

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-152251

(P2009-152251A)

(43) 公開日 平成21年7月9日(2009.7.9)

(51) Int.Cl.

H01L 21/027 (2006.01)

F 1

H01L 21/30 516A  
H01L 21/30 515D

テーマコード(参考)

5FO46

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号

特願2007-326584 (P2007-326584)

(22) 出願日

平成19年12月18日 (2007.12.18)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(74) 代理人 100076428

弁理士 大塚 康徳

(74) 代理人 100112508

弁理士 高柳 司郎

(74) 代理人 100115071

弁理士 大塚 康弘

(74) 代理人 100116894

弁理士 木村 秀二

(74) 代理人 100130409

弁理士 下山 治

(74) 代理人 100134175

弁理士 永川 行光

最終頁に続く

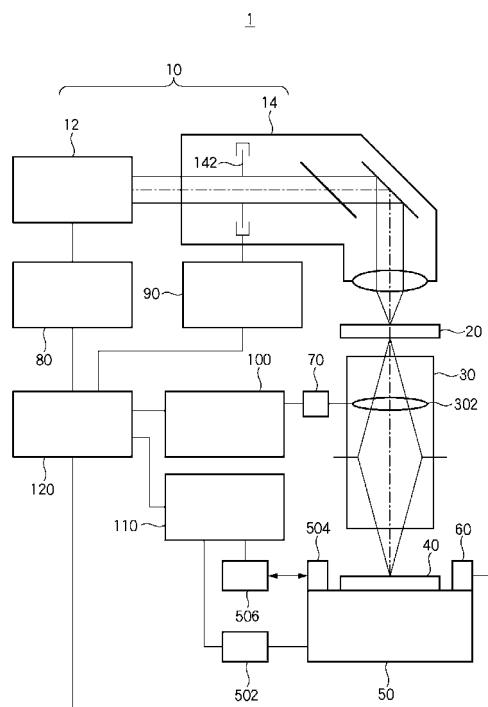
(54) 【発明の名称】露光装置、露光方法及びデバイス製造方法

## (57) 【要約】

【課題】投影光学系の瞳面内の部分的な領域において、投影光学系を通過する光の結像状態(例えば、収差など)を高精度に調整して優れた結像特性を実現する露光装置を提供する。

【解決手段】レチクルのパターンを基板に投影する投影光学系を備える露光装置であって、前記レチクルのパターン及び前記投影光学系の瞳面における有効光源の形状に基づいて、前記投影光学系の瞳面内の部分的な領域を収差調整の対象領域として特定する特定部と、前記特定部によって特定された部分的な領域における前記投影光学系の収差を調整する調整部と、を備えることを特徴とする露光装置を提供する。

【選択図】図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

レチクルのパターンを基板に投影する投影光学系を備える露光装置であって、  
 前記レチクルのパターン及び前記投影光学系の瞳面における有効光源の形状に基づいて  
 、前記投影光学系の瞳面内の部分的な領域を収差調整の対象領域として特定する特定部と  
 、  
 前記特定部によって特定された部分的な領域における前記投影光学系の収差を調整する  
 調整部と、  
 を備えることを特徴とする露光装置。

**【請求項 2】**

前記特定部によって特定された部分的な領域は、前記レチクルのパターンからの回折光  
 が入射する領域であることを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

**【請求項 3】**

前記特定部によって特定された前記投影光学系の瞳面内の領域は、点領域、線領域及び  
 面領域、並びに、それらの組み合わせの 1 つであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記  
 載の露光装置。

**【請求項 4】**

前記特定部は、前記有効光源の形状が前記投影光学系の瞳面内の第 1 の軸上の互いに分  
 離した 2 つの領域に光強度分布を有する 2 重極形状である場合に、前記部分的な領域と  
 して、前記第 1 の軸の方向に延び、且つ、前記 2 つの領域を含む帯状領域を特定することを  
 特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置。

**【請求項 5】**

前記特定部は、前記有効光源の形状が前記投影光学系の瞳面の第 1 の軸上の互いに分  
 離した 2 つの領域及び前記第 1 の軸に直交する第 2 の軸上の互いに分離した 2 つの領域に光  
 強度分布を有する 4 重極形状である場合に、前記部分的な領域として、前記第 1 の軸の方  
 向に延び、且つ、前記第 1 の軸上の互いに分離した 2 つの領域を含む帯状領域及び前記第  
 2 の軸の方向に延び、且つ、前記第 2 の軸上の互いに分離した 2 つの領域を含む帯状領域  
 を特定することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置。

**【請求項 6】**

前記調整部は、前記投影光学系を構成する光学素子を駆動して前記投影光学系の収差を  
 調整することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置。

**【請求項 7】**

前記調整部による前記光学素子の駆動は、前記光学素子を前記投影光学系の光軸方向に  
 駆動すること、前記光学素子を前記投影光学系の光軸に垂直な平面に対して傾斜させること、  
 又は、前記光学素子を変形させることを含むことを特徴とする請求項 6 に記載の露光  
 装置。

**【請求項 8】**

前記調整部は、前記投影光学系の収差のうち、前記投影光学系の光軸に関して回転対称  
 な収差を調整することを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

**【請求項 9】**

前記調整部は、前記投影光学系の収差を Zernike 多項式で表した場合に、Zernike  
 係数の 4 項及び 9 項に相当する収差を調整することを特徴とする請求項 8 に記載  
 の露光装置。

**【請求項 10】**

前記特定部は、前記レチクルのパターン及び前記投影光学系の瞳面における有効光源の  
 形状と前記部分的な領域との対応を示すテーブルを有し、

前記特定部は、前記テーブルを参照することで前記部分的な領域を特定することを特徴  
 とする請求項 1 に記載の露光装置。

**【請求項 11】**

レチクルのパターンを基板に投影する投影光学系を備える露光装置を用いた露光方法で

10

20

30

40

50

あって、

前記レチクルのパターン及び前記投影光学系の瞳面における有効光源の形状に基づいて、前記投影光学系の瞳面内の部分的な領域を収差調整の対象領域として特定する特定ステップと、

前記特定ステップで特定された部分的な領域における前記投影光学系の収差を調整する調整ステップと、

を有することを特徴とする露光方法。

#### 【請求項 1 2】

請求項 1 乃至 1 0 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置を用いて基板を露光するステップと、

10

露光された前記基板を現像するステップと、

を有することを特徴とするデバイス製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0 0 0 1】

本発明は、露光装置、露光方法及びデバイス製造方法に関する。

##### 【背景技術】

##### 【0 0 0 2】

フォトリソグラフィー技術を用いて L S I や超 L S I などの微細な半導体デバイスを製造する際に、従来から投影露光装置が使用されている。投影露光装置は、レチクル（マスク）に形成されたパターンを、投影光学系を介してウエハ等の基板に投影してパターンを転写する。

20

##### 【0 0 0 3】

近年では、半導体デバイスの微細化への要求が高まるにつれて、露光装置の投影光学系には、高い解像力が必要になってきている。従って、投影光学系に要求される解像力に対して無視できない収差が発生している場合、かかる収差（即ち、投影光学系を通過する光の結像状態）を補正しなければならない（特許文献 1 参照）。

##### 【0 0 0 4】

そこで、投影光学系内における特定の光学素子（例えば、レンズやミラーなど）の位置、姿勢及び形状等を制御して、投影光学系の瞳面での波面（収差）を調整する露光装置が従来から提案されている（特許文献 2 参照）。特許文献 1 には、投影光学系の少なくとも 1 つのレンズ系を光軸方向に駆動する駆動部と、レチクルを照明する光の発振波長を変化させる波長可変部とを備え、投影光学系の倍率及び歪曲収差を調整することができる露光装置が開示されている。

30

##### 【特許文献 1】特開 2 0 0 6 - 1 7 3 3 0 5 号公報

##### 【特許文献 2】特開平 4 - 3 0 4 1 1 号公報

#### 【発明の開示】

##### 【発明が解決しようとする課題】

##### 【0 0 0 5】

従来技術では、レチクルのパターンや投影光学系の瞳面に形成される有効光源の形状を考慮することなく、投影光学系の瞳面内の全領域を収差調整の対象領域として収差を調整していた。しかしながら、本発明者は、2 重極形状や 4 重極形状などの有効光源を用いた変形照明を行う場合には、投影光学系の瞳面内の全領域ではなく、結像に高く寄与する部分的な領域を収差調整の対象領域として収差を調整した方がよいことを見出した。特に、投影光学系の瞳面内の全領域を収差調整の対象領域として収差を調整した場合には、結像に高く寄与する部分的な領域において、2 対称、3 対称、4 対称などの光軸について回転非対称な収差を要求される精度にまで調整することができないことがある。

40

##### 【0 0 0 6】

そこで、本発明は、このような従来技術の課題に鑑みて、投影光学系の瞳面内の部分的な領域において、投影光学系を通過する光の結像状態（例えば、収差など）を高精度に調

50

整して優れた結像特性を実現する露光装置を提供することを例示的・目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての露光装置は、レチクルのパターンを基板に投影する投影光学系を備える露光装置であって、前記レチクルのパターン及び前記投影光学系の瞳面における有効光源の形状に基づいて、前記投影光学系の瞳面内の部分的な領域を収差調整の対象領域として特定する特定部と、前記特定部によって特定された部分的な領域における前記投影光学系の収差を調整する調整部と、を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、例えば、投影光学系の瞳面内の部分的な領域において、投影光学系を通過する光の結像状態（例えば、収差など）を高精度に調整して優れた結像特性を実現する露光装置を提供することができる。

【0009】

本発明の更なる目的又はその他の側面は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施形態によって明らかにされるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【0011】

図1は、本発明の一側面としての露光装置1の構成を示す概略プロック図である。露光装置1は、本実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式でレチクル20のパターンをウエハ40に投影して、ウエハ40を露光する投影露光装置である。但し、露光装置1は、ステップ・アンド・リピート方式やその他の露光方式も適用することができる。

【0012】

露光装置1は、照明装置10と、レチクル20を載置するレチクルステージと、投影光学系30と、ウエハ40を載置するウエハステージ50と、測定部60と、レンズ駆動部70とを備える。更に、露光装置1は、光源制御部80と、照明系制御部90と、投影系制御部100と、ステージ制御部110と、主制御部120とを備える。

【0013】

照明装置10は、転写用のパターンが形成されたレチクル20を照明し、光源12と、照明光学系14とを有する。

【0014】

光源12は、本実施形態では、波長約193nmの光（紫外光）を発光するArFエキシマレーザーを使用する。但し、光源12は、ArFエキシマレーザーに限定するものではなく、KrFエキシマレーザー、F<sub>2</sub>レーザー、超高压水銀ランプなどを使用してもよい。

【0015】

照明光学系14は、光源12からの光を用いてレチクル20を照明する光学系であって、レンズ、ミラー、オプティカルインテグレータ、偏光調整部、光量調整部等を含む。照明光学系14は、後述するように、4重極照明や2重極照明などの様々な変形照明を実現することが可能であって、本実施形態では、投影光学系30の瞳面に形成される有効光源と略共役な位置に開口絞り142を有する。開口絞り142の開口形状は、投影光学系30の瞳面における光強度分布（即ち、有効光源の形状）に相当する。但し、照明光学系14においては、開口絞り142の代わりに、回折光学素子（CGHなど）やプリズムなどを用いて有効光源を形成してもよい。

【0016】

レチクル20は、転写用のパターンを有し、図示しないレチクルステージに支持及び駆

10

20

30

40

50

動される。レチクル 20 のパターンからの回折光は、投影光学系 30 を介して、ウエハ 40 に投影される。レチクル 20 とウエハ 40 とは、光学的に共役の関係に配置される。露光装置 1 は、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置であるため、レチクル 20 とウエハ 40 を走査することによって、レチクル 20 のパターンをウエハ 40 に転写する。

#### 【0017】

投影光学系 30 は、レチクル 20 のパターンをウエハ 40 に投影する光学系である。投影光学系 30 は、複数の光学素子（レンズやミラーなど）を含むが、図 1 では、1 つの光学素子 302 のみを図示している。

#### 【0018】

ウエハ 40 は、レチクル 20 のパターンが投影（転写）される基板である。但し、ウエハ 40 の代わりにガラスプレートやその他の基板を用いることもできる。ウエハ 40 には、フォトレジスト（感光剤）が塗布されている。

#### 【0019】

ウエハステージ 50 は、ウエハ 40 を支持し、リニアモータなどのステージ駆動部 502 に接続されている。ウエハステージ 50 は、ステージ駆動部 502 によって、3 次元方向（即ち、投影光学系 30 の光軸方向（Z 方向）及び投影光学系 30 の光軸に直交する面内（XY 面））に駆動される。また、ウエハステージ 50 には、レーザ干渉計 506 で検出可能なミラー 504 が配置（固定）されている。

#### 【0020】

測定部 60 は、例えば、点回折干渉計（PDI）、線回折干渉計（LDI）やシアリング干渉計などを用いて、投影光学系 30 の収差（投影光学系 30 の光軸に関して回転対称及び回転非対称な収差）を測定する。測定部 60 は、測定結果（即ち、投影光学系 30 の収差）を主制御部 120 に送信する。但し、投影光学系 30 の収差は、所定のパターンをウエハに転写し、かかるウエハに転写された所定のパターンを SEM 等で観測することで取得してもよいし、投影光学系 30 の設計値や露光条件などからシミュレーションで求めてもよい。

#### 【0021】

レンズ駆動部 70 は、投影系制御部 100 に制御され、投影光学系 30 を構成する光学素子（本実施形態では、光学素子 302）を駆動する。具体的には、レンズ駆動部 70 は、空気圧や圧電素子などを用いて、光学素子 302 を投影光学系 30 の光軸方向に駆動したり、光学素子 302 を投影光学系 30 の光軸に垂直な平面に対して傾斜させたり、光学素子 302 を変形させたりする。

#### 【0022】

光源制御部 80 は、光源 12 を制御して、光源 12 から発光される光の波長を安定化させる。

#### 【0023】

照明系制御部 90 は、照明光学系 14 を制御する。照明系制御部 90 は、本実施形態では、開口絞り 142 の開口形状や開口形状の異なる開口絞り 142 の切り替えを制御して、所望の有効光源を形成する。また、照明系制御部 90 は、図示しない偏光調整部を制御して所望の偏光状態を形成したり、図示しない光量調整部を制御して光量（露光量）を調整したりする。

#### 【0024】

投影系制御部 100 は、投影光学系 30 を制御する。投影系制御部 100 は、本実施形態では、レンズ駆動部 70 を介して、投影光学系 30 の光学素子 302 の駆動量を制御する。なお、光学素子 302 の駆動量は、光学素子 302 を投影光学系 30 の光軸方向に駆動する際の駆動量、光学素子 302 を投影光学系 30 の光軸に垂直な平面に対して傾斜させる際の傾斜量、光学素子 302 を変形させる際の変形量を含む。また、投影系制御部 100 は、投影光学系 30 の瞳面に配置される図示しない開口絞りの開口径を制御して、投影光学系 30 の開口数（NA）を調整する。

#### 【0025】

10

20

30

40

50

ステージ制御部 110 は、ウエハステージ 50 を制御する。具体的には、ステージ制御部 110 は、レーザ干渉計 506 の検出結果（レーザ干渉計 506 とミラー 504 との間の距離）からウエハステージ 50 の位置（XY 面内）を算出する。そして、ステージ制御部 110 は、かかる算出結果に基づいてステージ駆動部 502 を制御してウエハステージ 50 を所定の位置に駆動する。

#### 【0026】

主制御部 120 は、光源制御部 80、照明系制御部 90、投影系制御部 100 及びステージ制御部 110 等を介して、露光装置 1 の全体（露光装置 1 の動作）を制御する。なお、主制御部 120 は、光源制御部 80、照明系制御部 90、投影系制御部 100 及びステージ制御部 110 の機能を備えていてもよい。換言すれば、光源制御部 80、照明系制御部 90、投影系制御部 100 及びステージ制御部 110 は、主制御部 120 と一体的に構成されていてもよい。

10

#### 【0027】

主制御部 120 は、本実施形態では、投影系制御部 100 を介して、投影光学系 30 の光学素子 302 を駆動して投影光学系 30 の収差を所定の状態に調整する。主制御部 120 は、後述するように、特定部として機能し、レチクル 20 のパターン及び投影光学系 30 の瞳面における有効光源の形状に基づいて、投影光学系 30 の瞳面内の部分的な領域を収差調整の対象領域として特定する。具体的には、主制御部 120 は、レチクル 20 のパターン及び投影光学系 30 の瞳面における有効光源の形状と投影光学系 30 の瞳面内の部分的な領域との対応を示すテーブルを有し、かかるテーブルを参照することで部分的な領域を特定する。なお、レチクル 20 のパターン及び投影光学系 30 の瞳面における有効光源の形状と投影光学系 30 の瞳面内の部分的な領域との対応を示すテーブルは、光学シミュレータやユーザの経験などによって作成することが可能である。そして、主制御部 120 は、投影系制御部 100 及びレンズ駆動部 70 と共同して調整部として機能し、特定した投影光学系 30 の瞳面内の部分的な領域における投影光学系 30 の収差を調整する。

20

#### 【0028】

主制御部 120 によって特定された部分的な領域は、投影光学系 30 を通過する光の結像状態に影響を及ぼす領域（即ち、結像に高く寄与する領域）であって、例えば、レチクル 20 のパターンからの回折光が入射する領域である。かかる部分的な領域は、点領域、線領域及び面領域、並びに、それらの組み合わせ（例えば、帯状領域）の 1 つである。

30

#### 【0029】

以下、図 2 を参照して、主制御部 120 による投影光学系 30 の収差の調整について説明する。図 2 は、露光装置 1 における投影光学系 30 の収差の調整を説明するためのフローチャートである。なお、本実施形態では、投影光学系 30 の収差を Zernike 多項式で表すものとする。また、主制御部 120 が調整可能な投影光学系 30 の収差は、投影光学系 30 の光軸に関して回転対称な収差であって、例えば、図 3 及び図 4 に示すような Zernike 多項式における Zernike 係数の 4 項及び 9 項に相当する収差のみである。図 3 は、Zernike 多項式における Zernike 係数の 4 項で表される収差を示す図である。図 4 は、Zernike 多項式における Zernike 係数の 9 項で表される収差を示す図である。

40

#### 【0030】

また、本実施形態において、照明光学系 14 は、図 5 に示すような有効光源（有効光源の形状）を投影光学系 30 の瞳面に形成する。図 5 に示す有効光源は、投影光学系 30 の瞳面内の第 1 の軸上（X 軸上）の互いに分離した 2 つの領域及び第 1 の軸に直交する第 2 の軸上（Y 軸上）の互いに分離した 2 つの領域に光強度分布 LID を有する 4 重極形状である。図 5 に示す有効光源は、 $\theta = 0.85$ 、輪帶比 = 4 / 5 の輪帶から、切り出し角 = 30 度で切り出したものである。ここで、図 5 は、照明光学系 14 が形成する有効光源の形状の一例を示す図である。また、第 1 の軸（X 軸）は、投影光学系 30 の瞳の中心（光軸）を通り、露光装置 1 のスキャン方向に平行な直線に相当する。

#### 【0031】

50

また、本実施形態では、図6に示すように、X軸に平行なパターン $PT_{x_1}$ と、Y軸に平行なパターン $PT_{y_1}$ とを含むメインパターン $PT_1$ と、メインパターン $PT_1$ の両側に配置された補助パターン $AP_1$ とを有するレチクル20を使用する。レチクル20のメインパターン $PT_1$ は、上述したように、X軸に平行なパターン $PT_{x_1}$ 及びY軸に平行なパターン $PT_{y_1}$ が混在しているため、レチクル20(メインパターン $PT_1$ )からの回折光は、X軸方向及びY軸方向に回折する。ここで、図6は、レチクル20のパターンの一例を示す図である。

#### 【0032】

まず、主制御部120は、レチクル20のパターン及び投影光学系30の瞳面における有効光源の形状に基づいて、収差補正の対象領域となる投影光学系30の瞳面内の部分的な領域を特定する(ステップS1002)。本実施形態では、主制御部120は、図6に示すレチクル20のパターン及び図5に示す有効光源の形状に基づいて、図7に示すように、投影光学系30の瞳面内の部分的な領域CA<sub>1</sub>を特定する。部分的な領域CA<sub>1</sub>は、投影光学系30の瞳面において、図5に示すレチクル20のメインパターン $PT_1$ からの回折光が入射する領域である。図5に示すレチクル20のメインパターン $PT_1$ からの回折光は、投影光学系30の瞳面のX軸上及びY軸上の近傍に分布する。このように、主制御部120は、部分的な領域CA<sub>1</sub>として、X軸の方向に延び、且つ、光強度分布LIDの存在する2つの領域を含む帯状領域及びY軸の方向に延び、且つ、光強度分布LIDの存在する2つの領域を含む帯状領域を特定する。ここで、図7は、図6に示すレチクル20のパターン及び図5に示す有効光源の形状から特定される投影光学系30の瞳面内の部分的な領域CA<sub>1</sub>を示す図である。

10

20

20

#### 【0033】

次いで、主制御部120は、測定部60を制御して、投影光学系30の収差(波面収差)W(、)を測定し、投影光学系30に発生している収差W(、)を取得する(ステップS1004)。なお、は、投影光学系30の瞳の半径を1に規格化した規格化瞳半径であり、は、射出瞳面上に設定された極座標の動径角である。

#### 【0034】

次に、主制御部120は、ステップS1004で取得した収差W(、)に対してZernikeの直交円筒関数系 $Z_n(、)$ をフィッティングして、各項の展開係数(Zernike係数) $C_n$ を算出する(ステップS1006)。ここで、Zernike係数 $C_n$ 、Zernikeの直交円筒関数系 $Z_n(、)$ 及び収差W(、)の間には、以下の式1で示される関係式が成り立つ。但し、は、自然数nに関する和を表す。

30

#### 【0035】

$$W(、) = (C_n \cdot Z_n(、)) \dots \quad \dots \quad (\text{式1})$$

また、Zernikeの直交円筒関数系 $Z_n(、)$ を以下に示す。但し、37項( $Z_{37}$ )以降は省略している。

$$Z_1(、) = 1$$

$$Z_2(、) = \cos$$

$$Z_3(、) = \sin$$

$$Z_4(、) = 2^2 - 1$$

$$Z_5(、) = 2^2 \cos$$

$$Z_6(、) = 2^2 \sin$$

$$Z_7(、) = (3^3 - 2^2) \cos$$

$$Z_8(、) = (3^3 - 2^2) \sin$$

$$Z_9(、) = 6^4 - 6^2 + 1$$

40

$$Z_{10}(、) = 3^3 \cos 3$$

$$Z_{11}(、) = 3^3 \sin 3$$

$$Z_{12}(、) = (4^4 - 3^2) \cos 2$$

$$Z_{13}(、) = (4^4 - 3^2) \sin 2$$

$$Z_{14}(、) = (10^5 - 12^3 + 3) \cos$$

50

$$\begin{aligned}
 Z_{1\,5}(\cdot, \cdot) &= (1\,0\,5 - 1\,2\,3 + 3) \sin \\
 Z_{1\,6}(\cdot, \cdot) &= 2\,0\,6 - 3\,0\,4 + 1\,2\,2 - 1 \\
 Z_{1\,7}(\cdot, \cdot) &= 4 \cos 4 \\
 Z_{1\,8}(\cdot, \cdot) &= 4 \sin 4 \\
 Z_{1\,9}(\cdot, \cdot) &= (5\,5 - 4\,3) \cos 3 \\
 Z_{2\,0}(\cdot, \cdot) &= (5\,5 - 4\,3) \sin 3 \\
 Z_{2\,1}(\cdot, \cdot) &= (1\,5\,6 - 2\,0\,4 + 6\,2) \cos 2 \\
 Z_{2\,2}(\cdot, \cdot) &= (1\,5\,6 - 2\,0\,4 + 6\,2) \sin 2 \\
 Z_{2\,3}(\cdot, \cdot) &= (3\,5\,7 - 6\,0\,5 + 3\,0\,3 - 4) \cos \\
 Z_{2\,4}(\cdot, \cdot) &= (3\,5\,7 - 6\,0\,5 + 3\,0\,3 - 4) \sin \\
 Z_{2\,5}(\cdot, \cdot) &= 7\,0\,8 - 1\,4\,0\,6 + 9\,0\,4 - 2\,0\,2 + 1 \\
 Z_{2\,6}(\cdot, \cdot) &= 5 \cos 5 \\
 Z_{2\,7}(\cdot, \cdot) &= 5 \sin 5 \\
 Z_{2\,8}(\cdot, \cdot) &= (6\,6 - 5\,4) \cos 4 \\
 Z_{2\,9}(\cdot, \cdot) &= (6\,6 - 5\,4) \sin 4 \\
 Z_{3\,0}(\cdot, \cdot) &= (2\,1\,7 - 3\,0\,5 + 1\,0\,3) \cos 3 \\
 Z_{3\,1}(\cdot, \cdot) &= (2\,1\,7 - 3\,0\,5 + 1\,0\,3) \sin 3 \\
 Z_{3\,2}(\cdot, \cdot) &= (5\,6\,8 - 1\,0\,4\,6 + 6\,0\,4 - 1\,0\,2) \cos 2 \\
 Z_{3\,3}(\cdot, \cdot) &= (5\,6\,8 - 1\,0\,4\,6 + 6\,0\,4 - 1\,0\,2) \sin 2 \\
 Z_{3\,4}(\cdot, \cdot) &= (1\,2\,6\,9 - 2\,8\,0\,7 + 2\,1\,0\,5 - 6\,0\,3 + 5) \cos \\
 Z_{3\,5}(\cdot, \cdot) &= (1\,2\,6\,9 - 2\,8\,0\,7 + 2\,1\,0\,5 - 6\,0\,3 + 5) \sin \\
 Z_{3\,6}(\cdot, \cdot) &= 2\,5\,2\,1\,0 - 6\,3\,0\,8 + 5\,6\,0\,6 - 2\,1\,0\,4 + 3\,0\,2 - 1
 \end{aligned}$$

10

20

なお、以下では、Zernikeの直交円筒関数系  $Z_n(\cdot, \cdot)$  で表される投影光学系 30 の収差を単に「n 項」と称する。

#### 【0036】

次いで、主制御部 120 は、ステップ S1002 で特定した投影光学系 30 の瞳面内の部分的な領域 CA<sub>1</sub>において、投影光学系 30 の収差を補正する（ステップ S1008）。

#### 【0037】

以下、ステップ S1008 の投影光学系 30 の収差の補正について具体的に説明する。

#### 【0038】

本実施形態では、上述したように、レチクル 20 のパターン（図 6 参照）からの回折光は、投影光学系 30 の瞳面の X 軸上及び Y 軸上の近傍（部分的な領域 CA<sub>1</sub>）に分布する（図 7 参照）。従って、結像に高く寄与する（投影光学系 30 を通過する光の結像状態に影響を及ぼす）投影光学系 30 の瞳面内の領域は領域 CA<sub>1</sub>だけであるため、領域 CA<sub>1</sub>における収差を調整（最適化）することで、投影光学系 30 の収差を実質的に補正することができる。

#### 【0039】

本実施形態では、上述したように、4重極形状の有効光源（例えば、図 5 のような有効光源の形状）を形成するような照明（4重極照明）を使用する。この場合、投影光学系 30 においては、一般的に、露光による発熱のために、4 系の収差（Zernike 係数の 17 項（C<sub>1,7</sub>）及び 28 項（C<sub>2,8</sub>）など）が大きく発生する。但し、露光装置における収差補正機構では、Zernike 係数の 17 項（C<sub>1,7</sub>）及び 28 項（C<sub>2,8</sub>）などで表される収差（投影光学系 30 の光軸に関して回転非対称な収差）を補正（低減）させることができない。そこで、本実施形態では、投影光学系 30 の瞳面内の部分的な領域 CA<sub>1</sub>において、Zernike 係数の 17 項（C<sub>1,7</sub>）及び 28 項（C<sub>2,8</sub>）で表される収差を、Zernike 係数の 4 項（C<sub>4</sub>）及び 9 項（C<sub>9</sub>）で表される収差で補正する。

#### 【0040】

図 8 は、ステップ S1004 で取得した投影光学系 30 の収差（即ち、収差を補正する

前の投影光学系 3 0 の収差  $W( \cdot, \cdot )$  を示す図である。ここで、投影光学系 3 0 の収差  $W( \cdot, \cdot )$  は、以下の式 2 で表される。

【0041】

$$W( \cdot, \cdot ) = C_{17} \cdot Z_{17}( \cdot, \cdot ) + C_{28} \cdot Z_{28}( \cdot, \cdot ) = C_{17} \cdot {}^4 \cos 4 + C_{28} ( 6^6 - 5^4 ) \cos 4 \quad \cdots \text{ (式 2)}$$

Zernike係数の 17 項 ( $C_{17}$ ) 及び 28 項 ( $C_{28}$ ) で表される収差を補正するため、Zernike係数の 4 項及び 9 項で表される収差（補正量） $C'_4$  及び  $C'_9$  を与えると、投影光学系 3 0 の波面  $W'( \cdot, \cdot )$  は、以下の式 3 で表される。但し、定数項は投影光学系 3 0 を通過する光の結像状態に影響しないため無視する。

【0042】

$$W'( \cdot, \cdot ) = C_{17} \cdot {}^4 \cos 4 + C_{28} ( 6^6 - 5^4 ) \cos 4 + C'_4 ( 2^2 ) + C'_9 ( 6^4 - 6^2 ) \quad \cdots \text{ (式 3)}$$

投影光学系 3 0 の瞳面の X 軸上及び Y 軸上 ( $= 0, \pm /2, \pm 3/2$ ) における収差  $W'_{XY - Axis}( \cdot )$  は、以下の式 4 で表される。

【0043】

$$W'_{XY - Axis}( \cdot ) = C_{17} \cdot {}^4 + C_{28} ( 6^6 - 5^4 ) + C'_4 ( 2^2 ) + C'_9 ( 6^4 - 6^2 ) \quad \cdots \text{ (式 4)}$$

また、式 4 を規格化瞳半径 の多項式として書き直すと、以下の式 5 を得る。

【0044】

$$W'_{XY - Axis}( \cdot ) = 6 C_{28}^6 + ( 6 C'_9 + C_{17} - 5 C_{28} ) {}^4 + ( 2 C'_4 - 6 C'_9 ) {}^2 + ( - C'_4 + 6 C'_9 ) \quad \cdots \text{ (式 5)}$$

ここでは、補正量  $C'_4$  及び  $C'_9$  として、評価範囲（投影光学系の瞳面内の部分的な領域  $CA_1$ ）における投影光学系 3 0 の収差  $W'$  の RMS 値を最小にする値を求める。ここでは、投影光学系 3 0 の瞳面の X 軸上及び Y 軸上のみを対象として補正しても、領域  $CA_1$  全体を対象として補正した場合と等価であると仮定する。領域  $CA_1$  は X 軸及び Y 軸近傍の領域であるため、このように仮定することができる。このように仮定することで、計算を簡易にすることができる。具体的には、投影光学系 3 0 の瞳面の X 軸上において等間隔に取った  $n$  点での収差の RMS 値を  $F_{RMS}$  で表すと、以下の式 6 で表される  $F_{RMS}$  を最小にする補正量  $C'_4$  及び  $C'_9$  を求めればよい。

【0045】

$$F_{RMS}^2 ( C'_4, C'_9 ) = ( W'_{XY - Axis}( i ) )^2 = ( 6 C_{28}^6 + ( 6 C'_9 + C_{17} - 5 C_{28} ) {}^4 + ( 2 C'_4 - 6 C'_9 ) {}^2 ) {}^2 \quad \cdots \text{ (式 6)}$$

但し、 $i = (i - 1) / (n - 1)$ 、 $i = 1, 2, \dots, n$  ( $n$  は 1 より大きい自然数) である。また、 $\cdot$  は、 $i$  について和を取ることを表す。

【0046】

例えば、 $n = 21$  として、RMS 値  $F_{RMS}$  の最小値を与える補正值  $C'_4$  及び  $C'_9$  を算出すると、以下の式 7 及び式 8 で表される値が得られる。

【0047】

$$C'_4 = - ( 1/2 ) \times C_{17} - 0.29 \times C_{28} \quad \cdots \text{ (式 7)}$$

$$C'_9 = - ( 1/6 ) \times C_{17} - 0.58 \times C_{28} \quad \cdots \text{ (式 8)}$$

そして、主制御部 120 は、式 7 及び式 8 で表される補正值  $C'_4$  及び  $C'_9$  を与えるために必要な投影光学系 3 0 の光学素子 3 0 2 の駆動量を求め、かかる駆動量に従って、投影系制御部 100 及びレンズ駆動部 70 を介して、光学素子 3 0 2 を駆動する。なお、主制御部 120 は、例えば、補正值  $C'_4$  及び  $C'_9$  と、かかる補正值  $C'_4$  及び  $C'_9$  を与えるために必要な投影光学系 3 0 の光学素子 3 0 2 の駆動量との関係を示す情報をメモリに有する。従って、主制御部 120 は、かかる情報を参照することで、光学素子 3 0 2 の駆動量を求めることができる。

【0048】

図 9 は、ステップ S1008 で収差を補正した後の投影光学系 3 0 の収差  $W'( \cdot, \cdot )$

10

20

30

40

50

)を示す図である。また、図10は、図8に示す投影光学系30の収差W( , )及び図9に示す投影光学系30の収差W'( , )のX軸上での断面を示す図である。図10では、縦軸に投影光学系30の収差を採用し、横軸に規格化瞳半径 $r$ を採用している。図9及び図10を参照するに、投影光学系30の瞳面のX軸上における収差が良好に補正されている(即ち、波面が平坦化されている)ことが理解されるであろう。なお、図9に示す投影光学系30の収差W'( , )のY軸上での断面も図10と同様になるため、ここでの詳細な説明は省略する。

#### 【0049】

図11は、図6に示すレチクル20を露光した場合のメインパターンPT<sub>1</sub>の線幅変動(CD)を示す図である。図11では、縦軸に線幅変動(CD)を採用し、横軸にデフォーカスを採用している。また、図11には、無収差の投影光学系30を用いた場合、本実施形態における収差を補正する前の投影光学系30を用いた場合、本実施形態における収差を補正した後の投影光学系30を用いた場合を示している。図11を参照するに、本実施形態における収差を補正した後の投影光学系30を用いた場合には、収差を補正する前の投影光学系30を用いた場合と比較して、線幅変動(CD)が軽減されていることが理解されるであろう。

#### 【0050】

このように、本実施形態の露光装置1によれば、投影光学系30を通過する光の結像状態(例えば、収差など)を高精度に調整して優れた結像特性を実現することができる。

#### 【0051】

なお、Zernike係数の17項( $C_{17}$ )及び28項( $C_{28}$ )で表される収差を同時に補正するのではなく、Zernike係数の17項( $C_{17}$ )で表される収差のみを補正するように、補正值 $C'_4$ 及び $C'_9$ を与えることも可能である。以下、投影光学系30の瞳面内の部分的な領域CA<sub>1</sub>において、Zernike係数の17項( $C_{17}$ )で表される収差のみを補正する場合について説明する。

#### 【0052】

図12は、収差を補正する前の投影光学系30の収差W( , )を示す図である。但し、図12では、Zernike係数の17項( $C_{17}$ )で表される収差を1に規格化している。ここで、投影光学系30の収差W( , )は、以下の式9で表される。

#### 【0053】

$W( , ) = C_{17} \cdot Z_{17}( , ) = C_{17} \cdot 4 \cos 4 \dots$  (式9)  
Zernike係数の17項( $C_{17}$ )で表される収差を補正するために、Zernike係数の4項及び9項で表される収差(補正量) $C'_4$ 及び $C'_9$ を与えると、投影光学系30の波面 $W'( , )$ は、以下の式10で表される。但し、定数項は投影光学系30を通過する光の結像状態に影響しないため無視する。

#### 【0054】

$W'( , ) = C_{17} \cdot 4 \cos 4 + C'_4 (2^2) + C'_9 (6^4 - 6^2) \dots$  (式10)

投影光学系30の瞳面のX軸上及びY軸上( $= 0, /2, 3/2$ )における収差 $W'_{x Y - A x i s}( )$ は、以下の式11で表される。

#### 【0055】

$W'_{x Y - A x i s}( ) = C_{17} \cdot 4 + C'_4 (2^2) + C'_9 (6^4 - 6^2) \dots$  (式11)

また、式11を規格化瞳半径 $r$ の多項式として書き直すと、以下の式12を得る。

#### 【0056】

$W'_{x Y - A x i s}( ) = (6C'_9 + C_{17})^4 + (2C'_4 - 6C'_9)^2 + (-C'_4 + 6C'_9) \dots$  (式12)

ここでは、規格化瞳半径 $r$ の4次及び2次の項が0になる条件に基づいて、補正量 $C'_4$ 及び $C'_9$ を求めるとき、以下の式13及び式14で表される式が得られる。

10

20

30

40

50

## 【0057】

$$C'_{\cdot 4} = - (1/2) \times C_{\cdot 7} \quad \dots \text{ (式13)}$$

$$C'_{\cdot 9} = - (1/6) \times C_{\cdot 7} \quad \dots \text{ (式14)}$$

そして、主制御部120は、式13及び式14で表される補正值 $C'_{\cdot 4}$ 及び $C'_{\cdot 9}$ を与えるために必要な投影光学系30の光学素子302の駆動量を求め、かかる駆動量に従つて、投影系制御部100及びレンズ駆動部70を介して、光学素子302を駆動する。

## 【0058】

図13は、投影光学系30の瞳面内の部分的な領域CA1において、収差を補正した後の投影光学系30の収差W'（、）を示す図である。図13を参照するに、投影光学系30の瞳面内の部分的な領域CA1における収差は、図12に示す収差を補正する前の投影光学系30の収差W（、）と比較して、低減されていることが理解されるであろう。

10

## 【0059】

また、本実施形態では、照明光学系14が形成する有効光源（有効光源の形状）やレチクル20のパターンを限定するものではない。例えば、照明光学系14は、図14に示すような有効光源（有効光源の形状）を投影光学系30の瞳面に形成してもよい。図14に示す有効光源は、投影光学系30の瞳面内の第1の軸上（X軸上）の互いに分離した2つの領域に光強度分布LIDを有する2重極形状である。また、図14に示す有効光源は、=0.90、輪帯比=4/5の輪帯から、切り出し角=30度で切り出したものである。ここで、図14は、照明光学系14が形成する有効光源の形状の一例を示す図である。

20

## 【0060】

図15は、図14に示す有効光源（の形状）に対して使用されるレチクル20のパターンを示す図である。図15に示すレチクル20は、Y軸に平行なメインパターンPT<sub>2</sub>と、メインパターンPT<sub>2</sub>の両側に配置された補助パターンAP<sub>2</sub>とを有する。レチクル20のメインパターンPT<sub>2</sub>は、上述したように、Y軸に平行であるため、レチクル20（メインパターンPT<sub>2</sub>）からの回折光は、X軸方向に回折する。

20

## 【0061】

このような場合、主制御部120は、図15に示すレチクル20のパターン及び図14に示す有効光源の形状に基づいて、図16に示すように、投影光学系30の瞳面内の部分的な領域CA<sub>2</sub>を特定する。部分的な領域CA<sub>2</sub>は、投影光学系30の瞳面において、図15に示すレチクル20のメインパターンPT<sub>2</sub>からの回折光が入射する領域であって、図15に示すレチクル20のメインパターンPT<sub>2</sub>からの回折光は、投影光学系30の瞳面のX軸上の近傍に分布する。このように、主制御部120は、部分的な領域CA<sub>2</sub>として、X軸の方向に延び、且つ、光強度分布LIDの存在する2つの領域を含む帯状領域を特定する。ここで、図16は、図15に示すレチクル20のパターン及び図14に示す有効光源の形状から特定される投影光学系30の瞳面内の部分的な領域CA<sub>2</sub>を示す図である。

30

## 【0062】

図16に示すように、レチクル20からの回折光の分布がX軸方向とY軸方向で非対称となる場合には、投影光学系30において、露光による発熱のために、2系の収差（Zernike係数の5項（C<sub>5</sub>）及び12項（C<sub>12</sub>）など）が大きく発生する。但し、露光装置における収差補正機構では、Zernike係数の5項（C<sub>5</sub>）及び12項（C<sub>12</sub>）などで表される収差（投影光学系30の光軸に関して回転非対称な収差）を補正（低減）させることができない。そこで、本実施形態では、投影光学系30の瞳面内の領域CA<sub>2</sub>において、Zernike係数の5項（C<sub>5</sub>）及び12項（C<sub>12</sub>）で表される収差を、Zernike係数の4項（C<sub>4</sub>）及び9項（C<sub>9</sub>）で表される収差で補正する。

40

## 【0063】

以下、投影光学系30の瞳面内の部分的な領域CA<sub>2</sub>において、Zernike係数の12項（C<sub>12</sub>）で表される収差を補正する場合について説明する。ここでは、投影光学系30の瞳面のX軸上の領域のみを対象として補正しても、領域CA<sub>2</sub>全体を対象として

50

補正した場合と等価であると仮定する。領域 C A<sub>2</sub>は X 軸近傍の領域であるため、このように仮定することができる。このように仮定することで計算を簡易にすることができます。

#### 【0064】

図 17 は、収差を補正する前の投影光学系 30 の収差 W( , ) を示す図である。但し、図 17 では、Zernike 係数の 12 項 (C<sub>12</sub>) で表される収差を 1 に規格化している。ここで、投影光学系 30 の収差 W( , ) は、以下の式 15 で表される。

#### 【0065】

$$W( , ) = C_{12} \cdot Z_{12}( , ) = C_{12} (4^4 - 3^2) \cos 2 \\ \dots \quad (\text{式 } 15)$$

Zernike 係数の 12 項 (C<sub>12</sub>) で表される収差を補正するために、Zernike 係数の 4 項及び 9 項で表される収差（補正量）C'<sub>4</sub> 及び C'<sub>9</sub> を与えると、投影光学系 30 の波面 W'( , ) は、以下の式 16 で表される。但し、定数項は投影光学系 30 を通過する光の結像状態に影響しないため無視する。

#### 【0066】

$$W'( , ) = C_{12} (4^4 - 3^2) \cos 2 + C'_4 (2^2) + C'_9 (6^4 - 6^2) \dots \quad (\text{式 } 16)$$

投影光学系 30 の瞳面の X 軸上 ( = 0, ) における収差 W'\_{x-axis}( ) は、以下の式 17 で表される。

#### 【0067】

$$W'_{x-axis}( ) = C_{12} (4^4 - 3^2) + C'_4 (2^2) + C'_9 (6^4 - 6^2) \dots \quad (\text{式 } 17)$$

また、式 17 を規格化瞳半径 の多項式として書き直すと、以下の式 18 を得る。

#### 【0068】

$$W'_{x-axis}( ) = (6C'_9 + 4C_{12})^4 + (2C'_4 - 6C'_9 - 3C_{12})^2 + (-C'_4 + 6C'_9) \dots \quad (\text{式 } 18)$$

ここでは、規格化瞳半径 の 4 次及び 2 次の項が 0 になる条件に基づいて、補正量 C'<sub>4</sub> 及び C'<sub>9</sub> を求めると、以下の式 19 及び式 20 で表される式が得られる。

#### 【0069】

$$C'_4 = - (1/2) \times C_{12} \dots \quad (\text{式 } 19)$$

$$C'_9 = - (2/3) \times C_{12} \dots \quad (\text{式 } 20)$$

そして、主制御部 120 は、式 19 及び式 20 で表される補正値 C'<sub>4</sub> 及び C'<sub>9</sub> を与えるために必要な投影光学系 30 の光学素子 302 の駆動量を求め、かかる駆動量に従って、投影系制御部 100 及びレンズ駆動部 70 を介して、光学素子 302 を駆動する。

#### 【0070】

図 18 は、投影光学系 30 の瞳面内の部分的な領域 C A<sub>2</sub>において、収差を補正した後の投影光学系 30 の収差 W'( , ) を示す図である。図 18 を参照するに、投影光学系 30 の瞳面内の部分的な領域 C A<sub>2</sub>における収差は、図 17 に示す収差を補正する前の投影光学系 30 の収差 W( , ) と比較して、低減されていることが理解されるであろう。

#### 【0071】

また、図 14 に示す有効光源（の形状）は、図 19 に示す有効光源（の形状）に置換することもできる。図 19 に示す有効光源は、投影光学系 30 の瞳面内の第 1 の軸上（X 軸上）の互いに分離した 2 つの領域に光強度分布 LID を有する 2 重極形状である。また、図 19 に示す有効光源は、= 0.90、輪帶比 = 4 / 5 の輪帶から、切り出し角 = 90 度で切り出したものである。ここで、図 19 は、照明光学系 14 が形成する有効光源の形状の一例を示す図である。

#### 【0072】

図 19 に示す有効光源で図 15 に示すレチクル 20 を照明した場合、レチクル 20（メインパターン PT<sub>2</sub>）からの回折光は、X 軸方向に回折する。但し、図 19 に示す有効光源は、図 14 に示す有効光源よりも切り出し角が大きいため、レチクル 20 からの回折光

10

20

30

40

50

は、Y 軸方向にも広がりを有する。

【 0 0 7 3 】

このような場合、主制御部 120 は、図 15 に示すレチクル 20 のパターン及び図 19 に示す有効光源の形状に基づいて、図 20 に示すように、投影光学系 30 の瞳面内の部分的な領域 CA<sub>3</sub> を特定する。部分的な領域 CA<sub>3</sub> は、投影光学系 30 の瞳面において、図 15 に示すレチクル 20 のメインパターン PT<sub>2</sub> からの回折光が入射する領域である。このように、主制御部 120 は、部分的な領域 CA<sub>3</sub> として、X 軸の方向に延び、且つ、光強度分布 LID の存在する 2 つの領域を含む帯状領域を特定する。ここで、図 20 は、図 15 に示すレチクル 20 のパターン及び図 19 に示す有効光源の形状から特定される投影光学系 30 の瞳面内の部分的な領域 CA<sub>3</sub> を示す図である。

10

【 0 0 7 4 】

図 20 に示すように、投影光学系 30 の瞳面において、最も X 軸から離れている有効光源上の点の Y 座標  $Y_d$  は、以下の式 21 で表される。

〔 0 0 7 5 〕

$$Y_d = x \sin \dots \dots \text{ (式 2-1)}$$

本実施形態では、Y座標 $Y_d$ は、 $0.9 \times 1 / 20.64$ である。従って、レチクル20(メインパターンPT<sub>2</sub>)からの回折光は、投影光学系30の瞳面のX軸上から $\pm Y_d$ の広がりを有して分布する。この場合、上述したように、投影光学系30の瞳面のX軸上において、投影光学系30の収差を補正してもよいが、補正の効果が小さくなることが予想される。そこで、投影光学系30の瞳面のX軸上から $\pm Y_d$ の領域CA<sub>3</sub>において、投影光学系30の収差を補正することが好ましい。

20

〔 0 0 7 6 〕

以下、投影光学系 30 の瞳面内の部分的な領域  $C_A_3$  において、投影光学系 30 の収差を補正する場合について説明する。

【 0 0 7 7 】

Zernike係数の4項及び9項で表される収差(補正量) $C_4$ 及び $C_9$ を与えると、投影光学系30の波面 $W'$ (、)は、収差を補正する前の投影光学系30の収差 $W$ (、)を用いて、以下の式22で表される。但し、定数項は投影光学系30を通過する光の結像状態に影響しないため無視する。

30

〔 0 0 7 8 〕

$$W'(\quad, \quad) = W(\quad, \quad) + C_4(2^2) + C_9(6^4 - 6^2)$$

⋮⋮(式22)

ここでは、補正量  $C_{\alpha 4}$  及び  $C_{\alpha 9}$  として、以下の式 23 で表される RMS 値  $F_{RMS}$  を最小にする値を求める。ここで、RMS 値  $F_{RMS}$  は、投影光学系の瞳面内の部分的な領域  $CA_3$  に含まれる  $n$  個の代表点で算出した収差の RMS 値である。

【 0 0 7 9 】

$$F_{RMS}^2 (C'_{\text{4}}, C'_{\text{9}}) = (W'_{\text{i}}(i_i, i_i))^2 \dots \text{(式23)}$$

但し、 $(x_i, y_i)$  は、影光学系の瞳面内の部分的な領域  $C A_3$  に含まれる任意の点であり、 $i = 1, 2, \dots, n$  ( $n$  は 1 より大きい自然数) である。また、 $\theta_i$  は、 $i$  について和を取ることを表す。

40

〔 0 0 8 0 〕

そして、主制御部 120 は、式 23 から求まる補正值  $C'_4$  及び  $C'_9$  を与えるために必要な投影光学系 30 の光学素子 302 の駆動量を求め、かかる駆動量に従って、投影系制御部 100 及びレンズ駆動部 70 を介して、光学素子 302 を駆動する。

〔 0 0 8 1 〕

なお、本実施形態では、投影光学系30において、露光による発熱のために発生する収差の補正について説明したが、その他の収差についても適用することができる。例えば、投影光学系30の瞳面上のある領域Sにおいて、投影光学系30の波面収差W(、)を、Zernike係数の4項乃至36項で表される収差を与えることで補正する場合を

50

考える。この場合、各項の補正值は、以下の式24で表されるRMS値 $F_{RMS}$ を最小にする $C'_{k}$ ( $k=4$ 乃至 $36$ )の組として求めることができる。

【0082】

【数1】

$$F_{RMS}(C'_4, C'_5, C'_6, \dots, C'_{36}) = \sqrt{\sum_i^n \left[ W(\rho_i, \theta_i) + \sum_{k=4}^{36} C'_k Z_k(\rho_i, \theta_i) \right]^2} \quad \dots \text{ (式24)}$$

【0083】

但し、 $Z_k(\rho_i, \theta_i)$ は、Zernikeの直交円筒関数系の $k$ 項、 $C'_k$ は、Zernike係数の $k$ 項の補正值、 $(\rho_i, \theta_i)$ は、領域Sに含まれる $i$ 番目の評価点座標( $i=1, 2, \dots, n$ )を示す。

【0084】

露光において、光源12からの光は、照明光学系14を介してレチクル20を照明する。レチクル20のパターンを反映する光は、投影光学系30によってウエハ40上に結像する。露光装置1が使用する投影光学系30は、投影光学系30の瞳面内の部分的な領域において、高精度に収差が調整(補正)されており、優れた結像性能を実現する。従って、露光装置1は、高いスループットで経済性よく高品位なデバイス(半導体デバイス、液晶デバイスなど)を提供することができる。

【0085】

次に、図21及び図22を参照して、露光装置1を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図21は、デバイスの製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体デバイスの製造を例に説明する。ステップ1(回路設計)では、デバイスの回路設計を行う。ステップ2(レチクル製作)では、設計した回路パターンを形成したレチクルを製作する。ステップ3(ウエハ製造)では、シリコンなどの材料を用いてウエハを製造する。ステップ4(ウエハプロセス)は、前工程と呼ばれ、レチクルとウエハを用いてリソグラフィー技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。ステップ5(組み立て)は、後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程(ダイシング、ポンディング)、パッケージング工程(チップ封入)等の工程を含む。ステップ6(検査)では、ステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷(ステップ7)される。

【0086】

図22は、ステップ4のウエハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11(酸化)では、ウエハの表面を酸化させる。ステップ12(CVD)では、ウエハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13(電極形成)では、ウエハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14(イオン打ち込み)では、ウエハにイオンを打ち込む。ステップ15(レジスト処理)では、ウエハに感光剤を塗布する。ステップ16(露光)では、露光装置1によってレチクルの回路パターンをウエハに露光する。ステップ17(現像)では、露光したウエハを現像する。ステップ18(エッチング)では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19(レジスト剥離)では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウエハ上に多重の回路パターンが形成される。かかるデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。このように、露光装置1を使用するデバイス製造方法、並びに結果物としてのデバイスも本発明の一側面を構成する。

【0087】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されることはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

## 【0088】

【図1】本発明の一側面としての露光装置の構成を示す概略ブロック図である。

【図2】図1に示す露光装置における投影光学系の収差の調整を説明するためのフローチャートである。

【図3】Zernike多項式におけるZernike係数の4項で表される収差を示す図である。

【図4】Zernike多項式におけるZernike係数の9項で表される収差を示す図である。

【図5】図1に示す露光装置の照明光学系が形成する有効光源の形状の一例を示す図である。

10

【図6】図1に示す露光装置のレチクルのパターンの一例を示す図である。

【図7】図6に示すレチクルのパターン及び図5に示す有効光源の形状から特定される投影光学系の瞳面内の部分的な領域を示す図である。

【図8】図2に示すステップS1004で取得した投影光学系の収差を示す図である。

【図9】図2に示すステップS1008で収差を補正した後の投影光学系の収差を示す図である。

【図10】図8に示す投影光学系の収差及び図9に示す投影光学系の収差のX軸上での断面を示す図である。

20

【図11】図6に示すレチクルを露光した場合のメインパターンの線幅変動(CD)を示す図である。

【図12】図1に示す露光装置において、収差を補正する前の投影光学系の収差を示す図である。

【図13】図1に示す露光装置において、投影光学系の瞳面内の部分的な領域の収差を補正した後の投影光学系の収差を示す図である。

【図14】図1に示す露光装置の照明光学系が形成する有効光源の形状の一例を示す図である。

【図15】図14に示す有効光源に対して使用されるレチクルのパターンを示す図である。

【図16】図15に示すレチクルのパターン及び図14に示す有効光源の形状から特定される投影光学系の瞳面内の部分的な領域を示す図である。

30

【図17】図1に示す露光装置において、収差を補正する前の投影光学系の収差を示す図である。

【図18】図1に示す露光装置において、投影光学系の瞳面内の部分的な領域の収差を補正した後の投影光学系の収差を示す図である。

【図19】図1に示す露光装置の照明光学系が形成する有効光源の形状の一例を示す図である。

【図20】図15に示すレチクルのパターン及び図19に示す有効光源の形状から特定される投影光学系の瞳面内の部分的な領域を示す図である。

【図21】デバイスの製造を説明するためのフローチャートである。

【図22】図21に示すステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

40

## 【符号の説明】

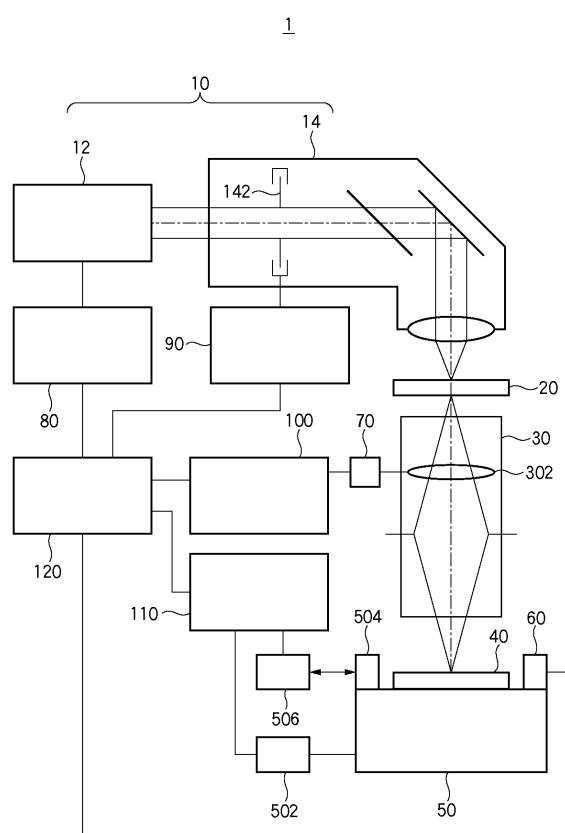
## 【0089】

1	露光装置
1 0	照明装置
1 2	光源
1 4	照明光学系
1 4 2	開口絞り
2 0	レチクル
3 0	投影光学系
3 0 2	光学素子

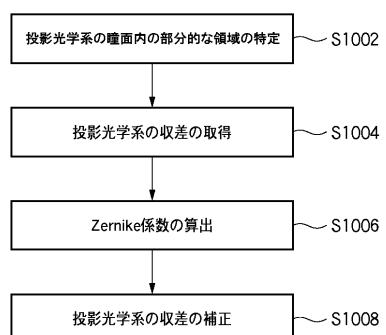
50

4 0	ウエハ
5 0	ウエハステージ
5 0 2	ステージ駆動部
5 0 4	ミラー
5 0 6	レーザ干渉計
6 0	測定部
7 0	レンズ駆動部
8 0	光源制御部
9 0	照明系制御部
1 0 0	投影系制御部
1 1 0	ステージ制御部
1 2 0	主制御部
	10

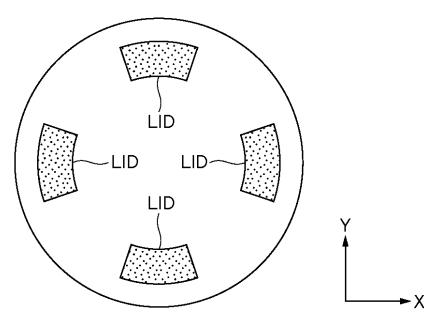
【図1】



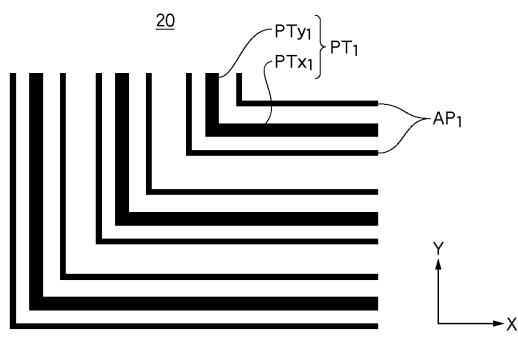
【図2】



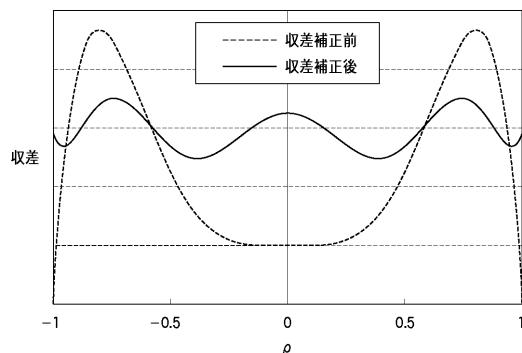
【図5】



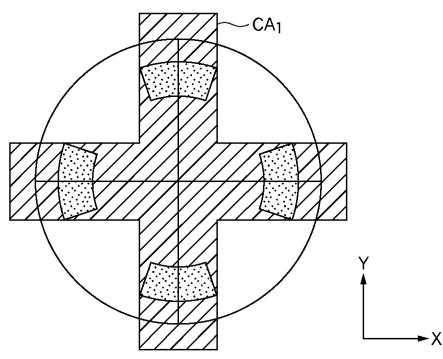
【図 6】



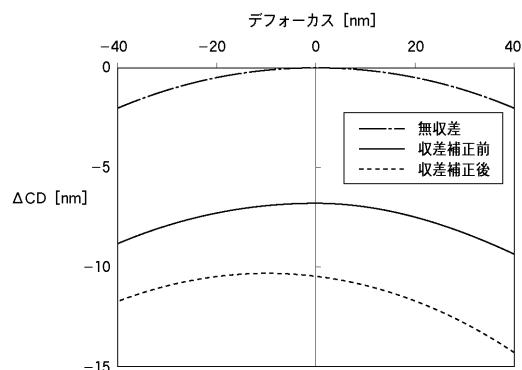
【図 10】



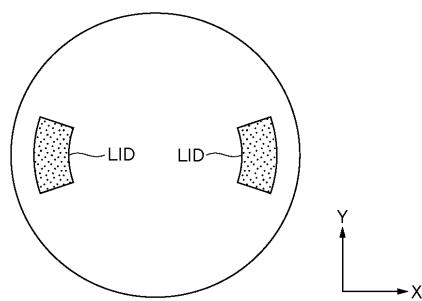
【図 7】



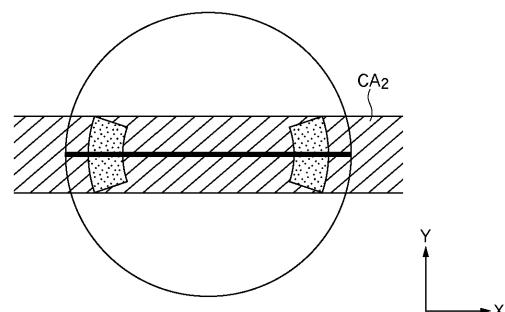
【図 11】



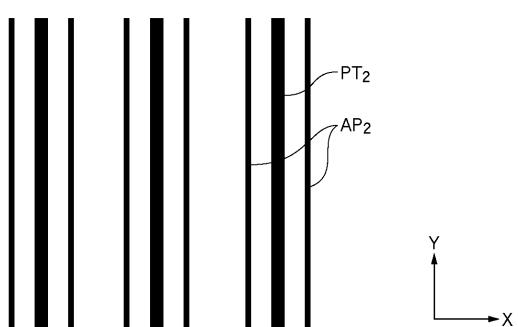
【図 14】



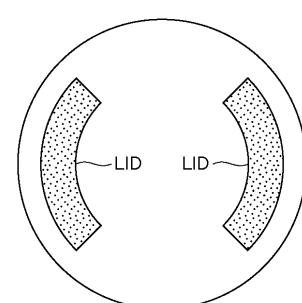
【図 16】



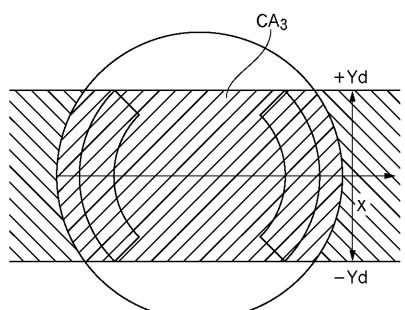
【図 15】



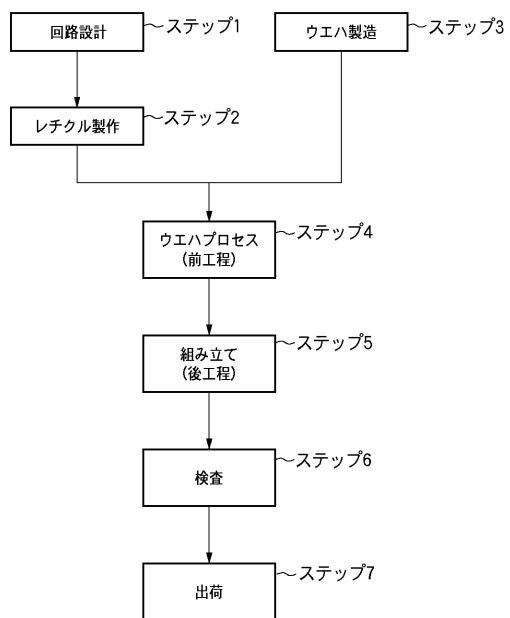
【図 19】



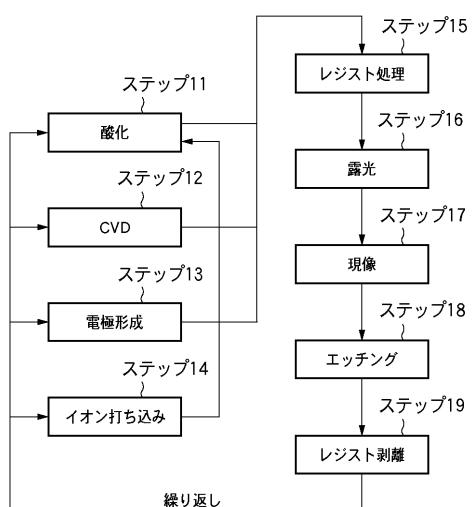
【図 2 0】



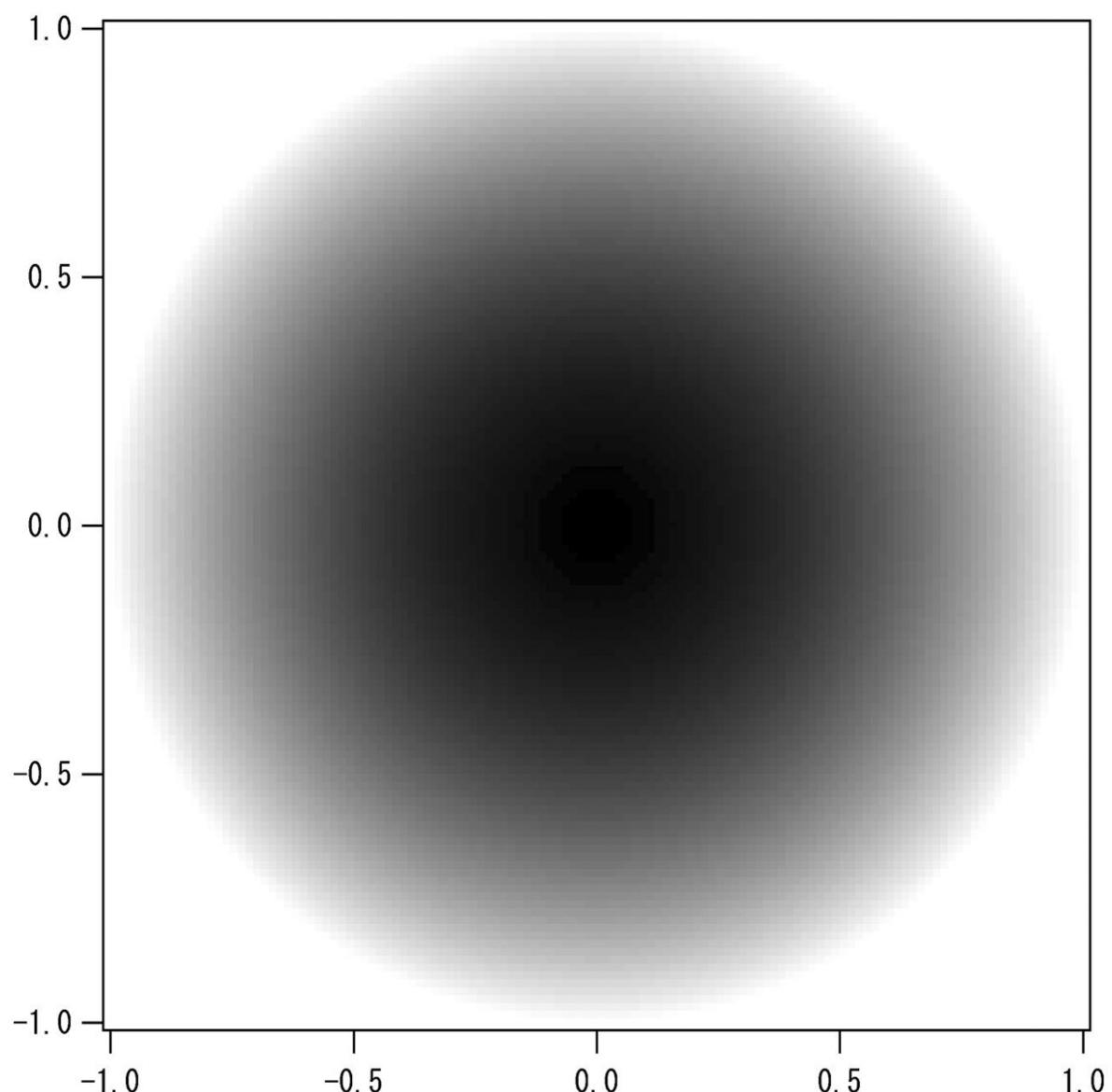
【図 2 1】



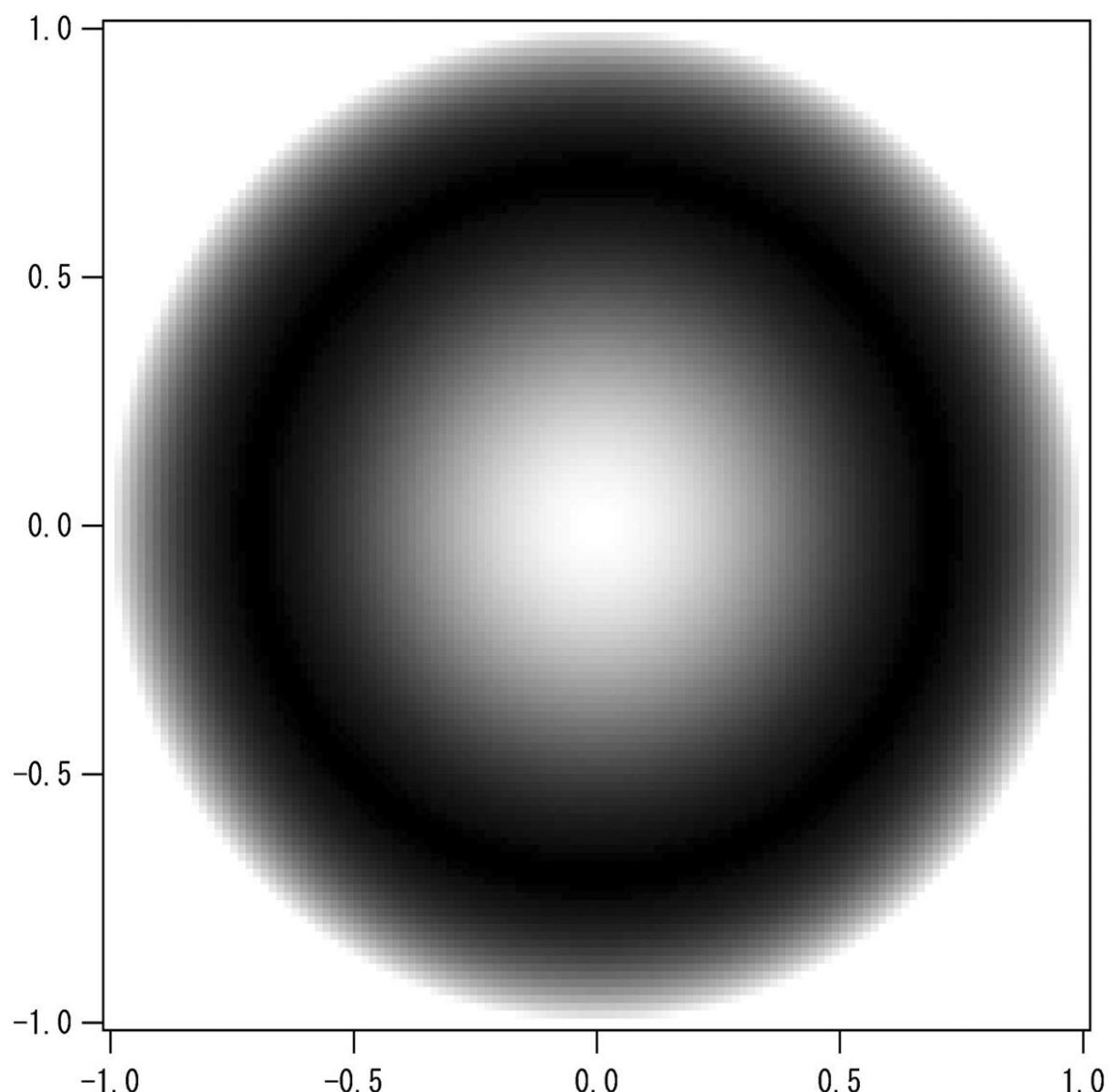
【図 2 2】



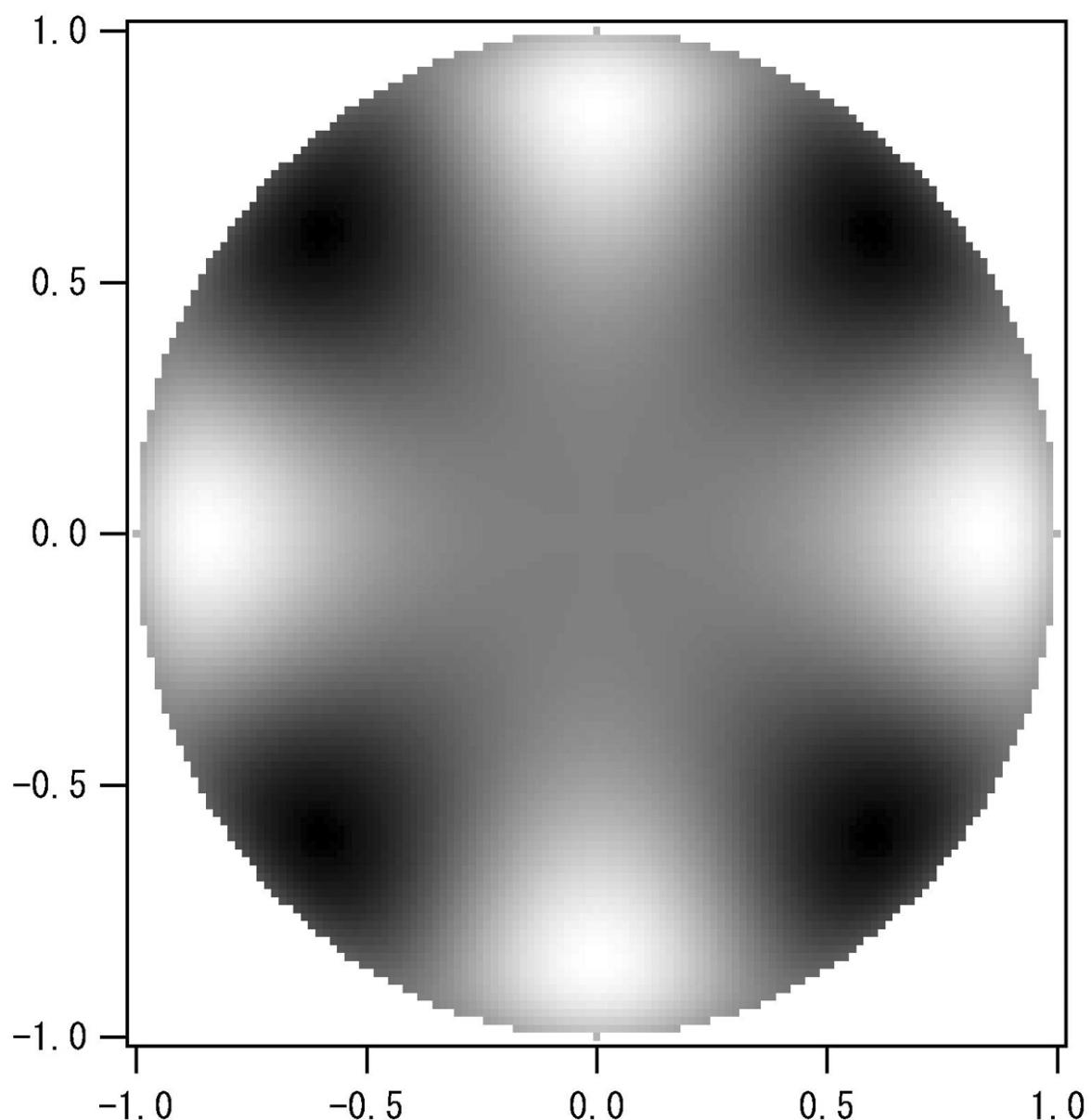
【図3】



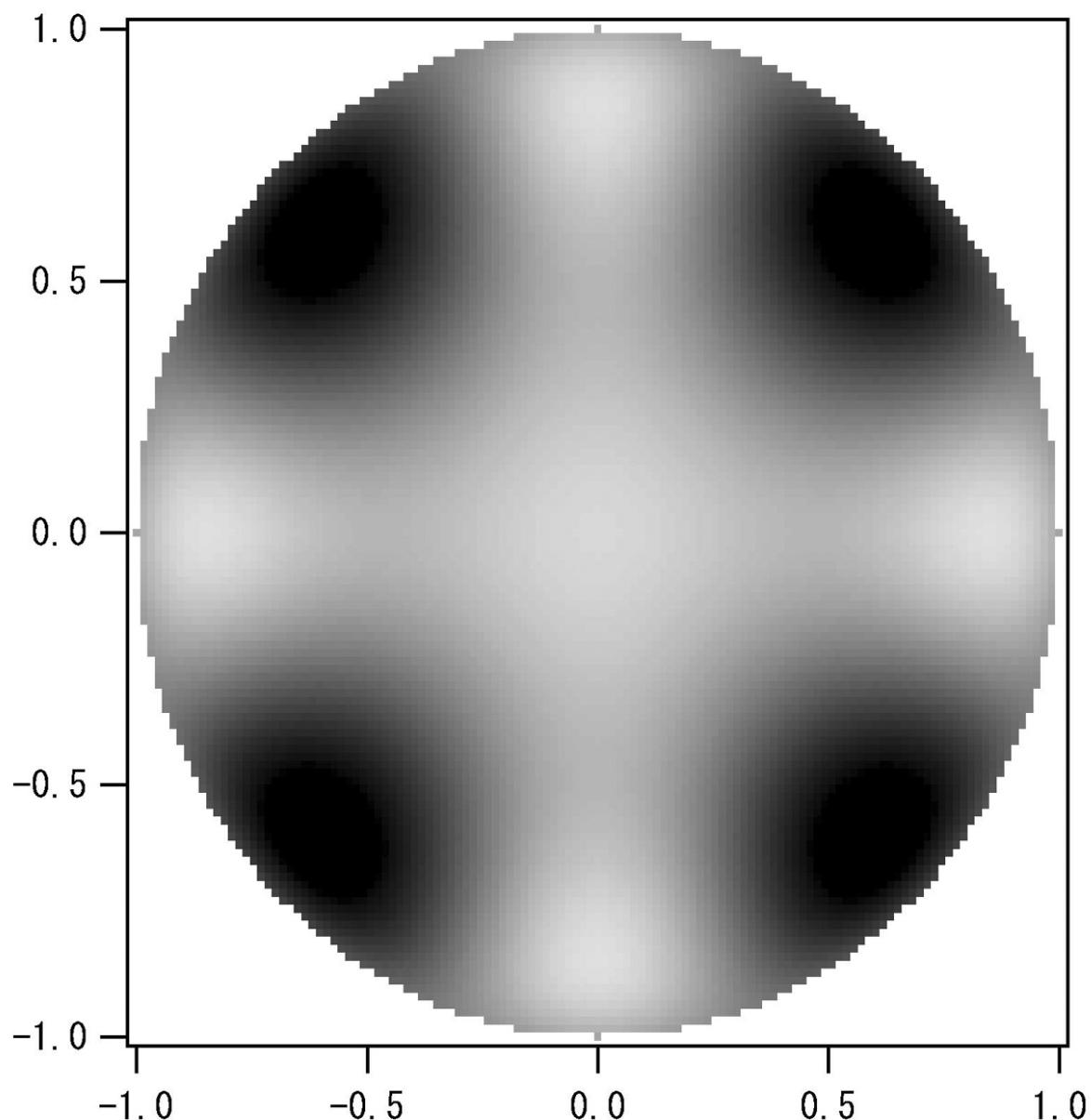
【図4】



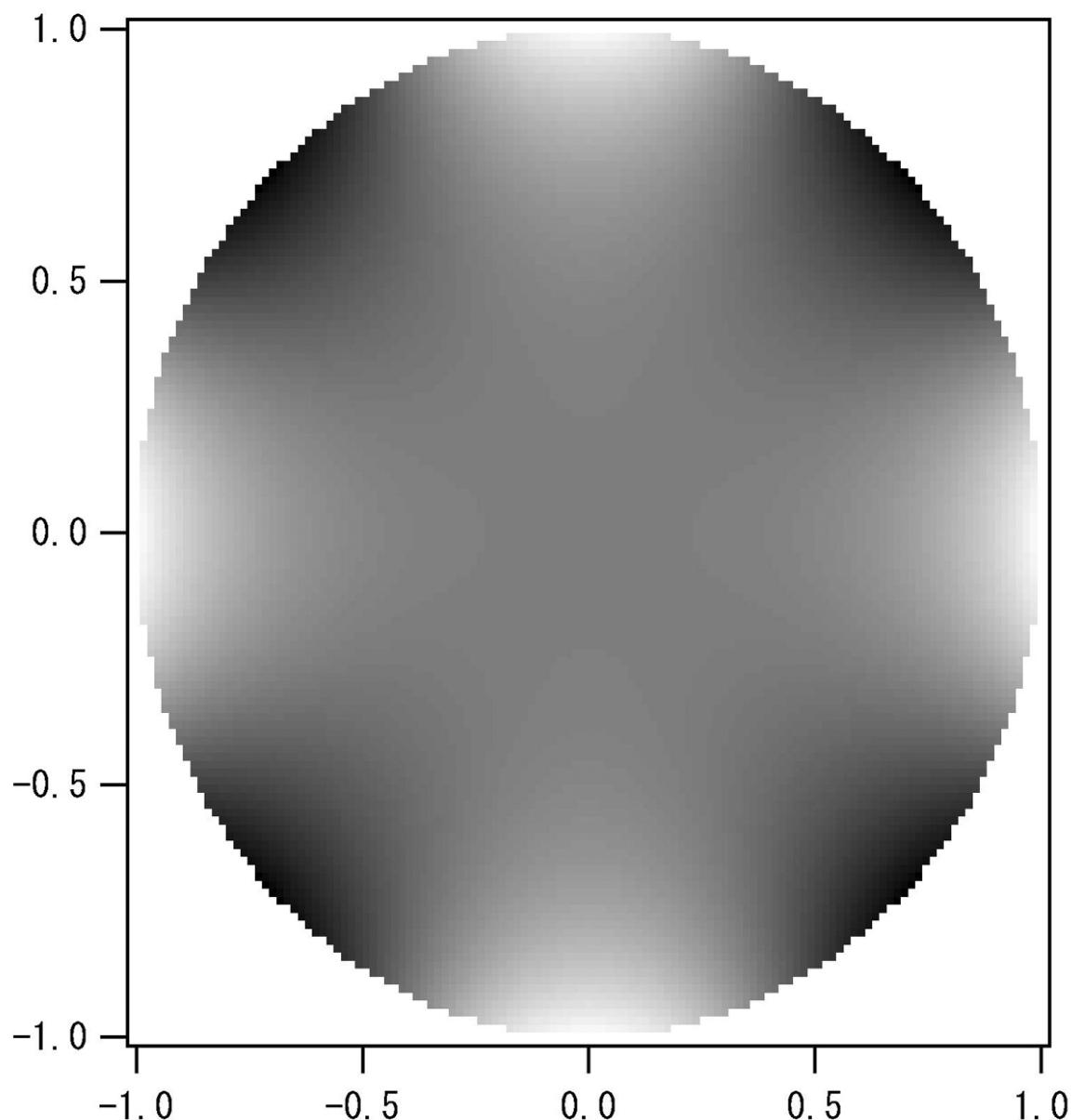
【図8】



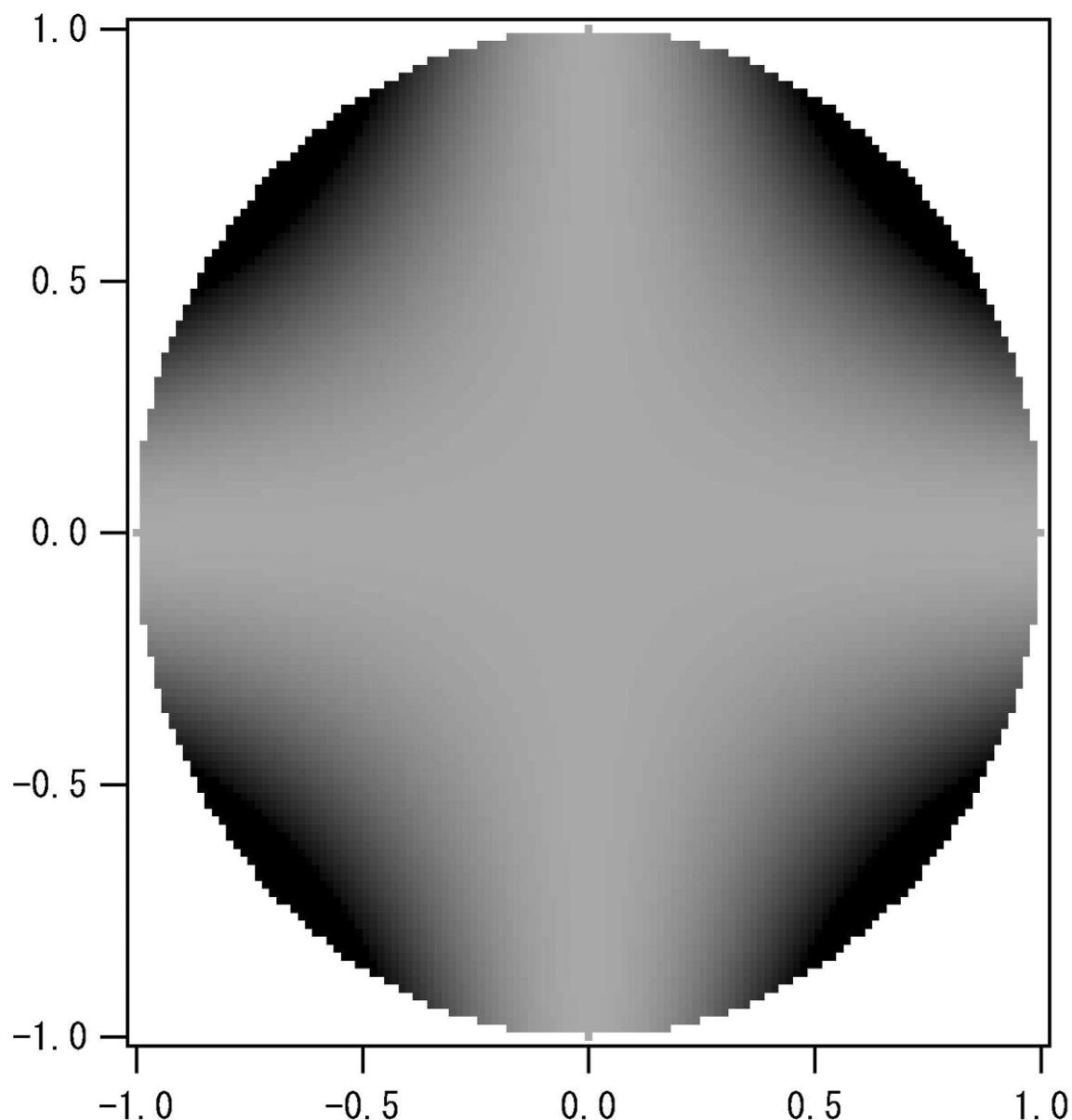
【図9】



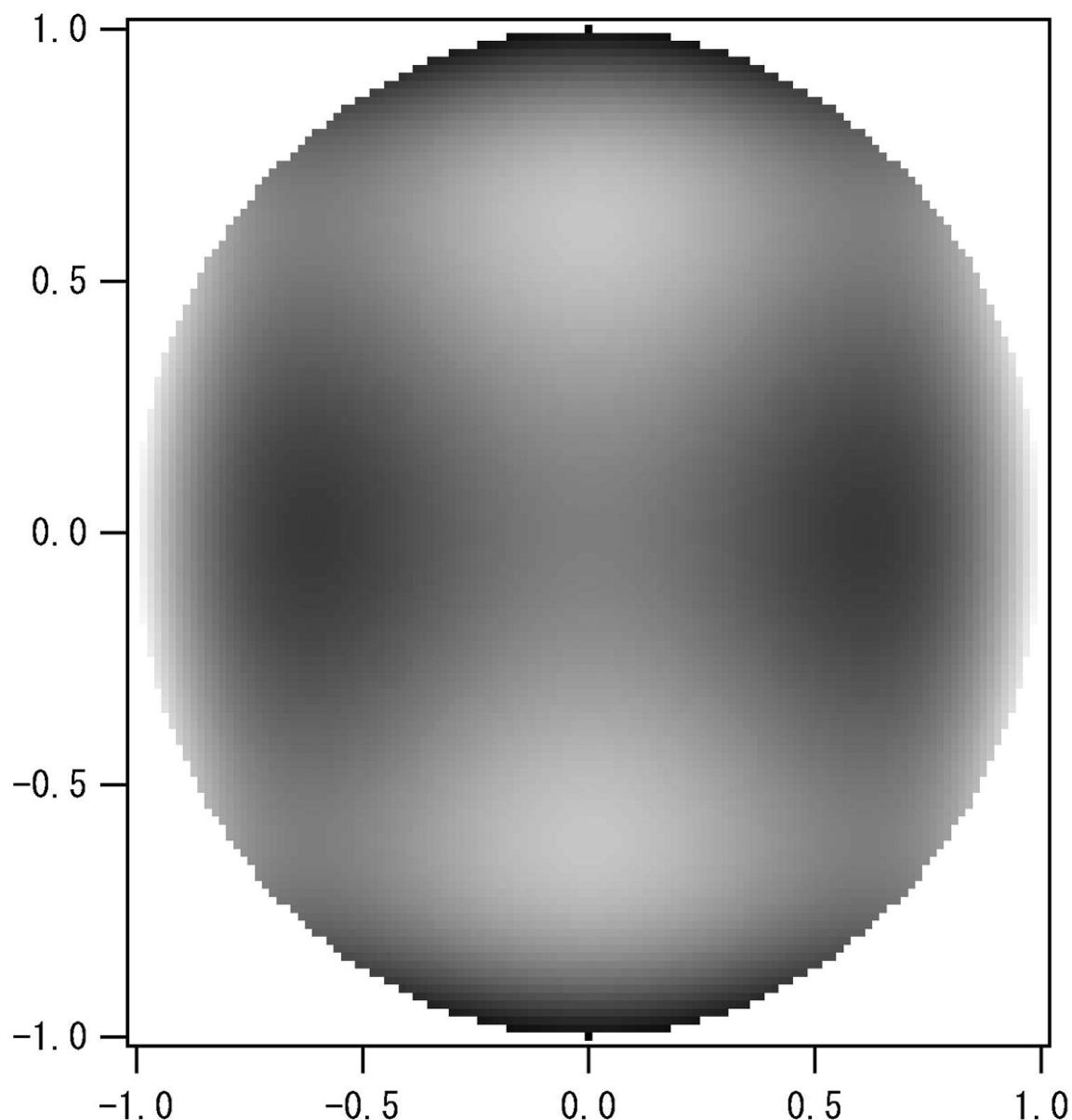
【図 12】



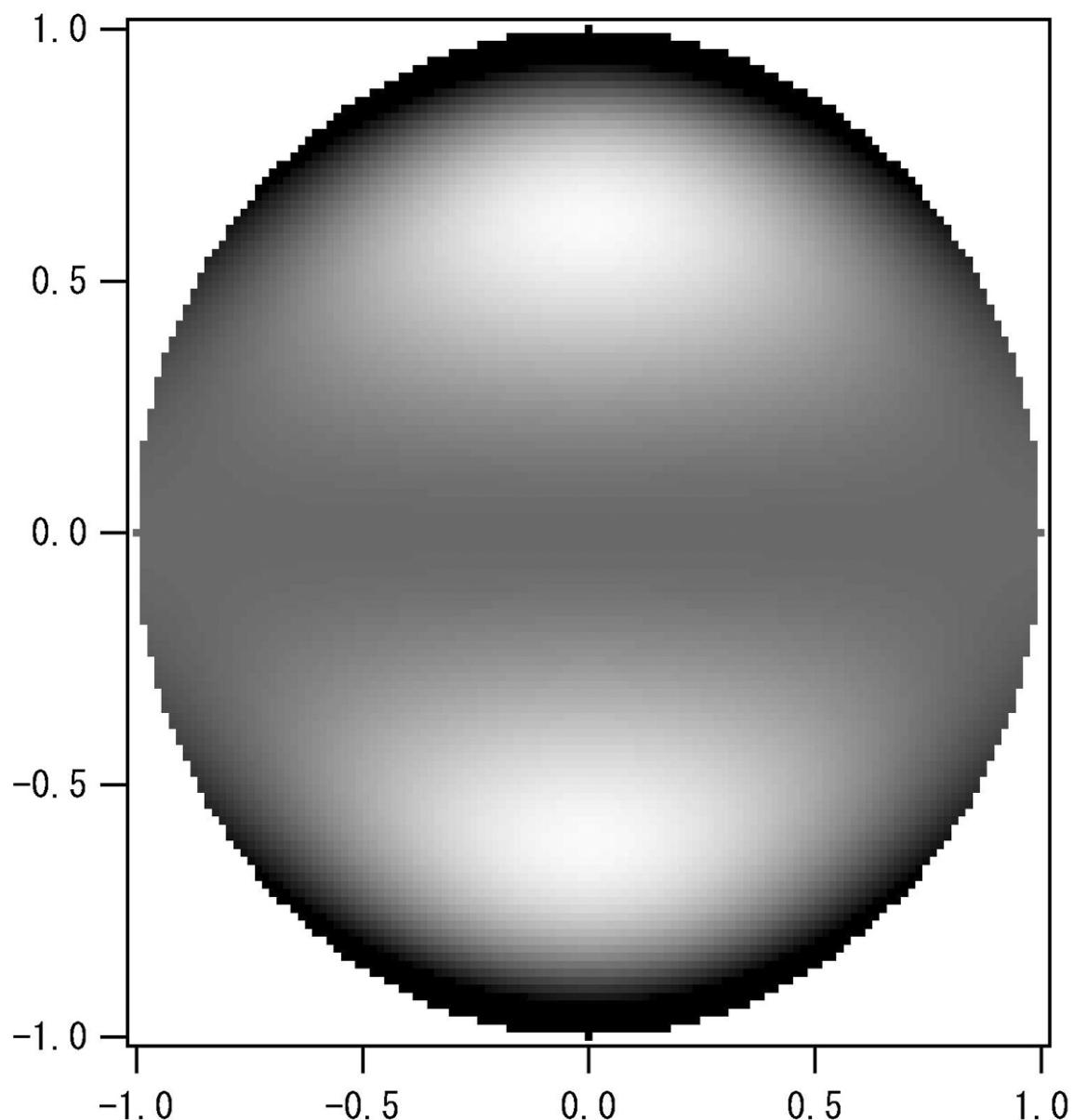
【図13】



【図17】



【図18】



---

フロントページの続き

(72)発明者 篠 伸彦  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内  
Fターム(参考) 5F046 BA03 CB01 CB24 DA13