(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2019年1月31日(31.01.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/021455 A1

(51) 国際特許分類:
H01J 37/153 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2017/027414

(22) 国際出願日： 2017年7月28日(28.07.2017)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 株式会社 日立ハイテクノロジーズ (**HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目２４番１４号 Tokyo (JP).

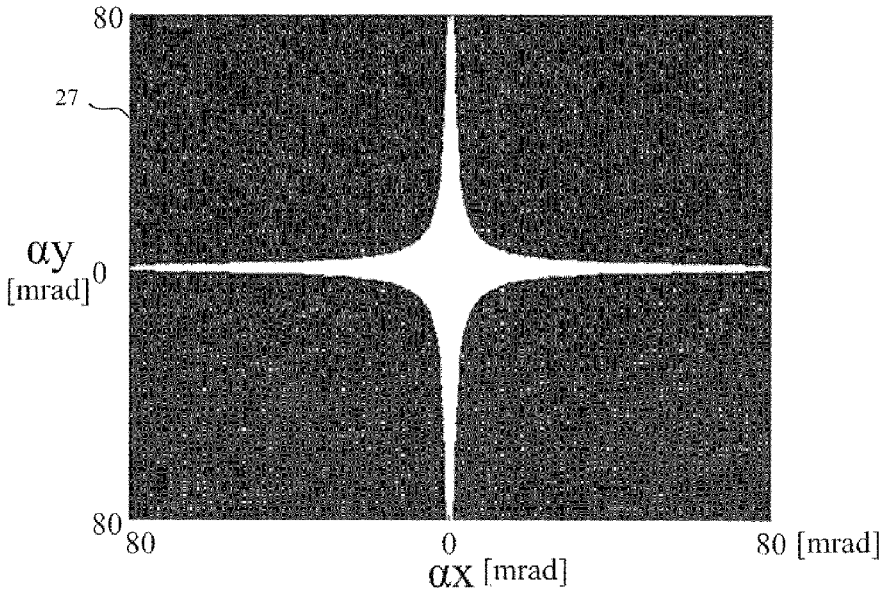
(72) 発明者: 黒田 浩一(**KURODA Koichi**); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目２４番１４号 株式会社 日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP). ブラックバーン アーサー マルコム(**BLACKBURN Arthur Malcolm**); SL68YA バークシャー州 メイドンヘッド ロウワークックハムロード ホワイトブルックパーク 日立ヨーロッパリミテッド内 Berkshire (GB). 佐々木 智世(**SASAKI Tomoyo**); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目２４番１４号 株式会社 日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP). 土肥 英登(**DOHI Hideto**); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目２４番１４号 株式会社 日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 岩崎 重美 (**IWASAKI Shigemi**); 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目２４番１４号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内 Tokyo (JP).

(54) **Title:** ABERRATION CORRECTION DEVICE AND CHARGED-PARTICLE BEAM DEVICE

(54) 発明の名称： 収差補正装置及び荷電粒子線装置

【図4】



(57) **Abstract:** The objective of the present invention is to achieve to a high degree the correction of chromatic aberration, spherical aberration, or both using simple configuration and adjustment. Provided for this purpose is the aberration correction device disposed together with an optical element to be corrected along the optical axis of the charged particle beam, characterized by comprising 2n (n≥2) poles and an opening-forming member having an opening for the charged particle beam to pass through, wherein the opening is formed so as to be comparatively longer in a first direction (such as 0-degree

WO 2019/021455 A1

［続葉有］

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告(条約第21条(3))

direction) than a second direction (such as 45-degree direction) that is orthogonal to the optical axis, the first direction being orthogonal to the optical axis while being different from the second direction, and the first direction further being a direction along which the aberration generated by operating the aberration correction device cancels out the aberration generated by said optical element to be corrected.

(57) 要約:本発明は簡単な構成、調整で色収差、球面収差、或いは両方の補正を高度に実現することを目的とする。そのために荷電粒子ビームの光軸に沿って補正対象となる光学素子と共に配置される収差補正装置であって、２ｎ（ｎ≧２）個の極子と、荷電粒子ビームを通過させる開口を有する開口形成部材を備え、前記開口は、光軸に直交する第２の方向（例えば４５度方向）より、光軸に直交すると共に第２の方向とは異なる第１の方向（例えば０度方向）に相対的に長く形成され、当該第１の方向は、収差補正装置を動作させることによって発生する収差と、前記光学素子が発生する収差が相殺される方向であることを特徴とする収差補正装置を提案する。

明　細　書

発明の名称 ： 収差補正装置及び荷電粒子線装置

技術分野

[0001]　本開示は、収差補正装置、及び荷電粒子線装置に係り、特に色収差、球面収差を補正する収差補正装置、及び荷電粒子線装置に関する。

背景技術

[0002]　電子顕微鏡等に用いられる収差補正器は、球面収差、色収差を光軸周り全方位に打ち消すため４極子レンズと８極子レンズ、または６極子レンズの組み合わせといった多段、多数の収差補正子が必要である。そのため各補正子の補正条件、補正子同士の軸あわせに多大な時間を要する。対して特許文献１では多極子構造の２πフィルタ１段の簡易な構成で色、球面収差を同時に補正している。更に、収差を補正できる範囲を光軸に近い狭い範囲に限らず、光軸外の広範囲にも適用することができる、と記載されている。また、収差補正に要する磁場、電場に関して「π フィルタから出射される電子線の断面形状が丸くなるための条件を求める。すなわち、光軸に対して収差が等方的になるような条件を求める。」や「ウィーン型フィルタでは、軸対称軌道を作り、円形のビームの下で色収差を補正する。」のような記載がある。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２００６－１４７５２０号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004]　すなわち、特許文献１に開示の収差補正器であっても、色収差補正と、球面収差補正を光軸対称に同時に実施するため４／６／８極子場の最適混合条件を２πフィルタ内で精密に合わせこむ必要がある。また各極子に対して色、球面収差を独立に補正できず円形ビームを保持する最適混合場条件を事前に求める必要がある。

[0005] 以下に簡単な構成、調整で色収差、球面収差、或いは両方の補正を高度に実現することを目的とする収差補正器、及び荷電粒子線装置について説明する。

課題を解決するための手段

[0006] 上記目的を達成するための一態様として、荷電粒子ビームの光軸に沿って補正対象となる光学素子と共に配置される収差補正装置であって、２ｎ（ｎ≧２）個の極子と、荷電粒子ビームを通過させる開口を有する開口形成部材を備え、前記開口は、光軸に直交する第２の方向より、光軸に直交すると共に第２の方向とは異なる第１の方向に相対的に長く形成され、当該第１の方向は、収差補正装置を動作させることによって発生する収差と、前記光学素子が発生する収差が相殺される方向であることを特徴とする収差補正装置、及び当該収差補正装置を備えた荷電粒子線装置を提案する。

発明の効果

[0007] 上記構成によれば、簡単な構成、調整で色収差、球面収差、或いはその両方を高度に補正することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]収差補正器を備えた荷電粒子線装置の一例を示す図。

[図2]１２極ウィーンフィルタを備えた収差補正装置の一例を示す図。

[図3]対物レンズの波面収差量Ｘ分布（球面収差のみ）を示す図。

[図4]収差カット絞りの穴形状を示す図。

[図5]収差カット絞りが有る場合のビームプロファイルと、収差カット絞りが無い場合のビームプロファイルを示す図。

[図6]対物レンズの波面収差量Ｘ分布（球面収差、色収差）を示す図。

[図7]収差カット絞り穴形状を示す図。（球面収差、色収差）

[図8]収差カット絞りを通過したビームを、ラインパターン上で走査したときに得られるラインプロファイル（ビーム回転有無での比較）の一例を示す図。

[図9]収差カット絞りを通過したビームを、丸形状パターン上で走査したとき

に得られる画像（ビーム回転有無での比較）の一例を示す図。

[図10]複数の収差補正装置条件で得られた複数の画像から、１枚の画像を生成する工程を示すフローチャート。

[図11]複数の収差補正装置条件で得られた複数の画像から、１枚の画像を生成する際の処理の流れを示す図。

発明を実施するための形態

[0009] 以下に説明する実施例では、例えば簡易な構成のもと、軸あわせの負担を軽減し、色、球面収差の補正を独立に実施可能な荷電粒子線装置について説明する。

[0010] 例えば収差補正対象のレンズと同一光軸に電場または磁場を発生する２ｎ（ｎ≧２）極子を上方または下方に一段配置し、球面収差Ｃｓを打ち消す８極子場（Ａ３）を発生する（球面収差を打ち消す場合には（ｎ≧４））。色収差Ｃｃを同時に補正する場合は、負の色収差を発生するよう電場と磁場が重畳された４極子場を発生し上記８極子場に重畳する。この際、収差補正対象レンズの瞳面上において８極子場による球面収差補正領域と４極子場による色収差補正領域がオーバーラップしていることが望ましい。

[0011] 更に収差補正対象レンズの瞳面上で収差補正域外となる領域のビームを物理的にカットする穴形状を持つ絞りを２ｎ極子上方または下方に設置し補正域外の収差によるビーム特性劣化を極小化する。絞りで抑制しきれないビーム形状の異方性は極子場を光軸周りに回転しながら各方位での試料像を取得し合成、復元処理を施すことで解消する。

[0012] 上記構成ではビームを円形に保持する必要が無いため、球面、色収差補正を８、４極子で独立に補正でき補正条件調整を簡易化できる。更に極子構成も４、８極子のみが必須と簡素である。よって操作性、安定性、制御性の高い荷電粒子線装置を提供できる。

実施例 １

[0013] 図１は収差補正装置を内蔵した荷電粒子線装置（以下に説明する実施例では走査電子顕微鏡（Ｓｃａｎｎｉｎｇ Ｅｌｅｃｔｒｏｎ Ｍｉｃｒｏｓｃ

ｏｐｅ：ＳＥＭ）を例に採って説明するが、集束イオンビーム（Ｆｏｃｕｓｅｄ　Ｉｏｎ　Ｂｅａｍ）装置等、他の荷電粒子線装置への適用も可能である）の構成例を示す。本電子光学系では電子源９より放出された一次電子線１４（電子ビーム）をコンデンサレンズ１３、対物レンズ２１を用いることで試料２３上にフォーカスする。加速電極１１より試料側に設置された絞り１２は、収差低減のため、近軸電子ビームのみを選択的に通過させるために設けられている。

[0014] 一次電子線１４（電子ビーム）照射により試料２３から放出された二次電子や後方散乱電子等の信号電子が、試料に印加されたリターディング電圧およびブースター電極２４に印加された電圧により試料２３上方に巻き上げられ反射板１５に衝突する。二次電子衝突により反射板１５から発生する三次電子を検出器１７で検出することで試料像を取得する構成である。なお、信号電子軌道に検出器の検出面を配置することによって、直接信号電子を検出するような構成とすることも可能である。

[0015] ここで電子ビームを調整する光学素子の一種である対物レンズにて発生する色収差と、球面収差を補正するために、対物レンズ上方に収差補正用多極子２０、下方に収差カット絞り２２（板状体に後述するような形状の絞り孔が形成された開口部形成部材）を配置する。ここで収差補正用多極子２０および収差カット絞り２２の光学配置は収差補正対象である対物レンズの瞳面における収差を打ち消すことが可能であればこの限りではない。また、他の光学素子（対物レンズ以外のレンズ等）の色収差、球面収差補正のために、収差補正用多極子と収差カット絞りのセットを設置するようにしても良い。

[0016] なお、走査電子顕微鏡を構成する各光学素子は、制御装置３０によって制御される。制御装置３０は、演算処理を行うコンピュータプロセッサ０と、非一時的なコンピュータ可読媒体であるデータ保存部３を備えている。非一時的なコンピュータ可読媒体は、コンピュータプロセッサによって実行されると、システムコントローラに所定の処理を実行させるコンピュータ命令で符号化され、後述するような処理工程に沿って、走査電子顕微鏡を制御する

。

[0017] なお、制御装置３０には引出電極１０、加速電極１１に所定の電圧を印加する電圧制御部１、検出器１７の出力を増幅する増幅器４、増幅器４によって増幅された信号に基づいて画像を生成する画像処理部２が内蔵されている。画像処理部２は、偏向系制御部５から走査偏向器１８に供給される走査信号に同期してフレームメモリ等に信号情報を記憶させることによって、画像情報を生成する。なお、図１に例示する走査電子顕微鏡には、走査偏向器１８のビームの偏向領域（視野）の位置を移動させるイメージシフト偏向器１９が内蔵されている。他にも、後述する収差補正用多極子２０を制御する多極子制御部６、対物レンズの集束状態を制御する対物レンズ制御部７、ブースター電極２４に印加する電圧を制御するブースター制御部２５、ステージを制御するステージ制御部８が内蔵されている。

[0018] 図２に収差補正用多極子２０の構造を示す。最も効果的な例として１２極子ウィーンフィルタを用いる。このウィーンフィルタは光軸Ｏに平行方向に延伸し、光軸Ｏを中心に１２回の回転対称形状の極子Ｐ１～１２を有する。極子Ｐ１～１２は鉄、ニッケル、パーマロイ等の磁性金属から成り、磁場、電場を同時に発生することができる。更に電極数、配置の関係から４極場、８極場を同時に発生する。

[0019] ここで対物レンズ２１の発する球面収差Ｃｓを打ち消すため、補正用多極子２０より８極場Ａ３を発生した場合の波面収差量Ｘを下記に示す。

[0020] [数1]

【数１】

$$\chi = \frac{1}{4} Cs(\omega\varpi)^2 + \frac{1}{4} A_3 \varpi^4$$

[0021] ここでＣｓ：球面収差量、Ａ３：４回非点収差、ω：対物レンズ瞳面上方位角である。またＣｓ＝－Ａ３とする。

[0022] ［数１］により求まるＸ分布例を図３に示す。αはレンズの開き角である。［数１］に示すよう球面収差量Ｃｓにより発生する収差は方位角方向に一

定である一方、４回非点収差は異方性を持つ。よって図３に示すようｘ方向（第１の方向）及びｙ方向（第３の方向）には丁度Ｃｓ成分とＡ３成分が釣り合い収差Ｘ≒０となるが、その間の方向（第２の方向、例えばｘ方向を０度としたときの４５度方向）ではＣｓ成分とＡ３成分が同じ符号となり収差量を逆に増加してしまう。この収差増加領域をカットしＸ≒０の理想レンズ領域のみビーム形成に用いるため、物理的に一次電子線をカットする絞りを採用する。収差カット絞り２２の穴形状を下式で定義する。

[0023] [数2]

【数２】

$$\chi \leq b$$

[0024] ここでｂは許容収差量である。収差量がｂ以下の部分の一次電子線をパスするローパスフィルタとなる。図４は収差カット絞りの穴形状である。図３において収差量Ｘ≒０付近の部分のみ穴が開くため、ビームの理想光軸をｚ方向としたときに、ｘ及びｙ方向に伸びる手裏剣形状となる。また、図３に例示するように、収差が相殺されている領域は、光軸中心からｘ方向、ｙ方向に離れるに従って幅が狭くなる傾向にある。よって、ビーム電流量を確保しつつ、適正に収差をカットするためには、収差が相殺される領域の形状に沿った形で、開口が形成された開口部形成部材を用いることが望ましい。図４に例にもあるように、開口は中心（光軸）から離れるに従って幅が狭くなるような十字形状（ｃｒｏｓｓ－ｓｈａｐｅ）とし、且つ開口のｘ方向のエッジとｙ方向のエッジの交点が曲線となるように形成することが望ましい。

[0025] 更に図５は収差カット絞り有りの場合と、収差カット絞りが無い場合の試料面上ビームプロファイル比較である。ビームを構成する波の高周波成分を代表するビームのボディ（ｘｙ原点付近（Ｒ＝０付近）のビームプロファイル）に関しては両者で差は無い。しかし低周波成分を構成するビームのテール（ボディより外周部のプロファイル）に関しては、収差カット絞りを適用した光学系の方が、強度が低くなる（$I_2' < I_2$）。これは収差の低減によって相対的に高周波成分が増加することを意味する。よって絞り有のほうが

相対的にビームを絞れる。これにより試料像を取得した際の分解能の向上を計れるだけでなくコントラストが向上しノイズ耐性も増加する。

[0026] ここで収差絞り穴形状を、収差許容量ｂを用いて設定したが、収差分布Ｘ≒０となる領域を用いる形状であればよいため、穴形状決定法はこの限りでない。

[0027] 更に色収差Ｃｃをここで考慮する。色収差Ccを補正するには負の色収差Ｃｃを発生させる必要がある。負の色収差は一般的に電場及び磁場両方の４極子場を発生することで得られる。球面及び色収差を８極子及び４極子の組み合わせで補正した場合の波面収差Ｘ式を以下に示す。

[0028] [数3]

【数３】

$$\chi = \frac{1}{4}Cs(\omega\varpi)^2 + \frac{1}{4}A_3\varpi^4 + \frac{1}{2}C_C\frac{\Delta V}{V_0}(\omega\varpi) + \frac{1}{2}C_{C2}\frac{\Delta V}{V_0}\varpi^2$$

[0029] ここでＣｃは色収差量、Ｃｃ２は４極子場による負の色収差、Ｖ０は加速電圧、ΔＶは色分散である。図６は色収差を含む場合の収差量Ｘ分布である。色収差は方位角方向に一定であるが、打ち消しに用いる４極子場は２回対称場のため例ではｘ軸上のみＸ≒０となる。

[0030] 更に収差カット絞り穴を収差許容量ｂで定義する場合の絞り穴形状を図７に示す。Ｘ≒０部分がｘ軸と平行方向にあるため横長の穴形状となる。ここではｂの値にて理想レンズを取り出したが、理想レンズ部分を用いることで収差影響を除去する目的を考えれば穴形状決定法はこの限りでない。

[0031] 以上のように、他の方向に対し、２ｎ極子によって収差がキャンセルされる方向に、相対的に長い開口を持つ絞り（アパーチャ形成部材）を採用することによって、単なる円形絞りと比較して、ビーム電流の低下を抑制しつつ、色収差や球面収差を抑制することが可能となる。なお、色収差のみを補正するのであれば、４つ以上の極子があれば良く、球面収差を補正するためには８つ以上の極子が必要となる。また、球面収差を補正するだけであれば、電場或いは磁場だけで補正ができるので、ウィーンフィルタを用いなくても

磁極、或いは電極のみの極子で収差補正器を構成することもできる。

実施例 2

[0032] 実施例１に示したように８極子１段による球面収差補正、４極子１段による色収差補正ではビーム形状に異方性が発生する。図８は図５に示した収差カット絞り有の場合のビームプロファイルを用いた場合のラインパターン試料像である。当該試料像は複数のラインパターンが配列された試料に、ビームを２次元走査することによって得られる。

[0033] 図８には、他の方向に対しｘ方向とｙ方向に長いビーム形状を持つビーム（ビーム回転なし）を、ｙ方向に長いラインパターンがｘ方向に配列された試料上で走査したときに得られる画像と、ビームの長手方向を４５度回転させて走査したときに得られる画像が例示されている。４５度回転させた場合は回転無しに対してプロファイルの傾きが鈍る。一方、収差カット絞り２２によって成形されたビーム光軸に対して垂直な方向に長いビームは、上述の原理によって、その長い方向の収差が抑制されているため、ビーム断面の長手方向と走査線方向を一致させると共に、当該走査線方向とパターンのエッジを直交させるように走査することによって、パターン幅の測定に適した信号を得ることができる。パターン幅の測定には例えば、ｘ方向の線幅を測定する場合、ｘ方向の輝度変化情報（ラインプロファイル）を取得し、エッジに相当する部分（例えば図８の位置８０１）間の寸法を測定することによって、線幅やピッチなどを測定する。このような処理は、画像処理部２等で所定のプログラムに基づいて行われる。

[0034] 図９は丸形状のサンプルに対して図５に示した収差カット絞り有の場合のビームを走査した場合の試料像である。ビームの回転に伴い試料形状の尾引き方向の変化が発生していることがわかる。これらビーム形状異方性による悪影響を排除するためビームを回転しながら各方位で撮像した試料像をビームの光学伝達関数（Ｏｐｔｉｃａｌ　Ｔｒａｎｓｆｅｒ　Ｆｕｎｃｔｉｏｎ：ＯＴＦ）を基に合成復元処理することとする。ＯＦＴはビームの開き角と収差分布により決まるレスポンス関数であり、像形成時において試料形状の

周波数情報をどの程度保持できるかを示す。図１０はその合成処理のフローである。

[0035] まず収差補正対象のレンズの収差を打ち消す４／８極子場を、収差補正子２０を用いて生成する（ステップ１０１）。次に方位角方向の撮像回数Ｎをユーザに指定させ回転刻みθ(＝３６０／Ｎ)を決定する（ステップ１０２）。このとき回転回数ｎを０に設定する。θは例えば制御装置３０に接続された図示しない入力装置を用いて設定する。次に回転刻みθずつビームプロファイルを回転するため、４及び８極子場を、下式を元に演算し、その演算結果に基づいて各電極、各磁極への印加電圧、供給電流を制御することによって、収差を相殺させる方向を回転する（ステップ１０３）。

（電極のポテンシャル配位）

[0036] [数4]

【数４】

$$U_{kx} = U\cos\left(\frac{n(k-1)}{m}\pi\right)$$

[0037] [数5]

【数５】

$$U_{ky} = U\sin\left(\frac{n(k-1)}{m}\pi\right)$$

[0038] ［数４］、［数５］はそれぞれ２ｍ多極子において２ｎ極子場（条件ｍ≧ｎ）を生成する際に各極（図３の場合のＰ１～Ｐ１２のｋ番目）に与える電圧を示し、Ｕｋｘはｘ方向に一次ビームに対する力が働く際の電圧配位、Ｕｋｙはｙ方向に一次ビームに対する力が働く際の電圧配位、Ｕは収差補正用電圧である。［数４］、［数５］を元に場をθ×ｎ回転（ｎ：０～Ｎ）させるにはＵｋｘ、Ｕｋｙの配合比率を下式にて決定すればよい。

[0039] [数6]

【数６】

$$\tan(\theta \times n/360 * 2\pi) = \frac{U_{ky}}{U_{kx}}$$

[0040] 磁極のポテンシャル配位に対しても同様の操作が可能で関係式を示す。

（磁極のポテンシャル配位）

[0041] [数7]

【数７】

$$I_{kx}T_{kx} = IT\sin\left(\frac{n(k-1)}{m}\pi\right)$$

[0042] [数8]

【数８】

$$I_{ky}T_{ky} = IT\cos\left(\frac{n(k-1)}{m}\pi\right)$$

[0043] [数9]

【数９】

$$\tan(\theta \times n/360 * 2\pi) = \frac{I_{ky}T_{ky}}{I_{kx}T_{kx}}$$

[0044] ここでＩｋｘＴｋｘはｘ方向に一次ビームに対する力が働く際の磁気配位、ＩｋｙＴｋｙはｙ方向に一次ビームに対する力が働く際の磁気配位、ＩＴは収差補正に用いる電流量とターン数である。

[0045] ４／８極子場をθ×ｎ度回転した後、絞り穴もそれにあわせて回転する（ステップ１０４）。絞りの回転には絞り自体を機械的に回転する方法や、異なる絞り板に交換する方法、電気的な方法が考えられる。回転する方向が予め決まっている場合は各方向に対応する絞り穴形状を足し合わせた絞り穴形状を採用しても良い。

[0046] 次に所望の試料像ｉｇｎを撮像（ステップ１０５）し、そのフーリエ変換ＩＧｎを算出する（ステップ１０６）。同時に回転後のビームの伝達関数ＯＴＦｎも算出する（ステップ１０７）。ＯＴＦの計算には解析に求める方法や実験的に求める方法もある。

[0047] ステップ１０３～ステップ１０７の処理をｎ＝Ｎに達するまで繰り返して行う（ステップ１０８）ことによって、設定した回数の撮像を実行する。Ｎ枚の画像を撮像した後、収差補正用多極子２０の設定条件ごとのフーリエ変

換画像ＩＧｎを合算してΣＩＧｎを求めると共に、収差補正用多極子２０の設定条件ごとの伝達関数ＯＴＦｎを合算することによってΣＯＴＦｎを求めた上で、ＦＦＴＩ＝ΣＩＧｎ／ΣＯＴＦｎを算出する（ステップ１０９）。最後に試料像のＦＦＴＩをフーリエ逆変換することによって、試料像ｉを復元する（ステップ１１０）。但し除算による処理はノイズ耐性に弱いため、影響を排除するためＩＧｎに対してローパスフィルタ処理を施すことが望ましい。

[0048] 図１１は、図１０に例示したフローチャートに沿った画像処理の各工程で得られる画像例を示す図である。丸形状の試料像元画像に対し異方性を持つビームの走査に基づいて得られる画像は、ビームプロファイル（ビームを照射したときに得られる輝度分布）に依存した尾引きが発生することがわかる。対して復元処理を施すと元画像と同等に異方性の解消された画像が得られることが分かる。

[0049] 更に試料の輪郭もよりシャープに際立ち画質改善につながる。ここで本実施例では光学伝達関数ＯＴＦを用いて異方性の発生したビームにより取得した画像の画質改善を行った。

符号の説明

[0050] ０…制御部、１…加速電圧制御部、２…画像処理部、３…データ保存部、４…検出器制御部、５…偏向系制御部、６…多極子制御部、７…対物レンズ制御部、８…ステージ制御部、９…電子源、１０…引出電極１、１１…引出電極２、１２…絞り、１３…コンデンサレンズ、１４…一次電子線、１５…反射板、１６…ＥＸＢ、１７…検出器、１８…走査偏向器、１９…イメージシフト偏向器、２０…収差補正用多極子、２１…対物レンズ、２２…収差カット絞り、２３…試料、２４…ブースター電極、２５…ブースター制御部、２６…Ｘ分布（球面収差のみ）、２７…収差カット絞り穴形状（球面収差のみ）、２８…Ｘ分布（球面、色収差考慮）、２７…収差カット絞り穴形状（球面、色収差考慮）、３０…制御装置

請求の範囲

[請求項1] 荷電粒子ビームの光軸に沿って補正対象となる光学素子と共に配置される収差補正装置において、

当該収差補正装置は、２ｎ（ｎ≧２）個の極子と、前記荷電粒子ビームを通過させる開口を有する開口形成部材を備え、前記開口は、前記光軸に直交する第２の方向より、前記光軸に直交すると共に前記第２の方向とは異なる第１の方向に相対的に長く形成され、当該第１の方向は、前記収差補正装置を動作させることによって発生する収差と、前記光学素子が発生する収差が相殺される方向であることを特徴とする収差補正装置。

[請求項2] 請求項１において、

前記収差補正装置は、少なくとも８個の極子を有し、当該８個の極子は、前記光学素子が発生する球面収差を相殺する非点収差を発生させることを特徴とする収差補正装置。

[請求項3] 請求項２において、

前記開口は、前記第２の方向とは異なる方向であって、前記第１の方向と前記光軸に直交する第３の方向に、前記第２の方向に対して相対的に長く形成されていることを特徴とする収差補正装置。

[請求項4] 請求項２において、

前記第２の方向は、前記光学素子が発生する球面収差と、前記収差補正装置が発生する非点収差が同じ符号となる方向であることを特徴とする収差補正装置。

[請求項5] 請求項１において、

前記開口は、前記第１の方向と当該第１の方向に直交する第３の方向にそれぞれ長い十字形状であり、前記光軸から前記第１の方向と前記第３の方向に離れるに従って、幅が狭くなるように形成されていることを特徴とする収差補正装置。

[請求項6] 請求項１において、

前記収差補正装置は、少なくとも４個の極子を有し、当該４個の極子は、前記光学素子が発生する色収差を相殺する色収差を発生させることを特徴とする収差補正装置。

[請求項7] 請求項６において、

前記開口は、前記光軸から前記第１の方向に離れるに従って、幅が狭くなるように形成されていることを特徴とする収差補正装置。

[請求項8] 荷電粒子源から放出された荷電粒子ビームを調節する光学素子を備えた荷電粒子線装置において、

前記荷電粒子ビームの光軸に沿って、前記光学素子と共に配置されると共に、２ｎ（ｎ≧２）個の極子を備えた収差補正装置と、前記荷電粒子ビームを通過させる開口を備えた開口部形成部材を備え、前記開口は、前記光軸に直交する第２の方向より、前記光軸に直交すると共に前記第２の方向とは異なる第１の方向に相対的に長く形成され、当該第１の方向は、前記収差補正装置を動作させることによって発生する収差と、前記光学素子が発生する収差が相殺される方向であることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項9] 請求項８において、

前記収差補正装置を制御する制御装置を備え、当該制御装置は、前記２ｎ個の極子によって、電場、磁場、或いはその両方の場を発生させるように、前記収差補正装置を制御することを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項10] 請求項９において、

前記開口を、前記光軸を回転軸として回転させる回転機構を備え、前記制御装置は、前記場を回転させるように前記収差補正装置を制御すると共に、当該場の回転に併せて前記開口を回転させるよう前記回転機構を制御することを特徴とする荷電粒子線装置。

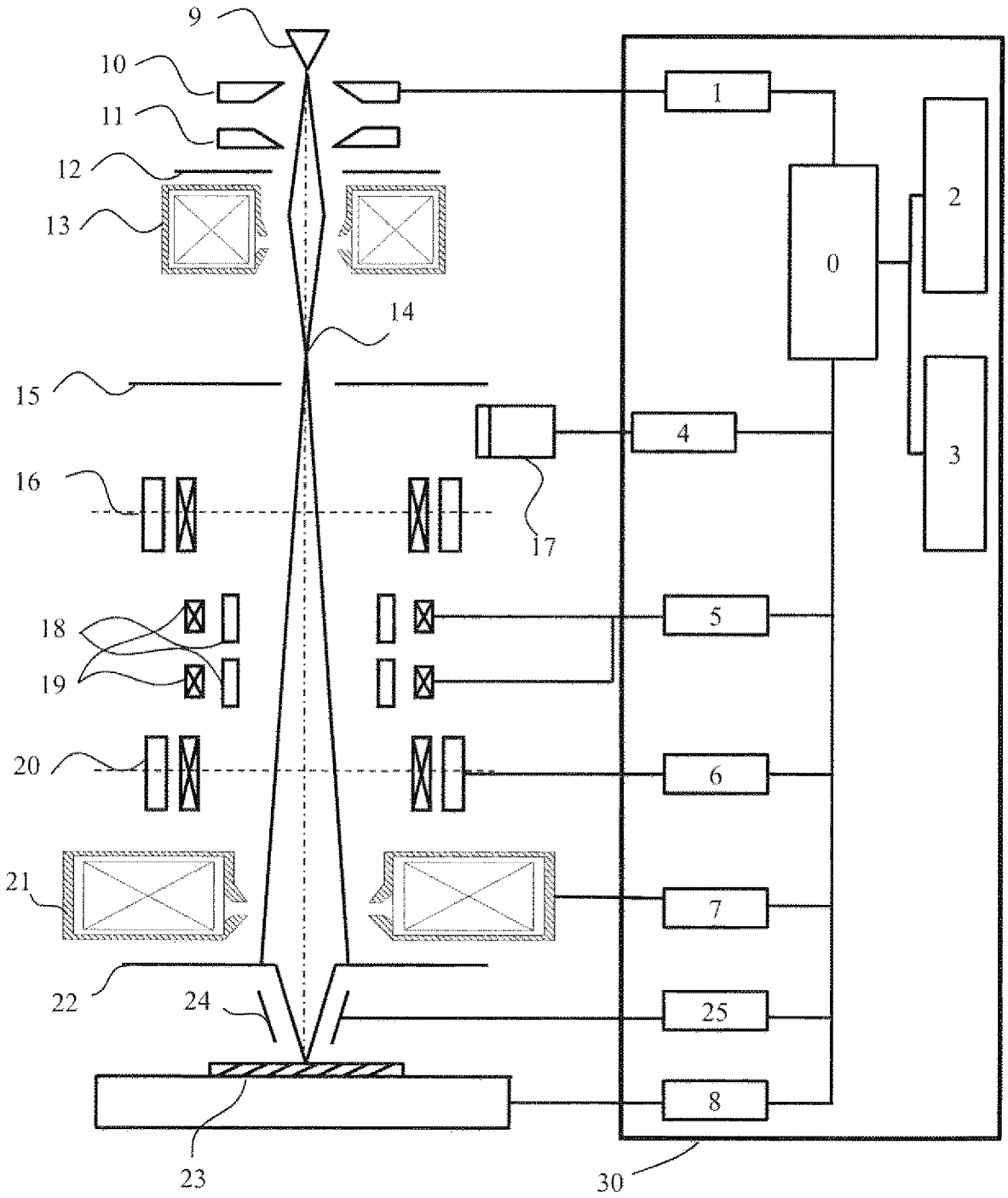
[請求項11] 請求項９において、

前記制御装置は、前記場の回転ごとに得られる画像についてフーリ

エ変換を施すと共に、前記場の回転ごとのビームの光伝達関数を求め、前記フーリエ変換を施した画像の合算結果を、前記光伝達関数の合算結果で除算することによって、画像を生成することを特徴とする荷電粒子線装置。

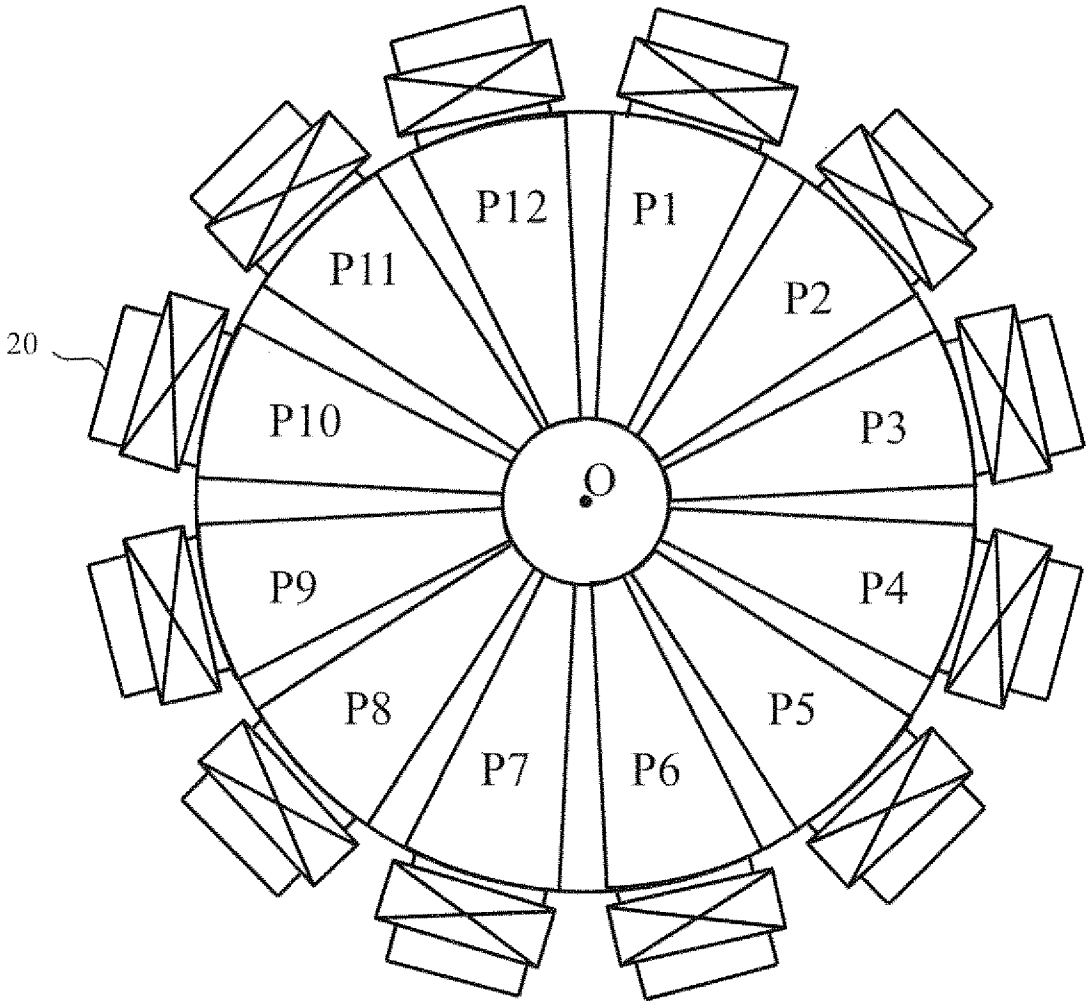
[図1]

【図1】



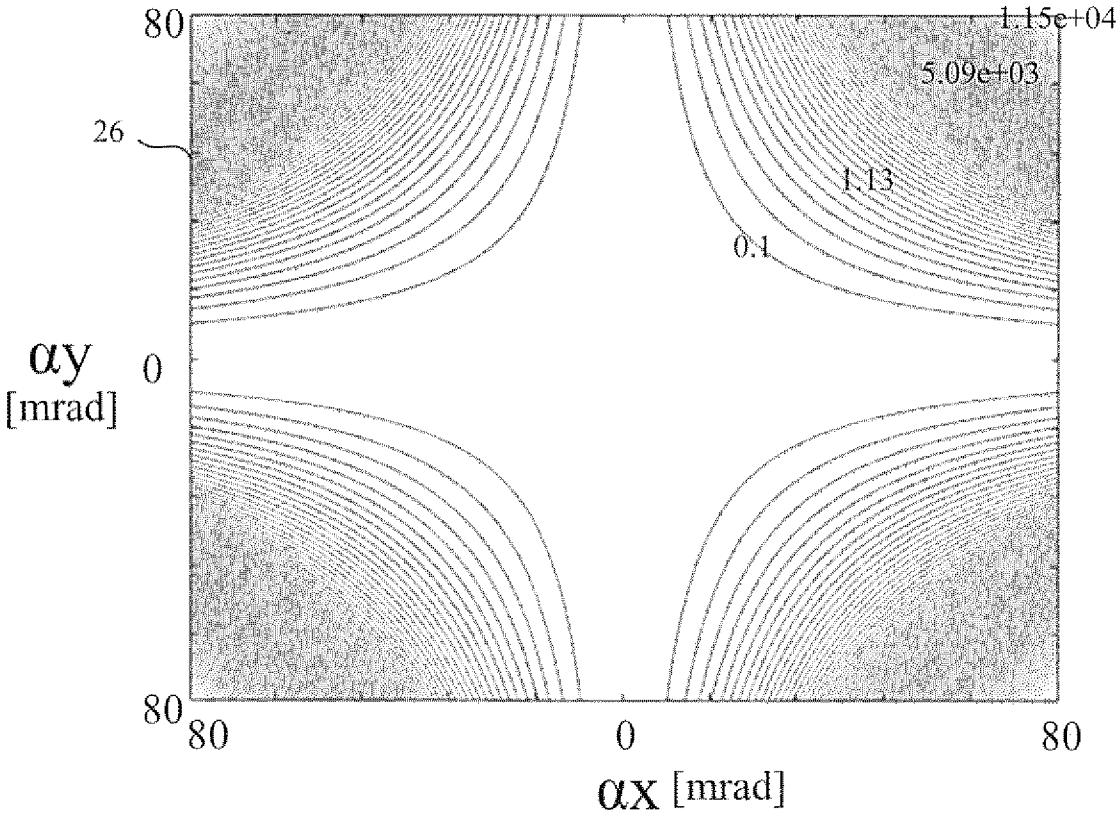
[図2]

【図2】



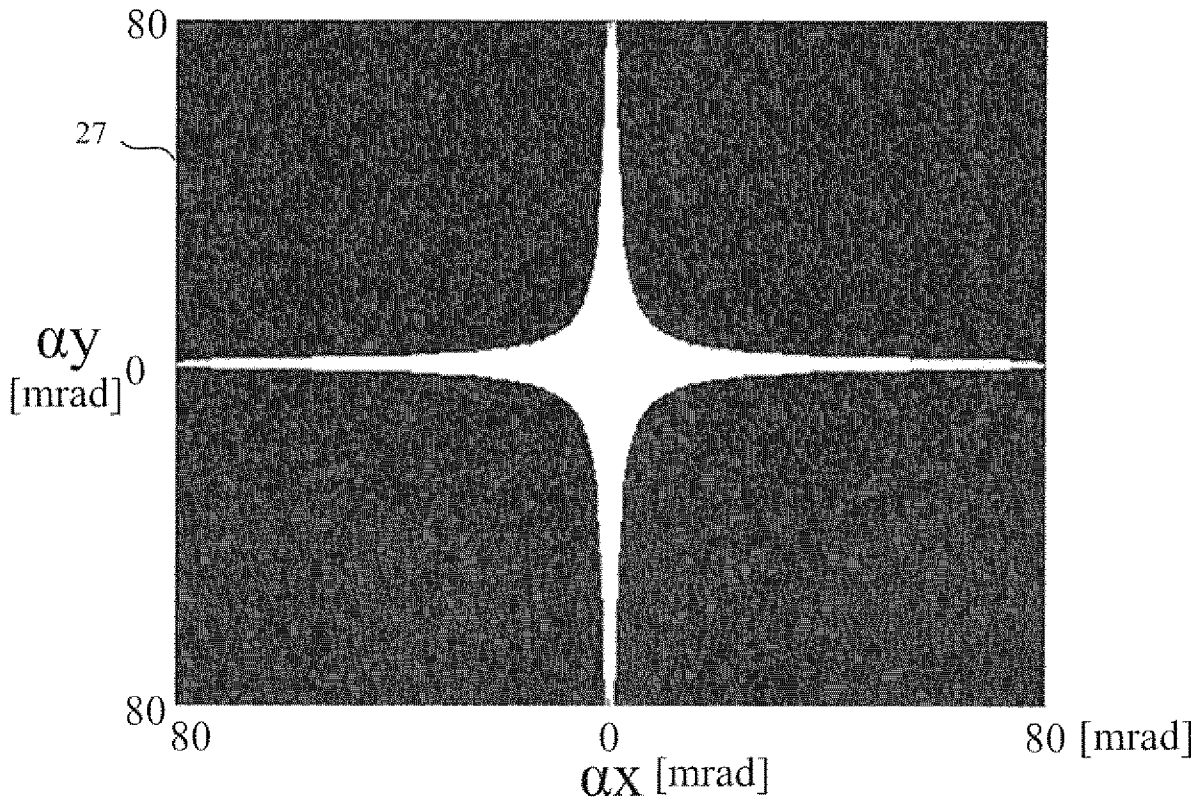
[図3]

【図3】



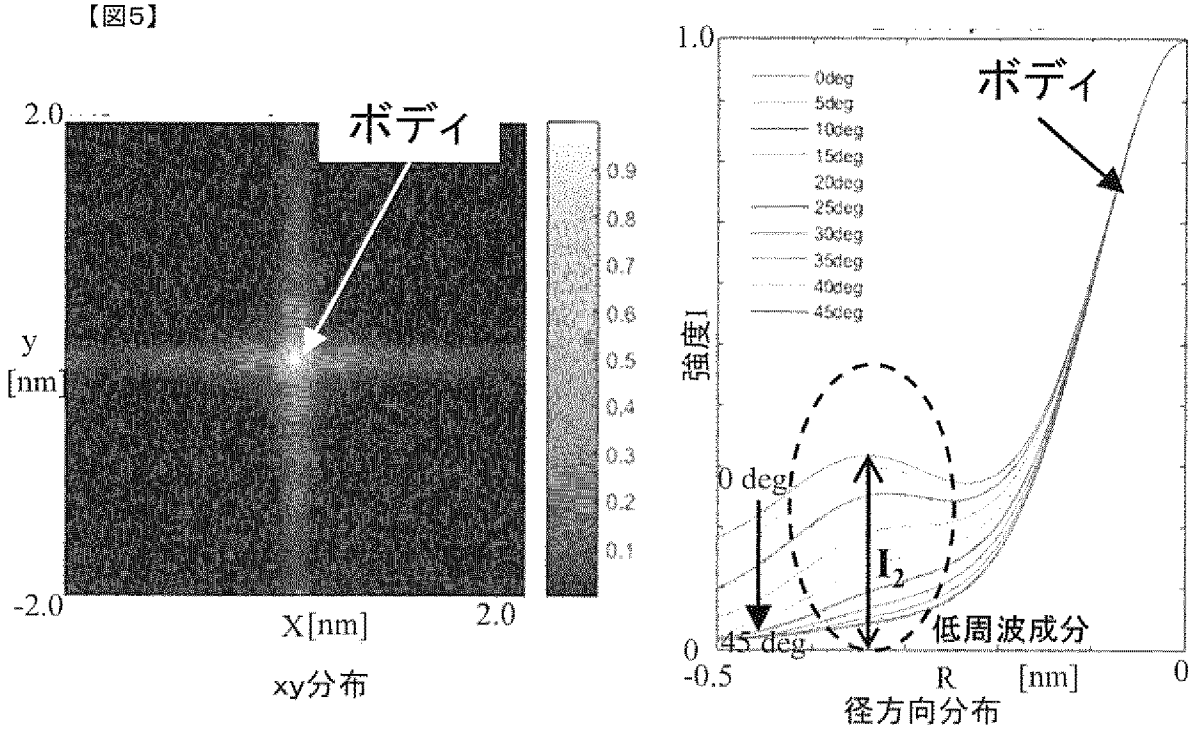
[図4]

【図4】

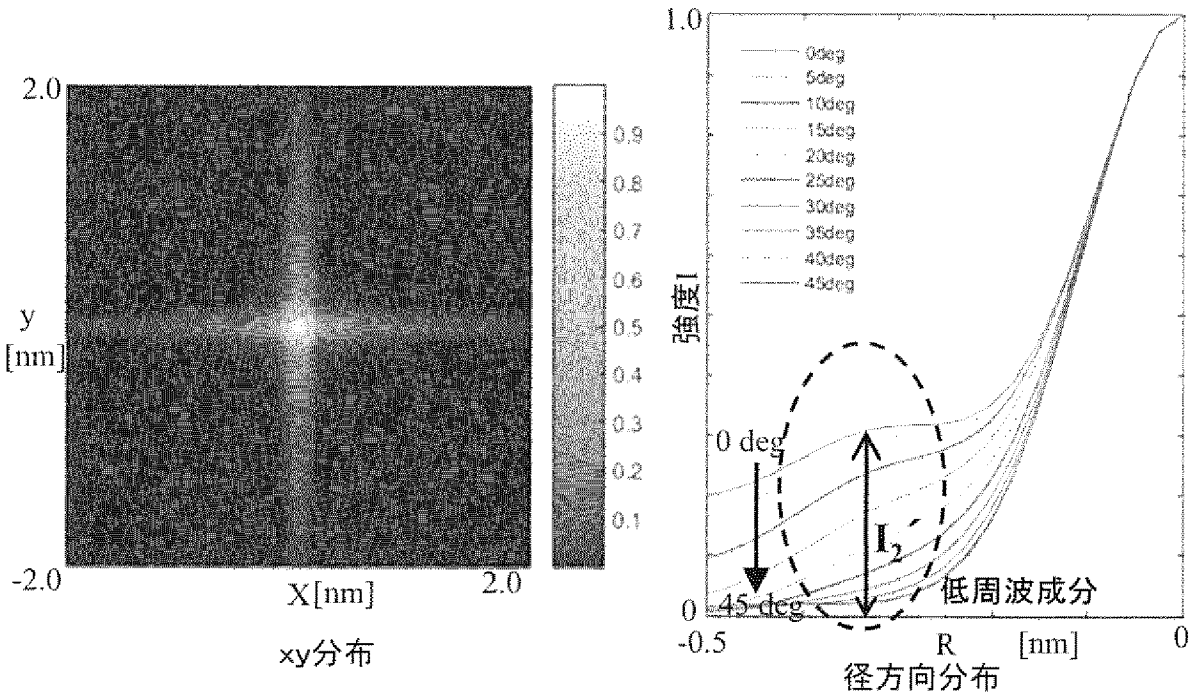


[図5]

【図5】



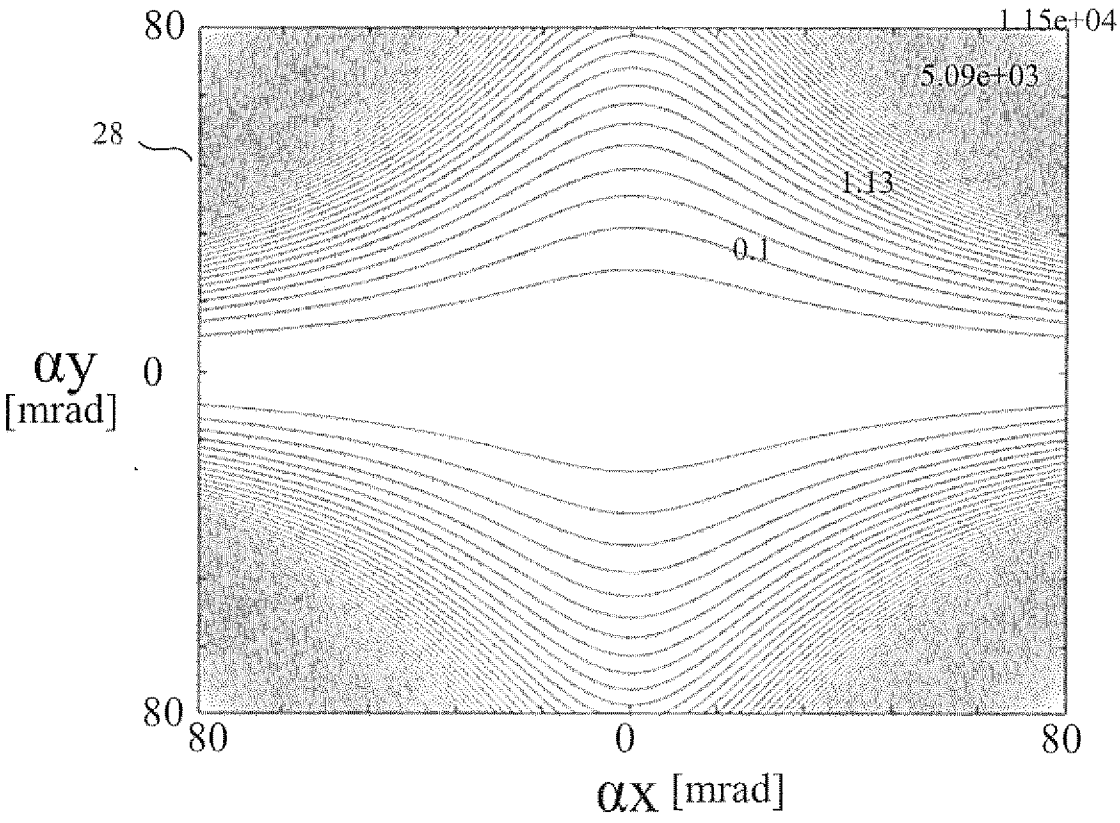
ビームプロファイル（収差カット絞り無）



ビームプロファイル（収差カット絞り有）

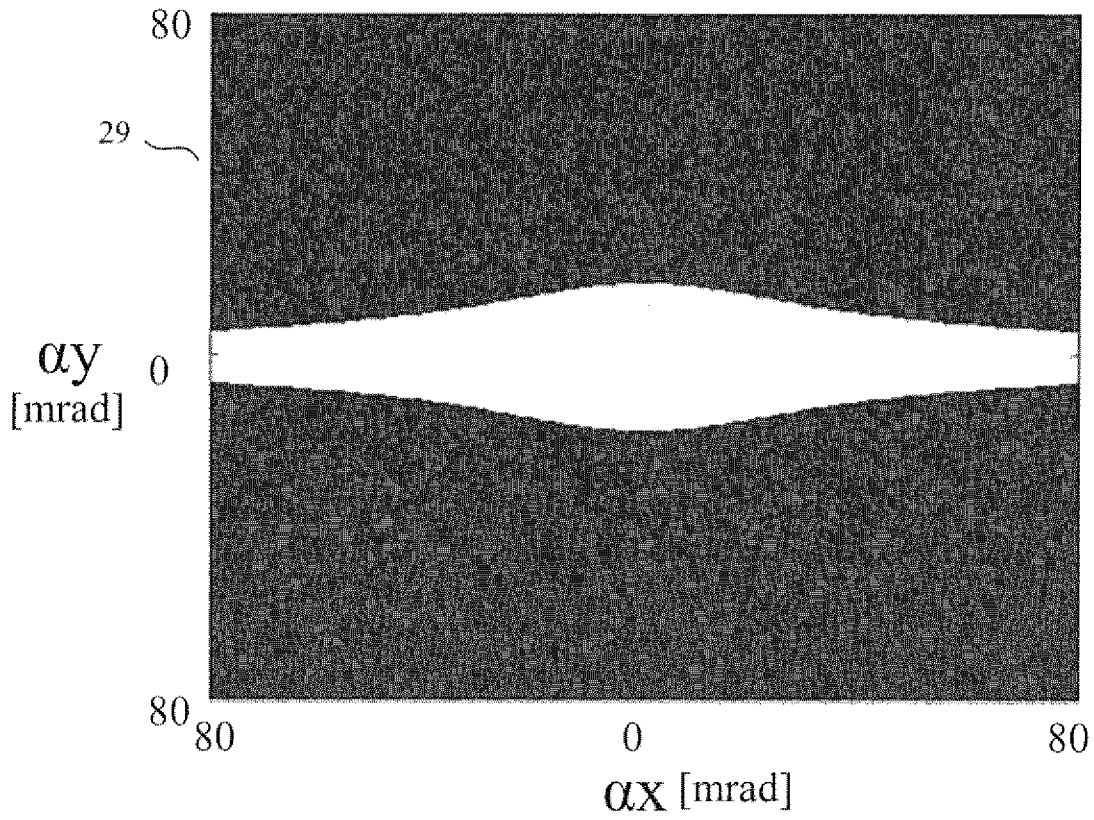
[図6]

【図6】



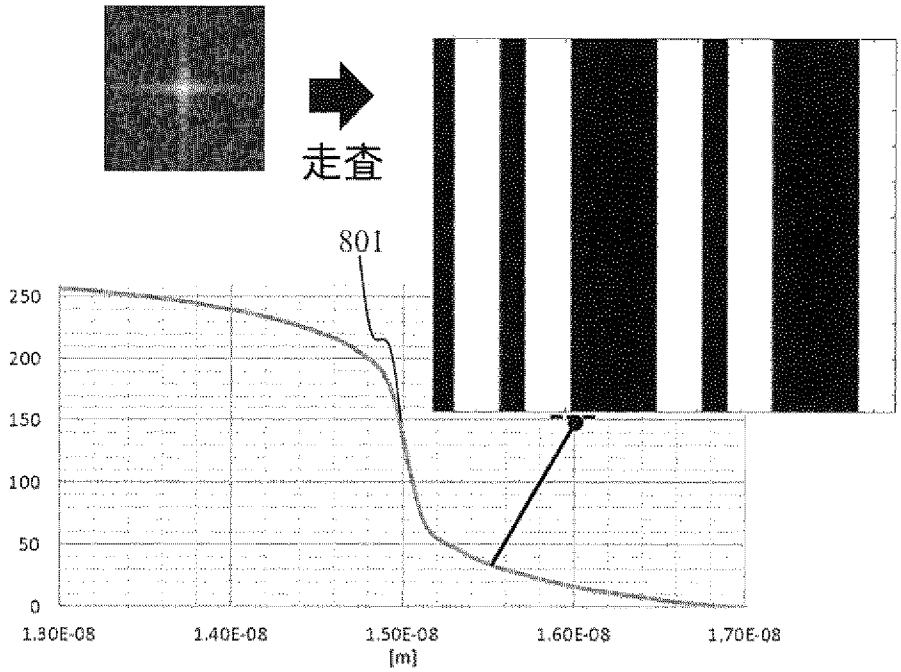
[図7]

【図7】

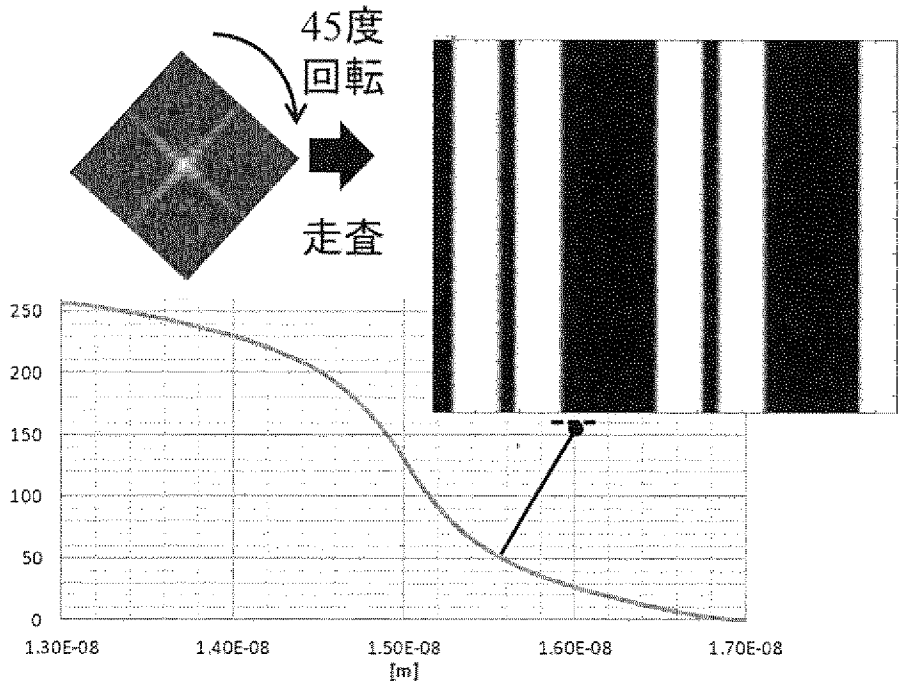


[図8]

【図8】



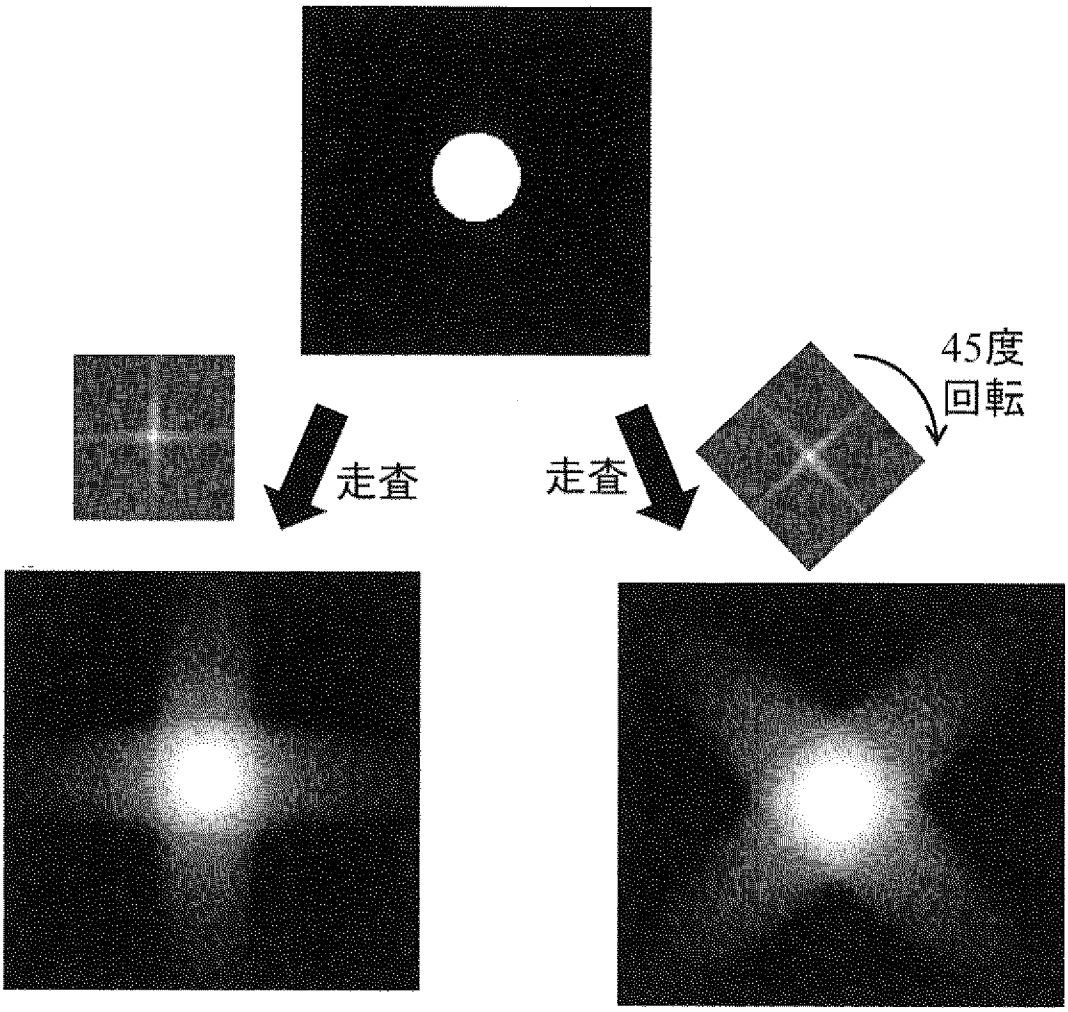
ラインプロファイル（ビーム回転無しで走査）



ラインプロファイル（ビーム45度回転で走査）

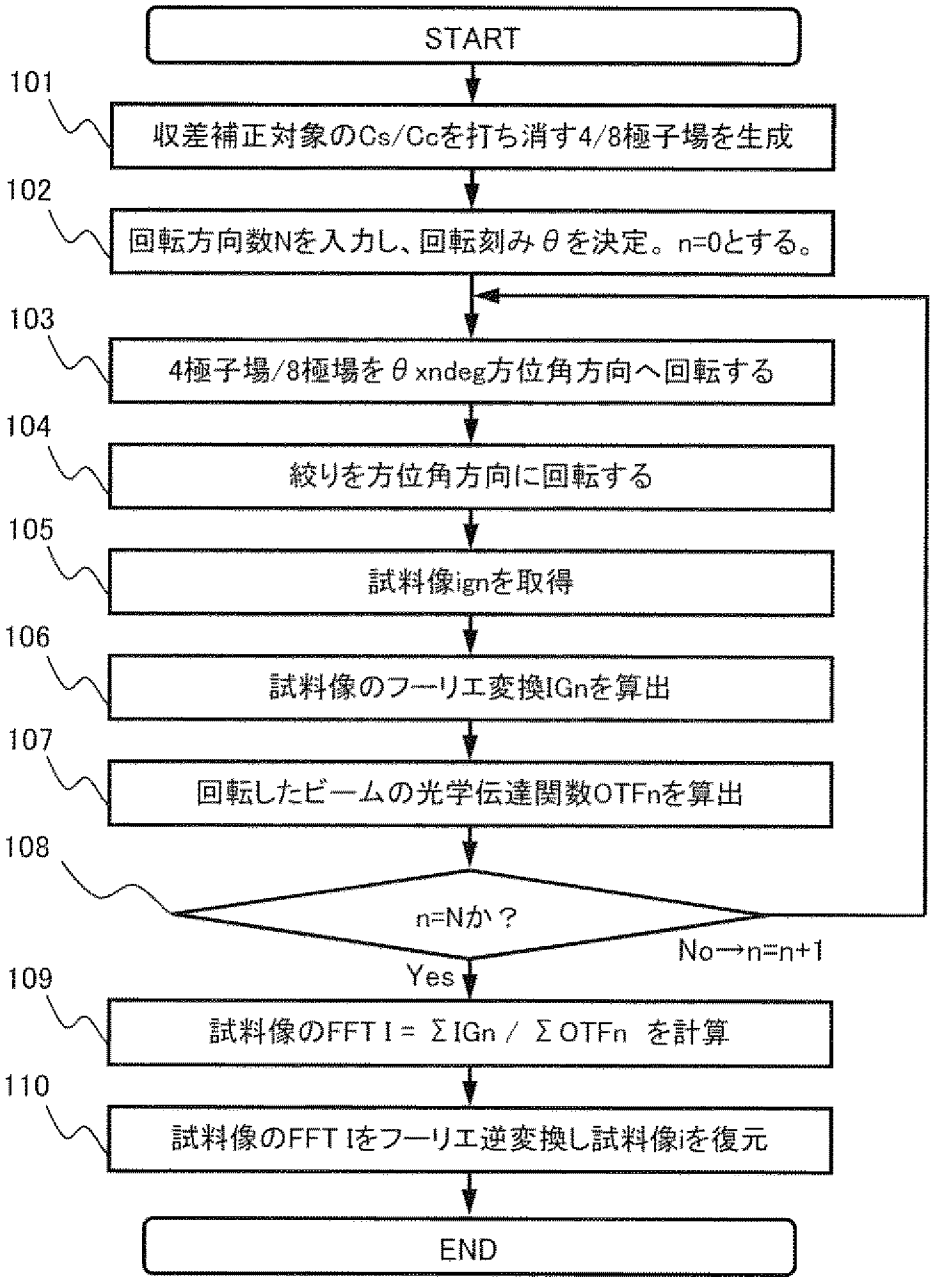
[図9]

【図9】



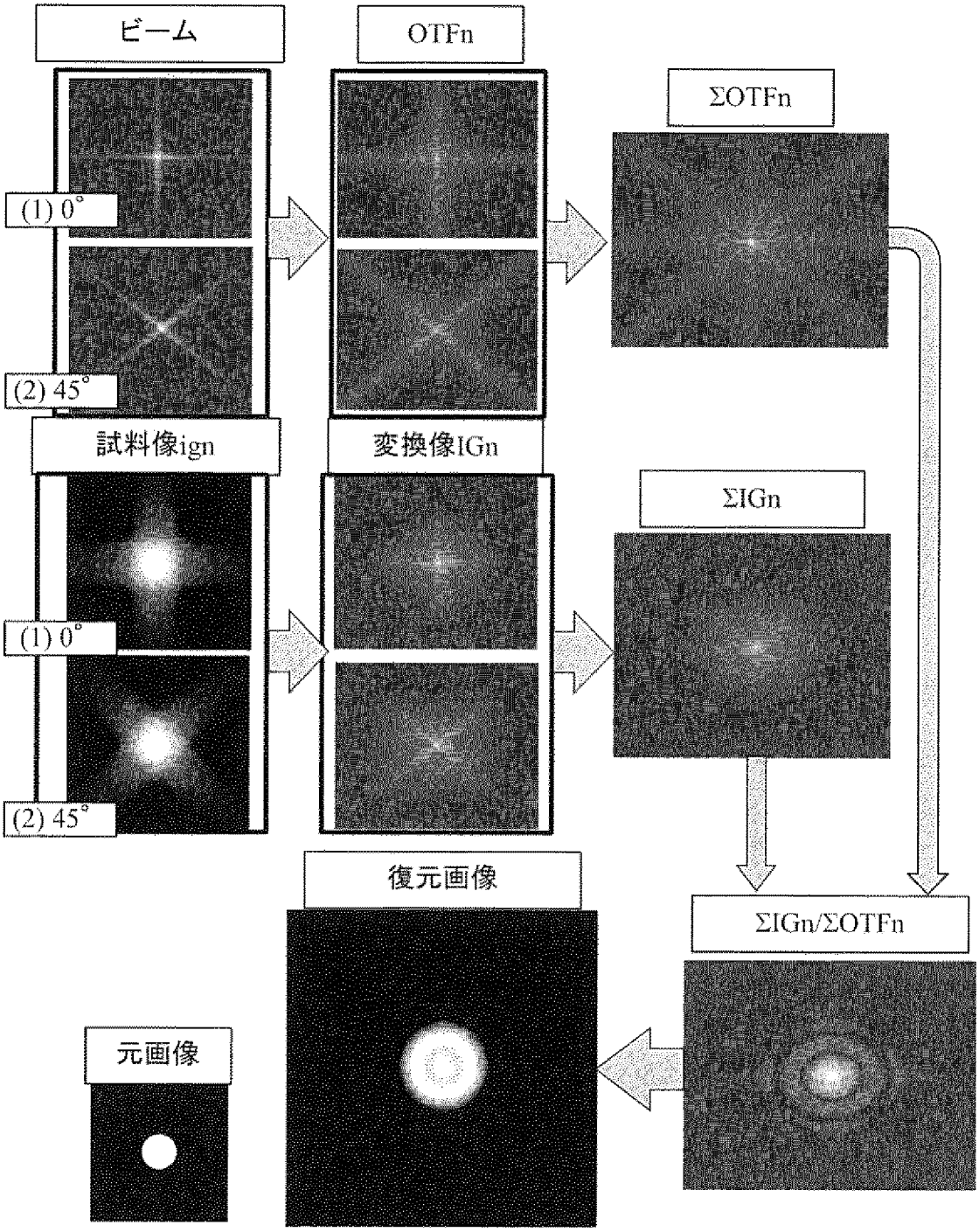
[図10]

【図10】


START
101
収差補正対象のCs/Ccを打ち消す4/8極子場を生成
102
回転方向数Nを入力し、回転刻みθを決定。n=0とする。
103
4極子場/8極場をθxndeg方位角方向へ回転する
104
絞りを方位角方向に回転する
105
試料像ignを取得
106
試料像のフーリエ変換IGnを算出
107
回転したビームの光学伝達関数OTFnを算出
108
n=Nか？
No→n=n+1
Yes
109
試料像のFFT I = ΣIGn / ΣOTFn を計算
110
試料像のFFT Iをフーリエ逆変換し試料像iを復元
END

[図11]

【図11】


ビーム
OTFn
ΣOTFn
(1) 0°
(2) 45°
試料像ign
変換像IGn
ΣIGn
(1) 0°
(2) 45°
復元画像
ΣIGn/ΣOTFn
元画像

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/027414

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01J37/153(2006.01)i

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)
H01J37/153

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2004-134389 A (LEO Elektronenmikroskopie GmbH), 30 April 2004 (30.04.2004), entire text; all drawings & JP 2004-134388 A & US 2004/0105160 A1 entire text; all drawings & US 2004/0084621 A1 & EP 1389797 A2 & EP 1389794 A2 & DE 10237141 A & DE 50308309 D & DE 60323909 D	1-11
A	JP 2006-147520 A (JEOL Ltd.), 08 June 2006 (08.06.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-11

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

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
10 October 2017 (10.10.17)	24 October 2017 (24.10.17)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2017/027414

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2010/035386 A1 (Hitachi High-Technologies Corp.), 01 April 2010 (01.04.2010), entire text; all drawings & EP 2328168 A1 & JP 10-35386 A1 & US 2011/0139980 A1 entire text; all drawings	1-11
A	JP 2015-207351 A (JEOL Ltd.), 19 November 2015 (19.11.2015), entire text; all drawings & US 2015/0332889 A1 entire text; all drawings	1-11

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１７／０２７４１４

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01J37/153(2006.01)i

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.　H01J37/153

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	１９７１－２０１７年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１７年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１７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	関連する請求項の番号
A	JP 2004-134389 A (エルエーオー　エレクトローネンミクロスコピー　ゲーエムベーハー) 2004.04.30, 全文および全図 & JP 2004-134388 A & US 2004/0105160 A1, 全文および全図 & US 2004/0084621 A1 & EP 1389797 A2 & EP 1389794 A2 & DE 10237141 A & DE 50308309 D & DE 60323909 D	１－１１
A	JP 2006-147520 A (日本電子株式会社) 2006.06.08, 全文および全図 (ファミリーなし)	１－１１

☑　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の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１０．１０．２０１７	２４．１０．２０１７

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）　２Ｇ　４４５８
藤本　加代子
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２２６

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	関連する請求項の番号
Ａ	WO 2010/035386 A1（株式会社日立ハイテクノロジーズ） 2010.04.01，全文および全図 & EP 2328168 A1 & JP 10-35386 A1 & US 2011/0139980 A1，全文および全図	１－１１
Ａ	JP 2015-207351 A（日本電子株式会社） 2015.11.19，全文および全図 & US 2015/0332889 A1，全文および全図	１－１１