

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6826637号
(P6826637)

(45) 発行日 令和3年2月3日(2021.2.3)

(24) 登録日 令和3年1月19日(2021.1.19)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 J 37/141 (2006.01)

H O 1 J 37/141 A

H O 1 J 37/147 (2006.01)

H O 1 J 37/147 B

H O 1 J 37/06 (2006.01)

H O 1 J 37/06 A

H O 1 J 1/304 (2006.01)

H O 1 J 1/304

H O 1 J 37/09 (2006.01)

H O 1 J 37/09 A

請求項の数 20 外国語出願 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2019-128870 (P2019-128870)

(22) 出願日 令和1年7月11日(2019.7.11)

(65) 公開番号 特開2020-13790 (P2020-13790A)

(43) 公開日 令和2年1月23日(2020.1.23)

審査請求日 令和1年8月21日(2019.8.21)

(31) 優先権主張番号 16/033, 987

(32) 優先日 平成30年7月12日(2018.7.12)

(33) 優先権主張国・地域又は機関

米国 (US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 501493587

アイシーティー インテグレートッド サ

ーキット テスティング ゲゼルシャフト

フィーア ハルプライターブリーフテヒ

ニック エム ベー ハー

ドイツ, デー ー 8 5 5 5 1, ハイムス

テッテン, アンメルタルストラーセ 2

O

(74) 代理人 100094569

弁理士 田中 伸一郎

(74) 代理人 100103610

弁理士 ▲吉▼田 和彦

(74) 代理人 100109070

弁理士 須田 洋之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高性能検査走査電子顕微鏡装置およびその動作方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

タングステン先端部を有する冷電界エミッタを含む荷電粒子源と、

前記荷電粒子源から荷電粒子ビームを抽出するように構成された抽出電極アセンブリと

、

前記荷電粒子源と磁気コンデンサレンズとの間のビーム制限開孔と、

前記荷電粒子ビームを平行にするように適合され、第1の内側磁極片および第1の外側磁極片を含む前記磁気コンデンサレンズであって、前記荷電粒子源と前記第1の内側磁極片との間の第1の軸方向距離が約20mm以下であり、前記第1の軸方向距離が前記荷電粒子源と前記第1の外側磁極片との間の第2の軸方向距離よりも大きい、前記磁気コン

10

デンサレンズと、
前記荷電粒子ビームを10keV以上のエネルギーに加速するための加速区間であって、前記磁気コンデンサレンズの場合が前記加速区間と少なくとも部分的に重なり合う、加速区間と、

第2の内側磁極片および第2の外側磁極片を含む磁気対物レンズであって、前記第2の内側磁極片と試料の表面との間の第3の軸方向距離が約20mm以下であり、前記第3の軸方向距離が前記第2の外側磁極片と前記試料の前記表面との間の第4の軸方向距離よりも大きく、前記磁気コンデンサレンズと前記磁気対物レンズとの組合せ作用が前記荷電粒子ビームを前記試料の前記表面上に集束させる、磁気対物レンズと、

前記荷電粒子ビームを10keV以上の前記エネルギーから2keV以下のランディン

20

グエネルギーに減速させるための減速区間であって、前記磁気対物レンズの場が前記減速区間と少なくとも部分的に重なり合う、減速区間と、
を備える、荷電粒子ビーム装置。

【請求項 2】

前記第 1 の内側磁極片が第 1 の内径を有し、前記第 1 の内径が前記第 1 の軸方向距離以上である、請求項 1 に記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 3】

前記第 2 の内側磁極片が第 2 の内径を有し、前記第 2 の内径が前記第 3 の軸方向距離以上である、請求項 1 または 2 に記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 4】

前記ビーム制限開孔が前記抽出電極アセンブリに含まれている、請求項 1 から 3 までのいずれか 1 項に記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 5】

前記磁気対物レンズが軸方向間隙レンズである、請求項 1 から 4 までのいずれか 1 項に記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 6】

前記荷電粒子源と前記磁気コンデンサレンズの前記第 1 の内側磁極片との間の前記第 1 の軸方向距離が約 10 mm 以下である、請求項 1 から 5 までのいずれか 1 項に記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 7】

前記磁気コンデンサレンズおよび前記磁気対物レンズが前記荷電粒子ビームの軸に沿って互いにほぼ対称に配置されている、請求項 1 から 6 までのいずれか 1 項に記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 8】

前記磁気対物レンズの前記第 2 の内側磁極片と前記試料の前記表面との間の前記第 3 の軸方向距離が約 10 mm 未満である、請求項 1 から 7 までのいずれか 1 項に記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 9】

前記ビーム制限開孔が、前記荷電粒子ビームを軸方向に前記ビーム制限開孔を通過させて、前記荷電粒子ビームのビーム電流を低減させるように構成されている、請求項 1 から 8 までのいずれか 1 項に記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 10】

前記タングステン先端部が (3、1、0) 配向を有するタングステン単結晶である、請求項 1 から 9 までのいずれか 1 項に記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 11】

前記荷電粒子ビームを前記試料の前記表面を横切って走査するように適合された走査偏向器ユニットであって、前記抽出電極と前記磁気対物レンズとの間に配置され、特に、前記磁気対物レンズの場の近傍に配置されている、走査偏向器ユニット
をさらに備える、請求項 1 から 10 までのいずれか 1 項に記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 12】

タングステン先端部を有する冷電界エミッタを用いて荷電粒子ビームを形成する荷電粒子を生成するステップと、

加速区間において前記荷電粒子を加速するステップと、

第 1 の内側磁極片および第 2 の外側磁極片を有する磁気コンデンサレンズによって前記荷電粒子ビームを平行にするステップであって、前記冷電界エミッタの前記タングステン先端部と前記磁気コンデンサレンズの前記第 1 の内側磁極片との間の第 1 の軸方向距離が約 20 mm 未満である、ステップと、

前記磁気コンデンサレンズと、内側磁極片および外側磁極片を有する磁気対物レンズとの組合せ作用によって前記荷電粒子ビームを試料の表面上に集束させるステップであって、前記磁気対物レンズの前記内側磁極片と前記試料の前記表面との間の第 2 の軸方向距離

10

20

30

40

50

が約 20 mm 未満であり、前記第 2 の軸方向距離が前記外側磁極片と前記試料の前記表面との間の第 3 の軸方向距離よりも大きい、ステップと、

減速区間において、前記荷電粒子を前記試料の前記表面のランディングエネルギーに減速させるステップと、
を含む、荷電粒子ビーム装置を動作させる方法。

【請求項 13】

前記磁気対物レンズが軸方向間隙レンズである、請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

前記磁気コンデンサレンズの場が前記加速区間と少なくとも部分的に重なり合う、請求項 12 または 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記磁気対物レンズの場が前記減速区間と少なくとも部分的に重なり合う、請求項 12 から 14 までのいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 16】

前記加速区間において、前記荷電粒子が、少なくとも 10 keV、特に少なくとも 15 keV のエネルギーに、特に少なくとも 30 keV のエネルギーに加速される、請求項 12 から 15 までのいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 17】

前記減速区間において、前記荷電粒子が、約 3 keV 以下、特に約 1 keV 以下のランディングエネルギーに減速される、請求項 12 から 15 までのいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 18】

単結晶先端部を有する冷電界エミッタを含む荷電粒子源と、

前記荷電粒子源から荷電粒子ビームを抽出するように構成された抽出電極アセンブリと、

前記荷電粒子源と磁気コンデンサレンズとの間のビーム制限開孔と、

前記荷電粒子ビームを平行にするように適合され、第 1 の内側磁極片および第 1 の外側磁極片を含む前記磁気コンデンサレンズであって、前記荷電粒子源と前記第 1 の内側磁極片との間の第 1 の軸方向距離が約 20 mm 以下であり、前記第 1 の軸方向距離が前記荷電粒子源と前記第 1 の外側磁極片との間の第 2 の軸方向距離よりも大きい、前記磁気コンデンサレンズと、

前記荷電粒子ビームを 10 keV 以上のエネルギーに加速するための加速区間であって、前記磁気コンデンサレンズの場が前記加速区間と少なくとも部分的に重なり合う、加速区間と、

第 2 の内側磁極片および第 2 の外側磁極片を含む磁気対物レンズであって、前記第 2 の内側磁極片と試料の表面との間の第 3 の軸方向距離が約 20 mm 以下であり、前記第 3 の軸方向距離が前記第 2 の外側磁極片と前記試料の前記表面との間の第 4 の軸方向距離よりも大きく、前記磁気コンデンサレンズと前記磁気対物レンズとの組合せ作用が前記荷電粒子ビームを前記試料の前記表面上に集束させる、磁気対物レンズと、

前記荷電粒子ビームを 10 keV 以上の前記エネルギーから 2 keV 以下のランディングエネルギーに減速させるための減速区間であって、前記磁気対物レンズの場が前記減速区間と少なくとも部分的に重なり合う、減速区間と、
を備える、荷電電子装置。

【請求項 19】

前記第 1 の内側磁極片が第 1 の内径を有し、前記第 1 の内径が前記第 1 の軸方向距離以上である、請求項 18 に記載の荷電電子装置。

【請求項 20】

前記磁気対物レンズが軸方向間隙レンズである、請求項 18 または 19 に記載の荷電電子装置。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】

【0001】

本出願の実施形態は、例えば、検査走査電子顕微鏡、試験システム用途、リソグラフィシステム用途、集積回路試験、欠陥レビュー、限界寸法測定用途などに適合された荷電粒子ビーム装置に関する。本出願の実施形態は、荷電粒子ビーム装置を動作させる方法にも関する。さらに、本出願の実施形態は、荷電粒子ビーム装置を使用する検査走査電子装置に関する。

【背景技術】

【0002】

荷電粒子ビーム装置は、製造中の半導体デバイスおよび電子回路の検査、リソグラフィのための露光システム、検出装置、欠陥検査ツール、および集積回路のための試験システムを含むが、これらに限定されない複数の産業分野で広く使用されている。半導体技術は、ナノメートルにおいて、またはサブナノメートルスケールにおいてでさえも、試料を構造化およびプロービングするための高い需要を生み出してきた。プロセス制御、検査および/または構造化は、電子顕微鏡あるいは電子ビームパターン発生器などの荷電粒子ビーム装置において生成、集束される荷電粒子ビーム、例えば、電子ビームを提供する荷電粒子装置の使用にしばしば基づいている。

10

【0003】

走査電子顕微鏡（SEM）などの荷電粒子ビームを使用する高性能検査装置は、そのプロービング波長が光ビームの波長よりも短いため、例えば、光子ビーム装置と比較して優れた空間分解能を提供する。例えば、SEMの場合、一次電子（PE）ビームは、試料をイメージングおよび分析するために使用することができる二次電子（SE）および/または後方散乱電子（BSE）のような粒子を生成する。特に、走査電子顕微鏡（SEM）は、ウエハ上のプロセス欠陥の高スループットの高解像度イメージングに使用することができる。

20

【0004】

従来技術のSEMカラムは、高解像度の試料構造を提供することができる。ウエハ検査SEMは、ウエハなどの試料上のプロセス欠陥の高スループットの高解像度イメージングに使用することができる。多くの機器が、一次ビームを試料上に集束させるために静電レンズまたは複合電磁レンズを使用している。低いランディングエネルギーでナノメートルおよびサブナノメートル範囲の空間分解能で動作する検査装置が必要とされている。

30

【0005】

ウエハ上の特徴が小さくなるとともに、解像度およびスループットの要件が増加する。電子光学システムに基づく高解像度イメージング装置の場合は、例えば、高解像度対高プローブ電流、大画像フィールド対小ピクセルサイズは、それぞれ、相反する考慮すべき事項である。これらの相反する要件を満たすことができる走査電子顕微鏡SEMの電子光学システムは、有益である。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記を考慮して、請求項1に記載の荷電粒子ビーム装置が提供される。さらに、請求項12に記載の荷電粒子ビーム装置を動作させる方法が提供される。さらに、請求項18に記載の荷電粒子ビーム装置を有する検査走査電子装置が提供される。

40

【0007】

一実施形態によると、荷電粒子ビーム装置が提供される。荷電粒子ビーム装置は、タングステン先端部を有する冷電界エミッタを含む荷電粒子源と、荷電粒子源から荷電粒子ビームを抽出するように構成された抽出電極アセンブリと、荷電粒子源と磁気コンデンサレンズとの間のビーム制限開孔と、荷電粒子ビームを平行にするように適合され、第1の内側磁極片および第1の外側磁極片を含む磁気コンデンサレンズであって、荷電粒子源と第1の内側磁極片との間の第1の軸方向距離が約20mm以下であり、第1の軸方向距離が

50

荷電粒子源と第1の外側磁極片との間の第2の軸方向距離よりも大きい、磁気コンデンサレンズと、荷電粒子ビームを10 keV以上のエネルギーに加速するための加速区間であって、磁気コンデンサレンズの場合が加速区間と少なくとも部分的に重なり合う、加速区間と、第2の内側磁極片および第2の外側磁極片を含む磁気対物レンズであって、第2の内側磁極片と試料の表面との間の第3の軸方向距離が約20 mm以下であり、第3の軸方向距離が第2の外側磁極片と試料の表面との間の第4の軸方向距離よりも大きく、磁気コンデンサレンズと磁気対物レンズとの組合せ作用が荷電粒子ビームを試料の表面上に集束させる、磁気対物レンズと、荷電粒子ビームを10 keV以上のエネルギーから2 keV以下のランディングエネルギーに減速させるための減速区間であって、磁気対物レンズの場合が減速区間と少なくとも部分的に重なり合う、減速区間と、を含む。

10

【0008】

別の実施形態によると、荷電粒子ビーム装置を動作させる方法が提供される。本方法は、タングステン先端部を有する冷電界エミッタを用いて荷電粒子ビームを形成する荷電粒子を生成するステップと、加速区間において荷電粒子を加速するステップと、磁気コンデンサレンズによって荷電粒子ビームを平行にするステップと、磁気コンデンサレンズと内側磁極片および外側磁極片を有する磁気対物レンズとの組合せ作用によって荷電粒子ビームを試料の表面上に集束させるステップであって、磁気対物レンズの内側磁極片と試料の表面との間の軸方向距離が約20 mm未満であり、軸方向距離が外側磁極片と試料の表面との間のさらなる軸方向距離よりも大きい、ステップと、減速区間において、荷電粒子を試料の表面でランディングエネルギーに減速させるステップと、を含む。

20

【0009】

さらなる別の実施形態によると、検査走査電子装置が提供される。検査走査電子装置は、本開示の実施形態による荷電粒子ビーム装置を含む。

【0010】

さらなる特徴および詳細は、従属請求項、説明、および図面から明らかである。

【0011】

本発明の上記の特徴を詳細に理解することができるように、上で簡単に要約された本発明のより具体的な説明を、実施形態を参照することによって得ることができる。添付の図面は、本発明の実施形態に関連するものであり、以下に説明する。

【図面の簡単な説明】

30

【0012】

【図1】一実施形態による荷電粒子ビーム装置の原理構成の概略図である。

【図2】図1に示す荷電粒子ビーム装置によって提供される電子エネルギープロファイルを示す図である。

【図3】一実施形態による検査走査電子装置を示す図である。

【発明を実施するための形態】**【0013】**

一実施形態の要素は、さらに詳述することなく他の実施形態において有利に利用することができると考えられる。

【0014】

40

ここで、本発明の様々な実施形態を詳細に参照し、そのうちの1つまたは複数の例を図に示す。図面の以下の説明の範囲内で、同じ参考番号は、同じ構成要素を指す。全体に、個々の実施形態に関しての相違点のみが記載される。各例は、本発明の説明として提供され、本発明を限定することを意味していない。さらに、一実施形態の一部として示され説明される特徴は、さらなる実施形態を生み出すために他の実施形態に関してまたは他の実施形態と併せて使用され得る。説明は、そのような変更および変形を含むことが意図されている。

【0015】

以下では、一部の実施形態による荷電粒子ビーム装置またはその構成要素について説明する。本明細書に記載された実施形態は、荷電粒子を生成するように適合された荷電粒子

50

源を含む荷電粒子ビーム装置に関する。さらに、荷電粒子源から荷電粒子を抽出し、荷電粒子ビームを形成するように適合された抽出電極が設けられている。荷電粒子ビームは、コンデンサレンズによって平行にされ、次いで、平行にされた荷電粒子ビームを対物レンズによって試料、例えば、ウエハの表面上に集束させる。対物レンズは、内側磁極片および外側磁極片を含み、内側磁極片は、内側磁極片と試料の表面との間に最大の距離を有するように設計されている。ビーム電流と解像度との相反する要件は、内側磁極片のそのような配置によって有利に提供され得ることが見出された。さらに、例えば、対物レンズは、内側磁極片の内径が内側磁極片と試料の表面との間の距離以上となるように設計されている内側磁極片を有することができる。走査視野と解像度との相反する要件は、内側磁極片のそのような配置によって有利に提供され得ることが見出された。

10

【0016】

加えて、本明細書に記載された実施形態は、荷電粒子ビーム装置を動作させる方法に関する。本方法は、荷電粒子源において荷電粒子を生成するステップを含む。荷電粒子ビーム装置の加速区間において、荷電粒子ビームが形成され、荷電粒子が加速される。次いで、荷電粒子ビームを、内側磁極片および外側磁極片を有する対物レンズによって試料の表面上に集束させる。

【0017】

本方法は、対物レンズの内側磁極片の内径が、例えば、25mm以下、20mm以下、特に10mm以下となるように対物レンズを配置するステップを含む。さらに、内径は、対物レンズの内側磁極片と試料の表面との間の距離以上であってもよい。ビーム伝搬経路および荷電粒子ビームの軸に沿って下流に位置する減速区間において、荷電粒子は、試料の表面で所定のランディングエネルギーに減速する。

20

【0018】

さらに、本明細書に記載された実施形態は、荷電粒子ビーム装置を含む走査電子装置に関し、本走査電子装置は、ウエハレビュー、限界寸法測定、または試料検査手順を行うように適合されている。

【0019】

本明細書に記載されるように、荷電粒子ビームの生成に関する一部の議論および説明は、電子顕微鏡における電子に関して例示的に説明される。しかしながら、他のタイプの荷電粒子、例えば、正イオンが、様々な異なる機器の装置によって提供されてもよい。他の実施形態と組み合わせることができる本明細書に記載された実施形態によると、荷電粒子ビームは、電子ビームと呼ばれる。

30

【0020】

本明細書で言及されるような「試料」は、半導体ウエハ、半導体加工物、およびメモリディスクなどの他の加工物などを含むが、これらに限定されない。全体に、「試料の表面」に言及する場合、この表面は、集束させた荷電粒子ビームとの相互作用が行なわれるウエハ表面であると理解される。そのため、試料は、構造化された表面、または層を堆積させた表面を含む。本明細書で言及されるような「試料ホルダ」は、試料ステージなどの機械的に固定されたまたは移動可能な装置を含むが、これに限定されない。

【0021】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一部の実施形態によると、装置および方法は、限界寸法測定プロセスおよび欠陥レビューモニタリングのための電子ビーム検査用に構成され、またはそれに適用することができる。全体に、「ビーム電流」に言及する場合、荷電粒子のビームが所定の電荷を運ぶと理解される。荷電粒子ビーム装置は、特に、高速走査および検出、例えば電子ビーム検査システム(EBI)に使用することができる。

40

【0022】

図1は、一実施形態による荷電粒子ビーム装置100の原理構成を概略的に示す。荷電粒子源101は、荷電粒子を生成するために設けられている。荷電粒子のビーム経路200は、荷電粒子ビームの光軸106によって規定される。荷電粒子ビームは、荷電粒子源

50

101の近傍に位置するコンデンサレンズ104によって平行にされる。光軸106に沿って下流に、対物レンズ301が配置されている。対物レンズ301は、試料300の近傍に位置する。試料300は、試料ホルダ303によって保持されている。対物レンズ301に面する試料の表面302は、対物レンズ301に対して所定の距離に位置する。本明細書に記載された実施形態によると、対物レンズ301は、内側磁極片403および外側磁極片404を含み、内側磁極片403の内径は、内側磁極片403と試料300の表面302との間の距離以上である。

【0023】

10 一部の実施形態によると、磁気対物レンズ、また磁気コンデンサレンズも、軸方向間隙レンズであってもよい。磁気対物レンズの内側磁極片と試料の表面との間の軸方向距離は、磁気対物レンズの外側磁極片と試料との間の軸方向距離よりも大きい。例えば、内側磁極片と外側磁極片との間の間隙は、対物レンズの光軸に沿って延在することができる。例えば、本開示の一部の実施形態によると、磁気対物レンズの内側磁極片と試料の表面との間の軸方向距離は、約20mm未満である。

【0024】

20 本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、荷電粒子源101は、冷電界エミッタを含むことができる。このさらなる別の修正形態によると、冷電界エミッタは、鋭い先端部などの先端部105を有することができるタンゲステン単結晶102を含むことができ、先端部は、トンネリングによって電界放出するように構成されている。冷電界放出源の利点は、高密度を有する荷電粒子ビームを得ることができるということである。そのような線源の仮想線源サイズは、小さい。高いビーム密度から恩恵を得ることができるようにするため、後続の光学システムは、注意深く設計されている。

【0025】

30 図2は、図1に示す荷電粒子ビーム装置100によって提供される電子エネルギープロファイル203を示す。参照番号200は、荷電粒子源101から試料300の表面302への荷電粒子のビーム経路を表す。本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、荷電粒子ビーム装置100は、荷電粒子を所定のエネルギーに加速させるように適合された少なくとも1つの加速区間201、および荷電粒子を所定のランディングエネルギーに減速させるように適合された少なくとも1つの減速区間202を含む。電子が考慮される場合、加速区間201は、荷電粒子を、少なくとも10keV、特に少なくとも15keVのエネルギーに、特に少なくとも30keVのエネルギーに加速させることができる。

【0026】

40 本開示の実施形態によると、抽出電極307を設けることができる。抽出電極は、放射機構に抽出電界を印加するために正電圧を有することができる。冷電界エミッタの抽出の主なメカニズムは、先端部表面の表面電位障壁を介したトンネル効果である。この効果は、抽出電極307の抽出電界によって制御することができる。さらに、一部の実施形態によると、抽出電極は、電子を加速する。抽出電極は、加速区間201の一部を構成することができる。加速電極308は、加速区間の一部として設けることができる。本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、加速区間は、エミッタから加速電極308まで延在することができる。加速電界強度は、約3kV/mm、またはそれをわずかに上回ってもよい。加速は、例えば、最大30kVとすることができる。電子は、加速電極308から電極309まで高エネルギーで進むことができる。電極は、減速区間202の一部として設けることができる。本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、減速区間は、電極309から試料またはプロキシ電極(proxielelectrode)まで延在することができる。減速電界強度は、約3kV/mm、またはそれをわずかに上回ってもよい。電子は、電極309とプロキシ電極などのさらなる電極との間、または電極309と試料との間の電位差によって減速させることができる。例えば、プロキシ電極は、対物レンズと試

10

20

30

40

50

料との間に設けることができる。減速区間および加速区間は、対物レンズおよびコンデンサレンズのそれぞれの場と重なり合ってもよい。

【0027】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、コンデンサレンズ104は、コンデンサレンズ104の場が荷電粒子ビーム経路200内部の加速区間201と少なくとも部分的に重なり合うように配置することができる。一部の実施形態によると、電極、例えば、抽出電極は、加速区間を提供するために荷電粒子源101とコンデンサレンズとの間に設けることができる。

【0028】

減速区間202は、荷電粒子を、高エネルギーから約3 keV以下、特に約1 keV以下のランディングエネルギーに減速させることができる。

10

【0029】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、対物レンズ301は、対物レンズ301の場が荷電粒子ビーム経路200内部の減速区間202と少なくとも部分的に重なり合うように配置することができる。一部の実施形態によると、減速区間を提供するために対物レンズと試料支持体との間にさらなる電極が設けられてもよい。さらなる電極は、対物レンズの静電レンズ部分として作用することができる。

【0030】

加速区間201と減速区間202の間では、荷電粒子のビーム経路200に沿った荷電粒子のエネルギーは、ほぼ一定であってもよく、すなわち荷電粒子、この場合、電子のエネルギーは、30 keV以上などの、約10 keV以上のレベルにあってもよい。本開示の文脈では、所定のランディングエネルギーは、荷電粒子とウエハ構造、すなわちウエハ表面302にランディングする前の試料300の表面302または表面領域上の構造との相互作用に適したエネルギーである。

20

【0031】

本明細書に記載されるように、荷電粒子ビームの生成に関する一部の議論および説明は、電子に対して例示的に記載されている。この意味合いにおいて、図2は、電子のエネルギープロファイル203を示す。加速区間201では、荷電粒子のエネルギーは、低レベルから高レベルに増加し、減速区間202では、荷電粒子のエネルギーは、高レベルから、試料300の表面302上で、荷電粒子、例えば、電子のランディングエネルギーに減少する。荷電粒子の加速および減速は、光軸106、すなわち荷電粒子ビームの軸とほぼ一致するビーム伝搬経路200に沿って行なわれる。

30

【0032】

図2に示すように、荷電粒子ビーム装置100は、少なくとも1つのコンデンサレンズ104および少なくとも1つの対物レンズ301を含む。2つのレンズの組合せ作用は、荷電粒子源101から生じる荷電粒子を平行にすることによる電子ビームの形成と、試料300の表面302上の特定位置への電子ビームの集束との両方を提供する。表面302上の特定位置における電子ビームのスポットは、所定のサイズを有することができる。さらに、試料300の表面302のその位置における電子ビームの所定のプローブ電流を供給することができる。

40

【0033】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、試料300の表面302上の特定位置に電子ビームを集束させるステップは、コンデンサレンズ104の場と対物レンズ301の場との組合せ作用を提供するステップを含むことができる。特に、コンデンサレンズ104および対物レンズ301は、コンデンサレンズ104の場と対物レンズ301の場との両方の組合せ作用によって荷電粒子ビームを試料の表面上に集束させるように、互いに対して配置することができる。

【0034】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、

50

コンデンサレンズ 104 は、磁気コンデンサレンズとして設けることができる。本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができるさらなる別の実施形態によると、対物レンズ 301 は、磁気対物レンズとして設けることができる。減速は、複合磁気静電対物レンズを有するようにさらなる静電レンズ構成要素として作用することができる。

【0035】

さらなる別の代替形態によると、コンデンサレンズ 104 および対物レンズ 301 は、互いに対しておおよそ荷電粒子ビームの軸 106 に対してほぼ対称に配置することができる。コンデンサレンズ 104 および対物レンズ 301 のこの対称の配置は、荷電粒子ビーム装置 100 の構成を簡略化することができるという利点を有する。

【0036】

例えば、本明細書に記載された実施形態は、荷電粒子ビーム装置を提供する。本装置は、タングステン先端部を有する冷電界エミッタを含む荷電粒子源 101 と、荷電粒子源から荷電粒子ビームを抽出するように構成された抽出電極アセンブリまたは抽出電極 307 と、を含む。磁気コンデンサレンズ 104 は、荷電粒子ビームを平行にするように適合されている。コンデンサレンズは、第 1 の内側磁極片 401 および第 1 の外側磁極片 402 を含み、荷電粒子源と第 1 の内側磁極片との間の第 1 の軸方向距離 601 が約 20 mm 以下であり、第 1 の軸方向距離は、荷電粒子ビーム源と第 1 の外側磁極片との間の第 2 の軸方向距離 603 よりも大きい。磁気対物レンズ 301 は、第 2 の内側磁極片 403 および第 2 の外側磁極片 404 を含む。第 2 の内側磁極片と試料の表面との間の第 3 の軸方向距離 602 は、約 20 mm 以下であり、第 3 の軸方向距離は、第 2 の外側磁極片と試料の表面との間の第 4 の軸方向距離 605 よりも大きい。磁気コンデンサレンズと磁気対物レンズとの組合せ作用は、荷電粒子ビームを試料の表面上に集束させる。

【0037】

第 1 の軸方向距離 601 および第 3 の軸方向距離 603 は、実質的に同じであってもよい。さらに、第 2 の軸方向距離 603 および第 4 の軸方向距離 605 は、実質的に同じであってもよい。本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができるさらなる実施形態によると、コンデンサレンズは内側磁極片および外側磁極片を含み、内側磁極片は、内側磁極片の内径が内側磁極片とエミッタの先端部との間の距離以上になるように設計されている。

【0038】

さらに、本明細書に記載された実施形態は、荷電粒子ビーム装置 100 を動作させる方法に関する。本方法は、荷電粒子源 101 によって荷電粒子を生成するステップを提供する。加速区間 201 では、荷電粒子ビームが形成され、荷電粒子は、約 10 keV 以上の所定の荷電粒子エネルギーに加速される。荷電粒子ビームは、コンデンサレンズ 104 によって平行にされる。一実施形態によると、コンデンサレンズ 104 は、内側磁極片 401 および外側磁極片 402 を含む。荷電粒子ビームは、荷電粒子ビームの光軸 106 と一致することができるビーム伝搬経路 200 に沿って伝播する。対物レンズ 301 の位置において、荷電粒子ビームを対物レンズ 301 によって試料 300 の表面 302 上に集束させる。

【0039】

対物レンズ 301 は、内径 600 を有する内側磁極片 403 と、外側磁極片 404 と、を含むように設計されており、内側磁極片 403 の内径 600 は、内側磁極片 403 と試料 300 の表面 302 との間の距離 602 以上である。減速区間 202 では、荷電粒子は、試料 300 の表面 302 で所定のランディングエネルギーに減速され、ランディングエネルギーは、約 2 keV 以下、特に約 1 keV 以下である。

【0040】

図 3 は、別の実施形態による検査走査電子装置を示す。検査走査電子装置は、少なくとも 1 つのコンデンサレンズ 104 および少なくとも 1 つの対物レンズ 301 を有する荷電粒子ビーム装置 100 を含む。荷電粒子ビーム装置 100 は、荷電粒子、例えば、電子を生成するように適合された荷電粒子源 101 を含む。電子の線源は、冷電界放出型のもの

10

20

30

40

50

とすることができ、冷電界放出型は、荷電粒子源 1 0 1 に位置する放射面から電子の電界放出を提供する。冷電界放出型電子源は、室温近くで、または室温未満で動作させることができるという利点を有する。ここでは、主な放出メカニズムは、印加された抽出電界によって制御される表面電位障壁を介したトンネル効果である。

【 0 0 4 1 】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、荷電粒子源 1 0 1 は、単結晶 1 0 2 として設けることができる。さらなる別の修正形態によると、単結晶 1 0 2 の材料は、タングステンとすることができる。さらに、タングステン単結晶 1 0 2 として形成された荷電粒子源 1 0 1 は、荷電粒子を放出するように適合された鋭い先端部 1 0 5 を含むことができる。例えば、タングステン単結晶 1 0 2 は、鋭い先端部 1 0 5 の形態にエッチングすることができる。例えば、単結晶は、(3、1、0) 配向を有することができる。

10

【 0 0 4 2 】

図 3 に示すように、抽出電極 3 0 7 は、コンデンサレンズ 1 0 4 と対物レンズ 3 0 1 との間に設けられている。抽出電極 3 0 7 は、荷電粒子源 1 0 1 から荷電粒子を抽出し、荷電粒子ビームを形成するように適合されている。電子が荷電粒子を表すと考えられる場合、線源 1 0 1 に対して正電圧が抽出電極 3 0 7 に印加され、すなわち、抽出電極は、荷電粒子源 1 0 1 の単結晶 1 0 2 の先端部 1 0 5 に対して正電位を有する。

【 0 0 4 3 】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、抽出電極は、ビーム制限開孔を含むことができ、ビーム制限開孔は、荷電粒子、例えば、電子が通過するように適合されている。

20

【 0 0 4 4 】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、図 3 に例示的に示されるようなさらなる実施形態によると、ビーム制限開孔 1 0 7 は、コンデンサレンズ 1 0 4 と対物レンズ 3 0 1 との間に設けることができる。例えば、ビーム制限開孔 1 0 7 は、ビーム制限開孔 1 0 7 の中心が荷電粒子ビームの光軸 1 0 6 とほぼ一致するように配置することができる。

【 0 0 4 5 】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、荷電粒子ビームを試料 3 0 0 の表面 3 0 2 上に集束させるように設計されている対物レンズ 3 0 1 は、内側磁極片 4 0 3 および外側磁極片 4 0 4 を含む。対物レンズ 3 0 1 の内側磁極片 4 0 3 は、図 3 の参照番号 6 0 0 によって表される直径を有する。

30

【 0 0 4 6 】

レンズ配置の一実施形態によると、対物レンズ 3 0 1 の設計は、対物レンズ 3 0 1 の内側磁極片 4 0 3 の直径 6 0 0 と、試料 3 0 0 の表面 3 0 2 からの、すなわち、ウエ八面からの内側磁極片 4 0 3 の距離 6 0 2 との比が 1 以上になるようにすることができる。言い換えれば、対物レンズ 3 0 1 の内側磁極片 4 0 3 の内径 6 0 0 は、内側磁極片 4 0 3 と試料 3 0 0 の表面 3 0 2 との間の距離 6 0 2 以上にすることができる。

【 0 0 4 7 】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる実施形態によると、コンデンサレンズ 1 0 4 の設計におけるレンズ配置は、コンデンサレンズ 1 0 4 の内側磁極片 4 0 1 の直径 6 0 4 と、荷電粒子源 1 0 1 の先端部 1 0 5 からの内側磁極片 4 0 1 の距離 6 0 1 との比が 1 以上になるようにすることができる。

40

【 0 0 4 8 】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、対物レンズ 3 0 1 の内側磁極片 4 0 3 と試料 3 0 0 の表面 3 0 2 との間の軸方向距離 6 0 2 は、約 2 5 mm 未満、特に、約 1 0 mm 未満とすることができる。試料 3 0 0 の表面 3 0 2 に対する対物レンズ 3 0 1 のそのような配置の利点は、対物レンズ 3 0 1 の集束特性を改善することができるということである。言い換えれば、軸方向距離 6 0 2、すなわち

50

、試料 3 0 0 の表面 3 0 2、すなわちウエ八面に対する対物レンズ 3 0 1 の内側磁極片 4 0 3 のウエ八側距離が、対物レンズ 3 0 1 の集束特性の品質を決定することができる。

【 0 0 4 9 】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、コンデンサレンズ 1 0 4 は、内側磁極片 4 0 1 および外側磁極片 4 0 2 を含むことができる。このさらなる別の修正形態によると、荷電粒子源 1 0 1、または荷電粒子源 1 0 1 の単結晶 1 0 2 の先端部 1 0 5 それぞれと、コンデンサレンズ 1 0 4 の内側磁極片 4 0 1 との間の軸方向距離 6 0 1 は、約 2 0 mm 未満、特に、約 1 0 mm 未満とすることができる。荷電粒子源 1 0 1 のエミッタ先端部 1 0 5 に対するコンデンサレンズ 1 0 4 のそのような配置の利点は、コンデンサレンズ 1 0 4 のコリメーション特性を改善することができる
10
ということである。言い換えれば、軸方向距離 6 0 1、すなわち、荷電粒子源 1 0 1 の先端部 1 0 5 に対するコンデンサレンズ 1 0 4 の内側磁極片 4 0 1 の線源側の距離がコンデンサレンズ 1 0 4 のコリメーション特性の品質を決定することができる。

【 0 0 5 0 】

図 3 に示すように、検査走査電子装置では、荷電粒子ビーム装置 1 0 0 は、走査偏向器ユニット 5 0 0 を備える。走査偏向器ユニット 5 0 0 は、光軸 1 0 6 に沿って伝播する荷電粒子ビームを試料 3 0 0 の表面 3 0 2 を横切って走査するように適合されている。走査偏向器ユニット 5 0 0 は、例えば、走査コイルまたは 1 対の偏向板として設けられてもよい。それによって、荷電粒子ビームは、例えば、試料表面 3 0 2 の矩形領域にわたってラスタースタイルで表面 3 0 2 を横切って走査され得る。
20

【 0 0 5 1 】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、走査偏向器ユニットは、抽出電極 3 0 7 と対物レンズ 3 0 1 との間に配置することができる。この別の修正形態によると、走査偏向器ユニット 5 0 0 は、対物レンズ 3 0 1 の場の近傍に配置することができる。本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる一実施形態によると、走査偏向器ユニット 5 0 0 によって提供される達成可能な走査視野のサイズは、対物レンズ 3 0 1 の内側磁極片 4 0 3 の直径 6 0 0 と、ウエ八面 3 0 2 からの内側磁極片 4 0 3 の距離 6 0 2 との比によって決定される。この別の修正形態によると、図 3 に示す直径 6 0 0 と距離 6 0 2 との比は、少なくとも 1、特に少なくとも 2
30

【 0 0 5 2 】

本明細書に記載された他の実施形態と組み合わせることができる実施形態によると、装置および方法は、限界寸法測定用途および欠陥レビュー用途のための電子ビーム検査システム用に構成することができ、またはそれに適用することができる。特に、本明細書に記載された実施形態による荷電粒子ビーム装置は、例えば、欠陥レビュー用途のために、集積回路を試験するために、限界寸法測定解析のために、高速走査などのために設計することができる荷電粒子ビーム検査装置として使用することができる。特に、電子が荷電粒子として使用される場合、荷電粒子ビーム検査装置は、電子ビーム検査 (E B I) 装置として設計することができる。

【 0 0 5 3 】

前述の事項は、本発明の実施形態を対象としているが、本発明の他のおよびさらなる実施形態が本発明の基本的な範囲から逸脱することなく考案されてもよく、本発明の範囲は、以下の特許請求の範囲によって決定される。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 4 】

- 1 0 0 荷電粒子ビーム装置
- 1 0 1 荷電粒子源、線源
- 1 0 2 タングステン単結晶
- 1 0 4 コンデンサレンズ
- 1 0 5 エミッタ先端部、鋭い先端部

10

20

30

40

50

[illegible]

フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
H 0 1 J	37/28	(2006.01)	H 0 1 J	37/28 B
H 0 1 J	37/20	(2006.01)	H 0 1 J	37/20 A
G 2 1 K	5/04	(2006.01)	G 2 1 K	5/04 M

(74)代理人 100067013
弁理士 大塚 文昭

(74)代理人 100086771
弁理士 西島 孝喜

(74)代理人 100109335
弁理士 上杉 浩

(74)代理人 100120525
弁理士 近藤 直樹

(74)代理人 100139712
弁理士 那須 威夫

(74)代理人 100176418
弁理士 工藤 嘉晃

(72)発明者 パヴェル アダメツ
ドイツ連邦共和国 8 5 5 4 0 ハール アム ゼー 2 9

審査官 右 高 孝幸

(56)参考文献 特開 2 0 1 6 - 1 4 3 5 1 3 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 1 6 3 5 0 0 (U S , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 1 J 3 7 / 0 0
G 2 1 K 5 / 0 4
H 0 1 J 1 / 3 0 4