

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5601838号
(P5601838)

(45) 発行日 平成26年10月8日(2014.10.8)

(24) 登録日 平成26年8月29日(2014.8.29)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 J 37/12 (2006.01)

H O 1 J 37/12

H O 1 J 37/145 (2006.01)

H O 1 J 37/145

H O 1 J 37/317 (2006.01)

H O 1 J 37/317

D

請求項の数 10 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2009-540623 (P2009-540623)
 (86) (22) 出願日 平成19年11月23日(2007.11.23)
 (65) 公表番号 特表2010-512628 (P2010-512628A)
 (43) 公表日 平成22年4月22日(2010.4.22)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2007/010193
 (87) 国際公開番号 W02008/071303
 (87) 国際公開日 平成20年6月19日(2008.6.19)
 審査請求日 平成22年11月4日(2010.11.4)
 (31) 優先権主張番号 102006059162.3
 (32) 優先日 平成18年12月14日(2006.12.14)
 (33) 優先権主張国 ドイツ(DE)

(73) 特許権者 512158505
 カール ツァイス マイクロスコーピー
 ゲーエムベーハー
 Carl Zeiss Microscop
 y GmbH
 ドイツ国 07745 イーナ カール
 ツァイス ブロムナーデ 10
 (74) 代理人 100147485
 弁理士 杉村 憲司
 (74) 代理人 100134005
 弁理士 澤田 達也
 (74) 代理人 100147692
 弁理士 下地 健一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 粒子光学装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

粒子光学装置であって、

電子顕微鏡システム(3)の主軸(5)に沿って被検査対象物(13)に向けて一次電子ビーム(19)を照射する電子顕微鏡システム(3)と、

イオンビーム加工システム(7)の主軸(9)に沿って前記被検査対象物(13)に向かってイオンビームを照射するイオンビーム加工システム(7)とを備え、前記電子顕微鏡システム(3)の前記主軸(5)と前記イオンビーム加工システム(7)の前記主軸(9)とは、角度()を成すように相互に方向づけられており、

前記電子顕微鏡システム(3)は、前記電子ビーム(19)を集束させるための、磁界レンズ(45)および静電レンズ(47)を備える対物レンズ(43)を備え、かつ、前記電子顕微鏡システム(3)の前記主軸(5)が通る環状電極(59)を備え、該環状電極(59)は、前記被検査対象物(13)の位置(11)近傍に配置された前記電子顕微鏡システム(3)の構成要素であって、

前記環状電極(59)と、前記イオンビーム加工システム(7)の前記主軸(9)との間に配置された、シールド電極(81)を特徴とし、

前記環状電極(59)に電圧を供給するための電圧源(60)と、前記被検査対象物(13)を、前記電子顕微鏡システム(3)の前記主軸(5)に対して、前記対象物の表面の少なくとも2つの異なる方向において保持するように構成された対象物ホルダ(16)とを更に含み、

10

20

前記粒子光学装置の操作中に前記電圧源（６０）から前記環状電極（５９）に供給される電圧は、前記電子顕微鏡システム（３）の前記主軸（５）に対する角度が異なる前記被検査対象物（１３）の前記表面（１５）について、異なる値であり、

前記シールド電極（８１）が、

前記対象物（１３）の前記表面（１５）の方向が前記イオンビーム加工システム（７）の前記主軸（９）に略垂直であって、対応して操作中に前記環状電極（５９）に供給される電圧を調節する場合に、

イオンビーム加工システムの主軸に沿った電場の分布が以下の関係性を満たすように構成され、

10

$$\left| \frac{e}{2W_{kin}} \int_0^z E_{\perp}(z) \cdot z \cdot dz \right| < 10 \mu m$$

e は、素電荷を表し、

z は、前記対象物（１３）の前記表面（１５）からの、前記イオンビーム加工システム（７）の前記主軸（９）に沿った距離を表し、

$E_{\perp}(z)$ は、前記対象物（１３）の前記表面（１５）から、前記主軸（９）に沿って距離 z だけ離れた位置に配置された、前記イオンビーム加工システム（７）の前記主軸（９）に垂直な電場成分を表し、

20

z は、前記イオンビーム加工システム（７）の前記主軸（９）に沿った、前記イオンビーム加工システムのイオン光学系内の位置までの距離を表し、

W_{kin} は、前記対象物の位置における、前記イオンビームのイオンの運動エネルギーを表すことを特徴とする粒子光学装置。

【請求項２】

前記シールド電極（８１）は、前記イオンビーム加工システム（７）の前記主軸（９）に垂直な、少なくとも１つの数学的な直線が、前記シールド電極（８１）および前記環状電極（５９）の両方と交差するように配置されたことを特徴とする、請求項１に従う粒子光学装置。

30

【請求項３】

前記シールド電極（８１）は、前記イオンビーム加工システム（７）のハウジング（７５）の１部分に導電的に接続されており、前記１部分は、前記被検査対象物（１３）の前記位置（１１）の最近傍に位置することを特徴とする、請求項１または２に従う粒子光学装置。

【請求項４】

前記シールド電極（８１）に電圧を供給するための電圧源を更に備える、請求項１または２に記載の粒子光学装置。

【請求項５】

前記イオンビーム加工システム（７）の前記主軸（９）に面する、前記シールド電極（８１）の表面が、凹んで湾曲していることを特徴とする、請求項１～４のいずれか１項に記載の粒子光学装置。

40

【請求項６】

前記シールド電極（８１）は、前記イオンビーム加工システム（７）の前記主軸（９）を、少なくとも部分的に包含するスリーブとして構成されていることを特徴とする、請求項５に従う粒子光学装置。

【請求項７】

前記スリーブは、前記被検査対象物（１３）の前記位置（１１）に向かって、円錐状に先細ることを特徴とする、請求項６に従う粒子光学装置。

【請求項８】

50

前記被検査対象物（１３）の前記位置（１１）に面する、前記シールド電極（８１）の前面（８５）が、前記イオンビーム加工システム（７）の前記主軸（９）に対して垂直な数学的な面（１５）に対して斜め方向に延在することを特徴とする、請求項１～７のいずれか１項に記載の粒子光学装置。

【請求項９】

前記シールド電極（８１）の前記前面（８５）は、前記電子顕微鏡システム（３）の前記主軸（５）に対して垂直な数学的な面（１５'）に対して略平行に延在することを特徴とする、請求項８に従う粒子光学装置。

【請求項１０】

前記環状電極（５９）は、前記被検査対象物（１３）の前記位置（１１）に向かって、円錐状に先細ることを特徴とする、請求項１～９のいずれか１項に記載の粒子光学装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は電子顕微鏡システム及びイオンビーム加工システムを備える粒子光学装置に関する。

【０００２】

小型構造素子を製造するために、イオンビームを用いて容易に試料を加工し、および、実質的に加工と同時に、電子顕微鏡を用いてこの加工の進行を観察することが必要とされている。

20

【背景技術】

【０００３】

このために、被検査対象物に向けた一次電子ビームを電子顕微鏡の主軸に沿って照射する電子顕微鏡システムと、被検査対象物に向けたイオンビームをイオンビーム加工システムの主軸に沿って照射するイオンビーム加工システムとの複合装置が用いられうる。この場合、電子顕微鏡システムの主軸と、イオンビーム加工システムの主軸とは、相互に角をなすように傾けられ、両方のビームは、検査及び／又は加工されるべき対象物の共通の領域に方向づけられうる。このようなシステムは、例えば、特許文献１や、特許文献２により知られており、これらの開示の内容全体を本願明細書に援用する。

30

【０００４】

そのようなシステムは、例えば、半導体ウェーハ内に加工された構造素子の構造についての情報を得るために採用されうる。例えば、イオンビームを用いてウェーハ表面に対して垂直な溝を刻み込み、電子顕微鏡を用いてイオンビームによる加工の進行を把握し、そして、溝の側面の電子顕微鏡画像を取得して加工済み半導体構造の断面図を生成する。このような加工の間、ウェーハの表面はイオンビームの方向に対して実質的に直交するように向けられ、このとき、電子ビームはウェーハの表面に対して斜め方向に向けられている。

【０００５】

40

一般に、高解像度電子顕微鏡システムは、電子ビームを集束させるための磁気レンズ及び静電レンズを有する対物レンズを備える。ここで、静電レンズの電場は、被検査試料上にまで広がっている。例えば、電子顕微鏡システムの主軸に対して斜め方向の表面を有する半導体ウェーハを検査する場合、ウェーハが斜め方向に配置されることにより、電場が影響を受ける。即ち、静電レンズの回転対称な構成に関わらず、その電場は非回転対称となり、電子ビームの集束及びビーム誘導に悪影響を与える。

【０００６】

さらには、電子顕微鏡の対物レンズから漏洩する電場は、イオンビームのビーム誘導にも影響するため、イオンビームが所望の経路から外れてしまい、試料の所定位置に衝突できなくなる。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】米国特許出願公開第2005/0184251号明細書

【特許文献2】米国特許第6,855,938号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明の目的は、電子ビームの良好な集束及びビーム誘導を可能にすると共に、イオンビームを用いた正確な加工が可能な、電子顕微鏡システム及びイオンビーム加工システムを備える粒子光学装置を提案することである。

10

【課題を解決するための手段】

【0009】

この目的を達成するために、本発明に係る粒子光学装置は、被検査対象物に向けた一次電子ビームを電子顕微鏡の主軸に沿って照射する電子顕微鏡システムと、被検査対象物に向けたイオンビームをイオンビーム加工システムの主軸に沿って照射するイオンビーム加工システムとを含みうる。電子顕微鏡システムの主軸と、イオンビーム加工システムの主軸とは、相互に角をなすように傾けられ、電子顕微鏡システムは、対物レンズを有し、その対物レンズは、電子ビームを集束させる磁界レンズおよび静電レンズを有し、かつ、電子顕微鏡システムの主軸を通す環状電極を有する。この環状電極は、被検査対象物の位置の最も近くに配置された、電子顕微鏡システムの構成部品である。さらに、粒子光学装置は、シールド電極が環状電極およびイオンビーム加工システムの主軸との間に配置されていることを特徴とする。

20

【0010】

このような粒子光学装置は、電子顕微鏡システムの主軸に対して傾いた試料について、電子顕微鏡システムの環状電極に電圧を供給して、静電レンズから漏洩する電場に影響し、電子ビームの集束及びビーム誘導のための実質的に回転対称な構成を維持できる。また、この環状電極の電場により、シールド電極は、イオンビームの影響を実質的に回避できる。このように、従来の装置に比較して、電子ビームの集束及びビーム誘導が向上すると同時に、イオンビームへの影響が小さくなる。

30

【0011】

イオンビーム加工システムの主軸に直交する少なくとも1つの数学的直線が、シールド電極及び環状電極の両方と交差するという意味において、シールド電極は、環状電極と、イオンビーム加工システムの主軸との間に位置する。

【0012】

本発明の1つの実施態様によれば、シールド電極は、イオンビーム加工システムのハウジングの一部分に導電的に接続されており、この一部分は、被検査対象物の位置付近に位置する。従って、シールド電極は、例えば、イオンビーム加工システムのハウジングと共に、地電位に保持されうる。

【0013】

シールド電極は、環状電極と、イオンビーム加工システムの主軸との間に配置されたプレート形状であっても良い。具体的には、シールド電極は、イオンビーム加工システムの主軸に面した表面を有しており、この表面は凹んで湾曲している。1つの実施態様によれば、シールド電極は部分的又は全体的にイオンビーム加工システムの主軸を包含するように曲げられている。具体的には、シールド電極はイオンビームの主軸が通るスリーブとして構成され、特に、このスリーブは、被検査対象物の位置に向かって円錐状に先細る。

40

【0014】

本発明の1つの実施態様によると、シールド電極はイオンビームの周囲で湾曲形状を呈すると規定され、被検査対象物の位置に面するこの電極の前面は、イオンビーム加工システムの主軸に垂直な数学的表面に対して斜め方向に延在することを特徴とする。具体的に

50

は、シールド電極の前面は、電子顕微鏡システムの主軸に垂直な表面に対して略平行に延在するように構成されうる。

【0015】

本発明の1つの実施態様によれば、電子顕微鏡システムの対物レンズの環状電極も、被検査対象物の位置に向かって円錐状に先細る形状であってもよい。

【0016】

本発明の1つの実施態様によれば、粒子光学装置は、環状電極に対して電圧を供給するように構成された電圧源を備える。具体的には、環状電極に供給される電圧が対物レンズから漏洩する電場に影響を与えて、好適には、電子顕微鏡システムの主軸に対して直交方向ではなく配置されている対象物表面による電場の広がりを低減するので、実質的に回転対称形状に近い電場の構成が得られる。従って、環状電極に供給する電圧を、電子顕微鏡システムの主軸に対する被検査対象物の角度に応じて調節することが有利である。

10

【0017】

従って、対物レンズの対象物に面する末端から被検査対象物までの所定の有効距離と、対象物の電子顕微鏡システムの主軸に対する向きについて、環状電極に供給する電圧を制御して、対物レンズから漏洩する電場が実質的に回転対称の構成とし、これに対応して、その状態における電子ビームの集束及びビーム誘導が満足される。

【0018】

いくつかの用途においては、実際上は、被検査対象物がイオンビーム加工システムの主軸に対して略直角に配置されていることが望ましい。従って、このような配置についても、環状電極に供給する電圧を有利に調節することができる。

20

【0019】

本発明の1つの実施態様によれば、被検査対象物の電子顕微鏡システムの主軸に対する所望の方向が決定し、かつ、この方向に対応して環状電極に供給する有利な電圧が決定した場合には、シールド電極は以下に示すような特定の幾何学的形状を有しうる。対物レンズから漏洩する電場の分布は、シールド電極の幾何学的形状に有意に影響される。例示した実施態様において、シールド電極の幾何学的形状は、イオンビーム加工システムの主軸に沿う電場が以下の関係を満たすように調節される。

$$\left| \frac{e}{2W_{kin}} \int_0^z E_{\perp}(z) \cdot z \cdot dz \right| < 10 \mu m$$

30

【0020】

この積分式において、積分経路は、被検査対象物の位置から始まり、イオンビーム加工システムのイオン光学系の内部にいたるまでの、イオンビーム加工システムの主軸上に延在する。イオンビーム加工システムの主軸に垂直な方向の電場の成分に対して積分が実施され、その値は素電荷 e で乗算され、被検査対象物からの距離で重み付けされる。積分した値を、被検査対象物の位置におけるイオンの運動エネルギーを2倍した値で割った値は、 $10 \mu m$ より小さく、特に、 $5 \mu m$ より小さいことを要する。

【0021】

シールド電極の幾何学的形状が上述の関係式を満たす場合は、電子顕微鏡システムの対物レンズから漏洩する電場によるイオンビームへの影響が小さく有利である。

40

【0022】

以下に、本発明の実施形態について、図を用いて更に詳述する。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】電子顕微鏡システム及びイオンビーム加工システムを備える従来の粒子光学装置を示す図である。

【図2a】従来の粒子光学装置における、対物レンズ内の電場及び磁場の様子と、電子ビーム及びイオンビームの様子を示す図である。

50

【図 2 b】図 2 a の詳細を示す図である。

【図 3 a】図 2 a の粒子光学装置において、供給電圧を変更した場合の、対物レンズ内の電場及び磁場の様子と、電子ビーム及びイオンビームの様子を示す図である。

【図 3 b】図 3 a の詳細を示す図である。

【図 4】本発明の実施形態に従う、粒子光学装置の詳細を示す図である。

【図 5 a】本発明の実施形態に従う粒子光学装置における、対物レンズ内の電場及び磁場の様子と、電子ビーム及びイオンビームの様子を示す図である。

【図 5 b】図 5 a の詳細を示す図である。

【図 6 a】図 5 a の粒子光学装置において、供給電圧を変更した場合の、対物レンズ内の電場及び磁場の様子と、電子ビーム及びイオンビームの様子を示す図である。

10

【図 6 b】図 6 の詳細を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

図 1 は、最新技術による粒子光学装置 1 の模式斜視図であり、本発明の実施態様の説明に用いる。粒子光学装置は、主軸 5 を有する電子顕微鏡システム 3 と、主軸 9 を有するイオンビーム加工システム 7 とを備える。電子顕微鏡システム 3 とイオンビーム加工システム 7 の主軸 5 と 9 は、それぞれ位置 11 において角度 θ を挟んで交差する。半導体ウェーハのような、表面 15 を有する非検査対象物 13 が、位置 11 周辺において、イオンビーム加工システム 7 の主軸 9 に沿って放射されるイオンビーム 17 を用いて加工され、また、電子顕微鏡システム 3 の主軸 5 に沿って放射される電子ビーム 19 を用いて検査されるように、角度 θ は、例えば $45^\circ \sim 55^\circ$ である。対象物を保持するために、模式的に示したホルダ 16 が設けられ、対象物 13 を電子顕微鏡システムから一定距離に調節し、かつ、電子顕微鏡システムに対して相対的な方向に調節する。

20

【0025】

電子顕微鏡システム 3 は、一次電子ビーム 19 を生成するために、陰極 23 および陽極 27 と、その間に配置された抑制電極 25 と、抑制電極とは離間して配置される引き出し電極 26 とにより模式的に示される電子源 21 を備える。電子顕微鏡システム 3 は、ビーム管 29 に一体化する加速電極 27 と、環状コイル 33 およびヨーク 35 により模式的に示されるコリメータ装置 31 とを更に有する。一次電子ビームは、コリメータ装置 31 を経た後に、開口部 37 と、二次電子検出器 41 の中心孔 39 を通過する。そして、一次電子ビーム 19 は、電子顕微鏡システム 3 の対物レンズ 43 に入射する。対物レンズ 43 は、一次電子ビーム 19 を集束させる磁界レンズ 45 および静電レンズ 47 を備える。図 1 の模式図において、磁界レンズ 45 は環状コイル 59、内側磁極片 51 および外側磁極片 53 を備える。静電レンズ 47 は、ビーム管 29 の下端 55 と、外側磁極片 53 の内側下端と、試料の位置 11 に向かって円錐状に先細る環状電極 59 とにより形成される。対物レンズ 43 を、図 1 に模式的に示すが、米国特許第 6,855,938 号明細書に更に詳細に示されるような構成でもよい。

30

【0026】

イオンビーム加工システム 7 は、引き出し電極 65 を有するイオン源 63 と、コリメータ 67 と、可変開口 69 と、偏向電極 71 と、フォーカスレンズ 73 とを有し、イオンビーム加工システム 7 のハウジング 75 から射出されるイオンビーム 17 を生成する。

40

【0027】

図 2 a に、電子顕微鏡システム 3 の主軸 5 及びイオンビーム加工システム 7 の主軸 9 の近傍の位置 11 に近い、対物レンズ 43 の領域における磁位線および電位線を示し、これにより、対物レンズ 43 の静電レンズ 47 および磁界レンズ 45 の詳細を示す。図 2 a は、磁極片ギャップが間に形成されるように配置される、内側磁極片 55 の下端と、外側磁極片 53 の内側下端とを示す。この磁極片ギャップを、電子顕微鏡システムの主軸 5 に向かって延びる磁位線が通り、電子ビーム 19 のための磁界レンズを形成する。

【0028】

静電レンズ 47 は、ビーム管 29 の下端及び環状電極 59 の間の電位差により形成され

50

た電場により形成される。図2に示した状態において、環状電極59は外側磁極片53および試料表面15と共に地電位に保持され、ビーム管29は、例えば、8000Vの電位に保持される。ビーム管29の下端および環状電極59の間の電場強度が高いため、明確のために、その電場の電位線は図示しない。図2aにおいては、対物レンズ43から電場が漏洩する領域のみを、50V、45V、・・・10V、5Vの電位線により示す。50Vの電位線の広がりから理解できるように、電子顕微鏡システムの主軸5に対して、対物レンズ43から漏洩する電場の回転対称性は、それ自体は0Vの電位を保持している試料表面15が傾いていることにより著しく損なわれる。このことは、特に、対象物13に導かれた電子ビームのエネルギーが低い場合に、電子ビーム19の集束およびビーム誘導に悪影響を与える。これについて、図2bに領域11周辺の拡大図を示す。図2bにおいて、線19a、19b、19c、19dおよび19eは、それぞれ、20keV、10keV、5keV、2keV、1keVのエネルギーを有する電子線19の主軸を示す。電子ビームの運動エネルギーが減少するにつれて、電子顕微鏡システムの主軸5が、表面15と交差する点から次第に距離を大きくして、電子ビームが対象物13の表面15に衝突するようになっている。これは図2bに示した縮尺からも読み取り可能であり、図2bにおいて、主軸5と表面15とが交差する点が0 μ mに位置する場合、エネルギー2keVの電子線19dと表面15の交差する点が-65 μ mに位置し、エネルギー1keVの電子線19eと表面15との交差する点が-130 μ mに位置する。

【0029】

イオンビーム17が表面15に衝突する位置もまた、イオンビームのエネルギーに依存する。図2bは、それぞれ、エネルギーが30keV、20keV、10keVおよび5keVのイオンビーム17についての、主軸17a、17b、17cおよび17dを示す。エネルギー5keVのイオンビーム17dは、イオンビーム加工システムの主軸9が対象物の表面15と交差する位置から-25 μ mの位置に衝突する。

【0030】

図3aは、対物レンズ43から漏洩する電場の非対称性を低減するための措置を示す。図3aによれば、電圧-150Vが、ブロック60として模式的に示す電源から環状電極59に供給され、これにより、試料付近の電場分布が図2aと比較して対称になる。このことは、図2bに対応して図3bに図示したことから明らかなように、電子ビームの集束及びビーム誘導について有利な効果を有する。図3bにおいても、それぞれ、20keV、10keV、5keV、2keV、1keVのエネルギーを有する電子ビーム19a～19eを示すが、ここで、エネルギー1keVのビーム19eは、電子顕微鏡システムの主軸5から10 μ m以下の位置で、対象物13の表面に衝突する。

【0031】

環状電極59に負の電位が供給されることで、電子ビーム19の集束を改善するという有利な効果が生ずる一方で、他方では、イオンビームが表面15に衝突する位置がエネルギーに強く依存するため、イオンビームによる対象物の加工が困難になるという不利益が生ずる。図3bにおいても、それぞれ、30keV、20keV、10keV、5keVのエネルギーを有するイオンビームの主軸17a～17dを示すが、ここで、エネルギー5keVのビーム17dは、電子顕微鏡システムの主軸9から+75 μ mの位置で、表面15に衝突する。

【0032】

本発明の実施形態によれば、この不利点は、対象物付近の領域において、環状電極59とイオンビーム加工システム7の主軸9との間に適切なシールド電極を配置することで大幅に低減できる。

【0033】

図4は上述したようなシールド電極81であって、イオンビーム加工システムの主軸9に沿って対象物15に向かって円錐状に先細るスリーブとして構成されている。このスリーブは、イオンビーム加工システム7のハウジング75のフランジ83に固定されている。円錐状シールド電極81の前面は対象物15に面し、イオンビーム加工システム7の主

10

20

30

40

50

軸 9 に対して斜め方向に延びている。

【 0 0 3 4 】

図 4 に参照符号 1 5 を付した直線は、主軸 9 に対して垂直方向にある場合の対象物表面を示す。参照符号 1 5 ' を付した直線は、電子顕微鏡システム 3 の主軸 5 に対して、略垂直に配置された場合の対象物表面を示す。図 4 に示した実施形態では、シールド電極 8 1 の前面 8 5 が表面 1 5 ' に略平行に位置づけられている。

【 0 0 3 5 】

図 5 a は図 2 a に対応するが、ここでは、0 V の電位が環状電極 5 9 に供給され、シールド電極 8 1 が電場に与える影響が比較的低いことを示している。

【 0 0 3 6 】

図 5 b は図 2 b に対応するが、ここでは、直線 1 9 a ~ 1 9 e は、それぞれ、2 0 k e V、1 0 k e V、5 k e V、2 k e V および 1 k e V のエネルギーの電子ビームの主軸を示し、直線 1 7 a ~ 1 7 d は、それぞれ、3 0 k e V、2 0 k e V、1 0 k e V および 5 k e V のエネルギーのイオンビームの主軸を示す。図 2 b と同様に、エネルギー 1 k e v の電子ビーム 1 9 e は、電子顕微鏡システムの主軸 5 が対象物の表面 1 5 と交差する位置から - 1 3 0 μ m の位置に衝突する。同様に、エネルギー 5 k e v のイオンビーム 1 7 d は、イオンビーム加工システムの主軸 9 が対象物の表面 1 5 と交差する位置から - 2 5 μ m の位置に衝突する。

【 0 0 3 7 】

図 6 a は図 3 a に対応するが、ここでも、- 1 5 0 V の電位が環状電極 5 9 に供給され、電子ビームの集束及びビーム誘導のための電場を対称化する。図 6 a から、シールド電極 8 1 の電場の分布に対する顕著な影響が明白である。図 3 b に対応する図 6 b から明らかなように、シールド電極 8 1 の影響により、電子ビーム 1 9 およびイオンビーム 1 7 の両方に良好な集束とビーム誘導が可能となることは明白である。図 6 b においても、直線 1 9 a ~ 1 9 e は、それぞれ、2 0 k e v、1 0 k e v、5 k e v、2 k e v、1 k e v のエネルギーを有する電子線 1 9 の主軸を示す。電子ビーム 1 9 e は、電子顕微鏡システムの主軸 5 が対象物の表面 1 5 と交差する位置から - 5 . 7 μ m の位置に衝突するが、これは、図 2 に比較して良好な結果を示す。以下に詳述するように、シールド電極 8 1 の幾何学的形状を特別に設定したために、それぞれエネルギー 3 0 k e V、2 0 k e V、1 0 k e V および 5 k e V のイオンビームの主軸 1 7 a ~ 1 7 d が実質的に一致し、また、イオンビーム加工システムの主軸 9 や、電子顕微鏡システムの主軸 5 が、対象物 1 3 の表面 1 5 と交差する位置とも一致する。即ち、イオンビーム 1 7 が衝突する位置は、イオンビームのエネルギーからは実質的に独立している。これは、図 2 b 及び 3 b に比較して、非常に良好な結果である。

【 0 0 3 8 】

イオンビームが対象物 1 3 の表面 1 5 に衝突する位置が、実質的にエネルギーに依存しなくなるのは、シールド電極 8 1 の幾何学的形状を特に選択したことによる。図 6 a から明らかなように、イオンビームは、イオン光学系のハウジング 7 5 からの出射経路を経て、対象物 1 3 の表面 1 5 に向かう過程で、軸 9 に対して横断方向の電場の電場成分が図 6 において右手方向に方向付けられている領域を経て、次いで、電場成分が左手方向に方向付けられている領域を経る。これは、イオンビームが、先ず右手側に偏向して、表面 1 5 への衝突の直前に左手側に偏向することの原因となる。このような右手、左手方向の偏向が相互に補償して零となる様に、シールド電極の幾何学的形状を調節する。この場合、下記の関係性が成り立つ。この関係式の詳細については既述した。

$$\left| \frac{e}{2W_{kin}} \int_0^z E_{\perp}(z) \cdot z \cdot dz \right| < 10 \mu m$$

【 0 0 3 9 】

従って、本発明の実施形態に従う粒子光学装置は、基本的には、図 1 を参照して既に説

10

20

30

40

50

明した電子顕微鏡システムの構成と同様であるが、電子顕微鏡システムの対物レンズの環状電極と、イオンビーム加工システムの主軸との間に、シールド電極が追加的に配置している。例えば、シールド電極は図4を参照して述べたような構成である。しかし、シールド電極は必ずしもスリーブとして構成されて、イオンビーム加工システムの主軸9を包含する必要はなく、異なる形状であってもよい。例えば、シールド電極は、対物レンズの環状電極とイオンビーム加工システムの主軸との間に配置された、略平面のプレートであっても良い。

【0040】

図1に示すように、イオンビーム加工システムは、ビーム偏向器71を備え、イオンビーム加工システム7の主軸9からイオンビームを偏向させるので、イオンビーム17は、対象物13の表面15上の、イオンビーム加工システム7の主軸9と表面15とが交差する位置11とは異なる位置で衝突しうる。しかし、図2、3、5および6において、それぞれ参照符号17a~17dを付して示されるイオンビームは、ビーム偏向器の制御により主軸9からずらされているのではなく、単に、電子顕微鏡システムの対物レンズから漏洩する電場の影響によって主軸9から偏向される。

10

【0041】

同様にして、電子顕微鏡システムも、図1には示さないが、一般的に対物レンズ内に配置されているような、電子ビームのためのビーム偏向器を備える。これらのビーム偏向器を用いて、電子ビームは、被検査対象物の表面上を走査して、対象物の走査電子顕微鏡記録が得られる。しかし、図2、3、5および6において、それぞれ参照符号19a~19eを付して示される電子ビームは、ビーム偏向器の制御により電子顕微鏡システムの主軸5から偏向されるのではなく、単に、電子顕微鏡システムの対物レンズから漏洩する電場の影響によって偏向される。

20

【0042】

上述の実施形態では、シールド電極81は、イオンビーム加工システムのハウジング75に導電的に接続されるので、大半の用途において地電位に保持される。

【0043】

しかし、電圧源を用いて電位を供給することも可能であり、この場合の電位は地電位とは異なる。イオンビーム加工システムのハウジングから、シールド電極を絶縁することも有意義である。そのような電圧をシールド電極に供給すると、被検査対象物の前方における電場が影響を受け、特に、電子ビーム及びイオンビームのビーム誘導が更に最適化されうる。このことは、とくに、特定の角度 について、シールド電極の幾何学的形状の選択によっては、上述した関係式により定義される関係を満足させることができない場合に、有効に活用し得る。とくに、シールド電極に供給される電圧を変更することで、対象物のビーム軸に対する複数の異なる角度 について、上述の式により決定される関係性を満たすことが可能になる。

30

【0044】

要約すると、電子顕微鏡システム及びイオンビーム加工システムを備える粒子光学装置は、電子顕微鏡システムの対物レンズを備え、この対物レンズは、被検査対象物の位置に最も近い位置に配置される、電子顕微鏡システムの構成要素としての環状電極を有する。そして、その環状電極とイオンビーム加工システムの主軸との間には、シールド電極が配置されている。

40

【図 1】

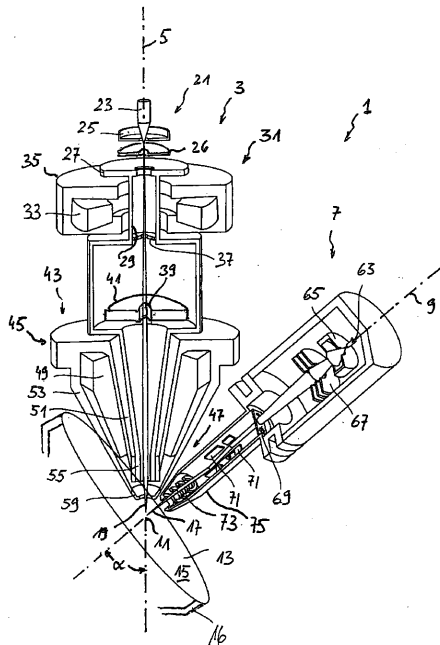


Fig. 1

【図 2 a】

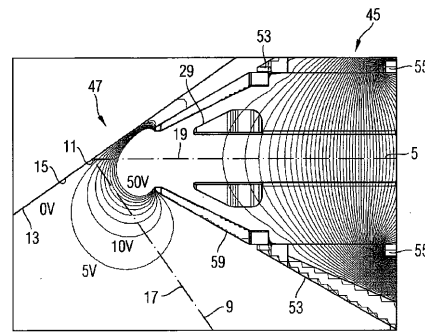


Fig. 2a

【図 2 b】

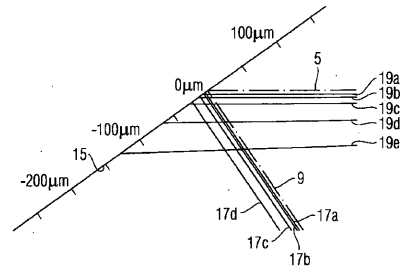


Fig. 2b

【図 3 a】

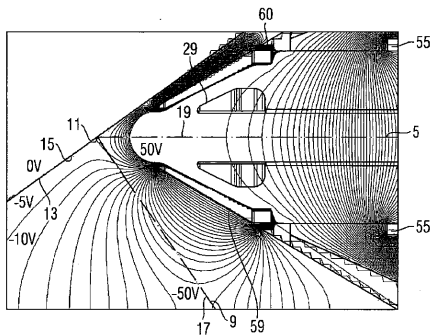


Fig. 3a

【図 3 b】

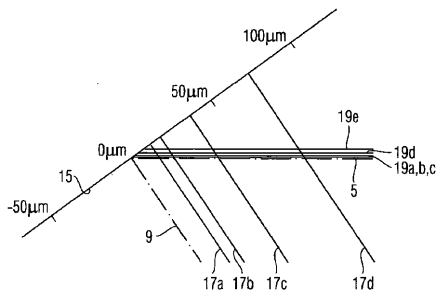


Fig. 6a

フロントページの続き

(72)発明者 ディルク ブライクスツァーズ
ドイツ国 7 3 4 4 7 オーバーコヒェン ツェッペリンヴェーク 4

審査官 田邊 英治

(56)参考文献 特開2004-134379(JP,A)
特表2007-519194(JP,A)
特開平11-025895(JP,A)
特開平11-329318(JP,A)
特開2001-185066(JP,A)
特開2005-243275(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01J 37/00 - 37/36