(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3774953号
(P3774953)
(45)発行日　平成18年5月17日(2006.5.17)　(24)登録日　平成18年3月3日(2006.3.3)

(51)Int.Cl.		F I		
H01J 37/04	(2006.01)	H01J	37/04	Z
H01J 37/141	(2006.01)	H01J	37/141	A
H01J 37/145	(2006.01)	H01J	37/145	
H01J 37/147	(2006.01)	H01J	37/147	B
H01J 37/22	(2006.01)	H01J	37/22	502A

請求項の数 12　(全 19 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願平8-275837
(22)出願日　平成8年10月18日(1996.10.18)
(65)公開番号　特開平9-171791
(43)公開日　平成9年6月30日(1997.6.30)
審査請求日　平成13年2月8日(2001.2.8)
(31)優先権主張番号　特願平7-271460
(32)優先日　平成7年10月19日(1995.10.19)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

前置審査

(73)特許権者　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号
(74)代理人　100075096
弁理士　作田　康夫
(72)発明者　戸所　秀男
茨城県ひたちなか市大字市毛８８２番地
株式会社　日立製作所　計測器事業部内
(72)発明者　江角　真
茨城県ひたちなか市大字市毛８８２番地
株式会社　日立製作所　計測器事業部内

審査官　河原　英雄

最終頁に続く

(54)【発明の名称】走査形電子顕微鏡

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

電子源と、電子源から発生した一次電子ビームを試料上に走査する操作偏向器と、前記一次電子ビームを収束する対物レンズと、一次電子ビームの照射により試料から発生する二次信号を検出する二次信号検出器とを含み、試料の二次元走査像を得る操作型電子顕微鏡において、

前記対物レンズの電子ビーム通路に配置された加速円筒に一次電子ビームの後段加速電圧を印加する手段と試料に負電位を印加する手段とを備え、前記加速円筒と試料との間に一次電子ビームに対する減速電界を形成し、前記二次信号検出器を前記加速円筒より前記電子源側の位置に配置し、前記後段加速電圧と前記電子源の電子銃に印加する加速電圧の比率、及び前記試料に印加された負電位と前記電子銃に印加する加速電圧の比率を保って制御することを特徴とする走査形電子顕微鏡。

【請求項２】

前記二次信号検出器は、一次電子ビームを通過させる開口を有する導電性の反射板と、前記反射板で発生した二次電子を吸引する吸引手段と、吸引した二次電子を検出する検出手段を含むことを特徴とする請求項１に記載の走査形電子顕微鏡。

【請求項３】

前記吸引手段は、電界とこれに直交する磁界で作られ、前記電界による一次電子ビームの偏向を前記磁界によって打ち消すことを特徴とする請求項２に記載の走査形電子顕微鏡。

【請求項４】
前記二次信号検出器は、一次電子ビームを通過させる開口を有するマルチチャンネルプレートであることを特徴とする請求項１に記載の走査形電子顕微鏡。
【請求項５】
前記二次電子検出器は、一次電子ビームを通過させる開口を有する蛍光体と前記螢光体の発光を検出する光検出器で構成されたことを特徴とする請求項１に記載の走査形電子顕微鏡。
【請求項６】
前記加速円筒と前記走査偏向器の間に前記二次信号検出器が設けられていることを特徴とする請求項１～５のいずれか１項に記載の走査形電子顕微鏡。
【請求項７】
前記走査偏向器と前記電子源の間に前記二次信号検出器が設けられていることを特徴とする請求項１～５のいずれか１項に記載の走査形電子顕微鏡。
【請求項８】
前記加速円筒と前記走査偏向器の間に第１の二次信号検出器が設けられ、前記走査偏向器と前記電子源の間に第２の二次信号検出器が設けられていることを特徴とする請求項１～５のいずれか１項に記載の走査形電子顕微鏡。
【請求項９】
前記第１又は第２の二次信号検出器の検出信号を用いて、あるいは前記第１及び第２の二次信号検出器の検出信号を演算して走査像を形成することを特徴とする請求項８に記載の走査形電子顕微鏡。
【請求項１０】
前記第１又は第２の二次信号検出器の検出信号を単独で用いるか、あるいは前記第１及び第２の二次信号検出器の検出信号を演算して用いるかの選択を、走査像倍率又は予め与えられた観察条件に応じて自動的に選択することを特徴とする請求項９に記載の走査形電子顕微鏡。
【請求項１１】
前記走査偏向器が静電偏向と磁界偏向の組合せであり、一次電子ビームに対しては所望の偏向を与えるが試料側から吸引された二次信号に対しては偏向を与えないように調整されていることを特徴とする請求項１～１０のいずれか１項に記載の走査形電子顕微鏡。
【請求項１２】
前記対物レンズの磁界が作るレンズ中心と、前記加速円筒と試料の間に形成される静電レンズのレンズ中心が一致していることを特徴とする請求項１～１１のいずれか１項に記載の走査形電子顕微鏡。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、検査する試料表面に電子ビームを走査することで試料表面の形状あるいは組成等を表す二次元の走査像を得る走査形電子顕微鏡に関し、特に低加速電圧領域で分解能の高い走査像を得るのに好適な走査形電子顕微鏡に関する。
【０００２】
【従来の技術】
走査形電子顕微鏡は、加熱形又は電界放出形の電子源から放出された電子を加速し、静電又は磁界レンズで細い電子ビーム（一次電子ビーム）とし、この一次電子ビームを走査偏向器を用いて観察する試料上に走査し、一次電子ビーム照射で試料から二次的に発生する二次電子又は反射電子等の二次信号を検出し、検出信号強度を一次電子ビーム走査と同期して走査されているブラウン管の輝度変調入力とすることで二次元の走査像を得る。一般の走査形電子顕微鏡では、負電位を印加した電子源と接地電位にある陽極間で電子源から放出された電子を加速し、接地電位にある検査試料に電子ビームを走査している。
【０００３】

走査形電子顕微鏡が半導体素子製作のプロセス又は完成後の検査（例えば電子ビームによる寸法測定や電気的動作の検査）に使われるようになった結果、絶縁物を帯電なしに観察できる１０００ボルト以下の低加速電圧で１０ｎｍ以下の高分解能が要求されるようになってきた。

【０００４】

【発明が解決しようとする課題】

低加速電圧領域で高分解能化を阻害している要因は、電子源から放出される電子ビームのエネルギーのバラツキを原因とする色収差による電子ビームのぼけである。低加速電圧の走査形電子顕微鏡では、この色収差によるぼけを小さくするため、放出される電子ビームのエネルギーのバラツキの小さい電界放出形の電子源が主に用いられている。しかし、電界放出形の電子源をもってしても、５００ボルトでの空間分解能は１０～１５ｎｍが限界で、ユーザの要求を満たせないものとなっている。

【０００５】

この問題の解決策として、電子源と接地電位にある陽極間での一次電子ビームの加速は最終の加速電圧より高い電圧値に設定し、接地電位にある対物レンズと負電位を印加された検査試料の間で一次電子を減速することで最終の低加速電圧へ設定する方法がある（参照：アイ・トリプルイー，第９回アニュアルシンポジュウム　オン　エレクトロン　イオン　アンド　レーザ　テクノロジーのプロシーデング，１７６～１８６頁，IEEE ９th Annual Symposium on Electron, Ion and Laser Technology）。

【０００６】

この方法の効果はすでに実験で確認されているが、試料に高電圧が印加されているため、二次電子が減速電界で鏡体内に引き込まれ検出することが困難であること、絶縁性の高い試料ステージを必要とすることから、市販装置に採用された例はほとんどない。

【０００７】

【課題を解決するための手段】

本発明は前述した課題に対するブレイクスルーを提供するものである。本発明では、対物レンズと試料との間に印加された電界で対物レンズの開口内に吸引された二次電子又は反射電子等の二次信号を対物レンズを通過した後に検出する手段を設けることで二次信号検出の問題を解決し、また、対物レンズ通路に後段加速手段を設けることで試料に印加する負電位を実用可能な値にまで低下させ、市販装置に採用できる構造としたものである。

【０００８】

すなわち、本発明は、電子源と、電子源から発生した一次電子ビームを試料上に走査する走査偏向器と、一次電子ビームを収束する対物レンズと、一次電子ビームの照射により試料から発生する二次信号を検出する二次信号検出器とを含み、試料の二次元走査像を得る走査形電子顕微鏡において、対物レンズの電子ビーム通路に配置された加速円筒と、加速円筒に一次電子ビームの後段加速電圧を印加する手段と、加速円筒と試料の間に一次電子ビームに対する減速電界を形成する手段とを備え、二次信号検出器を加速円筒より電子源側の位置に配置したことを特徴とする。

【０００９】

本発明によれば、二次電子又は反射電子の検出が困難であった問題，試料に電圧が高い電位が印加されることに起因する取扱いの問題を解決することができ、低加速電圧の領域において色収差を軽減した走査形電子顕微鏡を実現することができる。

【００１０】

二次信号検出器は、一次電子ビームを通過させる開口を有する導電性の反射板と、前記反射板で発生した二次電子を吸引する吸引手段と、吸引した二次電子を検出する検出手段を含むことができる。吸引手段は電界とこれに直交する磁界で作り、電界による一次電子ビームの偏向を磁界によって打ち消すようにすることができる。この方式の二次信号検出法は、加速円筒を設けない場合、又は加速円筒を０Ｖ（接地電位）とした場合にも適用可能である。

【００１１】

二次信号検出器は、一次電子ビームを通過させる開口を有するマルチチャンネルプレートで構成してもよいし、一次電子ビームを通過させる開口を有する蛍光体と螢光体の発光を検出する光検出器で構成してもよい。

【００１２】

二次信号検出器の設置場所は、加速円筒と走査偏向器の間、走査偏向器と電子源の間のいずれか一方又はその両方とすることができる。２箇所に二次信号検出器を設けた場合には、そのいずれか一方の検出信号を用いて走査像を形成することもできるし、２つの検出器の検出信号を演算して走査像を形成することもできる。いずれの方法によって走査像を形成するかは、走査像倍率又は予め与えられた観察条件に応じて自動的に選択するようにしてもよい。この２個の二次信号検出器を用いる方式も、加速円筒が設けられていない場合、又は加速円筒を０Ｖ（接地電位）とした場合に適用可能である。

【００１３】

一次電子ビームの走査偏向器は、静電偏向と磁界偏向を組合せることで、一次電子ビームに対しては所望の偏向を与えるが試料側から吸引された二次信号に対しては偏向を与えないようにすることができる。この静電偏向と磁界偏向を組合せる偏向方法は、加速円筒が設けられていない場合にも適用できる。

【００１４】

加速円筒に印加する後段加速電圧と電子源に印加する電子銃電圧の比、及び試料に印加する電圧と電子源に印加する電子銃電圧の比を一定に保ちながら後段加速電圧及び試料印加電圧を制御すると、試料から発生した二次信号のクロスオーバー点を一定位置に維持することが可能である。

【００１５】

対物レンズの磁界が作るレンズ中心と、加速円筒と試料の間に形成される静電レンズのレンズ中心を一致させることで、減速電界によって形成される静電レンズ作用による走査像の歪をなくすことができる。

【００１７】

【発明の実施の形態】

図１は、本発明による走査形電子顕微鏡の実施例の概略図である。電界放出陰極１と引出電極２との間に引出電圧３を印加すると、放出電子４が放出される。放出電子４は、引出電極２と接地電位にある陽極５の間でさらに加速（減速の場合もある）される。陽極５を通過した電子ビームのエネルギー（加速電圧）は電子銃加速電圧６と一致する。本発明では、この陽極５を通過した一次電子ビーム７を、さらに対物レンズ８を貫通して設けられた加速円筒９で後段加速する。対物レンズ８内を通過するときの電子ビームのエネルギーは、電子銃加速電圧６と加速円筒９に印加される後段加速電圧１０の和になる。この後段加速された一次電子ビーム１１を試料１２に印加した負の重畳電圧１３で減速し、所望の加速電圧にする。この方法の実質の加速電圧は後段加速電圧１０に関係なく、電子銃加速電圧６と重畳電圧１３の差になる。

【００１８】

陽極５を通過した一次電子ビーム７はコンデンサレンズ１４，上走査偏向器１５，下走査偏向器１６で走査偏向を受けた後、対物レンズ８の通路に設けられた加速円筒９でさらに後段加速電圧１０の加速を受ける。後段加速された一次電子ビーム１１は、対物レンズ８で試料１２上に細く絞られる。対物レンズ８を通過した一次電子ビーム１１は、対物レンズ８と試料１２間に作られた減速電界１７で減速され、試料１２に到達する。

【００１９】

この構成によれば、対物レンズ８を通過するときの一次電子の加速電圧は、最終的な加速電圧よりも高くなっている。この結果、最終的な加速電圧の一次電子ビームを対物レンズ８に通す場合に比較すると、対物レンズでの色収差が減少し、より細い電子ビーム（高分解能）が得られる。対物レンズ８の一次電子ビームの開き角は、コンデンサレンズ１４の下方に置かれた絞り１８で決められる。絞り１８のセンタリングは調整つまみ１９で行う。図では機械的な調節を行っているが、絞り１８の前後に静電又は磁界偏向器を設け、電

子ビームを偏向させて調整してもよい。

【００２０】

対物レンズ８で細く絞られた電子ビームは上走査偏向器１５と下走査偏向器１６で試料１２上を走査されるが、このとき上走査偏向器１５と下走査偏向器１６の偏向方向と強度は、走査した電子ビームが常に対物レンズ８の中央を通るように調整されている。試料１２は重畳電圧１３が印加された試料ホルダ２０の上に固定されている。試料ホルダ２０は絶縁台２１を介して試料ステージ２２に載せられ、水平位置の調整が可能になっている。

【００２１】

一次電子ビーム１１が試料１２を照射することで二次電子２３が発生する。対物レンズ８と試料１２間に作られた減速電界１７は二次電子２３に対しては加速電界として働くため、対物レンズ８の通路内に吸引され、対物レンズ８の磁界でレンズ作用を受けながら昇っていく。対物レンズ８内を通過した二次電子２３は対物レンズ８と下走査偏向器１６の間に置かれた吸引電極２４の横方向電界で吸引され、吸引電極２４のメッシュを透過した後、１０ｋＶ（正電位）が印加されたシンチレータ２５で加速され、シンチレータ２５を光らせる。発光した光はライトガイド２６で光電子増倍管２７に導かれ電気信号に変換される。光電子増倍管２７の出力はさらに増幅され、ブラウン管（図示せず）の輝度変調入力になる。

【００２２】

この構成の特徴は、コンデンサレンズ１４，絞り１８，対物レンズ８を通過するときの電子ビームの加速電圧は最終のエネルギーよりも高いことであり、特に色収差を支配する対物レンズ８を通過するときは更に後段加速が加わっていることである。典型的な例では、電子銃加速電圧：１０００ボルト，後段加速電圧：１０００ボルト，試料１２への負の重畳電圧：５００ボルトで、実質の加速電圧：５００ボルトである。対物レンズ８を通過するときは２０００ボルトになっているため色収差は約５０％に減少し、加速電圧を５００ボルトとした場合には１５ｎｍであったビーム径（分解能）が、７ｎｍに改善される。

【００２３】

前述の実施例では、二次電子２３を吸引電極２４で電子通路外に取り出して検出していた。この方法は重畳電圧１３が高くなると二次電子２３のエネルギーが高くなるため、それに相応して吸引電極２４に与える電圧を高くする必要がある。その結果、一次電子ビーム（陽極５を通過した一次電子ビーム７）をも偏向してしまう問題が生じる。

【００２４】

図２に示す反射板を用いた実施例は、上述の問題を解決し、高効率の検出を可能にする。本実施例では、電子線通路に中央孔２８のある反射板２９を設ける。反射板は、金，銀，白金等、電子照射によって二次電子を発生しやすい材料が表面にコーティングされている。陽極５を通過した一次電子ビーム７は反射板２９の中央孔２８を通過した後、加速円筒９に入る。中央孔２８の径は、走査偏向器１５，１６で偏向した電子ビームが反射板２９に衝突しない大きさに設定される。試料１２で発生し重畳電圧１３で加速された二次電子２３は、対物レンズ８のレンズ作用で発散しながら加速円筒９を通過し、反射板２９の裏面に衝突する。二次電子と軌道は異なるが、試料１２で発生した反射電子も同様に反射板２９の裏面に衝突する。

【００２５】

反射板２９の裏面で作られた二次電子３０は吸引電極２４の電界で吸引され、図１と同様にシンチレータ２５，ライトガイド２６，光電子増幅管２７を経て電気信号に変換される。この方式の特長は、試料に印加する重畳電圧１３が高く二次電子２３の加速が高くなっても、検出しているのは加速を受けていない反射板２９で作られた二次電子３０であるため、吸引電極２４に与える電圧が低くてよいことである。そのため、吸引電極２４の発生する電界が陽極５を通過した一次電子ビーム７に与える影響を小さくすることができる。ここでは吸引された二次電子の検出にシンチレータ２５を用いたが、チャンネルプレートやマルチチャンネルプレート等の電子検出増幅器を用いてもよい。

【００２６】

図３は、反射板２９で作られた二次電子３０を吸引する電界Ｅと直交して磁界Ｂを印加した例である。この構造にすると、前述した吸引電界Ｅによる一次電子ビームの偏向を補正することができる。すなわち、陽極５を通過した一次電子ビーム７の偏向を磁界Ｂによる偏向で補正する。ここで３１′，３１″は吸引電界を作る電界偏向電極で、３１″は二次電子３０が透過できるようにメッシュになっている。３２′，３２″は直交磁場偏向コイルである（磁界Ｂを発生するコイル３２′，３２″は、図にはシンボリックに表示してある）。この直交磁場偏向コイル３２′，３２″が作る磁界Ｂは電界Ｅと直交し、磁界Ｂの強さは加速された電子ビーム７が受ける電界Ｅによる偏向を打ち消すように調整されている。この実施例では直交磁場偏向コイル３２を一組としているが、直交磁場偏向コイルを角度を持って配置された二組とすれば、各組のコイルに流す電流等を調整することによって電界との直交度を厳密に調整することができる。直交磁場偏向コイル３２を二組とする代わりに電界偏向電極を二組として電界の方向を調整しても、電界と磁界の直交度を厳密に調整することが可能であることは言うまでもない。

【００２７】

なお、図２及び図３に示した反射板２９を用いる二次信号検出法は、加速円筒９が設けられていない場合、あるいは加速円筒９を接地した場合にも有効に動作する。

【００２８】

図４は、二次信号検出器を上走査偏向器１５の上方に設けた実施例を示す。図では二次信号検出器が上走査偏向器１５と絞り１８の間に設けられている。図２と同様に反射板２９に中央孔２８が設けられているが、ここでは一次電子ビームはまだ走査偏向をされていないため、中央孔２８の大きさは最小一次電子ビームの開口角を制限する絞り１８と同じ径であっても良い。図の実施例では、絞り１８の下方に直径０.１㎜ の中央孔２８を持った反射板２９が設置されている。絞り１８と反射板２９を共用することも可能である。

【００２９】

反射板２９を走査偏向器の下方に設置した場合には、その中央孔２８の径は偏向した電子ビームが衝突しない大きさに設定されていた。中央孔２８の大きさを典型的な例で比較すると、下方に設置した場合は３～４㎜の大きさが必要であるが、上方に設置した場合には０.１㎜ 以下でよい。このように、反射板を走査偏向器の上方に設置すると反射板の中央孔を充分小さくできることから、二次電子の反射板による捕獲効率が向上する。

【００３０】

図４の実施例では、試料１２は対物レンズ８の磁極ギャップ内に置かれている。この配置は対物レンズ８の色収差係数を小さくするもので、より高分解能を追及する形状である。試料ステージ２２も対物レンズ８内に設けられる。

【００３１】

図５は、走査偏向器の上方と下方の両位置に二次信号検出器を設けた実施例である。上走査偏向器１５の上に上検出器３３が、下走査偏向器１６と加速円筒９の間に下検出器３４が設けられている。上検出器３３及び下検出器３４は、図３及び図４に示すように、それぞれ反射板２９ａ，２９ｂ，電界偏向電極３１ａ，３１ｂ，直交磁界偏向コイル３２ａ，３２ｂ，シンチレータ２５ａ，２５ｂ，ライトガイド２６ａ，２６ｂ，光電子増倍管２７ａ，２７ｂを備える。

【００３２】

この実施例では、下検出器３４の反射板２９ｂの中央孔２８ｂを通り抜けた二次電子又は反射電子を上検出器３３で検出することができる。上検出器３３で検出される二次信号は試料１２から垂直方向に出射した二次電子と反射電子を多く含むことから、下検出器３４とはコントラストの異なった像が得られる。例えば、半導体素子の製造プロセスにおけるコンタクトホールの検査において、下検出器３４を用いると周囲からコンタクトホールの部分を強調した像が得られ、上検出器３３を用いるとコンタクトホールの底部の精細な像が得られる。また、両検出器３３，３４の信号を演算することにより試料の特徴を強調したコントラストを作ることも可能である。

【００３３】

走査像を上下どちらの検出器の出力で作るかは、操作者の選択で行うこともできるが、予め決められた条件で自動的に選択するようにしても良い。例えば観察倍率が２０００倍以下では下検出器３４を選択し、それより高い倍率では上検出器３３を選択する。また、観察する試料によって選択するようにしても良い。この場合には、観察する試料の種類を装置に入力する等の手続きを行う。例えば、半導体素子のコンタクトホールの観察が入力された場合には、ホール内部を強調する上検出器３３を自動的に選択し、表面のレジストを観察する場合には下検出器３４を選択する。

【００３４】

なお、図４又は図５に示した実施例において、加速円筒９を除去、あるいは加速円筒９を接地しても、その効果は大きく、十分実用的である。

【００３５】

図６は、マルチチャンネルプレート検出器を用いて二次信号を検出する実施例である。マルチチャンネルプレート３５は円板状で、一次電子ビームを通す中央孔２８が設けられている。また、マルチチャンネルプレート３５の下方にはメッシュ３７が設けられ、接地されている。このような構成において、陽極５を通過した一次電子ビーム７はマイクロチャンネルプレートの中央孔２８を通過した後、対物レンズで収束されて試料に照射される。試料で発生した二次電子２３は、メッシュ３７を通過してチャンネルプレート３５に入射する。チャンネルプレート３５に入射した二次電子２３は、チャンネルプレート３５の両端に印加された増幅電圧３８で加速，増幅される。増幅された電子３９はアノード電圧４０でさらに加速されてアノード４１に捕獲される。捕獲された二次電子信号は増幅器４２で増幅された後、光変換回路４３で光信号４４に変換される。光信号４４に変換するのは、増幅器４２がチャンネルプレート本体３５の増幅電圧３８でフローテングになっているためである。光信号４４は接地電位の電気変換回路４５で再び電気信号に変換され、走査像の輝度変調信号として利用される。

【００３６】

ここで、アノード４１を２分割あるいは４分割として二次電子２３の放出方向の情報を得ることも可能である。この場合、増幅器４２，光変換回路４３，電気変換回路４５が分割に相当する数だけ必要であること、分割された信号を演算する信号処理が行われることはいうまでもない。

【００３７】

図７は、単結晶シンチレータを利用して二次信号を検出する実施例である。図７において単結晶シンチレータ４６は、例えば円柱状のＹＡＧ単結晶を斜めに切断し、その切断面に一次電子ビームを通過させるための開口部４７を設けたものであり、その先端部には金属又はカーボン等の導電性薄膜４８がコーティングされ、導電性薄膜４８は接地されている。試料１２から発生した二次電子２３がシンチレータ４６を照射することで発光した光は、斜め部分で反射し、円柱の部分が構成するライトガイドで光電子増倍管２７に導かれ検出，増幅される。なお、本実施例ではシンチレータ４６の発光部とライトガイドを共にＹＡＧ単結晶により構成するものとして説明したが、二次電子を検出する発光部のみをＹＡＧ単結晶あるいは螢光体とし、ライトガイドをガラスや樹脂などの透明体で構成するようにしても良い。

【００３８】

図７を用いて二次信号検出を効率的に行う制御法について述べる。二次信号（例えば二次電子）２３は対物レンズ８の磁場内を通過するためレンズ作用を受け、二次電子のクロスオーバ４９が作られる。もし、レンズ作用で二次電子がシンチレータ４６の開口４７に焦点を結ぶと、ほとんどの二次電子が開口４７を通過してしまい検出できなくなる。そこで焦点を反射板前後に結ぶように調整し、検出効率を上げている。実施例では、加速電圧（実質の加速電圧）を変えたときに二次電子の焦点位置を変化させないように、後段加速電圧、試料に印加する重畳電圧を制御している。

【００３９】

磁界レンズの焦点距離は、レンズコイルに流す電流をＩ、コイルの巻数をＮ、レンズ磁界

を通過するときの電子の加速電圧をＶとして、変数Ｉ・Ｎ／Ｖ1/2 の関数である。一次電子がレンズ磁界を通過するときの加速電圧は、Ｖｏを電子銃加速電圧、Ｖｂを加速円筒に印加する後段加速電圧とするとき、(Ｖｏ＋Ｖｂ)である。試料位置（焦点距離）が一定であることから、Ｉ・Ｎ／(Ｖｏ＋Ｖｂ)1/2は常に一定値（＝ａ）になる。二次電子がレンズ磁界を通過するときの加速電圧は、試料に印加する重畳電圧をＶｒとするとき、（Ｖｒ＋Ｖｂ）で、変数Ｉ・Ｎ／Ｖ1/2は次式で表される。

【００４０】

$$I\cdot N/V1/2=a\ (Vo+Vb)\ 1/2/\ (Vr+Vb)\ 1/2$$
$$=a\ \{1+(Vb/Vo)\}\ 1/2/\ \{(Vr/Vo)+(Vb/Vo)\}\ 1/2$$

この式から、Ｖｒ／Ｖｏ，Ｖｂ／Ｖｏ比を一定で制御すれば、二次電子の焦点位置は一定になる。すなわち、Ｖｒ／Ｖｏ，Ｖｂ／Ｖｏ比を一定として後段加速電圧Ｖｂ及び試料の重畳電圧Ｖｒを制御すれば、加速電圧（実質の加速電圧）に依存することなく二次電子の焦点位置を一定に制御できる。

【００４１】

図８は、試料面に印加される電界を制御する制御電極を付加した例である。対物レンズ８と試料１２の間に制御電極３６が設けられ、これに制御電圧５０が印加されている。この制御電極３６には電子ビームが通過する孔が開いている。この制御電極３６で、加速円筒９と試料１２の間で試料１２の表面に加わる電界強度を制御する。この構成は、試料に強い電界が印加されると不都合な場合に有効である。例えば、半導体集積回路の形成されたウェーハの強電界による素子破損の問題がある場合である。

【００４２】

またウェーハ周辺が酸化膜で覆われている場合の試料ホルダ２０との電気的非接触の問題に有効である。より具体的には試料（ウェーハ）の側面，裏面が絶縁体で覆われてしまうような場合、レターディングのための電気的な接続をすることが出来ない。また試料（ウェーハ）１２は、試料ホルダ２０と対物レンズ８の間で作られた電界中にあり、制御電極がない場合、試料ホルダ２０に印加した重畳電圧１３と接地電位にある対物レンズ８の中間の電位しか印加されないため、正常な観察が出来なくなるからである。

【００４３】

また制御電極３６の電位を重畳電圧１３が印加された試料ホルダ２０の電位と同電位あるいは試料ホルダ２０より数十ボルト正電位とすることで、素子の破損やウェーハが試料ホルダ２０の電位から浮いてしまうことを防ぐことができる。この場合、制御電極３６が常に試料（ウェーハ）を覆うような充分な大きさにする。

【００４４】

図９は制御電極を付加した場合の１例を示す図である。

【００４５】

試料（ウェーハ）１２の上方に一次電子線が通過する開口５９を持った制御電極６０を設け、該制御電極６０に試料ホルダ２０に印加する重畳電圧１３と同一の電圧を印加する。試料ホルダ２０と同一電位の制御電極６０を試料(ウェーハ)１２上に設置すると、ウェーハは同一電位の金属で囲まれることになり、該ウェーハは囲んでいる金属の電位と同電位になる。厳密には陽極５を通過した一次電子ビーム７を通す開口５９からの電界の侵入が金属の電位との誤差になる。この誤差は概略、試料（ウェーハ）１２の面積と開口５９の面積の割合である。例えばウェーハが８インチで開口５９の直径が１０㎜であると、面積比は１／４００で電位の誤差は１％となり十分小さな値となる。

【００４６】

以上のような構成ではウェーハを囲んでいる金属が有する電位と、同じ電位をウェーハに印加することが可能となる。

【００４７】

これにより、表裏面が絶縁膜で覆われているようなウェーハであって、試料ステージなどと電気的な接続ができない場合であっても、レターディングのための電圧を印加することが可能となる。

【００４８】

尚、この実施の形態では試料ホルダ２０の内、少なくとも試料（ウェーハ）１２の下部に位置する部分を重畳電圧１３を印加するための導電体で形成することで、上述の如くウェーハは同一電位の金属で囲まれることになる。試料ホルダはそのものが導電体であっても良く、また試料ホルダ内に導電体を挿入しても良い。

【００４９】

図１０は制御電極を付加した場合の他の１例である。

【００５０】

試料（ウェーハ）１２と対物レンズ８との間に制御電極６０が設置され、該制御電極６０には試料ホルダ２０に印加される重畳電圧１３と同じ電圧が印加されている。これにより、試料（ウェーハ）１２は同一電圧の印加された試料ホルダ２０と制御電極６０で囲まれることになり、前述したように試料(ウェーハ)１２が絶縁膜で覆われていても、重畳電圧１３の電圧を試料（ウェーハ）に印加させることが出来る。

【００５１】

該制御電極６０の開口５９は通常は円形であるが、円形以外でも可能である。該開口５９の大きさは観察しようとする視野を妨げない大きさとする。この実施の態様では開口５９の大きさは直径４㎜である。制御電極６０と試料(ウェーハ)１２との間隔が１㎜なので、直径４㎜の視野があることになる。また減速電界が開口５９を通して、ウェーハまで到達しているため、二次電子を効率よく対物レンズ８上に引き上げることが出来る。開口径を小さくした場合は、減速電界が試料（ウェーハ）１２に到達しないが、ウェーハを傾斜したり、試料に凹凸がある場合にはこのような条件の方がよく、非点収差の発生や視野ずれを低減することが出来る。

【００５２】

試料（ウェーハ）１２の任意の場所を観察するためにステージ２２が設けられている。ここでもし、試料（ウェーハ）１２の中心点から大きく外れたところを観察対象としたとき、試料（ウェーハ）１２を大きく移動させる必要がある。このとき試料（ウェーハ）１２が、制御電極６０から外れると、試料（ウェーハ）１２の電位が変化し、一定のレターディング電圧を印加することが出来なくなる。

【００５３】

この事態に対処するため、この実施の態様では試料（ウェーハ）１２の移動軌道に沿って制御電極を形成している。この構成によりステージ２２によって試料（ウェーハ）１２の位置が変化しても一定のレターディング電圧を印加でき、更に対物レンズ８と試料（ウェーハ）１２間に生ずる電界による素子破壊を防止できる。

【００５４】

また、この実施の態様ではウェーハの移動範囲以上の大きさを持つ制御電極を配置することが望ましい。具体的には８インチウェーハの全面を観察するための制御電極の直径は直径４００㎜の大きさにする。このような構成によってウェーハを如何に移動させても、ウェーハに印加される電圧を一定に保つことができる。

【００５５】

なお、本実施例では制御電極を平板状の電極としたが、メッシュ状，多数の孔あるいはスリットが形成された形状のものとすることによって、真空排気性を向上させることもできる。この場合、孔径，スリット幅はウェーハと制御電極の間隔よりも小さいことが望ましい。

【００５６】

図１０では、一次電子６３ｃが制御電極６０の開口５９を通過し、試料（ウェーハ）１２に照射されると、二次電子６２が発生する。発生した二次電子６２は一次電子６３ｃに対する減速電界で逆に加速されて対物レンズ８の上方に導かれる。この際対物レンズ８の磁

界によって、レンズ作用を受けるため図に示すように焦点を作りながら対物レンズ８上に導かれる。

【００５７】

導かれた二次電子６２は反射板２９に衝突し、二次電子３０を発生させる。この二次電子３０は対向して置かれた負電位の印加された偏向電極３１′と正電位の印加された偏向電極３１″の作る電界で偏向される。偏向電極３１″はメッシュで作られているので二次電子３０はメッシュを通過してシンチレータ２５で検出される。３２″，３２′は偏向コイルであり、偏向電極３１′，３１″の作る電界と直交した磁界を作り、偏向電極３１′，３１″の作る電界による一次電子線ビーム６３ｂの偏向作用を相殺している。

【００５８】

なお、図示していないが制御電極６４を冷却することで一次電子ビーム６３ｃを試料に走査することにより発生する汚染（コンタミネーション）を減少させることも可能である。

【００５９】

図１１は制御電極を付加した場合の更に他の１例である。

【００６０】

電界放射陰極１，引出電極２，陽極５，コンデンサレンズ１４，対物レンズ８，試料１２，試料ホルダ２０，絶縁台２１，試料ステージ２２等の構成要素は真空筐体６６に納められている。尚、真空排気系は図示を省略している。

【００６１】

ここで試料１２に負の重畳電圧が印加されている状態では、試料交換機構６７による試料交換作業や、真空筐体６６内を大気にすることを避けなければならない。換言すれば、電子ビームを試料１２上に走査させているときだけ重畳電圧１３を印加するようにすればよい。

【００６２】

そこでこの実施の態様では試料の装着・交換時の準備動作であるスイッチ６８が閉じて加速電圧６が印加されている第１の条件と、電界放射陰極１と試料１２の間に設けられたバルブ６９，バルブ７０の両者が開いている第２の条件と、試料交換機構６７が試料１２を試料ステージ２２に乗せるために通過するバルブ７１が閉じている第３の条件とが全て満たされたときのみ、スイッチ７２が閉じて試料１２に重畳電圧１３が印加される制御が行われている。

【００６３】

また、試料ホルダ２０と試料ステージ２２は放電抵抗７３を介して電気的に接続されており、スイッチ７２が開放されると試料１２にチャージされた電荷は試料ホルダ２０，放電抵抗７３，試料ステージ２２（試料ステージ２２は接地されている）を介して一定の時定数のもとに速やかに放電され、試料１２の電位が下がるようになっている。放電抵抗は重畳電圧１３の電源に内蔵しても良い。

【００６４】

尚、電界放射陰極１の周囲の真空が設定値以下であるという条件のもとに、陽極５から加速電圧の印加が可能となり、更に真空筐体６６の真空が設定値以上のときのみバルブ６９，７０が開放されるようなシーケンスが組み込まれていることは言うまでもない。

【００６５】

またこの実施の態様では、上述の３つの条件の全ての条件を満足したときに重畳電圧１３が印加されるものとして説明したが、これらのうちの１つ或いは２つの条件が満たされたときにスイッチ７２が閉じるようにしても良い。

【００６６】

図１２は制御電極を付加した場合の更に他の１例であり、試料を傾斜することの出来る試料ステージ２２を持った走査型電子顕微鏡に適用したものである。この実施の態様では制御電極７６は試料７５内の上部上面を覆うように取り付けられている。また見方によっては対物レンズの形状に沿って配置されているともいえる。対物レンズの形状は試料１２の移動を妨げないように形成されており、図１２のように傾斜装置を備えたような装置の場

合、試料１２に向かって先鋭的な形状を有している。このような条件下で形成された対物レンズに沿って制御電極を形成することによって、試料の移動を妨げることなく制御電極を配置することが可能となる。

【００６７】

またこの場合試料（ウェーハ）１２がどの位置，どの傾斜角にあっても試料（ウェーハ）１２が試料ホルダ２０と制御電極７６に包囲されるようになっている。この構成によれば試料（ウェーハ）１２の表面に電界が生じない。２０ａは試料（ウェーハ）１２が傾いた状態を示している。７４は試料ステージ２２に組み込まれた傾斜機構である。この実施の態様では傾斜したときに制御電極７６と試料（ウェーハ）１２の間で作る電界が変化しないように制御電極７６の開口６５の直径は、開口６５と試料１２の距離より小さくすることが望ましい。なお、制御電極７６に印加する電圧を試料１２に印加する電圧より、数十Ｖ正電位とすることで二次電子の検出効率を向上することが出来る。

【００６８】

この際、レターディング用の電圧を試料に印加するという目的上、試料に印加される電圧と、制御電極に印加される電圧に基づく複合的な電界の作用を考慮し、所望の電位が試料に印加されるように、試料と制御電極のそれぞれに印加される電圧を設定することが望ましい。

【００６９】

また開口径を大きくし二次電子を吸引する電界を試料１２に与えることも可能である。この場合は傾斜することにより観察位置ずれが生じるが、予め傾斜角とずれの量を計測し、電子ビームを偏向する。あるいは試料ステージ２２を水平移動させる等の補正を行うことにより、このずれをなくすことも可能である。この実施の形態での制御電極７６は対物レンズ８の特性に影響を与えないように非磁性体の材料で作られている。

【００７０】

なお、この実施の態様では制御電極を試料室の内部を覆うようにして配置しているが、必ずしもこのように配置する必要はない。即ち最低限、試料の移動範囲に沿って形成されていればよく、このような構成によっても試料が、試料ホルダと制御電極に包囲されることになる。なおこれまで試料ホルダを、本願発明で言うところの導電体として説明してきたが、例えば導電体を試料ホルダ上或いは下に配置するようにしても良い。また上述してきた実施の態様の場合、試料以上に導電体を大きく形成することで、試料（ウェーハ）が制御電極と導電体にほぼ包囲され、一定のレターディング電圧を印加することを可能ならしめている。

【００７１】

図１３は制御電極を付加した場合の更に他の１例である。この例では制御電極を対物レンズ８と試料１２の間に接地するのではなく、励磁コイル７８，上磁路７７，下磁路７９から構成される対物レンズ８のなかで、試料１２に対向する位置にある下磁路７９を上磁路７７と電気的に絶縁し、これに重畳電圧１３を印加している。下磁路７９に印加する電位を試料１２より正電位として二次電子を効率よく対物レンズ８上に導くことも可能である。

【００７２】

図１４は、電界と磁界を組合せた電子ビームの走査偏向器を説明する図である。走査偏向器の上に二次電子検出器を設ける場合には、試料で発生した二次電子が走査偏向器を通過するときに走査偏向器で偏向される。このため電子ビームの走査偏向角が大きくなる低倍率時に二次電子の偏向も大きくなり、電子ビーム通路の内壁に衝突してしまい検出できなくなる可能性がある。本実施例はこの問題を解決したものである。走査偏向器は８極の静電偏向器５１ａ～５１ｈと、磁界偏向器５２ａ～５２ｄで構成されている。

【００７３】

いま、ｘ軸方向の偏向について考えると、８極の静電偏向器のうち電極５１ｈ、５１ａ，５１ｂに正電位を、５１ｄ，５１ｅ，５１ｆに負電位を印加して偏向電界Ｅｘを作る。ここで、図１４に示すように、電極５１ａ，５１ｅには大きさＶｘの電位を印加し、その両

側の電極５１ｈ，５１ｂ，５１ｄ，５１ｆにはその１／２1/2 の大きさの電位を印加する。これは均一な電界を作る方法として良く知られた方法である。電界と同時に、磁界偏向器５２のコイル５２ａ，５２ｃに電流Ｉｘを流し、図示するように電界Ｅｘと直交する方向の磁界Ｂｘを作る。この電界Ｅｘと磁界Ｂｘは下方から来る二次電子に対しては偏向を打ち消し、上方からの一次電子に対しては強めあうように働く。

【００７４】

下方から来る二次電子に対する偏向θ(Ｓ)は、下式のように磁界による偏向θ(Ｂ)と電界による偏向θ(Ｅ)の差となる。

【００７５】

$$\theta(S)=\theta(B)-\theta(E)$$

$$=L/8\cdot Ex/Vr-(e/2m)^{1/2}BxL/Vr^{1/2}$$

ここで、Ｌは電界と磁界の作用距離、ｅとｍはそれぞれ電子の電荷と質量、Ｖｒは二次電子が走査偏向器を通過するときの加速電圧である。ＥｘとＢｘの比を下式とすると、下方から来る二次電子は偏向を受けないことになる。

【００７６】

Ｂｘ／Ｅｘ＝（２ｍ／ｅ）1/2／８Ｖｒ1/2

一方、一次電子の偏向に関しては、磁界偏向に電界偏向が加算され、下式のようになる。式中、Ｖｏは電子銃加速電圧である。

【００７７】

$$\theta(o)=\theta(B)+\theta(E)$$

$$=(e/2m)^{1/2}BxL/Vo^{1/2}+L/8\cdot Ex/Vo^{1/2}$$

従って、二次電子を偏向しない条件での偏向角θ(ｏ)は下式のようになる。

【００７８】

θ(ｏ)＝（ｅ／２ｍ）1/2ＢｘＬ｛１＋（Ｖｒ／Ｖｏ）1/2｝／Ｖｏ1/2

ここまではｘ軸方向への偏向について説明した。ｙ軸方向への偏向も同様にして行う。すなわち、電極５１ｃの電位をＶｙに、電極５１ｂ，５１ｄの電位をＶｙ／２1/2 にし、電極５１ｇの電位を－Ｖｙに、電極５１ｆ，５１ｈの電位を－Ｖｙ／２1/2 にして、ｙ軸方向の偏向電界Ｅｙを発生する。同時に、磁界偏向器のコイル５２ｂ，５２ｄに電流Ｉｙを流して電界Ｅｙと直交する磁界Ｂｙを発生する。この電界Ｅｙと磁界Ｂｙは、前述と同様に、下方から来る二次電子に対しては偏向を打ち消し、上方から来る一次電子に対しては強め合うような大きさとされる。

【００７９】

実際にはｘ軸方向への偏向とｙ軸方向への偏向とを組み合わせた偏向を行う。従って各偏向電極の電位は、図１４に図示したように、ｘ軸方向への偏向電位とｙ軸方向への偏向電位を足し合わせたものとなる。なお、実際の装置では、この偏向器を上走査偏向器と下走査偏向器の２段とし、偏向した一次電子が対物レンズのレンズ中心を通るようにする。そして、偏向電極の電位Ｖｘ，Ｖｙ及び偏向コイル電流Ｉｘ，Ｉｙを上記の関係を維持しながら時間変化させることにより試料上で所望の一次電子ビームの走査が実現される。

【００８０】

次に、磁界形対物レンズのレンズ中心と、加速円筒と試料の間で作られる静電レンズのレンズ中心の関係について説明する。図１５（ａ）は、磁界形対物レンズ８の中心ＣＢと加速円筒９と試料１２の間に形成される静電レンズの中心ＣＥが一致していない場合の問題点を説明する図である。この場合、後段加速された一次電子ビーム１１は磁界レンズの中心ＣＢを通るように偏向されるが、静電レンズの中心ＣＥからは距離ｄだけずれて通過する。ずれ量ｄが大きくなると静電レンズのレンズ作用に球面収差が加わり、走査像が歪んでしまう。

【００８１】

図１５（ｂ）は、磁界形対物レンズ８のレンズ中心ＣＢと、加速円筒９と試料１２の間で

作られる静電レンズのレンズ中心ＣＥを一致させた例を示す。本実施例は、対物レンズ８の上磁極５３を試料１２に対面するように突出させ、静電レンズの形成される試料１２と加速円筒９の間に磁界を作ることで両レンズの中心を一致させたものである。この結果、後段加速された一次電子ビーム１１が静電レンズのレンズ作用を受けることがないため、歪のない走査像を得ることができた。

【００８２】

図１６は、磁界レンズと静電レンズの中心の一致をより効果的に実現する対物レンズ８の構造を示す。これまで示した実施例では、対物レンズ８の電子ビーム通路内部に加速円筒９を挿入していた。この場合、加速円筒が作る静電レンズと対物レンズの作る磁界レンズの軸中心がずれると分解能の低下を招くため、両者の機械的中心を精度良く合わせる必要がある。この実施例はこの点に着目したもので、対物レンズ８の上磁極５３を下磁極５４の端部レベルまで突出させて、試料１２に対面させる。さらに、上磁極５３を絶縁板５５で対物レンズの残部から電気的に絶縁し、これに後段加速電圧１０を印加している。

【００８３】

本実施例によると、対物レンズ８のレンズ中心を決定している上磁極と後段加速電極が兼用となっているため、前述したような静電レンズと磁界レンズのずれを生じることがない。また、磁界レンズの上磁極５３が試料１２に直接対面し、しかもこれに後段加速電圧が印加されていることから、軸中心ばかりでなく、静電レンズと磁界レンズのレンズ中心の位置をも一致させることができる。

【００８４】

【発明の効果】

本発明によれば、対物レンズ内を通過するときの一次電子ビームの加速電圧を最終の加速電圧より高くすることができ、対物レンズで発生する収差によるビームのぼけを少なくすることができる。また、電子ビーム通路内に反射板を設けることにより、これまで困難であった二次電子又は反射電子等の二次信号を効率良く検出することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の一実施例の概略図。

【図２】二次信号の検出に反射板を用いた実施例の説明図。

【図３】二次信号の検出に反射板を用い、さらに二次電子の吸引に直交する電界と磁界を用いて一次電子の偏向を防止した実施例の説明図。

【図４】二次信号検出器を走査偏向器の上方に置いた実施例の概略図。

【図５】走査偏向器の上方と下方の２箇所に二次信号検出器を設けた実施例の概略図。

【図６】二次信号の検出にチャンネルプレートを用いた実施例の説明図。

【図７】二次信号の検出にシンチレータを用いた実施例の説明図。

【図８】試料へ印加される電界強度を制御した実施例の概略図。

【図９】試料上に制御電極を備えた実施例の一例を示す図。

【図１０】制御電極を備えた荷電粒子顕微鏡の一例を示す図。

【図１１】制御電極を備えた荷電粒子顕微鏡の他の一例を示す図。

【図１２】試料室内面に沿って制御電極が形成された荷電粒子顕微鏡の一例を示す図。

【図１３】対物レンズ磁路の一部を制御電極とした例を示す図。

【図１４】走査偏向器を電界と磁界の組合せとした実施例の説明図。

【図１５】磁界レンズと静電レンズのレンズ中心を一致させた実施例の説明図。

【図１６】磁界レンズの磁極と加速円筒を共用した実施例の説明図。

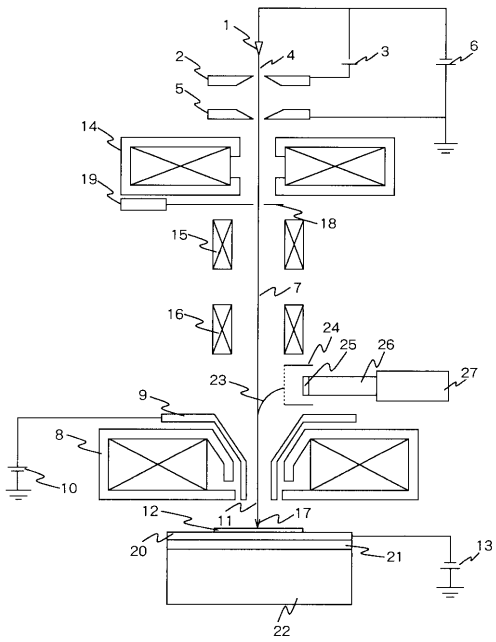
【符号の説明】

１…電界放出陰極、２…引出電極、３…引出電圧、４…放出電子、５…陽極、６…電子銃加速電圧、７…陽極５を通過した一次電子ビーム、８…対物レンズ、９…加速円筒、１０…後段加速電圧、１１…後段加速された一次電子ビーム、１２…試料、１３…重畳電圧、１４…コンデンサレンズ、１５…上走査偏向器、１６…下走査偏向器、１７…減速電界、１８…絞り、１９…調整つまみ、２０…試料ホルダ、２１…絶縁台、２２…試料ステージ、２３…二次電子、２４…吸引電極、２５…シンチレータ、２６…ライトガイド、２７…

光電子増幅管、２８…中央孔、２９…反射板、３０…反射板で作られた二次電子、３１…電界偏向電極、３２…直交磁界偏向コイル、３３…上検出器、３４…下検出器、３５…チャンネルプレート本体、３６…制御電極、３７…メッシュ、３９…増幅された電子、４０…アノード電圧、４１…アノード、４２…増幅器、４３…光変換回路、４４…光信号、４５…電気変換回路、４６…単結晶シンチレータ、４７…開口、４８…導電性コーティング、４９…二次電子のクロスオーバ、５０…制御電圧、５１ａ～５１ｈ…静電偏向電極、５２ａ～５２ｄ…磁界偏向コイル、５３…上磁極、５４…下磁極、５５…絶縁板。

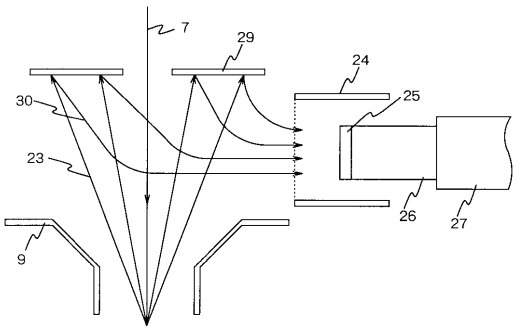
【図１】

図 1



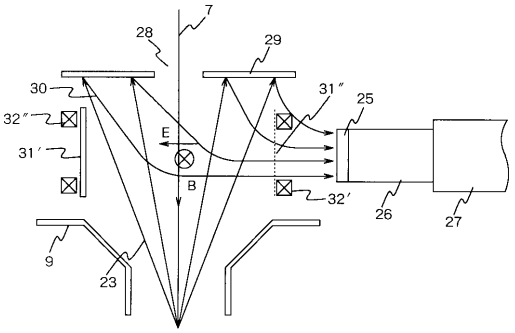
【図２】

図 2



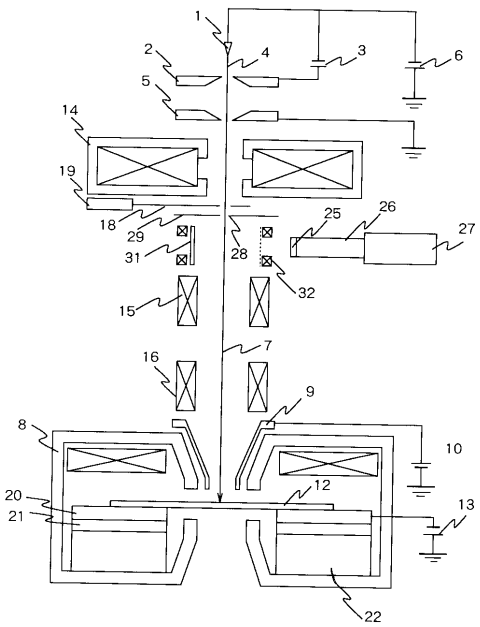
【図３】

図 3



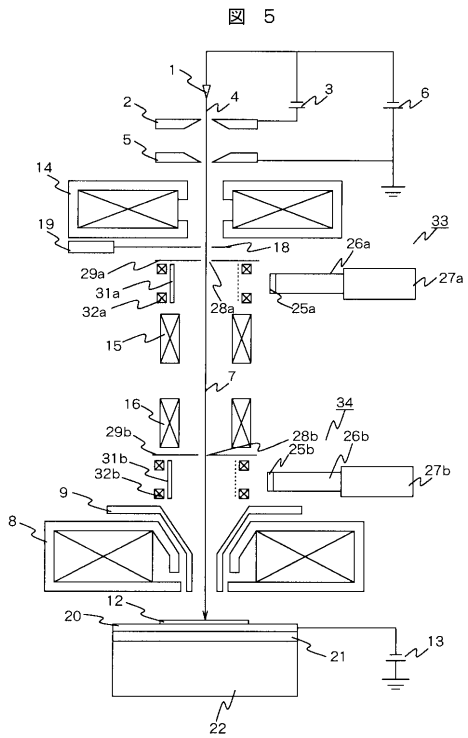
【図４】

図 4



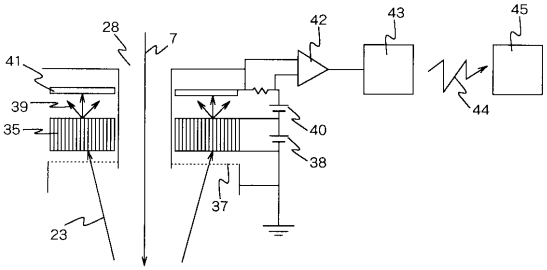
【図５】

図 5



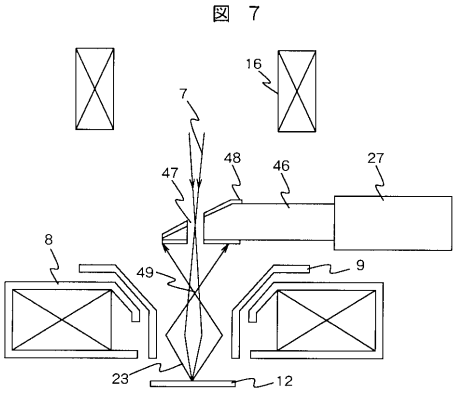
【図６】

図 6



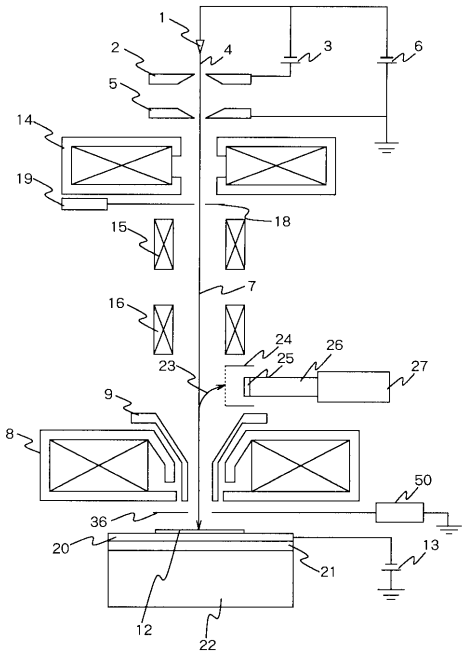
【図７】

図 7



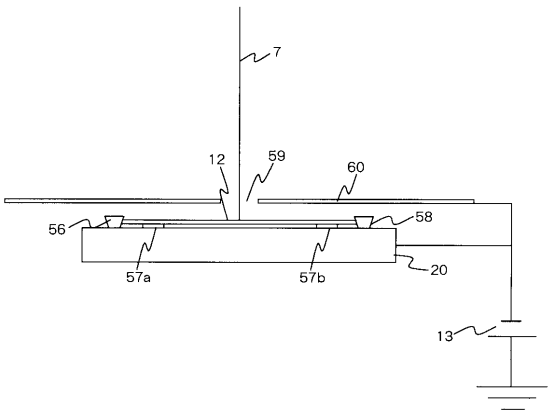
【図８】

図 8



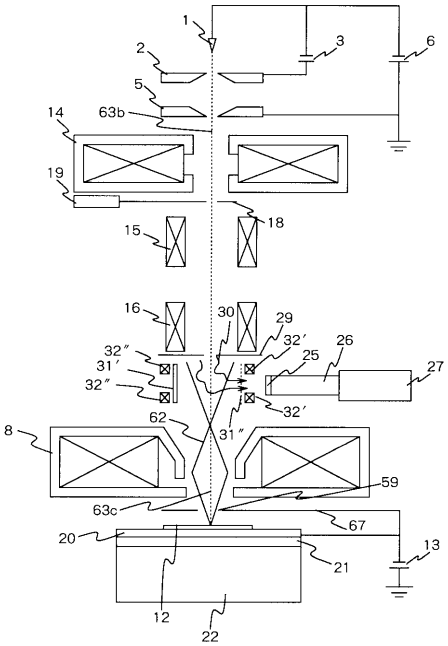
【図９】

図 9



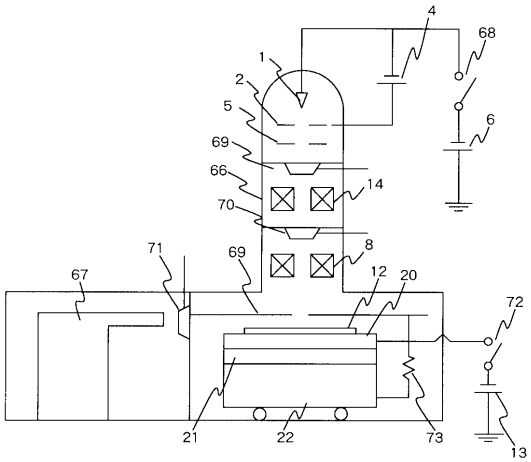
【図１０】

図 10



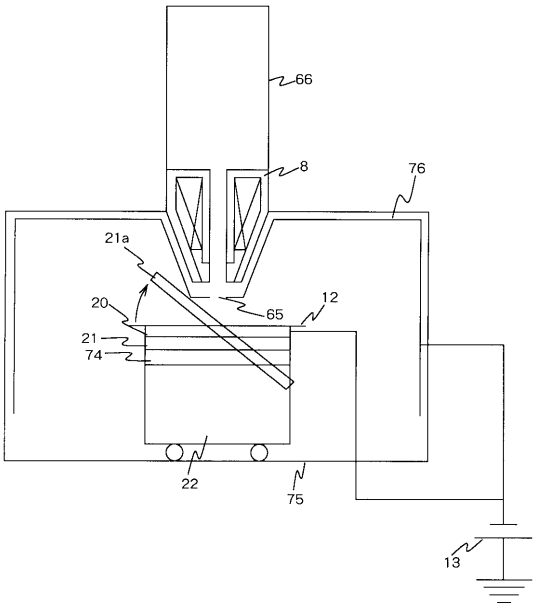
【図１１】

図 11



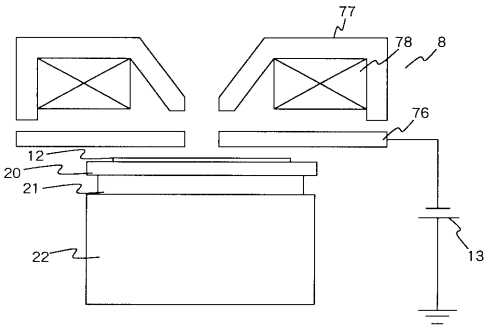
【図１２】

図 12



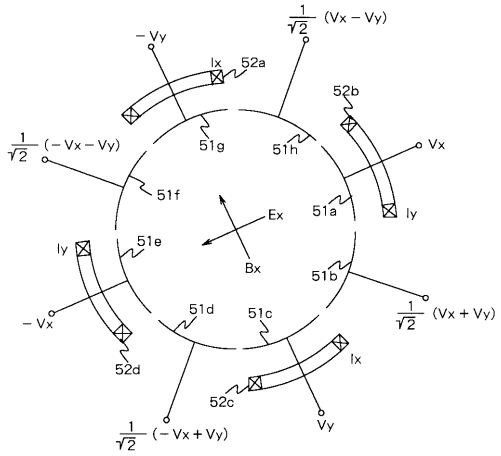
【図１３】

図 13



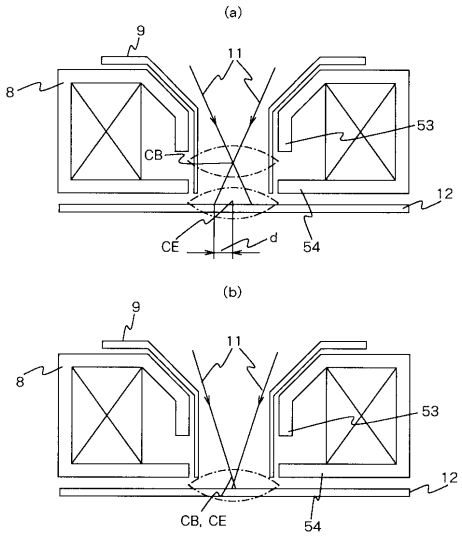
【図１４】

図 14



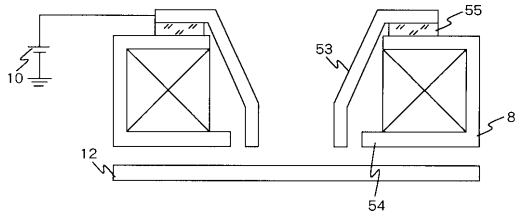
【図１５】

図 15



【図１６】

図 16



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H01J 37/244 (2006.01) H01J 37/244

(56)参考文献 特開平０５－０３６３７１（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－１３９９８５（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－１４９９４４（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２６６８５５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)
H01J 37/00 - 37/295