

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5738378号
(P5738378)

(45) 発行日 平成27年6月24日 (2015. 6. 24)

(24) 登録日 平成27年5月1日 (2015. 5. 1)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 J 37/153 (2006. 01)

HO 1 J 37/04 (2006. 01)

HO 1 J 37/153 B

HO 1 J 37/04 B

請求項の数 16 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2013-214365 (P2013-214365)	(73) 特許権者	501493587
(22) 出願日	平成25年10月15日 (2013. 10. 15)		アイシーティー インテグレートッド サ
(65) 公開番号	特開2014-82211 (P2014-82211A)		ーキット テスティング ゲゼルシャフト
(43) 公開日	平成26年5月8日 (2014. 5. 8)		フィーア ハルプライターブリーフテヒ
審査請求日	平成26年11月18日 (2014. 11. 18)		ニック エム ベー ハー
(31) 優先権主張番号	12188686.5		ドイツ, デー ー 8 5 5 5 1, ハイムス
(32) 優先日	平成24年10月16日 (2012. 10. 16)		テッテン, アンメルタルストラーセ 2
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)		O
早期審査対象出願		(74) 代理人	100092093
			弁理士 辻居 幸一
		(74) 代理人	100082005
			弁理士 熊倉 禎男
		(74) 代理人	100088694
			弁理士 弟子丸 健
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 オクタポール装置及びスポットサイズ向上方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

走査型荷電粒子ビーム装置における機械的、磁氣的又は静電的誤差を補償する方法であって、

アライメント手順を含み、該アライメント手順は、
少なくとも 8 極補償能力を備えた素子により 4 重非点収差を補償するステップを含み、

前記アライメント手順における前記補償は荷電粒子ビームに作用し、2 つの互いに直交した方向のビーム寸法が各々少なくとも 5 0 μ m であり、前記荷電粒子ビームは前記少なくとも 8 極補償能力を備えた前記素子と同軸に位置合わせされる、方法。

【請求項 2】

前記アライメント手順は、以下の順序で且つ前記 4 重非点収差を補償するステップの実施前に実施される以下のステップ、即ち、

試料上で走査されるべき荷電粒子ビームを光軸に位置合わせするステップと、
軸方向非点収差を少なくとも 4 極補償能力を備えた素子により補償するステップと、
少なくとも 6 極補償能力を備えた素子により 3 重非点収差を補償するステップとを更に含む、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記アライメント手順は、前記荷電粒子ビームの位置合わせ後且つ前記軸方向非点収差の補償前に前記荷電粒子ビームを前記試料上に精密に集束させるステップを更に含む、請

求項 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記アライメント手順又は前記アライメント手順の一部分は、2 回又は 3 回以上繰り返し実施され、その結果、前記アライメント手順の前記ステップのうちの 2 つ又は 3 つ以上が繰り返し実施されるようになる、請求項 1 ~ 3 のうちいずれかーに記載の方法。

【請求項 5】

前記 8 極補償能力は、方位角及び強度が調節可能なオクタポールフィールドによって提供される、請求項 1 ~ 4 のうちいずれかーに記載の方法。

【請求項 6】

前記アライメント手順は、球面収差及び / 又は色収差の補正及び収差係数 C_s 及び / 又は C_c の減少を含まない、請求項 1 ~ 5 のうちいずれかーに記載の方法。

10

【請求項 7】

前記方法は、

前記走査型荷電粒子ビーム装置の開口数を前記アライメント手順なしで動作するシステムについて最適化された値に合わせて調節するステップを更に含む、請求項 1 ~ 6 のうちいずれかーに記載の方法。

【請求項 8】

前記方法は、前記走査型荷電粒子ビーム装置の開口数を $10 \sim 70 \text{ mrad}$ の値に合わせて調節するステップを更に含む、請求項 1 ~ 7 のうちいずれかーに記載の方法。

【請求項 9】

20

前記走査型荷電粒子ビーム装置は、非点収差中間像なしのビーム経路を有する、請求項 1 ~ 8 のうちいずれかーに記載の方法。

【請求項 10】

前記走査型荷電粒子ビーム装置は、対物レンズと集光レンズ組立体の集光レンズとの間のクロスオーバーなしのビーム経路を有し、前記集光レンズは、前記対物レンズの最も近くに位置する前記集光レンズ組立体の前記集光レンズである、請求項 1 ~ 9 のうちいずれかーに記載の方法。

【請求項 11】

走査型荷電粒子ビーム装置であって、

荷電粒子ビームを放出するよう構成された少なくとも 1 つのエミッタ先端部を備えたエミッタを含み、

30

前記エミッタ先端部を試料上に焦点合わせするよう構成された 1 つのレンズ組立体を含み、前記レンズ組立体は、集光レンズ組立体と、対物レンズとから成り、前記集光レンズ組立体と前記対物レンズは、回転対称関係をなしており、

機械的、磁氣的又は静電的誤差を補償する補償組立体を含み、前記補償組立体は、それぞれ互いに異なる方向に作用する第 1 のオクタポール素子及び第 2 のオクタポール素子と、回転可能なオクタポール素子と、少なくとも 12 極素子である素子とから成る群から選択された少なくとも 1 つの素子を含む、装置。

【請求項 12】

試料上で前記荷電粒子ビームを走査する走査型デフレクタを更に含む、請求項 11 記載の装置。

40

【請求項 13】

前記補償組立体は、

二次元アライメントデフレクタユニットと、

二次元スチグマツールと、

3 重非点収差を補償する二次元ヘキサポール素子とを更に含む、請求項 11 ~ 12 のうちいずれかーに記載の装置。

【請求項 14】

前記走査型荷電粒子ビーム装置の開口数は、 $10 \sim 70 \text{ mrad}$ である、請求項 11 ~ 13 のうちいずれかーに記載の装置。

50

【請求項 15】

前記走査型荷電粒子ビーム装置は、非点収差像を生じさせるレンズを含んでいない、請求項 11 ~ 14 のうちいずれかーに記載の装置。

【請求項 16】

前記補償組立体は、荷電粒子ビームに作用し、2つの互いに直交した方向のビーム寸法が各々少なくとも $50\ \mu\text{m}$ であり、前記荷電粒子ビームは前記素子と同軸に位置合わせされる、請求項 11 ~ 15 のうちいずれかーに記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明の実施形態は、例えば検査システム用途、試験システム用途、リソグラフィシステム用途、欠陥評価又は限界寸法決め用途等のための荷電粒子ビーム装置、特に電子ビーム検査装置に関する。本発明は又、その作動方法に関する。さらに、本発明の実施形態は、特に電子ビーム検査システム用の対応の補償組立体を含む走査型荷電粒子ビーム装置における誤差の補償に関する。特に、本発明の実施形態は、走査型荷電粒子ビーム装置における機械的、磁氣的及び/又は静電的誤差を補償する方法及び走査型荷電粒子ビーム装置に関する。

【背景技術】

【0002】

20

荷電粒子ビーム装置は、複数の工業分野において多くの機能を有し、かかる工業分野としては、製造中における半導体デバイスの検査、リソグラフィ用の露光システム、検出装置及び試験システムが挙げられるが、これらには限定されない。かくして、マイクロメートル及びナノメートルスケールの範囲内の試料を構造観察したり検査したりする高い需要が存在する。

【0003】

マイクロメートル及びナノメートルスケールプロセス制御、検査又は構造観察は、荷電粒子ビーム装置、例えば電子顕微鏡又は電子ビームパターンジェネレータで発生させて集束させる荷電粒子ビーム、例えば電子ビームを用いて実施される場合が多い。荷電粒子ビームは、これらの波長が短いために例えば光子ビームと比較して優れた空間分解能を提供する。

30

【0004】

粒子ビーム光学系には、種々の形式の欠陥、例えば、機械的な製造上の欠陥、光学部品の位置合わせ不良、材料の不均一性、集束、位置合わせ及び調節のために用いられる電界及び磁界の欠陥、電子光学収差、ビームステアリング（操縦）コンポーネントの汚染及び荷電が存在する。良好な電子光学設計は、機械的製造、材料特性及び清浄度に厳しい公差を与えると共に適正な設計により電子光学性能を最適化することによってこれら欠陥を最小限に抑えることを目的としている。

【0005】

しかしながら、これら手段だけでは、理論的光学性能を得ることができないであろう。したがって、長年にわたって、上述の欠陥の影響を打ち消すことができる多くの装置及び方法が開発された。かかる装置は、とりわけ、ダイポールデフレクタ（コンポーネント相互間の位置合わせ不良を是正するため）、クワドラポールスチグマトール（像中の軸方向非点収差を是正するため）、加熱サンプルホルダ及びアパーチャ（汚染及び/又はその後の荷電を回避するため）、現場プラズマクリーニング（ビームライン中の汚染を除去するため）等であると言える。

40

【0006】

上述の欠陥は、解像度が向上した場合に目に見えて分かるようになり、従って、スポット劣化が明確に見えるようになり、ビームは、光軸回りの近軸領域から出て高次収差を生じ、ビーム電流が増大すると共に/或いはビーム束直径が増大し、その目的は、電子-電子相互作用を減少させることにある。これにより、ビームは、集束スポットの直径の状態

50

を劣化させる高次収差の影響を受けやすくなる。さらに、上述の欠陥は、システム内のビーム電流が増大した場合に目立つようになる。というのは、これにより、ビーム不安定性を生じさせると共にスポットサイズ劣化を生じさせる汚染の堆積速度も又増大するからである。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

これら限界条件は全て、最新式の電子ビーム検査（EBI）コラムで満たされる。したがって、高ビーム電流システムの性能を制限するかかる影響を補償する装置を提供することが望ましい。これにより、解像度が向上すると共にシステムが機械的欠陥、汚染及び経時的な汚染堆積の影響を受けにくくなる。これは、更に、システム性能及び/又はスループットを向上させ、有効寿命を延ばすと共に所有費を低下させるのを助ける。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記のことに照らして、独立形式の請求項1に記載された走査型荷電粒子ビーム装置における機械的、磁氣的及び/又は静電的誤差を補償する方法及び独立形式の請求項9に記載された走査型荷電粒子ビーム装置が提供される。本発明の別の観点、別の利点及び別の特徴は、従属形式の請求項、本明細書及び添付の図面から明らかである。

【0009】

一実施形態によれば、走査型荷電粒子ビーム装置における機械的、磁氣的又は静電的誤差を補償する方法が提供される。この方法は、アライメント手順を含み、かかるアライメント手順では、次のステップ、即ち、少なくとも8極補償能力を備えた素子により4重非点収差を補償するステップが実施され、アライメント手順の位置合わせステップ及び補償ステップは、各々少なくとも50 μm のビーム寸法が2つの互いに直交した方向に向くと共に少なくとも、少なくとも8極補償能力を備えた素子と同軸に位置合わせされた状態で荷電粒子ビームに作用する。

【0010】

別の実施形態によれば、走査型荷電粒子ビーム装置が提供される。この装置は、荷電粒子ビームを放出するよう構成された少なくとも1つのエミッタ先端部を備えたエミッタと、エミッタ先端部を試料上に焦点合わせするよう構成された1つのレンズ組立体とを含み、焦点合わせ組立体は、集光レンズ組立体と、対物レンズとから成り、集光レンズ組立体と対物レンズは、回転対称関係をなす。この装置は、機械的、磁氣的又は静電的誤差を補償する補償組立体を更に含み、補償組立体は、それぞれ互いに異なる方向に作用する第1のオクタポール素子及び第2のオクタポール素子と、回転可能なオクタポール素子と、少なくとも12極素子である素子とから成る群から選択された少なくとも1つの素子を含む。

【0011】

別の実施形態によれば、走査型荷電粒子ビーム装置における機械的、磁氣的又は静電的誤差を補償する方法が提供される。この方法は、アライメント手順を含み、かかるアライメント手順では、次のステップが以下の順序で実施され、即ち、試料上で走査されるべき荷電粒子ビームを光軸に位置合わせし、軸方向非点収差を少なくとも4極補償能力を備えた素子により補償し、少なくとも6極補償能力を備えた素子により3重非点収差を補償し、そして、少なくとも8極補償能力を備えた素子により4重非点収差を補償し、アライメント手順の位置合わせステップ及び補償ステップは、各々少なくとも50 μm のビーム寸法が2つの互いに直交した方向に向くと共に少なくとも、少なくとも8極補償能力を備えた素子と同軸に位置合わせされた状態で荷電粒子ビームに作用する。

【0012】

さらに別の実施形態によれば、走査型荷電粒子ビーム装置が提供される。この装置は、荷電粒子ビームを放出するよう構成された少なくとも1つのエミッタ先端部を備えたエミッタと、エミッタ先端部を試料上に焦点合わせするよう構成された1つのレンズ組立体と

10

20

30

40

50

を含み、焦点合わせ組立体は、集光レンズ組立体と、対物レンズとから成り、この装置は、機械的、磁氣的又は静電的誤差を補償する補償組立体を更に含み、補償組立体は、それぞれ互いに異なる方向に作用する第1のオクタポール素子及び第2のオクタポール素子と、回転可能なオクタポール素子と、少なくとも12極素子である素子とから成る群から選択された少なくとも1つの素子を含む。

【0013】

実施形態は又、開示する方法を実施するための装置に関し、かかる実施形態は、上述の方法ステップを実行する装置部分を含む。これら方法ステップは、ハードウェアコンポーネントによって、適当なソフトウェアによりプログラムされたコンピュータによって、これら2つの任意の組み合わせによって又は任意他の仕方で行うことができる。さらに、本発明の実施形態は又、開示する装置の作動方法に関する。本発明は、この装置の全ての機能を実行する方法ステップを含む。

10

【0014】

本発明の上述の特徴を細部にわたって理解できるように実施形態を参照して上記において概要説明した本発明の特定の説明を行う。添付の図面は、本発明の実施形態に関してあり、かかる添付の図面について以下に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本明細書において説明する実施形態に従って4重非点収差を補償するようになっていて、少なくとも8極補償能力を有する補償組立体を備えた荷電粒子ビーム装置を概略的に示す図である。

20

【図2】本明細書において説明する実施形態に従って一平面内に2つのオクタポール素子を含み且つ4重非点収差を補償するようになっていて、少なくとも8極補償能力を備えた補償組立体を含む荷電粒子ビーム装置を概略的に示す図(2A, 2B, 2C)である。

【図3】本明細書において説明する実施形態に従って4重非点収差を補償するようになっていて、少なくとも8極補償能力を備えた1つのオクタポール素子を含む補償組立体を備えた荷電粒子ビーム装置を概略的に示す図(3A, 3B, 3C)である。

【図4】本明細書において説明する実施形態に従って一平面内に2つのオクタポール素子を含み且つ4重非点収差を補償するようになっていて、少なくとも8極補償能力を有する補償組立体を備えた荷電粒子ビーム装置を概略的に示す図(4A, 4B, 4C)である。

30

【図5】走査型荷電粒子ビーム装置における機械的、磁氣的及び/又は静電的誤差を補償する方法の実施形態を示す流れ図(5A, 5B)である。

【図6】本明細書において説明する実施形態で得られる改良結果を示すサンプル像を示す図(6A, 6B)である。

【図7】本明細書において説明する実施形態に従って4重非点収差を補償するようになっていて、少なくとも8極補償能力を有する補償組立体を備えた多荷電粒子ビーム装置を概略的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

次に、本発明の種々の実施形態を詳細に参照し、かかる実施形態の1つ又は2つ以上の実施例が図示されている。図面の以下の説明の範囲内において、同一の参照符号は、同一の部分を示している。一般に、個々の実施形態に関して差のみを説明する。各実施例は、本発明の説明のために提供されており、本発明を限定するものではない。さらに、一実施形態の一部として図示され又は説明される特徴を他の実施形態に又はこれと関連して用いることができ、それにより更に別の実施形態が得られる。本明細書における説明は、かかる改造例及び変形例を含むものである。

40

【0017】

本願の保護範囲を制限することなく、以下において、荷電粒子ビーム装置又はそのコンポーネントを例示的に、2次電子の検出を含む荷電粒子ビーム装置と呼ぶ。本発明の実施形態は、試料像を得るために粒子、例えば電子又はイオン、光子、X線又は他の信号の形

50

態をした２次及び／又は後方散乱荷電粒子を検出する装置及びコンポーネントに依然として利用できる。一般に、粒子といった場合、粒子は、粒子が光子である光信号並びに粒子がイオン、原子、電子又は他の粒子である粒子として理解されるべきである。

【００１８】

本明細書において言及する「試料」は、半導体ウェーハ、半導体加工物及び他の加工物、例えばメモリディスク等を含むが、これらには限定されない。本発明の実施形態は、材料が被着され又は構造観察される加工物であればどのような加工物にも利用できる。試料は、構造観察されるべき表面又は層が被着される正面、エッジ及び代表的にはベベルを含む。本明細書において説明する他の実施形態と組み合わせ可能な幾つかの実施形態によれば、装置及び方法は、電子ビーム検査、限界寸法決め用途及び欠陥評価用途のために構成され又は利用される。

10

【００１９】

一般に、荷電粒子ビームを集束させるといった場合、理解されるように、荷電粒子のビームは、発散度が減少している。これは、ビームの荷電粒子が次のビーム光学素子に向かって集束され又は少なくとも視準されて荷電粒子の発散度又はブロッキングに起因して荷電粒子の損失を減少させることを意味している。それに応じて、脱焦（defocusing）は、発散度の増大と理解される。さらに、当該技術分野における文献によれば、「オクタポール（octopole）」と「オクチュポール（octupole）」は、同義に用いられ、この場合、「オクタポール」といった場合、これは、「オクチュポール」で置き換え可能であり又はその逆の関係が成り立つことが理解される。

20

【００２０】

本発明の実施形態は、荷電粒子システム、例えば電子ビーム検査（EBI）用の電子顕微鏡、欠陥評価又は限界寸法測定、集束イオンビームシステム等のためのオクタポール補償素子に関する。本明細書において説明するこれら実施形態は、走査型電子顕微鏡における、例えばEBIのための大きな開口数、大きなビーム直径及び／又は大きなビーム電流を備えた電子ビームの補正に特に有用であるが、これだけではない。しかしながら、他形式の荷電粒子ビームは、この装置によっても補正可能である。

【００２１】

特に、かかる上述の用途に関し、標準型クワドラポールスチグマツールは、集束ビームのスポットサイズを制御して最善の解像度を得るには十分ではないと言える。試料上への集束又は合焦を除き、例えば少なくとも $50\mu\text{m}$ ～ $500\mu\text{m}$ のコラム全体にわたる大きなビーム直径に鑑みて、幾つかの実施形態は、ビームを光軸に沿って互いに対して変位させた対物レンズの磁気中心及び電気中心に同時に心出しすることができ、更に、次の次数の収差を是正することができ、即ち、少なくとも８極補償能力を備えた素子を用いて４重非点収差を補償するアライメント方式、２次軸方向非点収差を補償する１対の互いに直交したヘキサポール素子及びアライメント欠陥により生じるコマ収差を補償する方法（シュライヤ（Schleier）補正）を含む。

30

【００２２】

図１は、走査型荷電粒子ビーム装置１００を示している。荷電粒子ビーム装置は、荷電粒子ビーム、例えば電子ビームを光軸２に沿って放出するエミッタ１０を含む。エミッタは、レンズ組立体を用いて試料２０上に合焦されるエミッタ先端部を有する。本明細書において説明する他の実施形態と組み合わせることができる本明細書において説明する実施形態によれば、レンズ組立体は、集光レンズ１２と対物レンズ１４とから成る。また、代表的な改造例によれば、集光レンズに代えて、１つ、２つ又は３つの集光レンズを含む集光レンズ組立体を用いることができる。それにより、回転対称レンズを含むレンズ組立体がその荷電粒子ビームを試料２０上に合焦させ又は集束させるために利用される。

40

【００２３】

代表的な実施形態によれば、図１に示されているように、アライメント又は位置合わせデフレクタ２４が荷電粒子ビーム装置内に設けられている。それにより、理解されるべきこととして、図１に二段アライメント偏向システムとして例示的に示されているアライメ

50

ントデフレクタ 24 が例え一方向に示されていても、アライメントデフレクタを第 2 の方向にも、例えば図 1 の紙面に垂直に設けることができる。

【0024】

他の実施形態と組み合わせることができる本明細書において説明する実施形態によれば、試料 20 上で荷電粒子ビームを走査する走査型デフレクタ 30 が設けられている。

【0025】

本明細書において説明する実施形態の代表的な改造例によれば、アライメントデフレクタ及び/又は走査型デフレクタは、磁気式のものであっても良く(図 1 に示されているように)、静電式のものであっても良く、組み合わせ型静電 磁気式のものであっても良い。

10

【0026】

荷電粒子ビーム装置 100 は、この装置における機械的、磁氣的及び/又は静電的誤差を補償する補償組立体を更に含む。図 1 では、補償組立体 110 は、回転可能なオクタポール素子として示されている。代表的な実施形態によれば、補償組立体は、4 重非点収差を補償するようになっており、この補償組立体は、少なくとも 8 極補償能力を備えている。例えば、それぞれ互いに異なる方向に作用する第 1 のオクタポール素子と第 2 のオクタポール素子、回転可能なオクタポール素子及び少なくとも 12 極、例えば 16 極を有する素子を設けることができる。

【0027】

本発明の開示の範囲内において、誤差、例えば機械的、磁氣的及び/又は静電的誤差の補償と収差の補正は区別される。収差の補正の場合、線形光学素子の偏差、即ち球面収差及び色収差を表す係数 C_s 、 C_c が補償される。1940 年にオットー・シャージャ (Otto Scherzer) により 2 つの係数 C_s 、 C_c が常時正であり且つ回転対称時間依存性且つ空間電荷なしのレンズについてはゼロに等しくないということが示された。本明細書において説明する実施形態は、3 つ全ての条件を満たすシステム、例えば EBI コラムに関する。これは、収差補正を含むシステムと比較して既存の 1 つの差である。これらシステムは、回転対称から外れたフィールド、例えばクワドラポールレンズを含み且つ/或いは非点収差中間像が作られる。それにより、注目されるべきこととして、 C_s 及び C_c 補正に関連したシステムは、これが多くの刊行物において明示的に言及されていない場合であっても非点収差中間像を含む。本明細書において説明する実施形態に関し、補償組立体は、本質的に丸いビームに作用し、かかる補償組立体は、本質的に丸いビーム上に位置決めされた状態でこれに作用するようになっている。これは、球面収差及び/又は色収差を補償する高次素子を含むシステムと比較した場合の差である。

20

30

【0028】

本明細書において説明する補償並びに球面収差及び色収差の補正の一般的原理は、高次マルチポールの利用である。収差補正の場合、係数 C_s 、 C_c に対する所定の補正寄与度、これら係数を補償するよう作られる。本明細書において説明する実施形態に従う誤差の補正の場合、集束特性における偏差は、回転対称に照らして上述の理論には存在せず、係数 C_s 、 C_c の補正を実施した後には存在し続ける。かかる誤差は、機械的な製造上の欠陥、光学部品の位置合わせ不良、材料の不均一性、集束、位置合わせ及び調節のために用いられる電界及び磁界の欠陥、ビームステアリングコンポーネントの汚染及び荷電等である場合がある。これら誤差の結果として、完全な回転対称が失われる。したがって、回転レンズ及びフィールドは、一般に、本発明の意味の範囲内において本質的に回転対称と呼ばれる。結果的に得られるフィールドディストーションは、マルチポール拡張によって説明でき、マルチポールコンポーネントは、有益には、本明細書において説明するように補正可能である。

40

【0029】

それにより、図 1 に示されているダイポール、例えばデフレクタ 22 を用いて、当該技術分野において知られているようにビームの偏向を補正することができる。クワドラポール、例えばスチグマツールを用いて、これ又当該技術分野において知られているように軸

50

方向非点収差を補正することができる。本明細書において説明する他の実施形態と組み合わせ可能な本明細書において説明する実施形態によれば、ヘキサポール、例えばヘキサポールスチグマトールを用いて3重非点収差を補正することができる。さらに、オクタポール、例えばオクタポールスチグマトールを用いて4重非点収差を補正することができる。

【0030】

球面及び色収差の補正と比較した場合の別の差は、電子ビーム検査システムにおける本明細書において説明する実施形態の有益な利用である。収差補正は、システムの分解能を向上させるために開口数の増大を目的としている。それにより、焦点深度を減少させる。電子ビーム検査システム、即ちEBIシステムは、本明細書において説明する実施形態によれば、 $10 \sim 70 \text{ mrad}$ の開口数を既に使用している。これは、 $10 \sim 500 \text{ nA}$ のビーム電流が提供されて電子-電子相互作用がビーム直径、即ち分解能に対する十分に大きな寄与度を有するということに起因している。かくして、開口数は、最善の性能が得られるよう上述の範囲まで既に増大している。それにより、本明細書において説明する他の実施形態と組み合わせ可能な代表的な実施形態によれば、焦点深度は、 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ である。焦点深度を更に減少させると、それにより、典型的にはオン・ザ・フライ (on-the-fly) で実施される電子ビーム検査が害され、この場合、平坦なウェーハ表面からの偏差を所望の検査速度で補正することができず、かくして焦点深度の範囲内にあることが必要である。したがって、本明細書において説明する代表的な実施形態としての方法及び本明細書において説明する代表的な実施形態としての装置は、有益には、上述の範囲の開口数、ビーム電流及び焦点深度について利用されるのが良い。

【0031】

スポット収差の次のレベル、即ち、3次4重幾何学的収差を補正するため、本明細書において説明する実施形態に関し、調節可能な強度及び向き of 補償オクタポールフィールド (電界 (静電界) 若しくは磁界又はこれら両方) が提供される。本発明のオクタポール装置は、本質的に丸いビームの十分に大きなビーム直径の位置に且つビーム軸線と同軸に配置される (もしそうでなければ、オクタポール装置は、脱焦、ビーム偏向及び1次及び2次非点収差を生じさせる)。代表的な実施形態によれば、補償組立体の位置のところにけるビーム直径は、 $50 \sim 500 \mu\text{m}$ である。

【0032】

2つの互いに直交するオクタポールフィールドは、磁気式か静電式かのいずれか又は両方であって良い。図1及び図2A～図4Cを参照して考えられる形態について説明する。

【0033】

上述したように、図1は、ビーム軸線2と軸方向に整列すると共に荷電粒子ビームの十分に大きな直径を備えた位置のところに配置された補償組立体110を示している。図1に示されている補償組立体110は、磁気又は静電オクタポールであり、これをその軸線及び/又は光軸2に沿ってそれぞれ回転させることができる。

【0034】

本明細書において説明する他の実施形態と組み合わせ可能な別の実施形態が図2A～図2Cに示されている。図2Aでは、補償組立体は、2つのオクタポール210, 211によって提供され、これら2つのオクタポール210, 211は、軸線2に沿う単一の位置のところに且つ2つの平面内に設けられ、第1のオクタポール210のフィールドと第2のオクタポール211のフィールドは、本質的にオーバーラップするようになっている。例えば、一方のオクタポールの軸線2に沿う位置は、他方のオクタポール素子の静電界又は図2B及び図2Cにおいて静電界及び/又は磁界の強度が最大フィールド強度の50%以上であるような領域内に位置するようになっている。

【0035】

図2Aに示されている実施形態では、2つの静電オクタポール210, 211が提供されている。静電オクタポールの各々は、8個の電極220を含み、これら電極は、個々に付勢されるよう構成されている。軸線210で理解できるように、第2のオクタポール211は、第1のオクタポール210に対し例えば 22.5° の角度だけ回されている。

【 0 0 3 6 】

図 2 B に示されている実施形態では、2つの磁気オクタポール 2 1 2 , 2 1 3 が図 2 A のオクタポール 2 1 0 , 2 1 1 と同様に設けられている。オクタポール 2 1 2 , 2 1 3 の各々は、8個のコイル 2 4 0 を含む。これらオクタポールは、互いに対して軸線 2 3 0 で示されているように例えば 2 2 . 5 ° の角度だけ回されている。

【 0 0 3 7 】

図 2 C は、組み合わせ型静電磁気補償組立体 1 1 0 を示しており、かかる補償組立体では、静電オクタポール 2 1 0 が磁気オクタポール 2 1 3 と組み合わせられている。両方のオクタポールは、軸線 2 に沿う 2 つの平面内に位置する単一の位置のところに設けられている。オクタポール 2 1 0 は、8個の電極 2 2 0 を含む。オクタポール 2 1 3 は、8個のコイル 2 4 0 を含む。静電界と磁界が電気 磁気方向において互いに直交していることに鑑みて、2つのオクタポールは、互いに対して回されていない。さらに別の実施形態によれば、磁気オクタポール 2 1 3 は又、静電オクタポール 2 1 0 の上方の平面内に設けられるのが良く、即ち、図 2 C の 2 つのオクタポールは、これらの位置が入れ替わっている。

【 0 0 3 8 】

図 3 A ~ 図 3 C は、走査型荷電粒子ビーム装置 1 0 0 の別の実施形態を示している。本明細書において説明する他の実施形態と組み合わせ可能な幾つかの実施形態によれば、荷電粒子ビーム装置は、2つ以上の集光レンズを含む集光レンズ組立体 1 2 を有するのが良い。図 3 A ~ 図 3 C に示された実施例は、第 1 の集光レンズ 3 1 2 A 及び第 2 の集光レンズ 3 1 2 B を有する。したがって、本明細書において説明する実施形態の代表的な改造例は、2つ以上の集光レンズを有する場合がある。しかしながら、それにより、レンズ組立体は、集光レンズ又は集光レンズ組立体と、対物レンズとから成る。図 3 A ~ 図 3 C に示されているように、荷電粒子ビームのクロスオーバーを集光レンズ組立体 1 2 内で代表的には第 1 の集光レンズ 3 1 2 A と別の集光レンズ、例えば第 2 の集光レンズ 3 1 2 B との間に生じさせることができる。荷電粒子ビームを試料上に集束させるレンズ組立体に含まれるレンズは全て、回転対称である。したがって、エミッタから試料までのビーム経路中に非点収差像が生じない。本明細書において説明する実施形態の幾つかの代表的な改造例によれば、レンズ組立体は、エミッタから試料までクロスオーバーが存在しないよう構成されると共に動作する。例えば、レンズシステムの結果として、本質的にテレセントリックのビーム経路が得られる。

【 0 0 3 9 】

本明細書において説明する代表的な実施形態によれば、荷電粒子ビーム装置及びその動作方法は、非点収差レンズを含んでいない。かくして、上記図 3 A ~ 図 3 C を参照して言及したクロスオーバーの場合、非点収差の結果として、線状焦点が得られ、これら線状焦点は、互いにすぐ隣接して位置し、即ち、1 mm 以下の範囲内に、代表的には数百 μ m 以下の範囲内に存在する。しかしながら、荷電粒子ビーム装置及びその動作方法は、例えば 10 mm 以上、例えば 30 ~ 80 mm の巨視的距離を有する線状焦点が生成され、即ち、意図的に生成されるように配置され、構成され、コラム内に位置決めされ且つ / 或いは動作する非焦点レンズを含んでいない。

【 0 0 4 0 】

図 3 A ~ 図 3 C に示された補償組立体 1 1 0 は、単一の位置のところに且つ一平面内に設けられている。図 3 A は、補償組立体 1 1 0 が 1 2 個の電極 3 2 0 を含む実施形態を示している。変形例として、補償組立体 1 1 0 は、1 2 個のコイル 3 4 0 を含んでも良い。図 3 B は、補償組立体 1 1 0 が 1 6 個の電極 3 2 0 を含む実施形態を示している。変形例として、補償組立体 1 1 0 は、1 6 個のコイル 3 4 0 を含んでも良い。図 3 C は、補償組立体 1 1 0 が 8 個のコイル 3 4 0 と組み合わせた 8 個の電極 3 2 0 を含む実施形態を示している。例えば、コイルは、電極として働く極片に巻き付けられるのが良い。それにより、静電界及び磁界の互いに直交する挙動に起因して、電極及びコイルは、強度及び向きを制御することができるオクタポールフィールドを発生させることができる 1 6 個の極を提供するために同一の回転位置のところに設けられるのが良いことが考慮されなければなら

ない。図 3 A ~ 図 3 C にそれぞれ示されている 1 2 極又は 1 6 極は、一般に、フィールド強度及び向き、即ち走査型荷電粒子ビーム装置 1 0 0 の軸線回りの回転向きが可変であるオクタポールフィールドを発生させることができるよう制御されるのが良い。したがって、本明細書において説明する実施形態によれば、調節可能な強度及び向きの補償オクタポールフィールドがレンズ組立体と同軸に位置する位置のところ且つ完全な回転対称からの偏差を補正するために本質的に丸いビームの十分に大きなビーム直径を備えた位置のところに設けられる。

【 0 0 4 1 】

さらに別の実施形態によれば、図 4 A ~ 図 4 C に示されているように、2 つの互いに直交したオクタポールフィールドは、磁気式か静電式かのいずれであっても良く又は両方であって良く、かかるオクタポールフィールドを 2 つの位置のところに且つ 2 つの別々の平面内に設けるのが良い。

10

【 0 0 4 2 】

図 4 A では、補償組立体は、2 つのオクタポール 2 1 0 , 2 1 1 によって提供され、これら 2 つのオクタポール 2 1 0 , 2 1 1 は、軸線 2 に沿う 2 つの位置のところに且つ 2 つの平面内に設けられ、第 1 のオクタポール 2 1 0 のフィールドと第 2 のオクタポール 2 1 1 のフィールドは、本質的にはオーバーラップしないようになっており、例えば、一方のオクタポールの軸線 2 に沿う位置は、他方のオクタポール素子の静電界又は図 4 B 及び図 4 C において静電界及び / 又は磁界の強度が最大フィールド強度の 2 0 % 以下であるような領域内に位置するようになっている。

20

【 0 0 4 3 】

図 4 A に示されている実施形態では、2 つの静電オクタポール 2 1 0 , 2 1 1 が提供されている。静電オクタポールの各々は、8 個の電極 2 2 0 を含み、これら電極は、個々に付勢されるよう構成されている。軸線 2 3 0 で理解できるように、第 2 のオクタポール 2 1 1 は、第 1 のオクタポール 2 1 0 に対し、 22.5° にシステム中のビームのラーモア (Larmor) 回転角度を加えた角度だけ回されている。

【 0 0 4 4 】

図 4 B に示されている実施形態では、2 つの磁気オクタポール 2 1 2 , 2 1 3 が図 4 A のオクタポール 2 1 0 , 2 1 1 と同様に設けられている。オクタポール 2 1 2 , 2 1 3 の各々は、8 個のコイル 2 4 0 を含む。これらオクタポールは、互いに対し、 22.5° にシステム中のビームのラーモア回転角度を加えた角度だけ回されている。

30

【 0 0 4 5 】

図 4 C は、組み合わせ型静電磁気補償組立体 1 1 0 を示しており、かかる補償組立体では、静電オクタポール 2 1 1 が磁気オクタポール 2 1 2 と組み合わせられている。両方のオクタポールは、軸線 2 に沿う 2 つの平面内に位置する 2 つの位置のところに設けられている。オクタポール 2 1 1 は、8 個の電極 2 2 0 を含む。オクタポール 2 1 2 は、8 個のコイル 2 4 0 を含む。静電界と磁界が電気 磁気方向において互いに直交していることに鑑みて、2 つのオクタポールは、ビームのラーモア回転に対応した角度だけ回されているに過ぎない。さらに別の実施形態によれば、磁気オクタポール 2 1 2 は又、静電オクタポール 2 1 1 の下方の平面内に設けられるのが良く、即ち、図 4 C の 2 つのオクタポールは、これらの位置が入れ替わっている。

40

【 0 0 4 6 】

したがって、純粋に磁気的な又は純粋に静電的なオクタポールに関し、両方のオクタポール方向をもたらず単一の素子又は本質的に一平面内に又は光軸に沿って隔てられた 2 つの平面内に位置する 2 つの離隔された素子 (各方向について 1 つずつ) によってフィールドを発生させることができる。それにより、直交性を補償するために 2 つの素子の配置場所相互間の既に存在している可能性のあるラーモア回転を考慮に入れなければならない。

【 0 0 4 7 】

2 つの素子が用いられる場合、これらは両方とも、少なくとも 8 個の電極又は磁極片を有する。単一の素子が用いられる場合、この素子は、9 個以上の磁極片を有する。1 6 個

50

の磁極片が用いられる場合、直交フィールドを別個独立に発生させることができるが、これよりも少ない磁極（例えば１２個）も又、磁極の励起が適切に調節される場合、十分である。

【００４８】

また、第１の方向のための磁気素子を第２の方向のための静電素子と組み合わせることが可能である。これは、離隔された素子を用いて実施できる。図３Ｃに示されているような特に有益な設計例は、磁極及び電極として同時に用いられる８個の極片を用いている。というのは、２つのフィールドは、互いに直交する力を自動的に生じさせるからである。

【００４９】

本明細書において説明する他の実施形態と組み合わせることができる更に別の実施形態によれば、補償組立体は又、１つ、２つ以上又は全ての低次補正フィールド（脱焦、偏向、１次及び２次非点収差）を生じさせるよう利用可能である。したがって、本明細書において説明する補償組立体は、コラム内の他の補償コンポーネントのうちの幾つかに取って代わることができる。特に、静電オクタポール素子の場合、低次補正フィールドがオクタポールによって追加的に生じる場合がある。この場合、補正組立体中の他の素子、好ましくは他の素子全てを省くことができる。静電オクタポールを利用すると、所望の全てのマルチポールを所望の光軸上に同心状に発生させることができ、その結果、繰り返しアライメント手順が必要でなくなる場合がある。異なる補正次数の逸脱軸線の場合、繰り返しアライメント手順が有益である。というのは、例えば２次非点収差補償は、偏向の別途補正を必要とする場合があるからである。

【００５０】

図５Ａは、走査型荷電粒子ビーム装置における機械的、磁氣的及び／又は静電的誤差を補償する方法の実施形態を示す流れ図である。ステップ５０２では、アライメント手順を実施し、アライメント手順は、少なくとも８極補償能力を備えた素子により４重非点収差を補償するステップを含み、アライメント手順の位置合わせステップ及び補償ステップは、各々少なくとも５０μmのビーム寸法が２つの互いに直交した方向に向くと共に少なくとも、少なくとも８極補償能力を備えた素子と同軸に位置合わせされた状態で荷電粒子ビームに作用する。

【００５１】

その代表的な改造例によれば、アライメント手順は、図５Ｂに示されているようなステップを含むのが良く、これらステップは、以下の順序で実施され、即ち、ステップ５０６で示されているように、試料上で走査されるべき荷電粒子ビームを光軸に位置合わせし、ステップ５０８で示されているように、軸方向非点収差を少なくとも４極補償能力を備えた素子により補償し、ステップ５１０で示されているように、少なくとも６極補償能力を備えた素子により３重非点収差を補償し、そして、ステップ５０４で示されているように、少なくとも８極補償能力を備えた素子により４重非点収差を補償し、アライメント手順の位置合わせステップ及び補償ステップは、各々少なくとも５０μmのビーム寸法が２つの互いに直交した方向に向くと共に少なくとも、少なくとも８極補償能力を備えた素子と同軸に位置合わせされた状態で荷電粒子ビームに作用する。さらに別の具体化例によれば、アライメント手順は、荷電粒子ビームの位置合わせ後且つ軸方向非点収差の補償前に荷電粒子ビームを試料上に精密に集束させるステップを更に含むのが良い。アライメントステップをこの順序で提供することにより、高次補償が可能である。というのは、誤差の高次影響は、誤差の低次影響が補償されない限り、一般に目に見えないからである。

【００５２】

図２Ａ～図４Ｃを参照して上述したように、走査型荷電粒子ビーム装置及び誤差を補償する方法の実施形態は、補償組立体及び／又は補償手順を提供し、この場合、８極補償能力は、方位角及び強度が調節可能なオクタポールフィールドによって提供される。それにより、補償方法では異なる球面収差及び色収差の本明細書において説明する補償及び補正とコラム内における補償組立体、即ち走査型荷電粒子ビーム装置の位置決めを明らかに区別する必要がある。代表的には、本明細書において説明する実施形態の場合、アライメン

ト手順は、球面収差及び／又は色収差の補正及び収差係数 C_s 及び／又は C_c の補償を行わない。

【 0 0 5 3 】

本明細書において説明する実施形態の影響は、図 6 A 及び図 6 B に示されている。図 6 A の部分図は各々、分割位置合わせ、クワドラポール及びヘキサポールスチグメーション (stigmatism) 及びコマ収差補正を含む技術の現状のビームアライメントを用いて像品質の比較結果を示している。図 6 A は、上側の図において、例えばこの場合、アパーチャ汚染によって生じるスポットの非対称性を技術の現状のアライメントを用いて示している。図 6 A の下側の部分に示されているように追加のオクタポール補正を用いて、非対称性を除くことができる。図 6 B は、合焦不足状態における小さな粒子の拡大図である。一様にぼやけているのではなく、粒子は、暗い中心の周りに 4 つの顕著な強度最大値が存在するほぼ四角のリングとして見える。これは、4 重非点収差によって生じる。図 6 B の下側の部分に示されているようにオクタポール補正を用いると、粒子の脱焦像が非常に丸く見え、非対称性が減少し、明るいリングの強度が一様に分布され、4 個ではなく 6 個の最大値が示されている。これらは、誤差の非補正 5 次影響によって生じる。対応のスポットサイズ測定の結果の示すところによれば、非補正 4 重収差を有するスポットサイズと比較して補正後のスポットサイズの 5 % の向上が得られる。

10

【 0 0 5 4 】

本明細書において説明する実施形態は、特に、それぞれの技術分野において一般的な用語であると考えられる電子ビーム検査システム (E B I) 内に利用され又は E B I として利用された場合、例えば C_c 及び C_s 補正なしで単一の光学素子を含む高電流電子ビームプローブを提供する。所与のビーム電流及び所与の収差係数 C_c , C_s において、即ち、これら条件下において所与の開口数のスポットサイズ / 分解能に関する最適条件に関し、ビームは、試料上における丸形電子プローブの最適化された合焦を提供するためにコラム内において完全に回転対称であることが意図されている。欠陥、例えば特に固定的に設けられたコンポーネントの機械的な製造上の欠陥、光学部品の位置合わせ不良、材料の不均一性、集束、位置合わせ及び調節のために用いられる電界及び磁界の欠陥、電子光学収差、ビームステアリングコンポーネントの汚染及び荷電及び／又はこれらの組み合わせは、回転対称性を損なう。これら欠陥のうちの幾つかは、時間独立性であるのが良く、これに対し、汚染は、時間依存性がある場合があり、即ち、装置の動作中に堆積する。特に、大ビーム電流、例えば E I B システムに関し、コンポーネントの荷電は、かなり迅速に且つ大きなビーム直径に起因して大幅に生じる場合がある。荷電は、コラム内のビームを変形させ又は偏向させる場合がある。したがって、特に本明細書において説明する大きな N A 及び／又はビーム電流実施形態を有益に利用することができる。

20

30

【 0 0 5 5 】

図 7 は、複数本の荷電粒子ビームを放出する複数個の荷電粒子ビームエミッタ 10 を備えた装置 700 を示している。多荷電粒子ビーム装置は、電子ビーム検査 (E B I) 装置として利用できる。複数本の荷電粒子ビームを利用することは、ウェーハ全体の検査がウェーハスループットに関して極めて重要なので E B I にとって有益である。完全検査のための測定速度は、半導体製造等のボトルネックを回避する上で極めて重要である。したがって、大ビーム電流を利用する多ビーム装置を提供することが有益であり、この場合、ビームスポット対称性は、本明細書において説明する実施形態としての補償組立体を用いて補償される。図 7 は、複数本のビームのためのビームコラムを提供するよう真空チャンバ 706 を備えた多荷電粒子ビーム装置 700 を示している。複数本の荷電粒子ビームを放出する複数個のエミッタ 10 が設けられている。各ビームに関し、集光レンズ 12、アライメントデフレクタ 22 及び走査型デフレクタ 30 が設けられる。アライメントデフレクタ 22 は、図 7 では二段アライメント偏向システムとして例示的に示されており、一方向で示されている。さらに、ビームのアライメントのために第 2 の方向にアライメントデフレクタ及び走査型デフレクタも又設けられるのが良い。複数本の荷電粒子ビームの全てについて共通の対物レンズ 714 が設けられている。本明細書において説明する実施形態に

40

50

よれば、多荷電粒子ビーム装置 700 は、極片組立体を励起するための 1 つの励磁コイルを備えた対物レンズ 714 を含むのが良い。極片組立体は、代表的には、上側極片及び下側極片を含む。それにより、極片は、各ビームのための開口部を有し、即ち、ビーム 1 本に付き 1 つの開口部が設けられている。各ビームは、それぞれの開口部を通り、上側極片を通過し、そしてこの開口部内の下側極片を通過する。さらに別の実施形態によれば、対物レンズは、代表的には、減速組み合わせ型静電磁気レンズである。図 7 では、各ビームに関し、浸漬レンズを形成する上側電極 718 及び下側電極 717 が示されている。共通対物レンズは、複数本のビームを試料ステージ上に設けられた資料上に集束させる。さらに別の実施形態によれば、上述の単一ビームコラムに関して説明した特性、配置及び他の特定を多ビーム装置に同様に適用できる。したがって、本明細書において説明する補償組立体 110 は、電子ビームの各々について設けられている。

10

【0056】

単一ビーム装置から多ビーム装置への移行は、1 つの例外を有する場合がある。図 7 に示されている装置 700 は、共通の対物レンズを有しているため、この対物レンズは、各ビームに対して完全な回転対称性を備えていない場合がある。しかしながら、各サブレンズの基本的光学的パラメータ（焦点距離、収差係数 C_s , C_c ）は、フィールド形成極片の機械的寸法が同一である場合に理想的に回転対称のレンズと本質的に同一であり、非点収差像等の上述の消失が依然として生じる。理解されるべきこととして、図 7 に示されている対物レンズ 714 に関し、合焦特性の回転対称性ができるだけ遠くまで且つ以下に詳細に示されるように維持される。それにより、考慮されるべきこととして、レンズの特性は、レンズ又は極片の外側領域の非対称性の影響を受けにくく、回転特性は、磁界が開口部を通過するビームに作用するために誘導される開口部に関して依然として設けられる。代表的には、例えば単一ビームのための完全回転対称性丸形レンズからの逸脱が高い次数の偏差、例えば 3 次偏差についてのみ生じ、かかる逸脱は、例えば 4 重非点収差として、本明細書において説明する実施形態としての補償組立体を用いて補償できる。

20

【0057】

本明細書において説明する他の実施形態と組み合わせ可能な幾つかの実施形態によれば、荷電粒子コラムのための光学系は、静電レンズコンポーネント及び磁気レンズコンポーネントを備えた対物レンズを含む。各コンポーネントは、少なくとも 2 つのサブレンズから成り、各サブレンズにより、荷電粒子ビームが集束される。本明細書において説明する他の実施形態と組み合わせ可能な更に別の実施形態によれば、複数本の荷電粒子ビームのための光学系が提供される。荷電粒子光学系は、対物レンズ 714 内に少なくとも 2 つの別々の磁気レンズフィールド領域及び少なくとも 2 つの別々の静電レンズフィールド領域を含む。それにより、少なくとも 2 つの別々の磁気レンズフィールド領域は、共通の励磁コイル 715 によって駆動される。少なくとも 2 本の荷電粒子ビームは、光学系を通過して進み、各々光学系の別々の開口部を通る。少なくとも 2 つの開口部を通過して進んだ少なくとも 2 本の荷電粒子ビームは、各々少なくとも 2 つの磁気レンズフィールド領域のうちの一方内に且つ少なくとも 2 つの静電レンズフィールド領域のうちの一方内に集束され又は画像化される。それにより、光学系の開口部は、光学系のコンポーネントに設けられたそれぞれの開口部又は穴として理解されるべきである。コンポーネントのこれらの穴は、互いに対して、荷電粒子ビームがこれら穴を通過して進むことができるよう配置されている。それにより、コンポーネントの穴は、厳密に言って 1 本の線内に位置することが意味されているわけではない。というのは、荷電粒子ビームの方向は、例えば偏向手段を用いることによって補正できるからである。

30

40

【0058】

図 7 に示されているように、荷電粒子ビーム装置 700 は、磁気レンズコンポーネントを有するのが良い。この磁気レンズコンポーネントは、励磁コイル 715 を含む。このコイルの直径は、約 100 mm ~ 1000 mm であるのが良い。それにより、コイル直径は、一般に、対物レンズ 714 により集束される電子ビームの本数で決まる。さらに、上側極片及び下側極片が設けられるのが良い。これら極片は、好ましくは、パーマロイ又は μ

50

金属のような磁気導通性材料で作られる。磁気レンズコンポーネントに加えて、素子 717, 718 により提供される静電レンズコンポーネントが設けられている。レンズ系は、電子ビームの各々について複数個のサブレンズとして説明できる。図 7 を参照して説明した実施形態の場合、静電レンズコンポーネントの静電浸漬サブレンズの各々は、上側電極 718 及び下側電極 717 を含む。これら電極は、非磁気導通性材料で作られるべきである。

【0059】

代表的には、電極 718, 717 は、所望のランディングエネルギーで試料 20 に衝突可能に電子ビームを減速させるよう制御される。例えば対物レンズ内における 1 次電子ビームの減速は、2 つの互いに異なる作用効果を有する。第 1 に、電子は、減少したエネルギーで試料に当たる。第 2 に、電子は、高いビームエネルギーを有する状態で光学系を通過して進む。減速界に起因して、試料に当たる電子の電子エネルギーを減少させることができる。これは、特に、画像化及び検査目的にとって適切である。画像化されるべき試料、例えば集積回路は、好ましくは、電子ビームによって荷電されることはない。したがって、しかしながら、放出された 2 次電子と受け取られた 1 次電子とのバランスを得るためにビームエネルギーを減少させなければならない。さらに、光学系の上方に且つ光学系内に部分的に位置する高いビームエネルギーは、有意な場合がある。所謂ベルシュ効果の収差及び影響は、高いビームエネルギーにより減少する。例えば、色収差は、 E/E で決まる。それにより、 E は、電子ビームのエネルギー広がりである。このエネルギー広がり又はエネルギー変動は、電子銃又は加速電圧の変動により導入される場合がある。項 E/E を最小限に抑えるためには、平均電子ビームエネルギー E を増大させるのが良い。それにより、色収差が減少する。かくして、集束前又は集束中の 1 ~ 数 keV を超える高ビームエネルギーが有利である。

【0060】

本明細書において説明する他の実施形態と組み合わせ可能な更に別の実施形態によれば、共通の対物レンズ 714 は又、「スライスト対物レンズ」によっても提供できる。かかるレンズ構造体の例が 2010 年 3 月 10 日に発行された欧州特許第 1, 432, 007 (B1) 号明細書に記載されており、この欧州特許を参照により引用し、この開示内容が本発明と矛盾しない程度までかかる開示内容を本発明の一部とする。それにより、荷電粒子コラムのためのレンズ系、即ち対物レンズが提供される。レンズ系は、少なくとも 2 つのレンズモジュールを含む。少なくとも 2 つのレンズモジュールは、単一の共通励磁コイルを共用する。各レンズモジュールは、第 1 及び第 2 の極片並びに荷電粒子ビームのための開口部を有する。レンズモジュールは、別々に製造されて対物レンズを形成するよう互いに隣接して設けられても良い。別々の極片モジュールを提供することにより、複数本のビームについて共通の対物レンズの容易な製造が可能である。少なくとも 2 つのレンズモジュールを共通の励磁コイルと併用することにより、磁気導通性材料の加工物のサイズを減少させることができる。かくして、大きな片の状態で得ることが困難な原料の所要のサイズが減少する。さらに、製造上の公差に対する要求を原料から得られた小さな加工物を用いて容易に実現することができる。加うるに、個々のレンズのレンズ特性は、互いに対して一様である。本明細書において説明する他の実施形態と組み合わせ可能な幾つかの実施形態によれば、複数本の荷電粒子ビームのための対物レンズが提供される。対物レンズは、例えば欧州特許第 1, 432, 007 (B1) 号明細書に記載されているように少なくとも 2 つの個々のレンズモジュールを含む。各レンズモジュールは、第 1 の極片、第 2 の極片及び荷電粒子ビームのための少なくとも 1 つの開口部を有する。さらに、対物レンズは、磁束を少なくとも 2 つのレンズモジュールに提供する少なくとも 1 つの単一の共通励磁コイルを含む。

【0061】

したがって、図 1 を参照して回転対称であるとして説明した集光レンズ組立体及び対物レンズは、個々のモジュールを備えた多ビームレンズが提供される場合、4 重対称性を有する場合がある。しかしながら、これは、所与のシステムにおける最大回転対称を依然と

10

20

30

40

50

して提供し、これは、収差補正システムのための回転対称の意図した低下である非点収差像とは対照的である。

【 0 0 6 2 】

本明細書において説明した実施形態としての補償組立体を用いて荷電粒子ビーム装置を補償する方法は、球面収差及び色収差の補正以外の補償をもたらす。収差補正の場合、係数 C_s , C_c を補償するために係数 C_s , C_c への所定の補正寄与を生じさせる。本明細書において説明した実施形態による誤差の補償の場合、回転特性からの逸脱を補償する。かかる誤差は、機械的な製造上の欠陥、光学部品の位置合わせ不良、材料の不均一性、集束、位置合わせ及び調節のために用いられる電界及び磁界の欠陥、ビームステアリングコンポーネントの汚染及び荷電等である場合がある。これら誤差の結果として、完全な回転対称性が失われる。本明細書において説明した補償組立体は、かかる高次誤差を補正するようになっている。これは、大ビーム電流システム、大きな開口数を備えたシステム及び / 又は収差補正が望ましくない又は適切ではない例えば EBI 用途のための多ビーム装置にとって特に有用であるが、上述したように、これら誤差の補償は、性能を向上させる。

10

【 0 0 6 3 】

上述の内容は、本発明の実施形態に関するが、本発明の基本的な範囲から逸脱することなく本発明の他の且つ別の実施形態を想到することができ、本発明の範囲は、以下の特許請求の範囲の記載に基づいて定められる。

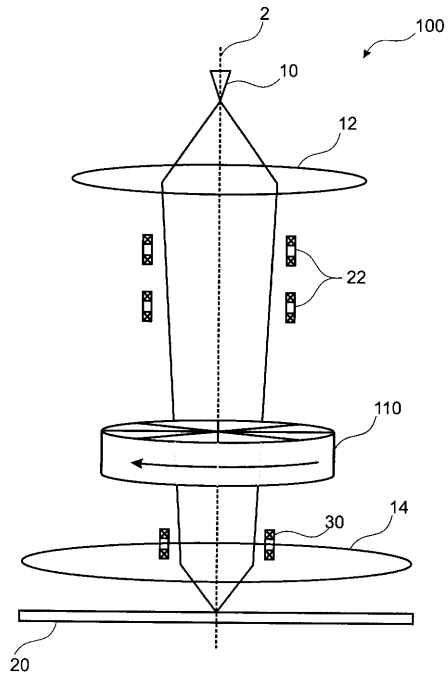
【 符号の説明 】

【 0 0 6 4 】

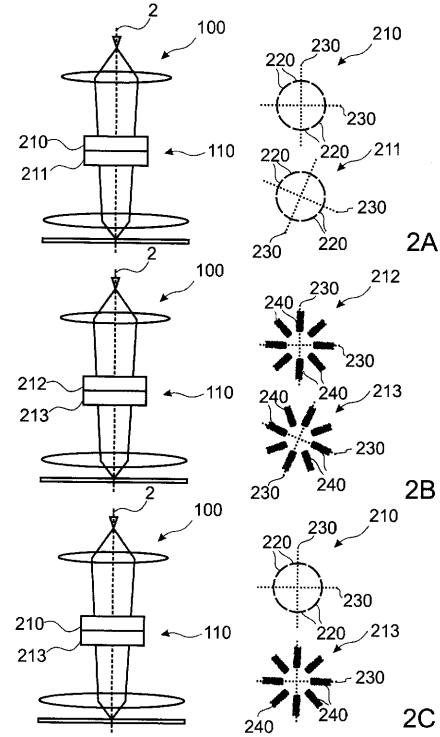
20

- 2 光軸
- 1 0 エミッタ
- 1 2 集光レンズ
- 1 4 対物レンズ
- 2 0 試料
- 2 2 アライメントデフレクタ
- 3 0 走査デフレクタ
- 1 0 0 走査型荷電粒子ビーム装置
- 1 1 0 補償組立体

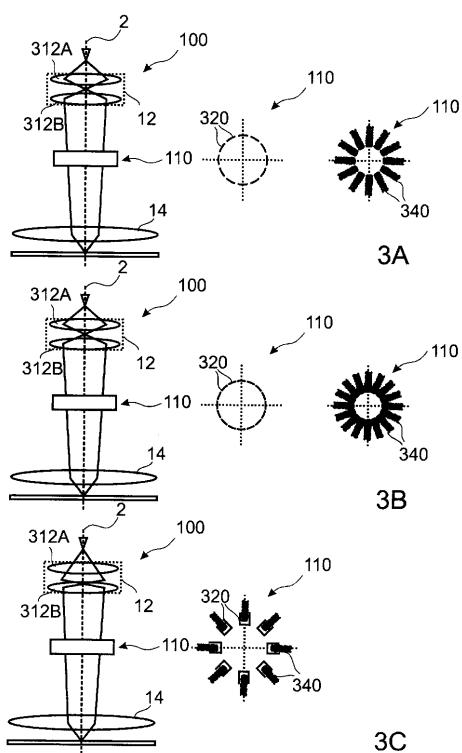
【図 1】



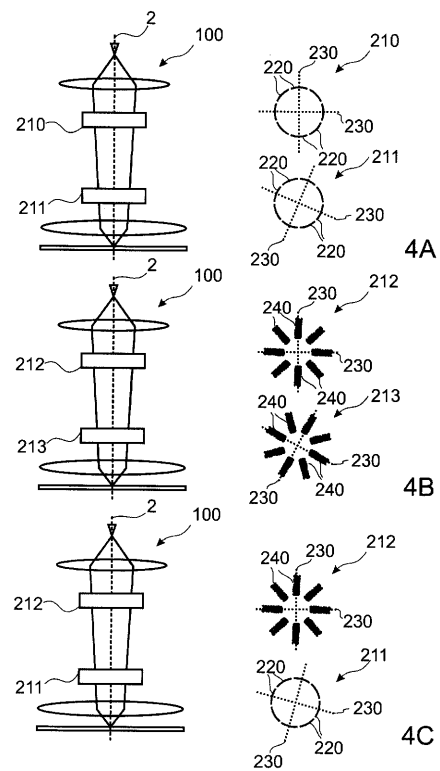
【図 2】



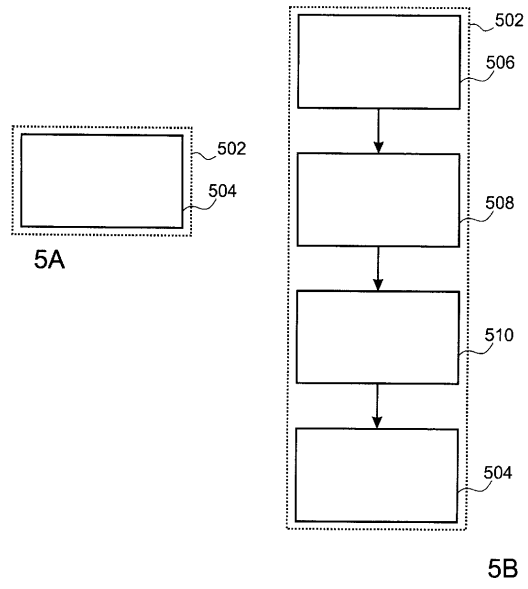
【図 3】



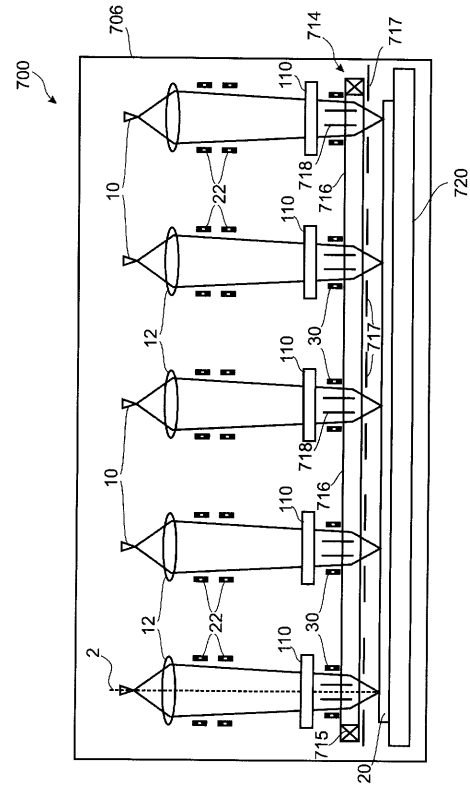
【図 4】



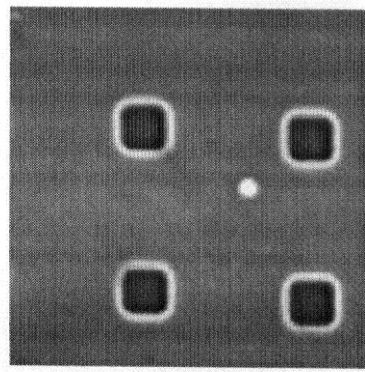
【図 5】



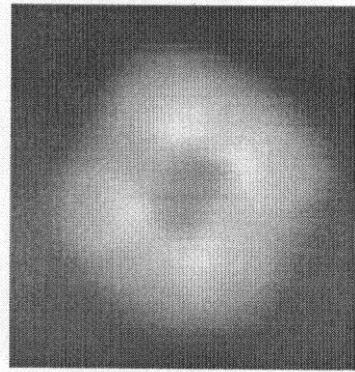
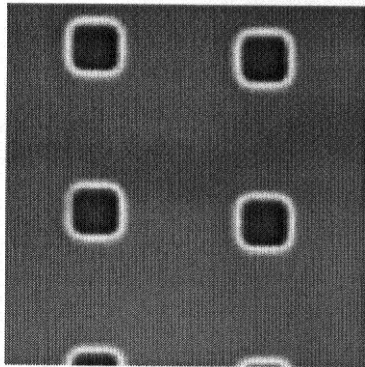
【図 7】



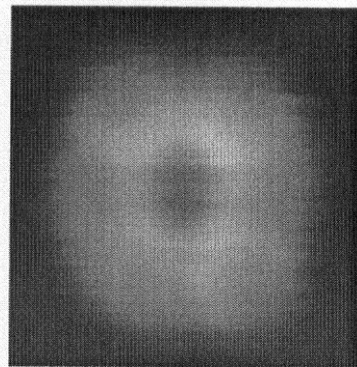
【図 6】



6A



6B



フロントページの続き

(74)代理人 100103609

弁理士 井野 砂里

(74)代理人 100095898

弁理士 松下 満

(74)代理人 100098475

弁理士 倉澤 伊知郎

(74)代理人 100123630

弁理士 渡邊 誠

(72)発明者 アレクサンドラ クレイマー

ドイツ連邦共和国 8 1 3 7 9 ミュンヘン ハルスケシュトラーセ 1 8

(72)発明者 シュテファン ラニオ

ドイツ連邦共和国 8 5 4 3 5 エルディング アイヒェンドルフシュトラーセ 1

審査官 遠藤 直恵

(56)参考文献 特開平 0 4 - 3 2 8 2 3 2 (J P , A)

特開 2 0 0 9 - 1 4 0 9 2 4 (J P , A)

特開 2 0 0 4 - 1 9 9 9 2 9 (J P , A)

特開 2 0 0 3 - 2 3 4 0 7 7 (J P , A)

特開 2 0 0 3 - 1 8 7 7 3 1 (J P , A)

特開 2 0 0 7 - 2 6 6 0 0 8 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 J 3 7 / 1 5 3