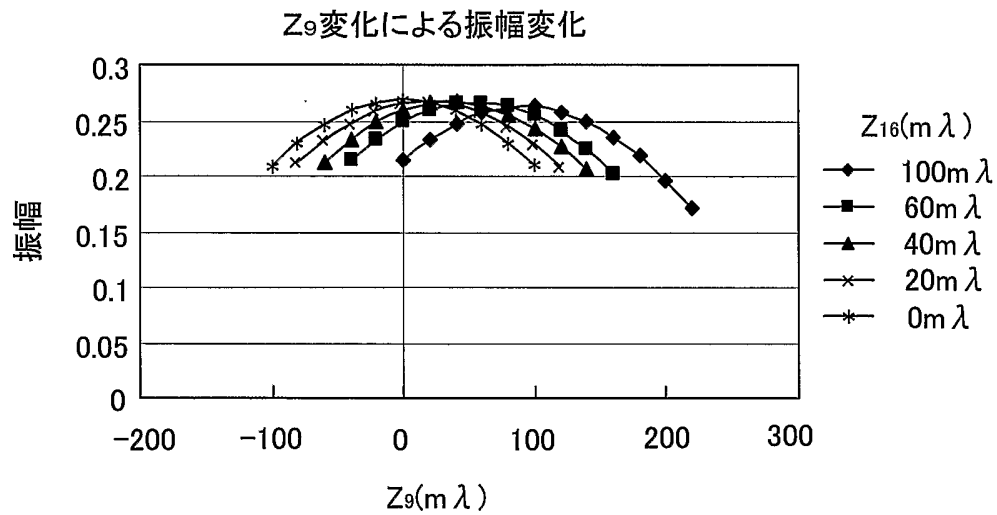


Fig. 13

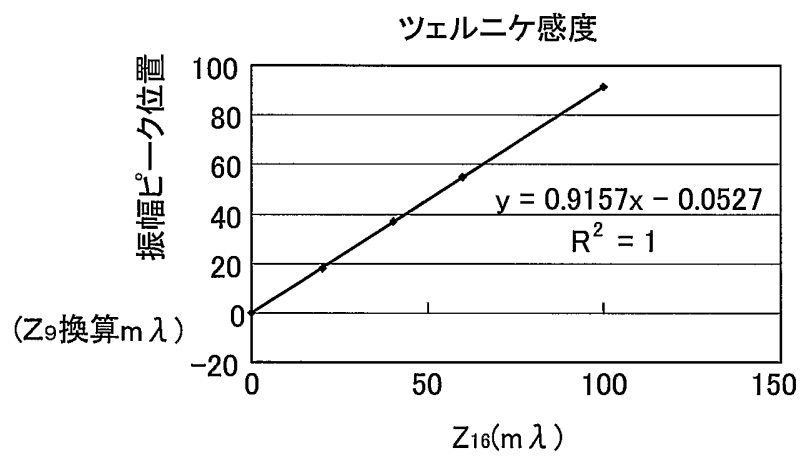


Fig. 14A

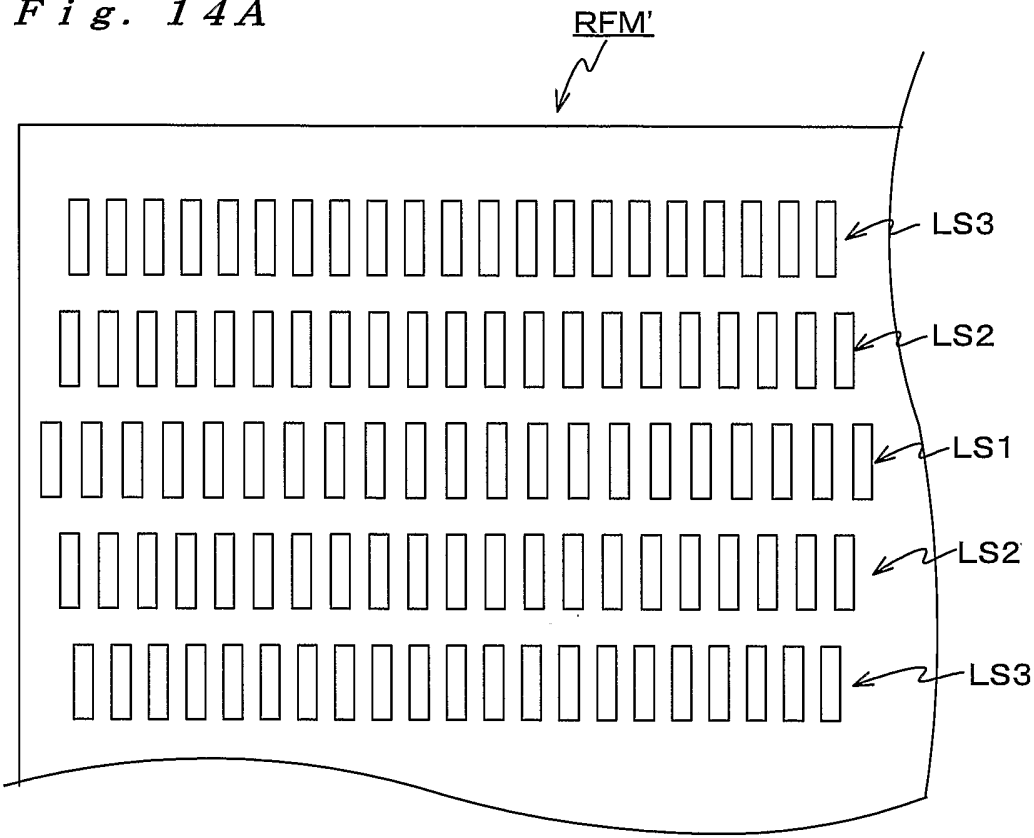
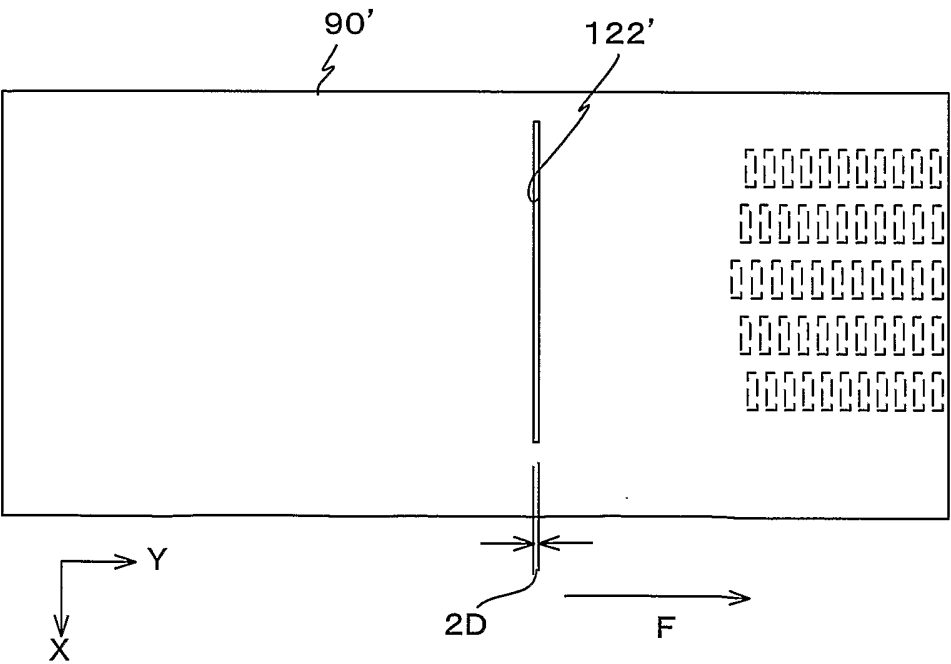
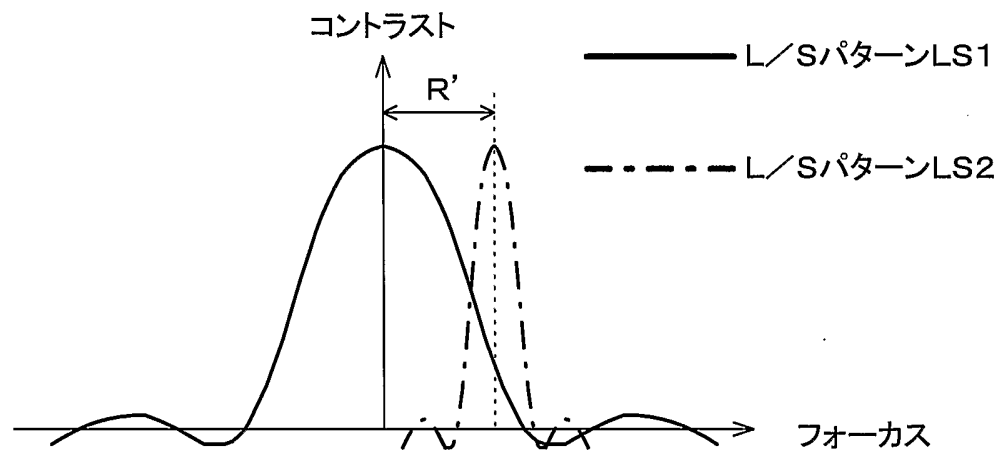
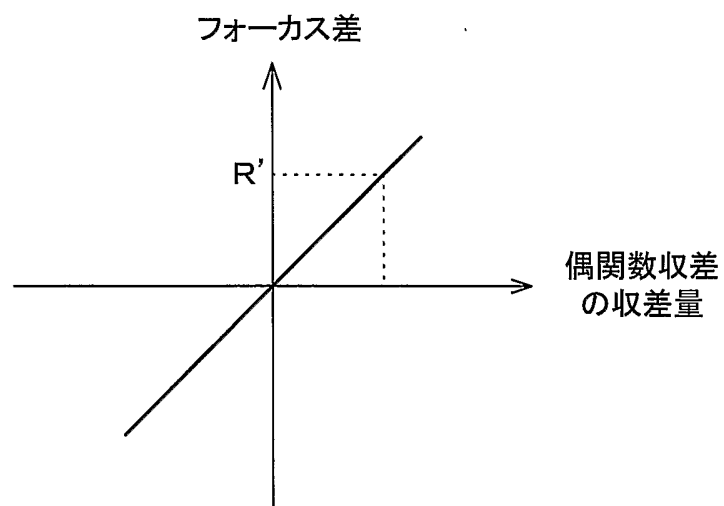


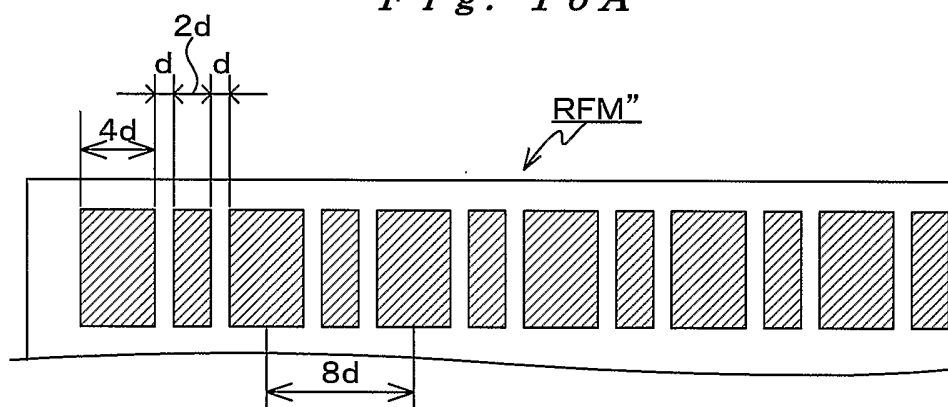
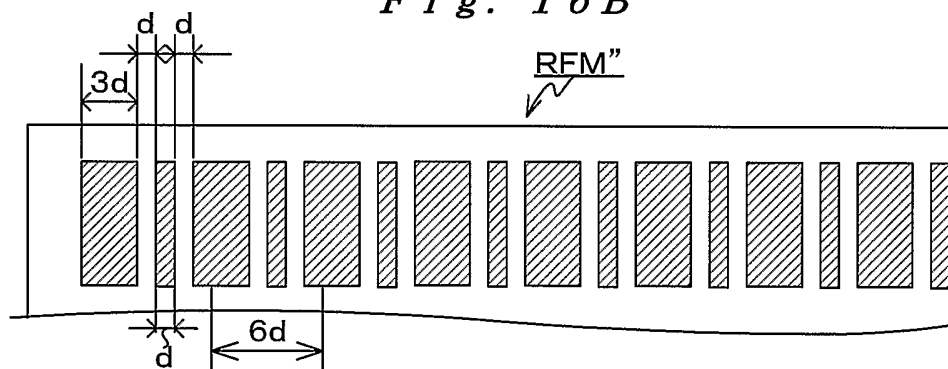
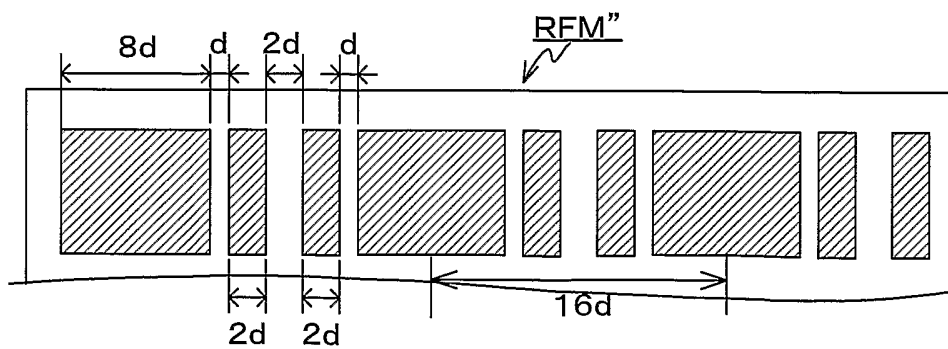
Fig. 14B



12/20

Fig. 15A*Fig. 15B*

13/20

Fig. 16A*Fig. 16B**Fig. 16C*

15/20

Fig. 18

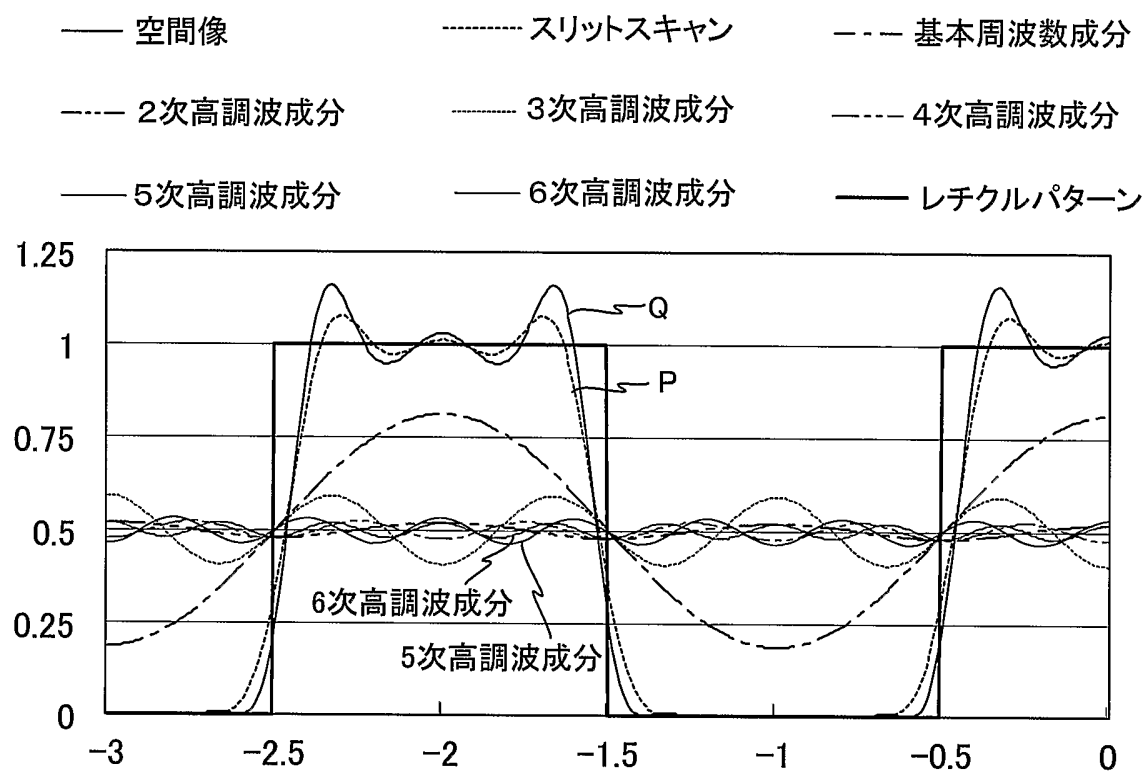
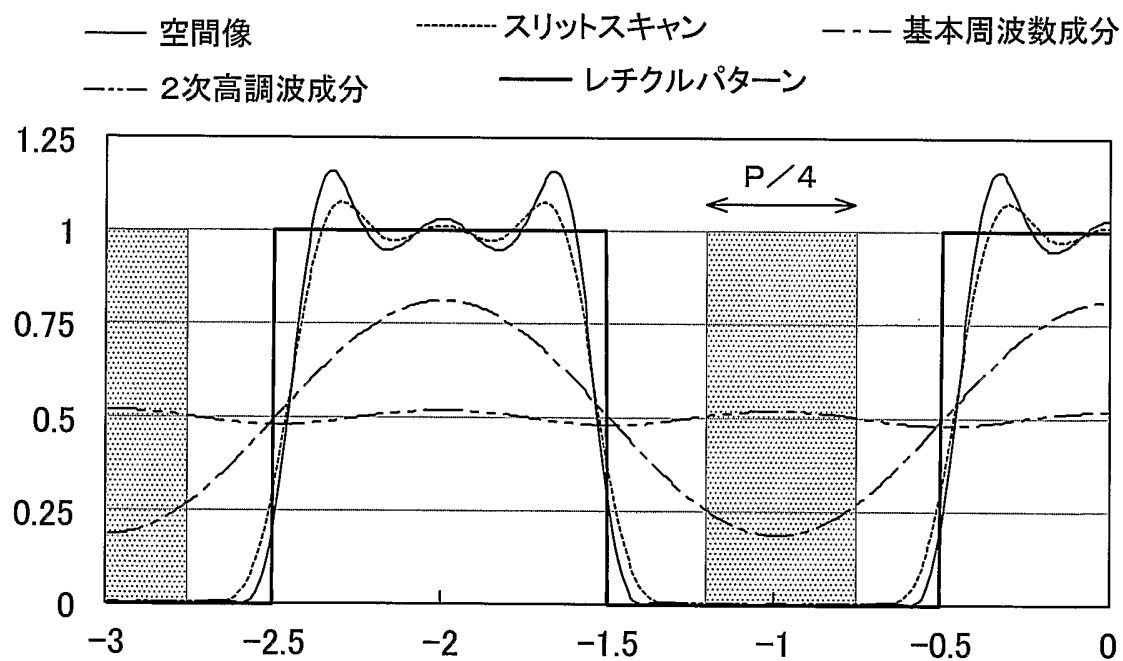


Fig. 19



16/20

Fig. 20

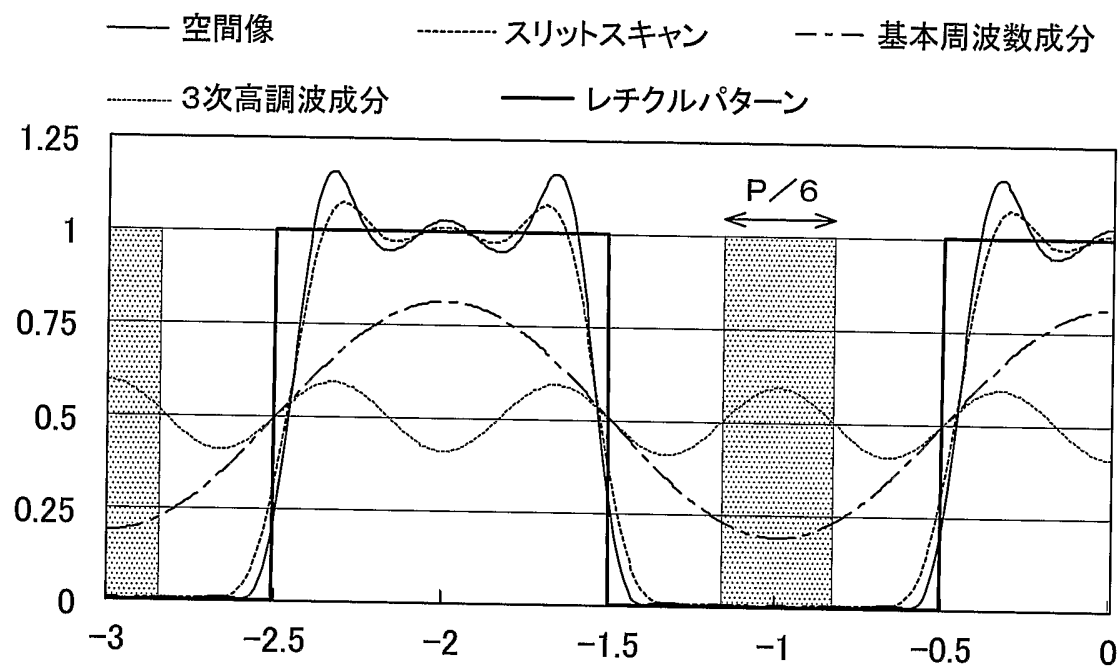
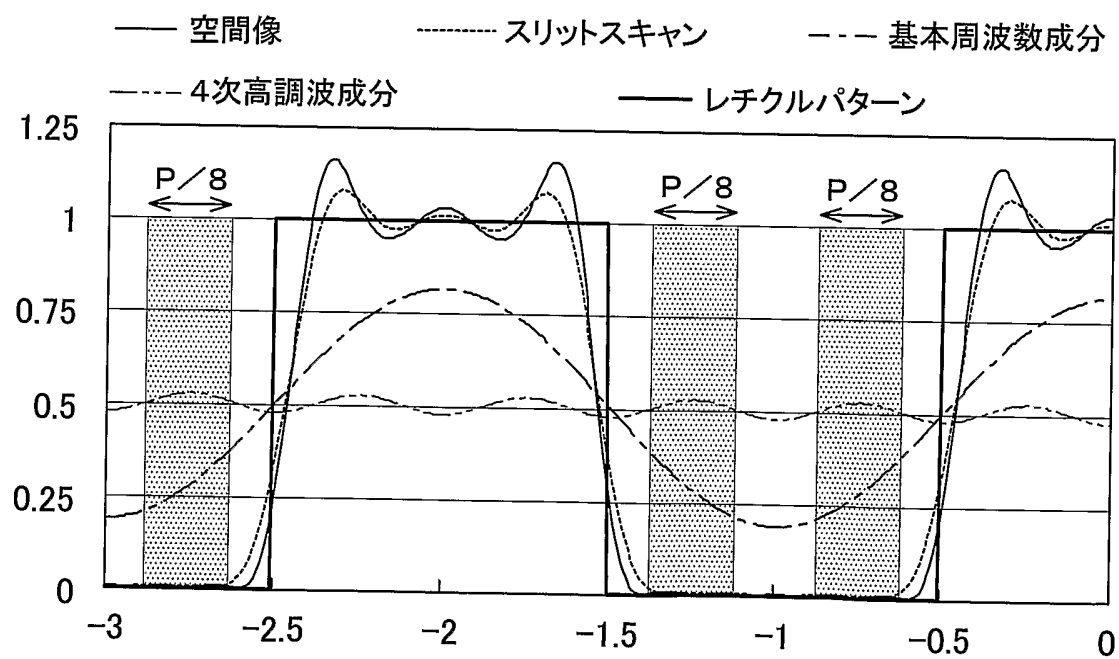


Fig. 21



17/20

Fig. 22

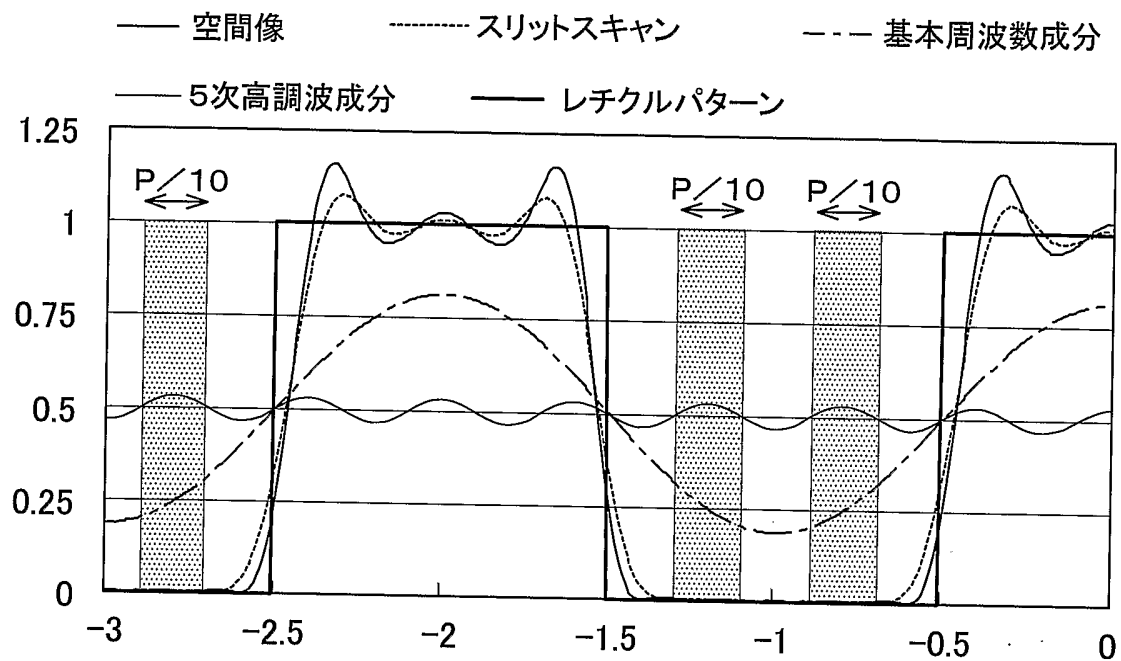
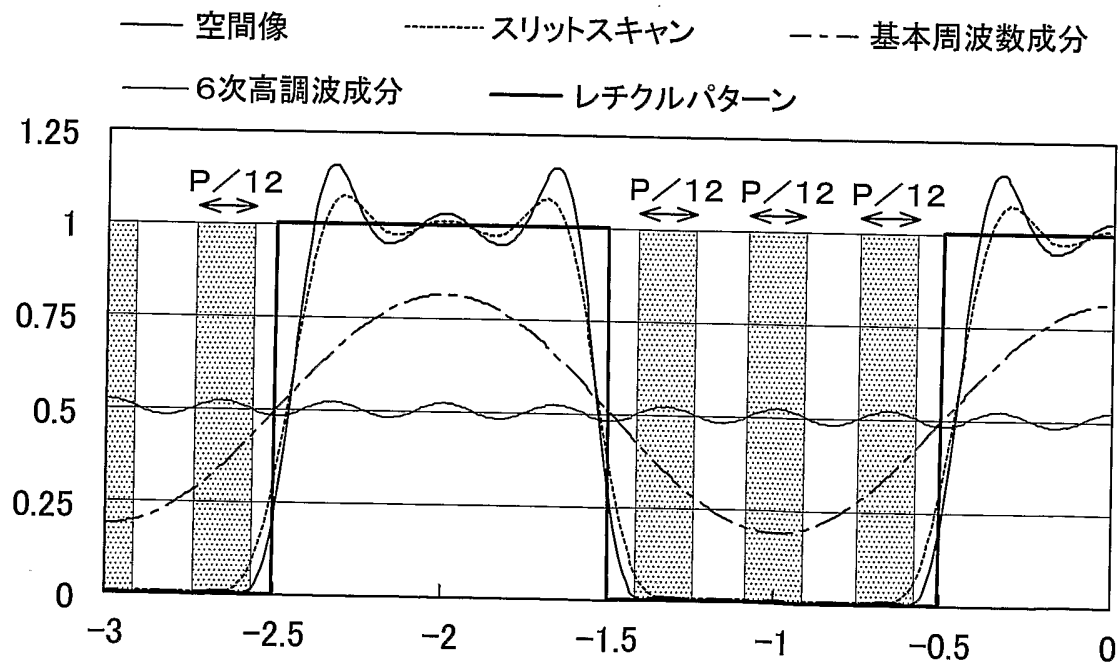


Fig. 23



18/20

Fig. 24

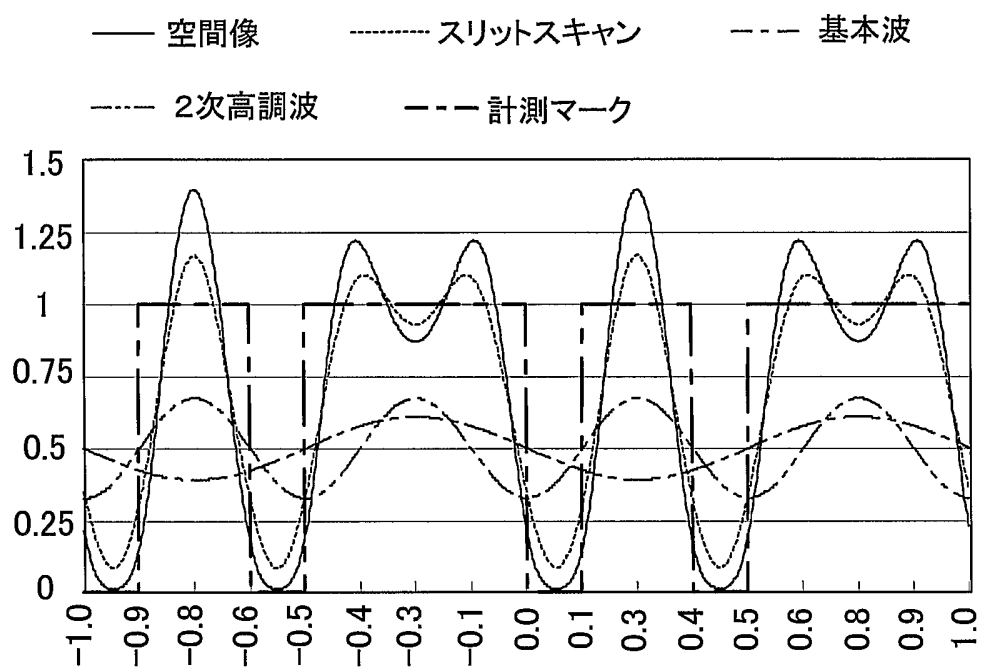
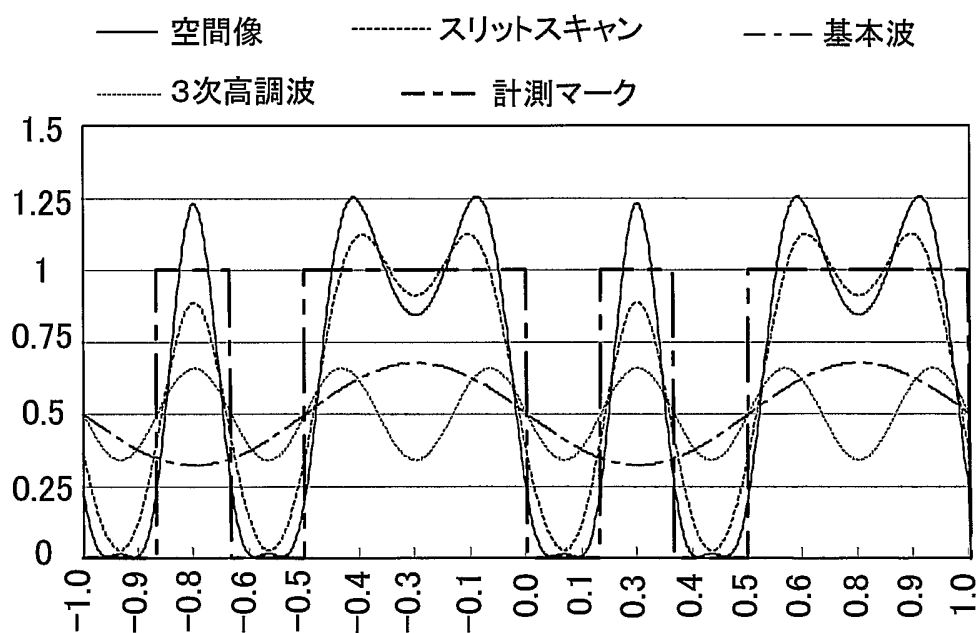


Fig. 25



19/20

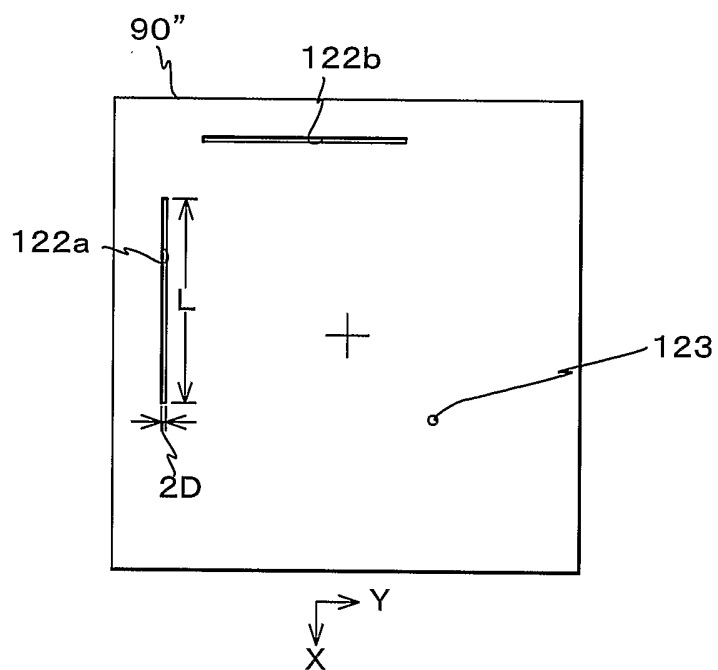
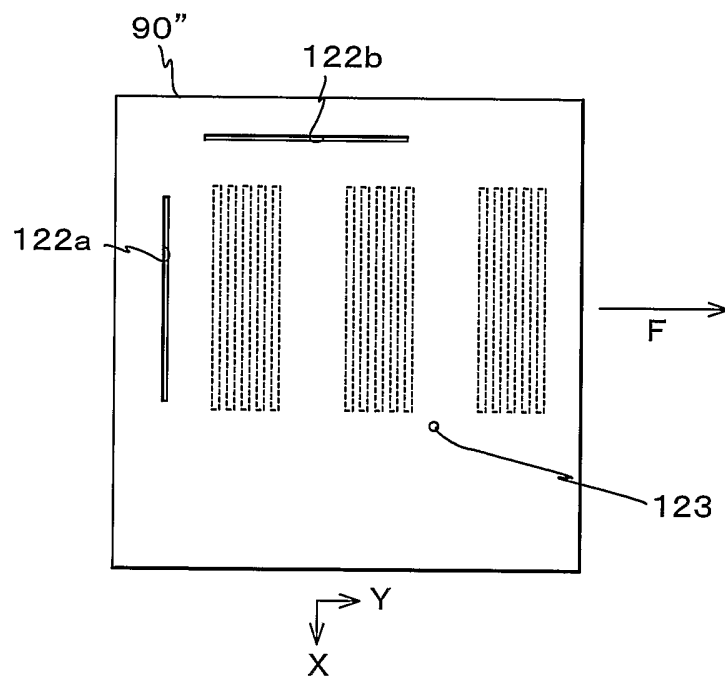
Fig. 26A*Fig. 26B*

Fig. 27

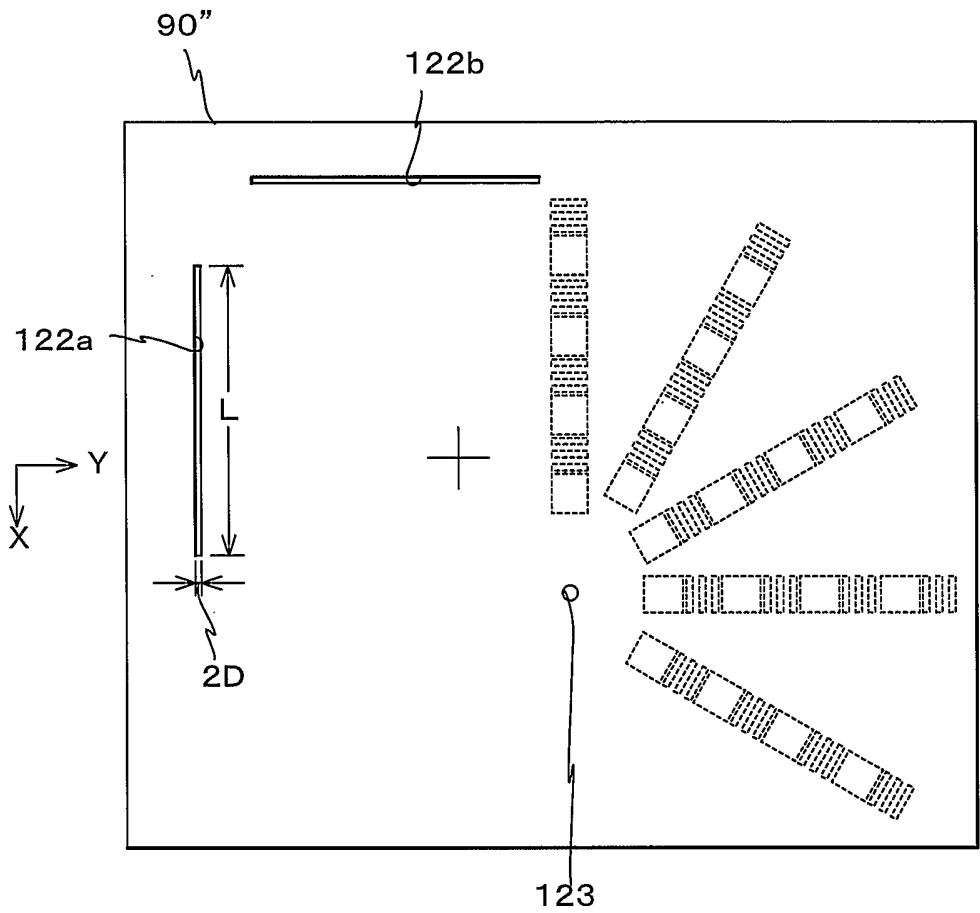
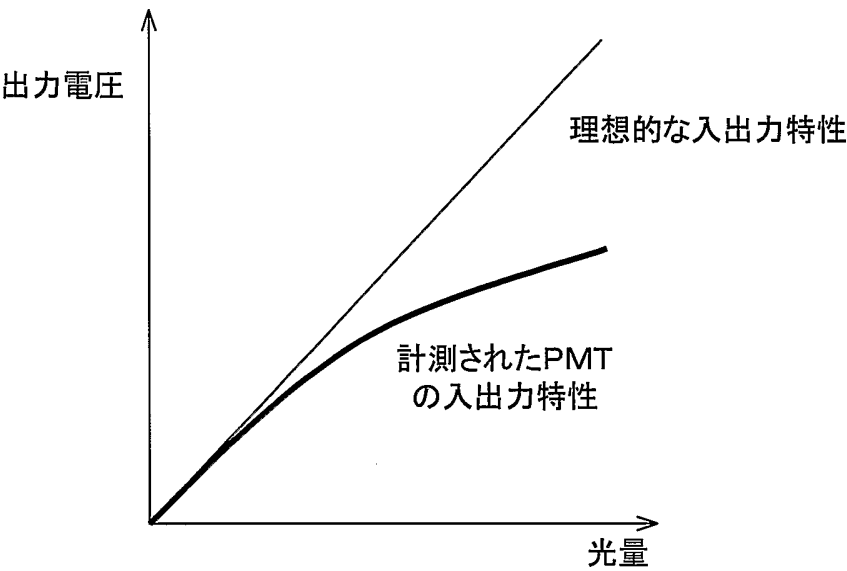


Fig. 28



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16259

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20, G01M11/02

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 H01L21/027, G01M11/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

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.
X	US 2002/0041377 A1 (Nikon Corp.), 11 April, 2002 (11.04.02), The whole document (especially, Claims 8 to 12; Par. Nos. [0218] to [0264], [0302] to [0306])	1, 6, 7, 9-13, 25-38, 59, 61, 64
Y	Par. Nos. [0218] to [0264], [0302] to [0306])	8, 54-56
A	& JP 2002-014005 A	2-5, 14-24, 39-50, 60, 62
X	JP 11-297614 A (Nikon Corp.), 29 October, 1999 (29.10.99),	25-30, 38, 51, 57, 58, 61, 63
Y	Full text; (particularly, Par. Nos. [0026] to	54-56
A	[0028], [0063]) (Family: none)	39-50, 52, 53, 62
Y	US 2002/0054283 A1 (NIKON Corp.), 09 May, 2002 (09.05.02), Par. Nos. [0065], [0066] & JP 2002-015987 A	8

☒ 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

"I" 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
05 April, 2004 (05.04.04)

Date of mailing of the international search report
20 April, 2004 (20.04.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16259

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, A	JP 2003-218024 A (Nikon Corp.), 31 July, 2003 (31.07.03), Full text (particularly, Par. Nos. [0131], [0132]) (Family: none)	1-64

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16259

Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 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 3 of first sheet)

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

The inventions in claims 1-24, 58-60, 64 relate to an aberration measuring method characterized by comprising expanding an aberration function based on a specified information contained in a detected light intensity signal to calculate the aberration quantity of even-function aberration. The inventions in claims 25-50, 61, 62 relate to an aberration measuring method characterized by comprising concurrently detecting a plurality of cyclic patterns to calculate an aberration quantity from the obtained light intensity signal. (continued to 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.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16259

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

The inventions in claims 51-57, 63 relate to an aberration measuring method characterized by comprising detecting a light intensity signal with a first aberration changed by a specified quantity to calculate a second aberration quantity from that result.

A matter common to the above three groups of claims is determining an aberration quantity from the detection value of a light intensity signal. However, the common matter is conventionally practiced in a technological field relating to the aberration detection of a projection exposure system.

Accordingly, there exists no common matter to be considered to be a special technical feature among the above three groups of claims, therefore no technical relationship within the meaning of PCT Rule 13 can be found among those different inventions.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl ⁷ H01L21/027, G03F7/20, G01M11/02		
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 H01L21/027, G01M11/02		
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 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2004年 日本国実用新案登録公報 1996-2004年 日本国登録実用新案公報 1994-2004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
X	US 2002/0041377 A1 (Nikon Corporation), 2002. 04. 11, the whole document (especially Claims 8-12, [0218]-[0264], [0302]-[0306]), & JP 2002-014005 A	1, 6, 7, 9-13, 25-38, 59, 61, 64
Y		8, 54-56
A		2-5, 14-24, 39-50, 60, 62
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ 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 05. 04. 2004	国際調査報告の発送日 20. 4. 2004	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 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) 佐藤 秀樹	2M 3154
電話番号 03-3581-1101 内線 6480		

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
X	JP 11-297614 A(株式会社ニコン), 1999. 10. 29, 全文 (特に[0026]-[0028], [0063]) (ファミリーなし)	25-30, 38, 51, 57, 58, 61, 63
Y		54-56
A		39-50, 52, 53, 62
Y	US 2002/0054283 A1(NIKON Corporation), 2002. 05. 09, [0065], [0066] & JP 2002-015987 A	8
PA	JP 2003-218024 A(株式会社ニコン), 2003. 07. 31, 全文 (特に[0131], [0132]) (ファミリーなし)	1-64

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 (PCT 17 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の国際調査機関は認めた。

請求の範囲 1-24, 58-60, 64 は、検出した光強度信号に含まれる所定の情報に基づいて収差関数を展開することによって偶関数収差の収差量を算出することを特徴とする収差計測方法に関する発明である。請求の範囲 25-50, 61, 62 は、複数の周期パターンを同時検出して、得られた光強度信号から収差量を算出することを特徴とする収差計測方法に関する発明である。請求の範囲 51-57, 63 は、第 1 の収差を所定量変化させながら光強度信号を検出して、その結果から第 2 の収差量を算出することを特徴とする収差計測方法に関する発明である。

上記 3 つの請求の範囲群に共通する事項は、光強度信号の検出値から収差量を求めることである。しかしながら、前記共通する事項は、投影露光装置の収差検出に関わる技術分野においては、通常行われていることである。

よって、上記 3 つの請求の範囲群の間には、特別な技術的特徴と考えられる共通する事項は存在しないので、それらの相違する発明の間に PCT 規則 1.3 の意味における技術的な関連を見いだすことはできない。

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。