

(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
2013 年 9 月 6 日(06.09.2013)



(10) 国際公開番号

WO 2013/129147 A1

- (51) 国際特許分類:
H01J 37/244 (2006.01) H01J 37/22 (2006.01)
H01J 37/05 (2006.01) H01J 37/29 (2006.01)
H01J 37/147 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/053786
- (22) 国際出願日: 2013 年 2 月 18 日(18.02.2013)
- (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 2012-040865 2012 年 2 月 28 日(28.02.2012) 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
2 4 番 1 4 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 山崎 実(YAMAZAKI Minoru); 〒3128504
茨城県ひたちなか市大字市毛 8 8 2 番地 株式
会社 日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所内
Ibaraki (JP). 数見 秀之(KAZUMI Hideyuki); 〒
3128504 茨城県ひたちなか市大字市毛 8 8 2 番
地 株式会社 日立ハイテクノロジーズ 那珂

事業所内 Ibaraki (JP). 笹氣 裕子(SASAKI Yuko);
〒3128504 茨城県ひたちなか市大字市毛 8 8 2
番地 株式会社 日立ハイテクノロジーズ 那
珂事業所内 Ibaraki (JP). 鈴木 誠(SUZUKI
Makoto); 〒3128504 茨城県ひたちなか市大字市毛
8 8 2 番地 株式会社 日立ハイテクノロジ
ーズ 那珂事業所内 Ibaraki (JP).

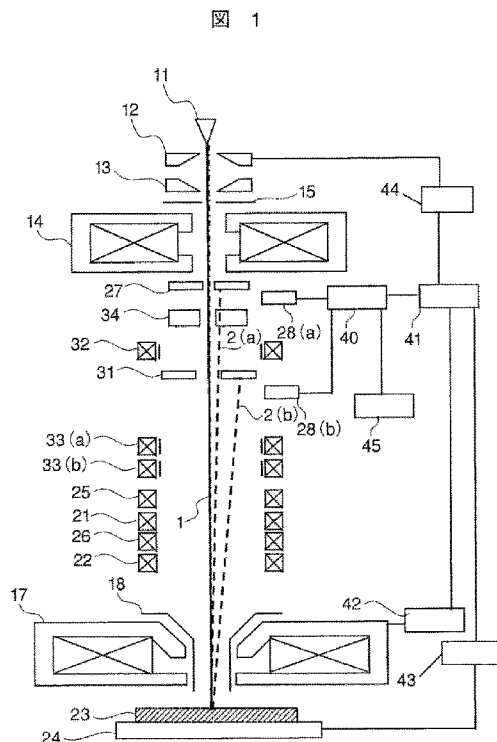
(74) 代理人: 井上 学, 外(INOUE Manabu et al.); 〒
1008220 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 1 号
株式会社 日立製作所内 Tokyo (JP).

(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,
IS, KE, KG, KM, 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, 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: SCANNING ELECTRON MICROSCOPE

(54) 発明の名称: 走査電子顕微鏡



(57) Abstract: This scanning electron microscope is configured such that an opening for limiting angles is not provided off-axis, and angular discrimination of electrons emitted from a sample can occur. The scanning electron microscope comprising deflectors (25, 26) that deflect the irradiation position of the electron beam (1), and a control device (41) that controls the deflectors, also comprises: a detector (28(a)) that detects electrons obtained by irradiating the electron beam on a sample (23); an opening formation member (31) arranged between the detector and the deflectors, and which has a passage opening for the electron beam; and secondary signal deflectors (33(a), 33(b)) that deflect the electrons emitted from the sample. The scanning electron microscope is configured such that the secondary signal deflectors are controlled so as to deflect the electrons emitted from the sample towards the passage opening for the electron beam, in accordance with the deflection control of the deflectors (25, 26).

(57) 要約: 本発明は、走査電子顕微鏡において、軸外に角度制限用の開口を設けることなく、試料から放出される電子の角度弁別を行えるようにしたものである。電子ビーム(1)の照射位置を偏向する偏向器(25, 26)と、当該偏向器を制御する制御装置(41)を備えた走査電子顕微鏡において、前記電子ビームの試料(23)への照射によって得られる電子を検出する検出器(28(a))と、当該検出器と前記偏向器との間に配置され、前記電子ビームの通過開口を有する開口形成部材(31)と、前記試料から放出された電子を偏向する二次信号偏向器(33(a), 33(b))を備え、前記偏向器(25, 26)の偏向制御に応じて、前記試料から放出される電子を前記電子ビームの通過開口に向かって偏向するように前記二次信号偏向器を制御するようにした。



(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, 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：走査電子顕微鏡

技術分野

[0001] 本発明は、試料に電子ビームを照射することによって得られる電子を検出する走査電子顕微鏡に係り、特に試料から放出される電子の軌道を偏向する偏向器を備えた走査電子顕微鏡に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体デバイス等、走査電子顕微鏡の測定、或いは検査対象の微細化が進んでいる。微細化に伴い、試料表面方向（X－Y方向）パターンの大きさに対し、相対的にパターンの深さ方向（Z方向）の寸法が増大し、パターンのアスペクト比（Z方向の寸法／X或いはY方向の寸法）の増大が顕著になってきた。このようなパターンの底部から放出される電子の中には、パターンの側壁に衝突してしまうものがある。

[0003] 一方、微細なパターンを測定するという要求と共に、測定や検査に要する時間の短縮化が求められている。昨今の半導体デバイスの測定、検査箇所は増大傾向にあり、高スループットを実現するためには、測定点（電子ビームの視野）の移動を高速に行う必要がある。特許文献1にはイメージシフト偏向器を用いた視野移動の高速化技術が開示されている。また、特許文献1では電子ビームの軸外であって、検出器より電子源側に配置された変換電極、或いは検出器に電子を導くために、イメージシフトに伴い発生する電界又は磁界に応じて、二次電子の偏向角を制御することが説明されている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2012-3902号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1に開示の走査電子顕微鏡によれば、イメージシフトの偏向方向

に寄らず、所定の方向に安定して電子を導くことができるが、電子ビームの光軸（ビームが偏向作用を受けないときに電子ビームが通過する通過軌道）外に電子を偏向して検出しているため、一次電子ビームが通過する通過軌道を確保しつつ、角度制限用の開口を設ける必要がある。

[0006] 以下、軸外に角度制限用の開口を設けることなく、試料から放出される電子の角度弁別を行うことを目的とする走査電子顕微鏡について説明する。

課題を解決するための手段

[0007] 上記目的を達成する一態様として、電子源と、当該電子源から放出される電子ビームの照射位置を偏向する偏向器と、当該偏向器を制御する制御装置を備えた走査電子顕微鏡において、前記電子ビームの試料への照射によって得られる電子を検出する検出器と、当該検出器と前記偏向器との間に配置され、前記電子ビームの通過開口を有する開口形成部材と、前記試料から放出された電子を偏向する二次信号偏向器を備え、前記制御装置は、前記偏向器の偏向制御に応じて、前記試料から放出される電子を前記電子ビームの通過開口に向かって偏向するように前記二次信号偏向器を制御する走査電子顕微鏡を提案する。

発明の効果

[0008] 上記構成によれば、軸外に角度制限用の開口を設けることなく、試料から放出される電子の角度弁別が可能となる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]走査電子顕微鏡の概要を示す図。

[図2]二次信号偏向器による二次信号の偏向軌道の一例を示す図。

[図3]二次信号偏向器による二次信号の偏向軌道の一例を示す図。

[図4]2次電子制限板を投影した画像の一例を示す図。

[図5]2つの検出器を用いて合成画像を形成する工程を示すフローチャート。

[図6]偏向器によるエネルギーフィルタへ進入する電子の偏向軌道の一例を示す図。

[図7]2段検出器の出力に基づく合成画像の一例を示す図。

[図8]二次信号の分散軌道中心と角度制限用開口が一致しているときとそうでないときの違いを説明する図。

発明を実施するための形態

[0010] 近年、半導体デバイスの微細化が数10nm以下へと進んでおり、従来のプレーナー型の構造に限らずFin-FETに代表されるような3次元構造の形状を持つデバイスの量産が始まろうとしている。また、トレンチやホールなどの立体パターンでの深化も著しく、Flashメモリなどにおけるゲートのアスペクト比は10以上、コンタクトホールのアスペクト比は30以上へと進んでいる。インラインでパターンの測長や欠陥を検査するために用いられるCD-SEM (Critical Dimension Scanning Electron Microscope) やDR-SEM (Detect Review Scanning Electron Microscope) においても、要求仕様は年々厳しくなっている。これらの電子顕微鏡応用装置では、1次電子を試料上で走査して試料表面化から放出される2次電子を検出することによって画像を形成している。デバイスの微細化がさらに進むと、試料内部での1次電子の拡散によりエッジコントラストが低下するため、SEM観察はさらに厳しくなることが予想される。

[0011] 特にパターンの底部においては、放出される2次電子が試料側壁に再衝突して消失するため底の形状がより見えにくい。よって、試料表面に正帯電を付着、或いは電子を上方に導くための電界を発生する電極の設置を行うことが考えられる。しかし、試料表面が導体の場合あるいはパターン底が絶縁体の場合には、2次電子を引き上げるために十分な正帯電を作ることが難しく、電位コントラストによるパターン底の強調が難しい。そのような場合、装置に2次電子をエネルギー、あるいは角度で弁別する機能を持たせ、パターンの底から放出された2次電子のみを選択的に検出して強調する方法が有効である。エネルギーフィルタを用いると、材料の電位ポテンシャルの差を利用して特定のパターンコントラストを強調することが可能である。この手法はLow-k材やメタルゲートなど異なる複数の材料が用いられている場合

に有効である。

[0012] また別手段として、2次電子を仰角あるいは方位角で弁別することによって、特定のパターンコントラストを強調することができる。仰角方向に弁別すれば、試料表面に垂直方向に放出された2次電子を選択的に検出することによって、パターン底や側面の情報を得ることが可能となる。

[0013] エネルギーフィルタは一般的に、複数の導電性メッシュや電極などを用いて構成される。そのエネルギー分解能は、形成される電界の平坦性や電界強度、あるいは2次電子の進入角度、軌道分散などによって決まる。画像取得の際エネルギー分解能にばらつきがあると、エネルギーをカットする電位が変化するため画像コントラストや明るさにばらつきが生じる。

[0014] 一方、角度弁別では一般的に2次電子軌道を制限するための遮蔽物が置かれ、例えば遮蔽物に開けられた穴などを通過した2次電子のみを選択的に検出する。このとき、例えば試料垂直方向の2次電子を選択的に検出しようとしたとき、該当する2次電子の軌道が遮蔽物に当たってしまうと角度弁別の効果を出すことができなくなる。

[0015] また、イメージシフト偏向器等によって電子ビームを偏向すると、電子ビームだけではなく、二次電子や後方散乱電子の軌道も曲げてしまい、適正な角度弁別を行うことが困難になる場合がある。

[0016] そこで、本実施例では角度弁別用の開口と電子ビームの通過開口を兼用すると共に、当該開口に試料から放出された電子を方向付けるように偏向する偏向器と、当該開口を通過した電子、或いはその電子によってもたらされる電子を検出する検出器を設けることによって、正確な角度弁別と、角度弁別のための遮蔽物以外の遮蔽物への電子の衝突を最大限抑制する走査電子顕微鏡について説明する。電子線通路や電子光学系を構成する部材等に衝突する可能性の最も少ない通路は、電子ビームの通過軌道である。よって、イメージシフト偏向器等の偏向によらず、試料から放出される電子を電子ビームの通過開口に沿って通過させるように、偏向することにより、高精度に角度弁別を行いつつ、他部材への衝突を最大限抑制することが可能となる。

- [0017] また、角度弁別用の開口が設けられた開口形成部材を、電子検出器、或いは衝突電子の変換電極とすると、電子ビームに対し、軸対称に設けられる検出器の検出面、或いは変換電極面に最も多くの電子を導くことができるため、検出効率の極大化を実現することができる。
- [0018] 本実施例では、特定の標準試料を必要とせず、イメージシフトに連動して2次電子軌道の制御を調整することを可能とする走査電子顕微鏡について説明する。さらに図1に示す装置構成によりエネルギーフィルタへの2次電子の進入角度を固定できるようになるため、エネルギー分解能を一定に保った状態で信号弁別することが可能となる。
- [0019] 本実施例では主に、2次電子制限板およびエネルギーフィルタを用いて2次電子を選択的に検出する際、安定に信号弁別するために2次電子アライナを用いて2次電子軌道を制御する例について説明する。初めに、構成および原理を示す。図1は走査電子顕微鏡の概略構成図である。電界放出陰極11と引出電極13との間に引出電圧12を印加することで、1次電子ビーム1を引き出す。1次電子ビーム1はコンデンサレンズ14で収束作用を受け、上走査偏向器21、下走査偏向器22で走査偏向を受ける。上走査偏向器21、下走査偏向器22の偏向強度は、対物レンズ17のレンズ中心を支点として試料23上を二次元走査するように調整されている。同様に、走査位置を変化させるための上イメージシフト偏向器25、下イメージシフト偏向器26による偏向作用を受ける。偏向を受けた1次電子ビーム1は、対物レンズ17の通路に設けられた加速円筒18でさらに加速を受ける。
- [0020] 後段加速された1次電子ビーム1は、対物レンズ17のレンズ作用で絞られホルダー24に保持された試料23に到達する。1次電子の照射によって、試料23の表面から2次電子が放出される。2次電子は光軸に平行方向の高角の2次電子2(a)、試料表面に平行方向の低角成分の2次電子(b)（高角の2次電子に対して相対的に電子ビーム光軸を中心として広い範囲に放出される電子）に分類できる。2次電子は、光軸を1次電子とは逆方法に進行し、2次電子制限板31に到達する。高角の2次電子2(a)は2次電

子制限板 31 の孔を通過し、エネルギーフィルタ 34 を通過した後で反射板 27 に衝突して 3 次電子に変換され、上検出器 28 (a) で検出される。

[0021] この 2 次電子制限板 31 は後述するように、電子ビームの通過開口を持つと共に、電子ビーム光軸方向に、上検出器 28 (a) とイメージシフト偏向器との間に配置される。電子ビームの通過開口は、試料から放出される電子の内、高角度成分を選択的に通過させるように形成されている。

[0022] 低角側の 2 次電子 2 (b) は 2 次電子制限板 31 (変換電極) に衝突して 3 次電子に変換され、下検出器 28 (b) で検出される。演算器 40 を用いて検出信号を処理し、各々の検出器で検出された信号を画像化する。画像 S/N を稼ぐために、得られた信号を加算して画像化しても良い。下検出器 28 (b) は、後述する 2 次電子アライナと上検出器 28 (a) との間に配置される。

[0023] なお、演算器 40 は、制御装置 41 に接続されており、当該制御装置 41 の指示に基づいて、所定の演算を実行する。また、制御装置 41 は、対物レンズ制御電源 42、ステージ制御電源 43、及び加速電圧制御電源 44 にも接続されており、予めレシピとして記憶された光学条件や制御条件に基づいて、各電子顕微鏡の構成要素を制御する。

[0024] 角度弁別するためには高角の 2 次電子 2 (a) を 2 次電子制限板 31 の孔に通す必要があるが、2 次電子の軌道はイメージシフトの使用や対物レンズ 17 通過の影響により光軸から離軸することがある。逆に、組み立て精度や光軸調整精度の結果、あるいは孔径の選択を目的として意図的に 2 次電子制限板 31 の孔が光軸から離軸した位置に搭載されることもある。高角の 2 次電子 2 (a) を常に 2 次電子制限板 31 の孔に通すため、2 次電子アライナ (二次信号偏向器) を用いる。2 次電子アライナ II (L) 33 (a)、2 次電子アライナ II (U) 33 (b) を用いて、2 次電子軌道を偏向制御する。2 次電子アライナは 1 次電子の軌道に影響しないよう、電極と磁場コイルで構成されるウィーンフィルタを用いる。

[0025] 以上のように、試料から放出される電子の軌道を、電子ビーム光軸に沿う

ように（同軸に）偏向することによって、下検出器 28（b）の検出効率を向上することができる。図 8 はその原理を説明する図である。図 8 は試料 23 側から見た 2 次電子制限板 31 であり、電子ビームの通過開口 81（高角側電子の通過口）が設けられている。図 8（a）は試料から放出された電子の分散範囲 82 の中心が、電子ビームの通過開口 81 と一致した状態を示しており、図 8（b）は、試料から放出された電子の分散範囲 82 の中心が、電子ビームの通過開口 81 から離間した状態を示している。図 8 のように試料から放出された電子が拡がりを持つ場合、図 8（a）のケースでは、電子ビームの通過開口 81 を除き、全ての電子が 2 次電子制限板 31 に衝突しているのに対し、図 8（b）のケースでは、電子の分散範囲 82 の一部が 2 次電子制限板 31 に衝突していない。

[0026] このようにある程度の角度範囲を持つ放出電子を効率良く検出するためには、図 8（a）のような状態にすることが望ましく、試料から放出される電子の軌道を電子ビーム光軸に沿って偏向することによって、下検出器 28（b）の検出効率を高くすることができる。本実施例装置によれば、二次電子の軌道を変化させる場合であっても、検出効率の低下を抑制することが可能となる。

[0027] エネルギーフィルタ 34 は、例えば複数のメッシュ状電極からなり、試料から放出される電子を追い返すような電界を発生するものである。この電界強度を変化させることによって、所望のエネルギーの電子を選択的に検出器側に導くために設けられている。エネルギーフィルタ 34 は、2 次電子制限板 31 より電子源 11 側に設置される。

[0028] また、エネルギーフィルタ 34 では 1 次電子の通過経路を確保するための孔やパイプが設けられることが一般的であり、高角の 2 次電子（a）が孔やパイプに侵入するのを防ぐ必要がある。そこで同様に、2 次電子アライナ I 32 を設けエネルギーフィルタ 34 に進入する 2 次電子の角度を偏向制御する。2 次電子絞り 31 を通過した高角の 2 次電子 2（a）の角度は 2 次電子アライナ II（L）33（a）、2 次電子アライナ II（U）33（b）によっ

て制御されているため、2次電子アライナ132によってエネルギーフィルタ35に対する進入角度を一定に保つことができる。その結果、エネルギーフィルタのエネルギー分解能を一定とする効果も得ることができる。図1の構成例では角度弁別とエネルギー弁別を両立しているが、エネルギー弁別のみを行うために2次電子制限板31を外した構成としても良い。

[0029] 2次電子アライナ1133(a)、33(b)の制御方法の概念を図2に示す。イメージシフト25、26を使用して試料表面の離軸した位置 L_s に1次電子を照射する。そこから放出された高角の2次電子2(a)は光軸を逆方向に進行する。対物レンズ17、イメージシフト25、26を通過する際に偏向作用を受け、2次電子アライナ11(L)33(b)に離軸量 L_L 、角度 θ_{SE} で進入する。2次電子アライナ11(L)33(b)を用いて、2次電子アライナ11(U)33(a)の中心を通過するように2次電子2(a)を角度 θ_L で偏向する。次に2次電子アライナ11(U)33(a)を用いて、光軸に平行になるように角度 θ_U で偏向すれば、2次電子制限板31の中心を光軸に平行に通すことができるようになる。この制御を満たすための条件として、幾何計算により以下の式(1)、(2)が導かれる。ここで、 Z_{SEALU} は2次電子アライナ11(U)33(a)の高さ、 Z_{SEALL} は2次電子2次電子アライナ11(L)33(b)の高さを示す。

[0030] [数1]

$$\tan(\pi - \theta_L - (\pi/2 - \theta_{SE})) = (Z_{SEALU} - Z_{SEALL})/L_L \quad \dots (1)$$

[0031] [数2]

$$\theta_U = \theta_L + \theta_{SE} \quad \dots (2)$$

[0032] まず、イメージシフト使用による2次電子軌道の変化を2次電子アライナで補正することを想定する。2次電子アライナ11(L)33(b)への進入角度 θ_{SE} は次式の様に求められる。

[0033] [数3]

$$\theta_{SE} = \tan^{-1} \left(\frac{L_{SE}}{Z_{SEAPL} - Z_{SE}} \right) \quad \dots (3)$$

[0034] ここで、 L_{SE} は2次電子2 (a) がイメージシフトによって偏向される量を、2次電子制限板31での光軸からの距離で定義したものである。 L_{SE} は後述の2次電子到達位置検知方法、あるいは電子軌道シミュレーションなどを用いて求めることができる。 Z_{SEAP} は2次電子制限板の高さであり、 Z_{SE} は、2次電子の仮想射出高さ ($=L_{SE}/\tan(\theta_{SE})$) であり、実験値からの推定や電子軌道シミュレーションなどによって求めることができる。式(1)より、2次電子アライナ11 (L) 33 (b) で必要な θ_L は次式のように求まる。

[0035] [数4]

$$\theta_L = \frac{\pi}{2} + \theta_{SE} - \tan^{-1} \left(\frac{Z_{SEALU} - Z_{SEALL}}{L_L} \right) \quad \dots (4)$$

[0036] (2)、(4) 式より、2次電子アライナ11 (U) 33 (a) で必要な θ_U は次式のように求まる。

[0037] [数5]

$$\theta_L = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{Z_{SEALU} - Z_{SEALL}}{L_L} \right) \quad \dots (5)$$

[0038] なお、図2では断面図を用いて説明しているが、実際には対物レンズ17における磁場による回転を考慮して方位角方向についても制御する必要がある。その際は、イメージシフト、各2次電子アライナにおける方位各成分について、磁場による回転角度を予め求めておき、行列演算して制御する。磁場による回転角度は、後述の2次電子到達位置検知方法、あるいは電子軌道シミュレーションなどを用いて求めることができる。

[0039] 次に、2次電子制限板31において光軸外の孔へ偏向制御する方法について図3に示す。イメージシフト未使用時の2次電子2 (a) に対し、 θ_L と θ_U が同角度で反対方向となるように制御すると、軌道は光軸と平行を保ったまま位置だけをずらすことができる。この原理では2次電子の軌道を平行移動するだけなので、イメージシフト連動と独立して制御することが可能である。2次電子制限板上での必要移動量を L_{SHIFT} とすると、(4)、(5) 式に平

行移動の項を追加することができる。

[0040] [数6]

$$\theta_L = \frac{\pi}{2} + \theta_{SE} - \tan^{-1} \left(\frac{Z_{SEALU} - Z_{SEALL}}{L_{SEALL}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{L_{SHIFT}}{Z_U - Z_L} \right) \quad \dots (6)$$

[0041] [数7]

$$\theta_L = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(\frac{Z_{SEALU} - Z_{SEALL}}{L_L} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{L_{SHIFT}}{Z_U - Z_L} \right) \quad \dots (7)$$

[0042] 上式に従って θ_L と θ_U を制御するためには、2次電子に対するイメージシフトや2次電子アライナの偏向感度、方位角における回転方向を知る必要がある。本実施例では、偏向器を用いて1次電子を試料上で走査した際に、2次電子も同時に2次電子制限板31上で走査されることを利用する。1次電子を偏向器21、22で偏向して試料上に照射すると、放出された2次電子2(a)は対物レンズを通過した後に偏向器を逆方向に進行し、2次電子制限板31上に到達する。ここで2次電子2(a)は通常、放出されるエネルギーと角度にばらつきを持っているが、対物レンズ17と加速管18の条件次第では磁場レンズ、静電レンズのフォーカス作用によって2次電子制限板31に収束する。この場合、下検出器28(b)で検出した信号を画像化すると、2次電子制限板の形状を反映して図4(a)に示すように2次電子制限板31の孔が暗い画像を得ることができる。一方、上検出器28(a)で検出すると、図4(b)に示すように2次電子制限板31の孔が明るい画像が得られる。

[0043] 画面内における孔位置は、2次電子制限板31上での走査範囲を反映しているため、イメージシフトや2次電子アライナを使うと変化する。よって、逆に孔位置の変化量から、イメージシフトや2次電子アライナの偏向感度、方位角方向の角度を求めることができる。一定の光学条件から外れると、2次電子2(a)が2次電子制限板31で収束しなくなるため、孔の輪郭がぼやけて見え孔位置の確認が困難となる。その場合は電子軌道シミュレーションによって2次電子の軌道を追跡すれば良い。2次電子が収束する条件で実

験と比較し、2次電子アライナの感度と方位角方向のずれに関してシミュレーション結果を補正すれば、種々の光学条件においても精度良く2次電子軌道を制御することができる。なお、空間分解能をもつ検出器を2次電子制限板31として設置し、2次電子到達位置を直接検出しても良い。また、孔のコントラストは2次電子制限板31の孔を通過するか否かによって生じているため、上検出器28(a)と下検出器28(b)で検出した信号を加算すると、孔の影の映りこみを消すことができる。

[0044] 第一の実施例として、2次電子アライナをイメージシフトに連動動作させ、信号弁別する方法について示す。図5は、2つの検出器を用いて合成画像を形成する工程を示すフロチャートである。まず、ホルダー24を移動して所望の観察位置に試料23を保持する(ステップ501)。この位置において所望のパターンに1次電子を照射するべく、イメージシフトを数 μm の範囲で使用する(ステップ502)。

[0045] イメージシフトの使用量に基づき、高角の2次電子2(a)を2次電子制限板31に導くための2次電子アライナ11(U)33(a)、2次電子アライナ11(L)33(b)の制御量を算出する(ステップ503)。この制御量(偏向電流、或いは電圧等の動作条件)とイメージシフト量(偏向電流、或いは電圧等の動作条件)を関連付けて、図示しないメモリに記憶しておけば、後からその条件を再現することができる。

[0046] このとき2次電子制限板31の孔が光軸上にあり1次電子通過孔と共通となっても良く、光軸外に設置されていても良い。光軸外に2次電子制限板31を配置した場合、あるいは軸ずれなどによって2次電子制限板31が光軸から離れた位置にある場合、2次電子制限板31孔の画像への映り込み位置が画面中心から離れた位置に現れる。これらのずれに対して、あらかじめ2次電子到達位置を制御式に基づき調整しておく(ステップ504)。

[0047] エネルギーフィルタを使用する場合は、エネルギーフィルタの効率の高い進入角度になるように2次電子アライナ132を制御できるようにしておく。2次電子アライナはいずれも、あらかじめ電場と磁場のウィーン条件を調

整され、偏向感度を求められているものとする。偏向器に走査信号を入力してスキャンを開始し、上検出器 28 (a) および下検出器 28 (b) で検出した信号を記憶装置 45 に保存する (ステップ 505)。

[0048] このとき、試料帯電によって 2 次電子軌道が偏向される可能性を考える必要がある。1 次電子を絶縁性試料に照射すると、入射された 1 次電子と放出された 2 次電子の数が異なったとき、試料が正または負に帯電することが知られている。試料が帯電すると、帯電が作る電界によって 2 次電子が偏向されるため、高角成分の 2 次電子 2 (a) が 2 次電子制限板 31 の孔から外れた位置に到達し、角度弁別機能が低下する。

[0049] この場合、2 次電子制限板 31 孔の映り込み位置の変化から、あらかじめ調整した孔の位置ずれとは別に、2 次電子軌道を再度制御する必要がある。画像から 2 次電子制限板 31 孔の映り込み位置を特定し、画面中心からの距離、角度を算出する (ステップ 506)。2 次電子アライナに対する孔位置の変化感度はあらかじめ調整時に分かっているので、孔位置を画面中心に移動するために必要な 2 次電子アライナ 11 (U) 33 (a)、2 次電子アライナ 11 (L) 33 (b) の制御量を再計算し、出力する (ステップ 507)。

[0050] 次に、あらかじめオペレーターにより画像を合成するか否か設定がなされているものとする。画像 S/N を稼ぐ、あるいは 2 次電子制限板 31 の孔の映り込み低減を目的として画像合成する場合は、上検出器 28 (a) と下検出器 28 (b) の信号を任意の演算式に基づいて乗除・加減算した後に画像化する (ステップ 508、509)。画像合成しない場合は、各々の検出器で検出した 2 枚の画像を同時に取得できる。上検出器 28 (a) では高角成分の信号あるいはエネルギーフィルタされた高角成分の信号、下検出器 28 (b) では低角成分の信号が検出される。例えば、高角成分に多く含まれるパターン底部の情報を上検出器 28 (a) で検出し、低角成分に多く含まれるパターン上部の情報を下検出器 28 (b) で検出し、パターン底部と上部を同時に分けて観察するといった使い方が可能になる。

[0051] 第二の実施例として、2次電子アライナとエネルギーフィルタを用いた組み合わせについて示す。エネルギーフィルタのエネルギー分解能の関係は、電界のばらつきや電子の入射角度のばらつきに依存する。電子の入射角度の変化は、エネルギーフィルタの閾値エネルギーを変化させるため画像コントラストのばらつきの要因となる。2次電子アライナ11(U)33(a)、2次電子アライナ11(L)33(b)を用いると、2次電子制限板の中心を光軸に平行に2次電子2(a)を通すことができる。この状態で2次電子アライナ132に常に一定値を入力しておけば、イメージシフトの使用に関らずエネルギーフィルタに入射する2次電子の角度を一定に保つことができるため、コントラストを安定して画像取得することができる。さらに、図6に示すように2次電子アライナ132を2段でのウィーンフィルタで構成すれば、2次電子2(a)をエネルギーフィルタ35入射時に光軸に平行にすることができるため、フィルタをメッシュ・電極などで構成した場合などには理想的なエネルギー分解能を期待できる。

[0052] 第三の実施例として、2次電子アライナを複数個配置することによって2次電子アライナ自身の発生する収差を打ち消し、1次電子の試料上での広がり抑制する方法について示す。理想的なウィーンフィルタでは、1次電子の軌道に影響せずに2次電子のみを偏向することが可能である。しかし、一般にウィーンフィルタの発生する電場と磁場は光軸に沿って必ずしも一致しない。1次電子は電子源から放出される際にエネルギー分散を持ち、ウィーンフィルタ通過時に軌道分散が発生するため、試料上でビーム広がりが発生する。これを回避する手段として、一对の同等のウィーンフィルタを上下に配置し、反対方向に偏向する手法が知られている。

[0053] 2次電子アライナ11(U)33(a)、2次電子アライナ11(L)33(b)は打ち消す方向で用いるため、発生する収差は小さい。2次電子アライナ132の収差を打ち消すために、2次電子の制御と関係のない反射板27の上方に2次電子アライナをもう一つ設ける。追加した2次電子アライナは2次電子の軌道に関らず、常に2次電子アライナ132と反対方向に同

角度偏向するように制御されるのが良い。一对の2次電子アライナで使用する量が異なる場合、例えば2次電子アライナ11(U)33(a)、2次電子アライナ11(L)33(b)使用時に残る収差が気になる場合は、それを打ち消すように2次電子アライナ制御に重畳しても良い。

[0054] 第四の実施例として、上下2段で検出した画像の合成方法について示す。図7の上部に示す図は、観察対象となるデバイス構造の一例の断面を示したものである。パターン101は上部にあるライン形状のパターンであり、その下にテーパ付きのホールパターンを有する膜102があり、その下層に膜103がある。このデバイス構造をトップから上検出器28(a)で観察すると、図7(a)に示す様に下層103のコントラストが明るい画像が得られる。これは2次電子制限板31を用いて高角成分の2次電子(a)を選択的に検出した結果であり、底部分103は高角方向に放出される2次電子を多く含むためである。一方、下検出器28(b)で検出すると、図7(b)に示すように逆にトップ部分101のコントラストが強調される。これはライン部から放出された2次電子が低角成分を多く含むためである。ここで中間層102のテーパと下層103との境界の輪郭を観察したい場合、ライン101のコントラストは必要の無い余計な情報である。そこで図7(a)と図7(b)におけるライン部101の明るさが同じになるように画像明るさを乗除算し、その状態で図7(a)から図7(b)を減算する。即ち、画像の特定部位のコントラストを相殺するようにして合成画像を形成する。すると、図7(c)に示すようにライン部101のコントラストを消去した画像を得ることができる。この画像ではライン部101のコントラストが無いため、所望の観察位置である中間層102と下層103との境界部における明るさのダイナミックレンジを広げることができ、精度の良い観察が可能となる。画像取得中に合成画像の明るさを調整できるようにしておけば、ダイナミックレンジを最適化して合成画像を取得することができる。

[0055] なお、上述の実施例では変換電極を用いて、試料から放出された電子を三次電子に変換した上で検出する例を説明したが、変換電極に代えて、MCP

(Multi Channel Plate) 検出器のような試料から放出された電子を直接検出する検出器であっても良い。この場合、下段に配置される検出器は、低角成分を遮断する遮断部材となる。

[0056] 上記実施例によれば、2次電子の軌道を制御して2次電子制限板を用いたときの検出効率を一定に保ち、イメージシフトを使用しても常に同等の画像を得ることが可能になる。また、2次電子制限板の上段に配置されたエネルギーフィルタに対して2次電子が一定の角度で進入できるようになるため、エネルギー分解能を一定に保って画像を安定に取得することができるようになる。

符号の説明

- [0057] 1 1 電界放出陰極
1 2 引出電極
1 3 引出電圧
1 4 コンデンサレンズ
1 5 絞り
1 7 対物レンズ
1 8 加速円筒
2 0 ガイド
2 1 上走査偏向器
2 2 下走査偏向器
2 3 試料
2 4 ホルダー
2 5 上イメージシフト
2 6 下イメージシフト
2 7 反射板
2 8 (a) 上検出器
2 8 (b) 下検出器
3 1 2次電子制限板

3 2 2 次電子アライナ I

3 3 (a) 2 次電子アライナ I I (U)

3 3 (b) 2 次電子アライナ I I (L)

3 4 エネルギーフィルタ

請求の範囲

[請求項1] 電子源と、当該電子源から放出される電子ビームの照射位置を偏向する偏向器と、当該偏向器を制御する制御装置を備えた走査電子顕微鏡において、

前記電子ビームの試料への照射によって得られる電子を検出する第1の検出器と、当該第1の検出器と前記偏向器との間に配置され、前記電子ビームの通過開口を有する開口形成部材と、前記試料から放出された電子を偏向する二次信号偏向器を備え、前記制御装置は、前記偏向器の偏向制御に応じて、前記試料から放出される電子を前記電子ビームの通過開口に向かって偏向するように前記二次信号偏向器を制御することを特徴とする走査電子顕微鏡。

[請求項2] 請求項1において、

前記開口部形成部材は、電子の衝突によって電子を発生する変換電極であって、当該変換電極にて発生する電子を検出する第2の検出器を備えたことを特徴とする走査電子顕微鏡。

[請求項3] 請求項1において、

前記開口部形成部材は、電子を検出する第2の検出器であることを特徴とする走査電子顕微鏡。

[請求項4] 請求項1において、

第1の検出器より、前記電子ビーム光軸を中心として広い範囲に放出される電子を検出する第2の検出器と、前記第1の検出器と第2の検出器の出力を合成する演算器を備えたことを特徴とする走査電子顕微鏡。

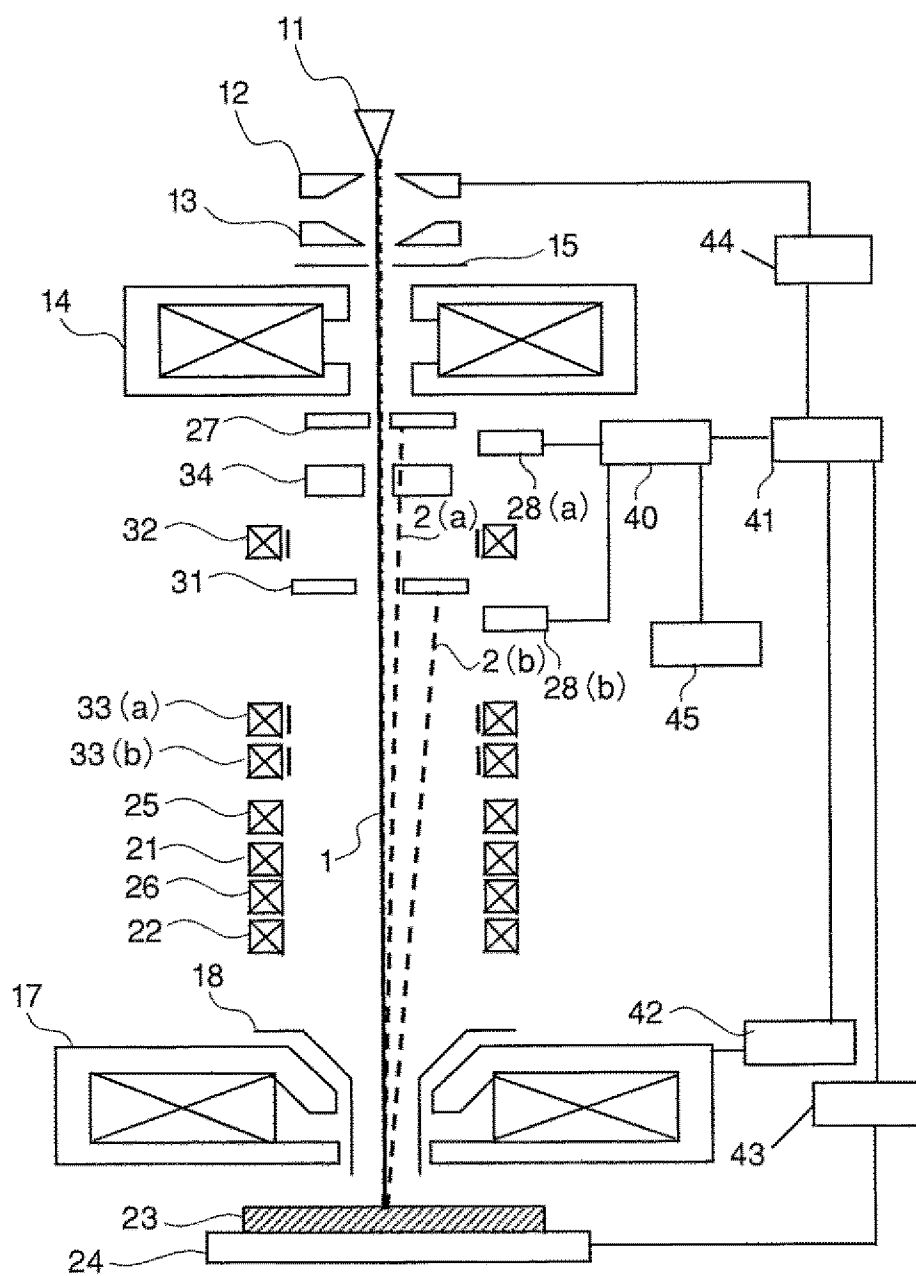
[請求項5] 請求項4において、

前記演算器は、前記第1の検出器と第2の検出器を出力を、特定のパターンのコントラストが等しくなるような処理を行い、当該特定パターンのコントラストを消去するように第1の検出器と第2の検出器の出力を合成することを特徴とする走査電子顕微鏡。

- [請求項6] 請求項1において、
前記偏向器は、前記電子ビームの走査位置を偏向するイメージシフト偏向器であって、前記制御装置は前記電子ビームの走査位置に応じて、前記二次信号偏向器を制御することを特徴とする走査電子顕微鏡。
- [請求項7] 請求項1において、
前記開口形成部材より電子源側にエネルギーフィルタが配置されることを特徴とする走査電子顕微鏡。
- [請求項8] 請求項7において、
前記エネルギーフィルタへの電子の入射角度を調整する偏向器を備えたことを特徴とする走査電子顕微鏡。
- [請求項9] 請求項1において、
前記前記偏向器の制御量と前記二次信号偏向器の動作条件を関連付けて記憶するメモリを備えていることを特徴とする走査電子顕微鏡。
- [請求項10] 請求項1において、
前記二次信号偏向器はウィーンフィルタであることを特徴とする走査電子顕微鏡。
- [請求項11] 電子源と、当該電子源から放出される電子ビームの照射位置を偏向する偏向器と、当該偏向器を制御する制御装置を備えた走査電子顕微鏡において、
前記電子ビームの試料への照射によって得られる電子を検出する第1の検出器と、当該第1の検出器より相対的に前記電子ビーム光軸を中心として広い範囲に放出される電子、或いは当該電子によってもたらされる電子を検出する第2の検出器と、当該第1の検出器と第2の検出器の出力を合成する演算部を備え、
当該演算部は、前記第1の検出器と第2の検出器の特定部位のコントラストを相殺するように前記出力の合成を実施することを特徴とする走査電子顕微鏡。

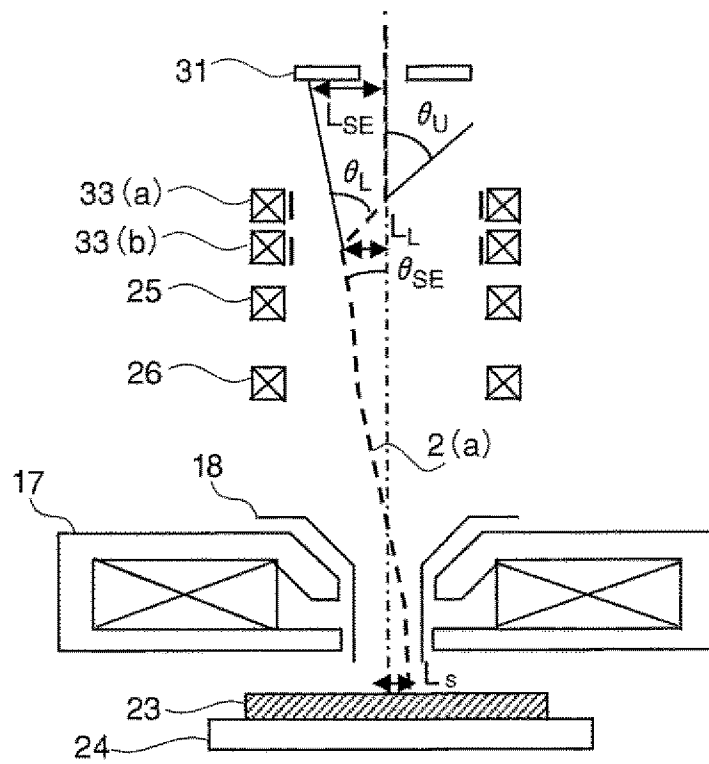
[図1]

図 1



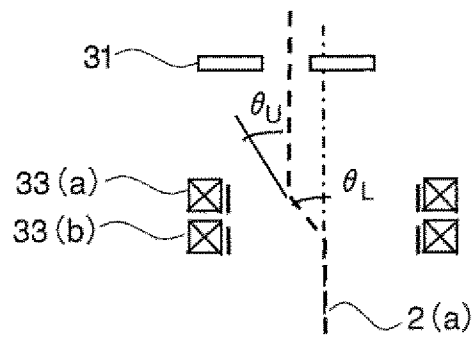
[図2]

図 2



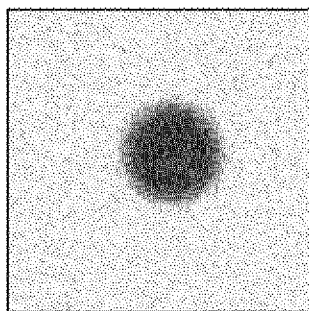
[図3]

図 3

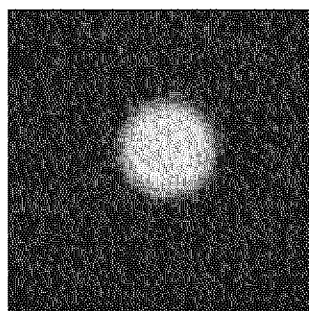


[図4]

図 4



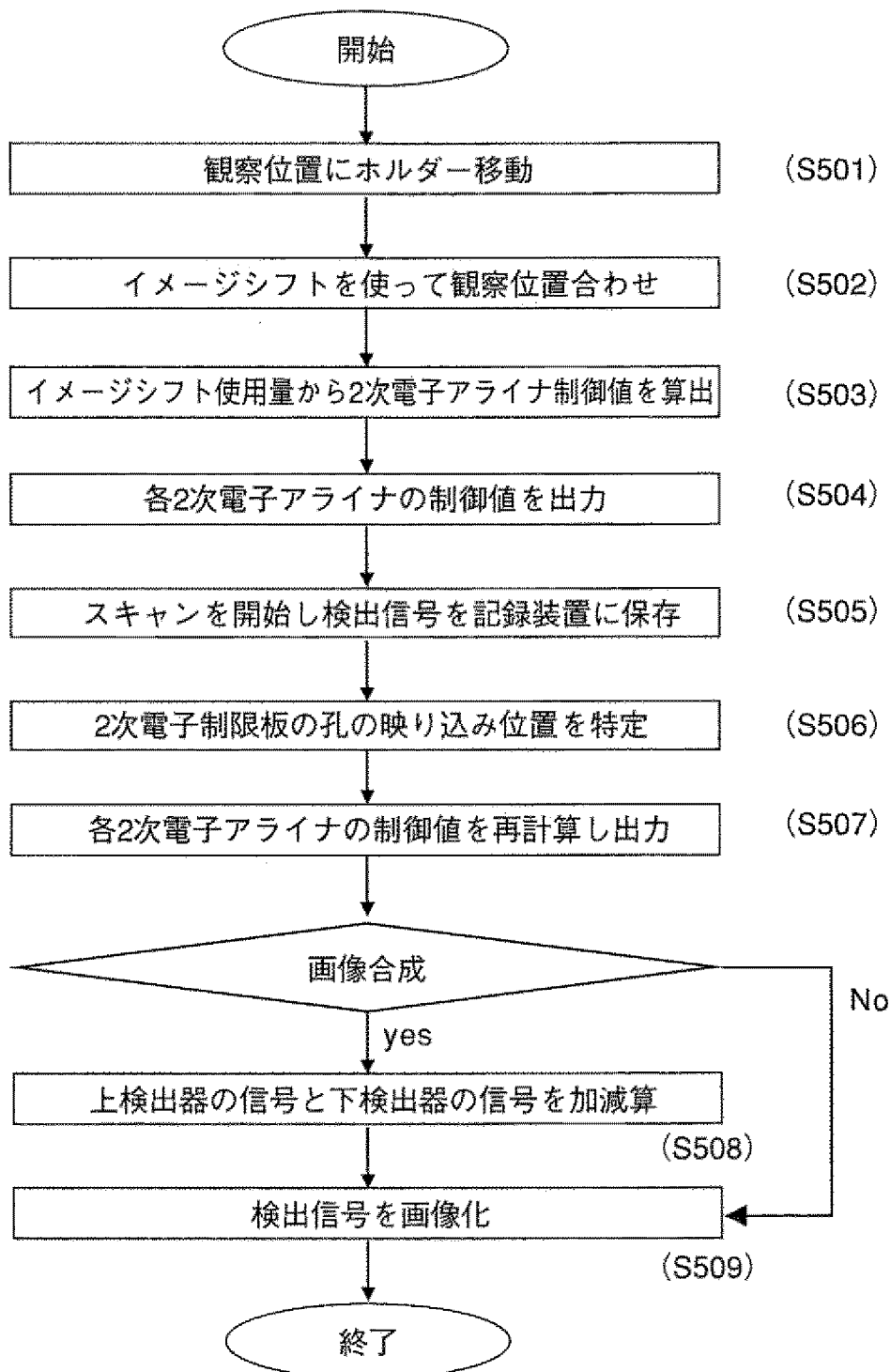
(a)



(b)

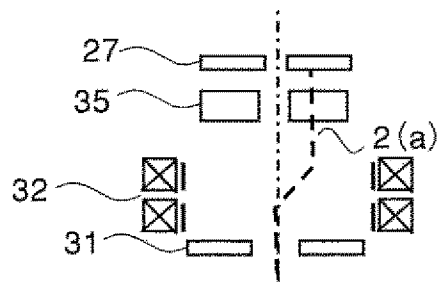
[図5]

図 5



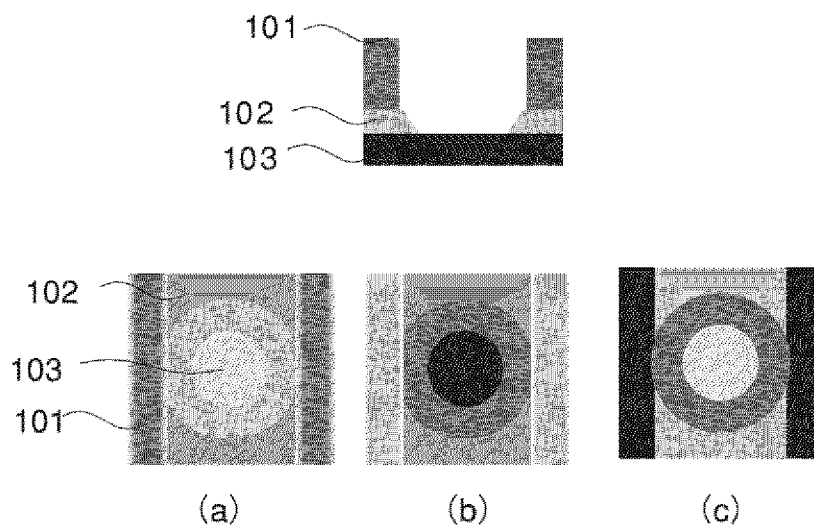
[図6]

図 6



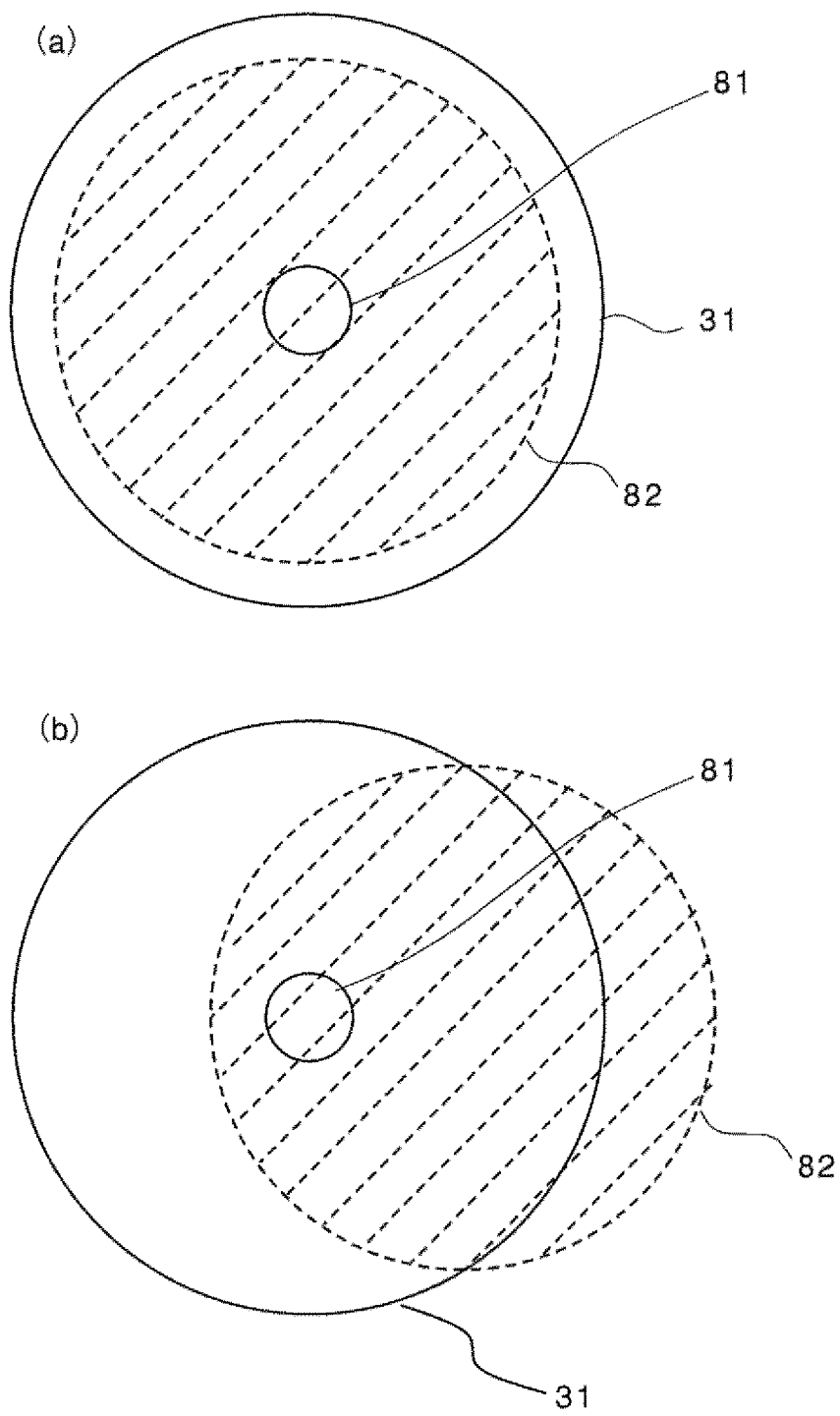
[図7]

図 7



[図8]

図 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/053786

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01J37/244(2006.01)i, H01J37/05(2006.01)i, H01J37/147(2006.01)i,
H01J37/22(2006.01)i, H01J37/29(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)

H01J37/244, H01J37/05, H01J37/147, H01J37/22, H01J37/29

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.
X Y A	JP 2006-228999 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 31 August 2006 (31.08.2006), paragraphs [0016] to [0018]; fig. 8 & US 2006/0186351 A1	1-3, 6, 9-10 4, 7 5, 8, 11
Y	JP 2011-247808 A (Toshiba Corp.), 08 December 2011 (08.12.2011), abstract (Family: none)	4
Y	JP 2006-114426 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 27 April 2006 (27.04.2006), claim 2 (Family: none)	7

☐ 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

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
14 March, 2013 (14.03.13)

Date of mailing of the international search report
26 March, 2013 (26.03.13)

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. H01J37/244 (2006.01)i, H01J37/05 (2006.01)i, H01J37/147 (2006.01)i, H01J37/22 (2006.01)i, H01J37/29 (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. H01J37/244, H01J37/05, H01J37/147, H01J37/22, H01J37/29

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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
X Y A	JP 2006-228999 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2006.08.31, 【0016】 - 【0018】, 図 8 & US 2006/0186351 A1	1-3, 6, 9-10 4, 7 5, 8, 11
Y	JP 2011-247808 A (株式会社東芝) 2011.12.08, 要約 (ファミリーなし)	4
Y	JP 2006-114426 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2006.04.27, 請求項 2 (ファミリーなし)	7

☐ 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」国際出願日前で、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

1 4 . 0 3 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 6 . 0 3 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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)

桐畑 幸▲廣▼

2 G

9 6 0 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 2 6