

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7031859号

(P7031859)

(45)発行日 令和4年3月8日(2022.3.8)

(24)登録日 令和4年2月28日(2022.2.28)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 J 37/30 (2006.01)

H 0 1 J

37/30

Z

H 0 1 J 37/28 (2006.01)

H 0 1 J

37/28

B

H 0 1 J 37/317(2006.01)

H 0 1 J

37/317

D

H 0 1 J 37/147(2006.01)

H 0 1 J

37/147

D

G 0 1 N 23/2251(2018.01)

G 0 1 N

23/2251

請求項の数 9 (全12頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2018-28166(P2018-28166)

(22)出願日 平成30年2月20日(2018.2.20)

(65)公開番号 特開2019-145328(P2019-145328

A)

(43)公開日 令和1年8月29日(2019.8.29)

審査請求日 令和3年1月28日(2021.1.28)

(73)特許権者 503460323

株式会社日立ハイテクサイエンス

東京都港区虎ノ門一丁目17番1号

(74)代理人 100165179

弁理士 田 崎 聡

(74)代理人 100126664

弁理士 鈴木 慎吾

(74)代理人 100161207

弁理士 西澤 和純

(74)代理人 100175824

弁理士 小林 淳一

(72)発明者 山本 洋

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サイエンス内

(72)発明者 西川 翔太

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 荷電粒子ビーム装置、試料加工観察方法

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

試料に向けてガリウムイオンビームを照射して前記試料の断面を形成するガリウムイオンビーム鏡筒と、セミアンレンズ型の対物レンズを有し、試料に向けて電子ビームを照射する電子ビーム鏡筒と、前記試料の断面に向けて気体イオンビームを照射して、前記試料の断面の仕上げ加工を行う気体イオンビーム鏡筒と、を少なくとも備え、前記気体イオンビームは、前記試料の断面の最大径よりも大きなビーム直径を有することを特徴とする荷電粒子ビーム装置。

## 【請求項2】

前記ガリウムイオンビーム、前記電子ビーム、および前記気体イオンビームのそれぞれのビーム光軸が一点で交差する交点と、前記ガリウムイオンビーム鏡筒の前端部、および前記電子ビーム鏡筒の前端部との間の距離よりも、前記交点と前記気体イオンビーム鏡筒の前端部との間の距離が長いことを特徴とする請求項1記載の荷電粒子ビーム装置。

## 【請求項3】

前記気体イオンビーム鏡筒は、対物レンズと、前記気体イオンビームを偏向させる偏向手段とを備え、前記偏向手段は、前記対物レンズよりも前記気体イオンビーム鏡筒の前端部に近い位置に配されることを特徴とする請求項1または2記載の荷電粒子ビーム装置。

## 【請求項4】

前記偏向手段は、互いに対向して配された1組以上の平行平板電極からなり、前記電子ビーム鏡筒からの漏れ磁場によって前記気体イオンビームが偏向する偏向方向と逆の方向に

前記気体イオンビームを偏向させることを特徴とする請求項 3 記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 5】

前記偏向手段は、1.5 mm 以上の偏向能力を有することを特徴とする請求項 4 記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 6】

前記気体イオンビームは、ビームエネルギーが 0.5 keV 以上 1.0 keV 以下であり、かつビーム直径が 50 μm 以上、1000 μm 以下であることを特徴とする請求項 1 ないし 5 いずれか一項記載の荷電粒子ビーム装置。

【請求項 7】

前記気体イオンビーム鏡筒は、前記電子ビーム鏡筒の外部磁場によって偏向された前記気体イオンビームを遮蔽する偏向遮蔽板を有することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の荷電粒子ビーム装置。

10

【請求項 8】

請求項 1 ないし 7 いずれか一項記載の荷電粒子ビーム装置を用いた試料加工観察方法であって、前記気体イオンビームによって前記試料の断面の仕上げ加工を行う同時に、前記電子ビーム鏡筒を用いてセミアンレンズモードで前記試料の断面の SEM 像を取得するリアルタイム加工観察工程を有することを特徴とする試料加工観察方法。

【請求項 9】

請求項 1 ないし 7 いずれか一項記載の荷電粒子ビーム装置を用いた試料加工観察方法であって、前記気体イオンビームによって前記試料の断面の仕上げ加工を行う仕上げ加工工程と、前記電子ビーム鏡筒を用いてセミアンレンズモードで前記試料の断面の SEM 像を取得する SEM 像取得工程とを交互に行うことを特徴とする試料加工観察方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷電粒子ビームを用いて試料の加工を行うための荷電粒子ビーム装置、および、荷電粒子ビームを用いた試料加工観察方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

例えば、半導体デバイス等の試料の内部構造を解析したり、立体的な観察を行ったりする手法の 1 つとして、荷電粒子ビーム (Focused Ion Beam; FIB) 鏡筒と電子ビーム (Electron Beam; EB) 鏡筒を搭載した荷電粒子ビーム複合装置を用いて、FIB による断面形成加工と、その断面を走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope; SEM) により観察を行う試料断面加工観察方法が知られている (例えば、特許文献 1 を参照)。

30

【0003】

こうした荷電粒子ビーム複合装置の荷電粒子ビームとしては、一般的にガリウムをイオン源にしたガリウムイオンビームが使用される。しかしながら、ガリウムイオンビームは、試料との化学的反応性が高いことや、ガリウムイオンの衝突によって、試料表面に対するダメージが大きく、これによって生じたダメージ層の除去が課題となっていた。こうした課題を解決するために、荷電粒子ビーム複合装置に、更に希ガスなどの気体をイオン源にした気体イオンビームを照射可能な気体イオンビーム鏡筒を備えたトリプルビーム構成の荷電粒子ビーム複合装置が開発されている (例えば、特許文献 2 を参照)。

40

【0004】

このトリプルビーム構成の荷電粒子ビーム複合装置では、例えば、ガリウムイオンビームを用いて効率よく試料の断面加工を行った後、ガリウムイオンビームで生じた断面のダメージ層を気体イオンビームで除去して仕上げ加工を行うことができる。これにより、ダメージの少ない試料の観察用断面を形成することができる。

【0005】

また、半導体デバイスの更なる微細化に伴い、試料の加工モニタリング時の SEM 画像の高分解能化が要求されている。特に、試料作製の最終段階においては、ターゲット位置を

50

正確に捕捉するために、高分解能かつリアルタイム性が要求される。SEM画像の高分解能化のために、電子ビーム鏡筒と試料との間に電子レンズを形成させるセミインレンズ方式も採用されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特開2008-270073号公報

特開2007-164992号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述したような荷電粒子ビーム複合装置に、セミインレンズ型の電子ビーム鏡筒を適用した場合、対物レンズ（電子レンズ）の磁場が電子ビーム鏡筒の外側に生じる。そして、近接配置された気体イオンビーム鏡筒から照射される気体イオンビームが、電子ビーム鏡筒の電子レンズの磁場によって望まない方向に偏向されてしまうことがある。これにより、気体イオンビームを用いて試料の仕上げ加工をしつつ試料加工面のSEM像を観察する、リアルタイム加工観察を行うことが困難であった。

【0008】

また、気体イオンビームによる試料の仕上げ加工と、試料加工面のSEM像とを交互に行う場合、試料の仕上げ加工時には、電子ビーム鏡筒の対物レンズの磁場をオフにする。しかし対物レンズの磁場はヒステリシス現象によって、レンズの励磁電流をオフにただけでは完全には消去されないため、別途、消磁処理を行う必要がある。よって、気体イオンビームの照射と、電子ビーム鏡筒によるSEM像の取得とを切り替えるために長時間を要することが課題になっていた。

【0009】

本発明は、前述した事情に鑑みてなされたものであって、ガリウムイオンビーム鏡筒と、セミインレンズ型の対物レンズを有する電子ビーム鏡筒と、気体イオンビーム鏡筒とを備えた荷電粒子ビーム装置において、試料の断面の仕上げ加工と、試料の断面の高精度なSEM像取得とを、短時間で効率的に行うことが可能な荷電粒子ビーム装置、およびこれを用いた試料加工観察方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するために、本実施形態の態様は、以下のような荷電粒子ビーム装置、試料加工観察方法を提供した。

すなわち、本発明の荷電粒子ビーム装置は、試料に向けてガリウムイオンビームを照射して前記試料の断面を形成するガリウムイオンビーム鏡筒と、セミインレンズ型の対物レンズを有し、試料に向けて電子ビームを照射する電子ビーム鏡筒と、前記試料の断面に向けて気体イオンビームを照射して、前記試料の断面の仕上げ加工を行う気体イオンビーム鏡筒と、を少なくとも備え、前記気体イオンビームは、前記試料の断面の最大径よりも大きなビーム直径を有することを特徴とする。

【0011】

また、本発明では、前記ガリウムイオンビーム、前記電子ビーム、および前記気体イオンビームのそれぞれのビーム光軸が一点で交差する交点と、前記ガリウムイオンビーム鏡筒の前端部、および前記電子ビーム鏡筒の前端部との間の距離よりも、前記交点と前記気体イオンビーム鏡筒の前端部との間の距離が長いことが好ましい。

【0012】

また、本発明では、前記気体イオンビーム鏡筒は、対物レンズと、前記気体イオンビームを偏向させる偏向手段とを備え、前記偏向手段は、前記対物レンズよりも前記気体イオンビーム鏡筒の前端部に近い位置に配されることが好ましい。

【0013】

10

20

30

40

50

また、本発明では、前記偏向手段は、互いに対向して配された１組以上の平行平板電極からなり、前記電子ビーム鏡筒からの漏れ磁場によって前記気体イオンビームが偏向する偏向方向と逆の方向に前記気体イオンビームを偏向させることが好ましい。

【００１４】

また、本発明では、前記偏向手段は、１．５ｍｍ以上の偏向能力を有することが好ましい。

【００１５】

また、本発明では、前記気体イオンビームは、ビームエネルギーが０．５ｋｅＶ以上１．０ｋｅＶ以下であり、かつビーム直径が５０μｍ以上、１０００μｍ以下であることが好ましい。

【００１６】

また、本発明では、前記気体イオンビーム鏡筒は、前記電子ビーム鏡筒の外部磁場によって偏向された前記気体イオンビームを遮蔽する偏向遮蔽板を有することが好ましい。

【００１７】

本発明の試料加工観察方法は、前記各項記載の荷電粒子ビーム装置を用いた試料加工観察方法であって、前記気体イオンビームによって前記試料の断面の仕上げ加工を行う同時に、前記電子ビーム鏡筒を用いてセミインレンズモードで前記試料の断面のＳＥＭ像を取得するリアルタイム加工観察工程を有することを特徴とする。

【００１８】

また、本発明の試料加工観察方法は、前記各項記載の荷電粒子ビーム装置を用いた試料加工観察方法であって、前記気体イオンビームによって前記試料の断面の仕上げ加工を行う仕上げ加工工程と、前記電子ビーム鏡筒を用いてセミインレンズモードで前記試料の断面のＳＥＭ像を取得するＳＥＭ像取得工程とを交互に行うことを特徴とする。

【発明の効果】

【００１９】

本発明によれば、ガリウムイオンビーム鏡筒と、セミインレンズ型の対物レンズを有する電子ビーム鏡筒と、気体イオンビーム鏡筒とを備えた荷電粒子ビーム装置において、試料の断面の仕上げ加工と、試料の断面の高精度なＳＥＭ像取得とを、短時間で効率的に行うことが可能な荷電粒子ビーム装置、およびこれを用いた試料加工観察方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００２０】

【図１】本発明の実施形態に係る荷電粒子ビーム装置全体を示す概略構成図である。

【図２】電子ビーム鏡筒の構成を示す概略構成図である。

【図３】気体イオンビーム鏡筒の構成を示す概略構成図である。

【図４】仕上げ加工時の試料の状態を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【００２１】

以下、図面を参照して、本発明の一実施形態である荷電粒子ビーム装置、およびこれを用いた試料加工観察方法について説明する。なお、以下に示す各実施形態は、発明の趣旨をより良く理解させるために具体的に説明するものであり、特に指定のない限り、本発明を限定するものではない。また、以下の説明で用いる図面は、本発明の特徴をわかりやすくするために、便宜上、要部となる部分を拡大して示している場合があり、各構成要素の寸法比率などが実際と同じであるとは限らない。

【００２２】

（荷電粒子ビーム装置）

図１は、本発明の実施形態に係る荷電粒子ビーム装置全体を示す概略構成図である。

本発明の実施形態に係る荷電粒子ビーム装置１０は、内部を真空状態に維持可能な試料室１１と、試料室１１の内部において、試料Ｓを載置するための試料台１３を固定可能なステージ１２と、を備えている。

【００２３】

荷電粒子ビーム装置 10 は、試料室 11 の内部における所定の照射領域（つまり走査範囲）内の照射対象、例えば試料 S に向けてガリウムイオンビームを照射するガリウムイオンビーム鏡筒 14 を備えている。こうしたガリウムイオンビーム鏡筒 14 は、液体ガリウムなどを用いたガリウム源（図示略）を備えている。ガリウムイオンビーム鏡筒 14 の出射端である前端部 14 a からは、例えば、 $1\text{ }\mu\text{m}$  以下のビーム直径のガリウムイオンビーム（FIB）が照射される。ガリウムイオンビームのビームエネルギーは、例えば、 $100\text{ eV}$  以上、 $50\text{ keV}$  以下の範囲である。

【0024】

荷電粒子ビーム装置 10 は、試料室 11 の内部における所定の照射領域内の照射対象、例えば試料 S に向けて電子ビーム（EB）を照射する電子ビーム鏡筒 15 を備えている。この電子ビーム鏡筒 15 のより詳しい構成は後述する。

10

【0025】

また、荷電粒子ビーム装置 10 は、電子ビームの照射によって試料 S から発生する二次電子を検出する二次電子検出器 16 を備えている。二次電子検出器 16 は、試料 S などの照射対象に電子ビームが照射された時に照射対象から放射される二次荷電粒子（二次電子）の強度（つまり、二次電子の量）を検出し、二次電子の検出量の情報を出力する。二次電子検出器 16 は、試料室 11 の内部において、二次電子の量を検出可能な位置、例えば照射領域内の試料 S などの照射対象に対して斜め上方の位置などに配置されている。

【0026】

荷電粒子ビーム装置 10 は、試料室 11 の内部における所定の照射領域内の照射対象、例えば試料 S に向けて気体イオンビームを照射する気体イオンビーム鏡筒 18 を備えている。本実施形態では、気体イオンビームとして、希ガスであるアルゴンを用いたアルゴンイオンビーム（GB）を用いている。この気体イオンビーム鏡筒 18 のより詳しい構成は後述する。

20

【0027】

荷電粒子ビーム装置 10 は、照射対象、例えば試料 S の表面にガスを供給するガス銃 17 を備えている。ガス銃 17 は、例えば、外径  $200\text{ }\mu\text{m}$  程度のノズル等を備えている。ガス銃 17 は、例えば、ガリウムイオンビームによる試料のエッチングを選択的に促進するためのエッチング用ガスや、試料 S の表面に金属または絶縁体などの堆積物によるデポジション膜を形成するためのデポジション用ガスなどを供給する。

30

【0028】

荷電粒子ビーム装置 10 は、制御部 21 と、表示装置 22 と、入力デバイス 23 と、を備えている。制御部 21 は、荷電粒子ビーム装置 10 を構成するガリウムイオンビーム鏡筒 14、電子ビーム鏡筒 15、二次電子検出器 16、気体イオンビーム鏡筒 18、ガス銃 17 などを制御する制御手段である。制御部 21 は、例えば、パーソナルコンピュータ、およびインターフェースなどから構成される。表示装置 22 は、二次電子検出器 16 によって検出された二次電子に基づく試料 S の画像などを表示する。

【0029】

なお、荷電粒子ビーム装置 10 は、上述した構成以外にも、ステージ 12 に載置された試料 S を移動させるニードル機構（図示略）などが設けられている。

40

【0030】

図 2 は、電子ビーム鏡筒の構成を示す概略構成図である。本実施形態では、電子ビーム鏡筒として、セミインレンズ型の電子ビーム鏡筒 15 を用いている。電子ビーム鏡筒 15 は、電子を発生させる電子源 31 と、電子源 31 から射出された電子ビーム（EB）を集束させるコンデンサレンズ 32 と、電子ビーム（EB）を偏向させる偏向器 33 と、対物レンズ部 34 などを備えている。

【0031】

対物レンズ部 34 は、電子レンズである第 1 対物レンズ 35 を形成するための第 1 コイル 36 と、電子レンズである第 2 対物レンズ 37 を形成するための第 2 コイル 38 とを備えている。第 1 対物レンズ 35 は、電子ビーム鏡筒 15 の出射端である前端部 15 a の内側

50

で、かつ、第 1 コイル 3 6、第 2 コイル 3 8 の外側に形成される。また、第 2 対物レンズ 3 7 は、電子ビーム鏡筒 1 5 の前端部 1 5 a の外側、例えば、電子ビーム鏡筒 1 5 の前端部 1 5 a と、ステージ 1 2 に載置された試料 S との間に形成される。試料 S の一部は、例えば、第 2 対物レンズ 3 7 の形成範囲の中に入っている。

#### 【 0 0 3 2 】

このように、電子ビーム鏡筒 1 5 は、第 1 対物レンズ 3 5 および第 2 対物レンズ 3 7 を、第 1 コイル 3 6 および第 2 コイル 3 8 と、試料 S との間に形成した、セミインレンズ型になっている。電子ビーム鏡筒 1 5 の対物レンズ部 3 4 をセミインレンズ型にすることによって、電子ビーム ( E B ) の焦点距離を短くなり、例えば、アウトレンズ型の対物レンズと比較して、高分解能で試料 S を観察することができる。また、試料 S は第 1 コイル 3 6 および第 2 コイル 3 8 の外側に配置されるので、第 1 コイル 3 6 および第 2 コイル 3 8 の内径によって試料 S のサイズが制限されることが無く、インレンズ型の対物レンズと比較して、よりサイズの大きな試料 S を観察することができる。

10

#### 【 0 0 3 3 】

図 3 は、気体イオンビーム鏡筒の構成を示す概略構成図である。本実施形態では、気体イオンビーム鏡筒 1 8 は、気体としてアルゴンを適用したアルゴンイオンビーム ( G B ) を照射する。なお、気体イオンビーム鏡筒 1 8 から照射する気体イオンビームは、アルゴンイオンビームに限定されるものではなく、例えば、ネオン、クリプトン、キセノンなど他の気体を用いた気体イオンビームであってもよい。

#### 【 0 0 3 4 】

気体イオンビーム鏡筒 1 8 は、出射端である前端部 1 8 a に向かって順に、アルゴンイオン源 4 1、コンデンサレンズ 4 2、ブランキング電極 4 3、対物レンズ電極 4 4、遮蔽板 4 5、および偏向電極 ( 偏向手段 ) 4 6 を備えている。

20

#### 【 0 0 3 5 】

気体イオンビーム鏡筒 1 8 は、アルゴンガスをイオン化して、例えば、1 . 0 k e V 程度の低加速電圧で照射することができる。こうしたアルゴンイオンビーム ( G B ) は、ガリウムイオンビーム ( F I B ) に比べて集束性が低いため、試料 S に対するエッチングレートが低くなる。従って、アルゴンイオンビーム ( G B ) は、ガリウムイオンビームによって試料 S の断面形成を行った後、この断面の精密な仕上げ加工に好適である。

#### 【 0 0 3 6 】

気体イオンビーム鏡筒 1 8 から照射されるアルゴンイオンビーム ( G B ) は、ビームエネルギーが 0 . 5 k e V 以上 1 . 0 k e V 以下である。また、ビーム直径が 5 0  $\mu$  m 以上、1 0 0 0  $\mu$  m 以下、より好ましくは 1 0 0  $\mu$  m 以上、3 0 0  $\mu$  m 以下である。

30

#### 【 0 0 3 7 】

ブランキング電極 4 3 は、通電によってアルゴンイオンビーム ( G B ) を遮蔽する。対物レンズ電極 4 4 は、内部に電子レンズである対物レンズ 4 8 を形成する。こうした対物レンズ 4 8 によって、アルゴンイオンビーム ( G B ) は集束される。

#### 【 0 0 3 8 】

遮蔽板 4 5 は、対物レンズ電極 4 4 と偏向電極 4 6 との間にあって、外部磁場によって偏向されたアルゴンイオンビーム ( 図 3 中の点線矢印 D 1 を参照 ) を遮蔽し、気体イオンビーム鏡筒 1 8 から照射されないようにする。このアルゴンイオンビームを偏向させる外部磁場は、電子ビーム鏡筒 1 5 の対物レンズ部 3 4 で発生する磁場である。なお、ブランキング電極 4 3 と遮蔽板 4 5 とは、どちらか一方を選択的に設けることが好ましい。

40

#### 【 0 0 3 9 】

本実施形態のように、セミインレンズ型の対物レンズ部 3 4 を備えた電子ビーム鏡筒 1 5 では、電子ビーム鏡筒 1 5 の外部に第 2 コイル 3 8 による第 2 対物レンズ 3 7 が形成されるので、気体イオンビーム鏡筒 1 8 は、この電子ビーム鏡筒 1 5 の外部磁場の影響を受ける。遮蔽板 4 5 は、この外部磁場によって偏向されたアルゴンイオンビーム ( G B ) のビーム軌道上に位置するように配置される。従って、電子ビーム鏡筒 1 5 から電子ビーム (

50

E B) が照射されている時は、アルゴンイオンビーム (G B) は気体イオンビーム鏡筒 18 から照射されない。

【0040】

偏向電極 (偏向手段) 46 は、対物レンズ 48 よりも気体イオンビーム鏡筒 18 の前端部 18a に近い位置に配されている。これにより、偏向電極 46 よりもサイズ (直径) の大きい対物レンズ電極 44 が試料 S から遠い位置に配置され、気体イオンビーム鏡筒 18 の前端部 18a の形状を細くすることができるので、試料 S に対して、ガリウムイオンビーム鏡筒 14 の前端部 14a および電子ビーム鏡筒 15 の前端部 15a とともに、気体イオンビーム鏡筒 18 の前端部 18a を試料 S に対して近接配置することができる。

【0041】

本実施形態の荷電粒子ビーム装置 10 は、図 1 に示すように、ガリウムイオンビーム (FIB)、電子ビーム (EB)、およびアルゴンイオンビーム (GB) のそれぞれのビーム光軸が一点で交差する交点 P と、ガリウムイオンビーム鏡筒 14 の前端部 14a、および電子ビーム鏡筒 15 の前端部 15a との距離よりも、気体イオンビーム鏡筒 18 の前端部 18a との距離が長くなるように配置されている。

【0042】

試料 S と各鏡筒の前端部との距離が小さいほうが、それぞれのビームを絞る (ビーム直径を小さくする) ことができるため、高分解能観察が要求される電子ビーム鏡筒 15 と、微細加工が要求されるガリウムイオンビーム鏡筒 14 を、より試料 S に近接させて配置する。これにより、アルゴンイオンビーム (GB) のビーム直径をガリウムイオンビーム (FIB) のビーム直径よりも大きくした、よりブロードなビームにすることができる。アルゴンイオンビーム (GB) は、試料 S の加工断面の最大径よりも大きなビーム直径であればよい。

【0043】

再び図 3 を参照して、偏向電極 (偏向手段) 46 は、互いに対向して配された 1 組以上の平行平板電極から構成されている。この平行平板電極からなる偏向電極 46 は、電子ビーム鏡筒 15 から漏れ磁場によってアルゴンイオンビーム (GB) が偏向する偏向方向 (図 3 中の実線矢印 D2 を参照) と逆の方向にアルゴンイオンビーム (GB) を偏向させる。これによって、外部磁場によるアルゴンイオンビーム (GB) の偏向量と同一の偏向量となる磁場を発生させる電圧を偏向電極 (偏向手段) 46 に印加することで、アルゴンイオンビーム (GB) を用いた試料 S の加工時に視野補正を行うことができる。

【0044】

また、偏向電極 (偏向手段) 46 は、アルゴンイオンビーム (GB) に対して、例えば、1.5 mm 以上の偏向能力を有する。そして、偏向電極 (偏向手段) 46 の偏向能力を 1.5 mm 以上にすることで、電子ビーム鏡筒 15 のセミアインレンズ型の対物レンズ部 34 で生じる外部磁場によるアルゴンイオンビーム (GB) の偏向 (例えば 1 mm 程度) を振り戻すことができる。これにより、電子ビーム (EB) を照射して試料 S の加工面などを観察中に、アルゴンイオンビーム (GB) による試料 S の仕上げ加工を行うことが可能であり、また、加工時に試料 S の加工面のリアルタイムモニタリングが実現できる。

【0045】

また、本実施形態の荷電粒子ビーム装置 10 によれば、セミアインレンズ型の対物レンズ部 34 を用いた高分解能 SEM 観察と気体イオンビーム (アルゴンイオンビーム) による仕上げ加工を行うことにより、微細構造を有する試料、つまりデバイス寸法が小さい試料であっても高い位置精度で仕上げ加工終点を検出することが可能になる。

【0046】

なお、アルゴンイオンビーム (GB) は、ビーム直径が 50  $\mu\text{m}$  以上、1000  $\mu\text{m}$  以下、より好ましくは 100  $\mu\text{m}$  以上、300  $\mu\text{m}$  以下であり、試料 S の加工部位に比べて大きく面加工を行うため、ビーム形状の劣化は加工に大きな影響を与えない。このため、気体イオンビーム鏡筒 18 に偏向電極 (偏向手段) 46 を設けない構成であっても良い。

【0047】

( 試料加工観察方法：第 1 実施形態 )

以上のような構成の荷電粒子ビーム装置 10 を用いた、本発明の試料加工観察方法について、図 1 ~ 4 を参照しつつ説明する。

荷電粒子ビーム装置 10 を用いて、例えば、試料 S の内部の観察対象 ( 観察面 ) を露出させる加工を行う際には、加工前の試料 S を試料台 13 にセットした後、ステージ 12 に固定する。そして、制御部 21 を介してステージ 12 を動かし、試料 S が最適な加工位置になるように調整する。

【 0048 】

そして、まず、ガリウムイオンビーム鏡筒 14 から、例えば  $1\text{ }\mu\text{m}$  以下のビーム直径のガリウムイオンビーム ( FIB ) を試料 S に向けて照射する。そして、図 4 に示すように、試料 S の内部に形成されたデバイス M の一面が露出する位置 ( 観察面 F ) まで、ガリウムイオンビーム ( FIB ) によって試料 S を削る。このようにして形成される観察面 F のサイズは、例えば、 $10\text{ }\mu\text{m} \times 20\text{ }\mu\text{m}$  程度である。

【 0049 】

こうしたガリウムイオンビーム ( FIB ) において、試料 S の加工状況をモニタリングするために、任意のタイミングで電子ビーム鏡筒 15 から加工面に向けて電子ビーム ( EB ) を照射して、加工面で生じた二次電子を二次電子検出器 16 によって検出し、加工面の SEM 画像を表示装置 22 で確認すればよい。この時、電子ビーム鏡筒 15 は、第 1 対物レンズ 35 および第 2 対物レンズ 37 が、第 1 コイル 36 および第 2 コイル 38 の外側に形成され、かつ、第 1 対物レンズ 35 および第 2 対物レンズ 37 が試料 S に対して離間したアウトレンジモードによって電子ビーム ( EB ) を照射する。

【 0050 】

ガリウムイオンビーム ( FIB ) によって、試料 S を目的の観察面 F まで加工したら、次に、観察面 F に存在するガリウムイオンビーム ( FIB ) の加工痕を除去し、より平滑にする仕上げ加工を行う。本実施形態では、気体イオンビーム鏡筒 18 から観察面 F に向けてアルゴンイオンビーム ( GB ) を照射して仕上げ加工を行う仕上げ加工工程と、観察面 F に向けて電子ビーム ( EB ) を照射して、観察面 F の SEM 画像を取得する SEM 像取得工程とを交互に行う。

【 0051 】

図 4 に示すように、気体イオンビーム鏡筒 18 から照射されるアルゴンイオンビーム ( GB ) は、例えば、ビーム直径 Q が  $50\text{ }\mu\text{m}$  以上、 $1000\text{ }\mu\text{m}$  以下であり、ガリウムイオンビーム ( FIB ) よりも格段にビーム直径が大きい。即ち、アルゴンイオンビームは、試料 S の観察面 F ( 加工断面 ) の最大径よりも大きなビーム直径を有する。これにより、アルゴンイオンビーム ( GB ) を走査することなく観察面 F 全体を均一な加工量で仕上げ加工することができる。

【 0052 】

デバイス M など微細構造を有する試料 S の加工では、アルゴンイオンビーム ( GB ) による加工量は小さくてよいが、正確な加工終点検出が要求される。アルゴンイオンビーム ( GB ) は、観察面 F よりもビーム直径 Q が大きいため、ビームエネルギーが  $0.5\text{ keV}$  以上  $1.0\text{ keV}$  以下といった低エネルギーで加工速度を遅くしつつ、観察面 F 全体を一定の加工量で仕上げ加工することができる。

【 0053 】

本実施形態では、こうした仕上げ加工工程と交互に SEM 像取得工程を行う。SEM 像取得工程では、アルゴンイオンビーム ( GB ) の照射を停止させた後、電子ビーム鏡筒 15 からセミインレンジモードによって電子ビーム ( EB ) を照射し、観察面 F で生じた二次電子を二次電子検出器 16 で検出して SEM 画像を取得する。電子ビーム鏡筒 15 セミインレンジモードにすることにより、試料 S が第 1 コイル 36 や第 2 コイル 38 から離間した位置にあっても、高精度で鮮明な SEM 画像を得ることができる。

【 0054 】

本実施形態では、アルゴンイオンビーム ( GB ) のビーム直径が  $50\text{ }\mu\text{m} \sim 1000\text{ }\mu\text{m}$

10

20

30

40

50

程度である。このアルゴンイオンビーム（GB）は、ほぼ均一なプロファイルを有しているため、仕上げ加工時における位置精度は、ビーム直径の半分程度（ $25\mu\text{m} \sim 500\mu\text{m}$ ）である。また、電子ビーム鏡筒15の対物レンズ部34の励磁電流をオフにした後、残留ヒステリシスによって第1対物レンズ35や第2対物レンズ37のレンズ磁場が完全に消去されない場合においても、これら外部磁場によるアルゴンイオンビーム（GB）の偏向量は、 $8\mu\text{m}$ 程度であり、仕上げ加工には影響を与えない。そのため、第1対物レンズ35や第2対物レンズ37のレンズ磁場の消磁処理を必要とせず、仕上げ加工工程とSEM像取得工程とを交互に行うことができる。

#### 【0055】

（試料加工観察方法：第2実施形態）

本発明の試料加工観察方法の第2実施形態では、試料Sの観察面の仕上げ加工において、仕上げ加工工程とSEM像取得工程とを同時に行う（リアルタイム加工観察工程）。

本実施形態では、試料Sの観察面Fの仕上げ加工に用いるアルゴンイオンビーム（GB）のビーム直径が $50\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$ 程度であり、試料Sの観察面Fのサイズに比べて大きく、アルゴンイオンビーム（GB）を走査させることなく観察面F全体を面加工できるので、アルゴンイオンビーム（GB）ビーム形状の劣化が仕上げ加工精度に大きな影響を与えることがない。

#### 【0056】

また、気体イオンビーム鏡筒18には、 $1.5\text{mm}$ 以上のビーム偏向能力を有する平行平板電極からなる偏向電極（偏向手段）46を備えているので、電子ビーム鏡筒15の第1対物レンズ35や第2対物レンズ37のレンズ磁場による偏向（ $1.0\text{mm}$ 程度）を振り戻すことができる。これにより、アルゴンイオンビーム（GB）の照射による仕上げ加工工程と、電子ビーム（EB）の照射によるSEM像取得工程とを同時に行う、仕上げ加工時のリアルタイムモニタリングが実現できる。

#### 【0057】

（試料加工観察方法：第3実施形態）

本発明の試料加工観察方法の第3実施形態では、試料Sの観察面の仕上げ加工において、仕上げ加工工程とSEM像取得工程とを交互に行う。

本実施形態では、SEM像取得工程を行う際に、アルゴンイオンビーム（GB）を試料Sの観察面Fに照射しないように、ビーム軌道を偏向させる。例えば、気体イオンビーム鏡筒18の平行平板電極からなる偏向電極（偏向手段）46は、電子ビーム鏡筒15の第1対物レンズ35や第2対物レンズ37のレンズ磁場によるアルゴンイオンビーム（GB）の偏向方向と同一方向にアルゴンイオンビーム（GB）を偏向させる。これにより、SEM像取得工程において、アルゴンイオンビーム（GB）のブランカーとしての機能を果たす。

#### 【0058】

また、アルゴンイオンビーム（GB）による仕上げ加工工程において、電子ビーム鏡筒15からの外部磁場によるアルゴンイオンビーム（GB）の偏向量と同一の偏向量となる電圧を偏向電極（偏向手段）46に印加することで、仕上げ加工工程でのアルゴンイオンビーム（GB）の視野補正を行うことが可能となる。

#### 【0059】

なお、第3実施形態の変形例として、気体イオンビーム鏡筒18に設けた遮蔽板45を用いて、SEM像取得工程において電子ビーム鏡筒15の対物レンズ部34のレンズ磁場による外部磁場によって偏向されたアルゴンイオンビーム（図3中の点線矢印を参照）を遮蔽する。これにより、気体イオンビーム鏡筒18に、ブランキング電極43を設けなくても、電子ビーム鏡筒15から電子ビーム（EB）が照射されると、アルゴンイオンビームの照射が停止され、高精度で鮮明なSEM画像を取得することができる。

#### 【0060】

本発明の実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実

10

20

30

40

50

施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

【符号の説明】

【 0 0 6 1 】

1 0 ...荷電粒子ビーム装置、1 1 ...試料室、1 2 ...ステージ（試料ステージ）、1 3 ...試料台、1 4 ...ガリウムイオンビーム鏡筒、1 5 ...電子ビーム鏡筒、1 6 ...二次電子検出器、1 8 ...気体イオンビーム鏡筒、2 1 ...制御部、2 2 ...表示装置、2 3 ...入力デバイス、S ...試料。

10

20

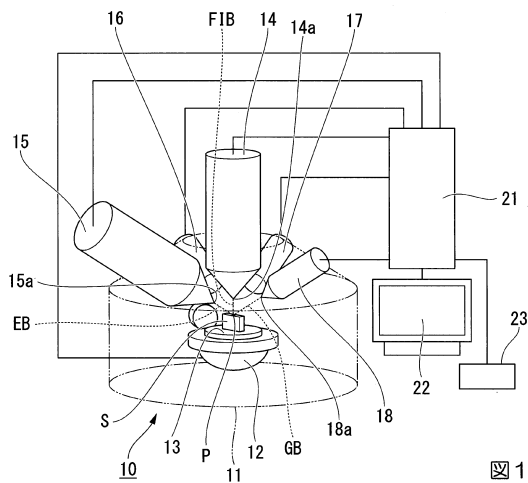
30

40

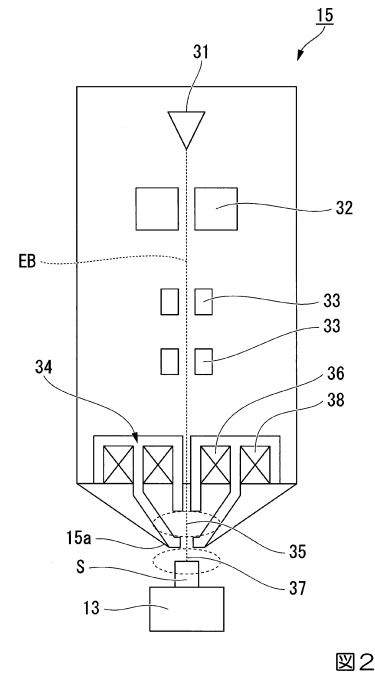
50

【図面】

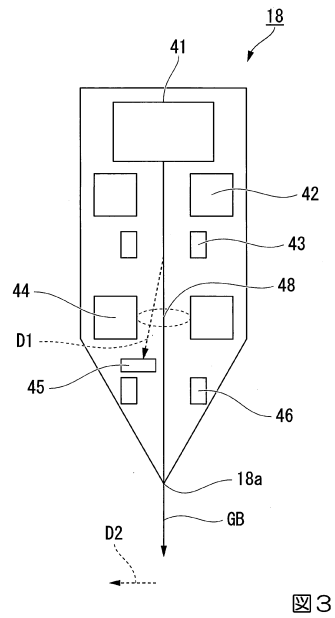
【図 1】



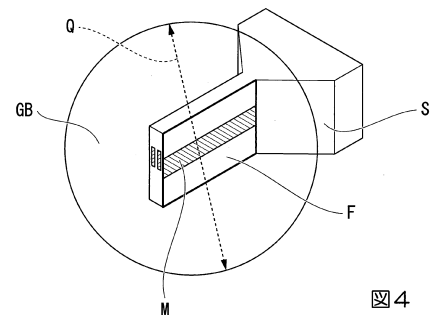
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

(51)国際特許分類

**H 0 1 L 21/66 (2006.01)**

F I

H 0 1 L 21/66

J

H 0 1 L 21/66

N

東京都港区西新橋一丁目 2 4 番 1 4 号 株式会社日立ハイテクサイエンス内

(72)発明者 鈴木 秀和

東京都港区西新橋一丁目 2 4 番 1 4 号 株式会社日立ハイテクサイエンス内

(72)発明者 鈴木 浩之

東京都港区西新橋一丁目 2 4 番 1 4 号 株式会社日立ハイテクサイエンス内

(72)発明者 岡部 衛

東京都港区西新橋一丁目 2 4 番 1 4 号 株式会社日立ハイテクサイエンス内

(72)発明者 麻畑 達也

東京都港区西新橋一丁目 2 4 番 1 4 号 株式会社日立ハイテクサイエンス内

審査官 右 高 孝幸

(56)参考文献 特開 2 0 0 7 - 1 6 4 9 9 2 ( J P , A )

特開 2 0 1 1 - 2 0 4 5 7 0 ( J P , A )

特開 2 0 1 3 - 2 3 4 8 5 5 ( J P , A )

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 J 3 7 / 3 0

H 0 1 J 3 7 / 2 8

H 0 1 J 3 7 / 3 1 7

H 0 1 J 3 7 / 1 4 7

G 0 1 N 2 3 / 2 2 5 1

H 0 1 L 2 1 / 6 6