

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5364112号

(P5364112)

(45) 発行日 平成25年12月11日(2013.12.11)

(24) 登録日 平成25年9月13日(2013.9.13)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 J 37/147 (2006.01)

H O 1 J 37/147

B

H O 1 J 37/28 (2006.01)

H O 1 J 37/28

B

H O 1 J 37/04 (2006.01)

H O 1 J 37/04

B

請求項の数 8 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2011-12435 (P2011-12435)
 (22) 出願日 平成23年1月25日(2011.1.25)
 (65) 公開番号 特開2012-155911 (P2012-155911A)
 (43) 公開日 平成24年8月16日(2012.8.16)
 審査請求日 平成25年2月15日(2013.2.15)

(出願人による申告)平成21年度、独立行政法人 科学技術振興機構 産学イノベーション加速事業〔先端計測分析技術・機器開発〕 リアルタイムステレオSEMの開発の委託研究、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(73) 特許権者 501387839

株式会社日立ハイテクノロジーズ
 東京都港区西新橋一丁目24番14号

(74) 代理人 110000350

ポレール特許業務法人

(72) 発明者 富田 真一

東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内

(72) 発明者 小竹 航

東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内

(72) 発明者 伊東 祐博

東京都港区西新橋一丁目24番14号 株式会社日立ハイテクノロジーズ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子線装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

荷電粒子源と、前記荷電粒子源から放出される一次荷電粒子線を収束する複数のレンズと、前記一次荷電粒子線を試料上で走査する走査コイルと、前記一次荷電粒子線を収束して前記試料に照射する対物レンズと、前記対物レンズよりも上段に配置され、前記一次荷電粒子線をチルトさせる偏向器とを有し、前記対物レンズの振り戻を用いてチルトさせた前記一次荷電粒子線を前記試料に照射することにより、前記試料のチルト像、もしくは左右視差角像を取得する荷電粒子線装置において、

前記対物レンズと前記偏向器の間にアライナーが更に備えられ、

前記アライナーは、前記偏向器のチルト角、前記複数のレンズ条件、前記対物レンズと前記試料までの距離を用いて、前記一次荷電粒子線のチルト時に発生する前記試料の視野ずれを補正するビームチルト視野補正機能を有し、

前記試料の表面傾斜に対応して、前記一次荷電粒子線が前記試料上を1ライン走査中に前記対物レンズの焦点とチルトした前記一次荷電粒子線による視野ずれを同時、連続的に補正する傾斜焦点補正機能を有することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項2】

請求項1記載の荷電粒子線装置において、

前記対物レンズの焦点補正とチルトした前記一次荷電粒子線による視野ずれ補正と同時に走査幅を変更し、前記試料表面傾斜を行わない場合と同等の領域を走査する傾斜倍率補正機能を有することを特徴とする荷電粒子線装置。

10

20

【請求項 3】

請求項 2 記載の荷電粒子線装置において、

更に、画像表示装置を備え、

前記画像表示装置は、ビームチルト視野補正、傾斜焦点補正、傾斜倍率補正の 3 つの内の少なくとも一つを実行可能とする入力手段を含む G U I 画面を表示するものであることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 4】

荷電粒子源と、試料ステージと、前記荷電粒子源から放出される一次荷電粒子線を収束して光軸上にクロスオーバを形成する複数のレンズと、前記一次荷電粒子線を収束して前記試料ステージに載置される試料に照射する対物レンズと、前記対物レンズと前記クロスオーバとの間に配置され、前記一次荷電粒子線をチルトさせる偏向器とを有し、前記一次荷電粒子線を前記偏向器により前記光軸を対称軸として左右にチルトして 2 本の一次荷電粒子線とし、前記試料の左右のステレオペア画像を取得する荷電粒子線装置において、

前記対物レンズと前記偏向器の間に視野補正用アライナーが更に備えられ、

前記視野補正用アライナーは、前記偏向器により前記一次荷電粒子線をチルトすることにより前記クロスオーバとは異なる位置に形成される仮想的なクロスオーバの前記光軸からの位置ずれを前記光軸と一致するように前記一次荷電粒子線のチルト角度を補正し、表面傾斜試料にかかる前記左右のステレオペア画像の視野を一致させることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 5】

請求項 4 記載の荷電粒子線装置において、

前記一致は、 $\pm 200 \mu\text{m}$ 以内の範囲を許容することを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 6】

請求項 4 記載の荷電粒子線装置において、

前記チルト角度の補正角度は、前記偏向器によりチルトされる前記一次荷電粒子線のチルト角度と、前記偏向器と前記視野補正用アライナーとの間の距離と、前記視野補正用アライナーと前記対物レンズとの間の距離と、前記複数のレンズにより形成される前記一次荷電粒子線のクロスオーバと前記対物レンズとの間の距離とを用いて決定されることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 7】

荷電粒子源と、試料ステージと、前記ステージを傾斜させる傾斜機構と、前記荷電粒子源から放出される一次荷電粒子線を収束して光軸上にクロスオーバを形成する複数のレンズと、前記一次荷電粒子線を前記試料ステージに載置される試料上で走査する走査コイルと、前記一次荷電粒子線を収束して前記試料に照射する対物レンズと、前記対物レンズと前記クロスオーバとの間に配置され、前記一次荷電粒子線をチルトさせる偏向器と、これらを制御する制御 C P U と、前記制御 C P U に接続された画像表示装置とを有する荷電粒子線装置において、

前記対物レンズと前記偏向器の間に視野補正用アライナーが更に備えられ、

前記傾斜機構を用いて傾斜させた前記試料ステージに載置される前記試料の表面に前記一次荷電粒子線を照射してチルト像を観察する際に、

前記制御 C P U は、

前記走査コイルが、傾いた前記試料ステージの傾斜方向に前記一次荷電粒子線を走査するように、かつ、

前記対物レンズが、走査される前記一次荷電粒子線が前記試料の表面において焦点を結ぶように、かつ、

前記視野補正用アライナーが、前記偏向器により前記一次荷電粒子線をチルトすること及び前記対物レンズにより前記一次荷電粒子線の焦点位置を変更することにより前記クロスオーバとは異なる位置に形成される仮想的なクロスオーバの前記光軸からの位置ずれを前記光軸と一致させ前記一次荷電粒子線のチルト角度を補正するように制御するものであることを特徴とする荷電粒子線装置。

【請求項 8】

請求項 7 記載の荷電粒子線装置において、

前記制御 CPU は、更に、

前記傾斜前と等しい走査範囲にて走査を行うように前記走査コイルを制御するものであることを特徴とする荷電粒子線装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子線装置に関する。

【背景技術】

【0002】

試料上で電子線やイオン線等荷電粒子線をチルトさせ、試料のチルト像表示もしくは、左右視差画像データで立体像表示を行う従来技術として、例えば特開平 2 - 3 3 8 4 3 号公報（特許文献 1）や特開 2 0 1 0 - 9 9 0 7 号公報（特許文献 2）がある。特許文献 1 には、荷電粒子線を対物レンズ上方でチルトさせ、対物レンズの軸外における振り戻し作用を利用し、荷電粒子線を試料にチルトさせて照射し、試料のチルト像を取得する手法が開示されている。また、引用文献 2 には、荷電粒子線装置を用いて立体視観察を行う技術が開示されている。本文献の技術では、電磁コイルを用いて、左右視差角分チルトさせた荷電粒子線でもって試料を走査し、左右のステレオペア画像を取得、それを立体液晶ディスプレイ等に表示することにより、実時間（リアルタイム）での立体像観察を可能にして

10

20

【0003】

さらに、チルト時に発生する焦点、非点、視野を補正する手法の例としては、特開 2 0 1 0 - 1 6 0 0 7 号公報（特許文献 3）がある。非点補正に関しては、複数の非点補正值の組合せを評価し、最適な非点補正值を検出し、視野ずれに関しては、傾斜前後の画像を比較し視野ずれ量を評価し、イメージシフト、もしくは試料ステージの移動で補正をおこなっている。

【0004】

一方、試料表面自体が、荷電粒子線の焦点深度を超えて大きく傾斜しているサンプルの観察方法として、試料表面傾斜にあわせて荷電粒子線の焦点を連続的に変化させ、常に焦点のあった画像を提供する傾斜焦点補正（ダイナミックフォーカス）機能、そして、試料傾斜角度にあわせて荷電粒子ビーム走査幅を変更し、傾斜前と同じ領域を走査し画像取得を行う、傾斜倍率補正（ティルトコンペンセーション）機能があり、これらは既に製品化されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開平 2 - 3 3 8 4 3 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 1 0 - 9 9 0 7 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 1 0 - 1 6 0 0 7 号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

荷電粒子線を対物レンズ上方でチルトさせ、対物レンズ軸外の振り戻し作用を利用して、チルトした荷電粒子線を試料に照射して、試料を観察すると、チルトさせていないときと比べて視野ずれが発生する。電子顕微鏡に代表される荷電粒子線装置においては、通常、光軸中心上に位置する対物レンズの上側クロスオーバーが、荷電粒子線をチルトさせたことにより仮想的に光軸からずれることにより、このずれ量と対物レンズ縮小率の積として、視野ずれは発生する。

【0007】

50

これを回避するためには、荷電粒子線をクロスオーバー位置でチルトさせるクロスオーバー方式がしられているが、装置性能、実装への制限が大きい。

【0008】

これらのチルト像観察、立体視像観察を用いて、試料ステージ等を用いて試料自体を大きく傾斜させて観察する場合、従来技術より、試料傾斜角度に応じて傾斜焦点補正(ダイナミックフォーカス)機能を用いて連続的に焦点を変更し、観察視野全面において焦点のあった画像を取得することは可能である。しかしながら、本発明者等が検討した結果、1000倍以上の高倍率では上記の視野ずれにより、傾斜像観察時は、所定の観察位置に対して視野が大きいくずれること、そして立体像観察時は、左右の視差画像ともに視野がずれ、異なる位置を観察することになり、立体観察できなくなるという事態が発生することが分かった。

10

【0009】

本発明の第1の目的は、一次荷電粒子線をチルトすることにより生じる視野ずれの補正を容易に行なうことのできる荷電粒子線装置を提供することにある。

【0010】

本発明の第2の目的は、視野ずれが抑制され、良好な立体画像が得られる荷電粒子線装置を提供することにある。

【0011】

本発明の第3の目的は、傾斜試料であっても、チルトした荷電粒子線により所定位置の観察が可能な荷電粒子線装置を提供することにある。

20

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記目的を達成するための一実施形態として、荷電粒子源と、前記荷電粒子源から放出される一次荷電粒子線を収束する複数のレンズと、前記一次荷電粒子線を試料上で走査する走査コイルと、前記一次荷電粒子線を収束して前記試料に照射する対物レンズと、前記対物レンズよりも上段に配置され、前記一次荷電粒子線をチルトさせる偏向器とを有し、前記対物レンズの振り戻を用いてチルトさせた前記一次荷電粒子線を前記試料に照射することにより、前記試料のチルト像、もしくは左右視差角像を取得する荷電粒子線装置において、前記対物レンズと前記偏向器の間にアライナーが更に備えられ、前記アライナーは、前記偏向器のチルト角、前記複数のレンズ条件、前記対物レンズと前記試料までの距離を用いて、前記一次荷電粒子線のチルト時に発生する前記試料の視野ずれを補正するビームチルト視野補正機能を有することを特徴とする荷電粒子線装置とする。

30

【0013】

また、上記荷電粒子線装置において、前記試料の表面傾斜に対応して、前記一次荷電粒子線が前記試料上を1ライン走査中に前記対物レンズの焦点とチルトした前記一次荷電粒子線による視野ずれを同時、連続的に補正する傾斜焦点補正機能を有することを特徴とする荷電粒子線装置とする。

【0014】

また、荷電粒子源と、試料ステージと、前記荷電粒子源から放出される一次荷電粒子線を収束して光軸上にクロスオーバを形成する複数のレンズと、前記一次荷電粒子線を収束して前記試料ステージに載置される試料に照射する対物レンズと、前記対物レンズと前記クロスオーバとの間に配置され、前記一次荷電粒子線をチルトさせる偏向器とを有する荷電粒子線装置において、前記対物レンズと前記偏向器の間に視野補正用アライナーが更に備えられ、前記視野補正用アライナーは、前記偏向器により前記一次荷電粒子線をチルトすることにより前記クロスオーバとは異なる位置に形成される仮想的なクロスオーバの前記光軸からの位置ずれが前記光軸と一致するように前記一次荷電粒子線のチルト角度を補正するものであることを特徴とする荷電粒子線装置とする。

40

【0015】

また、荷電粒子源と、試料ステージと、前記ステージを傾斜させる傾斜機構と、前記荷電粒子源から放出される一次荷電粒子線を収束して光軸上にクロスオーバを形成する複数

50

のレンズと、前記一次荷電粒子線を前記試料ステージに載置される試料上で走査する走査コイルと、前記一次荷電粒子線を収束して前記試料に照射する対物レンズと、前記対物レンズと前記クロスオーバーとの間に配置され、前記一次荷電粒子線をチルトさせる偏向器と、これらを制御する制御CPUと、前記制御CPUに接続された画像表示装置とを有する荷電粒子線装置において、前記対物レンズと前記偏向器の間に視野補正用アライナーが更に備えられ、前記傾斜機構を用いて傾斜させた前記試料ステージに載置される前記試料の表面に前記一次荷電粒子線を照射してチルト像を観察する際に、前記制御CPUは、前記走査コイルが、傾いた前記試料ステージの傾斜方向に前記一次荷電粒子線を走査するように、かつ、前記対物レンズが、走査される前記一次荷電粒子線が前記試料の表面において焦点を結ぶように、かつ、前記視野補正用アライナーが、前記偏向器により前記一次荷電粒子線をチルトすること及び前記対物レンズにより前記一次荷電粒子線の焦点位置を変更することにより前記クロスオーバーとは異なる位置に形成される仮想的なクロスオーバーの前記光軸からの位置ずれを前記光軸と一致させ前記一次荷電粒子線のチルト角度を補正するように制御するものであることを特徴とする荷電粒子線装置とする。

10

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、視野ずれを補正するアライナーを有することにより、一次荷電粒子線をチルトすることにより生じる視野ずれの補正を容易に行なうことのできる荷電粒子線装置を、また視野ずれが抑制され、良好な立体画像が得られる荷電粒子線装置を提供することができる。さらに、試料の表面傾斜に対応して、一次荷電粒子線が試料上を1ライン走査中に対物レンズの焦点とチルトした一次荷電粒子線による視野ずれを同時、連続的に補正する傾斜焦点補正機能を有することにより、傾斜試料であっても、チルトした荷電粒子線により所定位置の観察が可能な荷電粒子線装置を提供することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】第1の実施例に係る荷電粒子線装置の一例である走査電子顕微鏡の全体概略構成図である。

【図2】チルト像観察時の電子線軌道を説明するための図である。

【図3】立体像観察時の電子線軌道を説明するための図である。

【図4】電子線チルトによる視野ずれ発生メカニズムを説明するための図である。

30

【図5】電子線チルトによる視野ずれの補正方法を説明するための図である。

【図6】第2の実施例に係る荷電粒子線装置を用いて表面傾斜試料のチルトビーム観察時の荷電粒子線軌道を説明するための図である。

【図7】焦点、視野ずれ同時補正時の信号タイムチャートである。

【図8】第2の実施例に係る荷電粒子線装置を用いて傾斜試料のチルトビーム観察時（傾斜倍率補正時）の荷電粒子線軌道を説明するための図である。

【図9】焦点、視野ずれ、倍率同時補正時の信号タイムチャートである。

【図10】第2の実施例に係る荷電粒子線装置の操作GUIの一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

40

本発明は、荷電粒子源から放出される一次荷電粒子線を、複数のレンズにより収束し、対物レンズよりも上段の電磁コイルにより、上記一次荷電粒子線をチルトさせ、前記対物レンズの振り戻を用いてチルトした荷電粒子線にて試料を走査することにより、前記試料のチルト像、もしくは左右視差角像を取得する荷電粒子線装置において、前記対物レンズと前記電磁コイルの間に設置したアライナーを用いて、前記電磁コイルのチルト角、前記複数のレンズ条件、前記対物レンズと前記試料までの距離からもとまる補正量にて、前記荷電粒子線のチルト時に発生する前記試料の視野ずれを、対物レンズ焦点変化に連動し、動的に補正することを特徴とする。

【0019】

上記構成とすることにより、傾斜試料の傾斜像、立体像観察実施時において、視野ずれ

50

なく良好な傾斜試料のチルト像観察、立体像観察が可能になる。

【 0 0 2 0 】

以下、図面を用いて本発明の実施例を説明する。

【実施例 1】

【 0 0 2 1 】

第 1 の実施例について図 1 ~ 図 5 を用いて説明する。図 1 は、本実施例に係る荷電粒子線装置の一例である走査電子顕微鏡の概略構成図である。ここでは電子線を用いた例について説明するが、イオンビームを用いる場合にも適用することができる。なお、同一符号は同一構成要素を示す。フィラメント（陰極）1 と陽極 3 には、制御 CPU 40 で制御される高圧制御電源 20 により電圧が印加され、所定のエミッション電流で一次電子線 4 がフィラメント 1 から引き出される。なお、図 1 において制御 CPU 40 と直接或いは間接的に接続されている構成要素は制御 CPU 40 により制御される。フィラメント 1 と陽極 3 の間には、CPU 40 で制御される高圧制御電源 20 により加速電圧が印加され、陰極（フィラメント）1 から放出された一次電子線 4 が加速されて後段のレンズ系に進行する。なお、符号 2 はウェネルトである。一次電子線 4 は、第一及び第二レンズ制御電源 21、22 で制御された第一及び第二収束レンズ 5、6 で収束され、絞り板 8 で一次電子線の不要な領域が除去された後に、対物レンズ制御電源 23 で制御された対物レンズ 7 により試料 10 に微小スポットとして収束される。

10

【 0 0 2 2 】

一次電子線 4 は、上下 2 段で構成された走査コイル 9 で試料 10 上を二次元的に走査される。符号 24 は走査コイル制御電源である。一次電子線の照射で試料 10 から発生した二次電子等の二次信号 12 は、対物レンズ 7 の下部に進行した後、二次信号検出器 13 に検出される。二次信号検出器 13 で検出された信号は、信号増幅器 14 で増幅された後、画像表示装置 41 に試料像として表示される。

20

【 0 0 2 3 】

対物レンズ 7 と絞り板 8 との間には、X および Y 方向の非点を補正するための 8 極の非点補正器 51 が配置される。符号 32 は非点補正器用制御電源である。非点補正器 52 の近傍、もしくは同じ位置には非点補正器 52 の軸ずれを補正する非点補正器用アライナーが配置される。符号 33 は非点補正器用アライナー制御電源である。

【 0 0 2 4 】

観察対象である試料 10 は試料ステージ 15 の上に設置され、試料ステージ 15 を移動させることにより、観察視野の変更が可能である。試料ステージ 15 の移動は手動、もしくは電動で行われ、移動方向は光軸方向を Z 方向とし、X Y Z の 3 方向だけでなく光軸を回転軸として試料を回転させることも可能であり、光軸に垂直な面を 0° として、そこから試料 10 を傾斜させることも可能である。本実施例ではステージ駆動ユニットおよび電源 16 を用いて試料ステージを駆動した。

30

【 0 0 2 5 】

次にチルト像観察および立体像観察について図 2 および図 3 を用いて述べる。図 2 はチルト像観察時の電子線軌道を説明するための図であり、図 3 は立体像観察時の電子線軌道を説明するための図である。

40

走査コイル 9 上段の同位置には、チルト（傾斜）角制御用偏向器 53 が配置され、チルト像および立体像観察時には、一次電子線 4 を傾斜させ、対物レンズ 7 の振り戻し作用を用いて、試料 10 に一次電子線 4 をチルトさせて照射する。符号 34 は傾斜角制御用偏向器制御電源である。

【 0 0 2 6 】

図 2 においては、一次電子線 4 の中心軌道だけでなく、電子線の広がりも示す。フィラメント 1 から引き出され、第一収束レンズ 5 および第二収束レンズ 6 を通った一次電子線 4 は、光軸上にクロスオーバー 100 を結び、絞り板 8 を通り、チルト角制御用偏向器 53 でもって傾斜される。チルトした電子線 61 は対物レンズ 7 の軸外を通り、対物レンズ 7 の振り戻し作用により、光軸よりチルトして試料 10 に照射され、チルト像がえられる。

50

【 0 0 2 7 】

立体像観察時には、図 3 に示すように、上記と同様一次電子線 4 がクロスオーバ 1 0 0 を結び、絞り板 8 を通過した後、チルト角制御用偏向器 5 3 を用いて光軸を対象軸に左右 2 本のチルトした電子線 6 2、6 3 を形成し、左右のステレオペア画像を取得する。取得した画像は、制御 C P U 4 0 にて画像処理され、立体視表示モニター（画像表示装置 4 1）などに表示することにより立体像観察が可能になる。

【 0 0 2 8 】

次に、電子線チルト時の視野ずれの発生メカニズムについて図 4 を用いて述べる。図 4 は電子線チルトによる視野ずれ発生メカニズムの説明図である。ここでは簡単のため、走査のための偏向信号を受けていない、電子線中心軌道にて説明する。

10

【 0 0 2 9 】

第 2 集束レンズ 6 を通過した電子線は、偏向コイル（走査コイル）9 およびチルト角制御用偏向器 5 3 上方でクロスオーバ 1 0 0 を結ぶ。次に、試料 1 0 に角度 θ_i [rad] にて照射することを目的に、チルト角制御用偏向器 5 3 にて角度 θ_0 [rad] にて偏向し、対物レンズ 7 によって振り戻され試料 1 0 に照射される。しかし、電子線到達点は光軸上ではなく、光軸より距離 r_i だけずれた点となる。

【 0 0 3 0 】

これは、チルト角制御用偏向器 5 3 により、図 4 に示すようにチルト電子線のクロスオーバ 1 0 0 が仮想的に光軸より距離 r_0 ずれた点となるためである。図 4 の光学系配置においては幾何学的計算より位置ずれ距離 r_i は以下のように求められる。

20

【 0 0 3 1 】

【数 1】

$$\Delta r_i = M_{obj} \Delta r_0 \quad \dots(1)$$

【 0 0 3 2 】

ここで M_{obj} 、 r_0 は以下のものである。

【 0 0 3 3 】

【数 2】

$$M_{obj} = b/a \quad \dots(2-1)$$

30

$$\Delta r_0 = \omega_0 (a - D_1 - D_2) \quad \dots(2-2)$$

$$\omega_0 = \frac{b\omega_i}{D_1 + D_2} \quad \dots(2-3)$$

【 0 0 3 4 】

位置ずれ距離 r_i は a 、 b 、 θ_i 、特に θ_i によって変化し、 10° 以下の θ_i でも、数 $10 \mu m$ 発生する。数百倍の観察でも無視できない物である。なお、 a はクロスオーバから対物レンズまでの距離、 b は対物レンズから観察試料表面までの距離、 D_1 はチルト角制御用偏向器 5 3 から視野補正用アライナー 5 4 までの距離を示す。

40

【 0 0 3 5 】

次に、図 5 を用いて視野ずれの補正方法について説明する。図 5 は、上記電子線チルトによる視野ずれの補正方法を説明するための図である。視野ずれの補正は視野補正用アライナー 5 4 を用いて行う。具体的には、チルト角制御用偏向器 5 3 によって、角度 θ_0 だけ偏向されたチルト電子線を補正角度 θ_0 [rad] だけ偏向し、仮想的に光軸から距離 r_0 だけずれていたクロスオーバを、光軸と一致するように補正する。符号 3 5 は視野補正用アライナー制御電源である。なお、仮想的なクロスオーバの光軸からの位置ずれに関し、距離 r_0 が $\pm 200 \mu m$ 以内であれば光軸と一致していると見なすことができる。

50

【 0 0 3 6 】

図 5 の光学系配置においては、幾何学的計算より補正角度 θ_0 は以下のように求められる。

【 0 0 3 7 】

【 数 3 】

$$\Delta \omega_0 = \omega_0 \left(1 - \frac{D_1}{a - D_2} \right) = \frac{b \omega_i}{D_1 + D_2} \left(1 - \frac{D_1}{a - D_2} \right) \quad \cdots (3)$$

【 0 0 3 8 】

上式に基づき、視野補正用アライナー 5 4 を用いてチルト電子線観察時の視野ずれを抑制することが可能である。現実的には、視野補正用アライナー 5 4 に与える信号は、アライナーが電磁コイルであれば電流となるため、補正角度に応じた電流を与えることになる。

10

【 0 0 3 9 】

なお、(3) 式より補正角度 θ_0 は、角度 θ_i 、距離 a をある観察条件に決定しても、距離 b によって変化する (距離 D_1 、 D_2 は装置固有の寸法定数)。

【 0 0 4 0 】

視野補正用アライナーを備えた荷電粒子線装置を用いて荷電粒子線を対物レンズ上方でチルトさせ、仮想的に光軸からずれるクロスオーバを光軸と一致するように補正して試料観察を行った結果、1 0 0 0 倍以上の高倍率でも所望の位置のチルト像を観察視野内で観察することができた。

20

【 0 0 4 1 】

また、上記荷電粒子線装置を用いて細胞や金属結晶、粉体の立体視観察を行った結果、左右の観察位置がずれることなく、良好な立体画像を得ることができた。

【 0 0 4 2 】

以上述べた通り、本実施例によれば、視野補正用アライナーを備えることにより、一次電子線をチルトさせて試料観察する場合であっても、視野ずれの補正を容易に行なうことのできる荷電粒子線装置を提供することができる。また、光軸を対象軸に左右 2 本のチルトした荷電粒子線を用いて左右のステレオペア画像を取得する場合であっても、視野ずれが抑制され、良好な立体画像が得られる荷電粒子線装置を提供することができる。

30

【 実施例 2 】

【 0 0 4 3 】

第 2 の実施例について図 6 ~ 図 1 0 を用いて説明する。なお、実施例 1 に記載され、本実施例に未記載の事項は特段の事情がない限り本実施例にも適用することができる。図 6 は本実施例に係る荷電粒子線装置 (走査電子顕微鏡) を用いて表面傾斜試料のチルトビーム観察時の荷電粒子線軌道を説明するための図であり、図 7 は焦点、視野ずれ同時補正時の信号タイムチャートである。

【 0 0 4 4 】

図 6 のように、試料ステージ 1 5 の傾斜軸移動などを使用した、大幅な試料表面傾斜が見られる試料 1 0 に対して、試料表面傾斜にあわせてフォーカスを連続的に変化させる傾斜焦点補正を使用した場合、同時に視野補正用アライナー 5 4 による視野ずれも連続的に補正する必要がある。試料ステージ 1 5 は、水平面 (光軸に対して垂直な面) に対して - 2 0 度 ~ 9 0 度の角度で傾けることが可能である。なお、符号 1 0 5 は一次電子線のスキャン方向を示す。また、 b_{min1} は一次電子線を走査した際の観察視野内における対物レンズと試料表面との最小距離、 b_{max1} は最大距離を示す。

40

【 0 0 4 5 】

このときの各種信号制御図が図 7 である。図中、 I_{DEF} は一次電子線を走査するために走査コイル制御電源 2 4 から走査コイル 9 へ供給される偏向信号、 I_{obj} は一次電子線を試料表面に収束させるために対物レンズ制御電源から対物レンズへ供給される対物レンズ信号、 I_{tilt_AL} は仮想的なクロスオーバの光軸からの位置ずれを補正するた

50

めに視野補正用アライナー制御電源から視野補正用アライナーに供給される視野補正用アライナー制御信号を示し、 I_{Tilt} は傾斜角制御用偏向器信号を示す。上段の偏向信号 I_{DEF} にあわせて観察すべき試料の高さ位置が変化するため、中段の対物レンズ信号 I_{obj} を傾斜焦点補正で変化させる。さらに焦点補正に連動して仮想的なクロスオーバー位置が変化するため視野補正用アライナー制御信号 I_{Tilt_AL} も変化させる。図7においては、偏向信号 I_{DEF} が進む（一次電子線が図面右方向ヘスキャン105される）につれて、試料は下がっているため、対物レンズの性質として、対物レンズ電流 I_{obj} を小さくする（対物レンズフォーカス特性は非線形であり、図7のような傾向をもつ）。それに連動して、視野補正用アライナーの信号 I_{Tilt_AL} は、 b が大きくなるため（ b_{min} 、 b_{max} ）、（3）式に従い徐々に大きくなっていく。これらは制御CPUを用いて行なう。

10

【0046】

ただし、この場合、試料傾斜に合わせて偏向信号 I_{DEF} は変化させていないので、傾斜した試料が走査幅される範囲は、試料傾斜を行わない場合の走査範囲（ $\pm L$ ）と比べて異なり、見かけ上倍率も異なったものとなる。

【0047】

視野補正用アライナー54による視野ずれ補正は、傾斜焦点補正だけでなく、傾斜倍率補正を同時使用することにより、さらに使い勝手のよいものとなる。傾斜倍率補正は、画像の倍率を試料傾斜の前後で変化しないようにする技術であり、走査コイル9の走査範囲を試料傾斜角度に合わせて変更することにより行われる。傾斜倍率補正のための走査範囲の変更は制御CPUを用いて行なう。

20

【0048】

これらの機能をくみあわせることにより、傾斜試料のチルト像、立体像観察において、焦点をあわせながら、走査範囲および倍率を維持し、そして視野ずれなく観察を行うことが可能である。

【0049】

そこで、次に傾斜焦点補正を行う際に、視野ずれ補正だけでなく、傾斜倍率補正を行う方法について図8、図9を用いて説明する。図8は傾斜倍率補正を行いながら傾斜試料のチルトビーム観察を行う際の荷電粒子線軌道を説明するための図であり、図9は焦点、視野ずれ、倍率同時補正時の信号タイムチャートである。なお、図9において、実線が倍率補正を行う場合、破線は倍率補正を行わない場合を示す。

30

【0050】

傾斜倍率補正機能を用いて傾斜角度にて傾斜した試料面上を、偏向信号 I_{DEF} を制御し、傾斜前と等しい走査範囲 $\pm L$ にて走査を行う。その際の制御信号の変化を見ると、試料中心高さ（ b ）を基準とし、光軸左側では偏向幅を増加し、右側では減少させることになる。しかし、走査幅の変化量の左右での差は2%未満と小さく、実際には左右共に傾斜倍率機能を使用前の走査幅 L に傾斜角度の余弦 \cos を乗じた $L \cos$ と変更して差し支えない。それと同時に焦点補正、視野ずれ補正信号も修正する。

【0051】

次に、本実施例に係る荷電粒子線装置の位置ずれ補正に関するGUI画面について図10を用いて説明する。図10は、本実施例に係る走査電子顕微鏡におけるユーザー入力画面の一例を示す。図より、ユーザーは、視野ずれ補正である“ビームチルト視野補正”と“傾斜焦点補正”、“傾斜倍率補正”の3つの機能について、チェックボックス107をチェックすることによって使用可能である。これらの機能は、個別でも、複数の組合せでの使用も可能である。“傾斜焦点補正”、“傾斜倍率補正”にはスライダ109が付き、試料の傾斜角度をユーザーが決定する。

40

【0052】

本実施例に係る荷電粒子線装置を用いて半導体素子を傾斜させ、傾斜焦点補正を行いながらチルト像を観察するに際し、傾斜焦点補正に合わせて、仮想的に光軸からずれるクロスオーバーを光軸と一致するように位置ずれ補正しながら試料観察を行った結果、所定位置

50

における良好な斜視画像を得ることができた。更に、上記傾斜焦点補正に合わせて、位置ずれ補正と倍率補正とを行なった結果、より寸法精度の高い画像を得ることができた。

【 0 0 5 3 】

以上、本実施例によれば、視野補正用アライナーを備えることにより、傾斜焦点補正を行うような傾斜試料であっても位置ずれが抑制されるため所定位置の観察が可能な荷電粒子線装置を提供することができる。更に、傾斜焦点補正機能を備えることにより、寸法精度の高い斜視画像を得ることができる。

【 0 0 5 4 】

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることも可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 5 】

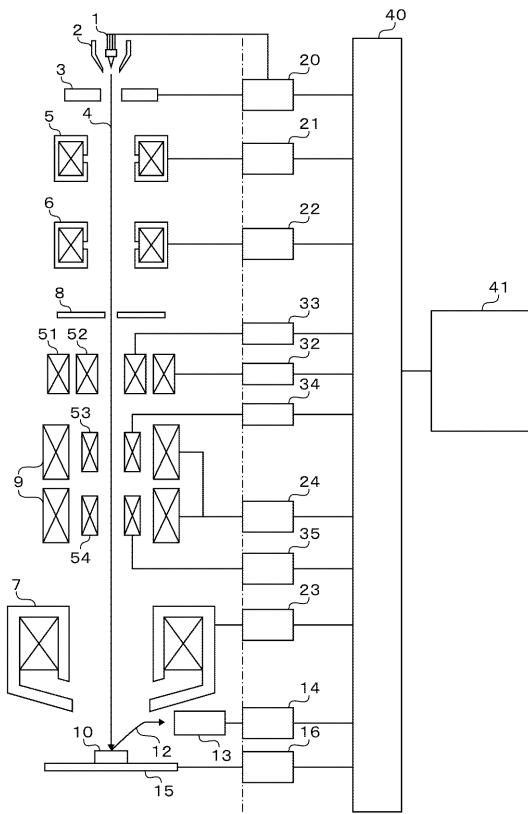
1 ... フィラメント（陰極）、2 ... ウェネルト、3 ... 陽極、4 ... 一次電子線、5 ... 第一収束レンズ、6 ... 第二収束レンズ、7 ... 対物レンズ、8 ... 絞り板、9 ... 走査コイル、10 ... 試料、12 ... 二次信号、13 ... 二次信号用検出器、14 ... 信号増幅器、15 ... 試料ステージ、16 ... ステージ駆動ユニットおよび電源、20 ... 高圧制御電源、21 ... 第一収束レンズ制御電源、22 ... 第二収束レンズ制御電源、23 ... 対物レンズ制御電源、24 ... 走査コイル制御電源、32 ... 非点補正器用制御電源、33 ... 非点補正器用アライナー制御電源、34 ... 傾斜角制御用偏向器制御電源、35 ... 視野補正用アライナー制御電源、40 ... 制御CPU、41 ... 表示モニター、51 ... 非点補正器、52 ... 非点補正器用アライナー、53 ... 傾斜（チルト）角制御用偏向器、54 ... 視野補正用アライナー、61 ... チルト電子線、62 ... 左側チルト電子線、63 ... 右側チルト電子線、100 ... クロスオーバ、105 ... スキャン方向、107 ... チェックボックス、109 ... スライダ。

10

20

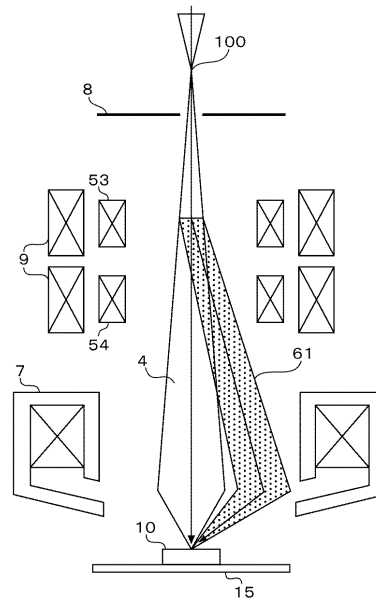
【図 1】

図 1



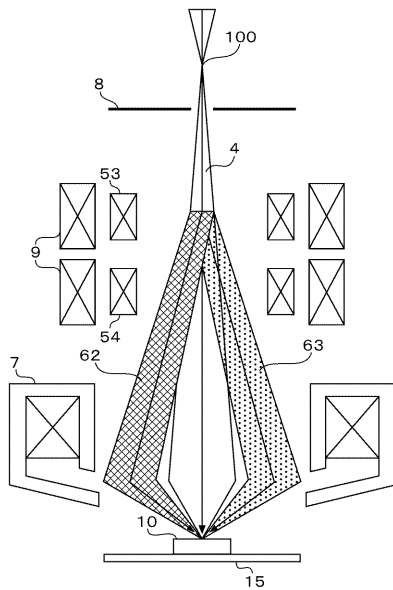
【図 2】

図 2



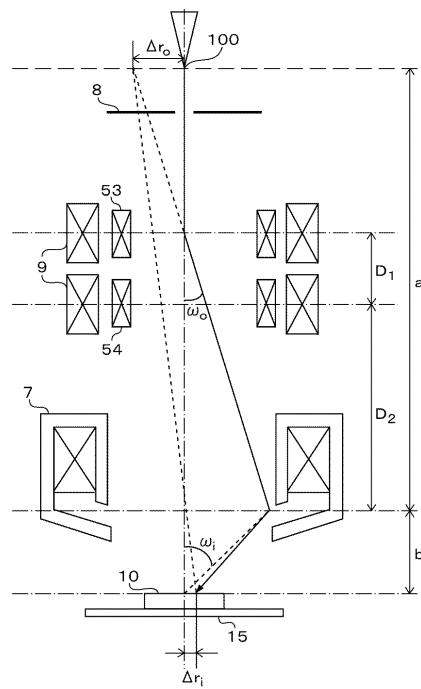
【図 3】

図 3



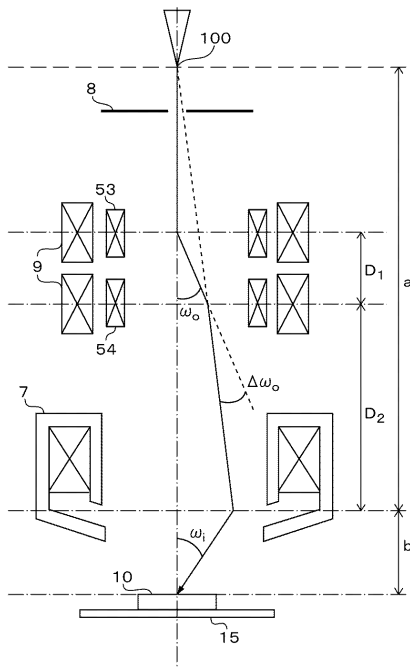
【図 4】

図 4



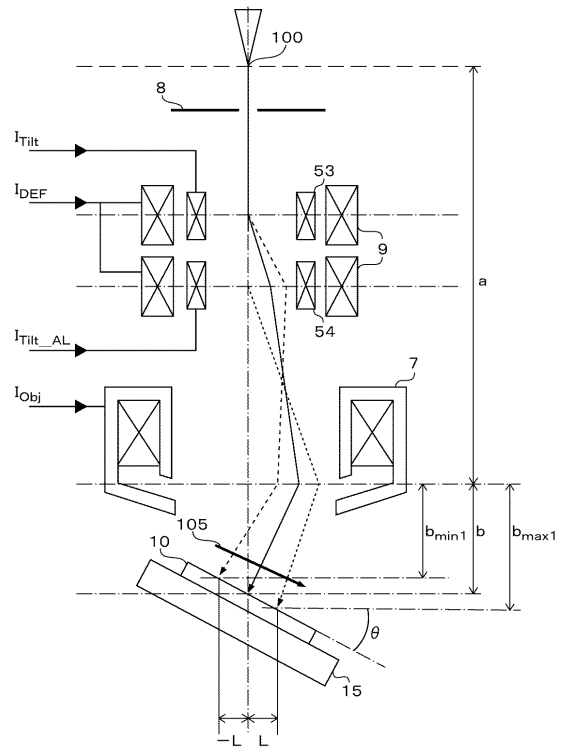
【 図 5 】

図 5



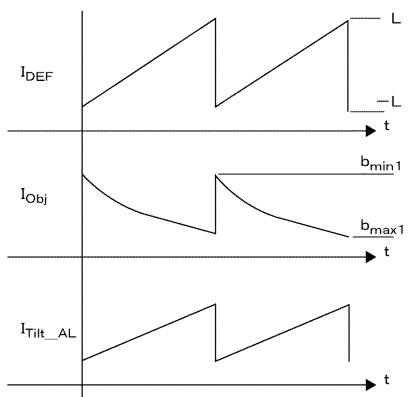
【 図 6 】

图 6



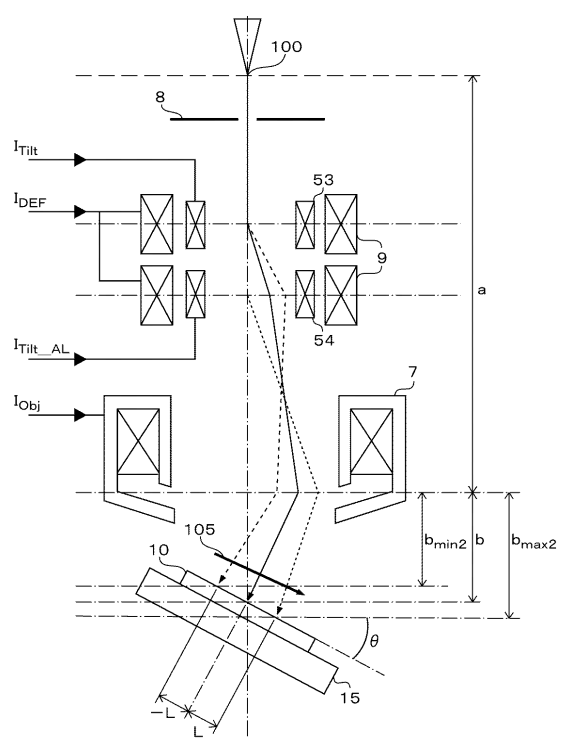
【圖 7】

図 7

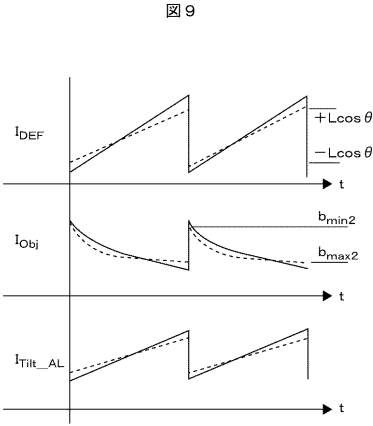


【圖 8】

图 8

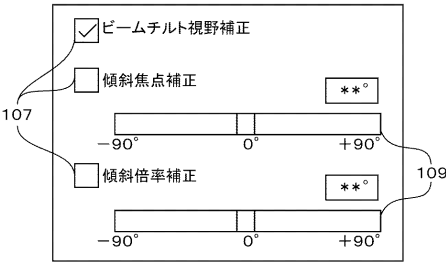


【図 9】



【図 10】

図 10



フロントページの続き

審査官 山口 剛

(56)参考文献 特開2006-054074(JP,A)
特開2010-009907(JP,A)
特開2005-310602(JP,A)
特開2001-273861(JP,A)
特開平05-258700(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01J 37/04
H01J 37/147
H01J 37/153
H01J 37/28