(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2010-73695
(P2010-73695A)
(43)公開日　平成22年4月2日(2010.4.2)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
H01J 37/153	***(2006.01)***	H01J	37/153	A	5C033
H01J 37/244	***(2006.01)***	H01J	37/244		

審査請求 未請求　請求項の数 10　OL　（全 15 頁）

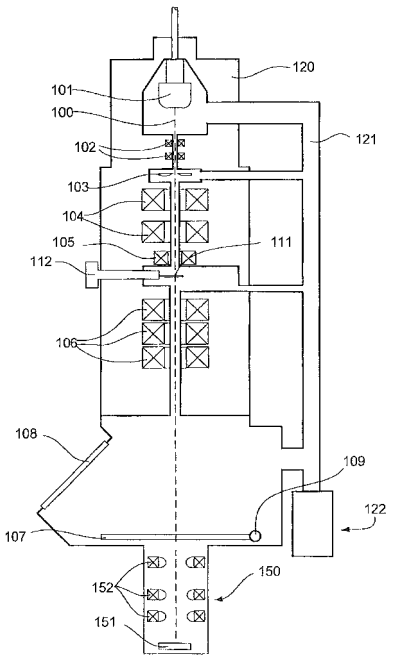
(21)出願番号　特願2009-217019 (P2009-217019)
(22)出願日　平成21年9月18日 (2009.9.18)
(31)優先権主張番号　08164799.2
(32)優先日　平成20年9月22日 (2008.9.22)
(33)優先権主張国　欧州特許庁 (EP)

(71)出願人　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
７４５１　ＮＷ　Ｅｖｅｒｇｒｅｅｎ　Ｐａｒｋｗａｙ，　Ｈｉｌｌｓｂｏｒｏ，　ＯＲ　９７１２４－５８３０　ＵＳＡ
(74)代理人　100070150
弁理士　伊東　忠彦
(74)代理人　100091214
弁理士　大貫　進介
(74)代理人　100107766
弁理士　伊東　忠重

最終頁に続く

(54)【発明の名称】粒子光学装置において歪を補正する方法

(57)【要約】
【課題】本発明は、ＴＥＭの投影システム（１０６）によりもたらされる歪を補正する方法に関する。
【解決手段】当業者が知っているように、特に、トモグラフィを用いて特徴の３Ｄ再構成を行うときに、歪は、ＴＥＭの分解能を制限する可能性がある。また、ＴＥＭにおいてストレイン解析を用いるとき、歪はストレインの検出を制限する可能性がある。このために、本発明は、多極子（１５２）を備えた検出器であって、多極子が、投影システムによりもたらされた歪が影響を弱められるように、ＴＥＭの画像を撓ませる。検出器は、電子を検出するＣＣＤ又は蛍光スクリーンを更に有することが可能である。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
粒子光学装置の複数の歪を補正する方法であって、前記粒子光学装置は：
粒子ビームを生成する粒子源；
画像化されるオブジェクトが位置付けられることが可能であるオブジェクト面；
前記粒子ビームにより前記オブジェクト面を照明するコンデンサシステム；
画像面における前記オブジェクトを透過する粒子を画像化することにより前記対称面の拡大画像を形成する投影システムであって、該投影システムは歪をもたらす、投影システム；及び
前記拡大画像を検出する検出器；
を有する、方法であり、
前記複数の歪は少なくとも一部が補正される画像を形成する段階；
を有する、方法であり、
前記検出器は複数の多極子を有し；
前記複数の多極子は、前記拡大画像における前記複数の歪は少なくとも一部が補正されるように励起される；
ことを特徴とする方法。
【請求項２】
請求項１に記載の方法であって、前記オブジェクトの前記拡大画像を生成することに先行して、前記投影システムの前記複数の歪は：
パターンを生成すること；
前記パターンの拡大画像を形成すること；及び
もたらされる前記複数の歪を測定すること；
により決定される、方法であり、
前記複数の多極子は、前記複数の歪の少なくとも一部を補正するように励起される；
方法。
【請求項３】
請求項２に記載の方法であって、前記パターンは、粒子ビームにより透過性領域の既知のパターンによりダイヤフラムを照射することにより生成される、方法。
【請求項４】
請求項２に記載の方法であって、前記パターンは、既知のスキャンパターンにおいて前記粒子ビームをスキャンすることにより生成される、方法。
【請求項５】
請求項２乃至４の何れか一項に記載の方法であって、前記投影システムは、中間画像面においてオブジェクト面の少なくとも１つの中間画像を形成し、前記オブジェクト面から前記中間画像面への拡大率は、前記オブジェクト面から前記画像面への拡大率より低く、前記パターンは前記中間画像面において生成される、方法。
【請求項６】
請求項２乃至５の何れか一項に記載の方法であって：
前記粒子光学装置の異なる設定についての歪を決定する段階であって、前記異なる設定は、前記投影システムの異なる拡大率及び／又は前記オブジェクトの位置を照明する前記粒子の異なるエネルギーを有する、段階；
前記異なる設定についてのデータの集合を構成する段階；
を有する、方法であり、
上記決定する段階及び前記構成する段階の後、前記投影システムは、前記オブジェクトを画像化するように用いられる前記拡大率及びエネルギーについて設定され、そして前記データの集合を用いて、前記多極子が、前記複数の歪の少なくとも一部が補正されるように励起される；
方法。
【請求項７】

請求項６に記載の方法であって、前記データの集合は、前記投影システムの異なる設定における複数の歪を補正するために必要な前記多極子の前記励起に関する情報を表す、方法。
【請求項８】
請求項６に記載の方法であって、前記データの集合は、前記投影システムの異なる設定における前記複数の歪を表す係数を表す、方法。
【請求項９】
請求項６乃至８の何れか一項に記載の方法であって、前記多極子の前記励起は、前記データの集合を適合させる補間及び曲線により決定される、方法。
【請求項１０】
請求項２乃至９の何れか一項に記載の方法であって、前記複数の歪はパラメータの集合により表され、関係多極子励起の所定の集合が前記パラメータの各々を０にするように用いられ、関係多極子励起の各々の集合は前記パラメータの１つを０にするように意図されている、方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、粒子光学装置における歪を補正する方法であって、粒子光学装置は：
● 粒子ビームを生成する粒子源、
● 画像化されるようになっているオブジェクトを位置付けることが可能であるオブジェクト面、
● 粒子ビームによりオブジェクトを照明するコンデンサシステム、
● 画像面上にオブジェクトを透過した粒子を画像化することによりオブジェクトの拡大画像を生成する投影システムであって、その投影システムは歪をもたらす、投影システム、
● 拡大画像を検出する検出器
を有する、方法であり、
● 歪は少なくとも一部が補正された画像を生成すること
を有する、方法に関する。
【０００２】
本発明は更に、歪を判定する方法に関する。
【背景技術】
【０００３】
このような方法は、文献“Ｃａｌｉｂｒａｔｉｏｎ ｏｆ Ｐｒｏｊｅｃｔｏｒ ｌｅｎｓ ｄｉｓｔｏｒｔｉｏｎｓ ｆｏｒ ｑｕａｎｔｉｔａｔｉｖｅ ｈｉｇｈ－ｒｅｓｏｌｕｔｉｏｎ ＴＥＭ”，ｂｙ Ｈｕｅ ｅｔ ａｌ．，Ｍｉｃｒｏｓｃ．Ｍｉｃｒｏａｎａｌ．１１（ｓｕｐｐｌｅｍｅｎｔ ２），２００５，ｐａｇｅｓ ５５２－５５３（ＤＯＩ：１０．１０１７／Ｓ１４３１９２７６０５５１０８Ｘ）に開示されていて、透過電子顕微鏡（ＴＥＭ）の投影システムによりもたらされる歪を補正するように用いられる。
【０００４】
ＴＥＭにおいては、サンプルとも呼ばれるオブジェクトは電子ビームであって、例えば、５０ｋｅＶ乃至４００ｋｅＶの範囲内のエネルギーを有する電子のビームにより照射される。
【０００５】
それらの電子の一部はサンプルを透過し、それらの電子は、サンプルの拡大された画像を生成するように画像面にフォーカシングされる。画像面上でのサンプルの画像化は、例えば、10^3乃至10^6倍の範囲内の結像可能な倍率に設定されることが可能である。典型的には、蛍光スクリーン又はＣＣＤカメラのような検出器は、画像面内に位置付けられ、それにより、画像が検出される。

【０００６】
当業者が知っているように、投影システムは、画像面にサンプルの画像を生成するばかりでなく、また収差及び歪をもたらす。これに関連して、収差は、画像化されるようになっている点にぼやけとしてもたらされるエラーであり、歪は、画像の撓みをもたらすエラーである。
【０００７】
画像の歪は、例えば、ＴＥＭの性能を制限する可能性がある。歪がＴＥＭの性能を制限する傾向にある２つの例はトモグラフィ解析及びストレイン（ｓｔｒａｉｎ）解析である。
【０００８】
トモグラフィによりサンプルの３Ｄ表現の構築については、かなり多い画像、典型的には、５０乃至１００個の画像の範囲内の画像が生成される。各々の画像は、サンプルの僅かに異なる方位（チルト）で取得される。それらの画像を組み合わせることにより、３Ｄ再構成が生成されることが可能である。それらの画像が歪により撓むとき、サンプル内の基準点に対するサンプルにおける特徴の位置は誤って表される。一部の画像において、特徴が画像の中央にあり、他の画像において、特徴が中央から外れているとき、その移動は一定でなく、３Ｄ再構成における特徴のぼやけをもたらす。このぼやけは、トモグラフィで用いられる倍率がしばしば、比較的低いことにより悪化し、粒子光学レンズ及び他の粒子光学要素における大きいビーム径のために比較的大きい歪をもたらす。それ故、トモグラフィにおいては、歪は、３Ｄ表現における分解能を制限する可能性がある。
【０００９】
ストレイン解析においては、結晶性サンプルにおける格子の撓みが判定される。この撓みはストレインの結果である可能性があり、それ故、撓みを判定することは結晶におけるストレインを判定する方法である。明らかに、画像がストレインを有していない結晶についての撓みを既に示している場合。これは、ストレインを有する結晶を画像化するときに判定されるストレインにおけるエラーをもたらす。
【００１０】
上記の参照文献は、シリコンの完全な結晶を有するサンプルがＴＥＭ内に挿入されたことについて開示している。この完全なオブジェクトの画像の位置依存性移動が測定される。視野における倍率が５％程度変動する場合、局所的回転が２°である可能性があることが理解できる。
【００１１】
上記の参照文献は、移動フィールドにおける局所的移動をマッピングし、それを用いて、画像における軸の移動により実験的画像を補正し、このようにして、歪が少なくとも一部が補正された修正画像を生成することを提供している。このように、局所的な倍率エラーが、元々の５％から０．１％に低減され、局所的な位置エラーは、元々の２°から０．１°に低減されたことが理解できる。
【００１２】
上記参照文献においては更に、投影レンズの歪が少なくとも４年の時間期間に亘ってかなり安定していることについて記載されている。
【００１３】
上記方法の不利点は、その方法は、全ての画像が歪を取り除くように処理されることを必要とすることである。特に、トモグラフィで用いられるようなかなり多くの画像を処理するとき、この方法によりスループットが制限される可能性がある。更なる不利点は、画像における軸の移動がアーティファクトをもたらす可能性があることである。
【先行技術文献】
【非特許文献】
【００１４】
【非特許文献１】“Ｃａｌｉｂｒａｔｉｏｎ ｏｆ Ｐｒｏｊｅｃｔｏｒ ｌｅｎｓ ｄｉｓｔｏｒｔｉｏｎｓ ｆｏｒ ｑｕａｎｔｉｔａｔｉｖｅ ｈｉｇｈ－ｒｅｓｏｌｕｔ

ｉｏｎ ＴＥＭ”，ｂｙ Ｈｕｅ ｅｔ ａｌ．，Ｍｉｃｒｏｓｃ．Ｍｉｃｒｏａｎａｌ．１１（ｓｕｐｐｌｅｍｅｎｔ ２），２００５，ｐａｇｅｓ ５５２－５５３

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００１５】

本発明は、各々の画像を処理する必要のない、歪を補正する方法を提供することを意図している。

【課題を解決するための手段】

【００１６】

この目的のために、本発明に従った方法は、検出器が多極子を有し、それらの多極子は、拡大された画像における歪が少なくとも一部を補正されるように、励起されることを特徴としている。

【００１７】

本発明は、多極子が画像を撓ませるという洞察に基づいている。検出器に多極子を導入し、撓んだ画像の撓み除去が行われるように、多極子を励起することにより、検出される画像における歪の影響が補正され、それにより、得られる各々の画像を補正する必要性が排除される。

【００１８】

粒子光学の分野における熟達者が認識しているように、多極子には、双極子、四極子、六極子、八極子等がある。多極子は磁性多極子、静電多極子又はそれらの組み合わせであることが可能であることを特記しておく。また、例えば、磁性多極子を静電八極子と物理的に組み合わせることが、又はＮ次の多極子を高次の多極子を模倣することが可能である。

【００１９】

米国特許第４，８５３，５４５号明細書においては、線形状のオブジェクトが電子ビームを照射される装置であって、前記オブジェクトは、縮小画像を生成する投影レンズにより表面（典型的には、フォトレジストで覆われた半導体ウェーハ表面）上に画像化される、装置について開示されている。投影レンズの歪を補正するように、２つの多極子、好適には、八極子が、オブジェクトと投影レンズとの間に備えられる。

【００２０】

前記装置は、オブジェクトが線形状であり、画像が縮小画像であり、その画像を補正する多極子は、オブジェクトと投影レンズとの間に位置付けられている点で、本発明と異なっている。そのシステムは、歪なしに線形状のオブジェクト以外の他の形状のオブジェクトを画像化することが可能であるかどうかについて、即ち、多極子が、線に沿う代わりに面内で歪を補正することができるかどうかについて開示されていない。多極子の適切な励起がどのように決定されるかについても、開示されていない。

【００２１】

米国特許第５，７９８，５２４号明細書においては、ＰＣＥＦ（Ｐｏｓｔ Ｃｏｌｕｍｎ Ｅｎｅｒｇｙ Ｆｉｌｔｅｒ）を有するＴＥＭについて開示されている。ＰＣＥＦはエネルギーフィルタリングされた画像を生成する。そのために、ＰＣＥＦの入射面上に投影される画像は、ＣＣＤカメラにおいて画像化され、そしてＣＣＤカメラとエネルギー分散型要素（セクターマグネットの形の）及びエネルギー選択可能要素（スリットの形の）との間に位置付けられる。所定のエネルギーを有する電子のみが（セクターマグネットの励起並びにスリットの位置及び幅に依存して）ＣＣＤに画像化される。ＰＣＥＦは、ＣＣＤにおける入射面に画像化する多極子を有する。

【００２２】

多極子の適切な励起は、入射面におけるアパーチャのアレイを有するダイヤフラムを位置付けることと、そのアレイの歪んでいない画像が生成されるように多極子を調整することとにより決定される。多極子は、それ故、入射面の‘真の’画像を生成するように調整され、投影システムによりもたらされる入射面に形成されるその画像における歪は補正さ

れない。

【００２３】

本発明に従った方法の好適な実施形態においては、オブジェクトの拡大画像を生成することに先行して、投影システムの歪は、既知の形状を有するパターンを生成し、前記パターンの拡大画像を生成し、そしてもたらされた歪を測定することにより決定され、多極子は、歪の少なくとも一部を補正するように励起される。

【００２４】

この実施形態においては、既知の形状を有するパターンが生成され、画像化され、画像における歪が測定される。多極子は、次いで、歪を補正するように励起される。明らかに、その方法におけるこの部分は、多極子の最適な設定を反復するように、繰り返して実行されることが可能である。そのパターンの生成は、オブジェクトの正常な画像化と干渉する可能性がある。多極子が適切な励起に設定されるとき、その装置は、正常な画像化が可能である状態がもたらされ、オブジェクトは、歪なしに又は少なくとも歪が低減されて画像化されることが可能である。

【００２５】

レンズは複数の中間画像面においてそのパターンの画像を生成することが可能であり、そのパターンは、それ故、それらの中間画像面の各々において生成されるが、これに関連して、用語‘生成される’は、パターンが形成される第１面において、そのパターンを規定する動作について用いられ、即ち、そのパターンが形成される面は、そのパターンが画像化される画像面から最もよく除去されることを特記しておく。

【００２６】

前記第１面はまた、この面の全ての画像がレンズにより歪をもたらされ、粒子光学要素が前記第１面を画像化するときに、そのパターンが歪んでいない唯一の面であることを更に特記しておく。

【００２７】

本発明に従った方法の更なる実施形態においては、パターンは、粒子ビームにより透過性の領域の既知のパターンを有するダイヤフラムを照射することにより生成される。

【００２８】

この実施形態においては、粒子ビームがダイヤフラムを照射することにより多くのビームが生成され、前記ダイヤフラムは既知の形状にある透過性の領域を示す。そのような既知の形状は、円形のアパーチャのアレイのような、アパーチャのパターンであることが可能であるが、また、他の既知の形状は、例えば、アパーチャが十字形として形成される、又はアパーチャが四角形のアレイ状に配列された形状が用いられることが可能である。

【００２９】

ダイヤフラムにおける透過性の領域は、粒子に対して完全に透過性であるアパーチャであることが可能であるが、また、ダイヤフラムにおける薄い部分であることが可能であり、ダイヤフラムは粒子をブロックし、薄い部分は粒子に対して一部が透過性であることが可能である。開放されたアパーチャの代わりの薄い部分を有するそのようなダイヤフラムは、非透過性の部分が透過性の部分により完全に囲まれているパターンが形成されることを可能にする。ダイヤフラムは、半導体ウェーハ（の一部）から形成されることが可能であり、薄い部分は、例えば、ウェーハのシリコン窒化物層又はシリコン酸化物層であることが可能である。非透過性の部分は、例えば、ダイヤフラムにおける重金属の堆積物を有することが可能であり、その堆積物は粒子の透過をブロックする。

【００３０】

本発明に従った方法の他の実施形態においては、そのパターンは、既知のスキャンパターンにおいて粒子ビームをスキャンすることにより生成される。

【００３１】

既知の形状が、既知のパターンにおいて粒子ビームをスキャンすることにより形成されることが可能である。好適には、そのビームはフォーカシングされたビームである。そのスキャニングは、粒子源とパターンが形成された面との間の面においてビームを変更させ

ることにより実行される。

【００３２】

本発明に従った方法の他の実施形態においては、投影システムは、中間画像面内にオブジェクト面の少なくとも１つの中間画像を形成し、オブジェクト面から中間画像面への拡大は、オブジェクト面から画像面への拡大より小さい。

【００３３】

中間面においてパターンを生成することにより、そのパターンは、装置のオブジェクト面において生成されるときに比べて拡大率が低い。例えば、ＴＥＭについては、オブジェクト面と画像面との間の拡大は10^6倍であることが可能である。画像のサイズが、例えば、数ｃｍに限定されるとき、パターンの画像化された部分は、数十ｎｍより小さいサイズを有する。それにより、ダイヤフラムのアパーチャの直径は１又は２ｎｍより小さい必要がある。そのような要求を緩和するように、ダイヤフラムは、例えば、オブジェクト面に対して最近接の中間画像面に位置付けられ、そのオブジェクト面において、例えば、オブジェクトに対して５０倍の拡大率が得られる。このことは、例えば、５０ｎｍの直径及び５００ｎｍのピッチを有するアパーチャを有するダイヤフラムが用いられることが可能であることを意味している。そのようなダイヤフラムは、例えば、シリコン基板のイオンビームミリング法により形成されることが可能である。

【００３４】

この実施形態においては、オブジェクト面とパターン面との間のレンズの歪は補正できないが、典型的には、画像面に近接するレンズは、オブジェクトに近接するレンズに比べてより大きい歪をもたらすことを特記しておく。このことは、オブジェクトから中間画像面への徐々に大きくなる拡大によりもたらされ、大きいビーム径はこのことにより得られる。それ故、第１中間画像面と画像面との間の投影システムの一部におけるレンズの歪の補正は、典型的には、完全な投影システムの無視し得る歪をもたらす。

【００３５】

そのような装置において設定されることが可能である種々の拡大率により、異なるサイズを有する特徴が存在するパターンを形成することは好ましいことであることが記載されている。

【００３６】

これに関連して、拡大率は絶対拡大率であり、拡大率の符号は無視される、即ち、－２０ｘの拡大率は、－１０ｘの拡大率又は１０ｘの拡大率より高い拡大率を表すことを更に特記しておく。

【００３７】

本発明に従った方法の他の実施形態においては、方法は：

● 装置の異なる設定についての歪を決定する段階であって、それらの異なる設定は、投影システムの異なる拡大率及び／又はオブジェクト位置を照明する粒子の異なるエネルギーを含む、段階、並びに

● 異なる設定についてのデータの集合を構成する段階、

を有し、それらの後、投影システムは、オブジェクトを画像化するために用いられる拡大率及びエネルギーについて設定され、そして前記拡大率及びエネルギーについてのデータの設定を用いて、多極子は、少なくとも歪の一部を補正するように励起される。

【００３８】

この実施形態においては、データは、投影システムの異なる設定における歪について補正される。このデータを用いることにより、投影システムの設定、即ち、オブジェクトを画像化するために用いられる前記設定についての多極子の励起が決定される。

【００３９】

本発明に従った方法の他の実施形態においては、データの設定は、投影システムの異なる設定における歪を補正するために必要な多極子の励起に関する情報を表す。

【００４０】

この実施形態においては、データの集合は、投影システムの異なる設定における歪を補

正するために必要な多極子の励起を表す。そのデータは、それ故、典型的には、複数の電流（磁性多極子の場合）又は電圧の集合（静電多極子の場合）を設定する値を表す。

【００４１】

本発明に従った方法の他の実施形態においては、データの集合は、投影システムの異なる設定の歪を表すパラメータを表す。

【００４２】

当業者が知っているように、歪は複数のパラメータで表される。歪を表すパラメータに対応する値を記憶することにより、それらの値は、オブジェクトを画像化するために用いられる投影システムの設定のために生じる歪を表すように用いられることが可能である。そのように再構成される歪を用いる場合、多極子の励起を決定することが可能である。

【００４３】

本発明に従った方法の他の実施形態においては、多極子の励起は、データの集合を適合させる補間又は曲線により決定される。

【００４４】

データの集合（複数の値のテーブル）は、用いられるようになっている全ての設定を網羅する必要はなく、補間フィッティング及び／曲線フィッティングがデータ量を低減するように用いられることが可能である。

【００４５】

本発明について、ここで、複数の図を参照して詳述し、それらの図においては、同一の参照番号は対応する要素を表している。

【図面の簡単な説明】

【００４６】

【図１】本発明に従った装置の模式図である。

【図２Ａ】多極子を位置合わせするために用いられるダイヤフラムの模式図である。

【図２Ｂ】多極子を位置合わせするために用いられるダイヤフラムの模式図である。

【図３】画像歪の例の模式図である。

【図４】本発明に従った装置をどのように動作させるかを示す模式的なフローチャートである。

【図５】歪の補正のために必要な多極子の適切な励起を決定する異なるステップを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【００４７】

図１は、本発明に従った装置の模式図である。図１は、真空ポンプ１２２により管１２１を介して真空引きされる真空ハウジング１２０を有するＴＥＭを示している。電子銃１０１の形の粒子源は、粒子光学軸１００に沿って電子ビームを生成する。偏向器１０２は、粒子ビームをビーム制限アパーチャ１０３において中心に集める。粒子ビームは、次いで、２つのレンズ１０４を有するコンデンサシステムを通る。

【００４８】

サンプル１１１は、対物レンズ１０５のオブジェクト面にサンプルを位置付けるマニピュレータ１１２により保持される。サンプルは、蛍光スクリーン１０７にレンズを有する投影システムにより画像化され、ウィンドウ１０８を通して見ることができる。蛍光スクリーン１０７はヒンジ１０９に接続され、引っ込められる又は折り畳まれることが可能であり、それ故、投影システムにより形成される画像は検出器１５０において画像化される。蛍光スクリーンに代えて検出器１５０に画像を形成するように、投影システムが再フォーカシングされる必要があることを特記しておく。投影システムは、例えば、面１１０に中間画像を形成することを更に特記しておく。

【００４９】

検出器は、衝突する電子を検出するようにＣＣＤ（電荷結合素子）１５１を有する。多極子１５２は投影システムによりもたらされる歪を補正する。

【００５０】

ＴＥＭの真空引きされたハウジング１２０において、電子源１０１は励起電子ビームを生成する。電子源は、例えば、フィールドエミッタ願、ショットキエミッタ又は熱イオンエミッタであることが可能である。電子は、その場合、典型的には８０乃至３００ｋｅＶの範囲内の調整可能なエネルギーに加速されるが、例えば、５０乃至５００ｋｅＶの範囲内の調整可能なエネルギーを有する電子を用いるＴＥＭが知られている。電子ビームは、その場合、白金製のダイヤフラム１０３におけるビーム制限アパーチャ内を通る。アパーチャに対して正確に電子ビームを位置合わせするように、ビームは、偏向器１０２により移動され、傾けられ、それ故、ビームの中央部分は、粒子光学軸１００に沿ってアパーチャを通る。ビームのフォーカシングは、（一部の）対物レンズ１０５と共にコンデンサシステムの磁性レンズ１０４により達成される。対物レンズ１０５はしばしば、磁界中にオブジェクトを置く。サンプルを照射するビームは、サンプルにおいてスキャンされるフォーカシングされたビームであることが可能であり、又は平行ビームであることが可能である。しばしば、偏向器（図示せず）が、当該領域においてビームを中心に集めるように、又はサンプルの表面においてビームをスキャンするように用いられる。ビームがサンプルに衝突する場合、二次電子、二次光、二次Ｘ線等の形で二次放射線が生成される。この放射線は検出器（図示せず）により検出されることが可能である。ビームの一部はサンプルを透過し、次いで、蛍光スクリーン１０７に投影システムのレンズ１０６により画像化される。スクリーンに形成された拡大画像は、典型的には、10^3乃至10^6の範囲内の拡大率を有し、０．１ｎｍ程度又はそれより小さい詳細を示すことが可能である。拡大された画像は、その場合、ウィンドウ１０８を通して見ることができる。蛍光スクリーンは、画像が検出器１５０により検出されることが可能であるように、スクリーンが折り畳まれることを可能にするヒンジによりハウジングに接続されている。ここでは、検出器１５０が、電子を検出するＣＣＤチップを有するように示されているが、光を検出するＣＣＤであって、その光は、例えば、光ファイバによりＣＣＤに結合されたＹＡＧ結晶により生成される、ＣＣＤを用いることがまた、知られている。そのような間接的な検出器においては、ＹＡＧ結晶は、電子が結晶に衝突するときに、多くの格子を出射し、それらの格子の一部はＣＣＤカメラにより検出される。直接的なＣＣＤにおいては、電子はＣＣＤの半導体チップに衝突し、電子及び正孔の対を生成し、それにより、ＣＣＤチップにより検出される電荷が生成される。

【００５１】

蛍光スクリーンにおいて及びＣＣＤカメラにおいて形成される画像は、レンズ１０６の歪により歪がもたらされる。それらの歪を補正するように、多極子１５２が用いられ、それらの多極子の各々は磁性多極子、静電多極子又はそれらの組み合わせであることが可能である。ここでは、多極子の３レベル／セットが示されているが、より少ない数の多極子であっても十分である。他の場合、より多くの多極子が、十分な精度で歪を補正するために必要である。

【００５２】

多極子を調整するように、既知の形状を有するオブジェクトが画像面において画像化される。オブジェクトは、例えば、既知のパターンにあるアパーチャのアレイを有するダイヤフラムである。そのパターンのサイズは、投影システムの拡大率に依存し、高拡大率が選択されるとき、小さい視野（ＦｏＶ）のみが検出器において画像化され、このＦｏＶにおいて、十分な解像度を有するパターンが画像化されるように存在する必要がある。例えば、５０００ｘ５０００画素及び０．１ｎｍの画像分解能を有するＣＣＤを前提とする場合、ＦｏＶは、５００ｘ５００nm^2程度であることが可能である。しかしながら、低い拡大率においては、５００ｘ５００μm^2程度のＦｏＶが画像化されることが可能である。従って、数ｎｍの構造を示すパターンは、最も高い拡大率で用いられることが可能であり、数μｍの寸法を有する構造は、最も低い拡大率で用いられることが可能である。

【００５３】

図１は、代表的なＴＥＭのみの模式図を示し、実際には、ＴＥＭは、更に多くの偏向器、アパーチャ等を有することを特記しておく。また、対物レンズ１０５の収差を補正する

補正器を有するＴＥＭが知られていて、前記補正器は、多極子及び丸いレンズを用いている。また、他の検出器、例えば、二次電子検出器、Ｘ線検出器等を用いることが可能である。そのような検出器は、銃に対応するサンプルの側方又は検出器１５０に対向するサンプルの側方において位置付けられることが可能である。

【００５４】

図２Ａ及び２Ｂは、同時に数ｎｍ及び数μｍの構造を提示するダイヤフラムの模式図である。図２Ａは、オブジェクト位置からみたダイヤフラムを示し、図２Ｂは、線ＡＡ′に沿った図２Ａの断面を示している。

【００５５】

図２Ａは、例えば、Si_3N_4又はSiO_2の半透過性メンブラン２０２を有するシリコンウェーハ２０１のようなアパーチャ２００を示している。このメンブランにおいては、複数の構造２０３、例えば、タングステンのドット、白金のドット又は金のドットのような重金属のドットが堆積されている。それらのドットは、例えば、イオンビーム誘起堆積法（ＩＢＩＤ）又は電子ビーム誘起堆積法（ＥＢＩＤ）等のそれら自体よく知られている技術によりメンブラン上に堆積される、又は、それらのドットは、リソグラフィ技術により堆積されることが可能である。複数のドットは複数のアレイ２０４状に配列され、前記アレイ自体は、超アレイを構成するように配列される。この結果、大きいダイナミックレンジを有するパターンが生成され、それは複数のドット自体の位置精度から超アレイ内のアレイの重心までの範囲内にある。必要に応じて、この方法は、次の高次の超アレイの配列において更に大きい構造を構成するように繰り返されることが可能である。

【００５６】

その実施例は半透過性のメンブレンにおけるドットのパターンのみを示しているが、また、そのようなメンブレンにおいて線、四角形、十字形等を用いることが可能であり、又は、異なる寸法（直径）を有するドット等の構造を有するパターンを用いることが可能であることを特記しておく。

【００５７】

半透過性のメンブレンにより支持された構造のパターンに代えて、また、例えば、貫通孔を有する（非透過性の）貫通孔を用いることが可能であることを更に特記しておく。小さい直径の貫通孔は、例えば、集束イオンビーム（ＦＩＢ）加工技術又はリソグラフィ技術により作られることが可能である。

【００５８】

中間画像面内に、例えば、図１に示す面１１０内にダイヤフラムを位置付けることにより、ダイヤフラムと拡大された画像との間の拡大率は投影システムの拡大率より小さいことをまた、特記しておく。投影システムの最大の拡大率における、オブジェクトと第１中間画像面との間の拡大率は、例えば、５０倍であることが可能である。その結果、ダイヤフラムの最小の特徴サイズは、その場合、例えば、５０倍大きいことが可能であり、最小の特徴サイズ及びピッチについて緩和された要求をもたらす。

【００５９】

図３は、画像歪についての模式図である。図３においては、５つの横方向の線及び５つの縦方向の線の形にある基準線が２つの系、即ち、樽形の歪を示す１つの系及び糸巻き形の歪を示す１つの系により画像化される。樽形歪及び糸巻き形歪は最もよく知られている歪である。

【００６０】

図４は、本発明に従った装置をどのように作動させるかについてのフローチャートである。複数のステップについての第１ブロック４００においては、多極子についての設定が決定される。ステップ４０１においては、装置は、投影システムの拡大率と粒子ビームの加速電圧の設定とを含む設定の第１集合に対して設定される。投影システムの歪は、拡大率を変更することにより変わるばかりでなく、異なる粒子エネルギーについてもまた、変わる。このことは、投影システムにおける一部の部品についての残留磁気ばかりでなく、投影システムを構成する磁性レンズのポールピースの非線形磁性によりもたらされる。ス

テップ４０２においては、ダイヤフラムは、上記のように、オブジェクト面内又は中間画像面内に挿入される。ステップ４０３においては、画像における歪が補正される多極子の励起が決定される。この単独のステップは、図５により説明されるように、複数のサブステップを有する。最終的には、求められた値は、コンピュータメモリに記憶される。ステップ４０４においては、更なる設定が必要かどうかについて判定される。更なる設定が必要な場合、電子顕微鏡の設定は、例えば、拡大率又は加速電圧を変えるステップ４０６において変更される。更なる設定が必要ない場合、ダイヤフラムはステップから除外され、その後、電子顕微鏡は通常使用のために備えられる。

【００６１】

複数のステップの第２ブロック４１０は、装置の通常の使用を示している、ステップ４１１においては、オブジェクトを画像化するために必要な設定に設定される。このステップは、拡大率の設定及び／又は加速電圧の設定を含むことが可能である。ステップ４０２においては、ステップ４０３においてコンピュータメモリに記憶された値を用いて、多極子についてのどのような設定が用いられる必要があるかが判定される。このステップは、記憶されている値の間の補間を含むことが可能である。ステップ４１３においては、それに応じて、多極子が設定される。ステップ４４においては、サンプルの拡大された画像が形成される。

【００６２】

上記引用文献“Ｃａｌｉｂｒａｔｉｏｎ ｏｆ ｐｒｏｊｅｃｔｏｒ ｌｅｎｓ ｄｉｓｔｏｒｔｉｏｎｓ ｆｏｒ ｑｕａｎｔｉｔａｔｉｖｅ ｈｉｇｈ－ｒｅｓｏｌｕｔｉｏｎ ＴＥＭ”（Ｆ．Ｈｕｅ等による）に記載されているように、歪は時間経過しても全く変わらない。従って、ブロック４００における複数のステップはしばしば行われる必要はないが、主なサービスオーバーホールにおいて電子顕微鏡のカラムが分解されるときにのみ行われる必要がある。ブロック４１０における複数のステップは、設定が変更される場合にときどき、及び設定が同一に保たれる場合にいつか、通常は繰り返される。

【００６３】

図５においては、歪の補正のために必要な多極子の適切な励起を決定するための５つの異なるステップが示されている。歪については、次のように説明することが可能である。オブジェクトの各々の点の位置は、次式により複素値で表され、

$$u = (x + iy) = re^{i\phi}$$

画像の各々の対応する点は、その場合、次式により複素値で表される。

【００６４】

【数１】

$$U = (X+iY) = A_{10}u + A_{01}\bar{u} + A_{20}u^2 + A_{11}u\bar{u} + A_{02}\bar{u}^2 + \ldots = \sum A_{n,m}u^n\bar{u}^m$$

この式においては、係数A_{10}は画像の拡大率及び回転を表し、全ての他の項の係数は歪を表す。例として、A_{01}は、円の楕円への歪を表す。同様に、A_{21}の実数部は樽形歪／糸巻き形歪に対応する一方、A_{21}の虚数部は所謂、異方性歪に対応する。既知の形状を有するパターンが生成され、画像化されるときに、複数のオブジェクト点$u_{1,\ldots,N}$について、複数の画像点Ｕ１，．．．，Ｎが求まる。それらの予測点から画像点までの距離から、画像における歪を決定することが可能である。

【００６５】

各々がそれ自体の歪係数を有し、一般に複数の歪の中心は同一でない、各々が歪をもたらす複数のレンズを有する投影システムの使用は、投影システムの画像面における複雑な歪をもたらす可能性があることを特記しておく。

【００６６】

画像における歪について説明される方法と類似する方法で、各々の多極子についての画像における効果は、全ての多極子が０に等しい励起を有する画像と、多極子が励起を有す

る画像とを有することが可能であることである。それ故、励起についてのどのセットが、歪係数A_{nm}により表される歪を補正するために必要であるかが判定されることが可能である。

【００６７】

収束級数を有し、高次の歪は、それ故、かなり小さい影響しか有さないため、全ての歪が補正される必要はないことを特記しておく。

【００６８】

図４におけるステップ４０３は、次のように分けられることが可能である。ステップ５０１においては、既知のパターンの画像が取得される。ステップ５０２においては、歪係数が決定される。それらの係数の数は、殆どの場合、最初の方の段階で、例えば、電子顕微鏡の拡大率により、既に決定されている。ステップ５０３においては、それらの係数を所定の値と比較することにより歪が限界内にあるかどうかが判定される。歪が十分に小さくない場合、ステップ５０４において、各々の歪係数を０にする、必要な多極子の励起が決定される。これは、それらの係数の各々を０にするために必要な励起のために、多極子の設定の総和をもたらす。ステップ５０５においては、それらの多極子励起は、既に存在している多極子励起に加算され、新たに補正された多極子励起の値をもたらす。この後、その処理は、係数及び／又は歪が十分に小さくなるまで繰り返される。

【００６９】

最終的に、ステップ５０６において、このような装置の設定のために必要な多極子励起についてはテーブルに記憶される。

【００７０】

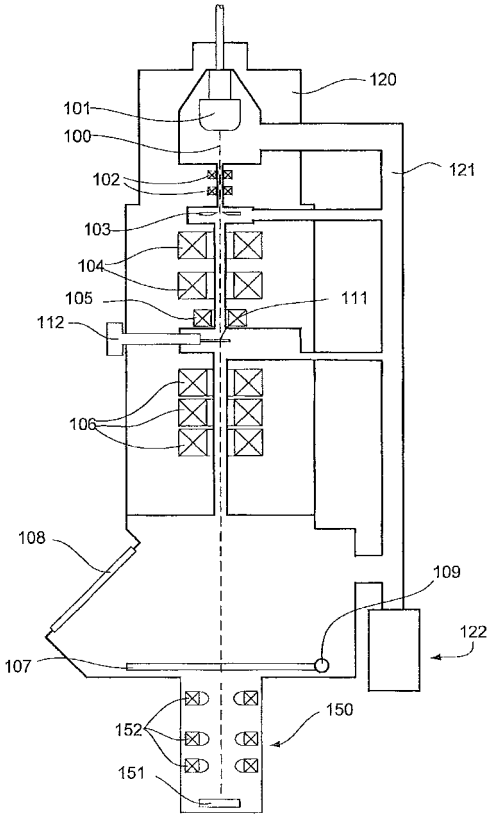
画像における提示の歪が大きいとき、先ず、それらの歪を補正し、高次の歪を補正する前に、新しい画像を取得することはしばしば、より良好であることを特記しておく。

【符号の説明】

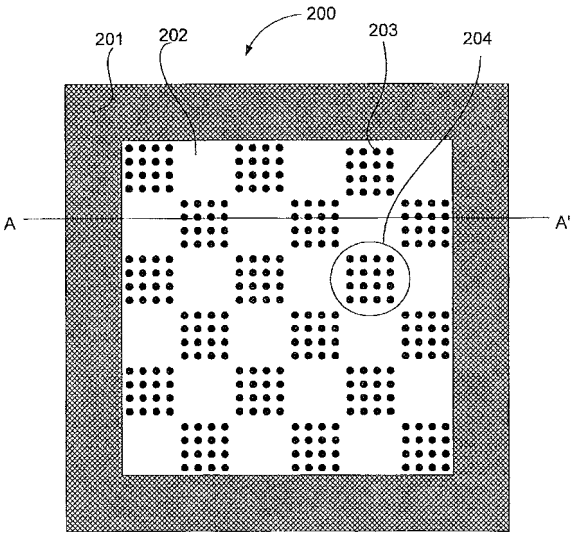
【００７１】

１００　粒子光学軸
１０１　電子銃
１０２　偏向器
１０３　ビーム制限アパーチャ
１０４　磁性レンズ
１０５　対物レンズ
１０７　蛍光スクリーン
１０８　ウィンドウ
１０９　ヒンジ
１１０　面
１１１　サンプル
１１２　マニピュレータ
１２０　真空ハウジング
１２１　管
１２２　真空ポンプ
１５０　検出器
１５２　多極子
２００　アパーチャ
２０１　シリコンウェーハ
２０２　半透過性メンブラン
２０３　複数の構造
２０４　複数のアレイ

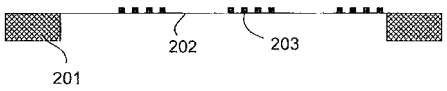
【図１】



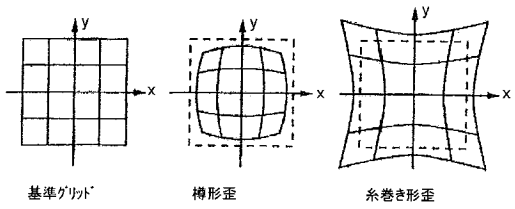
【図２Ａ】



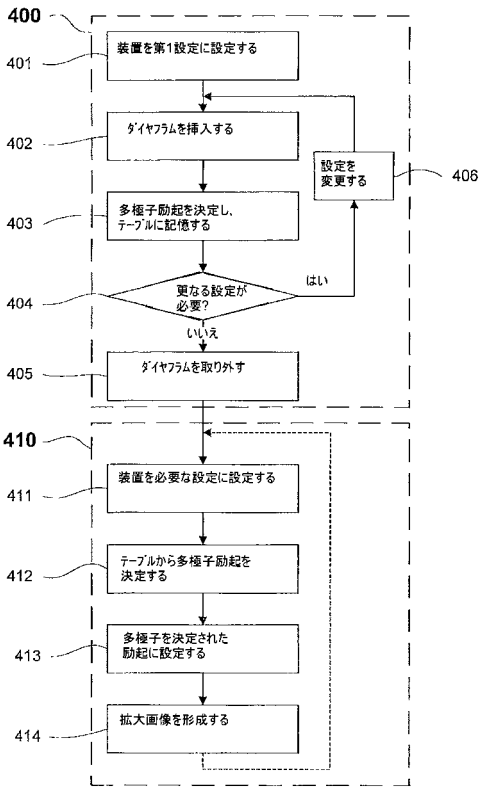
【図２Ｂ】



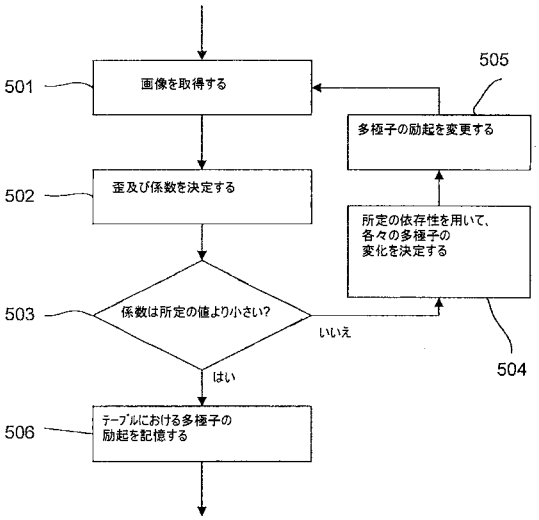
【図３】



【図４】



【図５】


501
画像を取得する
502
歪及び係数を決定する
503
係数は所定の値より小さい?
いいえ
はい
504
所定の依存性を用いて、
各々の多極子の
変化を決定する
505
多極子の励起を変更する
506
テーブルにおける多極子の
励起を記憶する

フロントページの続き

(72)発明者　アラン　フランク・デ・ヨンフ
オランダ国，５６４５　イェーフェー　アインドーフェン　ヨンキンドストラート　３
(72)発明者　ウヴェ　リュッケン
オランダ国，５６２６　デーヘー　アインドーフェン　ハルレフィレホッフ　２３
(72)発明者　ペーテル　クリスティアン　ティーメイエル
オランダ国，５６１５　イェーイェー　アインドーフェン　ニコラース・ベーツストラート　１６
(72)発明者　ヘンドリク　ニコラース　スリンヘルランド
オランダ国，５９１２　テーウェー　フェンロ　オンデルステ・モーレンウェッハ　６７

Ｆターム(参考) 5C033 HH08　NN03　NP08