

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2014年5月8日(08.05.2014)

(10) 国際公開番号

WO 2014/069271 A1

- (51) 国際特許分類:
H01J 37/141 (2006.01) *H01J 37/28* (2006.01)
H01J 37/147 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/078459
- (22) 国際出願日: 2013年10月21日(21.10.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
 特願 2012-237802 2012年10月29日(29.10.2012) JP
- (71) 出願人: 株式会社日立ハイテクノロジーズ(HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目24番14号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 福田 宗行(FUKUDA Muneyuki); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 鈴木 直正(SUZUKI Naomasa); 〒1058717 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 Tokyo (JP). 池上 明(IKEGAMI Akira); 〒1058717 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

Tokyo (JP). 土肥 英登(DOHI Hideto); 〒1058717 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 Tokyo (JP). 圓山 百代(ENYAMA Momoyo); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 猪々 智康(SHOJO Tomoyasu); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: ポレール特許業務法人(POLAIRE I.P.C.); 〒1040032 東京都中央区八丁堀二丁目7番1号 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

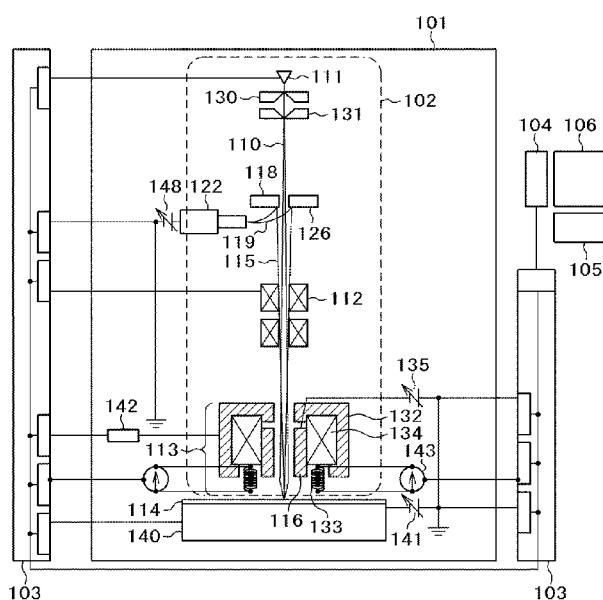
[続葉有]

(54) Title: CHARGED PARTICLE BEAM APPARATUS

(54) 発明の名称: 荷電粒子線装置

[図1A]

図1A



ビームチルトレンズ113を備える。

(57) **Abstract:** In order to provide a charged particle beam apparatus capable of high resolution measurement of a sample at any inclination angle, a charged particle beam apparatus for detecting secondary charged particles (115) generated by irradiating a sample (114) with a primary charged particle beam (110) is provided with a beam tilt lens (113) having: a yoke magnetic path member (132) and a lens coil (134) to focus the primary charged particle beam (110) on the sample (114); and a solenoid coil (133) configured to arrange the upper end on the side surface of the yoke magnetic path member (132) and arrange the bottom end between the tip end of the pole piece of the yoke magnetic path member (132) and the sample (114) in order to arbitrarily tilt the primary charged particle beam (110) on the sample (114).

(57) **要約:** 任意の傾斜角度にて高分解能に試料の測定が可能な荷電粒子線装置を提供するためには、試料114に一次荷電粒子線110を照射し、発生する二次荷電粒子115を検出する荷電粒子線装置において、一次荷電粒子線110を試料114上に集束するためのヨーク磁路部材132及びレンズコイル134と、一次荷電粒子線110を試料114上で任意に傾斜するために、ヨーク磁路部材132の側面にその上端が配置され、ヨーク磁路部材132のポールピース先端及び試料114の間にその下端が配置されるソレノイドコイル133と、を有する



- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告(条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：荷電粒子線装置

技術分野

[0001] 本発明は、ビームチルト機能を有する対物レンズ（以下、ビームチルトレンズという）を備えた荷電粒子線装置に関する。

背景技術

[0002] L S Iなどの微小回路形成における欠陥の検出・測長・形状評価は種々の手法が使われている。例えば、光学式の検査装置では微小回路の光学像を生成し、その画像を異常検出のために検査する。しかし、それら光学像では、ごく小さい形状特徴の特定を可能にするには解像度が不十分であり、回路形成上で有害な欠陥と無害な欠陥との区別が不十分である。そのような計測・検査装置の対象試料は、技術の進歩とともに益々微細化しており、例えば、最新のD R A Mの製造工程では、メタル配線の配線幅が40 nm以下、ロジックI Cでは、ゲート寸法が20 nmにまで達している。

[0003] 電子ビーム利用による欠陥検査手法は、コンタクト孔、ゲートおよび配線などの微小な形状特徴と微小欠陥の形状特徴を画像化するのに十分な解像度を備え、さらに、欠陥形状の陰影像コントラストに基づく重度の欠陥の分類検出に利用できる。したがって、微小回路の計測・検査に対しては、荷電粒子線を応用した計測・検査手法は光学式検査手法に比べてはるかに有利である。

[0004] 荷電粒子線装置の一つである走査電子顕微鏡（S E M）は、加熱形又は電界放出形の電子源から放出された荷電粒子ビームを集束して細いビーム（プローブビーム）を形成し、当該プローブビームを試料上で走査する。当該走査により試料からは二次荷電粒子（二次電子あるいは反射電子）が発生し、この二次荷電粒子を一次荷電粒子線の走査と同期して画像データの輝度信号とすると走査像が得られる。一般的の走査電子顕微鏡では、負電位を印加した電子源と接地電位間の引出し電極で電子源から放出された電子を加速し、試

料に照射する。

- [0005] S E Mなどの走査型荷電粒子顕微鏡の分解能と荷電粒子ビームのエネルギーには密接な関係がある。高いエネルギーの一次荷電粒子線が試料に到達すると（つまり一次荷電粒子線のランディングエネルギーが大きいと）、一次荷電粒子が試料内に深く進入するため、二次電子および反射電子の試料上の放出範囲が広がる。その結果、荷電粒子ビームのプローブサイズよりも前記放出範囲が広くなり、観察分解能が著しく劣化する。
- [0006] 一方、ランディングエネルギーを低くするために一次荷電粒子線のエネルギーを小さくしすぎると、対物レンズの収差により荷電粒子ビームのプローブサイズが著しく増大し、観察分解能が劣化する。
- [0007] 高分解能な観察を行うためには、一次荷電粒子線のエネルギー、特にランディングエネルギーを、観察対象にあわせて適切に制御する必要がある。
- [0008] ランディングエネルギーの制御技術としては、リターディング方式が多く使用されている。すなわち、リターディング方式においては、試料に対して一次荷電粒子線を減速させるような電位を印加し、荷電粒子線のエネルギーを試料に到達する直前で所望のエネルギーまで低下させる。しかし、荷電粒子ビームを観察試料に対して傾斜させた途端に、高分解能な観察をすることができなくなる。
- [0009] 特許文献1では、装置の高分解能条件を維持して荷電粒子線を観察試料に対して傾斜させる技術として、荷電粒子線を対物レンズの軸外に入射させて、対物レンズの集束作用を利用する方法などの電子光学軌道のレイトレースが開示されている。
- [0010] また、特許文献2には、荷電粒子線を対物レンズの集束磁界内で互いに逆向きに偏向させる2段の偏向手段を設け、荷電粒子線を対物レンズ軸外で傾斜したときに発生する軸外色収差を補正する技術が開示されている。
- [0011] また、特許文献3には、荷電粒子線を対物レンズの軸外に通すための偏向手段を対物レンズよりも電子源側に設けたウィーンフィルタで補正することにより、荷電粒子線を傾斜したときの分解能劣化を低減する技術が開示され

ている。

- [0012] さらに、特許文献4では、対物レンズの集束磁界内の偏向手段に加えて、対物レンズと試料の間にビームを減速するカップ状の電極を設けてビーム傾斜角を増大する技術が開示されている。
- [0013] その他に、特許文献5には、複数のレンズに対して一次ビームの軌道を偏向器、或いは可動絞りによって、軸外に通し、その軸外軌道を制御することにより、ビーム傾斜時に対物レンズで発生する収差を他のレンズの収差でキャンセルする発明が開示されている。

先行技術文献

特許文献

- [0014] 特許文献1：特開昭59-171445号公報
特許文献2：特開2000-348658号公報
特許文献3：特開2001-15055号公報
特許文献4：特表2003-517199号公報
特許文献5：特開2007-234620号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0015] 荷電粒子線像の分解能は荷電粒子ビームのプローブ径に影響され、分解能の高い走査像を取得するためには、プローブ径を小さくする必要がある。しかしながらプローブ径を小さくするには、対物レンズを短焦点化してビームを強く縮小しなければならない。短焦点でビームを試料上に集束させるためには、それだけレンズ作用の強い対物レンズが必要となる。一次荷電粒子線光軸へ磁界を漏洩させてビームを絞る磁界型の対物レンズの場合には、レンズ作用を強めるためには励磁量を大きくする必要がある。

- [0016] 対物レンズの磁路に流れる磁束量は磁気飽和により制約を受ける。磁路の飽和磁束密度は磁路を構成する磁性材料によってほぼ決まる。従って、磁路を通る磁束量が増えても、磁路が許容できない磁束は磁路のどこから漏洩

し、結果的に、励磁量の増大ほどにはレンズ作用は大きくはならない。殊に、荷電粒子ビームの加速電圧を大きくして高エネルギーのプローブビームを形成した場合、ビームそのものを集束できないという事態も起こりえる。そのため、対物レンズの磁路に隣接して、特許文献1～3に記載のような従来技術を用いて荷電粒子線を対物レンズの集束磁界内で偏向させる偏向手段を設けることはできない。

[0017] また、荷電粒子線装置の分解能はビームのプローブ径によって定まるが、荷電粒子線のエネルギーが小さくなると、上述のように色収差のためプローブ径が増大し分解能が劣化する。従ってリターディング法においては、荷電粒子ビームの減速位置を試料に近づけた方が収差の影響をより少なくできる。このため、装置設計の際には、対物レンズの作動距離（ワークディスタンス）はなるべく小さくなるように設計される。しかしながら、対物レンズと試料を物理的に接触させることは不可であるので、作動距離の低減により収差の影響を低減する手法には限界がある。特にリターディング方式の場合には、試料（あるいは試料ステージ）と対物レンズとの間に大きな電位差があり、作動距離を小さくしすぎると試料を放電で破壊する危険性がある。したがって、特許文献1～3に記載のような従来技術を用いて装置を作製することはできない。さらに、試料と対物レンズの間に、特許文献4に記載のようなカップ状の電極を設けることもできない。

[0018] 前述のように、対物レンズの収差抑制のための短焦点化が進展しており、軸上の収差に比べて、ビームを傾斜する際に生じる収差が増大している。そのため、ビームを傾斜する際に生じる収差を特許文献5に示す他のレンズの収差でキャンセルすることは難しくなる。例えば、ビーム傾斜を少し変更しただけでも、他のレンズの収差発生量を大きく変更しなければならない。さらに、ビームの軸も大きく変更しなければならない。収差や軸の調整作業はモニタと設定変更を繰り返す必要があり、時間を要してしまう。さらに、収差をキャンセルするために必要な収差を他のレンズでつくることができない場合もある。

[0019] 本発明の目的は、任意の傾斜角度にて高分解能に試料の測定が可能な荷電粒子線装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0020] 本発明の目的を達成するための一実施形態として、ステージに搭載される試料に対して一次荷電粒子線を照射し、当該照射により発生する二次荷電粒子を検出する荷電粒子線装置において、

当該荷電粒子線装置は、前記一次荷電粒子線を前記試料上に集束させ、かつ前記試料上へ任意の角度にて前記一次荷電粒子線を傾斜させる機能を有するビームチルトレンズを備え、

前記ビームチルトレンズは、

前記一次荷電粒子線を囲む領域に沿って設けられ内部が中空の部材でかつ、前記試料の対向面側の下部開口端にポールピースの空隙を有し、さらに、前記内部にレンズコイルを有するヨーク磁路部材と、

前記ヨーク磁路部材の中央開口端のポールピースを外側から取り囲むよう配置されたソレノイドコイルと、

前記レンズコイルに電流を供給して前記一次荷電粒子線の集束位置を制御するレンズコイル電源と、

前記ソレノイドコイルに電流を供給して前記一次荷電粒子線の傾斜角度を制御するソレノイドコイル電源とを備え、

前記ソレノイドコイルは、前記ヨーク磁路部材の側面に前記ソレノイドコイルの上端が配置され、前記ヨーク磁路部材のポールピース先端と前記試料との間に前記ソレノイドコイルの下端が配置されていることを特徴とする荷電粒子線装置とする。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、任意の傾斜角度にて高分解能に試料の測定が可能な荷電粒子線装置を提供できる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1A]第1の実施例に係る荷電粒子線装置（走査電子顕微鏡）の基本構成を

示す概略断面図である。

[図1B]第1の実施例に係る荷電粒子線装置におけるビームチルトレンズ部の斜視図である。

[図2]図1Bに示すビームチルトレンズの軸上磁場分布を示す図であり、(a)は縦磁場、(b)は横磁場を示す。

[図3]第2の実施例および比較例に係る荷電粒子線装置におけるビームチルトレンズの内部構成を説明するための斜視図であり、(a)は実施例、(b)は比較例を示す。

[図4]軸上磁場分布のソレノイドコイル比較を示す図であり、(a)は図3(a)の場合、(b)は図3(b)の場合を示す。

[図5]第3の実施例に係る荷電粒子線装置におけるビームチルトレンズの内部構成を説明するための斜視図(一部断面図)である。

[図6]第3の実施例に係る荷電粒子線装置における他のビームチルトレンズの内部構成を説明するための斜視図(一部断面図)である。

[図7]第3の実施例に係る荷電粒子線装置における他のビームチルトレンズの内部構成を説明するための斜視図(一部断面図)である。

[図8]第4の実施例に係る荷電粒子線装置の基本構成を示す概略断面図である。

[図9]チルト収差係数のワークディスタンス依存性を示す図である。

[図10]第5の実施例に係る荷電粒子線装置(偏向器追加)の基本構成を示す概略断面図である。

[図11]第5の実施例に係る他の荷電粒子線装置(収差補正器追加)の基本構成を示す概略断面図である。

[図12]第6の実施例に係る荷電粒子線装置(最小構成)の基本構成を示す概略斜視図(一部断面含む)である。

[図13]第6の実施例に係る他の荷電粒子線装置(スリム化)の基本構成を示す概略斜視図(一部断面含む)である。

[図14]第6の実施例に係る他の荷電粒子線装置(シールド電極を追加)の基

本構成を示す概略斜視図（一部断面含む）である。

[図15]第6の実施例に係る他の荷電粒子線装置（制御磁路部材を追加）の基本構成を示す概略斜視図である。

[図16]従来法と本発明の各実施例における到達分解能のビームチルト角依存性を比較する図である。

[図17]従来法と本発明の各実施例における最適開き角のビームチルト角依存性を比較する図である。

発明を実施するための形態

[0023] 簡単のため、以下の実施例では、主として走査電子顕微鏡を用いた装置への適用例について説明するが、各実施例のビームチルトレンズは、電子ビームだけではなくイオンビーム装置も含めた荷電粒子線装置一般に対して適用可能である。また、以下の実施例では、試料として半導体ウェハを用いて説明を行うが、各種荷電粒子線装置で使用する試料としては、半導体ウェハの他、半導体基板、パターンが形成されたウェハの欠片、ウェハから切り出されたチップ、ハードディスク、液晶パネルなど、各種の試料を検査・計測対象とすることができる。

実施例 1

[0024] 実施例1では、走査電子顕微鏡への適用例について説明する。

[0025] 図1Aは、走査電子顕微鏡の全体構成を示す模式図である。本実施例の走査電子顕微鏡は、真空筐体101内に形成された電子光学系102、その周囲に配置された電子光学系制御装置103、制御電源に含まれる個々の制御ユニットを制御し、装置全体を統括制御するホストコンピュータ104、制御装置に接続された操作卓105、取得画像を表示されるモニタを備える表示手段106などにより構成される。電子光学系制御装置103は、電子光学系102の各構成要素に電流、電圧を供給するための電源ユニットや、各構成要素に対して制御信号を伝送するための信号制御線などにより構成される。

[0026] 電子光学系102は、一次電子ビーム（一次荷電粒子ビーム）110を生

成する電子源 111、電子ビームを偏向する偏向器 112、電子ビームを集めし傾斜するビームチルトレンズ 113、ステージ上に保持された試料 114 から放出される二次粒子（二次電子）115 を集束発散するブースタ磁路部材 116、二次粒子が衝突するための反射部材 118、当該衝突により再放出される副次粒子（三次粒子）119 を検出する中央検出器 122 などにより構成される。反射部材 118 は、一次ビームの通過開口が形成された円盤状の金属部材により構成され、その底面が二次粒子反射面 126 を形成している。符号 148 は中央検出器用の中央取り込み電源である。

- [0027] 電子源 111 から放出された一次電子ビーム 110 は、引き出し電極 130 と加速電極 131との間に形成される電位差により加速され、ビームチルトレンズ 113 に達する。ビームチルトレンズ 113 は、入射した一次電子ビームを試料 114 上にレンズコイル電源 142 で集束位置を制御し、ソレノイドコイル電源 143 で傾斜角度を制御する。
- [0028] 次に、図 1B を用いて、本実施例のビームチルトレンズ 113 の内部構成を詳細に説明する。図 1B には、ビームチルトレンズ 113 の内部構成の他、被計測・検査試料 114 も合わせて示した。
- [0029] 本実施例のビームチルトレンズ 113 は、一次電子線光軸（あるいは電子光学系 102 の中心軸）の周囲に配置されたヨーク磁路部材 132、当該ヨーク磁路部材 132 と一次電子線光軸の間の空間内に設けられたブースタ磁路部材 116、ブースタ磁路部材 116 とヨーク磁路部材 132 と試料 114 により構成されるドーナツ状の閉空間内に設けられた 2 つ以上の複数のソレノイドコイル 133、およびレンズコイル 134 を少なくとも含んで構成される。一次電子線光軸あるいは電子光学系 102 の中心軸は、ビームチルトレンズ 113 あるいは真空筐体 101 の中心軸と一致するように構成される場合が多い。なお、該ソレノイドコイル 133 の下端はブースタ磁路部材 116 の先端部と試料 114 の間に配置され、該ソレノイドコイル 133 の上端は該ブースタ磁路部材 116 と該ヨーク磁路部材 132 の間に配置される。また、該ソレノイドコイル 133 は上記上端と上記下端の間を磁場が側

面から漏洩しないように電線（絶縁導線）をらせん状に密巻にしたものを用いた。但し、らせん状に絶縁導線を空芯又は非磁性材の芯に密巻にしたソレノイドコイルに代えて、らせん状以外の巻き方で作製したコイルを用いてもよい。また、ソレノイドコイルは非磁性材料を用いてブースタ磁路部材やヨーク磁路部材に固定することができる。

[0030] 図1Bのヨーク磁路部材132は、内部が中空の円環部材により構成されており、その断面は、一次電子線光軸への対向面側が斜面になった台形形状をなす。本実施例のビームチルトレンズ113においては、ヨーク磁路部材132は、一次電子ビーム光軸が円環部材の中心を通るように配置される。円環部材のヨーク磁路部材132の内部にはレンズコイル134が保持されており、当該レンズコイル134により一次電子ビーム110を集束するための磁束が励磁される。当該台形形状の下底137の内面側（一次電子ビームへの対向面側）には空間が設けてあり、当該空間により、励磁された磁束がヨーク磁路部材132内で閉磁路を形成せずにブースタ磁路部材116へ流れようになっている。また、ヨーク磁路部材132の上面側（一次電子線の入射方向）と底面側（一次電子線の出射方向）には、一次電子ビーム110の通過する開口を備える。また、ヨーク磁路部材132の材料としては軟磁性材料が用いられる。なお、図1Bに示したヨーク磁路部材132は、断面が台形形状の円環部材が用いられているが、励磁された磁束をブースタ磁路部材116に受け渡す機能が果たされる限り、ヨーク磁路部材132の形状は特に問わない。例えば、ヨーク磁路部材132の断面がコの字型であってもよい。

[0031] ブースタ磁路部材116は、ヨーク磁路部材132を構成する円環部材の内面側（一次電子線110への対向領域）に沿って設けられた円筒（あるいは円錐）形状部材であり、ビームチルトレンズ113の内部で、円筒の中心軸が一次電子ビーム光軸（あるいは真空筐体101の中心軸）は一致するように配置される。ブースタ磁路部材116の材料としては、ヨーク磁路部材132と同様に軟磁性材料が使用される。円筒の下部側先端部（試料対向面

側の先端部) 136は、レンズコイル134により励磁された磁束が集中する磁極(ポールピース)を構成する。

[0032] ヨーク磁路部材132の底面側にはソレノイドコイル133が配置される。ソレノイドコイル133は、中央部の前記ブースタ磁路部材116を取り囲むように配置された絶縁導線をらせん状に密巻にしたコイルである。ヨーク磁路部材132は、ビームチルトレンズ113の内部で、一次電子ビーム光軸に対して同軸となるように配置される。ヨーク磁路部材132の底面側の開口端部は、磁束が集中する磁極を構成し、ヨーク磁路部材132の磁極とブースタ磁路部材116の磁極の空隙(ギャップ)間に磁束が集中することにより、一次電子ビーム110に対する従来よりも強いレンズ効果が発生させることができる。ブースタ磁路部材116に属するポールピースを上部磁極、ヨーク磁路部材に属するポールピースを下部磁極と呼ぶ場合もある。ヨーク磁路部材132とブースタ磁路部材116は上面側の各々所定のギャップを介して空間的に分離されている。ただし、上記のヨーク磁路部材132とブースタ磁路部材116とは、磁気的には強く結合しており、レンズコイル134によって励起された磁束は、上記の各磁路部材中を貫流する。

[0033] 次に、ブースタ磁路部材116、ヨーク磁路部材132への印加電位について説明する。ヨーク磁路部材132とブースタ磁路部材116は、絶縁材料を介して互いに電気的に絶縁されている。ブースタ磁路部材116には、ヨーク磁路部材132の電位に対する電位が正になり、かつ上記加速電極131の電位に対する電位差が正になるような電位が供給される。この電位はブースタ電源135により供給される。また、ヨーク磁路部材132には接地電位に保たれる。このため、一次電子ビーム110は、加速電極131とブースタ磁路部材116との間の電位差によって一次電子ビーム110の軌道上で最も加速された状態で、上記ブースタ磁路部材116を通過する。

[0034] 本実施例の荷電粒子ビーム装置においても、リターディング方式を採用する。従って、ビームチルトレンズ113と試料114との間には減速電界を形成する必要がある。ソレノイドコイル133には、横磁場を励磁するため

に電流が供給されており、この電流はソレノイドコイル電源 143、144、145により供給される。また、ステージ 140には、ステージ電源 141によって、ブースタ磁路部材 116との電位差が負になる電位が印加される。このため、ブースタ磁路部材 116を通過した一次電子ビーム 110は、急激に減速され試料表面に到達する。ここで、一次ビームのランディングエネルギーは、電子源 111とステージ 140の電位差のみで決まるため、電子源 111とステージ 140への印加電位を所定値に制御すれば、ブースタ磁路部材 116や加速電極 131への印加電位がどうであってもランディングエネルギーを所望の値に制御可能である。従って、加速電極 131とブースタ磁路部材 116への印加電位を電子源 111に対して正に設定することにより、一次電子ビーム 110は電子光学系 102を高速に通過させることができ、試料上で的一次電子ビーム 110のプローブサイズを小さくすることができる。

[0035] 図 2 は電子ビームの軸上での磁場分布を示す図であり、(a) は縦磁場、(b)

は横磁場を示す。図中に示す Z 軸は一次電子ビーム 110 の軌道に沿った中心軸であり、ビームチルトレンズ 113(上側)から試料 114(下側)に向かう矢印で示す。横軸は Z 軸上の磁場強度であり、縦磁場と横磁場に分離して 2 つの図に分けて示す。

[0036] 図 2 (a) は Z 軸に平行な縦方向の軸上磁場分布の高さ依存性を示す図である。

縦磁場はビームチルトレンズ内のレンズコイル 134 により励磁されて、ブースタ磁路部材 116 とヨーク磁路部材 132 のポールピース先端に誘導される。そのため、ブースタ磁路部材 116 のポールピース先端の直下にピークがあり、ピーク形状は上下に非対称となる。

[0037] 図 2 (b) は Z 軸に垂直な横方向の軸上磁場分布の高さ依存性を示す図である。

横磁場はソレノイドコイル 133 により励磁される。ソレノイドコイル 133 は空芯または非磁性芯で構成し、縦磁場を乱さないようにすることが重要である。

ソレノイドコイル 133 が励磁した横磁場のピーク位置は、縦磁場のピー

ク位置よりも図中の下側の試料側に形成される。

[0038] ビームチルトレンズを図1Bに示す構成とし、図1Aに示す走査電子顕微鏡を用いて縦型ゲートを有するFETのゲート側壁を観察した結果、高分解能の画像を得ることができた。

以上本実施例によれば、任意の傾斜角度で高分解能に試料の観察、検査が可能な荷電粒子線装置を提供することができる。

実施例 2

[0039] 本発明の第2の実施例について図3、図4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無い限り本実施例にも適用することができる。本実施例2では、ビームチルトレンズの構成例と作用について説明する。

図3は本実施例2および比較例に係る荷電粒子線装置におけるビームチルトレンズの内部構成であるブースタ磁路部材の下部側先端部のポールピースとソレノイドコイルを示す斜視図であり、(a)は本実施例、(b)は比較例を示す。

[0040] ブースタ磁路部材116は電子ビームの軌道を取り囲むように円筒（あるいは円錐）形状部材であり、材料としては軟磁性材料が使用されることが多い。図3(a)は本実施例のビームチルトレンズの1つの実施形態である。ソレノイドコイル210はブースタ磁路部材の下部側先端部のポールピース211の外側に配置され、Z軸に沿って絶縁導線をらせん状に密巻したコイルである。ソレノイドコイル210は、その上端がポールピース211の下端よりも上側に、その下端がポールピース211の下端よりも下側となるように配置される。さらに、電子ビーム軌道の中心軸を挟み反対側にもう1つのソレノイドコイル212を配置する。ここで、2つのソレノイドコイル210、212に対して上下反対向きに磁束を励磁する場合の磁束の経路について述べる。ソレノイドコイル210の上端から上方に放出した磁束は、ポールピース211に吸い込まれて反対側のソレノイドコイル212の上端から下端を抜けて、試料側で電子ビームの軌道を横切りソレノイドコイル21

Oの下端に戻る閉回路を形成する。

[0041] ここで、ソレノイドコイル210、212の下端はビームチルトレンズの下端でもあり、Z軸の原点Oとする。

原点Oより下側と試料表面213までの領域にはビームチルトレンズの構成物は無く、ワークスペースとして試料の位置制御に利用することができる。本実施例との比較のために、横向きソレノイドコイル214、215を電子ビーム軌道の中心軸に向かって対向する位置に2つ配置した例を図3(b)に示す。絶縁導線をらせん状に密巻にしたソレノイドコイル214、215の両端は水平に位置し、ソレノイドコイル214、215の下側面を原点Oとする。

[0042] 図4は図3のソレノイドコイルを励磁した時の軸上の横磁場分布のZ軸依存性を示す図であり、(a)は図3(a)の場合、(b)は図3(b)の場合を示す。

[0043] ポールピース211の先端外径は $\phi 2\text{ mm}$ 、ソレノイドコイルの直径は $\phi 2\text{ mm}$ 、コイル長は 4 mm の場合の例である。2つのソレノイドコイルはポールピースに隣接して電子ビーム軌道の中心軸に対して対称に 2 mm 離して設置する。2つのソレノイドコイルにはらせん状に密巻にした絶縁導線に電流を流して 10 アンペアターン の磁場を励磁する。図4(a)は図3(a)のポールピース211とソレノイドコイル210、212による現実的なビームチルトレンズの構成の場合である。横磁場のピーク位置はソレノイドコイル210、212の下端である原点Oより正側、すなわち試料側である。このピーク位置により、原点Oより負側のポールピースとソレノイドコイルの下端間の横磁場を抑制し、ソレノイドコイルの下端と試料間のワークスペースの横磁場を増大することが可能となる。

[0044] 一方、図4(b)は図3(b)のポールピース211とソレノイドコイル214、215の構成の場合の横磁場分布のZ軸依存性である。図4(a)に比べて、横磁場のピーク位置がZ軸の負側に 1 mm 以上、すなわち試料から離れてポールピース側に移動する。その結果、ポールピースとソレノイド

コイルの下側側面間に横磁場が集中し、ワークスペースの横磁場は相対的に少なくなってしまうことが分かる。但し、図3（a）に示すソレノイドコイルの配置は偏向器の性能としては図（b）に示すソレノイドコイルの配置に比べて劣っており、偏向器の用途としては適さない。

[0045] ビームチルトレンズを図3（a）（b）に示す構成とし、図1Aに示す走査電子顕微鏡を用いて縦型ゲートを有するFETのゲート側壁を観察した結果、ビームチルトレンズの構成を図3（b）とした場合に比し、図3（a）の構成とすることにより、高分解能の画像を得ることができた。

以上本実施例によれば、任意の傾斜角度で高分解能に試料の観察、検査が可能な荷電粒子線装置を提供することができる。特に、ソレノイドコイルをZ軸（一次電子ビームの光軸）に沿って配置することにより、良好な結果を得ることができる。

実施例 3

[0046] 本発明の第3の実施例について図5、図6、図7を用いて説明する。なお、実施例1又は2に記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。本実施例3では、ソレノイドコイルの配置と形の例とその作用について説明する。

図5は本実施例に係る荷電粒子線装置におけるビームチルトレンズ113の内部構成を説明するための斜視図（一部断面図）であり、ブースタ磁路部材のポールピース211に対するソレノイドコイル310、312の配置例である。

[0047] ソレノイドコイル310、312は、ブースタ磁路部材のポールピース211の外側の傾きに沿うようにZ軸から傾斜して配置される。ポールピース211が円錐形状の場合、ソレノイドコイル310、312を傾斜させた方が隣接しやすい。この傾斜により、ソレノイドコイル310、312の下端は、ポールピース211の下側で電子ビーム軌道の中心軸に近づく。この構成においても、ソレノイドコイル310、312の上端はポールピース211の下端より上側に配置され、ソレノイドコイル310、312の下端はポ

ールピース 211 の下端より下側に配置される。2つのソレノイドコイル 310、312 に上下反対向きに磁束を励磁すると、ソレノイドコイル 310 の上端から上方に放出する磁束は、ポールピース 211 に吸い込まれて反対側のソレノイドコイル 312 の上端から下端を抜けて、試料側で電子ビームの軌道を横切り、ソレノイドコイル 310 の下端に戻る。図 5 に示したように、絶縁導線でらせん状に密巻にしたソレノイドコイルの芯を Z 軸に対して曲げて、ポールピース 211 とソレノイドコイルの側面を密接させ、かつポールピース 211 の下端からソレノイドコイルの下端が飛び出すようにしても適切な横磁場を発生することができる。さらに、コイル長を延長して、ソレノイドコイル 310、312 の上端をポールピース 211 の側面でつないでも良い。

[0048] 絶縁導線でらせん状に密巻にしたソレノイドコイルの芯は、空芯又は非磁性材などで円形に形成することが多い。ソレノイドコイルが励磁する磁場は、中心軸以外では均一な横磁場とはならない。そのため、観察のためのビーム偏向やビームチルトレンズなどの光学系の軸ずれなどにより、電子ビームの軌道が中心軸からずれる時に、ソレノイドコイルの磁場により電子ビームの集束時の収差を発生してしまう。

[0049] 図 6 は本実施例に係る荷電粒子線装置における他のビームチルトレンズ 113 の内部構成を説明するための斜視図（一部断面図）であり、ソレノイドコイル 410、411 の芯形状をアーチ型に変形した例である。本実施例ではソレノイドコイル 410、411 の芯をアーチ型とし、この芯形状の変更により、2つのアーチ型ソレノイドコイル 410、411 で励磁する均一な横磁場の領域を拡大することができる。その結果、電子ビームの集束時の収差を抑制することができる。

[0050] 図 7 は本実施例に係る荷電粒子線装置における他のビームチルトレンズ 113 の内部構成を説明するための斜視図（一部断面図）であり、ソレノイドコイル 510 の複数配置例である。本実施例ではポールピース 211 を取り囲むように複数のソレノイドコイル 510 を配置し、中心軸に対して方位ご

とにCOS関数に比例するようにソレノイドコイル510を励磁することにより、均一な横磁場の領域を拡大することができる。方位ごとにCOS関数に比例するようにソレノイドコイル510を励磁する方法として、ソレノイドコイル510に流す電流を独立に制御する方法と、中心軸に対して垂直なXとYの2組にソレノイドコイル510を分けて結線して配置する方位ごとにターン数を変える方法がある。制御回路や電子ビーム制御に長所と短所があり相違点はあるものの、ソレノイドコイル510で励磁する均一な横磁場の領域を拡大することができ、電子ビームの集束時の収差を抑制することができる。

[0051] 図3(a)、図5、図6、図7に示すソレノイドコイルは、-100°C以下に冷却し、かつ超伝導材料または高温超電導材料の円筒材で覆うと、らせん状に密巻にした絶縁導線の側面から漏洩する磁場をマイスナー効果により抑制して、ソレノイドコイルの下端である原点Oより正側、すなわち試料側に横磁場に鋭いピークを形成することができる。このピーク形状により、原点Oより負側のポールピースとソレノイドコイルの下端間の横磁場を抑制し、ソレノイドコイルの下端と試料間のワークスペースの横磁場を増大することが可能となる。その結果、ビームチルトレンズの分解能とチルト角のトレードオフを著しく改善し、走査電子顕微鏡（荷電粒子走査顕微鏡）において高精細な3次元観察が可能となる。

[0052] ビームチルトレンズを図5に示す構成とし、図1Aに示す走査電子顕微鏡を用いて縦型ゲートを有するFETのゲート側壁を観察した結果、高分解能の画像を得ることができた。

以上本実施例によれば、任意の傾斜角度で高分解能に試料の観察、検査が可能な荷電粒子線装置を提供することができる。また、ソレノイドコイルを-100°C以下に冷却し、かつ超伝導材料または高温超電導材料の円筒材で覆うことにより、高精細な3次元観察が可能となる。

実施例 4

[0053] 本発明の第4の実施例について図8、図9を用いて説明する。なお、実施

例1乃至3のいずれかに記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。

[0054] 図8はビームチルトレンズを搭載した電子顕微鏡の最小構成図である。一次電子ビーム（一次荷電粒子ビーム）710を生成する電子源711、電子ビームを集束し傾斜するビームチルトレンズ712、ステージ上に保持された試料713などにより構成される。ワークディスタンス（作動距離）714はソレノイドコイルの下端から試料713の直上までの距離である。本実施例では、ビームチルトレンズ712は図3（a）及び図4（a）の構成と同一とし、ビームチルトレンズ712のヨーク磁路部材の下端又はブースタ磁路部材の下端から試料713の直上までの距離715は2mmとするが、変更してもこれから説明する作用効果が大きくかわるものではない。

[0055] ビームチルトレンズ712で生じるザイデルの3次の幾何収差は、球面収差とコマ収差と軸上色収差と倍率・回転色収差などである。この時の電子ビームのプローブ径は、

[0056] [数1]

数1

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{0.75}{\sqrt{V}\alpha}\right)^2 + (C_s\alpha^3)^2 + (C_{D-COMA}\alpha^2 D)^2 + \left(C_c \frac{\Delta E}{V} \alpha\right)^2 + \left(C_{D-CHROMATIC} \frac{\Delta E}{V} D\right)^2}$$

[0057] である。ここで、Vは電子ビームのランディングエネルギー、 α はビーム開き角、 C_s は球面収差係数、 C_{D-COMA} はコマ収差係数、 C_c は軸上色収差係数、 $C_{D-CHROMATIC}$ は倍率・回転色収差係数、Dは電子ビームの偏向距離、 ΔE は電子ビームのエネルギー分散である。しかし、この表記方法ではチルト角に対する収差発生量がわからない。最小構成のビームチルトレンズの場合（図8）は、ビームチルト角は偏向距離に依存する。すなわち、偏向距離Dを引数とするビームチルト角関数をマクローリン展開すると、

[0058]

[数2]

数 2

$$T(D) = dT/dD \times D + 1/6 \times d^3 T/dD^3 + 1/120 \times d^5 T/dD^5$$

[0059] となる。Dが十分小さければ高次の項は収束して第1項のみが残る。第1項目の係数であるビームチルト角の偏向感度を用いて、チルトコマ収差係数を

[0060] [数3]

数 3

$$C_{T-COMA} = C_{D-COMA} \div (dT/dD)$$

[0061] と定義し、チルト色収差係数を

[0062] [数4]

数 4

$$C_{T-CHROMATIC} = C_{D-CHROMATIC} \div (dT/dD)$$

[0063] と定義すると、電子ビームのプローブ径は、

[0064] [数5]

数 5

$$\Delta R = \sqrt{\left(\frac{0.75}{\sqrt{V}\alpha}\right)^2 + (C_s \alpha^3)^2 + (C_{T-COMA} \alpha^2 T)^2 + \left(C_c \frac{\Delta E}{V} \alpha\right)^2 + \left(C_{T-CHROMATIC} \frac{\Delta E}{V} T\right)^2}$$

[0065] となる。チルトコマ収差とチルト色収差の項はチルト角に比例して増大するため、プローブ径とチルト角の間にはトレードオフの関係がある。このとき、チルトコマ収差係数とチルト色収差係数を抑制することができれば、ビームチルトのトレードオフを改善してチルト時のプローブ径劣化を抑制することができる。

[0066] 図9はチルト収差係数のワークディスタンス（作動距離）依存性を示す図

である。

縦軸は電子光学シミュレーションで算出した収差係数であり、横軸はビームチルトレンズのワークディスタンスである。点線（T-COMA）はチルトコマ収差係数で、実線（T-CHROMATIC）はチルト色収差係数である。ワークディスタンス714が小さくなると、どちらの収差も抑制されることがわかる。ここでは、図8のビームチルトレンズ712のブースタ磁路部材下端と試料713との間の距離715を2mmに固定し、コイル長変更によりソレノイドコイル下端の位置を変えることで制御する。例えば、ワークディスタンス714が2mmの時、ソレノイドコイル下端とブースタ磁路部材の下端は一致し、横磁場と縦磁場のピーク位置はほぼ重なる。一方、ワークディスタンス714が0mmの時、ソレノイドコイル下端と試料最表面は一致し、横磁場と縦磁場のピーク位置が最も離れた状態となる。すなわち、横磁場と縦磁場のピーク位置が離れるほど、チルトコマ収差とチルト色収差を抑制できることがわかる。さらに、本実施例によりチルトコマ収差とチルト色収差を抑制することで、プローブ径とチルト角のトレードオフを改善して、より高角度でかつ小さいプローブ径のチルト電子ビームを形成することができる。

[0067] ビームチルトレンズを図3(a)に示す構成とし、図1Aに示す走査電子顕微鏡を用いてワークディスタンスを変えて縦型ゲートを有するFETのゲート側壁を観察した結果、高分解能の画像を得ることができた。特に、ワークディスタンスを1mm以下とすることにより、より高分解能の画像が得られた。

以上本実施例によれば、任意の傾斜角度で高分解能に試料の観察、検査が可能な荷電粒子線装置を提供することができる。また、ワークディスタンスを1mm以下とすることにより、より収差を低減でき、より高角度で且つ小さいプローブ径のチルト電子ビーム（荷電粒子線）を形成することができる。

実施例 5

[0068] 本発明の第5の実施例について図10、図11を用いて説明する。なお、実施例1乃至4のいずれかに記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。

[0069] 図10は、ビームチルトレンズに偏向器を組合せて搭載した本実施例に係る電子顕微鏡の基本構成を示す概略断面図である。

本電子顕微鏡は、一次電子ビーム（一次荷電粒子ビーム）810を生成する電子源811、一次電子ビーム810を集束するコンデンサレンズ812、一次電子ビーム810を偏向する偏向器813、一次電子ビーム810を集束し傾斜するビームチルトレンズ814、試料815を保持するステージ（図示せず）などにより構成される。偏向器813は本実施例では2段設けることで、ビームチルトレンズ814に到達する際の一次電子ビーム810の傾斜角と離軸を制御できるようにした。これにより、ソレノイドコイル816に到達するまでの電子ビームの経路で生じた収差によりチルトコマ収差とチルト色収差を抑制することが可能である。

[0070] 本実施例のように偏向器813を2段搭載すると、ビームチルト角を維持したまま、ビームを偏向することができる。ただし、ビームチルトレンズ814と偏向器813のビーム偏向で生じる収差は独立ではなく、ビームチルト制御とビーム偏向制御を両立するためにはクロスターを考慮しなければならない場合もある。以上のように、偏向器813と組み合わせることでビームチルトレンズ814の機能を強化することができる。ただし、本実施例は偏向器813の段数は2段に限定するものではなく、異なる段数でも同等の機能を有することができる。

[0071] 図11はビームチルトレンズに収差補正器を組合せた本実施例に係る他の電子顕微鏡の概略断面図である。

本電子顕微鏡は、一次電子ビーム（一次荷電粒子ビーム）820を生成する電子源821、一次電子ビーム820を集束するコンデンサレンズ822、一次電子ビーム820を補正する収差補正器823、一次電子ビーム820を集束し傾斜するビームチルトレンズ824、試料825を保持するステ

ージ（図示せず）などにより構成される。収差補正器 823 はチルトコマ収差やチルト色収差などを一次電子ビーム 820 に作りこむ。収差補正器 823 は電場と磁場の多極子とレンズで形成される。例えば、チルト色収差を生成する場合は、4 極子と 8 極子と 12 極子又は 20 極子などの電極と磁極により任意の方位にウィーンフィルタを形成することができる収差補正器が有効である。すなわち、ビームチルトレンズ 824 でビーム集束とビームチルトを同時に制御する時に生じるチルトコマ収差とチルト色収差などと逆向きの収差を収差補正器 823 で発生して収差を打ち消す。これにより、ビームチルトレンズのチルトコマ収差とチルト色収差を抑制することができ、プローブ径とチルト角のトレードオフを改善して、より高角度でかつ小さいプローブ径のチルト電子ビームを形成することができる。

- [0072] 図 10 に示した偏向器と図 11 に示した収差補正器とを組合せると、プローブ径とチルト角のトレードオフを改善するだけでなく、ビーム偏向とチルト角を独立に制御することが可能となる。
- [0073] ビームチルトレンズを図 3 (a) に示す構成とし、図 10 や図 11 に示す走査電子顕微鏡を用いて縦型ゲートを有する FET のゲート側壁を観察した結果、高分解能の画像を得ることができた。なお、他の構成を有するビームチルトレンズを用いることもできる。

以上本実施例によれば、任意の傾斜角度で高分解能に試料の観察、検査が可能な荷電粒子線装置を提供することができる。また、ビームチルトレンズと偏向器とを組み合わせることによりチルトコマ収差とチルト色収差を抑制することができる。また、ビームチルトレンズと収差補正器とを組み合わせることにより、より高角度でかつ小さいプローブ径のチルト電子ビームを形成することができる。さらに、ビームチルトレンズ、偏向器および収差補正器を組み合わせることにより、ビーム偏向とチルト角を独立に制御することが可能となる。

実施例 6

- [0074] 図 12～図 15 を用いて、図 1B で示したビームチルトレンズ 113 の内

部構成以外の例を詳細に説明する。図中には、ビームチルトレンズ113の内部構成の他、被計測・検査試料114も合わせて示した。なお、実施例1乃至5の何れかに記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。

[0075] 図12は、最小構成のビームチルトレンズ113であり、図1Bよりもシンプルな例である。本ビームチルトレンズ113は、一次電子線光軸（あるいは電子光学系102の中心軸）の周囲に配置されたヨーク磁路部材132、該ヨーク磁路部材132と試料114により構成されるドーナツ状の閉空間内に設けられた2つ以上の複数のソレノイドコイル133、およびレンズコイル134とを少なくとも含んで構成される。一次電子線光軸あるいは電子光学系102の中心軸は、ビームチルトレンズ113あるいは真空筐体101の中心軸と一致するように構成される場合が多い。該ソレノイドコイル133の下端はヨーク磁路部材132のポールピース先端と試料114の間配置され、該ソレノイドコイル133の上端は該ヨーク磁路部材132の側面に配置される。該ソレノイドコイル133は上記上端と上記下端の間を磁場が側面から漏洩しないように絶縁導線をらせん状に密巻にしたもの用いた。但し、らせん状に絶縁導線を空芯又は非磁性材の芯に密巻にしたソレノイドコイルに代えて、らせん状以外の巻き方で作製したコイルを用いてよい。また、ソレノイドコイルは非磁性材料を用いてヨーク磁路部材に固定することができる。

[0076] ヨーク磁路部材132は、内部が中空の円環部材により構成されており、その断面は、一次電子線光軸への対向面側が斜面になった台形形状をなす。本実施例のビームチルトレンズ113においては、ヨーク磁路部材132は、一次電子ビーム光軸が円環部材の中心を通るように配置される。円環部材のヨーク磁路部材132の内部にはレンズコイル134が保持されており、当該レンズコイル134により一次電子ビーム110を集束するための磁束が励磁される。当該台形形状の下底の内面側（一次電子ビームへの対向面側）には空間が設けてあり、当該空間により、励磁された磁束がヨーク磁路部

材132内で閉磁路を形成するようになっている。また、ヨーク磁路部材132の上面側（一次電子線の入射方向）と底面側（一次電子線の出射方向）には、一次電子ビームの通過する開口を備える。また、ヨーク磁路部材132の材料としては軟磁性材料が用いられる。なお、ヨーク磁路部材132は、断面が台形形状の円環部材が用いられているが、励磁された磁束をヨーク磁路部材132のポールピースのギャップ間で受け渡す機能が果たされる限り、ヨーク磁路部材132の形状は特に問わない。例えば、ヨーク磁路部材の断面がコの字型であってもよい。

[0077] ヨーク磁路部材132は、内面側（一次電子線を囲む領域）に沿って設けられた円筒（あるいは円錐）形状を有し、ビームチルトレンズの内部で、円筒の中心軸が一次電子ビーム光軸（あるいは真空筐体101の中心軸）は一致するように配置される。材料としては、軟磁性材料が使用される。円筒の下部側先端部（試料対向面側の先端部）は、レンズコイル134により励磁された磁束が集中する磁極（ポールピース）を構成する。

[0078] ヨーク磁路部材132の底面側にはソレノイドコイル133が配置される。ソレノイドコイル133は、中央部の前記ヨーク磁路部材のポールピースを取り囲むように配置した絶縁導線をらせん状に密巻にしたコイルである。ヨーク磁路部材132は、ビームチルトレンズの内部で、一次電子ビーム光軸に対して同軸となるように配置される。ヨーク磁路部材132の底面側の開口端部は、磁束が集中する磁極を構成し、ヨーク磁路部材132のポールピースの空隙（ギャップ）間に磁束が集中することにより、一次電子ビームに対する従来よりも強いレンズ効果が発生させることができる。ヨーク磁路部材132の中央部分に属するポールピースを上部磁極、ヨーク磁路部材の外側に属するポールピースを下部磁極と呼ぶ場合もある。ヨーク磁路部材132の2つのポールピース間は磁気的には強く結合しており、レンズコイル134によって励起された磁束は、上記ヨーク磁路部材中を貫流する。

[0079] ヨーク磁路部材132を接地電位に保つ場合が多いが、ヨーク磁路部材132への印加電位について説明する。ヨーク磁路部材132と電子光学系1

02は、絶縁材料を介して互いに電気的に絶縁しても良い。この場合、ヨーク磁路部材132には、電子光学系102の電位に対する電位が正になり、かつ上記加速電極131の電位と同電位または電位差が正になるような電位が供給される。この電位はヨーク電源910により供給される。このため、一次電子ビーム110は、加速電極131とヨーク磁路部材132との間の電位差によって一次電子ビーム110の軌道上で最も加速された状態で、上記ヨーク磁路部材132を通過する。

[0080] 本実施例の荷電粒子ビーム装置においても、リターディング方式を採用しても良い。この場合、ビームチルトレンズと試料間には減速電界が形成される。ソレノイドコイル133には、横磁場を励磁するために電流が供給されており、この電流はソレノイドコイル電源143、144により供給される。また、ステージ140（図示せず）には、ステージ電源141によって、ヨーク磁路部材132との電位差が負になる電位が印加される。このため、ヨーク磁路部材132を通過した一次電子ビーム110は、急激に減速され試料114の表面に到達する。ここで、一次ビーム（電子ビーム110）のランディングエネルギーは、電子源111とステージ140の電位差のみで決まるため、電子源111とステージ140への印加電位を所定値に制御すれば、ヨーク磁路部材132や加速電極131への印加電位がどうであってもランディングエネルギーを所望の値に制御可能である。従って、加速電極131とヨーク磁路部材132への印加電位を電子源111に対して正に設定することにより、一次電子ビーム110は電子光学系102を高速に通過させることができ、試料上での一次電子ビーム110のプローブサイズを小さくすることができる。

[0081] 図13は図1Bのブースタ磁路部材のポールピースとソレノイドコイルを変更してスリムなビームチルトレンズの構成とした例である。ブースタ磁路部材116は、ヨーク磁路部材132を構成する円環部材の内面側（一次電子線110への対向領域）に沿って設けられた円筒（あるいは円錐）形状部材であり、ビームチルトレンズ113の内部で、円筒の中心軸が一次電子ビ

ーム光軸（あるいは真空筐体101の中心軸）は一致するように配置される。材料としては、ヨーク磁路部材132と同様に軟磁性材料が使用される。円筒の下部側先端部（試料対向面側の先端部）は、試料表面に向かって突き出て、レンズコイル134により励磁された磁束が集中する磁極（ポールピース）を構成する。ソレノイドコイル133は、一次電子線光軸の周囲に配置されたブースタ磁路部材116のポールピースの外側に2つ以上の複数個設けられる。該ソレノイドコイル133の下端はブースタ磁路部材116のポールピースの先端部と試料114の間に配置され、該ソレノイドコイル133の上端は該ブースタ磁路部材116の側面に配置される。該ソレノイドコイル133は上記上端と上記下端の間を磁場が側面から漏洩しないようらせん状に電線を密巻にしたものを用いた。一次電子線光軸あるいは電子光学系102の中心軸は、ビームチルトレンズ113あるいは真空筐体101の中心軸と一致するように構成される場合が多い。ヨーク磁路部材132と試料114間のスペースが増大して、試料114を傾斜させることもできるようになる。その結果、試料の姿勢を変えて立体的な試料観察が可能となつた。

[0082] 図14は図1Bのブースタ磁路部材のポールピースの先端にシールド電極を追加した例である。ブースタ磁路部材116は、ヨーク磁路部材132を構成する円環部材の内面側（一次電子線110への対向領域）に沿って設けられた円筒（あるいは円錐）形状部材であり、ビームチルトレンズ113の内部で、円筒の中心軸が一次電子ビーム光軸（あるいは真空筐体101の中心軸）は一致するように配置される。材料としては、ヨーク磁路部材132と同様に軟磁性材料が使用される。該ヨーク磁路部材132の円筒部の下部側先端部（試料対向面側の先端部）は、レンズコイル134により励磁された磁束が集中する磁極（ポールピース）を構成し、該ヨーク磁路部材132のポールピースの先端部には試料114の表面に向かって突き出たシールド電極920を配置する。該シールド電極920は円筒（あるいは円錐）形状の非磁性金属の部材であり、円筒の中心軸が一次電子ビーム光軸（あるいは

真空筐体 101 の中心軸) は一致するように配置される。ソレノイドコイル 133 は、一次電子線光軸の周囲に配置されたブースタ磁路部材 116 のポールピースの外側に 2 つ以上の複数個設けられる。該ソレノイドコイル 133 の下端はシールド電極 920 の側面に配置し、該ソレノイドコイル 133 の上端は該ブースタ磁路部材 116 の側面に配置する。該ソレノイドコイル 133 は上記上端と上記下端の間を磁場が側面から漏洩しないようにらせん状に電線を密巻にしたものを用いた。シールド電極 920 を設けることにより、試料 114 の座標制御時に試料 114 とソレノイドコイル 133 との衝突を回避できるとともに、試料 114 から放出される 2 次電子とソレノイドコイルとの衝突も回避できる。その結果、ビームチルトレンズの分解能とチルト角のトレードオフをさらに改善し、試料の高精細な傾斜観察が可能となつた。

[0083] 図 15 は図 1B のヨーク磁路部材に制御磁路部材を追加した例である。本ビームチルトレンズ 113 は、一次電子線光軸 (あるいは電子光学系 102 の中心軸) の周囲に配置されたヨーク磁路部材 132、当該ヨーク磁路部材 132 と一次電子線光軸の間の空間内に設けられたブースタ磁路部材 116、ヨーク磁路部材 132 の底面と試料 114 により構成される閉空間内に配置された制御磁路部材 930 の 3 つの磁路部材と、レンズコイル 134 と、ブースタ磁路部材 116 と制御磁路部材 930 と試料 114 により構成されるドーナツ状の閉空間内に 2 つ以上設けられた複数のソレノイドコイル 133 を少なくとも含んで構成される。一次電子線光軸あるいは電子光学系 102 の中心軸は、ビームチルトレンズ 113 あるいは真空筐体 101 の中心軸と一致するように構成される場合が多い。該ソレノイドコイル 133 の下端はブースタ磁路部材 116 の先端部と試料 114 の間に配置され、該ソレノイドコイル 133 の上端は該ブースタ磁路部材 116 と該制御磁路部材 930 の間に配置される。該ソレノイドコイル 133 は上記上端と上記下端の間を磁場が側面から漏洩しないように電線をらせん状に密巻にしたものを用いた。

[0084] 図15のヨーク磁路部材132は、内部が中空の円環部材により構成されており、その断面は、一次電子線光軸への対向面側が斜面になった台形形状をなす。本ビームチルトレンズ113においては、ヨーク磁路部材132は、一次電子ビーム光軸が円環部材の中心を通るように配置される。円環部材のヨーク磁路部材132の内部にはレンズコイル134が配置されており、当該レンズコイル134により一次電子ビーム110を集束するための磁束が励磁される。当該台形形状の下底の内面側（一次電子ビームへの対向面側）には空間が設けてあり、当該空間により、励磁された磁束がヨーク磁路部材132内で閉磁路を形成せずにブースタ磁路部材116と制御磁路部材930へ流れようになっている。また、ヨーク磁路部材132の上面側（一次電子線の入射方向）と底面側（一次電子線の出射方向）には、一次電子ビームの通過する開口を備える。また、ヨーク磁路部材の材料としては軟磁性材料が用いられる。なお、図15に示したヨーク磁路部材132は、断面が台形形状の円環部材が用いられているが、励磁された磁束をブースタ磁路部材116および制御磁路部材930に受け渡す機能が果たされる限り、ヨーク磁路部材132の形状は特に問わない。例えば、ヨーク磁路部材132の断面がコの字型であってもよい。

[0085] 次に、ブースタ磁路部材116、ヨーク磁路部材132および制御磁路部材930への印加電位について説明する。ヨーク磁路部材132と制御磁路部材930とブースタ磁路部材116は、絶縁材料を介して互いに電気的に絶縁されている。ブースタ磁路部材116には、ヨーク磁路部材132の電位に対する電位が正になり、かつ上記加速電極131の電位に対する電位差が正になるような電位が供給される。この電位はブースタ電源135により供給される。また、ヨーク磁路部材132には接地電位に保たれる。このため、一次電子ビーム110は、加速電極131とブースタ磁路部材116との間の電位差によって一次電子ビーム110の軌道上で最も加速された状態で、上記ブースタ磁路部材116を通過する。

[0086] 本実施例の荷電粒子ビーム装置においても、リターディング方式を採用す

る。この場合、ビームチルトレンズと試料間には減速電界が形成される。制御磁路部材 930 には、ヨーク磁路部材 132 に対する電位差が負になるよう電位が供給されており、この電位は制御磁路電源 931 により供給される。ソレノイドコイル 133 には、横磁場を励磁するために電流が供給されており、この電流はソレノイドコイル電源 143、144 により供給される。また、試料 114 を保持するステージ 140（図示せず）には、ステージ電源 141 によって、ブースタ磁路部材 116 との電位差が負になる電位が印加される。このため、ブースタ磁路部材 116 を通過した一次電子ビーム 110 は、急激に減速され試料 114 の表面に到達する。ここで、一次電子ビーム 110 のランディングエネルギーは、電子源 111 とステージ 140 の電位差のみで決まるため、電子源 111 とステージ 140 への印加電位を所定値に制御すれば、ブースタ磁路部材 116 や加速電極 131 への印加電位がどうであってもランディングエネルギーを所望の値に制御可能である。従って、加速電極 131 とブースタ磁路部材 116 への印加電位を電子源 111 に対して正に設定することにより、一次電子ビーム 110 は電子光学系 102 を高速に通過させることができ、試料上で的一次電子ビーム 110 のプローブサイズを小さくすることができる。

[0087] 図 16 は従来法と本発明の各実施例における到達分解能のビームチルト角依存性を比較する図である。5 kV の電子ビームは偏向器と対物レンズを組み合わせた従来法に比べて、本発明の各実施例におけるビームチルトレンズでは、分解能劣化量が半減する。10 度のビームチルト角で分解能が 2.5 nm から 1.5 nm に改善し、10 nm の配線を観察することが可能である。

[0088] 図 17 は従来法と本発明の各実施例における最適開き角のビームチルト角依存性を比較する図である。従来法に比べて、チルトコマ収差係数とチルト色収差係数が小さいため、最適開き角を大きくすることができる。

[0089] 以上、本願発明を詳細に説明したが、以下に主な発明の形態を列挙する。

(1) ステージに搭載した試料に対して一次荷電粒子線を照射し、当該照射により発生する二次荷電粒子を検出する荷電粒子線装置において、当該荷電粒子線装置は、前記一次荷電粒子線を前記試料上に集束し、かつ前記一次荷電粒子線を前記試料上に任意に傾斜する機能を有するビームチルトレンズを備える。

[0090] さらに、前記ビームチルトレンズは、

前記一次荷電粒子線を囲む領域に沿って設けられた内部が中空の円環部材でかつ、

試料対向面側の下部側先端部の開口端にポールピースの空隙を有し、

さらに、内部にコイルを有することを特徴とするヨーク磁路部材と、

前記ヨーク磁路部材の中央開口端のポールピースを外側から取り囲むよう配置したソレノイドコイルと、

前記一次荷電粒子線の集束位置を制御するレンズコイル電源と、

前記一次荷電粒子線の傾斜角度を制御するソレノイドコイル電源とを備え、

前記ソレノイドコイルは、前記ヨーク磁路部材の側面を上端とし、前記ヨーク磁路部材のポールピース先端と試料の間を下端として、らせん状に絶縁導線を空芯又は非磁性材の芯に密巻にしたソレノイドコイルである。

ビームチルトレンズと前記試料の間で、中心軸に沿った向きの磁力線を縦磁場、前記中心軸に垂直となる磁力線を横磁場とする。

[0091] 縦磁場はチルトレンズ内のレンズコイルにより励磁されて、ヨーク磁路部材のポールピース先端に誘導される。そのため、ポールピース先端の直下にピークがあり、ピーク形状は上下に非対称となる。一方、横磁場はソレノイドコイルにより励磁される。ソレノイドコイルは空芯または非磁性芯で構成し、縦磁場を乱さないようにすることが重要である。ソレノイドコイルが励磁した横磁場のピーク位置は、縦磁場のピーク位置よりも下側の試料側に形成される。そのため、前記ソレノイドコイルの下端を前記ポールピース先端より試料側に突き出すことにより、横磁場と縦磁場のピーク位置を離すこと

ができる。

[0092] 横磁場と縦磁場のピーク位置を離すほど、チルトコマ収差とチルト色収差を抑制できるため、プローブ径とチルト角のトレードオフを改善して、より高角度でかつ小さいプローブ径のチルト電子ビームを形成することができる。

(2) さらに、(1)記載の荷電粒子線装置において、

前記ヨーク磁路部材を構成する円環部材の内面側に沿って設けられた円筒あるいは円錐の形状のブースタ磁路部材を有し、

前記ヨーク磁路部材と前記ブースタ磁路部材の試料対向面側の下部側先端部でコイルにより励磁された磁束が集中するポールピースの空隙を構成し、

前記ヨーク磁路部材は接地電位に保ち、前記ブースタ磁路部材に正電位を供給するブースタ電源を備え、

前記ソレノイドコイルは、前記ブースタ磁路部材の外側面を上端とし、前記ブースタ磁路部材のポールピース先端と試料の間を下端とし、かつ前記ブースタ磁路部材のポールピースを取り囲むように配置すると、さらにプローブ径とチルト角のトレードオフを改善して、より高角度でかつ小さいプローブ径のチルト電子ビームを形成することができる。

(3) さらに、(1)又は(2)に記載の荷電粒子線装置において、前記ヨーク磁路部材は接地電位に保ち、前記ステージに負電位を供給するステージ電源と、前記ステージへの印加電位によりランディングエネルギーを所望の値に制御する機能を備えると、飛躍的にプローブ径とチルト角のトレードオフを改善して、より高角度でかつ小さいプローブ径のチルト電子ビームを形成することができる。

[0093] 以下、ソレノイドコイルの形状と配置について述べる。

(4) さらに、(1)乃至(3)の何れかに記載の荷電粒子線装置において、

中央開口端の前記ポールピースを円錐形状とすると、軸上収差を抑制することができる。この場合は、前記ソレノイドコイルを下端が前記ポールピー

スの下側で中心軸に近づくように傾斜させて前記ポールピースに隣接させることで横磁場と縦磁場のピーク間距離を拡大することができ、プローブ径とチルト角のトレードオフを改善して、より高角度でかつ小さいプローブ径のチルト電子ビームを形成することができる。

(5) さらに、(1) 乃至 (3) の何れかに記載の荷電粒子線装置において
、

絶縁導線でらせん状に密巻にしたソレノイドコイルの芯を曲げて延長して
、2つのソレノイドコイル上端を前記ポールピースの側面でつなぎと、前記
ポールピースの下端から前記試料側に飛び出した2つのソレノイドコイルを
有することを特徴とする荷電粒子線装置。

(6) さらに、(1) 乃至 (3) の何れかに記載の荷電粒子線装置において
、

前記ソレノイドコイルの空芯又は非磁性材の芯をアーチ型に変形する。

(7) さらに、(1) 乃至 (3) の何れかに記載の荷電粒子線装置において
、

前記ポールピースを取り囲むように複数のソレノイドコイルを配置し、中
心軸に対して方位ごとにCOS関数に比例するように励磁するソレノイドコ
イル電源を有する。

(8) さらに、(1) 乃至 (3) の何れかに記載の荷電粒子線装置において
、

前記ポールピースを取り囲むように複数のソレノイドコイルを配置し、配
置する方位ごとにCOS関数に比例するようにターン数を変えた中心軸に対
して垂直なXとYの2組にわけて結線した前記ソレノイドコイルを有する。

(9) さらに、(1) 乃至 (3) の何れかに記載の荷電粒子線装置において
、

前記ソレノイドコイルを-100°C以下に冷却し、かつ超伝導材料または
高温超電導材料の円筒材で覆う。

(10) さらに、(1) 乃至 (3) の何れかに記載の荷電粒子線装置におい

て、

前記ソレノイドコイルで励磁する横磁場と前記レンズコイルで励磁する縦磁場のピーク位置を効率的に離すことによりチルトコマ収差とチルト色収差を抑制するビームチルト技術を用いた荷電粒子線装置である。

以上のようなソレノイドコイルをチルトレンズに採用することにより、プローブ径とチルト角のトレードオフを改善して、より高角度でかつ小さいプローブ径のチルト電子ビームを形成することができる。

[0094] 以下、ビームチルトレンズの電子光学応用例である。

(11) さらに、(1) 乃至 (3) の何れかに記載の荷電粒子線装置において、

ビームチルトレンズとコンデンサレンズと偏向器を組合せると、傾斜の角度・方位に加えて偏向位置も独立に制御できるようになる。その結果、試料座標のステージ移動制御を簡便にし、偏向位置制御で高速に補正することができる。

(12) さらに、(1) 乃至 (3) の何れかに記載の荷電粒子線装置において、

ビームチルトレンズとコンデンサレンズと収差補正器を組合せると、収差補正器で作った収差によりビームチルトレンズの収差をキャンセルすることができる。

(13) さらに、(1) 乃至 (3) の何れかに記載の荷電粒子線装置において、

ビームチルトレンズのポールピースの先端部に試料表面に向かって突き出した非磁性金属製のシールド電極を設けると、ソレノイドコイルへの2次電子の衝突を回避することができる。その結果、ソレノドコイルなどの帯電の影響を抑制し、一次電子線のドリフトや二次電子の収率変化を回避することができる。

(14) さらに、(3) に記載の荷電粒子線装置において、

ビームチルトレンズに前記ヨーク磁路部材の底面と前記試料により構成さ

れる閉空間内に制御磁路部材を設け、

前記ヨーク磁路部材と前記制御磁路部材と前記ブースタ磁路部材は絶縁材料を介して互いに電気的に絶縁され、前記ヨーク磁路部材は接地電位に保ち、前記制御磁路部材に負の電位を印加する制御磁路電源を有する。

以上のようなチルトレンズの構成を採用することにより、プローブ径とチルト角のトレードオフを改善して、より高角度でかつ小さいプローブ径のチルト電子ビームを形成することができる。

本発明により、収差の影響が少なく、ビームチルト角を大きくかつ加速電圧の大きな一次荷電粒子線に対しても十分なレンズ作用を有し、かつ一次荷電粒子線を試料に照射する角度を制御する作用を有するビームチルトレンズが製造可能となり、よって、任意角度の傾斜観察、高分解能の荷電粒子線装置が実現可能となる。また、任意角度の傾斜観察、高分解能の荷電粒子線装置が実現可能となるとなる結果、3次元的で微細な欠陥観察や測長・形状評価を可能とする荷電粒子線応用装置を提供することができる。

[0095] 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

[0096] 101…真空筐体、102…電子光学系、103…電子光学系制御装置、104…ホストコンピュータ、105…操作卓、106…表示手段、110…一次電子ビーム（一次荷電粒子ビーム）、111…電子源、112…偏向器、113…ビームチルトレンズ、114…試料（ウェハ）、115…二次粒子（二次電子）、116…ブースタ磁路部材、118…反射部材、119…副次粒子（三次粒子）、122…中央検出器、126…二次粒子反射面、1

30…引き出し電極、131…加速電極、132…ヨーク磁路部材、133…ソレノイドコイル、134…レンズコイル、135…ブースタ電源、136…ブースタ磁路部材下部側先端部、140…ステージ、141…ステージ電源、142…レンズコイル電源、143…ソレノイドコイル電源、144…ソレノイドコイル電源、145…ソレノイドコイル電源、148…中央取り込み電源、210…ソレノイドコイル、211…ポールピース、212…もう一つのソレノイドコイル、213…試料表面、214…横向きソレノイドコイル、215…もう一つの横向きソレノイドコイル、310…傾いたソレノイドコイル、312…もう一つの傾いたソレノイドコイル、410…アーチ型ソレノイドコイル、411…もう一つのアーチ型ソレノイドコイル、510…ソレノイドコイル、710…一次電子ビーム（一次荷電粒子ビーム）、711…電子源、712…ビームチルトレンズ、713…試料、714…ワークディスタンス、715…ビームチルトレンズの下端から試料の直上までの距離、810…一次電子ビーム（一次荷電粒子ビーム）、811…電子源、812…コンデンサレンズ、813…偏向器、814…ビームチルトレンズ、815…試料、816…ソレノイドコイル、820…一次電子ビーム（一次荷電粒子ビーム）、821…電子源、822…コンデンサレンズ、823…収差補正器、824…ビームチルトレンズ、825…試料、910…ヨーク電源、920…シールド電極、930…制御磁路部材、931…制御磁路電源。

請求の範囲

- [請求項1] ステージに搭載される試料に対して一次荷電粒子線を照射し、当該照射により発生する二次荷電粒子を検出する荷電粒子線装置において、
、
当該荷電粒子線装置は、前記一次荷電粒子線を前記試料上に集束させ、かつ前記試料上へ任意の角度にて前記一次荷電粒子線を傾斜させる機能を有するビームチルトレンズを備え、
前記ビームチルトレンズは、
前記一次荷電粒子線を囲む領域に沿って設けられ内部が中空の部材でかつ、前記試料の対向面側の下部開口端にポールピースの空隙を有し、さらに、前記内部にレンズコイルを有するヨーク磁路部材と、
前記ヨーク磁路部材の中央開口端のポールピースを外側から取り囲むように配置されたソレノイドコイルと、
前記レンズコイルに電流を供給して前記一次荷電粒子線の集束位置を制御するレンズコイル電源と、
前記ソレノイドコイルに電流を供給して前記一次荷電粒子線の傾斜角度を制御するソレノイドコイル電源とを備え、
前記ソレノイドコイルは、前記ヨーク磁路部材の側面に前記ソレノイドコイルの上端が配置され、前記ヨーク磁路部材のポールピース先端と前記試料との間に前記ソレノイドコイルの下端が配置されていることを特徴とする荷電粒子線装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の荷電粒子線装置において、
前記ソレノイドコイルは、空芯又は非磁性材を芯とし、らせん状に絶縁導線を密巻にしたソレノイドコイルであることを特徴とする荷電粒子線装置。
- [請求項3] 請求項1に記載の荷電粒子線装置において、
前記ビームチルトレンズは、前記部材の内面側に沿って設けられた円筒あるいは円錐の形状のブースタ磁路部材を有し、

前記ヨーク磁路部材と前記ブースタ磁路部材の前記試料対向面側の下部開口端で前記レンズコイルにより励磁された磁束が集中するポールピースの空隙を構成し、

前記ヨーク磁路部材は接地電位であり、前記ブースタ磁路部材に正電位を供給するブースタ電源を備え、

前記ソレノイドコイルは前記ブースタ磁路部材のポールピースを取り囲むように複数設けられ、各々の前記ソレノイドコイルは、前記ブースタ磁路部材の外側面に前記各々の上端が配置され、前記ブースタ磁路部材のポールピース先端と前記試料の間に前記各々の下端が配置されていることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項4]

請求項3に記載の荷電粒子線装置において、

前記ヨーク磁路部材は接地電位であり、前記ステージに負電位を供給することにより前記一次荷電粒子線の前記試料に対するランディングエネルギーを所望の値に制御するステージ電源を更に備えることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項5]

請求項4に記載の荷電粒子線装置において、

前記中央開口端の前記ポールピースを円錐形状とし、前記ソレノイドコイルを下端が前記ポールピースの下側で中心軸に近づくよう傾斜させて前記ポールピースに隣接させることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項6]

請求項4に記載の荷電粒子線装置において、

前記ソレノイドコイルは、らせん状に絶縁導線を密巻にしたものであり、

前記ソレノイドコイルの芯を曲げて延長して、2つのソレノイドコイル上端を前記ポールピースの側面でつなぎ、前記ポールピースの下端から前記試料側に飛び出した2つのソレノイドコイルを有することを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項7]

請求項4に記載の荷電粒子線装置において、

前記ソレノイドコイルは空芯又は非磁性材の芯を有し、
前記空芯又は非磁性材の芯はアーチ型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4に記載の荷電粒子線装置において、
前記ブースタ磁路部材の前記ポールピースを取り囲むように配置さ
れた複数のソレノイドコイルを、中心軸に対して方位ごとにCOS関
数に比例するように励磁するソレノイドコイル電源を有することを特
徴とする荷電粒子線装置。

[請求項9] 請求項4に記載の荷電粒子線装置において、
前記ブースタ磁路部材の前記ポールピースを取り囲むように配置さ
れた複数のソレノイドコイルは、配置する方位ごとにCOS関数に比
例するようにターン数を変え、中心軸に対して垂直なXとYの2組に
わけて結線されることを特徴とした荷電粒子線装置。

[請求項10] 請求項1に記載の荷電粒子線装置において、
前記ソレノイドコイルは、-100°C以下に冷却され、かつ超伝導
材料または高温超電導材料の円筒材で覆われるものであることを特徴
とした荷電粒子線装置。

[請求項11] 請求項1に記載の荷電粒子線装置において、
前記ソレノイドコイルで励磁する横磁場と前記レンズコイルで励磁
する縦磁場のピーク位置を調整する手段を有し、チルトコマ収差とチ
ルト色収差を抑制可能としたことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項12] 請求項1に記載の荷電粒子線装置において、
コンデンサレンズと偏向器とを更に有することを特徴とする荷電粒
子線装置。

[請求項13] 請求項1に記載の荷電粒子線装置において、
コンデンサレンズと収差補正器とを更に有することを特徴とする荷
電粒子線装置。

[請求項14] 請求項4に記載の荷電粒子線装置において、

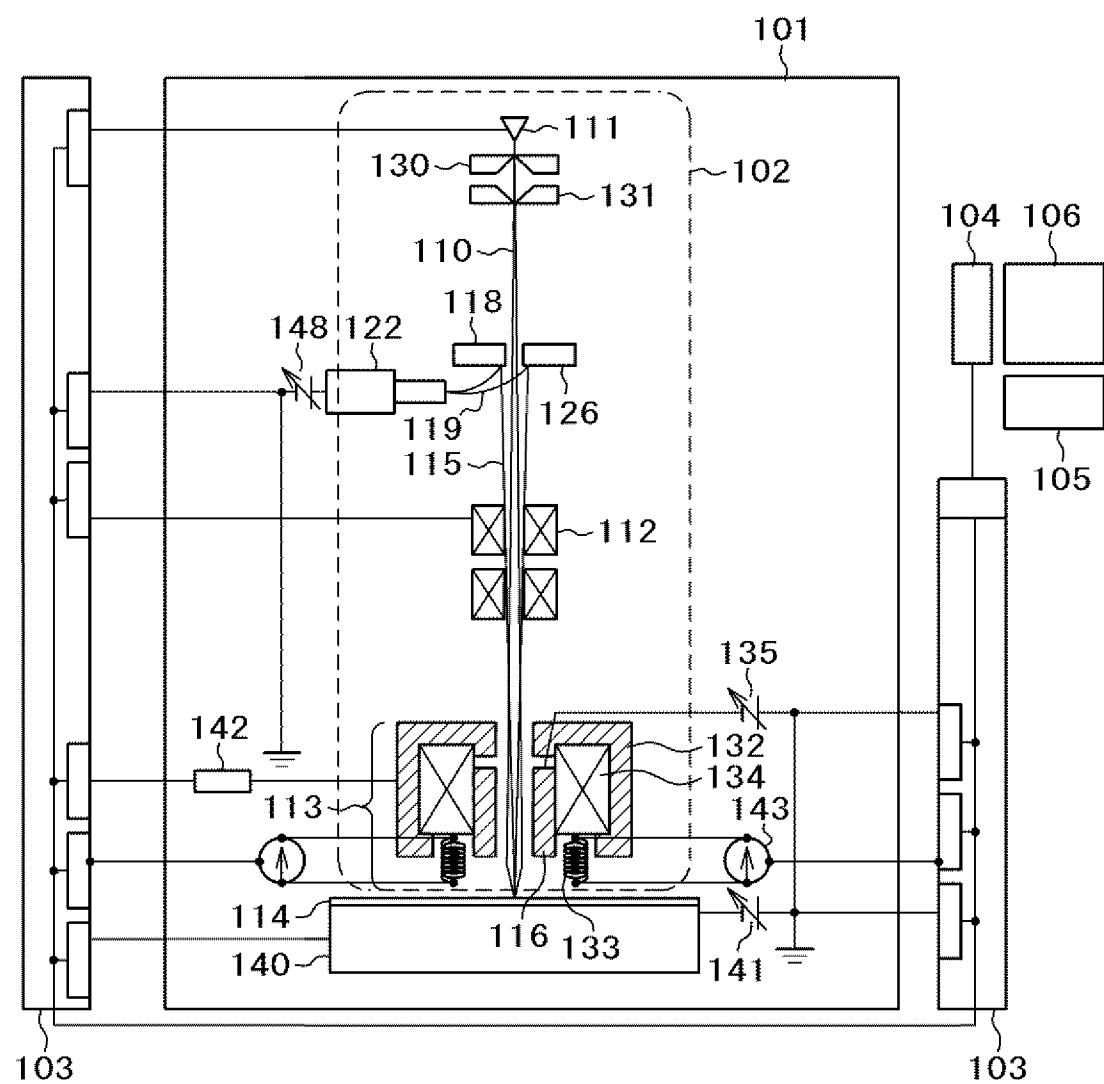
前記ブースタ磁路部材の前記ポールピースの先端部には前記試料表面に向かって突き出た非磁性金属製のシールド電極が設けられていることを特徴とした荷電粒子線装置。

[請求項15]

請求項4に記載の荷電粒子線装置において、
前記ヨーク磁路部材の底面と前記試料により構成される閉空間内に
制御磁路部材を設け、
前記ヨーク磁路部材と前記制御磁路部材と前記ブースタ磁路部材は
絶縁材料を介して互いに電気的に絶縁され、前記ヨーク磁路部材は接
地電位であり、前記制御磁路部材に負の電位を印加する制御磁路電源
を有することを特徴とする荷電粒子線装置。

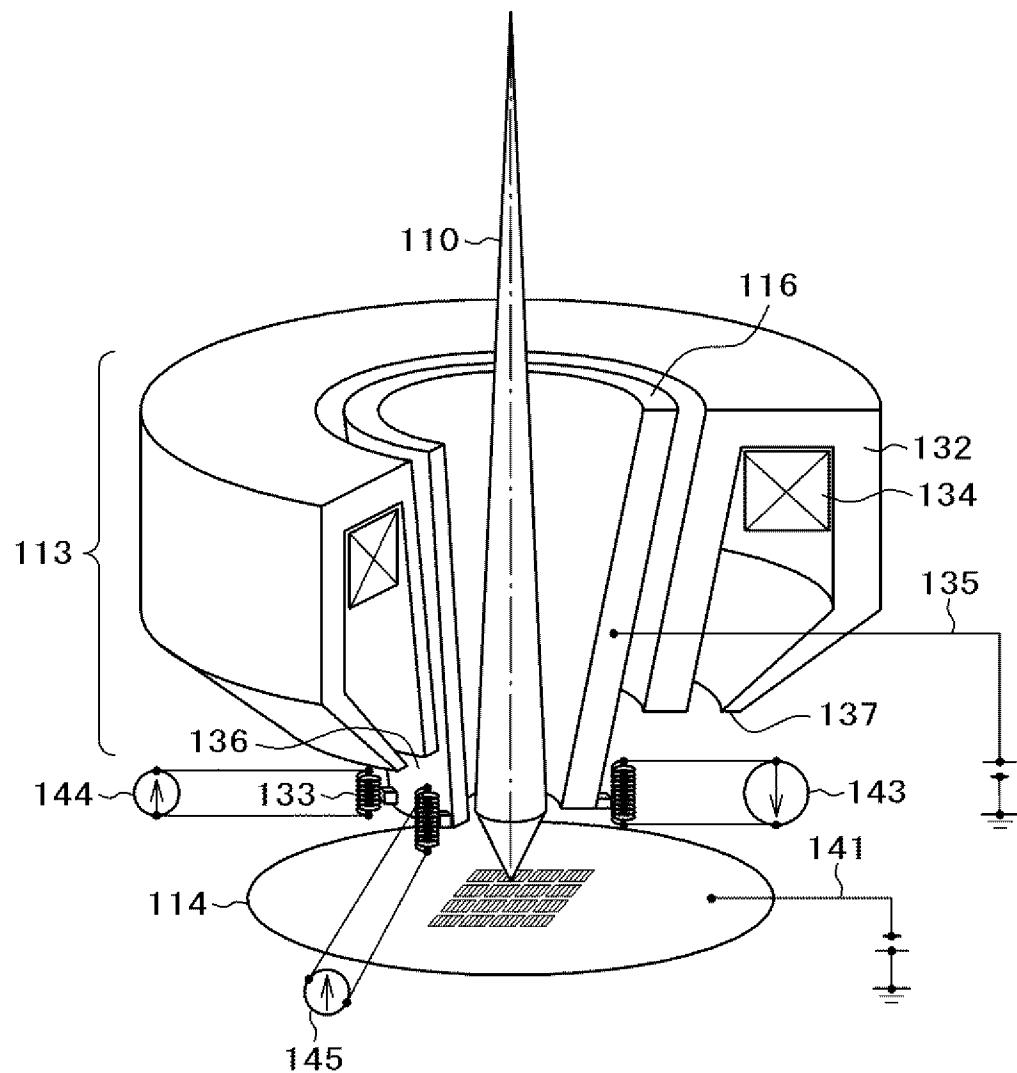
[図1A]

図 1 A



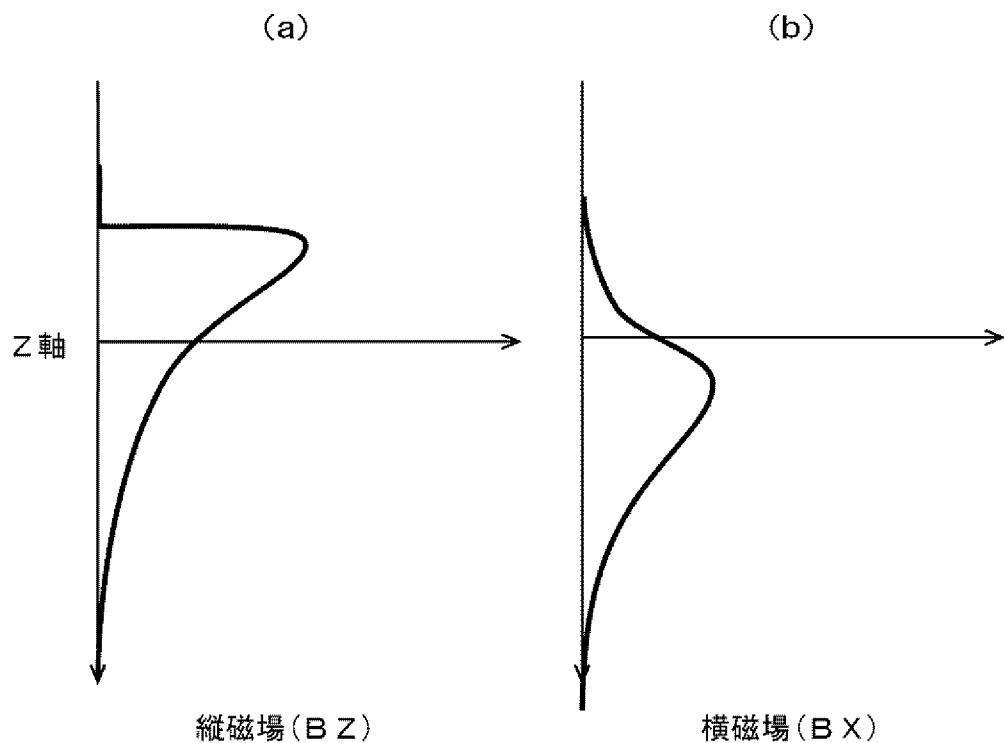
[図1B]

図 1 B



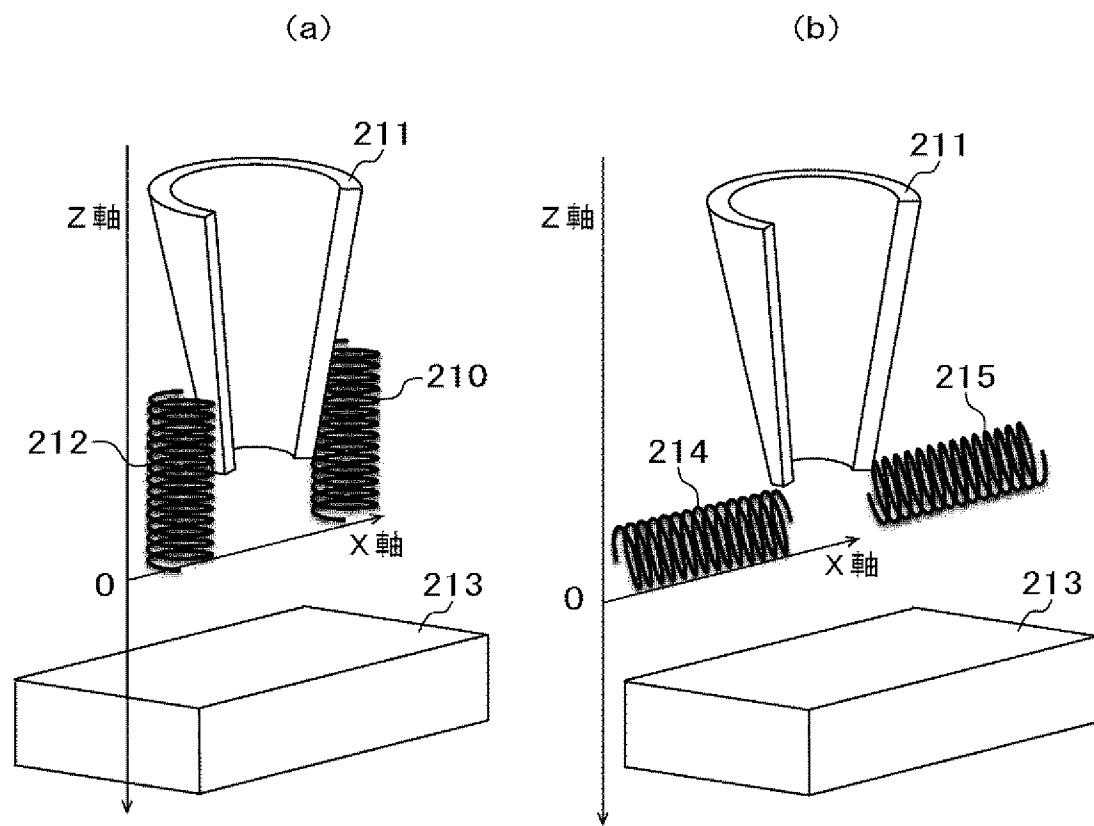
[図2]

図 2



[図3]

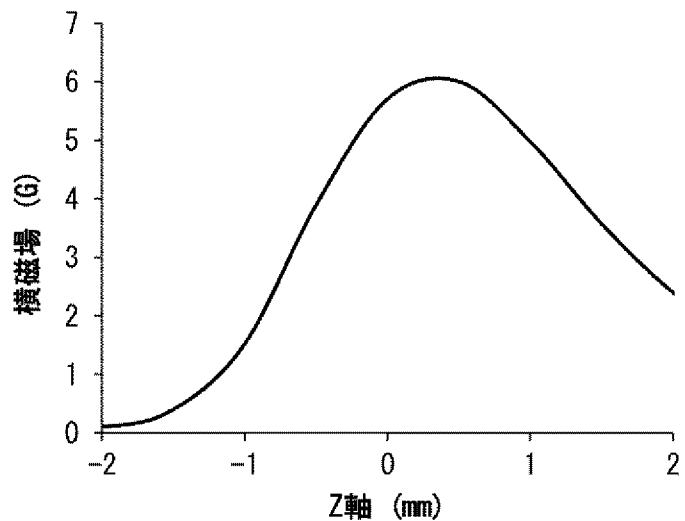
図 3



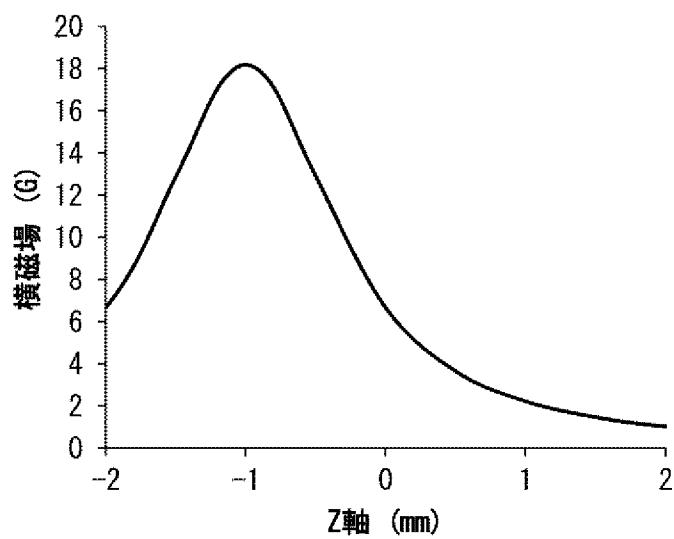
[図4]

図 4

(a)

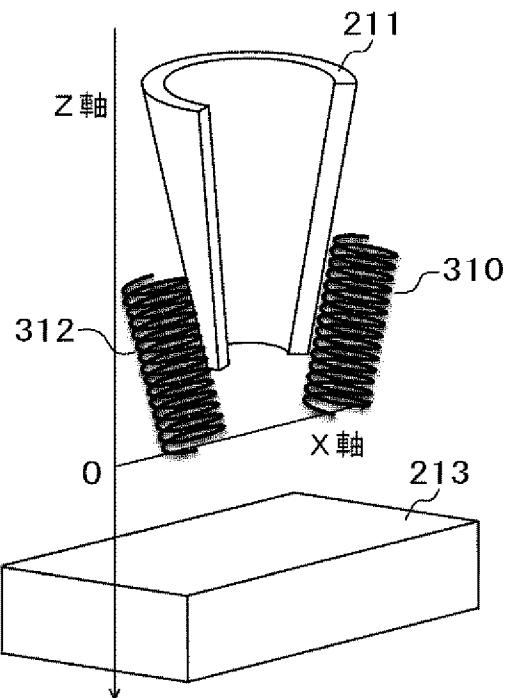


(b)



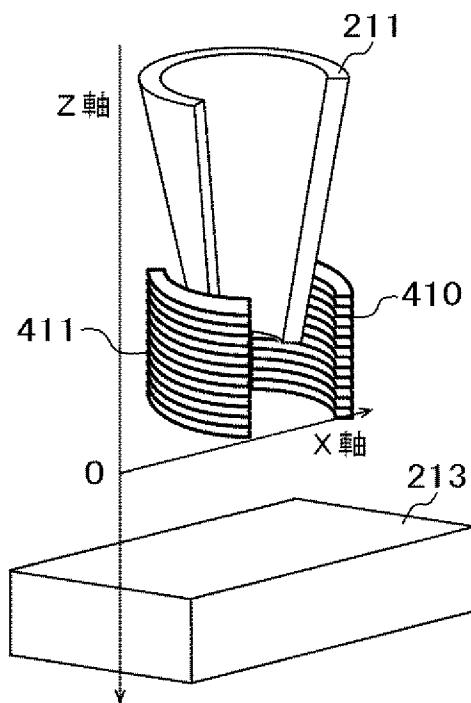
[図5]

図 5



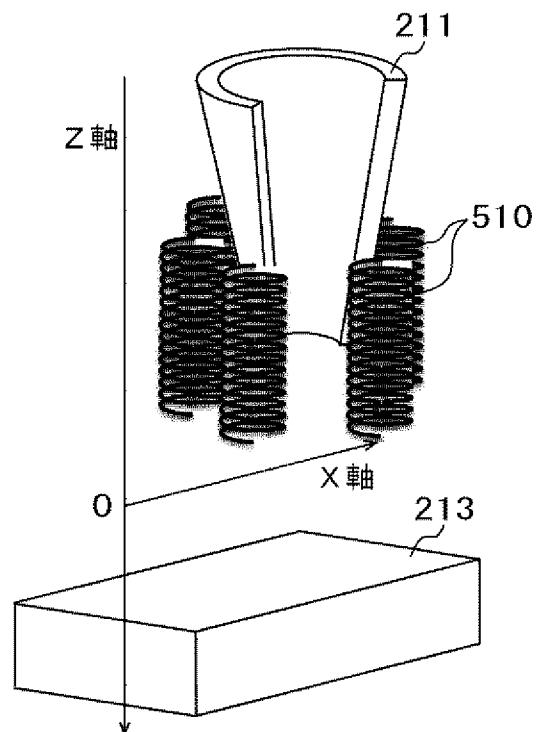
[図6]

図 6



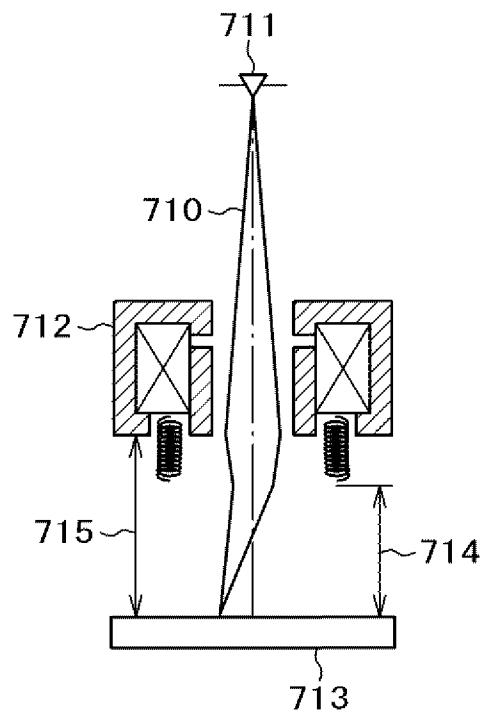
[図7]

図 7



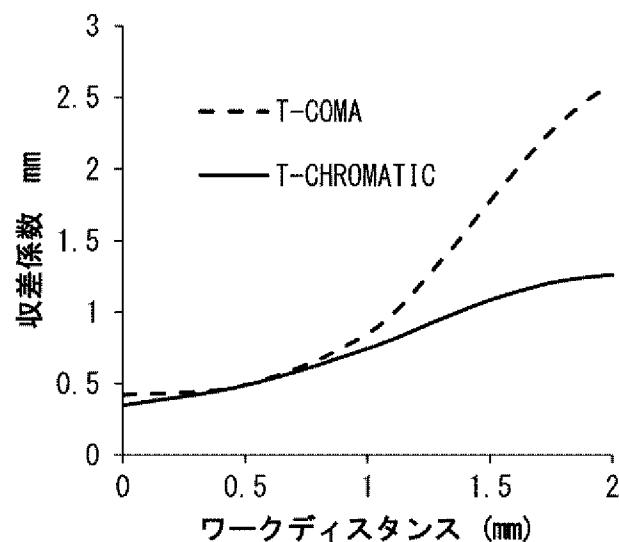
[図8]

図 8



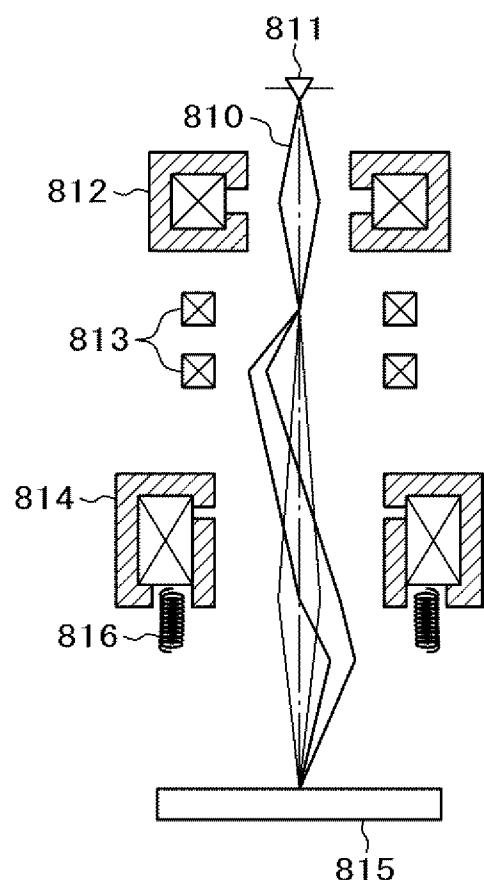
[図9]

図 9



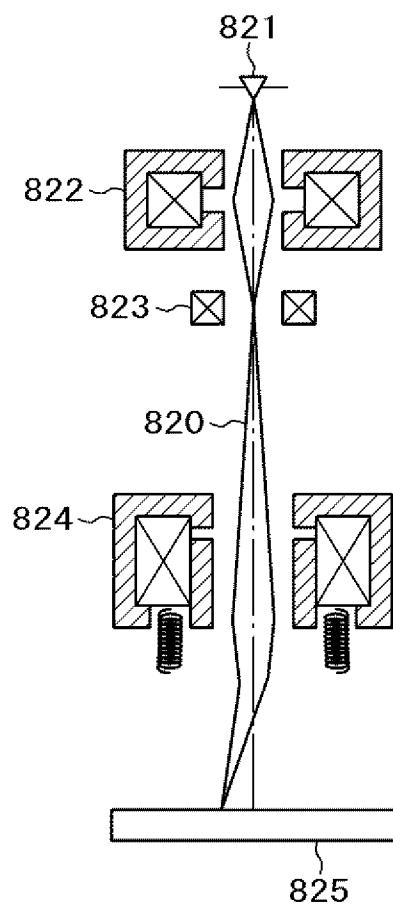
[図10]

図 10



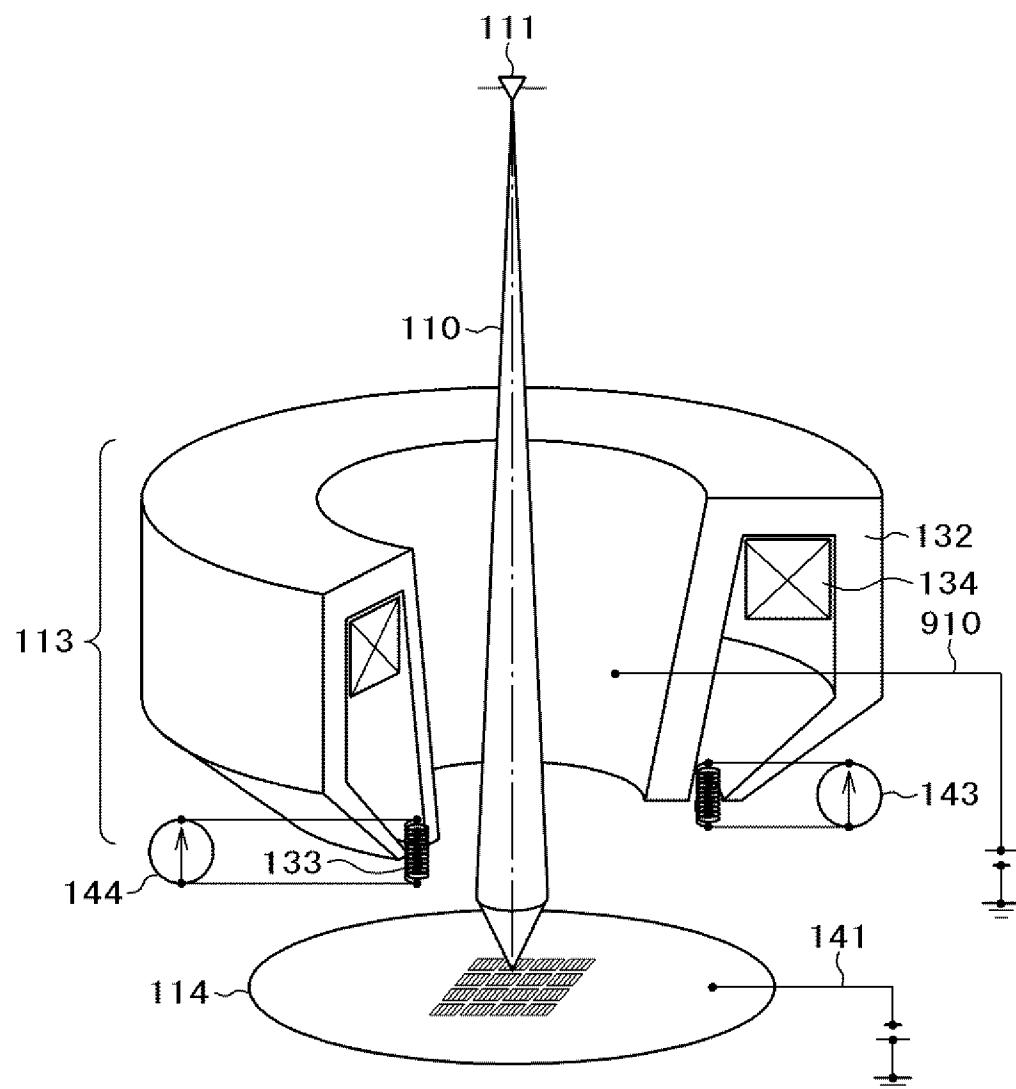
[図11]

図 11



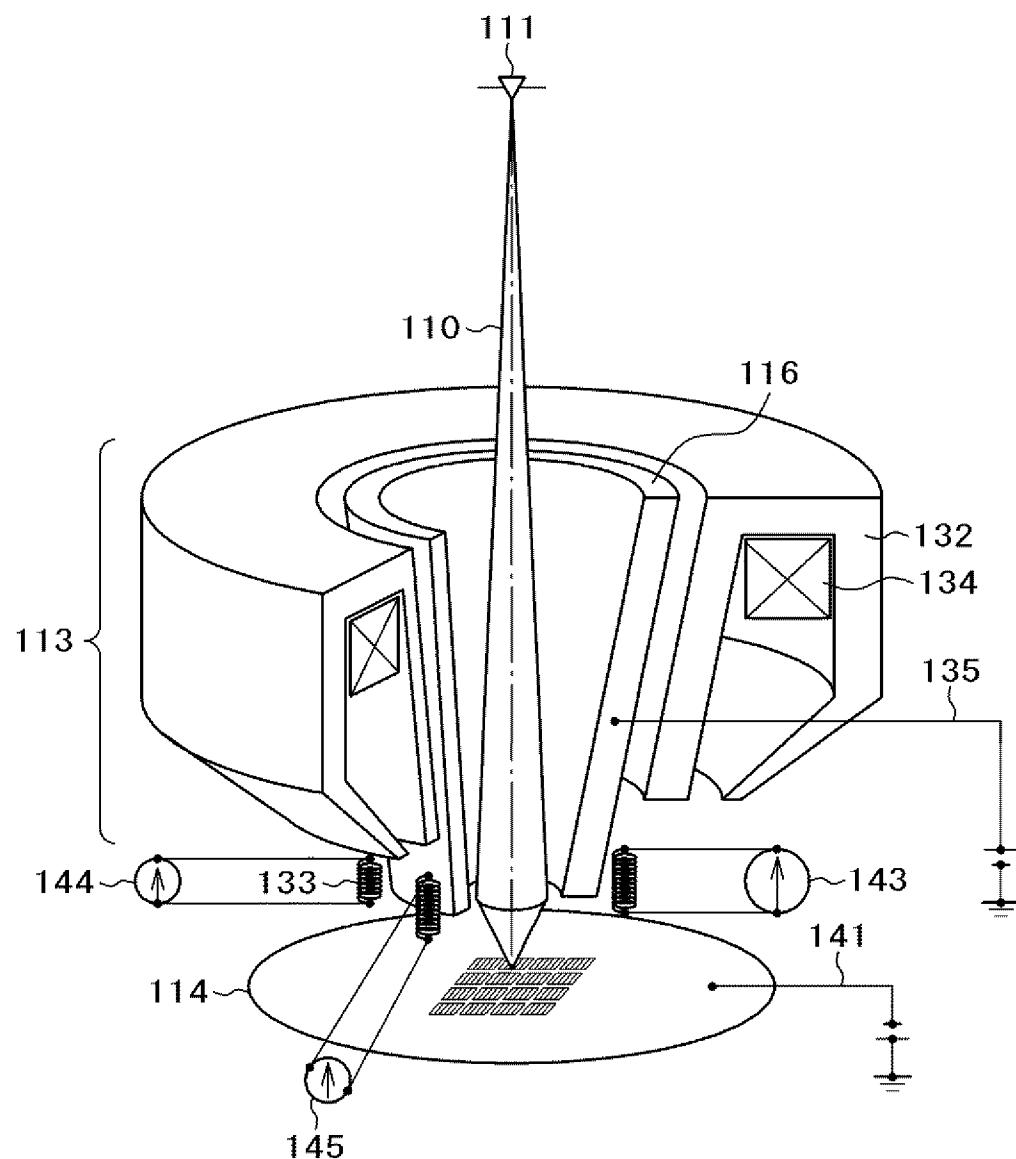
[図12]

図 12



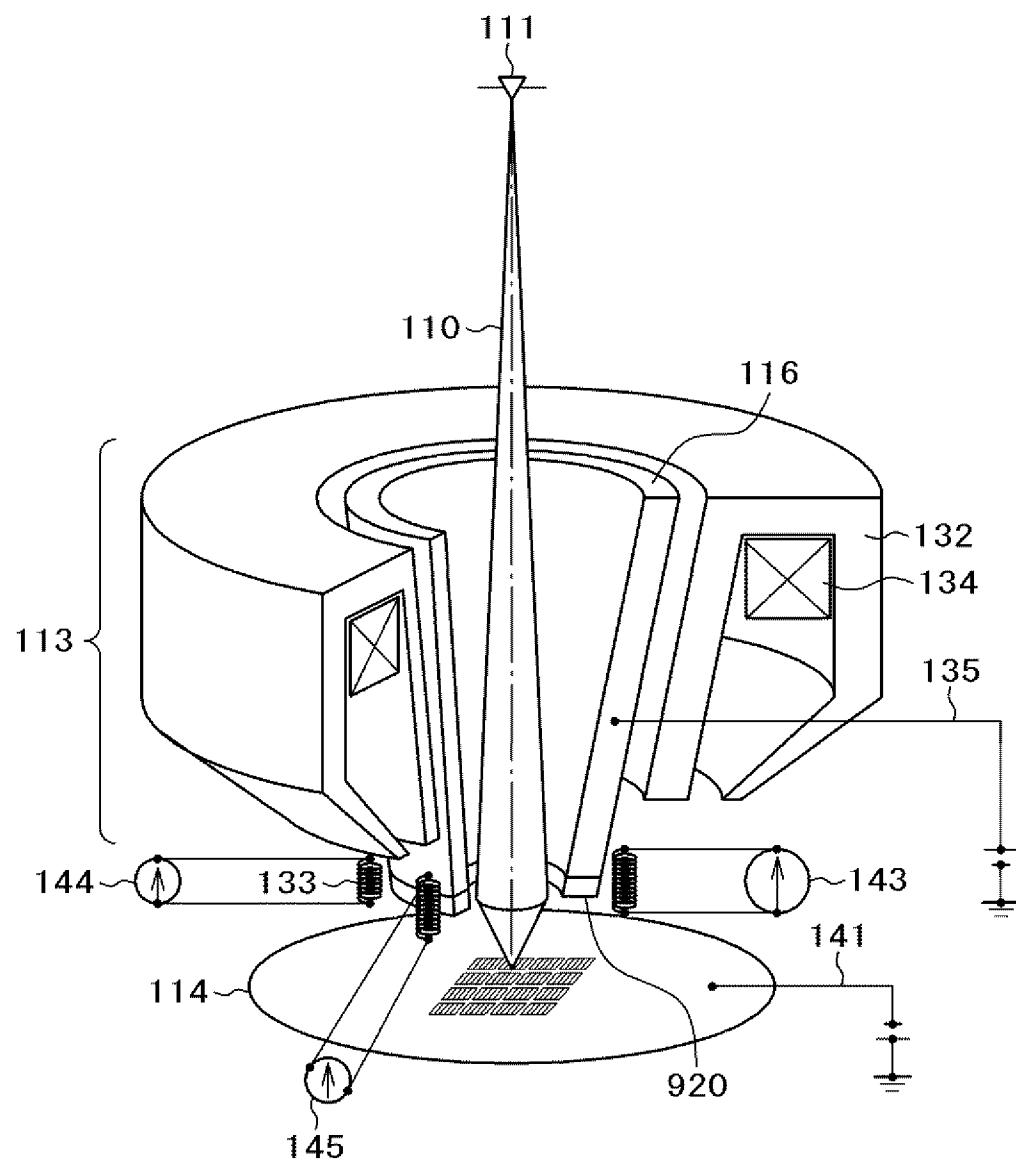
[図13]

図13



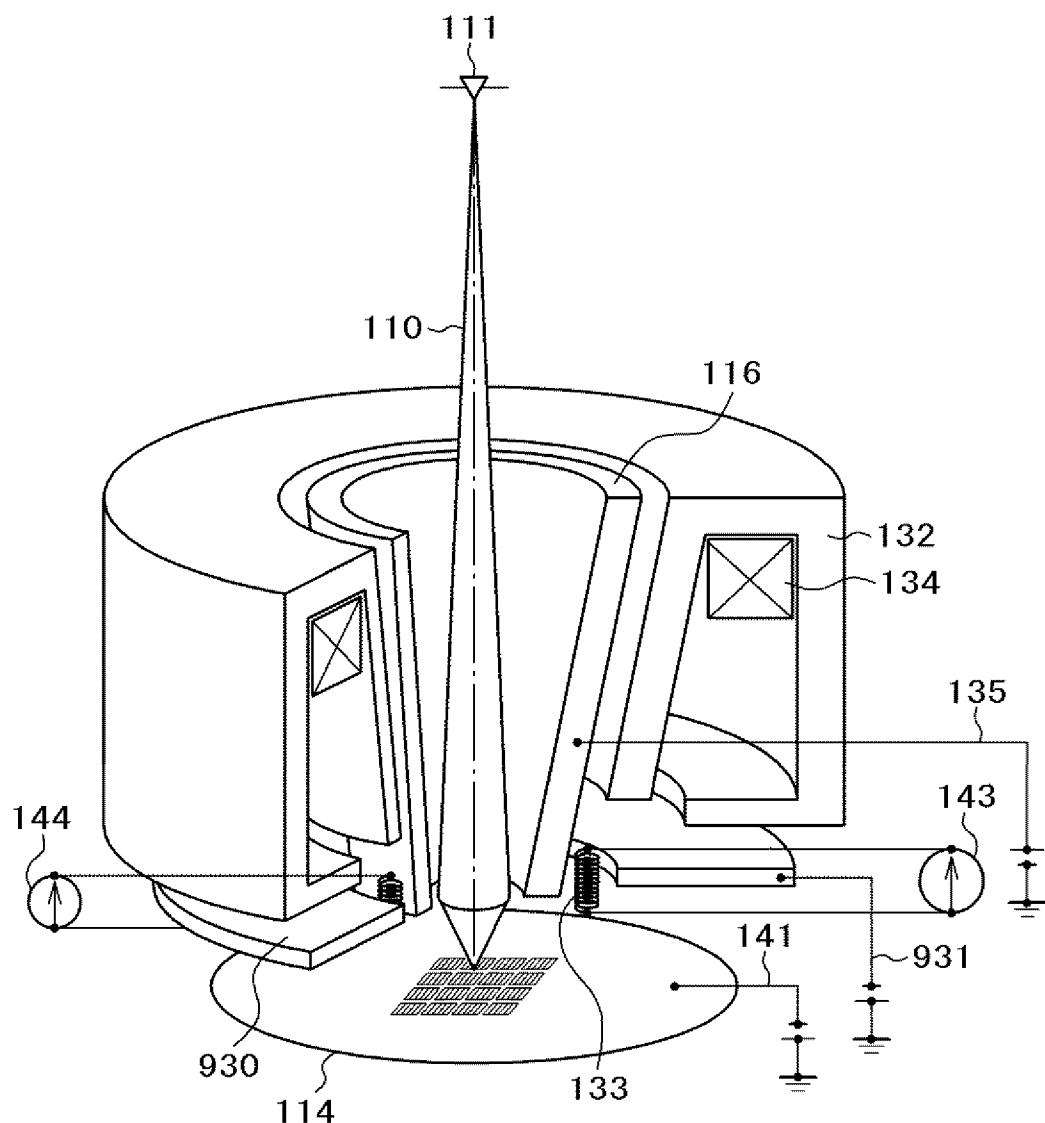
[図14]

図 14



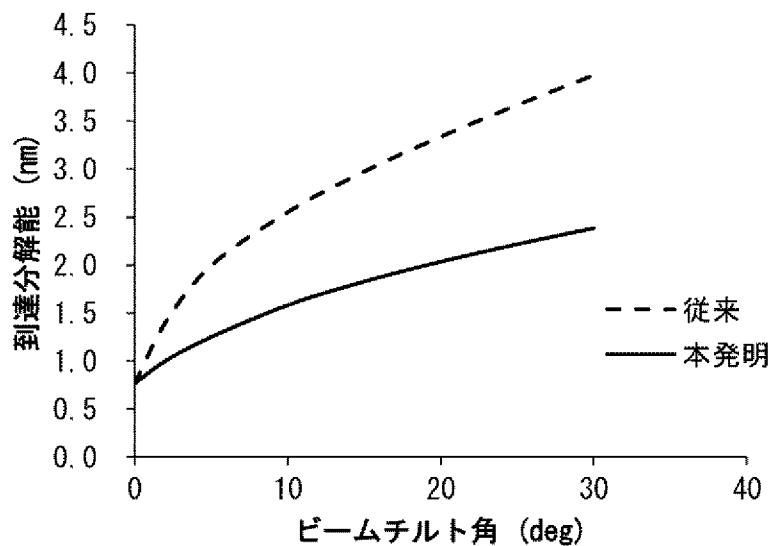
[図15]

図15



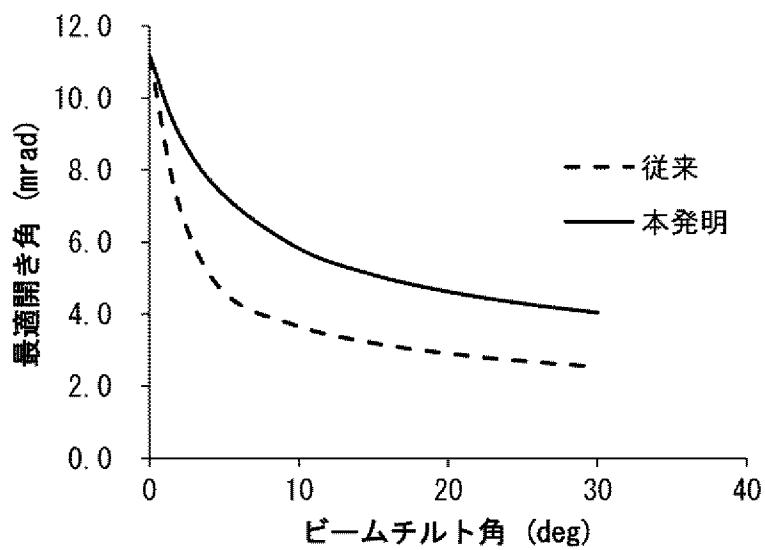
[図16]

図 1 6



[図17]

図 1 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/078459

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01J37/141(2006.01)i, H01J37/147(2006.01)i, H01J37/28(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01J37/141, H01J37/147, H01J37/28

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-49836 A (JEOL Ltd.), 04 March 2010 (04.03.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-15
A	JP 2001-273861 A (Toshiba Corp.), 05 October 2001 (05.10.2001), entire text; all drawings & US 2001/0025925 A1	1-15
A	JP 2004-294613 A (SII NanoTechnology Inc.), 21 October 2004 (21.10.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-15

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 November, 2013 (01.11.13)

Date of mailing of the international search report
12 November, 2013 (12.11.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類(国際特許分類(I.P.C.))

Int.Cl. H01J37/141(2006.01)i, H01J37/147(2006.01)i, H01J37/28(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料(国際特許分類(I.P.C.))

Int.Cl. H01J37/141, H01J37/147, H01J37/28

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2013年
日本国実用新案登録公報	1996-2013年
日本国登録実用新案公報	1994-2013年

国際調査で使用した電子データベース(データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2010-49836 A (日本電子株式会社) 2010.03.04, 全文全図 (ファミリーなし)	1-15
A	JP 2001-273861 A (株式会社東芝) 2001.10.05, 全文全図 & US 2001/0025925 A1	1-15
A	JP 2004-294613 A (エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社) 2004.10.21, 全文全図 (ファミリーなし)	1-15

□ C欄の続きにも文献が列挙されている。

□ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献(理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願目前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 01.11.2013	国際調査報告の発送日 12.11.2013
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官(権限のある職員) 桐畠 幸▲廣▼ 電話番号 03-3581-1101 内線 3226