(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7622337号
(P7622337)

(45)発行日　令和7年1月28日(2025.1.28)

(24)登録日　令和7年1月20日(2025.1.20)

(51)国際特許分類
Ｈ０１Ｊ　37/153 (2006.01)

ＦＩ
Ｈ０１Ｊ　37/153　Ａ

請求項の数　14　外国語出願　（全38頁）

(21)出願番号　特願2020-193431(P2020-193431)
(22)出願日　令和2年11月20日(2020.11.20)
(65)公開番号　特開2021-82593(P2021-82593A)
(43)公開日　令和3年5月27日(2021.5.27)
審査請求日　令和5年11月6日(2023.11.6)
(31)優先権主張番号　16/692,851
(32)優先日　令和1年11月22日(2019.11.22)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(73)特許権者　501233536
エフ イー アイ カンパニ
ＦＥＩ　ＣＯＭＰＡＮＹ
アメリカ合衆国 オレゴン ９７１２４－５７９３ ヒルズボロ ドーソン・クリーク・ドライヴ ５３５０ エヌイー
(74)代理人　100107766
弁理士　伊東 忠重
(74)代理人　100070150
弁理士　伊東 忠彦
(74)代理人　100135079
弁理士　宮崎 修
(72)発明者　アレクサンデル ヘンストラ
アメリカ合衆国 ９７１２４－５７９３
オレゴン州，ヒルズボロ ノースイース
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　６次以上の補正ＳＴＥＭ多極子補正器

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
荷電粒子システムにおける６次以上の高次の軸収差を補正するために、前記荷電粒子システムの光学カラムに設けられる補正器であって、
第１の一次多極子であって、第１の励起が前記第１の一次多極子に印加されるときに、第１の一次多極子場を生成する、第１の一次多極子と、
第２の一次多極子であって、第２の励起が前記第２の一次多極子に印加されるときに、第２の一次多極子場を生成し、前記荷電粒子システムで使用されるときに、前記第２の一次多極子が、前記第１の一次多極子と球面収差の発生源である前記荷電粒子システムのレンズとの間に配置され、前記第１の一次多極子は、組み合わせ４次収差が生成されるように前記第２の一次多極子上に結像されない、第２の一次多極子と、
前記４次収差および６次収差を補正するための二次多極子であって、前記二次多極子が、前記荷電粒子システムで使用されるときに、前記第２の一次多極子と前記レンズとの間に配置される、二次多極子と、を備え、
前記二次多極子は、
第３の励起が前記二次多極子に印加されるときに、前記二次多極子が第３の多極子場を生成し、
前記第３の多極子場が、前記４次収差および前記６次収差を補正する１つ以上の収差を発生させるように構成されている、補正器。
【請求項２】

前記二次多極子が、３倍非点収差Ａ２を補正するようにさらに構成される、請求項１に記載の補正器。
【請求項３】
前記二次多極子が、前記４次収差を補正する組み合わせ収差を発生させる２次収差を発生させる、請求項１に記載の補正器。
【請求項４】
前記第１の励起および前記第２の励起は、前記第１の一次多極子場によって生成される３倍非点収差Ａ２への第１の寄与および前記第２の一次多極子場によって生成される前記３倍非点収差Ａ２への第２の寄与が相殺されないような励起である、請求項１に記載の補正器。
【請求項５】
前記第２の一次多極子上に結像されていない前記第１の一次多極子が、前記補正器が使用されているときに、発散角または収束角のうちの１つで前記第１の一次多極子に入射する荷電粒子ビームを含む、請求項１に記載の補正器。
【請求項６】
前記第２の一次多極子上に結像されていない前記第１の一次多極子は、前記補正器が使用されているときに、荷電粒子ビームが発散角または収束角のうちの１つで前記第１の一次多極子に入射するように、前記補正器の上流のレンズのうちの１つ以上のレンズ励起を含む、請求項１に記載の補正器。
【請求項７】
前記第２の一次多極子上に結像されていない前記第１の一次多極子が、前記第１の一次多極子と前記第２の一次多極子との間に配置されたレンズのうちの１つ以上のレンズ励起に対応する、請求項１に記載の補正器。
【請求項８】
前記第１の一次多極子および前記第２の一次多極子が、それぞれ六極子である、請求項１に記載の補正器。
【請求項９】
８次収差を補正するための三次多極子をさらに備え、前記三次多極子が、前記荷電粒子システムで使用されるときに、前記二次多極子と前記レンズとの間に配置される、請求項１～８のいずれか一項に記載の補正器。
【請求項１０】
前記三次多極子は、
第４の励起が前記三次多極子に印加されるときに、第４の多極子場が生成され、
前記第４の多極子場が、前記８次収差を補正する１つ以上の収差を発生させるように構成される、請求項９に記載の補正器。
【請求項１１】
前記第１の一次多極子が前記第２の一次多極子上に結像されないように、前記第１の一次多極子または前記第２の一次多極子のうちの一方は、前記第１の一次多極子が前記第２の一次多極子上に結像される位置から、中心軸に沿って第１の変位だけ変位している、請求項１～１０のいずれか一項に記載の補正器。
【請求項１２】
前記第１の一次多極子が前記第２の一次多極子上に結像されないように、前記第１の一次多極子または前記第２の一次多極子のうちの他方は、前記第１の一次多極子が前記第２の一次多極子上に結像される位置から、中心軸に沿って第２の変位だけ変位している、請求項１１に記載の補正器。
【請求項１３】
前記第１の変位が、前記第２の変位と逆方向である、請求項１２に記載の補正器。
【請求項１４】
試料に向けて荷電粒子ビームを放出するように構成された荷電粒子源と、
前記荷電粒子ビームを前記試料上に集束するように構成された光学カラムと、を備える

荷電粒子システムであって、前記光学カラムが、球面収差の発生源であるレンズの軸収差を補正するために、請求項１～１３のいずれか一項に記載の前記補正器を含む、荷電粒子システム。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【０００１】

粒子光学顕微鏡は、円形レンズを利用して電子／荷電粒子ビームを方向付け、試料を照射するものである。しかしながら、円形レンズは、正の球面収差係数を生成するため、より高い開放角が制限され、分解能およびプローブ電流が阻害される。この問題に対処するために、現在の粒子光学顕微鏡には、球面収差を低減および／または補正するための多極子補正器が組み込まれている。六極子補正器では、４次スリーローブ収差D_4がゼロになるように一次多極子を慎重に結像するのが従来の慣行となっている。例えば、１９９０年にローズ（Ｒｏｓｅ）によって発明された六極子補正器は、２つの強力な同一の六極子を備えている。ローズ補正器の２つの強力な六極子が倍率－１で互いに慎重に結像されると、これにより、それらの最低次効果（つまり、３倍非点収差A_2）が相殺され、４次スリーローブ収差D_4が無効化される。このローズ補正器の場合、一次六極子を互いに結像することは、六極子の中間面を互いに結像することに対応している（つまり、中間面は正確に共役となる）。

【０００２】

しかしながら、当該方法で多極子中間面を互いに結像することが現在の慣行におけるＤ４収差を無効にする唯一の方法ではない。例えば、いくつかの他の六極子補正器の種類（例えば、２つ以上の一次六極子を含む六極子補正器）では、全ての一次六極子の中間面が正確に相互に共役である場合、大きな収差D_4が生成される。そのような六極子補正器では、D_4を無効にするために、１つの一次六極子の中間面を、他の一次六極子の中間面に隣接している平面に共役化する。当該平面は、全てが他の一次六極子の中間面と同一ではない。

【０００３】

従来の多極子補正器では、４次スリーローブ収差D_4はゼロであるが、従来の多極子補正器では、顕微鏡の解像度を制限する様々な高次収差（例えば、６次スリーローブ収差D_6、８次スリーローブ収差D_8など）も生成されている。例えば、米国特許第８，８４１，６３０号に記載のＳ－ＣＯＲＲ補正器では、６倍非点収差はないものの、６次スリーローブ収差D_6および８次スリーローブ収差D_8のような収差は相殺されていない。したがって、現在の六極子補正器（ローズ補正器およびＳ－ＣＯＲＲ補正器など）が機械的に完全であっても、それらを採用する現在の粒子光学顕微鏡は、６次収差（つまり、６次スリーローブ収差D_6）によって制限されているのである。このため、６次収差は、六極子補正器を採用した現在の荷電粒子光学顕微鏡の結像機能を制限する根本的な障壁となっている。また、同様の理由で、四極子ー八極子補正器を採用した現在の荷電粒子光学顕微鏡は、７次収差によって制限されている。したがって、このようなＣｓ補正器の高次収差を低減することが望まれている。

【発明の概要】

【０００４】

本開示による荷電粒子顕微鏡システムにおける粒子光学レンズの軸収差を補正するための補正器は、第１の一次六極子であって、第１の励起電圧または電流が第１の一次六極子に印加されるときに、第１の一次六極子場を生成する、第１の一次六極子と、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、第１の一次六極子と球面収差の発生源であるレンズとの間に配置される第２の一次六極子と、を含む。本文書の残りの部分では、このレンズを粒子光学レンズと呼ぶことがある。一般に、球面収差の主な発生源となるレンズは、荷電粒子顕微鏡システムで対物レンズとして作用するレンズである。第２の一次六極子は、第２の一次六極子に第２の励起が印加されるときに、第２の一次六極子場を生成する。本開示のいくつかの実施形態によれば、第１の一次六極子は、第２の一次六極子上

に慎重に結像されることはない。代わりに、第２の一次六極子上の第１の一次六極子の画像をやや不整合とすることで、組み合わせ４次収差が発生する。そのような実施形態では、補正器は、４次収差および６次収差を補正するための二次六極子を含み、二次六極子は、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、第２の一次六極子と粒子光学レンズとの間に配置される。そのような補正器は、第２の一次六極子と粒子光学レンズとの間に配置され、８次収差を補正するための三次六極子をさらに含むことができる。

【０００５】

本開示の代替実施形態では、粒子光学レンズの軸方向収差を補正するための補正器は、第１の一次六極子であって、第１の励起が第１の一次六極子に印加されたときに、第１の一次六極子場を生成するための第１の一次六極子と、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、第１の一次六極子と粒子光学レンズとの間に配置される第２の一次六極子とを含むことができる。第２の一次六極子は、第２の励起が第２の一次六極子に印加されるときに、第２の一次六極子場を生成し、第１の一次六極子は、従来の慣行に従って第２の一次六極子上に結像される。そのような実施形態では、補正器は、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、第２の一次六極子と粒子光学レンズとの間に配置される二次六極子をさらに含む。二次六極子は、第３の励起が二次六極子に印加されるときに、第３の六極子場を生成するように構成されている。代替の実施形態は、第２の一次六極子と粒子光学レンズとの間に配置される三次六極子をさらに含む。三次六極子は、第４の励起が三次六極子に印加されるときに、第４の六極子場を生成するように構成されている。二次六極子および三次六極子は、第３の六極子場および第４の六極子場が６次収差D_6を補正するように配置および／または他の方法で構成されている。さらに、本開示による補正器は、双極子、四極子などのような、六極子の代わりに他のタイプの多極子を含むことができる。例えば、本開示による六極子の代わりに四極子および八極子場を使用する補正器は、固有および寄生の高次収差を補正するために上記と同様の現象を使用することができる。例えば、二次および三次八極子場は、７次までの４倍収差を補正できる。

【図面の簡単な説明】

【０００６】

詳細な説明は、添付の図を参照して説明される。これらの図では、参照番号の最も左側の数字（複数可）で、当該参照番号が最初に現われる図を示している。異なる図の同じ参照番号は、類似または同一の項目を示している。

【図１】本発明による、６次収差および／またはそれ以上の高次収差を補正するための例示的な多極子補正器を示す。

【図２】本開示による、従来技術の補正器および６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムの補正器伝達光学系の光学的挙動を示す集合的な図面２００を示す。

【図３】本発明による、６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム１００を光学カラムに含む試料３０２の構成要素を検査するための例示的な荷電粒子顕微鏡システムを示す。

【図４】３つの一次多極子を有する６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム１００を含む、少なくとも２つの一次多極子が互いに結像されていない例示的な荷電粒子顕微鏡システムを示す。

【図５】従来の補正器システムの光学性能を示す図面である。

【図６】本開示による、６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムの光学性能を示す図面である。

【図７】一次多極子が互いに結像されておらず、第２の一次多極子が非対称に変位している、補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムの光学性能を示す。

【図８】非対称光線経路を有する例示的な補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムの光学性能を示す。

【図９】互いに結像された少なくとも一対の一次多極子と、６次以上の収差を補正するために組み合わされる収差を生成するように配置および／または他の方法で構成された一対の一次多極子の下流に配置される複数の多極子とを含む、６次収差を補正するための例示的な多極子補正器システムを示す。

【図１０】互いに結像された少なくとも一対の一次多極子を含む６次収差を補正するための例示的な多極子補正器システムを含む例示的な荷電粒子顕微鏡システムを示す。
【図１１】６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムの第１の一次多極子、第２の一次多極子、および二次多極子の収差を組み合わせて６次収差を補正する様子を示す図面である。
【図１２】互いに結像された少なくとも一対の一次多極子と、６次以上の収差を補正するために組み合わされる収差を生成するように配置および／または他の方法で構成された一対の一次多極子の下流に配置される複数の多極子とを含む、６次収差を補正するための例示的な多極子結像補正器システムを示す。
【図１３】互いに結像された少なくとも一対の一次多極子と、６次以上の収差を補正するために組み合わされる収差を生成するように配置および／または他の方法で構成された一対の一次多極子の下流に配置される複数の多極子とを含む、６次収差を補正するための例示的な多極子補正器システムを示す。
【図１４】従来の補正システムを備えた顕微鏡システムによって生成されたフラットロンチグラム画像であり、D_6によって制限されている。
【図１５】６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムを備えた顕微鏡システムによって生成されたフラットロンチグラム画像である。
【図１６】６次および８次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムを備えた顕微鏡システムによって生成されたフラットロンチグラム画像であり、D_6およびD_8の両方が大幅に低減されている。　同様の参照番号は、図面のいくつかの図を通して対応する部分を指す。一般に、これらの図では、所定の例に含まれる可能性が高い要素が実線で示されているのに対し、所定の例には任意選択的である要素は破線で示されている。しかしながら、実線で示される要素は、本開示の全ての例に必須である訳ではなく、実線で示される要素は、特定の例から、本開示の範囲から逸脱しない限り省略されてもよい。
【発明を実施するための形態】
【０００７】
６次収差および／またはそれ以上の高次収差を補正するための多極子補正器が本明細書に含まれている。より具体的には、本明細書に開示される多極子補正器は、荷電粒子顕微鏡システムにおける６次スリーローブD_6収差を補正するように構成される。本発明のいくつかの実施形態による多極子補正器は、互いに結像されず、４次組み合わせ収差が生成される、少なくとも１対の一次多極子と、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、一対の一次多極子と球面収差の発生源であるレンズ（例えば、荷電粒子顕微鏡システムの対物レンズ）との間に配置される二次多極子と、を含む。
【０００８】
いくつかの実施形態では、レンズは、補正器が荷電粒子顕微鏡システム内で使用される場合の球面収差の主な発生源（つまり、システム内で最も球面収差が発生する発生源、システム内で大量の球面収差が発生する発生源）であるレンズであってもよい。二次多極子は、４次収差および６次収差を補正するように構成されている。本開示による収差の補正は、それらの合計がゼロ化される、実質的にゼロ化される、かつ／または最適値に低減される（例えば、それらの合計が１つ以上の他の収差と結合して、高次収差のバランスをとる／補正するような値に低減される）ように、負の収差によって相殺される正の収差に対応する。さらに、多極子、四極子、六極子、四極子－八極子などの用語は、本明細書では、多極子場、四極子場、六極子場、四極子－八極子場などを説明するために使用されており、これらの場を生成するように構成された物理デバイスではない。
【０００９】
すなわち、開示された本発明の実施形態は、組み合わされたときに、６次収差を補正する新規の収差を介して収差を補正する。さらに、以下に開示されるように、開示される発明のいくつかの実施形態では、生成された収差の組み合わせは、８次収差を補正するために組み合わせることができる。具体的には、互いに結像されていない一対の一次多極子により、大きな４次収差が発生し、これが新規な二次多極子により発生した収差と組み合わされて、４次収差と６次収差の両方が相殺される。

【００１０】
さらに、本発明のいくつかの他の実施形態による多極子補正器は、従来の慣行に従って互いに結像または実質的に結像される少なくとも一対の一次多極子と、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、一対の一次多極子と粒子光学レンズとの間に配置される複数の多極子とを含む。複数の多極子は、６次以上の収差を補正するために組み合わされる収差を生成するように配置および／または他の方法で構成されている。すなわち、一対の一次多極子と粒子光学レンズとの間に配置された個々の多極子は、補正器システムによって生成された他の収差と組み合せて６次または８次までの収差を相殺するような収差を生成するように、特定の励起レベルに配置および設定することができる。

【００１１】
以下の処理は、本開示による例示的な補正器システムの性能を実証するものである。具体的には、以下の処理は、（ｉ）平行（またはほぼ平行）の入口ビームおよび出口ビーム、（ｉｉ）一次六極子間で同一の形状、（ｉｉｉ）２つのみの一次六極子、および（ｉｖ）（ＳＥＭまたはＳＴＥＭにおけるような）粒子光学レンズの上流の補正器を有する、本開示によるプローブ六極子補正器の性能を実証するものである。しかしながら、以下に説明するように、本開示による補正器は、そのような実施形態に限定されず、むしろ、同様の現象に従って動作する他の特性（例えば、システムの荷電粒子源、非平行出口ビーム、非対称六極子補正器、非対称光線路などから試料の下流側に配置されるように設計された、ＳＴＥＭ以外の顕微鏡システム用の追加の一次六極子を有する、六極子の代わりの四極子－八極子）を有する補正器を本開示に従って構築することができる。例えば、本開示による例示的な補正器システムが、システムの荷電粒子源から試料の下流に配置されるように設計されている場合（例えば、ＴＥＭシステム用の補正器）、補正器内の六極子の配置は、逆となる（すなわち、二次六極子（複数可）は一次六極子よりも荷電粒子源に近接しているが、第２の六極子は依然として第１の六極子と二次六極子（複数可）との間に位置している）。

【００１２】
例として、２つの一次六極子を備えた補正器の場合を詳細に取り扱う。フリンジ場を無視すると、六極子のスカラー磁気ポテンシャルは次の式で与えられる。

【数１】

$$\psi = Re[\psi_3 u^3] \qquad (1)$$

ここで、ｕ＝ｘ＋ｉｙは、半径方向の位置（ｘ、ｙ）を表す。本発明の実施形態の構成要素六極子についての複素六極子励起パラメータｋを次のように定義する。

【数２】

$$k = \frac{3i\eta\overline{\psi_3}}{U_r^{1/2}} \qquad (2)$$

ここで、η＝（ｅ／（２ｍ））$^{1/2}$であり、U_rは相対論的ポテンシャル、ｅは電気素量、ｍは粒子の質量である。２つの六極子補正器システムの場合、磁気レンズの回転を考慮して、ラーモア基準座標系の光学特性を計算する。この場合、様々な六極子場のｋの値は全て実数であると想定できる。ただし、３つの六極子補正器システムでは、様々な六極子場のｋの個々の値は実数または虚数の場合がある。さらに、ガウスビームが平行である平面では、勾配収差は位相関数

$$S(u,\bar{u})$$

から次の式で導出される。

【数３】

$$\Delta u' = 2\frac{\partial S}{\partial \bar{u}} \qquad (3)$$

【００１３】

本明細書に開示されるシステムの六極子について７次までの３回対称性によって許容される全ての項を説明する位相関数は、以下によって与えられる。

【数４】

$$S = \frac{1}{2}C_{1s}u\bar{u} + \frac{1}{4}C_{3s}u^2\bar{u}^2 + \frac{1}{6}C_{5s}u^3\bar{u}^3 + \frac{1}{3}A_{2s}Re(\bar{u}^3) + D_{4s}(u^4\bar{u}) + D_{6s}(u^5\bar{u}^2) + \frac{1}{6}A_{5s}Re(\bar{u}^6) \qquad (4)$$

ここで、下付き文字「ｓ」は、係数が勾配収差に対応することを示す。ここでは、A_{5S}およびD_{6S}収差の非常に小さい異方性値は無視される（つまり、全ての収差係数はラーモア基準系で実数であると想定している）。

【００１４】

一対の一次六極子の各々の作用は、次の式で近似される。

【数５】

$$\begin{pmatrix} u_{out} \\ u'_{out} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{in} \\ u'_{in} + kL\bar{u}_{in}^2 + \frac{1}{3}k^2L^3u_{in}^2\bar{u}_{in} \end{pmatrix} \qquad (5)$$

二次六極子（複数可）の作用は次のように近似される。

【数６】

$$\begin{pmatrix} u_{out} \\ u'_{out} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{in} \\ u'_{in} + kL\bar{u}_{in}^2 \end{pmatrix} \qquad (6)$$

式中、U_{in}およびU_{out}は、六極子の中間面に漸近的に定義されている。中間六極子が一対の一次六極子の間に位置する実施形態では、A_5を補正するために、以下の計算において、D_6に対するその適度な影響を無視する。一対の一次六極子の上流の一次六極子の励起はｋであり、一対の一次六極子の下流六極子の励起パラメータは$k + k_2$であり、ｋはk_2よりもはるかに大きい。二次六極子の励起はまた、ｋよりもはるかに小さいk_3である。

【００１５】

平行ビームが第１の一次六極子に入射し、このビーム内の電子の複素横方向位置＝U_0である場合を考える。本発明によれば、下流の一次六極子の漸近中間面における中間結果

（ｕ１，ｕ’１）は、最大で、ｕ０において４次である。
【数７】

$$u_1 = -u_0 - 2kL\,\Delta z\,\bar{u}_0^2 - \frac{2}{3}k^2L^3\,\Delta z\,u_0^2\bar{u}_0 \qquad (7)$$

及び
【数８】

$$u_1' = k_2L\bar{u}_0^2 - \frac{2}{3}k(k+k_2)L^2(L-6\Delta z)u_0^2\bar{u}_0 -$$

$$\frac{2}{3}k(k+k_2)^2L^4\Delta z\,u_0^4 - \frac{4}{3}kk_2(k+k_2)L^4\Delta z\,u_0\bar{u}_0^3 \qquad (8)$$

下流の一次六極子の作用が含まれ、ここで△ｚは、一次六極子の物理的シフト（図２に図示されるシフトなど）である。
【００１６】
式（８）をｕ１の項で書き直すと、次のようになり、
【数９】

$$u_1' = 2\frac{\partial S_1}{\partial \bar{u}_1}$$

【数１０】

$$S_1 = \frac{1}{3}k_2L\,\mathrm{Re}(\bar{u}_1^3) + \left(\frac{1}{6}k(k+k_2)L^3 - k^2L^2\Delta z\right)u_1^2\bar{u}_1^2$$

$$+\frac{2}{3}k^3L^4\Delta z\,\mathrm{Re}(u_1^4\bar{u}_1)$$

式（４）で述べた勾配収差
【数１１】

$$A_{2s}^{(2)} = k_2L;\ C_{3s}^{(1)} = \frac{2}{3}k^2L^3 + \cdots;\ D_{4s}^{(1)} = \frac{2}{3}k^3L^4\Delta z$$

を特徴としている。式（９）において、ｋ２と△ｚによる補正強度

$$C_{3s}^{(1)}$$

の微小変化は無視され、残りにおける

$$C_{3s}^{(1)}$$

は

$$\frac{2}{3}k^2L^3$$

と等しくなるように設定されている。ここから、開示された発明の対応する実施形態が６次（場合によっては８次以上）の収差を補正することを示すために、計算を進める２つの方法が存在する。

【００１７】

第１の方法では、下流の一次六極子と第２の六極子との間のドリフト距離をｄとし、二次六極子の作用をｋ$_3$とし、逆外挿が下流の一次六極子の中心に適用される。これにより、次の関係が生じる。

【数１２】

$$\begin{pmatrix} u_2 \\ u_2' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 + du_1' \\ u_1' + A_{2s}^{(3)}(\bar{u}_1 + d\bar{u}_1')^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_1 - dA_{2s}^{(3)}(\bar{u}_1 + d\bar{u}_1')^2 \\ u_1' + A_{2s}^{(3)}(\bar{u}_1 + d\bar{u}_1')^2 \end{pmatrix} \qquad (10)$$

式中、

【数１３】

$$A_{2s}^{(3)} = k_3 L_3$$

および

【数１４】

$$u_1' = A_{2s}^{(2)}\bar{u}_1^2 + C_{3s}^{(1)}u_1^2\bar{u}_1 + A_{2s}^{(2)}(u_1^4 + 4u_1\bar{u}_1^3)$$

である。

【００１８】

$$(u_1,\ \bar{u}_1)$$

のテイラー級数反転により、ｕ’$_2$は

$$(u_2,\ \bar{u}_2)$$

の関数として書くことができ、その結果、

【数１５】

$$u_2' = 2\frac{\partial S_2}{\partial \bar{u}_2}$$

の関係が得られ、式中、以下のようになる。

【数１６】

$$S_2 = \frac{1}{3}\left(A_{2s}^{(2)} + A_{2s}^{(3)}\right)\mathrm{Re}(\bar{u}_2^3) + \frac{1}{4}C_{3s}^{(1)}u_2^2\bar{u}_2^2 +$$

$$\left(D_{4s}^{(1)} + dC_{3s}^{(1)}A_{2s}^{(3)}\right)\mathrm{Re}(u_2^4\bar{u}_2) + d^2\left[C_{3s}^{(1)}\right]^2 A_{2s}^{(3)}\mathrm{Re}\left(u_2^5\bar{u}_2^2\right) \qquad (11)$$

したがって、本発明の実施形態の３倍収差係数は、次のように書くことができる。

【数１７】

$$A_{2s} = A_{2s}^{(2)} + A_{2s}^{(3)} \qquad (12)$$

【数１８】

$$D_{4s} = D_{4s}^{(1)} + d\,C_{3s}^{(1)}A_{2s}^{(3)} \qquad (13)$$

および

【数１９】

$$D_{6s} = D_{6s,cor} + d^2\left[C_{3s}^{(1)}\right]^2 A_{2s}^{(3)} \qquad (14)$$

式中、$D_{6s,cor}$は、機械的および／または電気的エラーのない補正器の固有の補正器収差である。式（１２）および（１３）を使用すると、次に、$k_2L = -k_3L_3$および$\Delta z = k_2 d / k$の場合、A_{2s}およびD_{4s}がそれぞれ０に等しいことを示すことができる。６次球面収差D_{6s}をこれらの値で書き換えると、次のことがわかる。

【数２０】

$$D_{6s}^{(3)} = D_{6s,cor}^{(2)} + \frac{4}{9}d\,k^5L^7\Delta z = D_{6s,cor} - \sqrt{\frac{3}{2}}d\,L^{-1/2}\left[C_{3s}^{(1)}\right]^{5/2}\Delta z \qquad (15)$$

【００１９】

式（１５）は、位置収差に変換できる。

【数２１】

$$D_6 = D_{6,cor} - \sqrt{\frac{3}{2}}d\,L^{-1/2}C_3^{5/2}f_{eff}^{-3}\Delta z \qquad (16)$$

試料では、

【数２２】

$$C_3 \approx C_{3,obj}$$

は、補正器の外側のレンズの球面収差であり、これは対物レンズ（Ｃ３、ｏｂｊ）の球面収差によって支配され、ｆｅｆｆは転写レンズと対物レンズの有効焦点距離である。有効焦点距離の関係は次のとおりである。

【数２３】

$$f_{eff} = \frac{x}{\alpha} \qquad (16.1)$$

式中、ｘは補正器出口平面内の位置であり、αは試料平面内の対応する角度である。

【００２０】

これらの関係を使用して、荷電粒子顕微鏡システムにおける６次スリーローブＤ６収差を補正する、本開示による補正器を構築することができる。すなわち、一対の一次六極子の下流に二次多極子六極子を有する補正器は、補正器が６次収差を補正するように配置および／または他の方法で構成することができる。例えば、Ｄ６，ｃｏｒが３mmに等しい場合、上記の関係は、収差Ａ２ｓ、Ｄ４ｓ、およびＤ６ｓが六極子シフト△ｚ＝０．５mmで補正できることを示しており、ここで、Ｌ＝１６mm、Ｃ３＝１．４mm、ｄ＝３５mm、およびｆｅｆｆ＝１．６mmである。以下でさらに説明するように、六極子シフト△ｚは、一対の一次六極子が互いに結像されないように物理的に変位することによって、または一対の一次六極子が互いに結像されないように一次六極子間の２つの転写レンズの励起を変更することによって、あるいはそれらの組み合わせによって、達成できる。

【００２１】

式（１）～（９）から式（１２、１３、１４）に進む第２の方法では、出口面に平行ビームを有し、薄レンズ近似で処理される多数の多極子を備えたプローブ補正器が考えられる。補正器の下流の自由空間では、位相関数（Ｓ（ｘ、ｙ、ｚ））は、ＨａｒａｌｄＲｏｓｅの「Ｇｅｏｍｅｔｒｉｃａｌ Ｃｈａｒｇｅｄ－Ｐａｒｔｉｃｌｅ Ｏｐｔｉｃｓ」（Ｓｐｒｉｎｇｅｒ、２００９年）の式２．２１で説明されているアイコナール方程式によって支配され、ここで、ポテンシャルは一定であり、ベクトルポテンシャルはゼロである。したがって、この自由空間の位相関数は、

【数２４】

$$\vec{\nabla}S \cdot \vec{\nabla}S = 1$$

のようにスケーリングされ、次のように書くことができる。

【数２５】

$$\frac{\partial S}{\partial z} = -1 + \sqrt{1 - \frac{\partial S^2}{\partial x} - \frac{\partial S^2}{\partial y}} \approx -\frac{1}{2}\left[\frac{\partial S^2}{\partial x} + \frac{\partial S^2}{\partial y}\right] \qquad (17)$$

対応する光線の勾配は次のように書くことができる。

【数２６】

$$\frac{dx}{dr} = \frac{x'}{\sqrt{1+x'^2+y'^2}} = \frac{\partial S}{\partial x} \qquad (18)$$

および
【数２７】

$$\frac{dy}{dr} = \frac{y'}{\sqrt{1+x'^2+y'^2}} = \frac{\partial S}{\partial y} \qquad (19)$$

式１７の右辺には、非関心成分Ｓ＝ｚを取り除くために、項－１が追加されている。位相関数Ｓ（ｘ、ｙ、ｚ）はｚ依存性収差係数、例えば$A_{2S}=A_{2S}(Z)$を用いて、式（４）のように直列に展開されている。したがって、式（１７）は、これらの係数の非線形微分方程式のセットとして書き直すことができる（例えば、
【数２８】

$$C_{3s}(z)' = -2A_{2s}(z)^2$$

および
【数２９】

$$D_{4s}(z)' = -A_{2s}(z)\,C_{3s}(z)$$

）。これらの微分方程式を用いて、式（９）から始まるドリフト距離d_1にわたって上述した係数

$$A_{2s}^{(2)},\ C_{3s}^{(1)},\ D_{4s}^{(1)}$$

を伝搬させ、補正器出口面に外挿して（すなわち、例えば
【数３０】

$$C_{3s}(z)' = 2A(z)^2$$

および
【数３１】

$$D_{4s}(z)' = A_{2s}(z)\,C_{3s}(z)$$

に対応する式（１７）の逆を用いてd_1にわたって係数を伝搬させて）、以下の３倍収差

を得る。

【数３２】

$$A_{2s} = A_{2s}^{(2)} + A_{2s}^{(3)} \qquad (20)$$

【数３３】

$$D_{4s} = D_{4s}^{(1)} + d_1\, C_{3s}^{(1)} A_{2s}^{(3)} \qquad (21)$$

【数３４】

$$D_{6s} = D_{6s,cor} + d_1^2 \left[C_{3s}^{(1)}\right]^2 A_{2s}^{(3)} \qquad (22)$$

および

【数３５】

$$D_{8s} = D_{8s,cor} + \frac{1}{3} d_1^3 \left[C_{3s}^{(1)}\right]^3 A_{2s}^{(3)} \qquad (23)$$

ここで、$D_{6s,cor}$と$D_{8s,cor}$は固有の補正器収差である。本発明による補正器システムのいくつかの実施形態では、d_1は、補正器の最も下流の一次多極子と補正器の下流の二次多極子との間の距離に対応する。

【００２２】

関係式（２０）～（２２）を使用して、荷電粒子顕微鏡システムにおける６次スリーローブ収差を補正する本開示による補正器を構築することができる。これは、関係式（２０）～（２２）は３つの自由度を含むためである（すなわち、デルタ励起k_2が

$$A_{2s}^{(2)}$$

の発生源であり、励起k_3が

$$A_{2s}^{(3)}$$

の発生源であり、△ｚが

$$D_{4s}^{(1)}$$

の発生源となる）。これらの３つの自由度は、本開示による補正器システムが、一対の一次六極子が特定の六極子シフトを有し、一対の一次六極子の下流に配置された１つ以上の二次六極子を含み、および／または他の方法で、補正器システムの収差の組み合わせが

【数３６】

$$A_{2s} = D_{4s} = D_{6s} = 0$$

（すなわち、２次、４次、および６次のスリーローブ収差の補正）を達成するように構成されるように設計することができる。

【００２３】

さらに、いくつかの実施形態では、本発明による補正器システムは、補正器システムが荷電粒子顕微鏡内で使用される場合、一対の一次多極子と対物レンズとの間に複数の二次多極子を含んでもよい。例えば、補正器システムは、一対の一次多極子の下流の第１の二次多極子、および第１の二次多極子の下流の第２の二次多極子を含んでもよい。このようなシステムの３倍収差を決定するには、式（１７）を使用して係数

$$A_{2s}^{(2)},\ C_{3s}^{(1)},\ D_{4s}^{(1)}$$

を伝播させ、次に、式（１７）の逆を使用して、補正器出口平面に外挿して戻すプロセスを２回行えばよい。第１の反復では、これら２つの計算は、第１の二次多極子に関連付けられたドリフト距離d_1にわたって行うことができ、第２の反復では、計算は、第２の二次多極子に関連付けられたドリフト距離d_2にわたって行うことができる。このプロセスの視覚化の例を図９に示す。さらに、以下の処理は、レンズ９０８および９１０（図９）が励起されない特別な場合に対応することに留意されたい。その他の場合、原理は変わらないが、解析計算が異なる。このプロセスをこのように２回反復すると、補正器システムで次の３倍収差が発生する。

【数３７】

$$A_{2s} = A_{2s}^{(2)} + A_{2s}^{(3)} + A_{2s}^{(4)} \qquad (24)$$

【数３８】

$$D_{4s} = D_{4s}^{(1)} + d_1 C_{3s}^{(1)} A_{2s}^{(3)} + d_2 C_{3s}^{(1)} A_{2s}^{(4)} \qquad (25)$$

【数３９】

$$D_{6s} = D_{6s,cor} + d_1^2 \left[C_{3s}^{(1)}\right]^2 A_{2s}^{(3)} + d_2^2 \left[C_{3s}^{(1)}\right]^2 A_{2s}^{(4)} \qquad (26)$$

および

【数４０】

$$D_{8s} = D_{8s,cor} + \frac{1}{3} d_1^3 \left[C_{3s}^{(1)}\right]^3 A_{2s}^{(3)} + \frac{1}{3} d_2^3 \left[C_{3s}^{(1)}\right]^3 A_{2s}^{(4)} \qquad (27)$$

【００２４】

これらの関係式は、本開示による補正器システムが、一対の一次六極子が特定の六極子シフトを有し、一対の一次六極子の下流に配置された２つ以上の二次六極子を含み、および／または他の方法で、補正器システムの収差の組み合わせが

【数４１】

$$A_{2s} = D_{4s} = D_{6s} = D_{8s} = 0$$

（すなわち、２次、４次、６次、および８次のスリーローブ収差の補正）を達成するように構成されるように設計できることを示している。

【００２５】

あるいは、そのような補正器システムの３倍収差についてこれらの関係を使用して、本開示による、６次スリーローブ収差を補正しながら、一対の一次多極子を互いに結像する補正器システムを構築することができる。これは、全ての一次六極子が互いに結像されていない実施形態と比較して、二次の軸外非点収差が小さいという利点を有する。この場合、

【数４２】

$$D_{4s}^{(1)} = 0$$

となり、つまり、これはもはや自由度ではなくなる。関係式（２４）～（２６）により、一対の一次多極子が互いに結像されたときに、このようなスリーローブ収差を補正することができる。これは、関係式（２４）～（２６）が３つの自由度（つまり、六極子励起が

$$A_{2s}^{(2)},\ A_{2s}^{(3)},\ A_{2s}^{(4)}$$

の発生源となる）を有し、このような補正器システムを設計する（すなわち、具体的に配置および／または構成された一対の一次多極子の下流に２つの二次多極子を有する）ことが可能となり、その結果、追加変数（すなわち、

【数４３】

$$A_{2s} = D_{4s} = D_{6s} = 0$$

）として六極子シフトに依存することなく、６次までの３倍収差を補正できるためである。

【００２６】

図１は、本発明による、６次収差および／またはそれ以上の高次収差を補正するための例示的な多極子補正器１００の図である。図１の説明および矢印は、ＳＥＭまたはＳＴＥＭシステムのプローブ補正器に固有のものである。例示的な多極子補正器１００は、少なくとも第１の一次多極子１０２および第２の一次多極子１０４を含む。多極子は、ｎ／２倍の回転対称性を示す電磁場を生成するための光学素子である。ここで、ｎは偶数の整数である。したがって、多極子の例には、双極子、四極子、六極子などが含まれる。例えば、８つのヨーク／電極を持つ多極子は、任意の向きで双極子場、四極子場、および六極子場を生成できる。

【００２７】

ＳＥＭまたはＳＴＥＭシステムの動作中、荷電粒子ビーム１０６は、中心軸１０８に沿って、多極子補正器の第１の端部１１０に方向付けられる。第２の一次多極子１０４は、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、第１の一次多極子１０２と粒子光学レンズとの間に位置している。例えば、第２の一次多極子１０４は、第１の一次多極子１０２の下流に位置するものとして図１に示されている（すなわち、荷電粒子ビーム１０６は、第２の一次多極子１０４と相互作用する前に第１の一次多極子１０２と相互作用

する）。第１の一次多極子１０２および第２の一次多極子１０４の各々に励起が印加され、それらが荷電粒子ビーム１０６を方向付けて試料に入射する電磁場を生成する。補正器１００がＴＥＭシステム内で動作するように設計されている実施形態では、補正器１００は試料の下流に配置され、荷電粒子ビーム１０８は、第１の一次多極子１０２と相互作用する前に第２の一次多極子１０４と相互作用する。

【００２８】

本発明によれば、第１の一次多極子１０２、第２の一次多極子１０４、およびそれらの間の伝達光学系の寄与により、有意な３倍非点収差A_2および有意な４次スリーローブ収差D_4が生成される。様々な実施形態において、A_2およびD_4を無効にするこの不成功は、第２の一次多極子１０４に印加される励起が第１の一次多極子１０２に印加される励起よりも大きいこと、第１の一次多極子１０２および第２の一次多極子１０４が異なる長さ（すなわち、L_1およびL_2）を有すること、第１の一次多極子１０２および第２の一次多極子１０４が異なるビーム半径を有すること、第１の一次多極子１０２および第２の一次多極子１０４が磁気ヨークの異なる寸法を有すること、第１の一次多極子１０２と第２の一次多極子１０４との間の転写レンズ１１８の非対称性、第１の一次多極子１０２と第２の一次多極子１０４との間の荷電粒子ビーム１０６の光線路の非対称性、一次多極子間の転送光学系は多極子がお互いに結像されないように退避されていること、またはそれらの組み合わせの結果である可能性が高い。代わりに、本発明によれば、本明細書に記載の補正器のこれらの態様の１つ以上は、６次収差および／またはそれ以上の高次収差が補正されるように調整および／または採用される。本明細書で使用される場合、多極子に印加される「励起」という用語は、対応する多極子に印加される励起電圧または励起電流を指す。例えば、補正器１００が電子顕微鏡カラムで使用されている実施形態では、励起とは、特定の多極子に印加され、特定の多極子に多極子場を生成させる電流を指す場合がある。

【００２９】

従来技術の補正器１００では、収差を防止するために、構成要素の多極子が互いに結像されている。しかしながら、６次収差および／またはそれ以上の高次収差を補正するための例示的な多極子補正器１００では、第１の一次多極子１０２は、第２の一次多極子１０４上に結像されず、組み合わせ収差が発生する。例えば、第１の一次多極子１０２および第２の一次多極子１０４がそれぞれ六極子である場合、これは大きな４次収差を発生させる。いくつかの実施形態では、第２の一次多極子１０４上に結像されていない第１の一次多極子１０２は、中心軸１０８に沿って変位している第１の一次多極子１０２の多極子中間面および第２の一次多極子１０４の多極子中間面のうちの１つ以上に対応している。例えば、第１の一次多極子１０２および第２の一次多極子１０４の各々は、中心軸１０８に沿った反対方向に、２つの一次六極子間の距離の０．１ｍｍ、０．５ｍｍ、１ｍｍ、０．１％、０．５％、１％以上まで変位することができる。さらに、荷電粒子ビーム１０６は、中心軸１０８と非平行な角度で第１の一次多極子１０２に入射することができる。例えば、励起は、例示的な多極子補正器１００の上流の１つ以上のレンズに印加することができ、その結果、１つ以上のレンズは、荷電粒子ビームを中心軸１０８と非平行な角度で第１の一次多極子１０２に入射する。

【００３０】

図１は、補正器が荷電粒子顕微鏡システム内で使用される場合（例えば、ＳＥＭ／ＳＴＥＭシステムにおける第２の一次多極子１０４の下流、およびＴＥＭシステムにおける第２の一次多極子１０４の上流）に、第２の一次多極子１０４と粒子光学レンズとの間に配置された二次多極子１１２を含むものとして例示的な多極子補正器１００をさらに示す。二次多極子１１２は、二次多極子１１２によって生成された多極子場が（ｉ）第２の一次多極子１０４上に結像されていない第１の一次多極子１０２によって発生した収差、および（ｉｉ）高次収差を補正するように、配置、励起、および／または他の方法で構成されている。例えば、二次多極子１１２が六極子である場合、二次多極子１１２によって生成された多極子場が（ｉ）第２の一次多極子１０４上に結像されていない第１の一次多極子１０２によって発生した４次収差、および（ｉｉ）６次収差を補正するように、配置、励

起、および／または他の方法で構成されている。

【００３１】

例えば、第１と第２の多極子１０２と１０４との間の励起の変化は、第１の自由度であるシフトとして作用し、△ｚは第２の自由度として作用し（その結果、シフトに比例してスケーリングするD_4収差が発生する）、かつ、二次多極子１１２の励起は、第３の自由度として作用する。これらの値を調整することにより、例示的な多極子補正器１００は、制御されたA_2およびD_4収差を生成することができる（すなわち、Ａ２は、二次多極子１１２の励起値ならびに第１の多極子１０２と第２の多極子１０４との間の励起の変化に依存し、D_4は、二次多極子１１２の励起値およびシフトに依存する）。値を調整することにより、二次多極子１１２の励起値に依存する追加の収差を生成することも可能になり、これは、$D_{6,cor}$と組み合わせることで、システムのD_6収差を補正する。このように、例示的な多極子補正器１００のこれらの値は、２次、４次、および６次収差が補正されるような値である。

【００３２】

このように、そのような荷電粒子顕微鏡の動作中に、例示的な多極子補正器１００が六極子を含む場合、例示的な多極子補正器１００は、６次スリーローブD_6収差を補正する。いくつかの実施形態では、例示的な多極子補正器１００は、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、二次多極子１１２と粒子光学レンズとの間に配置される三次多極子１１４を任意選択で含むことができる。そのような三次多極子１１４は、三次多極子１１４によって生成された多極子場がさらに高次の収差を補正するように配置、励起、および／または他の方法で構成される（例えば、三次多極子１１４が六極子である場合、８次収差を補正することができる）。

【００３３】

本開示によれば、第１の一次六極子１０２、第２の一次六極子１０４、二次多極子１１２、および任意の三次多極子１１４による３倍非点収差A_2への寄与は、合計でゼロになる。

【００３４】

いくつかの実施形態では、例示的な多極子補正器１００は、中間多極子１１６および／または１つ以上の転写レンズ１１８を含むことができる。さらに、図１には示されていないが、例示的な多極子補正器１００はまた、任意選択で、第３の一次多極子を含むことができる。そのような第３の一次多極子は、第１の多極子１０２の上流、第２の多極子１０４の下流、または第１の多極子１０２と第２の多極子１０４との間に位置してもよい。いくつかの実施形態では、生成された六極子場の各々は、ラーモア基準フレーム内のｘｙ平面において同じ向きを有する。あるいは、他の実施形態では、生成された六極子場のうちの１つ以上は、ｘｙ平面および／またはｘｙ平面において同じ向きでなくてもよい。

【００３５】

図１では、多極子補正器１００は、複数の光学部品（すなわち、多極子およびレンズ）を含むボックスとして示されている。様々な実施形態では、これらの光学部品は、保護構造および／または支持構造によって包まれているか、または部分的に包まれていてもよい。さらに、そのような構造を含む実施形態では、１つ以上の光学部品が当該構造内になくてもよい。図１はまた、少なくとも１つの追加の一次多極子１２０を示している。少なくとも１つの追加の一次多極子１０２のうちの個々の多極子は、第１の一次多極子１０２の上流、第２の一次多極子１０４の下流、第１の一次多極子１０２と第２の一次多極子１０４との間、またはそれらの組み合わせにおいて配置され得る。

【００３６】

図２は、本開示による、従来技術の補正器および６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムの補正器伝達光学系の光学的挙動を示す集合的な図面２００を示す。具体的には、図面２１０および２３０は、それぞれ、従来技術の補正器、および６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器１００に存在する収差を考慮するための光学的挙動を示している。

【００３７】

図面２１０は、第１の一次六極子２０２が第２の一次六極子２０４上に結像される従来技術の補正器の一般的なスキームを示している。図面２１０および２３０の各々は、ｘｚ平面における荷電粒子ビーム１０６の軸方向光線２０６を示しており、ｚ軸は、例示的な多極子補正器１００の中心軸１０８に対応している。図面２１０は、荷電粒子ビーム２０６が第１の六極子２０２の入口面２０８に入射するとき、かつ第２の六極子２０４の出口面２１０を出るとき、中心軸１０８に平行であるとして、荷電粒子ビーム２０６の軸方向光線２０６を示している。図面２１０は、第１の六極子２０２が第２の六極子２０４上に結像されるように、第１の六極子２０２の多極子中間面が位置２１２にあり、第２の六極子２０４の多極子中間面が位置２１４にあることをさらに示している。

【００３８】

図面２３０は、第１の一次六極子２０２および第２の一次六極子２０４の両方がそれらの標準位置（すなわち、図面２３０に示されるように、第１の六極子２０２が第２の六極子２０４上に結像される位置）から中心軸１０８に沿って機械的にシフトされた６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムの実施形態を示す。すなわち、図面２３０は、位置２１６にある第１の一次六極子１０２の多極子中間面と、位置２１８にある第２の一次六極子１０４の多極子中間面とを示している。しかしながら、上記のように、他の実施形態では、一次多極子のうちの１つだけがシフトされ得る。あるいは、またはさらに、上記のように、シフトΔｚはまた、転写レンズ１１８を調整することによって効果的に発生するか、または補足することができ、任意選択で、荷電粒子ビーム２０６が中心軸１０８と非平行な角度で第１の一次六極子１０２に入射するように、６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムの上流の１つ以上の光学素子の励起変化と組み合わせる。そのような実施形態では、第１の一次六極子２０２、第２の一次六極子２０４、またはその両方は、従来の慣行における従来の一次六極子位置から機械的にシフトされない場合がある。

【００３９】

図２は、第２の一次六極子１０４の下流に配置される二次多極子１１２を含むものとして、図面２３０の補正器システムをさらに示す。第１の六極子１０２、第２の一次多極子１０４、および二次六極子１１２の各々は、図面２３０に図示される６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムによって生成された収差が組み合わさって少なくとも６次までの収差を補正するように配置され、それぞれ対応する励起によって励起される。

【００４０】

図３は、本発明による、６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム１００を光学カラムに含む試料３０２の構成要素を検査するための例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）３００の図である。すなわち、図３は、構成要素の多極子として六極子を含むＳＴＥＭ多極子補正器システム１００を含む荷電粒子顕微鏡システム（複数可）３００を示している。例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）３００は、荷電粒子のビーム３０４（通常は電子ビームまたはイオンビーム）で試料３０２に照射および／または他の方法で衝突させるように構成された電子顕微鏡（ＥＭ）セットアップまたは電子リソグラフィセットアップを含むことができる。様々な実施形態において、荷電粒子顕微鏡システム３００は、これらには限定されないが、走査型電子顕微鏡（ＳＥＭ）、走査型透過電子顕微鏡（ＳＴＥＭ）、透過型電子顕微鏡（ＴＥＭ）、荷電粒子顕微鏡（ＣＰＭ）、デュアルビーム顕微鏡システムなどのような１つ以上の異なるタイプのＥＭおよび／または荷電粒子顕微鏡であるか、またはこれらを含むことができる。加えて、いくつかの実施形態では、ＴＥＭは、ＳＴＥＭとしても動作することができる。図３は、ＳＴＥＭシステム３０６として、例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）３００を示す。

【００４１】

例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）３００は、荷電粒子ビーム３０４を放出軸３１０に沿って加速レンズ３１２に向けて放出する荷電粒子源３０８（例えば、熱電子源、ショットキー放出源、電界放出源、液体金属イオン源、プラズマイオン源など）を含む。放出軸３１０は、荷電粒子源３０８から例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）３００の長さに沿って、かつ試料３０２を通って走る中心軸である。

【００４２】
加速レンズ３１２は、荷電粒子ビーム３０４を集束カラム３１４に向けて加速／減速、集束、および／または方向付けする。集束カラム３１４は、試料３０２に入射するように荷電粒子ビーム３０４を集束させる。加えて、集束カラム３１４は、荷電粒子ビーム３０４の収差（例えば、幾何学的収差、色収差）を補正および／または調整する。図３では、集束カラム３１４は、本発明による６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム１００、転写レンズ３１８、および対物レンズ３２０を含むものとして示されている。６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム１００は、互いに結像されていない第１の一次多極子１０２および第２の一次多極子１０４を含む。６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム１００はまた、６次までの３倍収差を補正するために、第１の一次多極子１０２および第２の一次多極子１０４によって生成される他の収差と組み合わせて収差を生成するように配置および／または他の方法で構成された二次多極子１１２を含むものとして示されている。図３はまた、中間多極子１１６および一対の転写レンズ１１８を含むものとして、６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム１００を示している。

【００４３】
対物レンズ３２０は、荷電粒子ビーム３０４を試料３０２上の点に集束させる光学素子である。対物レンズ３２０は、単極子レンズ、磁気静電複合レンズ、静電検出器対物レンズ、または別のタイプの対物レンズを含んでもよい。

【００４４】
図３は、試料３０２を保持する試料ホルダ３２２を含むものとして、例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）３００をさらに示している。例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）３００はまた、荷電粒子ビーム３０４が試料３０２に入射する結果として試料３０２を通過する荷電粒子３３６を検出するように構成されている検出器３３４を含むものとして示されている。加えて、例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）３００は、荷電粒子ビーム３０４に試料３０２の表面を走査させるための非点収差補正および走査コイル３３８を含むものとして示されている。例えば、走査コイル３３８を動作させることによって、荷電粒子ビーム３０４の方向は、それが試料３０２の異なる場所に当たるようにシフトすることができる。例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）３００は、試料３０２と検出器３３４との間に配置された１つ以上の投影レンズ３４０をさらに含む。

【００４５】
図３は、コンピューティングデバイス（複数可）３４２を任意選択的に含むものとして、例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）３００をさらに示している。当業者であれば、図３に図示するコンピューティングデバイス３４２は、単なる例示であり、本開示の範囲を限定することを意図するものではないことを理解するであろう。コンピューティングシステムおよびデバイスは、コンピュータ、ネットワークデバイス、インターネット家電製品、ＰＤＡ、無線電話、コントローラ、オシロスコープ、増幅器等を含む、指定された機能を実行することができるハードウェアまたはソフトウェアの任意の組み合わせを含んでもよい。コンピューティングデバイス３４２はまた、図示されていない他のデバイスに接続されてもよく、または代わりに、スタンドアロンシステムとして動作してもよい。

【００４６】
図４は、３つの一次多極子を有する６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム１００を含む例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）４００を示しており、一次多極子の少なくとも１つは、その従来の位置から（物理的並進および／または本明細書に記載されている他の調整を介して）シフトされ、その結果、大きな４次収差が生成される。すなわち、図４は、構成要素の多極子として六極子を含むＳＴＥＭ多極子補正器システム１００を含む荷電粒子顕微鏡システム（複数可）４００を示している。

【００４７】
例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）４００は、放出軸４０８に沿って、かつ加速レンズ４１０に向けて荷電粒子ビーム４０６を放出する荷電粒子源４０４を含む。加速器レンズ４１０は、荷電粒子ビーム４０６を、荷電粒子ビーム４０６が試料４１４に入射

するように集束するように構成された集束カラム４１２に向けて加速／減速、集束、および／または方向付けする。加えて、集束カラム４１２は、荷電粒子ビーム４１６の収差（例えば、幾何学的収差、色収差）を補正および／または調整する。

【００４８】

図４では、集束カラム４１２は、本発明による６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム１００、転写レンズ４１６、および対物レンズ４１８を含むものとして示されている。図４に示される６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム１００は、３つの一次多極子（すなわち、第１の一次多極子４２０、第２の一次多極子４２２、および第３の一次多極子４２４）を含んでおり、一次多極子のうちの少なくとも２つは互いに結像されていない。具体的には、図４では、第２の一次多極子４２２は、第３の一次多極子４２４上に結像されていない。しかしながら、他の実施形態では、３つの一次多極子の他の対が互いに結像されない場合がある。６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム１００はまた、６次までの３倍収差を補正するために、第１の一次多極子４２０、第２の一次多極子４２２、および第３の一次多極子４２４によって生成される他の収差と組み合わせて収差を生成するように配置および／または他の方法で構成された二次多極子４２６を含むものとして示されている。３つの一次六極子がラーモア基準フレーム内で同一の向きを有しない実施形態では、結果として生じる複素収差係数D_4が$D_{6,cor}$と同じ位相を有するように、すなわち、$D_4/D_{6,cor}=(D_{4r}+iD_{4i})/(D_{6r,cor}+iD_{6i,cor})$＝実数値となるように、それらの相互結像条件を調整する必要がある。図４はまた、任意選択の一対の転写レンズ４２８および任意選択の三次多極子４３０を含むものとして、６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム１００を示している。三次多極子４３０を含む実施形態では、$D_{6,cor}/D_{8,cor}$が実数値に近い場合、かつ一次六極子D_4が$D_4/D_{6,cor}$＝実数値になるように調整されている場合、三次多極子４３０は、６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム１００の他の多極子によって生成される累積収差と組み合わされて８次収差を補正する収差を生成するように配置および／または励起することができる。図４は、二次多極子４２６と三次多極子４３０との間に位置するものとして転写レンズ４１６を示しているが、他の実施形態では、転写レンズ４１６は、第３の一次多極子４２４と二次多極子４２６との間、または三次多極子４３０の下流に配置することができる。

【００４９】

図４は、試料４１４を保持する試料ホルダ４３２を含むものとして、例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）４００をさらに示している。例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）４００はまた、荷電粒子ビーム４０６が試料４１４に入射する結果として試料４１４を通過する荷電粒子を検出するように構成されている検出器４３４を含むものとして示されている。加えて、例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）４００は、荷電粒子ビーム４０６に試料４１４の表面を走査させるための非点収差補正および走査コイル４３６を含むものとして示されている。

【００５０】

例えば、走査コイル４３６を動作させることによって、荷電粒子ビーム４１６の方向は、荷電粒子ビーム４１６が試料４１４の異なる場所に当たるようにシフトすることができる。例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）４００は、試料４１４と検出器４３４との間に配置された１つ以上の投影レンズ４３８をさらに含む。図４は、コンピューティングデバイス（複数可）４４０を任意選択的に含むものとして、例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）４００をさらに示している。

【００５１】

図５は、従来の補正器システムの光学性能を示している。図５は、一対の一次多極子が互いに結像される従来の補正器システムの光学性能を示している。図５は、荷電粒子ビームの軸方向光線５０２のビーム経路と、システムが特定の加速電圧で動作している一次六極子の中心にクロスオーバを有する荷電粒子ビームの軸外光線５０４のビーム経路との両方を示してる。図５～８の各々において、線５０６は、それぞれのシステムの軸方向磁場を示している。線５０６がゼロ以外である場合、転写レンズ１１８などの磁気レンズが存

在することを示している。

【００５２】

図６～８は、本開示による補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムの光学性能の図である。図６は、８次収差を補正するために二次多極子１１２の下流に配置される三次多極子１１４を有する補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムの光学性能を示している。図６は、荷電粒子ビームの軸方向光線６０２のビーム経路と、システムが特定の加速電圧で動作している荷電粒子ビームの軸外光線６０４のビーム経路の両方を示している。第１の一次多極子１０２の分解画像６０６に見られるように、軸外光線６０４は、第１の一次多極子１０２の多極子中間面でシステムの中心軸１０８を横切らない。むしろ、軸外光線６０４は、第１の一次多極子１０２の多極子中間面からΔｚの変位で中心軸１０８を横切る。上述のように、Δｚは、従来の補正器と比較した一次多極子の変位に基づいて、転写レンズ１１８の励起の変化、またはそれらの組み合わせによって発生し得る。さらに、補正器の上流のレンズを調整して、非平行入射ビームを生成することができる。他の実施形態では、軸外光線６０４は、第２の一次多極子１０２の多極子中間面で中心軸１０８を通過するが、第２の一次多極子１０４の多極子中間面では中心軸１０８を通過しない。

【００５３】

図７は、一次多極子が互いに結像されておらず、第２の一次多極子が非対称に変位している、補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムの光学性能を示す。図７は、荷電粒子ビームの軸方向光線７０２のビーム経路と、システムが特定の加速電圧で動作している荷電粒子ビームの軸外光線７０４のビーム経路の両方を示している。

【００５４】

分解画像７０６に見られるように、図示の実施形態における第２の一次多極子１０４は、従来の補正器システムにおける従来の多極子７０８の長さL_2とは異なる長さL_1を有する。さらに、図７では、第１の一次多極子１０２の長さL_2は、第２の一次多極子１０４の長さL_1とは異なる。図７は、従来の補正器システムにおける従来の多極子７０８の多極子中間面７０５の位置からΔｚだけシフトされている第２の一次多極子１０４の多極子中間面７０３を図示している。図７に図示されるこのシフトΔｚは非対称である。すなわち、図７は、中間面における補正器の対称性が放棄されるように、一次多極子のうちの１つのみが変位される実施形態を示す。シフトΔｚ、第２の多極子１０４の長さL_1、二次多極子１１２の位置、二次多極子１１２に印加される励起、またはそれらの組み合わせの値は、高次収差が補正されるように調整することができる。例えば、多極子が六極子である場合、値の組み合わせは、適切な一次六極子励起レベルに対して$A_2＝D_4＝D_6＝0$（または異なる最適値（複数可））になるように設定できる。

【００５５】

いくつかの実施形態では、第１の一次多極子１０２の長さは、二次多極子１０４の長さL_1よりも短い。そのような実施形態では、第１の一次多極子１０２と第２の一次多極子１０４との間の長さ差、シフトΔｚ、第２の一次多極子１０４の長さL_1、二次多極子１１２の位置、二次多極子１１２に印加される励起、またはそれらの組み合わせの値は、高次収差が補正されるように調整することができる。例えば、多極子が六極子である場合、値の組み合わせは、適切な一次六極子励起レベルに対して$A_2＝D_4＝D_6＝D_8＝0$（または異なる最適値（複数可））になるように設定できる。すなわち、第１の一次多極子１０２と第２の一次多極子１０４との間の長さの差により、本開示による補正器は、三次多極子１１４を必要とせずに、８次収差D_8を補正することができる。

【００５６】

図８は、非対称光線経路を有する補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムの光学性能を示す。図８は、荷電粒子ビームの軸方向光線８０２のビーム経路と、システムが特定の加速電圧で動作している荷電粒子ビームの軸外光線８０４のビーム経路の両方を示している。図８に見られるように、レンズ１１８の励起、第２の一次多極子１０４のシフトΔｚ、第２の一次多極子１０４の長さ、第２の一次多極子１０４に印加される励起、またはそれらの組み合わせのうちの１つ以上により、軸方向光線８０２の経路が、それが補正器を通って

進むときに非対称となる。これらの値および上述したその他の値は、適切な一次六極子励起レベルに対して$A_2 = D_4 = D_6 = 0$（または異なる最適値（複数可））になるように調整できる。

【００５７】

図９は、少なくとも一対の一次多極子と、６次以上の収差を補正するために組み合わされる収差を生成するように配置および／または他の方法で構成された一対の一次多極子の下流に配置される複数の多極子とを含む、６次収差を補正するための例示的な多極子補正器システム９００を示す図である。

【００５８】

具体的には、図９は、一対の一次多極子１０２および１０４、二次多極子１１２、および三次多極子１１４を含む、本開示による補正器を示している。上述のように、三次多極子１１４を含めることにより、多極子補正器システム９００は、一対の一次多極子１０２および１０４が互いに結像されるときに、６次までのスリーローブ収差を補正することができる。あるいは、第１の一次多極子１０２および第２の一次多極子１０４が互いに結像されていない場合、三次多極子１１４は、多極子補正器システム９００が８次までのスリーローブ収差を補正することを可能にする。

【００５９】

上記のように、多極子は、双極子、四極子、六極子、八極子などのいずれかに対応することができる。例えば、多極子１０４、１１２、および／または１１４が六極子場に対応する場合、本明細書に記載の方法を使用して、任意の方向の（固有および／または寄生の）３倍収差を６次まで（かつ、いくつかの実施形態において６次まで）無効にする多極子補正器システム９００を設計および／または構成することができる。別の例として、多極子が八極子場に対応する場合、本明細書に記載の方法を使用して、任意の方向の（固有および／または寄生の）４倍収差を７次まで無効にする多極子補正器システム９００を設計および／または構成することができる。

【００６０】

いくつかの実施形態では、例示的な多極子補正器システム９００は、一対の一次多極子１０２および１０４を超えた追加の一次多極子を含むことができる。例えば、いくつかの実施形態では、例示的な多極子補正器システム９００は、４つまたは６つの一次多極子（例えば、四極子八極子補正器）を含むことができる。そのような実施形態では、第２の多極子１０４は、二次多極子１１２に最も近い一次多極子に対応する。

【００６１】

図９は、対物レンズ９０６によって試料９０４上に方向付けられる荷電粒子ビーム９０２を示している。図９はまた、例えば、ローレンツ顕微鏡法など、無磁場環境で試料を研究するために、顕微鏡システムが対物レンズ９０６（およびプローブ形成レンズとしての第１の上流レンズ）をオフにした状態で動作することを可能にする転写レンズ９１０および任意選択の転写レンズ９０８を示す。

【００６２】

図１０は、６次収差を補正するための例示的な多極子補正器システム９００を含む例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）１０００を示す。図１０に示される例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）１０００は、標準動作モードおよびローレンツ動作モードで動作することができるＳＥＭシステム１００２である。すなわち、荷電粒子ビーム１００４の経路は、例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）１０００の動作モードに応じて変化する。

【００６３】

例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）１０００は、放出軸１０１０に沿って、かつ加速レンズ１０１２に向けて荷電粒子ビーム１００４を放出する荷電粒子源１００８を含み、加速器レンズ１０１２は、荷電粒子ビーム１００４を、荷電粒子ビーム１００４が試料１０１６に入射するように集束するように構成された集束カラム１０１４に向けて加速／減速、集束、および／または方向付けする。集束カラム１０１４は、例示的な多極子

補正器システム９００および複数のレンズ１０１８の配置を含むものとして示されている。いくつかの実施形態では、例示的な荷電粒子顕微鏡システム１０００がローレンツモードで動作しているとき、対物レンズ１０２０はオフにされる。そのような実施形態では、ローレンツレンズ１０２２は、対物レンズのように作用し、荷電粒子ビーム１００４を試料１０１６上に集束させる。

【００６４】

図１０は、試料１０１６を保持する試料ホルダ１０２４を含むものとして、例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）１０００をさらに示している。例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）１０００はまた、荷電粒子ビーム１００４が試料１０１６に入射する結果として試料１０１６によって放出および／または反射される荷電粒子を検出するように構成されている検出器１０２６を含むものとして示されている。加えて、例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）１０００は、荷電粒子ビーム１００４に試料１０１６の表面を走査させるための非点収差補正および走査コイル１０２８を含むものとして示されている。図１０は、コンピューティングデバイス（複数可）１０３０を任意選択的に含むものとして、例示的な荷電粒子顕微鏡システム（複数可）１０００をさらに示している。

【００６５】

図１１は、６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムの第１の一次多極子、第２の一次多極子、および二次多極子の主収差が様々な段階で組み合わされて様々な次数の収差を補正する様子を示す図面１１００である。図面１１００は、第１の一次多極子１０２および第２の一次多極子１０４の各々に印加される第１の励起レベル１１０２、第２の一次多極子１０４に付加的に印加される第２の励起レベル１１０４、および二次多極子１１２に印加される第３の励起レベル１１０６を示す。図面１１００はまた、そのような励起レベルの印加によって生成される支配的収差１１０８、およびこれらの収差を使用して二次の３倍非点収差を補正する方法の関係式１１１０を示す。

【００６６】

図面１１１０の異なる多極子は、ビーム経路の異なる位置に配置されている。これらの異なる位置は、次の効果によって組み合わせ収差を引き起こす。

第１の多極子M_1は、光線の方向を、最低次ではその支配的収差m_1に比例する量だけ変化させる。

光線が第２の多極子M_2に伝播する間、この方向の変化は、第２の多極子での光線の追加のシフトdxをもたらす（すなわち、ビームの収束経路または発散経路のためにすでに存在し得るシフトに追加される）。この追加のシフトdxは、m_1に比例し、これら２つの多極子間の距離dに比例する（$dx \sim m_1 d$）。

このdxにより、第２の多極子が光線の追加の偏向dx'を引き起こす（つまり、第１の多極子がない場合に第２の多極子が行う作用に加えられる）。この追加のdx'は、dxと第２の多極子の支配的収差m_2の両方に比例する（$dx' \sim m_2 dx \sim m_1 m_2 d$）。この追加は、多極子$M_1$および$M_2$の組み合わせ収差と呼ばれている。これは、$M_1$および$M_2$の最低次効果によって生成されるので、一次組み合わせ収差として分類することができる。

同様に、第１の多極子の二次低次効果は、第２の多極子のシフト$(m_1 d)^2$を発生させ、これは、二次組み合わせ収差$dx' \sim m_1^2 m_2 d^2$として分類することができる。

【００６７】

この組み合わせ収差の概念は、ある多極子と別の多極子の組み合わせだけでなく、１組の光学素子（そのうちの支配的収差が負の球面収差である、２つの六極子と２つの転写レンズで構成される六極子補正器など）と多極子の組み合わせ、またはある１組の光学素子と別の１組の光学素子の組み合わせにも適用できる。本開示において、組み合わせ収差という一般用語は、任意の一次組み合わせ収差、二次組み合わせ収差、三次組み合わせ収差など、および／またはそれらの組み合わせを指すことを意図している。

【００６８】

図面１１００はまた、励起レベルの印加によって生成された一次組み合わせ収差１１１２、および一次組み合わせ収差を使用して４次３倍収差を補正する方法についての関係式

１１１４を示している。最後に、図面１１００はまた、励起レベルの印加によって生成される二次組み合わせ収差１１１６を図示しており、これは、６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムが最適に構成されるとき、顕微鏡システムの６次スリーローブ収差を補正する。

【００６９】

図１２は、少なくとも一対の一次多極子と、６次以上の収差を補正するために組み合わされる収差を生成するように配置および／または他の方法で構成された一対の一次多極子の下流に配置された複数の多極子とを含む、６次収差を補正するための例示的な多極子補正器システム１２００の図である。

【００７０】

具体的には、図１２は、一次多極子１２０２の（そのうちの２つが一次多極子１０２および１０４に対応する）トライアド、二次多極子１１２、および任意選択の三次多極子１１４を含む、本開示による多極子補正器システム１２００を示す。上述のように、三次多極子１１４を含めることにより、多極子補正器システム１２００は、一次多極子１２０２のトライアドが互いに結像されるときに、それらがD_4を生成しないという意味で、６次までのスリーローブ収差を補正することができる。あるいは、一次多極子１２０２のトライアドが互いに結像されていない場合、三次多極子１１４は、多極子補正器システム１２００が８次までのスリーローブ収差を補正することを可能にする。あるいは、一次多極子１２０２の相互画像条件および二次多極子１１２および１１４の励起は、６次までのスリーローブ収差全てが補正され、二次軸外非点収差がゼロになるように調整することができる。

【００７１】

図１２は、複数の弱い六極子１２０４（例えば、弱い六極子）を任意選択で含むものとしての多極子補正器システムをさらに示している。いくつかの実施形態では、複数の弱い多極子は、軸外コマを補正するために、２つの反対称的な一対の弱い多極子を含むことができる。図１２は、対物レンズ１２１０によって試料１２０８上に方向付けられる荷電粒子ビーム１２０６をさらに示している。

【００７２】

図１３は、一対の一次多極子と、弱い円形転写レンズを含む複数の転写レンズと、６次以上の収差を補正するために組み合わされる収差を生成するように配置および／または他の方法で構成された一対の一次多極子の下流に配置された複数の多極子とを含む、６次収差を補正するための例示的な多極子補正器システム１３００の図である。

【００７３】

具体的には、図１３は、転写レンズ多極子１３０２（弱い円形転写レンズに対応する中央転写レンズ）のトライアド、二次多極子１１２、および任意選択の三次多極子１１４を含む、本開示による多極子補正器システム１３００を示す。上述のように、三次多極子１１４を含めることにより、多極子補正器システム１３００は、一対の一次多極子１０２および１０４が互いに結像されるときに、６次までのスリーローブ収差を補正することができる。あるいは、第１の一次多極子１０２および第２の一次多極子１０４が互いに結像されていない場合、三次多極子１１４は、多極子補正器システム１３００が８次までのスリーローブ収差を補正することを可能にする。いくつかの実施形態では、第１の一次多極子１０２の長さは、第２の一次多極子１０４の長さよりも異なってもよく、その結果、第１の一次多極子１０２および第２の一次多極子１０４は、互いに結像されない。図１３は、対物レンズ１３０６によって試料１３０４上に方向付けられる荷電粒子ビーム１０６をさらに示している。

【００７４】

図１４～１６は、それぞれ、従来の補正システム、６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システム、８次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムを備えた顕微鏡システムによって生成されたフラットロンチグラム画像である。ロンチグラムは、回折面上に形成された試料の投影画像（パターン）であり、プローブ形成レンズを使用して試料の近くに収束入射電子ビームが集束される。フラットロンチグラムは、顕微鏡システムでの補正器性能を説明するた

めに使用される。図１４と図１５～１６を比較すると、６次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムと８次補正ＳＴＥＭ多極子補正器システムは、５次まで補正された従来の補正器システム（すなわち、半角度～８０ｍｒａｄ未満）よりも大きな収差自由領域（すなわち、半角度～１００ｍｒａｄ）を発生させる。

【００７５】

本開示による本発明の主題の例は、以下に列挙される段落で説明される。

【００７６】

Ａ１．荷電粒子システムにおける軸収差を補正するための補正器であって、

第１の一次六極子であって、第１の励起が第１の一次六極子に印加されるときに、第１の一次六極子場を生成する、第１の一次六極子と、

第２の一次六極子であって、第２の励起が第２の一次六極子に印加されるときに、第２の一次六極子場を生成し、荷電粒子システムで使用されるときに、第２の一次六極子が、第１の一次六極子と球面収差の発生源であるレンズとの間に配置され、第１の一次六極子が、第２の一次六極子上に結像されないため、組み合わせ４次収差が発生する、第２の一次六極子と、

４次収差および６次収差を補正するための二次六極子であって、二次六極子は、荷電粒子システム内で補正器が使用されるときに、第２の一次六極子とレンズとの間に配置される、二次六極子と、を備える、補正器。

【００７７】

Ａ１．０．１．球面収差の発生源となるレンズが、粒子光学レンズである、パラグラフＡ１の補正器。

【００７８】

Ａ１．０．２．レンズは、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、対物レンズとして作用する、パラグラフＡ１～Ａ１．０．１のいずれかの補正器。

【００７９】

Ａ１．０．３．レンズは、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、球面収差の主な発生源である、パラグラフＡ１～Ａ１．０．２のいずれかの補正器。

【００８０】

Ａ１．０．４．荷電粒子システムが、荷電粒子顕微鏡システムである、パラグラフＡ１～Ａ１．０．３のいずれかの補正器。

【００８１】

Ａ１．０．５．荷電粒子システムが、電子顕微鏡システムである、パラグラフＡ１～Ａ１．０．４のいずれかの補正器。

【００８２】

Ａ１．１．二次六極子は、第３の励起が二次六極子に印加されるときに、第３の六極子場を生成するように構成される、パラグラフＡ１～Ａ１．０．５のいずれかの補正器。

【００８３】

Ａ１．１．１．第３の六極子場が、４次収差および６次収差を補正する１つ以上の収差を発生させる、パラグラフＡ１．１の補正器。

【００８４】

Ａ１．２．８次収差を補正するための三次六極子をさらに備え、三次六極子は、荷電粒子システム内で補正器が使用されるときに、二次六極子とレンズとの間に配置される、パラグラフＡ１～Ａ１．１．１のいずれかの補正器。

【００８５】

Ａ１．２．１．三次六極子は、第４の励起が三次六極子に印加されるときに、第４の六極子場を生成するように構成される、パラグラフＡ１．２の補正器。

【００８６】

Ａ１．２．１．１．第４の六極子場が、８次収差を補正する１つ以上の収差を発生させる、パラグラフＡ１．２．１の補正器。

【００８７】

Ａ１．２．１．１．１．第４の六極子場が、８次収差を補正する１つ以上の組み合わせ収差（例えば、一次組み合わせ収差、二次組み合わせ収差など）を発生させる、パラグラフＡ１．２．１．１の補正器。

【００８８】

Ａ２．二次六極子が、４次収差を補正する一次組み合わせ収差を発生させる２次収差を発生させる、パラグラフＡ１～Ａ１．２．１．１のいずれかの補正器。

【００８９】

Ａ２．１．第１の組み合わせ収差が、一次組み合わせ収差を含むか、または一次組み合わせ収差に対応する、パラグラフＡ２の補正器。

【００９０】

Ａ２．２．第１の組み合わせ収差が、二次組み合わせ収差を含むか、または二次組み合わせ収差に対応する、パラグラフＡ２の補正器。

【００９１】

Ａ３．二次六極子は、荷電粒子顕微鏡の光学カラムに配置されたときに、補正器と対物レンズとの間のドリフト空間によって発生する位置収差が、二次六極子によって生成される追加の収差と組み合わされて、６次収差を補正する第２の組み合わせ収差を形成するように構成される、パラグラフＡ１～Ａ２．２のいずれかの補正器。

【００９２】

Ａ３．１．第２の組み合わせ収差が、一次組み合わせ収差を含むか、または一次組み合わせ収差に対応する、パラグラフＡ３の補正器。

【００９３】

Ａ３．２．第２の組み合わせ収差が、二次組み合わせ収差を含むか、または二次組み合わせ収差に対応する、パラグラフＡ３の補正器。

【００９４】

Ａ４．第１の一次六極子の寄与、第２の一次六極子の寄与、および第１の一次六極子と第２の一次六極子との間の任意の伝達光学系の寄与が相殺されない、パラグラフＡ１～Ａ３．２のいずれかの補正器。

【００９５】

Ａ４．１．第１の励起は、第１の一次六極子に印加されるときに、第１の一次六極子に第１の一次六極子場を生成させる励起電圧に対応する、パラグラフＡ４の補正器。

【００９６】

Ａ４．２．第１の励起は、第１の一次六極子に印加されるときに、第１の一次六極子に第１の一次六極子場を生成させる励起電流に対応する、パラグラフＡ４の補正器。

【００９７】

Ａ４．３．第２の励起が第１の励起よりも大きい、パラグラフＡ４～Ａ４．２のいずれかの補正器。

【００９８】

Ａ４．４．第１の一次六極子の寄与、第２の一次六極子の寄与、および第１の一次六極子と第２の一次六極子との間の任意の伝達光学系の寄与が、３倍非点収差A_2および４次スリーローブ収差D_4を生成する、パラグラフＡ４～Ａ４．３のいずれかの補正器。

【００９９】

Ａ５．第２の一次六極子上に結像されていない第１の一次六極子が、第１の一次六極子が第２の一次六極子上に結像される位置からの軸に沿った第１の一次六極子の第１の変位に対応する、パラグラフＡ１～Ａ４．４のいずれかの補正器。

【０１００】

Ａ５．１．第１の変位が０．１ｍｍ、０．５ｍｍ、１ｍｍまたはそれ以上である、パラグラフＡ５の補正器。

【０１０１】

Ａ５．２．第１の変位が２つの一次六極子間の距離の０．１％、０．５％、または１％以上である、パラグラフＡ５の補正器。

【０１０２】
Ａ６．第２の一次六極子上に結像されていない第１の一次六極子が、第１の一次六極子が第２の一次六極子上に結像される位置からの軸に沿った第２の一次六極子の第２の変位に対応する、パラグラフＡ１～Ａ５．２のいずれかの補正器。
【０１０３】
Ａ６．１．第２の変位が０．１ｍｍ、０．５ｍｍ、１ｍｍまたはそれ以上である、パラグラフＡ６の補正器。
【０１０４】
Ａ６．２．第２の変位が２つの一次六極子間の距離の０．１％、０．５％、または１％以上である、パラグラフＡ６の補正器。
【０１０５】
Ａ７．第１の変位が第２の変位と同じ大きさである、Ａ５～Ａ５．１に依存する場合の、パラグラフＡ６～Ａ６．２のいずれかの補正器。
【０１０６】
Ａ８．第１の変位は第２の変位と対向する方向である、Ａ５～Ａ５．１に依存する場合の、パラグラフＡ６～Ａ７のいずれかの補正器。
【０１０７】
Ａ９．六極子上に結像されていない第１の一次六極子が、非平行角度で第１の一次六極子に入射するビームに対応する、パラグラフＡ１～Ａ４のいずれかの補正器。
【０１０８】
Ａ９．１．六極子上に結像されていない第１の一次六極子が、補正器の上流のレンズのうちの１つ以上のレンズ励起に対応し、ビームが非平行角度で第１の一次六極子に入射する、パラグラフＡ９の補正器。
【０１０９】
Ａ９．２．非平行角度で第１の一次六極子に入射するビームが、発散角で第１の一次六極子に入射するビームに対応する、パラグラフＡ９の補正器。
【０１１０】
Ａ１０．第１の一次六極子と第２の一次六極子との間の１つ以上の転写レンズのセットをさらに含む、パラグラフＡ１～Ａ９．２のいずれかの補正器。
【０１１１】
Ａ１１．第１の一次六極子と第２の一次六極子との間に配置された第３の六極子をさらに含む、パラグラフＡ１～Ａ９．１のいずれかの補正器。
【０１１２】
Ａ１１．１．第１の一次六極子と第３の六極子との間の１つ以上の転写レンズの第１のセットと、第３の六極子と第２の一次六極子との間の１つ以上の転写レンズの第２のセットとをさらに含む、パラグラフＡ１の補正器。
【０１１３】
Ａ１１．２．第１の一次六極子と第２の一次六極子との間に配置された第３の一次六極子が、第３の一次六極子である、パラグラフＡ１１～Ａ１１．１のいずれかの補正器。
【０１１４】
Ａ１１．３．第１の一次六極子と第２の一次六極子との間に配置された第３の六極子が、弱い中間六極子である、パラグラフＡ１１～Ａ１１．２のいずれかの補正器。
【０１１５】
Ａ１２．第１の一次六極子の上流に配置された第３の六極子をさらに含む、パラグラフＡ１～Ａ１２．４のいずれかの補正器。
【０１１６】
Ａ１２．１．第３の六極子と第１の一次六極子との間の１つ以上の転写レンズの第１のセットと、第１の一次六極子と第２の一次六極子との間の１つ以上の転写レンズの第２のセットとをさらに含む、パラグラフＡ２の補正器。
【０１１７】

Ａ１３．第２の一次六極子と二次六極子との間に配置された第３の六極子をさらに含む、パラグラフＡ１～Ａ９．１のいずれかの補正器。

【０１１８】

Ａ１３．１．第１の一次六極子と第２の一次六極子との間の１つ以上の転写レンズの第１のセットと、第２の一次六極子と第３の六極子との間の１つ以上の転写レンズの第２のセットとをさらに含む、パラグラフＡ１３の補正器。

【０１１９】

Ａ１４．第１の一次六極子の第１の長さが、第２の一次六極子の第２の長さとは異なる、パラグラフＡ１～Ａ１３．１のいずれかの補正器。

【０１２０】

Ａ１４．１．第２の長さが第１の長さよりも大きい、パラグラフＡ１４の補正器。

【０１２１】

Ａ１５．１つ以上の追加の一次六極子をさらに含む、パラグラフＢ１～Ｂ１４．１のいずれかの補正器。

【０１２２】

Ａ１５．１．追加の励起が１つ以上の追加の一次六極子の少なくとも１つに印加されると、組み合わせ４次収差に寄与する追加の六極子場が発生する、パラグラフＢ１５の補正器。

【０１２３】

Ｂ１．荷電粒子システムにおける軸収差を補正するための補正器であって、

第１の一次多極子であって、第１の励起が第１の一次多極子に印加されるときに、第１の一次多極子場を生成する、第１の一次多極子と、

第２の一次多極子であって、第２の励起が第２の一次多極子に印加されるときに、第２の一次多極子場を生成し、荷電粒子システム内で補正器が使用されるときに、第２の一次多極子が、第１の一次多極子と球面収差の発生源であるレンズとの間に配置され、第１の一次多極子が、第２の一次多極子上に結像されないため、組み合わせ４次収差が発生する、第２の一次多極子と、

４次収差および６次収差を補正するための二次多極子であって、二次多極子が、荷電粒子システム内で補正器が使用されるときに、第２の一次多極子とレンズとの間に配置される、二次多極子と、を備える、補正器。

【０１２４】

Ｂ１．０．１．球面収差の主な発生源となるレンズが、粒子光学レンズである、パラグラフＢ１の補正器。

【０１２５】

Ｂ１．０．２．レンズは、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、対物レンズとして作用する、パラグラフＢ１～Ｂ１．０．１のいずれかの補正器。

【０１２６】

Ｂ１．０．３．レンズは、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、球面収差の主な発生源である、パラグラフＢ１～Ｂ１．０．２のいずれかの補正器。

【０１２７】

Ｂ１．０．４．荷電粒子システムが、荷電粒子顕微鏡システムである、パラグラフＢ１～Ｂ１．０．３のいずれかの補正器。

【０１２８】

Ｂ１．０．５．荷電粒子システムが、電子顕微鏡システムである、パラグラフＢ１～Ｂ１．０．４のいずれかの補正器。

【０１２９】

Ｂ１．１．二次多極子は、第３の励起が二次多極子に印加されるときに、第３の多極子場を生成するように構成される、パラグラフＢ１～Ｂ１．０．１のいずれかの補正器。

【０１３０】

Ｂ１．１．１．第３の多極子場が、４次収差および６次収差を補正する１つ以上の収差

を発生させる、パラグラフＢ１．１の補正器。
【０１３１】
Ｂ１．２．８次収差を補正するための三次多極子をさらに備え、三次多極子は、荷電粒子システム内で補正器が使用されるときに、二次多極子とレンズとの間に配置される、パラグラフＢ１の補正器。
【０１３２】
Ｂ１．２．１．三次多極子は、第４の励起が三次多極子に印加されるときに、第４の多極子場を生成するように構成される、パラグラフＢ１．２の補正器。
【０１３３】
Ｂ１．２．１．１．第４の多極子場が、８次収差を補正する１つ以上の収差を発生させる、パラグラフＢ１．２．１の補正器。
【０１３４】
Ｂ１．２．１．１．１．第４の六極子場が、８次収差を補正する１つ以上の組み合わせ収差（例えば、一次組み合わせ収差、二次組み合わせ収差など）を発生させる、パラグラフＢ１．２．１．１の補正器。
【０１３５】
Ｂ２．二次多極子が、４次収差を補正する１．１次組み合わせ収差を生成する２次収差を生成する、パラグラフＢ１～Ｂ１．１．１のいずれかの補正器。
【０１３６】
Ｂ２．１．第１の組み合わせ収差が、一次組み合わせ収差を含むか、または一次組み合わせ収差に対応する、パラグラフＢ２の補正器。
【０１３７】
Ｂ２．２．第１の組み合わせ収差が、二次組み合わせ収差を含むか、または二次組み合わせ収差に対応する、パラグラフＢ２の補正器。
【０１３８】
Ｂ３．二次多極子は、荷電粒子顕微鏡の光学カラムに配置されたときに、補正器と対物レンズとの間のドリフト空間によって発生する位置収差が、二次多極子によって生成される追加の収差と組み合わされて、６次収差を補正する第２の組み合わせ収差を形成するように構成される、パラグラフＢ１～Ｂ２．２のいずれかの補正器。
【０１３９】
Ｂ３．１．第１の組み合わせ収差が、一次組み合わせ収差を含むか、または一次組み合わせ収差に対応する、パラグラフＢ３の補正器。
【０１４０】
Ｂ３．２．第１の組み合わせ収差が、二次組み合わせ収差を含むか、または二次組み合わせ収差に対応する、パラグラフＢ３の補正器。
【０１４１】
Ｂ４．第１の一次多極子の寄与、第２の一次多極子の寄与、および第１の一次多極子と第２の一次多極子との間の任意の伝達光学系の寄与が相殺されない、パラグラフＢ１～Ｂ３．２のいずれかの補正器。
【０１４２】
Ｂ４．１．第１の励起は、第１の一次多極子に印加されるときに、第１の一次多極子に第１の一次多極子場を生成させる励起電圧に対応する、パラグラフＢ４の補正器。
【０１４３】
Ｂ４．２．第１の励起は、第１の一次多極子に印加されるときに、第１の一次多極子に第１の一次多極子場を生成させる励起電流に対応する、パラグラフＢ４の補正器。
【０１４４】
Ｂ４．３．第２の励起が第１の励起よりも大きい、パラグラフＢ４～Ｂ４．２のいずれかの補正器。
【０１４５】
Ｂ４．４．第１の一次多極子の寄与、第２の一次多極子の寄与、および第１の一次多極

子と第２の一次多極子との間の任意の伝達光学系の寄与が、３倍非点収差A_2および４次スリーローブ収差D_4を生成する、パラグラフＢ４～Ｂ４．３のいずれかの補正器。

【０１４６】

Ｂ５．第２の一次多極子上に結像されていない第１の一次多極子が、第１の一次多極子が第２の一次多極子上に結像される位置からの軸に沿った第１の一次多極子の第１の変位に対応する、パラグラフＢ１～Ｂ４．４のいずれかの補正器。

【０１４７】

Ｂ５．１．第１の変位が０．１ｍｍ、０．５ｍｍ、１ｍｍまたはそれ以上である、パラグラフＢ５の補正器。

【０１４８】

Ｂ５．２．第１の変位が２つの一次多極子間の距離の０．１％、０．５％、または１％以上である、パラグラフＢ５の補正器。

【０１４９】

Ｂ６．第２の一次多極子上に結像されていない第１の一次多極子が、第１の一次多極子が第２の一次多極子上に結像される位置からの軸に沿った第２の一次多極子の第２の変位に対応する、パラグラフＢ１～Ｂ５．２のいずれかの補正器。

【０１５０】

Ｂ６．１．第２の変位が０．１ｍｍ、０．５ｍｍ、１ｍｍまたはそれ以上である、パラグラフＢ６の補正器。

【０１５１】

Ｂ６．２．第１の変位が２つの一次多極子間の距離の０．１％、０．５％、または１％以上である、パラグラフＢ６の補正器。

【０１５２】

Ｂ７．第１の変位が第２の変位と同じ大きさである、Ｂ５～Ｂ５．１に依存する場合の、パラグラフＢ６～Ｂ６．２のいずれかの補正器。

【０１５３】

Ｂ８．第１の変位は第２の変位と対向する方向である、Ｂ５～Ｂ５．１に依存する場合の、パラグラフＢ６～Ｂ７のいずれかの補正器。

【０１５４】

Ｂ９．多極子上に結像されていない第１の一次多極子が、発散角または収束角のうちの１つで第１の一次多極子に入射するビームに対応する、パラグラフＢ１～Ｂ４のいずれかの補正器。

【０１５５】

Ｂ９．１．多極子上に結像されていない第１の一次多極子が、補正器の上流のレンズのうちの１つ以上のレンズ励起に対応し、ビームが発散角または収束角のうちの１つで第１の一次多極子に入射する、パラグラフＢ９の補正器。

【０１５６】

Ｂ９．２．非平行角度で第１の一次多極子に入射するビームが、発散角で第１の一次多極子に入射するビームに対応する、パラグラフＢ９の補正器。

【０１５７】

Ｂ１０．第１の一次多極子と第２の一次多極子との間の１つ以上の転写レンズのセットをさらに含む、パラグラフＢ１～Ｂ９．１のいずれかの補正器。

【０１５８】

Ｂ１１．第１の一次多極子と第２の一次多極子の間に配置された第３の多極子をさらに含む、パラグラフＢ１～Ｂ９．１のいずれかの補正器。

【０１５９】

Ｂ１１．１．第１の一次多極子と第３の多極子との間の１つ以上の転写レンズの第１のセットと、第３の多極子と第２の一次多極子との間の１つ以上の転写レンズの第２のセットとをさらに含む、パラグラフＢ１の補正器。

【０１６０】

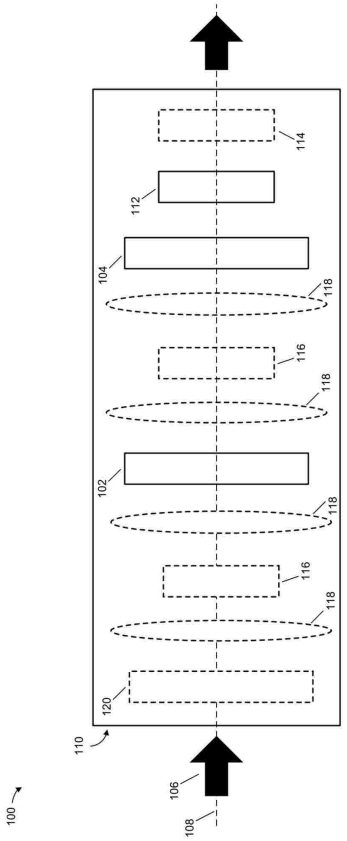
Ｂ１１．２．第１の一次多極子と第２の一次多極子の間に配置された第３の一次多極子が、第３の一次多極子である、パラグラフＢ１１～Ｂ１１．１のいずれかの補正器。
【０１６１】
Ｂ１１．３．第１の一次多極子と第２の一次多極子の間に配置された第３の多極子が、弱い中間多極子である、パラグラフＢ１１～Ｂ１１．２のいずれかの補正器。
【０１６２】
Ｂ１２．第１の一次多極子の上流に配置された第３の多極子をさらに含む、パラグラフＢ１～Ｂ１１．３のいずれかの補正器。
【０１６３】
Ｂ１２．１．第３の多極子と第１の一次多極子との間の１つ以上の転写レンズの第１のセットと、第１の一次多極子と第２の一次多極子との間の１つ以上の転写レンズの第２のセットとをさらに含む、パラグラフＢ２の補正器。
【０１６４】
Ｂ１３．第２の一次多極子と二次多極子の間に配置された第３の多極子をさらに含む、パラグラフＢ１～Ｂ９．１のいずれかの補正器。
【０１６５】
Ｂ１３．１．第１の一次多極子と第２の一次多極子との間の１つ以上の転写レンズの第１のセットと、第２の一次多極子と第３の多極子との間の１つ以上の転写レンズの第２のセットとをさらに含む、パラグラフＢ１３の補正器。
【０１６６】
Ｂ１４．多極子が六極子である、パラグラフＢ１～Ｂ１３．１の補正器。
【０１６７】
Ｂ１４．第１の一次多極子の第１の長さが、第２の一次多極子の第２の長さとは異なる、パラグラフＢ１～Ｂ１３．１のいずれかの補正器。
【０１６８】
Ｂ１４．１．第２の長さが第１の長さよりも大きい、パラグラフＢ１４の補正器。
【０１６９】
Ｂ１５．１つ以上の追加の一次多極子をさらに含む、パラグラフＢ１～Ｂ１４．１のいずれかの補正器。
【０１７０】
Ｂ１５．１．追加の励起が１つ以上の追加の一次多極子の少なくとも１つに印加されると、組み合わせ４次収差に寄与する追加の多極子場が発生する、パラグラフＢ１５の補正器。
【０１７１】
Ｃ１．荷電粒子システムにおける軸収差を補正するための補正器であって、
第１の一次多極子であって、第１の励起が第１の一次多極子に印加されるときに、第１の一次多極子場を生成する、第１の一次多極子と、
第２の一次多極子であって、第２の励起が第２の一次多極子に印加されるときに、第２の一次多極子場を生成し、荷電粒子システム内で補正器が使用されるときに、第２の一次多極子が、第１の一次多極子と球面収差の発生源であるレンズとの間に配置され、第１の一次多極子が、第２の一次多極子上に結像される、第２の一次多極子と、
第３の励起が二次多極子に印加されるときに第３の多極子場を生成するための二次多極子であって、二次多極子が、荷電粒子システム内で補正器が使用されるときに、第２の一次多極子とレンズとの間に配置される、二次多極子と、
第４の励起が三次多極子に印加されるときに第４の多極子場を生成するための三次多極子であって、三次多極子が、荷電粒子システム内で補正器が使用されるときに、第２の多極子とレンズとの間に配置され、第４の多極子場が、６次収差を補正する、三次多極子と、を備える、補正器。
【０１７２】
Ｃ１．０．１．球面収差の主な発生源となるレンズが、粒子光学レンズである、パラグ

ラフＣ１の補正器。
【０１７３】
レンズは、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、対物レンズとして作用する、パラグラフＣ１～Ｃ１．０．１のいずれかの補正器。
【０１７４】
Ｃ１．０．３．レンズは、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、球面収差の主な発生源である、パラグラフＣ１～Ｃ１．０．２のいずれかの補正器。
【０１７５】
Ｃ１．０．４．荷電粒子システムが、荷電粒子顕微鏡システムである、パラグラフＣ１～Ｃ１．０．３のいずれかの補正器。
【０１７６】
Ｃ１．０．５．荷電粒子システムが、電子顕微鏡システムである、パラグラフＣ１～Ｃ１．０．４のいずれかの補正器。
【０１７７】
Ｃ１．１．８次収差を補正するための四次多極子をさらに備え、四次多極子は、荷電粒子顕微鏡システム内で補正器が使用されるときに、三次多極子と粒子光学レンズとの間に配置される、パラグラフＣ１～Ｃ１．０．１のいずれかの補正器。
【０１７８】
Ｃ１．１．１．四次多極子は、第５の励起が四次多極子に印加されるときに、第５の多極子場を生成するように構成される、パラグラフＣ１．１の補正器。
【０１７９】
Ｃ１．１．１．１．第５の多極子場が、８次収差を補正する１つ以上の収差を発生させる、パラグラフＣ１．１．１の補正器。
【０１８０】
Ｃ２．第１の一次多極子の寄与、第１の一次多極子の寄与、および第１の一次多極子と第２の一次多極子との間の任意の伝達光学系の寄与が相殺されない、パラグラフＣ１～Ｃ１．１．１．１のいずれかの補正器。Ｃ２．１．第１の励起は、第１の一次多極子に印加されるときに、第１の一次多極子に第１の一次多極子場を生成させる励起電圧に対応する、パラグラフＣ２の補正器。
【０１８１】
Ｃ２．２．第１の励起は、第１の一次多極子に印加されるときに、第１の一次多極子に第１の一次多極子場を生成させる励起電流に対応する、パラグラフＣ２の補正器。
【０１８２】
Ｃ２．３．第２の励起が第１の励起よりも大きい、パラグラフＣ２～Ｃ２．２のいずれかの補正器。
【０１８３】
Ｃ２．４．第１の一次多極子の寄与、第２の一次多極子の寄与、および第１の一次多極子と第２の一次多極子との間の任意の伝達光学系の寄与が、３倍非点収差A_2および４次スリーローブ収差D_4を生成する、パラグラフＣ２～Ｃ２．３のいずれかの補正器。
【０１８４】
Ｃ３．第１の一次多極子と第２の一次多極子との間の１つ以上の転写レンズのセットをさらに含む、パラグラフＣ１～Ｃ２．４のいずれかの補正器。
【０１８５】
Ｃ４．第１の一次多極子と第２の一次多極子の間に配置された第３の多極子をさらに含む、パラグラフＣ１～Ｃ３のいずれかの補正器。
【０１８６】
Ｃ５．多極子が六極子である、パラグラフＣ１～Ｃ５の補正器。
【０１８７】
Ｃ６．第１の一次多極子の第１の長さが、第２の一次多極子の第２の長さとは異なる、パラグラフＣ１～Ｃ５のいずれかの補正器。

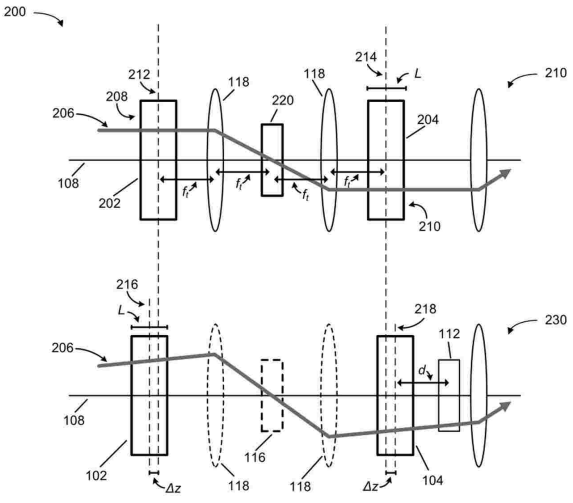
【０１８８】
Ｃ６．１．第２の長さが第１の長さよりも大きい、パラグラフＣ６の補正器。
【０１８９】
Ｄ１．試料に向けて荷電粒子ビームを放出するように構成された荷電粒子源と、荷電粒子ビームを試料上に集束するように構成された光学カラムであって、パラグラフＡ１～Ａ１３．１、Ｂ１～Ｂ１４、またはＣ１～Ｃ５のいずれかの補正器を含む光学カラムと、を備える、荷電粒子顕微鏡。
【０１９０】
Ｅ１．パラグラフＡ１～Ａ１３．１、Ｂ１～Ｂ１４、またはＣ１～Ｃ５のいずれかの補正器の使用。
【０１９１】
Ｆ１．パラグラフＤ１の荷電粒子顕微鏡の使用。

【図面】

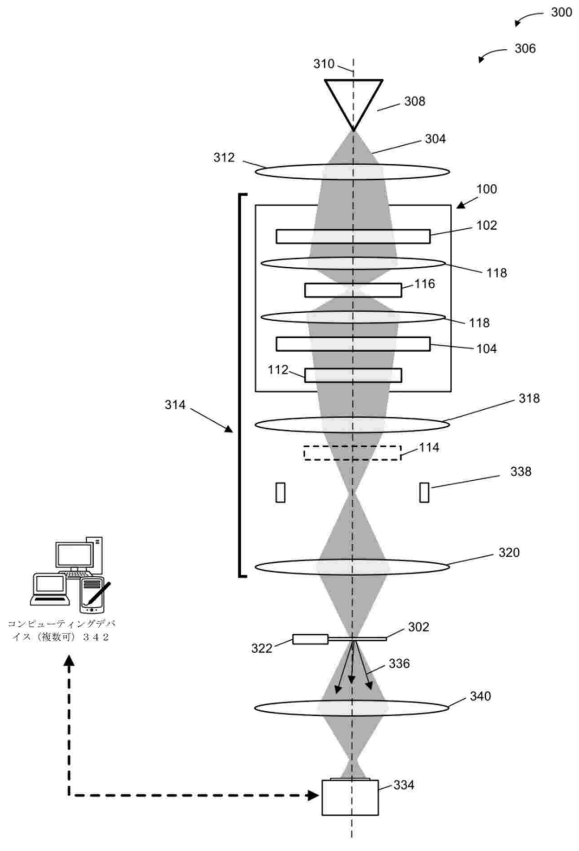
【図１】


100
102
104
106
108
110
112
114
116
118
120

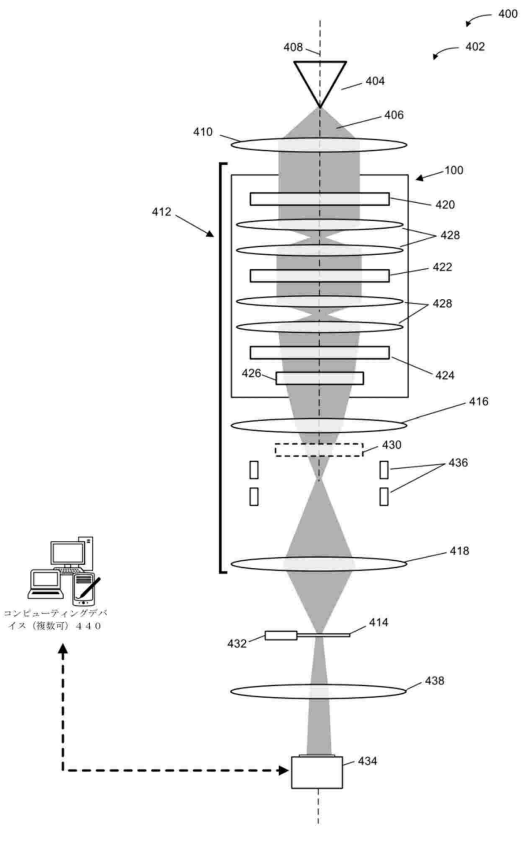
【図２】


200
202
204
206
208
210
212
214
216
218
220
230
102
104
108
112
116
118
L
d
Δz

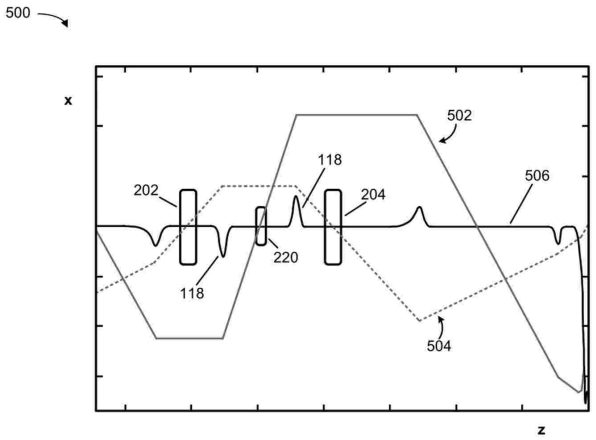
【図３】


300
302
304
306
308
310
312
314
318
320
322
334
336
338
340
100
102
104
112
114
116
118
コンピューティングデバイス（複数可）３４２

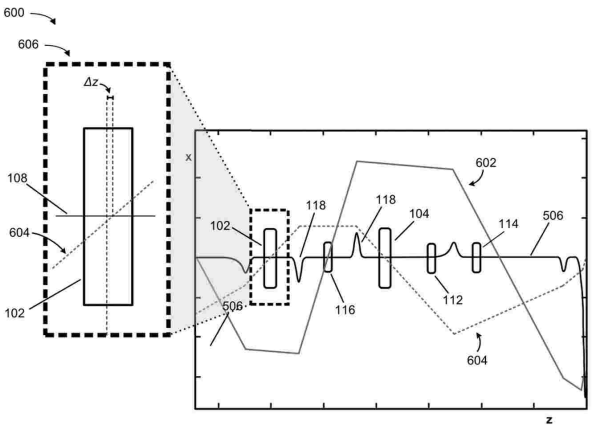
【図４】


400
402
404
406
408
410
412
414
416
418
420
422
424
426
428
430
432
434
436
438
100
コンピューティングデバイス（複数可）４４０

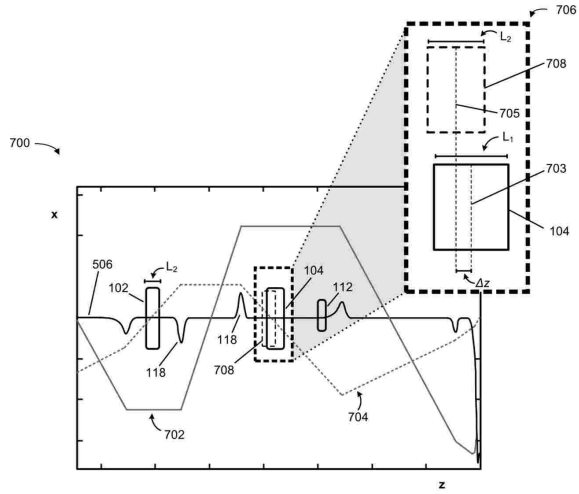
【図５】


500
x
z
502
506
118
202
204
220
118
504

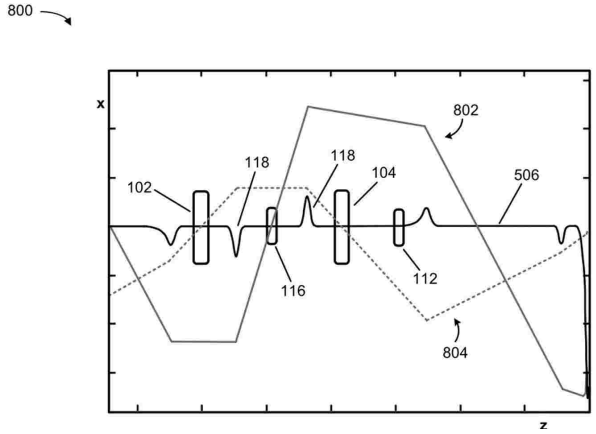
【図６】


600
606
Δz
108
604
102
x
z
602
118
118
104
114
506
102
116
112
506
604

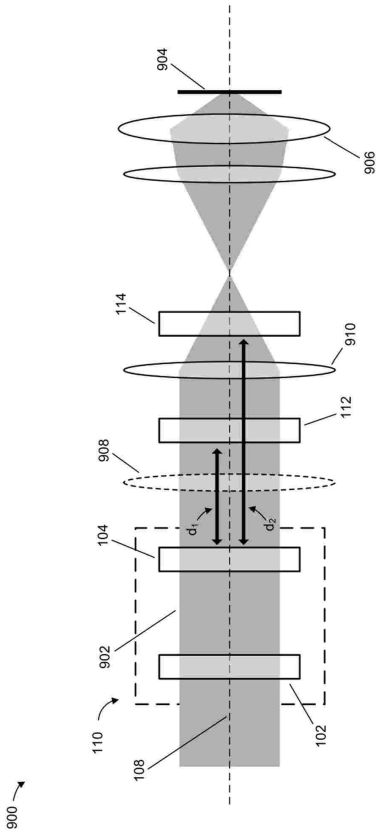
【図７】


700
706
L2
708
705
L1
703
104
x
z
506
L2
102
104
112
118
118
708
Δz
702
704

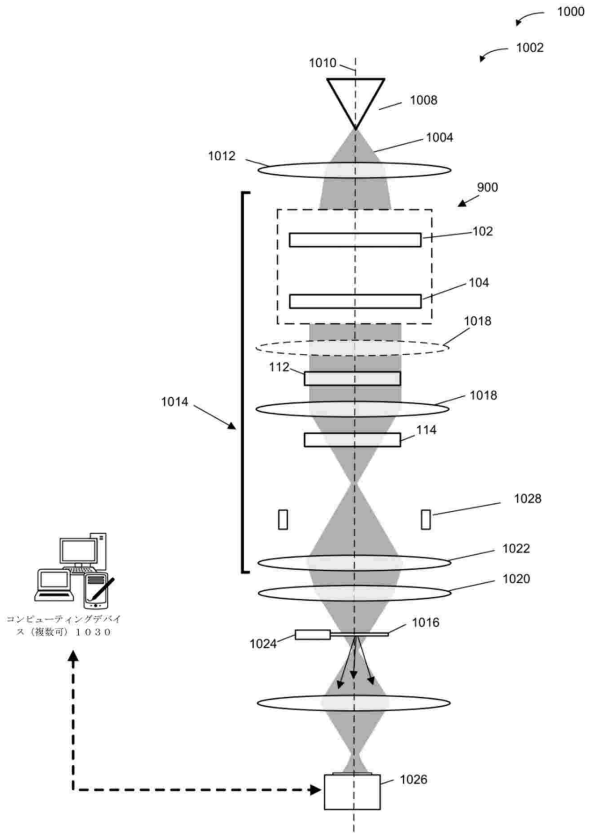
【図８】


800
x
z
802
118
118
104
506
102
116
112
804

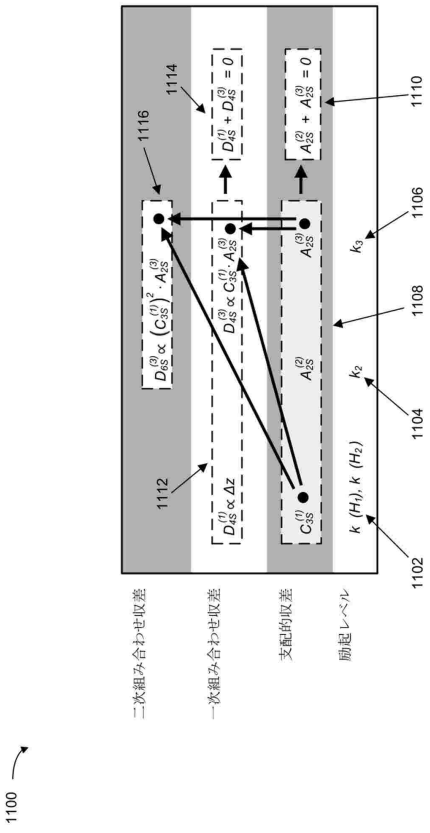
【図９】



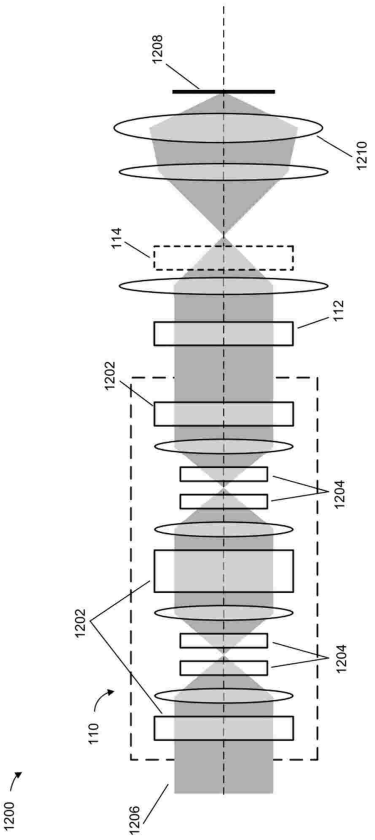
【図１０】



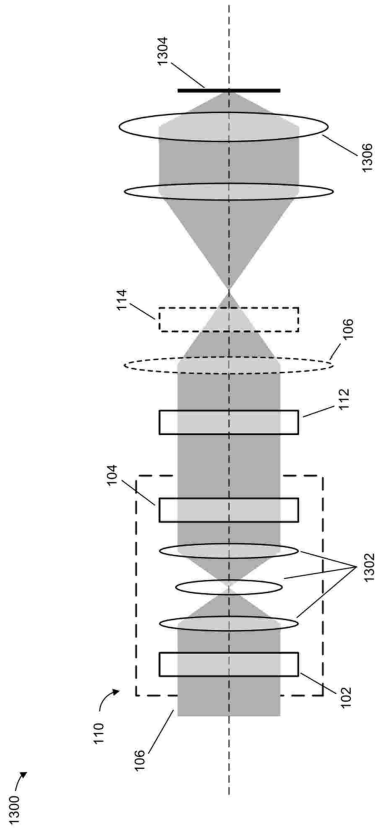
【図１１】



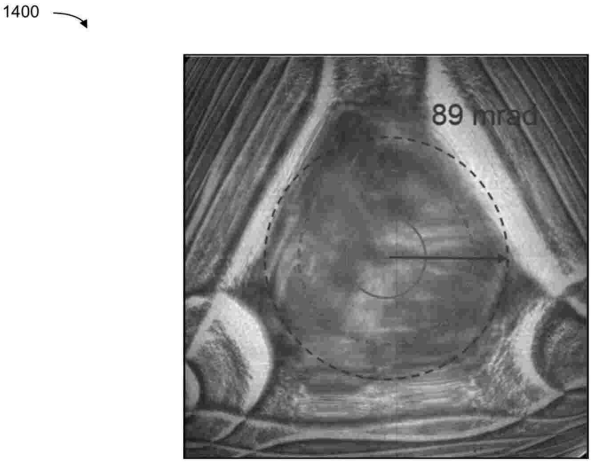
【図１２】



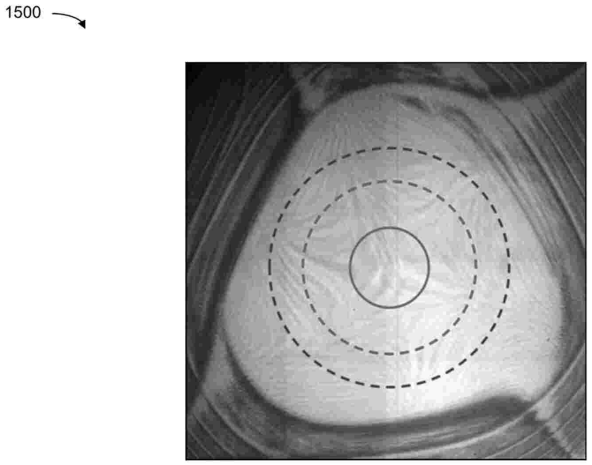
【図１３】



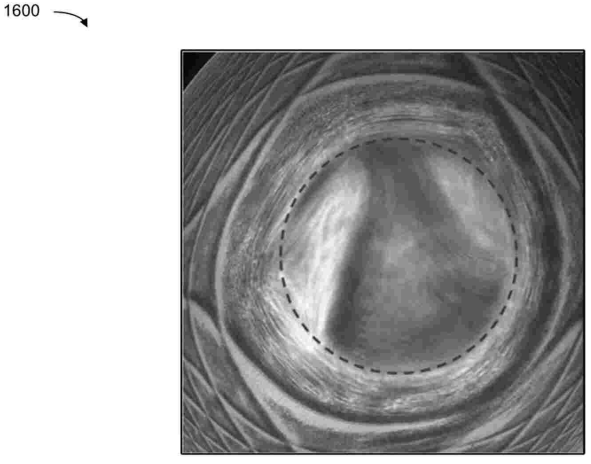
【図１４】



【図１５】



【図１６】



フロントページの続き

ト・ドーソン・クリーク・ドライヴ ５３５０ エフイーアイカンパニー内
(72)発明者 ペーター クリスティアン ティーメイヤー
アメリカ合衆国 ９７１２４－５７９３ オレゴン州，ヒルズボロ ノースイースト・ドーソン・クリーク・ドライヴ ５３５０ エフイーアイカンパニー内
(72)発明者 マルセル ニースタッド
アメリカ合衆国 ９７１２４－５７９３ オレゴン州，ヒルズボロ ノースイースト・ドーソン・クリーク・ドライヴ ５３５０ エフイーアイカンパニー内

審査官 後藤 慎平
(56)参考文献 欧州特許出願公開第０２３２５８６２（ＥＰ，Ａ１）
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｊ ３７／００－３７／３６