

(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
2020年10月29日(29.10.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/217456 A1

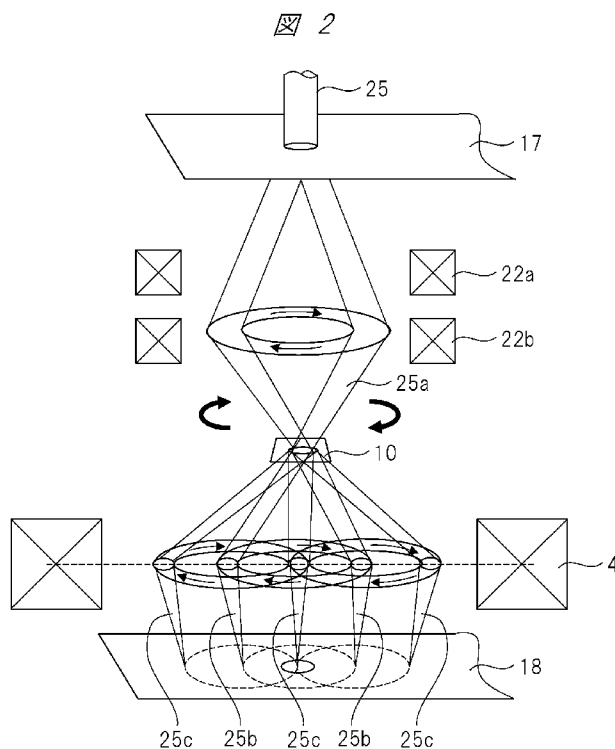
- (51) 国際特許分類:
H01J 37/26 (2006.01) H01J 37/22 (2006.01)
G01N 23/225 (2018.01) H01J 37/28 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/017938
- (22) 国際出願日: 2019年4月26日(26.04.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 株式会社日立ハイテク
(HITACHI HIGH-TECH CORPORATION) [JP/JP]; 〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 矢口 紀恵 (YAGUCHI, Toshie); 〒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). 田村 圭司 (TAMURA, Keiji); 〒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). 三

瀬 大海(MISE, Hiromi); 〒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). 野寺 康行(NODERA, Yasuyuki); 〒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). 和久井 亜希子(WAKUI, Akiko); 〒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). 五十嵐 啓介(IGARASHI, Keisuke); 〒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).

- (74) 代理人: 特許業務法人筒井国際特許事務所(TSUTSUI & ASSOCIATES); 〒1600022 東京都新宿区新宿2丁目3番10号 新宿御苑ビル3階 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,

(54) Title: TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPE AND INSPECTION METHOD USING TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPE

(54) 発明の名称: 透過電子顕微鏡および透過電子顕微鏡を用いた検査方法



(57) Abstract: Provided is a transmission electron microscope capable of obtaining a hollow-cone dark-field image and visually displaying irradiation conditions thereof. The transmission electron microscope is provided with an irradiation unit for irradiating a specimen with an electron beam, an objective lens for causing the electron beam transmitted through the specimen to form an image, beam deflectors for deflecting the electron beam, said beam deflectors being positioned higher than a position where the specimen is to be placed, an objective movable aperture for passing only a portion of the electron beam transmitted through the specimen, and a deflection coil control unit. The deflection coil control unit controls a deflection angle of the electron beam using the beam deflectors such that the specimen is irradiated with the electron beam at a predetermined angle with respect to an optical axis while the electron beam is moving in a precessional manner and such that only a diffracted wave and/or a scattered wave having a desired angle among diffracted waves and/or scattered waves generated when the electron beam is transmitted through the specimen passes through the objective movable aperture.



WO 2020/217456 A1

CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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.

- (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, ST, 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 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約 : ホローコーン暗視野像を得られ、その照射条件を視覚的に表示可能な透過電子顕微鏡を提供する。透過電子顕微鏡は、電子線を試料に照射するための照射部と、試料を透過した電子線を結像させるための対物レンズと、試料が位置すべき位置より上方に位置するビーム偏向器であって、電子線を偏向するためのビーム偏向器と、試料を透過した電子線の一部のみを通過させるための対物可動絞りと、偏向コイル制御部とを備える。ここで、偏向コイル制御部は、電子線が光軸に対して所定の角度で歳差運動しながら試料に照射されるように、かつ、電子線が試料を透過することによって生成される回折波および／または散乱波のうち、所望の角度の回折波および／または散乱波のみが対物可動絞りを通過するように、ビーム偏向器によって電子線の偏向角度を制御する。

明 細 書

発明の名称：

透過電子顕微鏡および透過電子顕微鏡を用いた検査方法

技術分野

[0001] 本発明は、透過電子顕微鏡および透過電子顕微鏡を用いた検査方法に関し、特にホローコーン照射を実施可能な透過電子顕微鏡に好適に使用できる。

背景技術

[0002] 透過電子顕微鏡（TEM：Transmission Electron Microscope）は、各種デバイスの微細な構造観察または多層膜の膜厚の測定などに用いられている。TEMにおいては、試料を透過するために、十分に高い加速電圧で電子線が照射される。

[0003] 測定対象となる構造の微細化などに伴い、例えば酸化シリコン膜または窒化シリコン膜などの軽元素によって構成される物質を、TEMによって測定または観察することが求められている。加速電圧が高い場合、TEM像内における軽元素のコントラストは不明瞭になり、その判別が困難である。そこで、酸化シリコン膜または窒化シリコン膜を測定または観察する際に、加速電圧を下げてコントラストを上げるという手法が知られている。

[0004] 一方で、重元素によって構成される膜の結晶サイズおよび形状を観察するニーズもある。重元素を測定または観察する場合には、加速電圧を高くすることが多い。

[0005] また、目的とする構造の結晶サイズおよび配向性の確認のため、試料において回折または散乱した電子線を使った暗視野TEM法がある。暗視野TEM法では、所望の回折または散乱した電子を用いることによって、観察視野のうち、選択された回折および／または散乱が生じた部分が、明るいコントラストで観察される。また、暗視野TEM法は、金属合金膜などの評価または電池材料の結晶性の評価などにも用いられている。

[0006] 例えば、非特許文献1では、同一の角度に散乱された回折スポットの暗視

TEM像を重ね合わせて、リチウム(Li)電池の電解質材料の結晶化の様子が、温度の変化によって変更していく過程を観察する技術が開示されている。

先行技術文献

非特許文献

- [0007] 非特許文献1: H.Tsukasaki et al. Journal of Power Sources 369(2017) 57-64

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] 非特許文献1では、散乱された回折スポット毎に暗視野TEM像を記録し、得られた画像を積算しているため、実時間での動的観察が困難である。また、TEM像の観察時において、散乱角度および回折角度が固定であるため、構造変化によって電子線の回折角度が変化した場合、一度、暗視野TEM像の観察モードから回折パターン観察モードに変更し、対応する回折スポットが対物絞りに入るように再設定を行い、暗視野TEM像の観察モードに戻す。このため、手順が増えるため、動的変化に追従することが困難である。また、複数の散乱角度における暗視野像を観察および記録していくため、多くの時間を要するという問題がある。

- [0009] 本願における目的の一つは、ホローコーン暗視野像を得られる透過電子顕微鏡を提供することにある。その他の課題および新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになる。

課題を解決するための手段

- [0010] 本願において開示される実施の形態のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、次のとおりである。
- [0011] 一実施の形態における透過電子顕微鏡は、電子線を試料に照射するための照射部と、前記試料を透過した前記電子線を結像させるための対物レンズと、前記試料が位置すべき位置より上方に位置するビーム偏向器であって、前

記電子線を偏向するためのビーム偏向器と、前記試料を透過した前記電子線の一部のみを通過させるための対物絞りと、第1制御部と、を備える。ここで、前記第1制御部は、前記電子線が光軸に対して所定の角度で歳差運動しながら前記試料に照射されるように、かつ、前記電子線が前記試料を透過することによって生成される回折波および／または散乱波のうち、所望の角度の回折波および／または散乱波のみが前記対物絞りを通過するように、前記ビーム偏向器によって前記電子線の偏向角度を制御する。

図面の簡単な説明

- [0012] [図1]実施の形態1における透過電子顕微鏡を示す模式図である。
- [図2]実施の形態1における透過電子顕微鏡によるホローコーン照射法の説明図である。
- [図3A]実施の形態1における透過電子顕微鏡を用いて得られた制限視野回折パターンの説明図である。
- [図3B]実施の形態1における透過電子顕微鏡を用いて得られたホローコーンビーム回折パターンの説明図である。
- [図4]実施の形態1における表示画面の一例である。
- [図5]実施の形態1における透過電子顕微鏡を用いた検査方法を示すフロー図である。
- [図6]図5のフロー図に対応する表示画面である。
- [図7]実施の形態1における表示画面の一例である。
- [図8A]実施の形態1における表示画面の一例である。
- [図8B]実施の形態1における表示画面の一例である。
- [図8C]実施の形態1における表示画面の一例である。
- [図9A]実施の形態1における表示画面の一例である。
- [図9B]実施の形態1における表示画面の一例である。
- [図10]実施の形態1における透過電子顕微鏡を用いた検査方法を示すフロー図である。
- [図11]実施の形態1における透過電子顕微鏡を用いた検査方法を示すフロー

図である。

[図12]円環表示の幅および径を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下、実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一の機能を有する部材には同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。また、以下の実施の形態では、特に必要なとき以外は同一または同様な部分の説明を原則として繰り返さない。

[0014] なお、以下の説明において「上方」または「下方」という用語は、各図面を基準にした上方または下方を指し、鉛直上方または鉛直下方とは必ずしも一致しない。

(実施の形態1)

[0015] 図1は、荷電粒子線装置の一例である透過電子顕微鏡1の基本的な構造を示す模式図である。ただし、図示された構成は例示にすぎないことに留意されたい。

[0016] 透過電子顕微鏡1は鏡体COLを有し、鏡体COLは、主に、電子線を試料に照射するための照射部RA、電子線を結像するための結像部IM、および、電子線を検出するための検出部DEに分けられる。

[0017] 照射部RAは、主に、電子(ビーム)の放出源(電子源)となる電子銃2と、ビーム偏向器21a、21b、22a、22bおよびコンデンサレンズ3を有する。結像部IMは、主に、対物レンズ4、試料10を透過した透過電子線を結像させるための中間レンズ5a、5bおよび投射レンズ6a、6bを有する。検出部DEは、主に、電子線が照射されることにより発光する部材である蛍光板12を有する。各レンズには、レンズ励磁電源7から電力(電流、電圧)が供給される。また、各レンズは、レンズ励磁電源7を介してレンズ電源制御部8に接続されている。

[0018] コンデンサレンズ3の下方には、コンデンサ可動絞り17が備えられている。対物レンズ4の後焦点面には、対物可動絞り18が備えられている。対物レンズ4の像面には、制限視野可動絞り19が備えられている。コンデン

サ可動絞り 17、対物可動絞り 18 および制限視野可動絞り 19 の各々は、少なくとも光軸上に出し入れ可能なように構成されている。各可動絞りを光軸に入れるか否かは、観察対象または観察目的などに沿って決定される。各可動絞り 17、18 および 19 は、二次元（水平方向）または三次元に移動可能であり、例えばモータ駆動である。各可動絞り 17、18 および 19 の位置は、可動絞り制御部 20 で制御される。

[0019] 電子銃 2 の下方であり、且つ、好ましくはコンデンサレンズ 3 の上方には、一段以上のビーム偏向器（コイル）が設けられている。図 1 では、二段のビーム偏向器 21 a、21 b を設けた場合が例示されている。更に、試料ホルダ 9 の上方、すなわちコンデンサレンズ 3 と対物レンズ 4 との間には、一段以上のビーム偏向器（コイル）が設けられている。図 1 では、二段のビーム偏向器 22 a、22 b を設けた場合が例示されている。これらのビーム偏向器 21 a、21 b、22 a、22 b の各々は、偏向コイル制御部 23 に電氣的に接続されている。なお、ビーム偏向器 22 a、22 b を、コンデンサレンズ 3 の上方に設けることも可能であるが、実施の形態 1 では、ビーム偏向器 22 a、22 b をコンデンサレンズ 3 の下方に設けている。

[0020] 実施の形態 1 においては、対物レンズ 4 の内部に試料 10 が位置するように、試料ホルダ 9 が鏡体 COL に挿入される。試料 10 を検査する際には、試料ホルダ 9 には試料 10 が搭載され、試料 10 の位置は試料微動制御部 11 によって制御される。

[0021] 投射レンズ 6 b の下方には蛍光板 12 が備えられている。検出部 DE における追加または代替の構成として、透過電子顕微鏡 1 はカメラ 13 を有してもよい。図 1 では、蛍光板 12 の下方にカメラ 13 が位置している。カメラ 13 は、画像の表示および記録を行うための画像制御部 14 を介して、表示部 15 に電氣的に接続されている。

[0022] なお、実施の形態 1 における透過電子顕微鏡 1 は、透過電子顕微鏡 1 の内部または外部において、表示部 15 を設置可能である。例えば、表示部 15 は、透過電子顕微鏡 1 の内部に一体化して接続されていてもよいし、透過電

子顕微鏡 1 の外部に電氣的に接続されていてもよい。

[0023] 結像された透過像は、中間レンズ 5 a、5 b および投射レンズ 6 a、6 b によって拡大され、蛍光板 1 2 上に投影される。蛍光板 1 2 を光軸上から除去する（例えば持ち上げる）と、透過像はカメラ 1 3 に投影される。その結果、表示部 1 5 において透過像が表示される。カメラ 1 3 により取得された透過像は、検出部 D E（蛍光板 1 2、カメラ 1 3）に電氣的に接続されている画像制御部 1 4 で記録される。すなわち、検出部 D E において所定の角度で回折した回折波の検出信号から、画像制御部 1 4 において暗視野像が生成される。

[0024] なお、透過像は、画像制御部 1 4 内に設けられている画像記憶装置 1 6 に記録されてもよい。画像記憶装置 1 6 は、ハードディスクまたはフラッシュメモリなどである。

[0025] レンズ電源制御部 8、試料微動制御部 1 1、画像制御部 1 4、可動絞り制御部 2 0 および偏向コイル制御部 2 3 の各々は、透過電子顕微鏡 1 全体の制御を行うマイクロプロセッサ 2 4 に電氣的に接続されている。なお、図 1 では説明を判り易くするため、これらの各制御部は、各々に関連する制御対象の近くに個別に図示されているが、各制御部およびマイクロプロセッサ 2 4 が一つの制御ユニットとして纏められていてもよい。そのため、本願においては、レンズ電源制御部 8、試料微動制御部 1 1、画像制御部 1 4、可動絞り制御部 2 0、偏向コイル制御部 2 3 およびマイクロプロセッサ 2 4 の全部または一部を有する制御ユニットを、単に「制御部」と称する場合もある。

[0026] 電子銃 2 から発生した電子線 2 5 は、コンデンサレンズ 3 およびコンデンサ可動絞り 1 7 によって電子線の照射領域を制限され、試料 1 0 に照射される。試料 1 0 を透過した電子線 2 5 は、対物レンズ 4 により結像される。

[0027] ここで、試料 1 0 が結晶性の試料である場合、回折を受けずに直進する電子線と、結晶によって回折を受ける電子線が存在する。回折を受けずに直進する電子線のみが対物可動絞り 1 8 を通過する条件下において形成される T E M 像を、明視野透過像という。直進する電子線のみが対物可動絞り 1 8 を

通過するよう、ビーム偏向器 22 a によって電子線 25 を垂直にし、ビーム偏向器 22 b によって試料 10 の光軸を中心とした領域を照射するようになると、明視野透過像が形成される。

[0028] 一方で、同じ角度で回折された電子線は、対物レンズ 4 の後焦点面で同じ点に集まり、その結果、後焦点面上に電子線回折パターンが形成される。回折された電子線 25 のみが対物可動絞り 18 を通過するよう、ビーム偏向器 22 a によって電子線 25 を傾斜し、ビーム偏向器 22 b によって試料 10 の同じ場所を照射するよう振り戻しをすると、暗視野透過像が形成される。なお、アモルファス試料の場合には、回折された電子線ではなく、散乱された電子線によって像が形成される。

[0029] 電子線回折パターンを観察する場合には、制限視野可動絞り 19 が挿入される。制限視野可動絞り 19 によって制限された対物レンズ 4 の像面に形成された透過像領域の電子線回折パターンは、対物レンズ 4 の後焦点面に形成される。電子線の回折パターンが蛍光板 12 またはカメラ 13 に投影されるよう、回折パターンに中間レンズ 5 a、5 b の焦点を合わせ、中間レンズ 5 a、5 b および投射レンズ 6 a、6 b において拡大することで、回折パターンを観察することができる。

[0030] 明視野像、暗視野像、ホローコーン暗視野像または回折パターンの取得には、マイクロプロセッサ 24 から各制御部（レンズ電源制御部 8、試料微動制御部 11、画像制御部 14、可動絞り制御部 20 および偏向コイル制御部 23）に指示が出される。また、像またはパターンの取得の際には、画像制御部 14 において、それぞれの条件が記録され、画像が表示され、画像が記録される。

[0031] 図 2 は、透過電子顕微鏡 1 によるホローコーン照射法の説明図を示している。コンデンサレンズ 3 で形成された電子線 25 は、コンデンサ可動絞り 17 を抜けてビーム偏向器に達する。ここで、ビーム偏向器の上部 22 a および下部 22 b に、それぞれ位相が 90 度異なる正弦波電流を流すと、上下の電流または電流が作る磁界の合成によって、電子線 25 は歳差運動する。歳

差運動の条件を適切に選ぶことによって、電子線 25 は、試料 10 の位置する面を頂点とする中空円錐に沿って照射されることになる。実施の形態 1 では、このような照射をホローコーン照射として説明する。

[0032] これにより、光軸に対して等しい角度に傾斜した電子線 25 a が対物可動絞り 18 を通過する。すなわち、偏向コイル制御部 23 は、電子線 25 a が光軸に対して所定の角度で歳差運動しながら試料 10 に照射されるように、かつ、電子線 25 a が試料 10 を透過することによって生成される回折波および／または散乱波のうち、所望の角度の回折波および／または散乱波のみが対物可動絞り 18 を通過するように、ビーム偏向器 22 a、22 b によって電子線 25 の偏向角度を制御している。

[0033] この電子線 25 a で結晶性の試料 10 を観察すると、対物レンズ 4 の後焦点面では、試料 10 において回折されずに直進する透過電子線 25 b は、光軸の周りにリング状に回転する。一方、試料 10 において回折された電子線 25 c は、光軸から少し離れた位置を中心としてリング状に回転する。対物レンズ 4 の後焦点面上の電子線 25 b、25 c の回転半径は、試料 10 に入射する前の電子線 25 a の歳差運動の半径によって変化する。

[0034] そして、歳差運動の半径は、ビーム偏向器 22 a、22 b に流す電流量（ここでは正弦波を印加しているため、振幅と言い換えられてよい）によって変化する。従って、対物可動絞り 18 を光軸上に挿入した状態において、特定の回折波のリングの一部が光軸中心を通るように、ビーム偏向器 22 a、22 b に流す電流量を変化させることで、ホローコーン暗視野像が得られる。

[0035] 図 3 A は、金の単結晶を試料 10 とした場合の制限視野回折パターンである。図 3 B は金の (111) 面の回折パターンが光軸中心に接するように、歳差運動の傾斜角を設定して撮影したホローコーンビーム回折パターンである。なお、図 2 で説明したように、図 3 B のパターンが得られる条件下では電子線 25 が回転しているため、瞬間的なある時間における回折パターンは、厳密には一点の回折スポットとして示される。そのため、実施の形態 1 に

おけるリング状の回折パターンは、一定時間内に光軸の周りを少なくとも一回転した複数の回折スポットの集合体であるとして説明を行う。

[0036] 図3Aにおいて、試料10において回折されずに直進する透過電子線25bは、図3Bに示されるホローコーンビーム照射では、光軸の周りをリング状に回転する。また、結晶面から回折した電子線25cも、同様に光軸の周りをリング状に回転する。前述のように、図3Bにおいては、電子線25c（金の(111)面からの回折波に相当する電子線）が光軸中心を通過するように、歳差運動の傾斜角が設定されている。なお、図3Aでは、電子線25bの下部の回折スポットにのみ、電子線25cを示しているが、この例では、電子線25bの上部、左部および右部において電子線25bに隣接する回折スポットも、電子線25cと同値（等価）である。

[0037] ホローコーン照射時に光軸中心に対物可動絞り18を挿入することにより、光軸から等距離の回折スポット群が対物可動絞り18を通過する。この際、直進する透過電子線25b、すなわち最も明るい電子線25bは、対物可動絞り18を通過しない。従って、ホローコーン照射によって生成された暗視野像においては、メインスポット以外の回折スポット群である弱い電子線25cによって、コントラストが強調される。なお、電子線の（歳差運動の）回転周期は、暗視野像などの撮像中に少なくとも1回転以上するように定められる。

[0038] 図4は、透過電子顕微鏡1のホローコーン暗視野を表示する表示画面の一例である。表示部15において表示される各構成を操作することで、各種の条件を変更することができる。

[0039] イメージウィンドウ26（図中では「Image」で表示）には、試料10のホローコーン暗視野像が表示される。ホローコーン条件ウィンドウ27（図中では「Hollow cone condition」で表示）は、イメージウィンドウ26に対応しており、表示部27aおよび条件設定部27bによって構成されている。表示部27aには、前もって取得された回折パターン、予め入力された材料の回折パターンモデル、または、予め入力された標準試料の回折パターンが

表示される。条件設定部 27 b には、面間隔ごとのリングスケール表示など、暗視野像を取得するための各種の条件が表示され、これらの条件の各々は操作可能である。

[0040] イメージウィンドウ 26 およびホローコーン条件ウィンドウ 27 は連動しており、条件設定部 27 b において条件を変更すると、それに連動してイメージウィンドウ 26 においてホローコーン暗視野像も変化する。ホローコーン条件ウィンドウ 27 には一例として、試料 10 の回折パターン（ホローコーン照射ではなく、通常の照射により得られたパターン、または、得られる予定のパターン）が表示されている。

[0041] ホローコーン条件ウィンドウ 27 に表示された回折パターン上には、ホローコーン暗視野像の生成に用いられる回折領域および散乱領域が、円環表示 28 として、円環状に表示されている。円環表示 28 の内部の領域は、ホローコーン照射をした際に、電子線 25 c が対物可動絞り 18 を通過する予定の領域である。従って、円環表示 28 の幅（円環表示 28 の外径と内径との差）は、対物可動絞り 18 の径（直径）に対応している。対物可動絞り 18 の径が変更された場合、円環表示 28 の幅も変更される。なお、ここにいう「円環表示 28 の幅」とは、図 12 に示される符号 W の部分の長さを指す。

[0042] また、円環表示 28 の径（半径）は、ホローコーン照射により試料 10 を透過した電子線 25 b、25 c が描く円の半径に対応する。なお、ここにいう「円環表示 28 の径」とは、図 12 に示される符号 R の部分の長さを指す。理想的には、円環表示 28 の径 R は、光軸から、円環表示 28 の外径と内径との中間点（中間線）までの長さである。ホローコーン条件ウィンドウ 27 の条件設定部 27 b には、円環表示 28 の径（半径）を変えるためのスクロールバー 30 と、スクロールバー 30 内の値を指定するカーソル 30 a と、カーソル 30 a によって指定された値を表示するためのニューメリックボックス 31 と、ニューメリックボックス 31 の値を直接変化させるためのボタン 32 が設けられている。

[0043] ここで指定される値はビーム偏向器 22 a、22 b の電流量であり、すな

わち円環表示 28 の径である。換言すれば、ホローコーン条件ウィンドウ 27 において円環表示 28 の径を変えることにより、どの領域の電子線（回折波および／または散乱波）を用いてホローコーン暗視野像を生成するかを指定できる。

[0044] また、ホローコーン条件ウィンドウ 27 には、回折および散乱領域の平均半径に対応した面間隔が、面間隔表示 29 として表示されている。円環表示 28、面間隔表示 29、スクロールバー 30 のカーソル 30 a の位置、ニューメリックボックス 31 の数値、および、ボタン 32 は連携し、スクロールバー 30 のカーソル 30 a の位置、ニューメリックボックス 31 の数値、または、ボタン 32 のいずれかを変更すれば、他も連動して変更される。そのため、例えばスクロールバー 30 のカーソル 30 a の位置を自動で変化させ、カーソル 30 a の位置に対応するホローコーン暗視野像を、動画で観察および記録することが可能である。

[0045] このように、実施の形態 1 おける透過電子顕微鏡 1 は、グラフィカルユーザインターフェース（GUI : graphical user interface）を有している。グラフィカルユーザインターフェースには、上述のようなイメージウィンドウ 26、ホローコーン条件ウィンドウ 27、回折パターン、円環表示 28、面間隔表示 29、スクロールバー 30、カーソル 30 a、ニューメリックボックス 31 およびボタン 32 などが含まれる。グラフィカルユーザインターフェースを用いることで、表示部 15 において、ユーザは視覚的および直感的に操作を行うことができ、ユーザの操作に係る負担を軽減できる。

[0046] 暗視野像の取得用条件を変化させながらホローコーン暗視野像を観察すると、暗視野像のコントラストが変化する。例えば図 4 の事例では、円環表示 28 の内部に回折スポットまたは散乱電子線が含まれている場合に、暗視野像の対応する領域が明るくなり、円環表示 28 の内部に回折スポットまたは散乱電子線が含まれていない場合に、暗視野像の対応する領域が暗くなる。どのような暗視野像が得られるかは、どの回折スポットまたは散乱電子線が円環表示 28 の内部に含まれているかによっても変化する。従って、所望の

コントラストが得られた際にカーソル30aを停止させることで、所望のホローコーン暗視野像を記録することが可能である。

[0047] また、暗視野像の取得用条件をスキャンしながら（変化させながら）暗視野像を取得したうえで、歳差運動がどの角度にある場合に（換言すれば、どの電子線回折または電子線散乱領域が用いられた場合に、円環表示の径がどの長さである場合に）暗視野像全体の信号強度が最大になるかが求められてもよい。追加または代替として、暗視野像の取得用条件をスキャンしながら（変化させながら）暗視野像を取得したうえで、暗視野像の信号強度に最も反映されている（換言すれば、その像の生成に最も寄与している）結晶格子間隔範囲が求められてもよい。

[0048] 図5および図6を用いて、実施の形態1における透過電子顕微鏡1を用いた検査方法を説明する。図6は、図5に示されるステップS1～S5に対応した表示画面を示している。

[0049] <ステップS1>

まず、ホローコーン条件ウィンドウ27に制限視野回折パターンを取り込む。ホローコーン暗視野像に用いる結晶格子面間隔を有する回折スポットを、マーカ33で選択する。ここで、マーカ33は矢印形状としたが、マーカ33の形状は、ホローコーン暗視野像に用いる対物可動絞り18の径をもつ円でもよい。

[0050] <ステップS2>

選択した回折スポットの座標は、マイクロプロセッサ24からの指示を受けた画像制御部14に伝達される。なお、座標系の原点は、例えば光軸（メインスポット）の座標である。画像制御部14は、予め入力されていた対物可動絞り18の直径に対応する幅を有し、かつ、光軸（メインスポット）と回折スポットとの間の距離に対応した半径を有する円環表示28を、回折パターン上に表示する。円環表示28の表示において、情報が画像制御部14に伝達されてもよい。円環表示28と共に、スクロールバー30のカーソル30aの位置、ニューメリックボックス31の数値、および、ボタン32も

連動して表示される。なお、ホローコーン条件ウィンドウ 27 に表示される円環表示 28 等の各々の表示は、表示部 15 に表示される。

[0051] <ステップ S 3>

マイクロプロセッサ 24 は、円環表示 28 の半径 R に対応した角度 α によって電子線 25 を傾斜させ、試料 10 にホローコーン照射するように偏向コイル制御部 23 に指示を出す。すなわち、円環表示 28 の半径 R を基にして、ビーム偏向器 22 a、22 b を制御することで、電子線 25 の歳差運動の角度 α を決定する。

[0052] ここで、回折角 (α) は、下記の式 (1) に示されるように、波長 (λ) を結晶面間隔 d で除算することで得られる。また、結晶面間隔 d は、円環表示 28 の半径 R およびカメラ長 L によって、下記の式 (2) で求められる。式 (1) および式 (2) によって、下記の式 (3) に示される関係があることが分かる。

$$\alpha = \lambda / d \quad \text{式 (1)}$$

$$d R = \lambda L \quad \text{式 (2)}$$

$$R = L \alpha \quad \text{式 (3)}$$

[0053] 偏向コイル制御部 23 からの指示を受け、ビーム偏向器 22 a、22 b によってホローコーン照射が開始される。対物レンズ 4 の後焦点面では、各スポットが、指定された半径 R で円を描く。

[0054] <ステップ S 4>

マイクロプロセッサ 24 が、対物可動絞り 18 を光軸中心に入れるように可動絞り制御部 20 に指示を出すと、可動絞り制御部 20 は、対物可動絞り 18 を光軸の中心に挿入する。なお、図 6 に示されるステップ S 3 およびステップ S 4 に対応する画像については、必ずしも表示される必要はない。

[0055] <ステップ S 5>

対物可動絞り 18 を通過した電子線 25 は、対物レンズ 4 で結像される。その後、電子線 25 は、中間レンズ 5 a、5 b および投射レンズ 6 a、6 b によって拡大される。最終的に電子線 25 は、カメラ 13 において撮像され

る。カメラ13が出力した信号（画像）は、マイクロプロセッサ24からの指示を受けた画像制御部14によって、暗視野像としてイメージウィンドウ26に表示される。また、この暗視野像および暗視野像が得られた際の各条件は、画像制御部14（画像記憶装置16）に記録される。

[0056] 以上の例では、ホローコーン暗視野像に用いる回折スポット群をマーカ33で選択したが、スクロールバー30のカーソル30aの位置を変化させる、または、ニューメリックボックス31の数値を変更することによって、イメージウィンドウ26に表示された画像から所望の円環表示28を選択することも可能である。

[0057] 図7は、実施の形態1における表示画面の一例であり、透過電子顕微鏡1のホローコーン暗視野像の操作画面の例を示している。

[0058] 図7に示される例は、回折パターンに明確な回折スポットが現れず、回折パターンがリング状となる場合、例えば、多結晶試料またはアモルファス試料などを観察する場合に適している。しかし、回折パターンに明確な回折スポットが現れる場合も、図7の例を適用することは妨げられない。

[0059] 図6までに説明した例では、回折パターンに明確なスポットが現れていた。従って、暗視野像の生成のために用いる回折スポットをユーザが選択することが容易であった。しかし、図7のホローコーン条件ウィンドウ27に表示されているように、明確な回折スポットが現れていない場合、ユーザにとっては何をまたはどこを選択すればいいのか把握しづらい。

[0060] そこで図7の例では、画像制御部14に以下の動作を行わせている。まず、回折パターンの信号強度ラインプロファイルL1が取得される。信号強度ラインプロファイルL1は、回折パターンのメインスポットの位置（光軸の位置）を始点とした線状のプロファイルであって、回折パターンの明るさの分布を示している。すなわち、信号強度ラインプロファイルL1は、回折パターンの明るさが強い箇所を凸型波形のピーク（頂点）として有し、かつ、複数の凸型波形が連続して繋がる曲線である。また、信号強度ラインプロファイルL1は、ホローコーン条件ウィンドウ27に表示されてもよく、別の

ウィンドウに表示されてもよく、表示されなくともよい。

[0061] 図7の例では、円環表示28を設定する際、まず、信号強度ラインプロファイルL1の最大ピークの位置が円環表示28の直径の中心（光軸）と設定される。そして、設定された光軸から各ピークの位置までの距離Rを半径とするように、複数の円環表示28が各ピーク毎に設定される。設定された円環表示28によって、ホローコーン照射の角度が決定される。なお、ピークの位置はユーザが選択してもよい。一方で、画像制御部14がピークの位置を自動で判断することによって、複数の円環表示28が各ピーク毎に自動的に設定され、ホローコーン暗視野像が自動的にかつ順番に取得される。

[0062] なお、ここでは、画像制御部14またはマイクロプロセッサ24に各々ピークの位置を自動で判断させているが、各々ピークの位置の判断は、ユーザ自身が行ってもよい。

[0063] 取得する格子間隔dが予め決定されている場合は、上記式(2)の関係($R = L\lambda / d$)から、Rが求められる。ここで、 $L\lambda$ は、カメラ長Lと電子線波長 λ との積からなる定数であり、透過電子顕微鏡1の設定条件によって求められる。算出されたRに従って、円環表示28を自動的に設定し、ホローコーン暗視野像を順番に取得するようにしてもよい。

[0064] 図8A、図8Bおよび図8Cは、実施の形態1における表示画面の一例であり、透過電子顕微鏡1のホローコーン暗視野像の操作画面の例を示している。なお、図8A、図8Bおよび図8Cの事例においても、図7と同様に、回折スポットが明確に表れない（リング状の回折パターンが現れる）試料が用いられている。ただし、図8A、図8Bおよび図8Cの例を、回折スポットが明確に表れている試料に対して適用することは妨げられない。

[0065] 図8A、図8Bおよび図8Cの例では、画像制御部14に以下の動作を行わせている。まず、図8Aに示されるように、ホローコーン条件ウィンドウ27において、ホローコーン暗視野像に用いる第一の円環表示28aを指定する。なお、この指定は、ユーザによって行われてもよく、図7において説明された手法などによって、画像制御部14に自動的に行われてもよい。上

記指定が行われると、ホローコーン暗視野ウィンドウ 3 4 において、ホローコーン暗視野像のうち、第一の円環表示 2 8 a が寄与した部分が明るくなる。例えば、斜線のハッチングで示されている暗視野 D F 1 が明るくなる。

[0066] 次に、図 8 B に示されるように、第二の円環表示 2 8 b が指定されると、ホローコーン暗視野ウィンドウ 3 4 において、ホローコーン暗視野像のうち、第二の円環表示 2 8 b が寄与した部分が明るくなる。例えば、異なる 2 方向の斜線を組み合わせた格子状のハッチングで示されている暗視野 D F 2 が明るくなる。

[0067] 第一の円環表示 2 8 a が指定された場合と、第二の円環表示 2 8 b が指定された場合との間のコントラストの差は、両事例において異なった回折波が暗視野像の生成に寄与していることに由来する。従って、図 8 の例は、試料のどの部分からどのような回折波が生成されているかを決定または推定することに役立つ。すなわち、図 8 の例は、試料のどの部分がどのような材質および／または結晶構造から構成されているかを、決定または推定することに役立つ。

[0068] 図 8 C に示されるように、例えば上述の第一の円環表示 2 8 a および第二の円環表示 2 8 b のような複数の円環表示が指定され、各々に対応する暗視野像が撮影された後、表示部 1 5 に、複数の暗視野像が重ね合わされたマッピング像を表示させることができる。なお、ここでは暗視野 D F 1 および暗視野 D F 2 はそれぞれ個別のハッチングによって示されている。しかし、実際の表示部 1 5 においては、暗視野 D F 1 および暗視野 D F 2 が、例えばそれぞれ青色および黄色のような異なる色で表示されてもよい。仮に、暗視野 D F 1 および暗視野 D F 2 が重なる地点がある場合、当該地点は青色と黄色とが混ぜられた中間色によって表示されてもよい。

[0069] 以上のように、図 8 A ~ 図 8 C で説明した手法によって、各回折および散乱領域の観察視野の分布状態を知ることが可能となる。

[0070] 図 9 A および図 9 B は、実施の形態 1 における表示画面の一例であり、透過電子顕微鏡 1 のホローコーン暗視野像の操作画面の例を示している。図 9

Aおよび図9Bにおいて説明する事例は、検査する試料の材料が予め分かっている場合、または、試料の材料がほぼ推定されている場合などに適している。

[0071] 図9Aの例では、ホローコーン条件ウィンドウ27には、取得した回折パターンの変わりに、画像制御部14において予め入力された特定材料の回折パターンモデル35が表示されている。例えばアモルファスの試料10を加熱しながら観察することで、アモルファスから結晶化が行われる変化が起こる過程を観察できる。

[0072] ホローコーン条件ウィンドウ27において、予め試料10の回折パターンモデルを表示し、所望の領域を選択しておく。そうすると、結晶化の進行に伴って回折スポットの強度が増し、ここでは図示していないが、イメージウィンドウ26において、ホローコーン暗視野像の結晶化部分の信号強度が増し、結晶化部分が明るくなるので、通常の明視野像よりも結晶化部分を明瞭に観察することができる。

[0073] または、図9Bに示されるように、ホローコーン条件ウィンドウ27に、取得した回折パターンの変わりに、カメラ長設定に応じた面間隔ごとのリングスケール36、および、上記特定材料の結晶面間隔を示す面間隔表示29を表示してもよい。また、ホローコーン条件ウィンドウ27の右上には、円環表示28に対応した格子間隔 d （符号37）が表示される。スクロールバー30のカーソル30aの位置を自動または手動で変化させると、ここでは図示していないが、イメージウィンドウ26において、観察対象部が最も明るくなった部分に対応する結晶面間隔を有する結晶分布を知ることができる。

[0074] 図9Bの手法では、検査する試料の材料が未知の場合であっても、試料の材料がほぼ推定されている場合には、その材料の条件に合わせてリングスケール36および面間隔表示29を表示しておく。そうすることで、試料の材料が推定通りであった場合に、速やかに試料の特性を特定できるので、検査時間を大幅に短縮することができる。また、試料の材料が推定通りでなかつ

たとしても、少なくとも推定していた材料を、検査対象から除外できる。また、リングスケール36および面間隔表示29を表示しておくことで、ユーザは一見して条件の目安を知ることができるので、ユーザの負担を軽減できる。

[0075] 以下に、図10を用いて、実施の形態1における透過電子顕微鏡1を用いた検査方法を説明する。なお、以下で説明するステップS15～S17の詳細は、上述の図5および図6に示されるステップS1～S5の説明とほぼ重複しているので、ここではそれらの説明を省略する。

[0076] <ステップS11>

まず、マイクロプロセッサ24は、ホローコーン暗視野像の取得に必要なパラメータである、加速電圧、カメラ長、制限視野可動絞り19のサイズ、対物可動絞り18のサイズ、および、試料10の位置を、各制御部から取得する。

[0077] <ステップS12>

制限視野回折パターンを観察するモードになるように、各レンズ系が切り替えられ、イメージウィンドウ26に制限視野回折パターンが表示される。この制限視野回折パターンは、表示部15において取得および記録され、ホローコーン条件ウィンドウ27において表示される。ここで、所望の領域に対し制限視野稼動絞り19は挿入されているが、対物可動絞り18は挿入されていない。なお、制限視野回折パターンの光軸（メインスポット）は、イメージウィンドウ26の中央に表示されるよう調整されている。

[0078] <ステップS13>

可動絞り制御部20によって、光軸の位置、すなわちイメージウィンドウ26の中央に対物可動絞り18が挿入される。制限視野可動絞り19は視野から外れるよう制御される。

[0079] <ステップS14>

レンズ電源制御部8によって、制限視野回折パターンを観察するモードから、像観察モードに切り替えられ、イメージウィンドウ26には明視野像が

表示される。この明視野像は、画像制御部 14（画像記憶装置 16）に記録される。

[0080] <ステップ S 15>

ホローコーン条件ウィンドウ 27 に表示された回折パターンから、ホローコーン暗視野像に使用する回折スポットを選択すると、画像制御部 14 において、円環表示 28 の設定が行われ、ホローコーン条件ウィンドウ 27 に円環表示 28 が表示される。

[0081] <ステップ S 16>

円環表示 28 の各条件に基づいて、ホローコーン照射が開始される。

[0082] <ステップ S 17>

イメージウィンドウ 26 にホローコーン暗視野像が表示され、ホローコーン暗視野像、および、ホローコーン条件ウィンドウ 27 の撮影条件（加速電圧、倍率など）が、画像制御部 14（画像記憶装置 16）に記録される。

[0083] <ステップ S 18>

ステップ S 17 における記録作業が終了した後、ホローコーン照射が停止される。

[0084] <ステップ S 19～S 21>

作業を終了するか、更に他の視野の取得が必要かの判定を行う。他の視野の取得が不要である場合には、ステップ S 21（No）へと移行し、検査を終了する。例えば、一視野のみの記録の場合、または、複数の視野の記録のうち最後の記録が終了した場合、ステップ S 21（No）へと移行する。他の視野の取得が必要である場合には、ステップ S 22（Yes）へと移行し、ステップ S 14～S 19 が再度行われる。

[0085] なお、ステップ S 19 における判定は、ステップ S 18 の終了時にユーザによって行われてもよいし、予め、一視野のみまたは複数の視野の記録を自動的に行うように設定されていてもよい。

[0086] また、ある視野から他の視野へ切り替える場合には、ビーム偏向器 21 a、21 b またはビーム偏向器 22 a、22 b を用いて、電子線 25 が試料 1

0を照射しないようにする（ブランキングする）。これにより、試料10が電子線25の照射によって損傷されることを防止できる。

[0087] また、上記ブランキングが自動的に行われるように、視野の切り替え時にビーム偏向器21a、21bまたはビーム偏向器22a、22bの動作設定を行っておいてもよい。

[0088] 以下に、図11を用いて、実施の形態1における透過電子顕微鏡1を用いた検査方法を説明する。図11は、複数の円環表示28を使用してホローコーン暗視野を取得および記録する場合の検査方法を示している。なお、以下では図10での説明と重複する箇所については、それらの説明を省略している。

[0089] <ステップS22>

例えば、複数の円環表示28を使用する場合、図11に示されるステップS11～S18を行った後、円環表示28を変更するか否かの判定が行われる。例えば、半径の異なる次の円環表示28を使用する予定であれば、ステップS15（Yes）へと移行し、次の円環表示28の再設定を行い、再設定された円環表示28を用いて、ステップS15～S22が再度行われる。全ての円環表示28が使用された場合には、ステップS23（No）へと移行する。

[0090] または、ある円環表示28を使用した後、この円環表示28の半径を変更し、変更された円環表示28を使用して他の暗視野像を得る場合も、ほぼ同様のステップが行われる。その場合も、ステップS15（Yes）へと移行し、次の円環表示28の再設定を行い、再設定された円環表示28を用いて、ステップS15～S22が再度行われる。

[0091] また、円環表示28の再設定時には、図10のステップS20と同じように、ブランキングを行うことが好ましい。すなわち、円環表示28の再設定によって、電子線25の歳差運動の角度が変更されるため、この変更期間内において、電子線25が試料10を照射しないようにすることが好ましい。これにより、試料10が損傷されることを防止できる。

[0092] <ステップS 2 3>

ステップS 2 3は、図10におけるステップS 1 9と同様に、更に他の視野の取得が必要であるか否かの判定が行われる。他の視野の取得が不要である場合には、ステップS 2 5 (No) へと移行し、作業を終了する。他の視野の取得が必要である場合には、ステップS 2 4 (Yes) へと移行し、ステップS 1 4～S 2 3が再度行われる。

[0093] なお、ステップS 2 3における判定は、ステップS 2 2の終了時にユーザによって行われてもよいし、予め、一視野のみまたは複数の視野の記録を自動的に行うように設定されていてもよい。

[0094] 以上、本発明を実施するための形態に基づき具体的に説明したが、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能である。なお、本願において「直径」および「半径」という用語が現れるが、直径は半径の2倍の値を有する。したがって、「ある直径を指定する」ことは「ある半径を指定する」と等価または均等であるし、その逆も然りである。

符号の説明

- [0095] 1 透過電子顕微鏡（荷電粒子線装置）
2 電子銃
3 コンデンサレンズ
4 対物レンズ
5 a、5 b 中間レンズ
6 a、6 b 投射レンズ
7 レンズ励磁電源
8 レンズ電源制御部
9 試料ホルダ
10 試料
11 試料微動制御部
12 蛍光板

- 1 3 カメラ
- 1 4 画像制御部
- 1 5 表示部
- 1 6 画像記憶装置
- 1 7 コンデンサ可動絞リ
- 1 8 対物可動絞リ
- 1 9 制限視野可動絞リ
- 2 0 可動絞リ制御部
- 2 1 a、2 1 b ビーム偏向器 (コイル)
- 2 2 a、2 2 b ビーム偏向器 (コイル)
- 2 3 偏向コイル制御部
- 2 4 マイクロプロセッサ
- 2 5 電子線
 - 2 5 a 中空円錐状の電子線
 - 2 5 b 透過電子線
 - 2 5 c 回折した電子線
- 2 6 イメージウィンドウ
- 2 7 ホローコーン条件ウィンドウ
 - 2 7 a 表示部
 - 2 7 b 条件設定部
- 2 8、2 8 a、2 8 b 円環表示
- 2 9 面間隔表示
- 3 0 スクロールバー
 - 3 0 a カーソル
- 3 1 ニューメリックボックス
- 3 2 ボタン
- 3 3 マーカ
- 3 4 ホローコーン暗視野ウィンドウ

- 35 回折パターンモデル
- 36 リングスケール
- 37 格子間隔 d
- COL 鏡体
- DE 検出部
- DF1、DF2 暗視野像
- LI 信号強度ラインプロファイル
- IM 結像部
- RA 照射部

請求の範囲

[請求項1]

電子線を試料に照射するための照射部と、
前記試料を透過した前記電子線を結像させるための対物レンズと、
前記試料が位置すべき位置より上方に位置するビーム偏向器であつて、前記電子線を偏向するためのビーム偏向器と、
前記試料を透過した前記電子線の一部のみを通過させるための対物絞りと、
前記試料を透過した前記電子線を検出するための検出部と、
制御部と、
を備え、
前記制御部は、前記電子線が光軸に対して所定の角度で歳差運動しながら前記試料に照射されるように、かつ、前記電子線が前記試料を透過することによって生成される回折波および／または散乱波のうち、所望の角度の回折波および／または散乱波のみが前記対物絞りを通過するように、前記ビーム偏向器によって前記電子線の偏向角度を制御し、
前記制御部は、所定の角度で回折および／または散乱した前記回折波および／または前記散乱波の、前記検出部における検出信号から暗視野像を生成可能であり、
前記制御部は、前記検出部に電氣的に接続された表示部に、前記試料の回折パターンと、前記暗視野像の生成に用いる領域を示す円環表示であつて、前記対物絞りの直径に対応する幅を有し、かつ、前記電子線の歳差運動の角度に対応する半径を有する円環表示と、を重ねて表示する、透過電子顕微鏡。

[請求項2]

請求項1に記載の透過電子顕微鏡において、
前記表示部において、前記円環表示の半径が変更されることで、前記電子線の歳差運動の角度が変更される、透過電子顕微鏡。

[請求項3]

請求項2に記載の透過電子顕微鏡において、

前記回折パターンは、複数の回折スポットからなり、

前記制御部は、前記回折パターンから選択された回折スポットを通過する回折波が前記対物絞りを通過するように、前記電子線の歳差運動の角度の変更を制御する、透過電子顕微鏡。

[請求項4]

請求項2に記載の透過電子顕微鏡において、

前記電子線の歳差運動の角度の変更期間内において、前記試料に前記電子線が照射されない、透過電子顕微鏡。

[請求項5]

請求項1に記載の透過電子顕微鏡において、

前記制御部は、前記回折パターンの明るさが強い箇所を凸型波形のピークとして有し、かつ、複数の前記凸型波形が連続して繋がる曲線である信号強度ラインプロファイルを取得し、前記信号強度ラインプロファイルの最大ピークの位置を光軸として設定し、設定された前記光軸から各ピークの位置までの距離を半径とするように、複数の前記円環表示を各ピーク毎に設定する、透過電子顕微鏡。

[請求項6]

請求項1に記載の透過電子顕微鏡において、

前記表示部に複数の前記円環表示が表示されている場合、前記制御部は、前記表示部に、複数の前記円環表示に対応する複数の前記暗視野像を重ね合わせて表示する、透過電子顕微鏡。

[請求項7]

請求項1に記載の透過電子顕微鏡において、

前記制御部は、前記表示部に、前記制御部において予め入力されていた特定材料の回折パターンモデルを表示する、透過電子顕微鏡。

[請求項8]

請求項7に記載の透過電子顕微鏡において、

前記制御部は、前記表示部に、前記特定材料の結晶面間隔も表示する、透過電子顕微鏡。

[請求項9]

請求項1に記載の透過電子顕微鏡を用いた検査方法において、

前記透過電子顕微鏡は、前記透過電子顕微鏡の内部または外部において、表示部を設置可能であり、

(a) 前記表示部に、複数の回折スポットからなる前記試料の回折

パターンを表示するステップ、

(b) 前記回折パターンから第1回折スポットを選択するステップ

、

(c) 前記表示部に、前記対物絞りの直径に対応する幅を有し、かつ、前記光軸と前記第1回折スポットとの間の距離の二倍に対応した直径を有する円環表示を表示するステップ、

(d) 前記円環表示の半径を基にして、前記ビーム偏向器を制御することで、前記電子線の歳差運動の角度を決定するステップ、

(e) 前記ステップ(d)の後、前記試料に前記電子線を照射するステップ、

(f) 前記ステップ(e)の後、前記対物絞りを光軸の中心に挿入するステップ、

(g) 前記ステップ(f)の後、前記検出部において得られた前記回折波の検出信号から、前記制御部において前記暗視野像を生成し、生成された前記暗視野像を前記表示部に表示するステップ、

を備えた、検査方法。

[請求項10]

請求項9に記載の透過電子顕微鏡を用いた検査方法において、

前記ステップ(g)の後、前記ステップ(c)へ移行し、前記円環表示の半径の再設定を行い、再設定された前記円環表示を用いて、前記ステップ(c)～前記ステップ(g)を再び行う、検査方法。

[請求項11]

電子線を歳差運動させながら試料に照射し、前記試料を透過した回折波および／または散乱波の一部を用いて暗視野像を生成する透過電子顕微鏡であって、

前記試料の回折波および／または散乱波のパターンと、前記回折波および／または散乱波のパターンに重ねて表示された円環表示と、を少なくとも備えるグラフィカルユーザインターフェースを有し、

前記円環表示の径を指定することによって、暗視野像の生成に用いられる領域が決定される、透過電子顕微鏡。

[請求項12]

電子源と、

ホローコーンに沿って試料に電子線を照射する照射部と、

前記試料からの回折波および／または散乱波が照射される検出部と

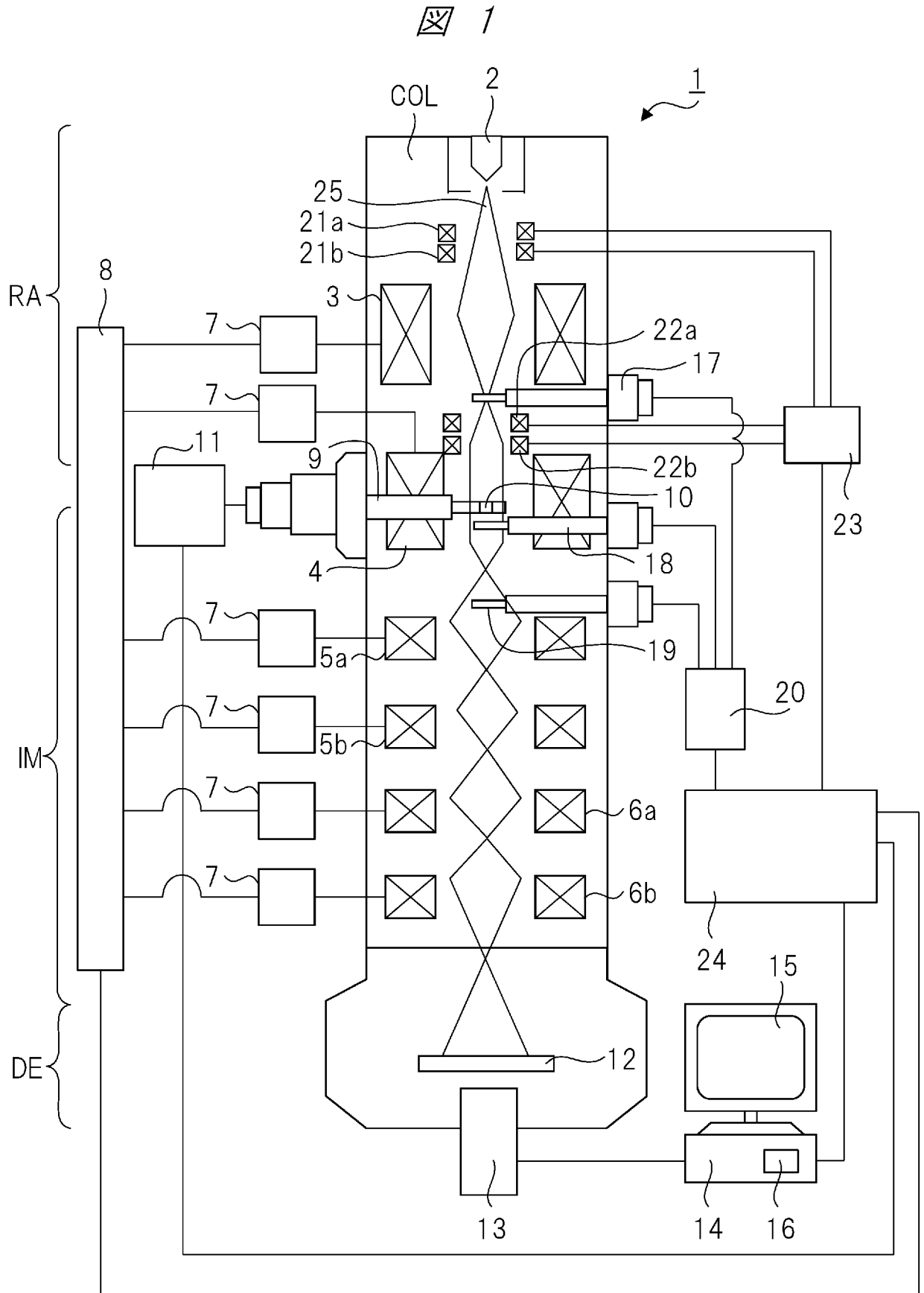
、

前記検出部による暗視野像が出力される第1領域、並びに、前記回折波および／または散乱波のパターンに対応する画像を表示する第2領域を、少なくとも備えたグラフィカルユーザインターフェースと、

を有し、

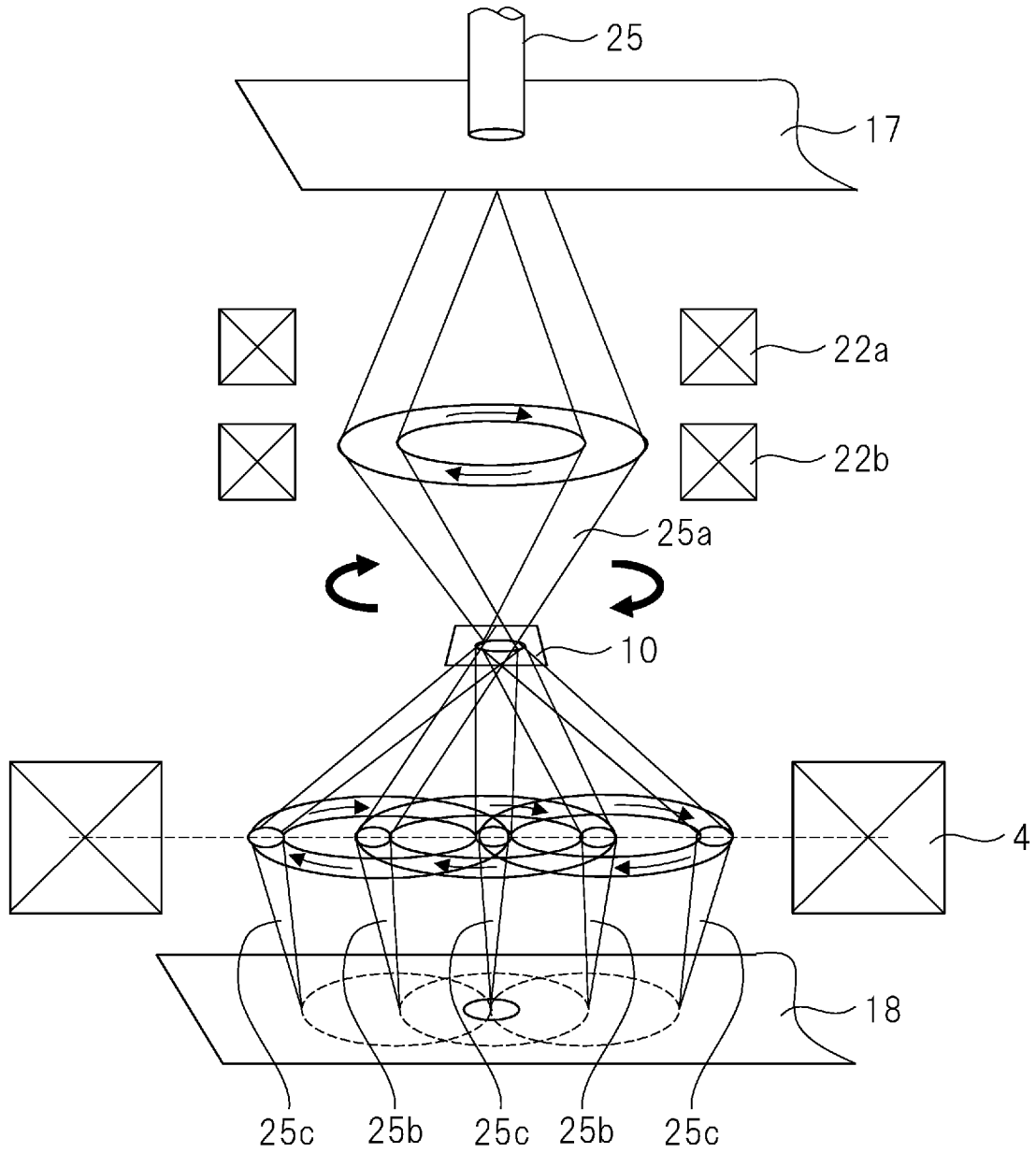
前記第2領域に表示され、かつ、光軸を中心とする円環表示の内部の領域に対応する前記回折波および／または散乱波を前記検出部によって検出し、前記第1領域に前記暗視野像を出力する、透過電子顕微鏡。

[図1]



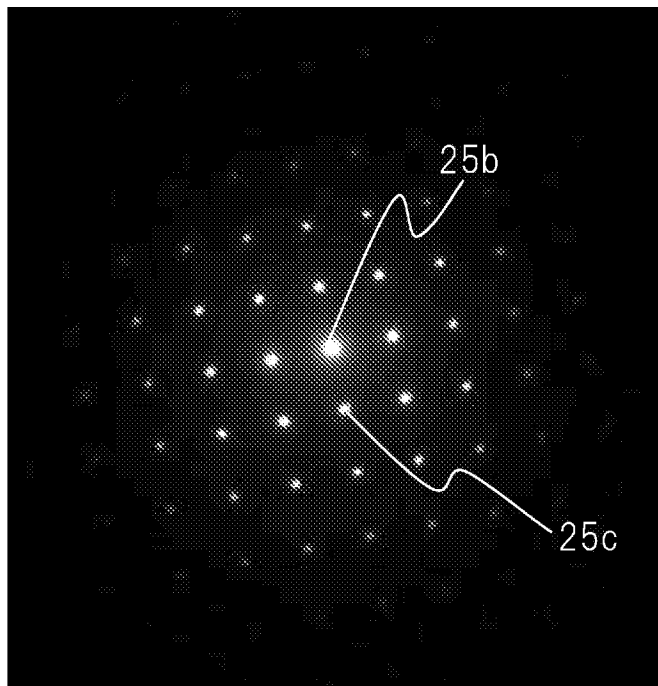
[図2]

図 2



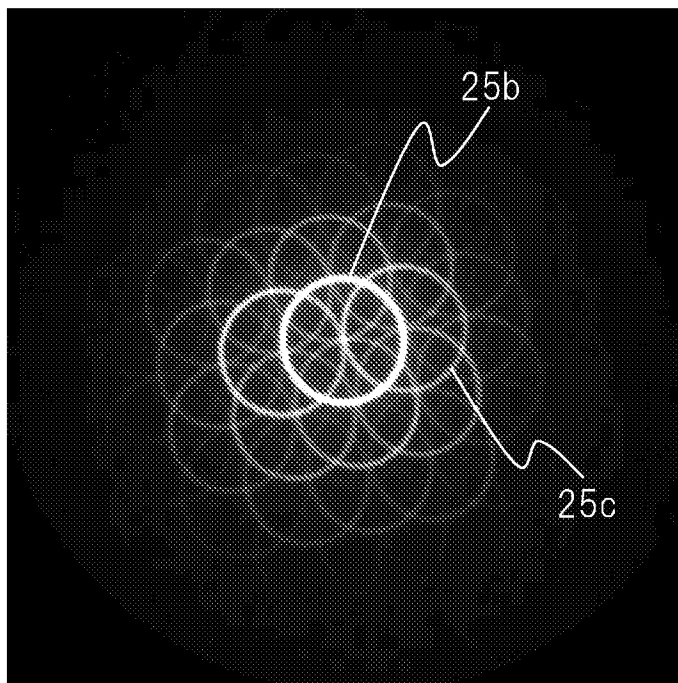
[図3A]

図 3A



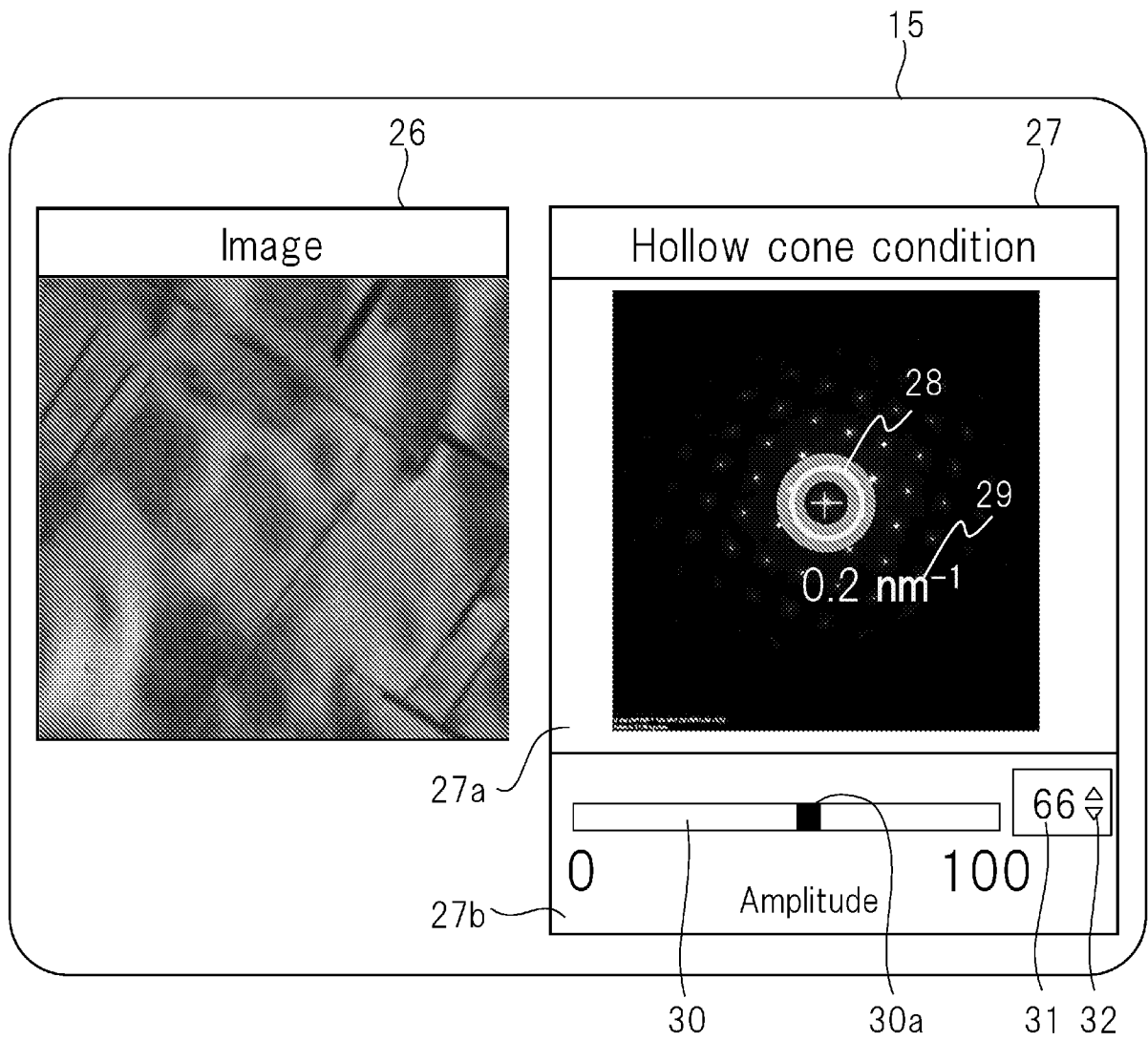
[図3B]

図 3B



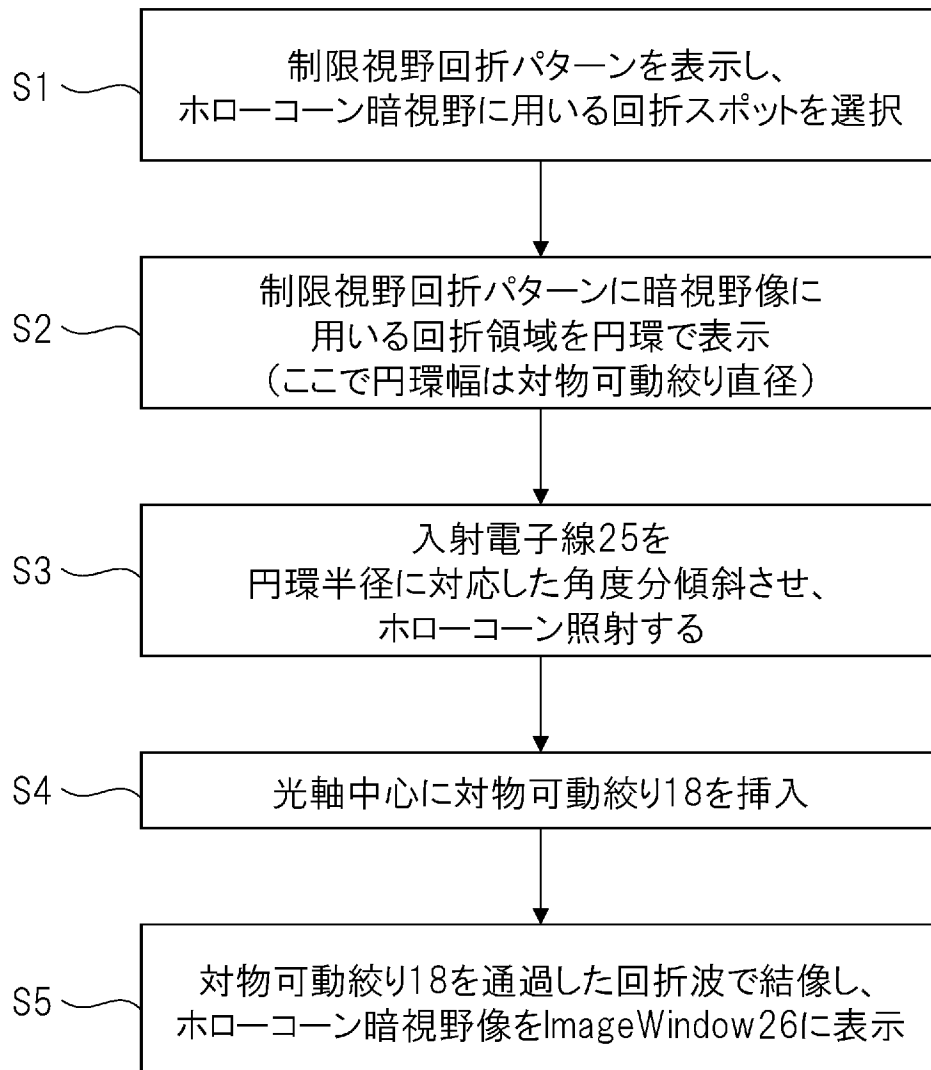
[図4]

4



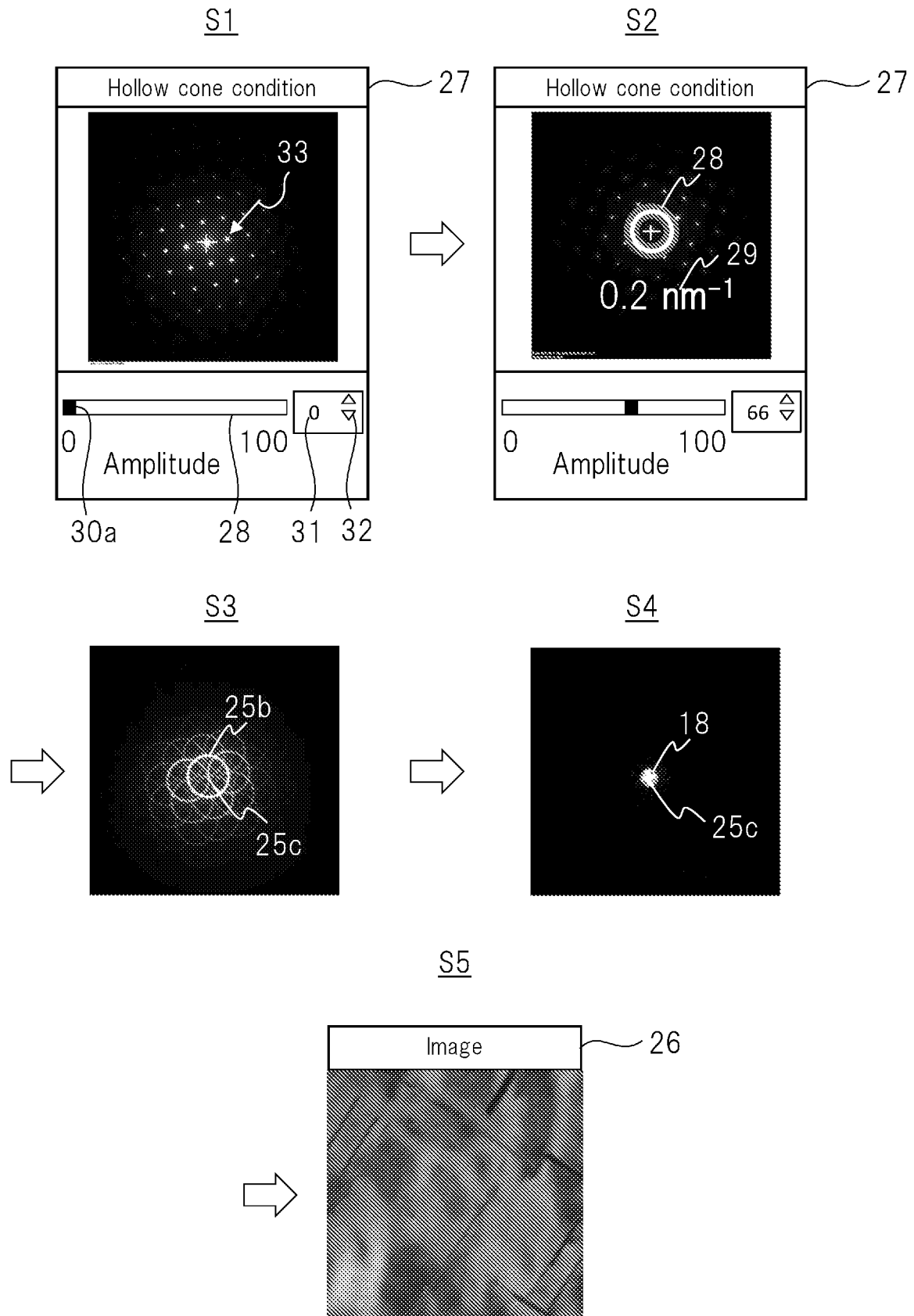
[図5]

図 5



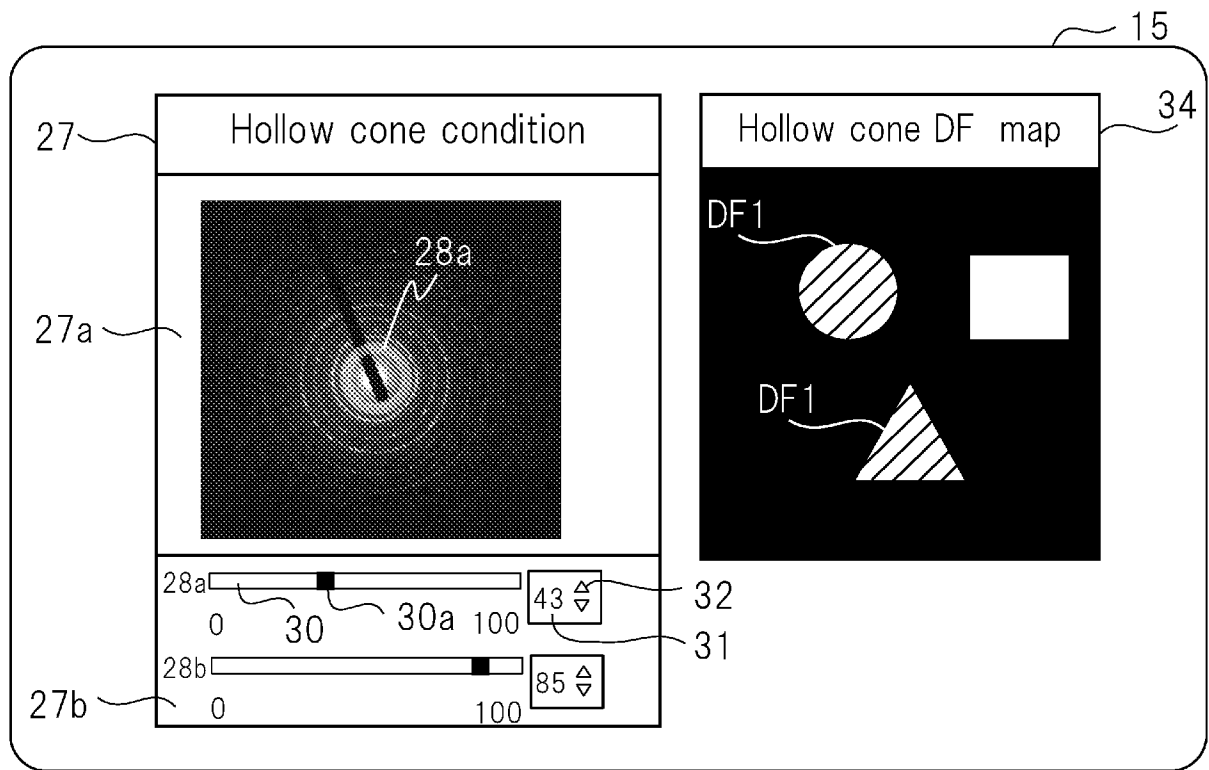
[図6]

図 6



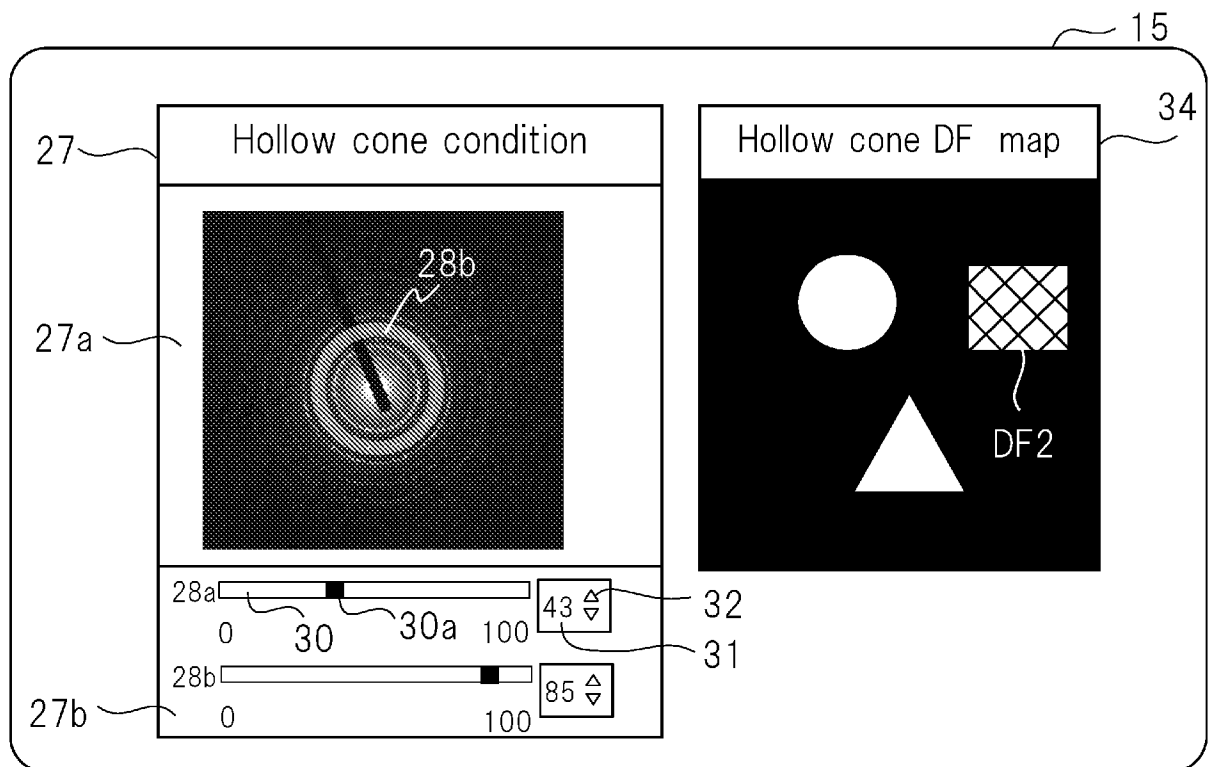
[図8A]

図 8A



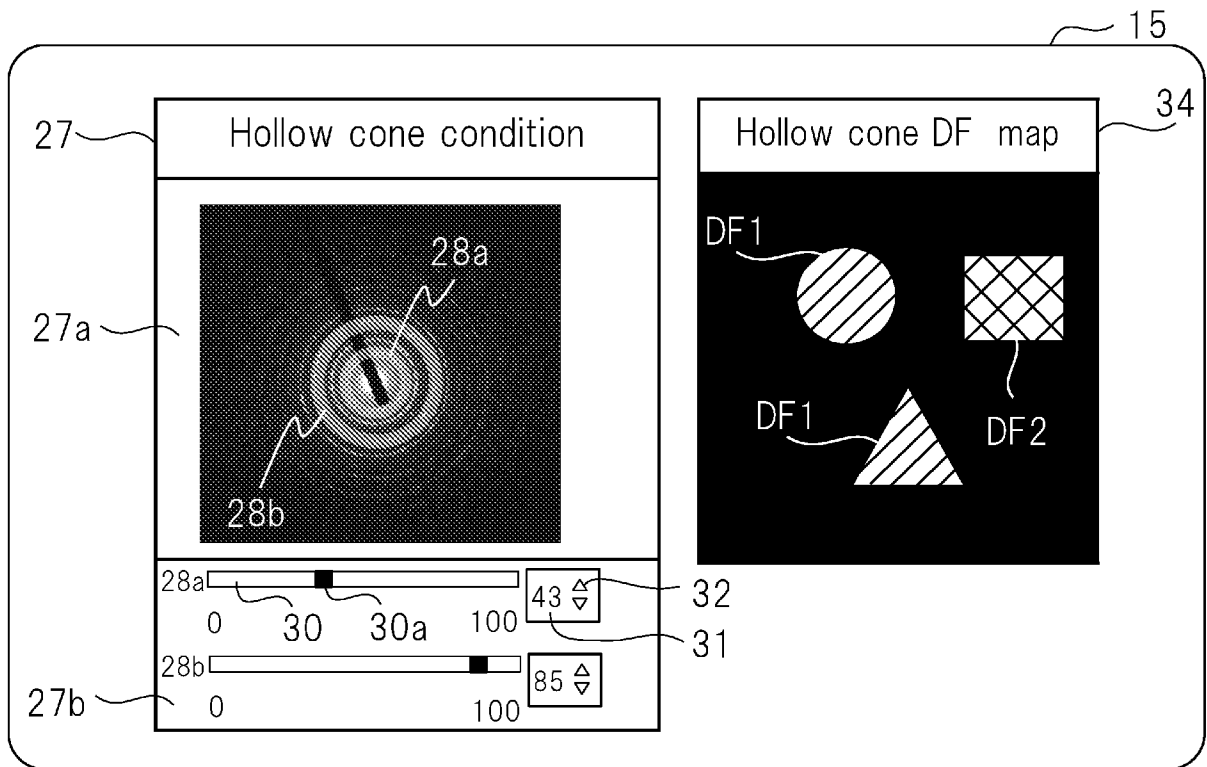
[図8B]

図 8B



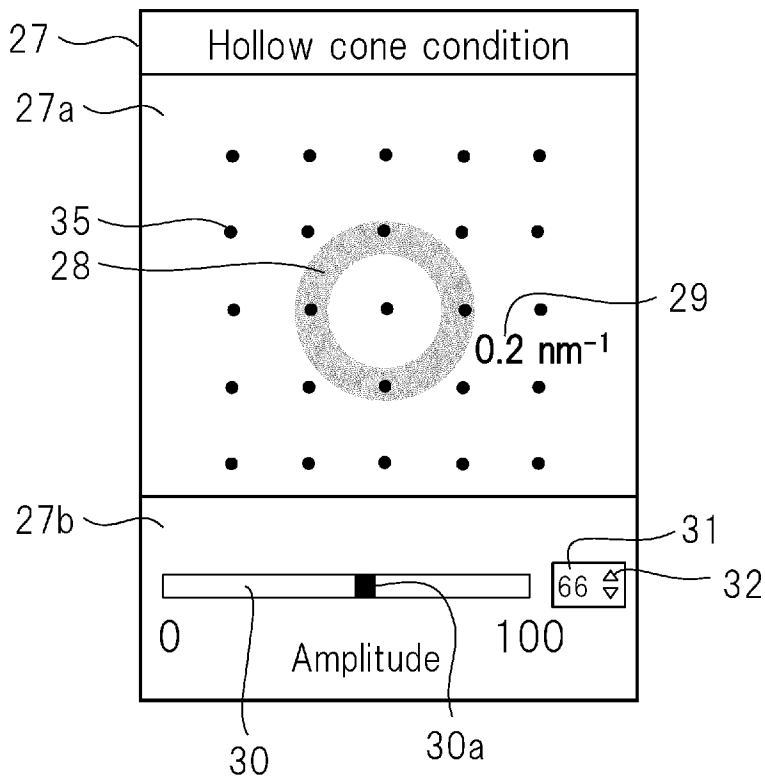
[図8C]

図 8C



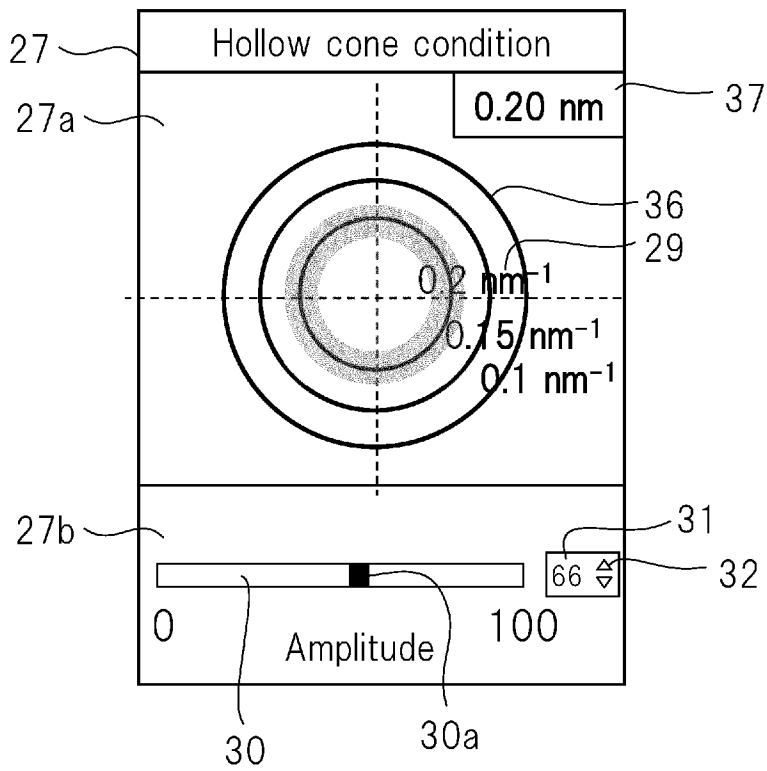
[図9A]

図 9A



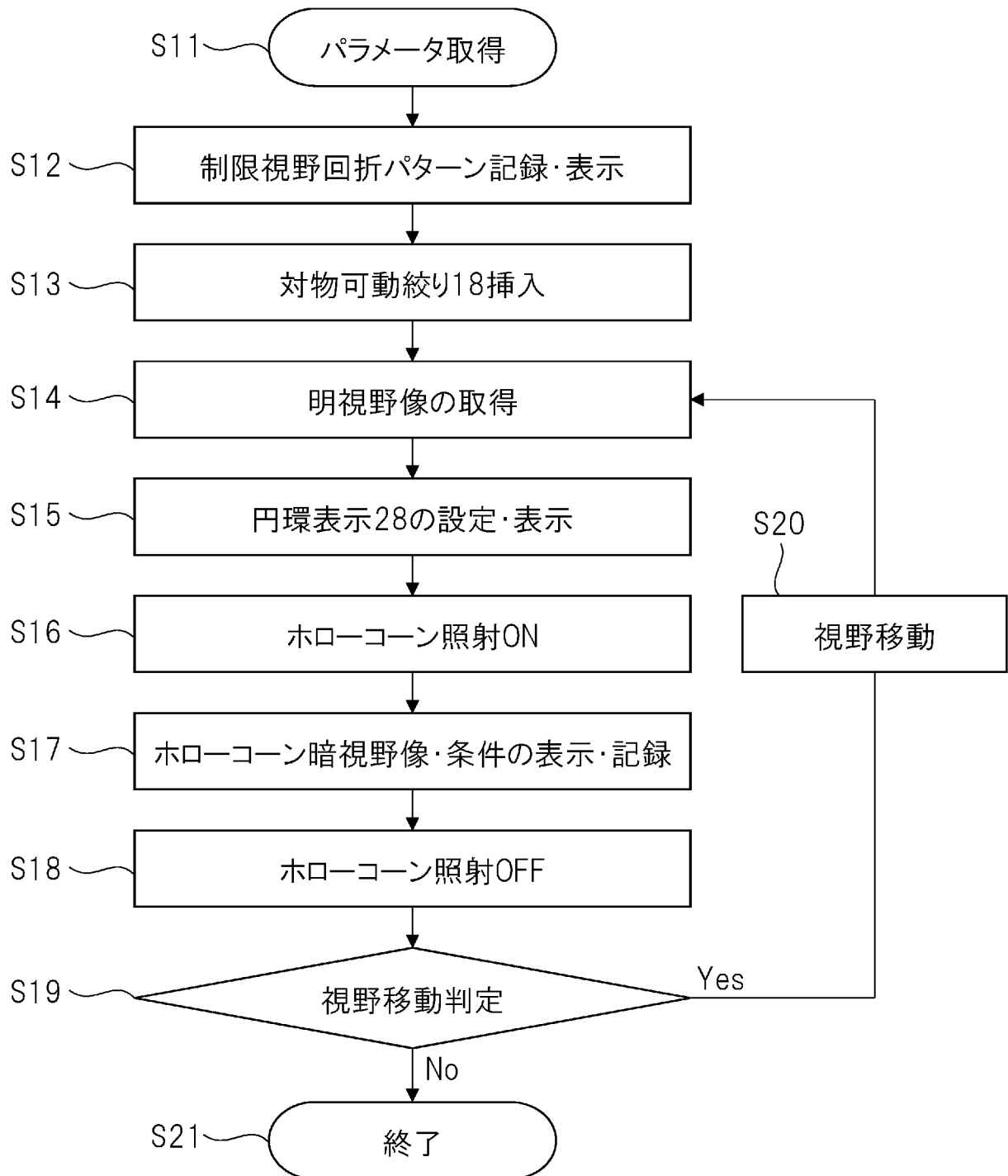
[図9B]

9B



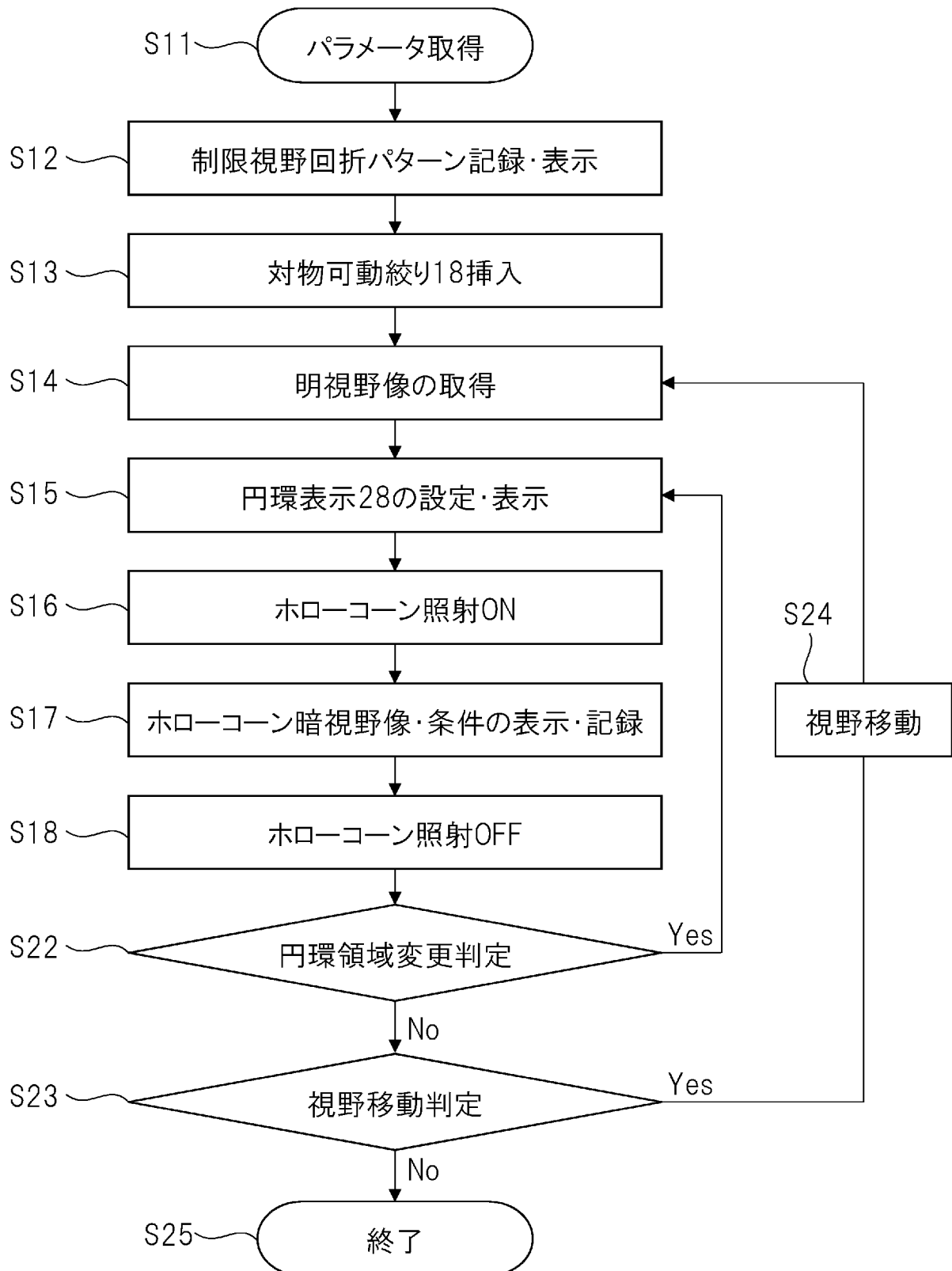
[図10]

図 10



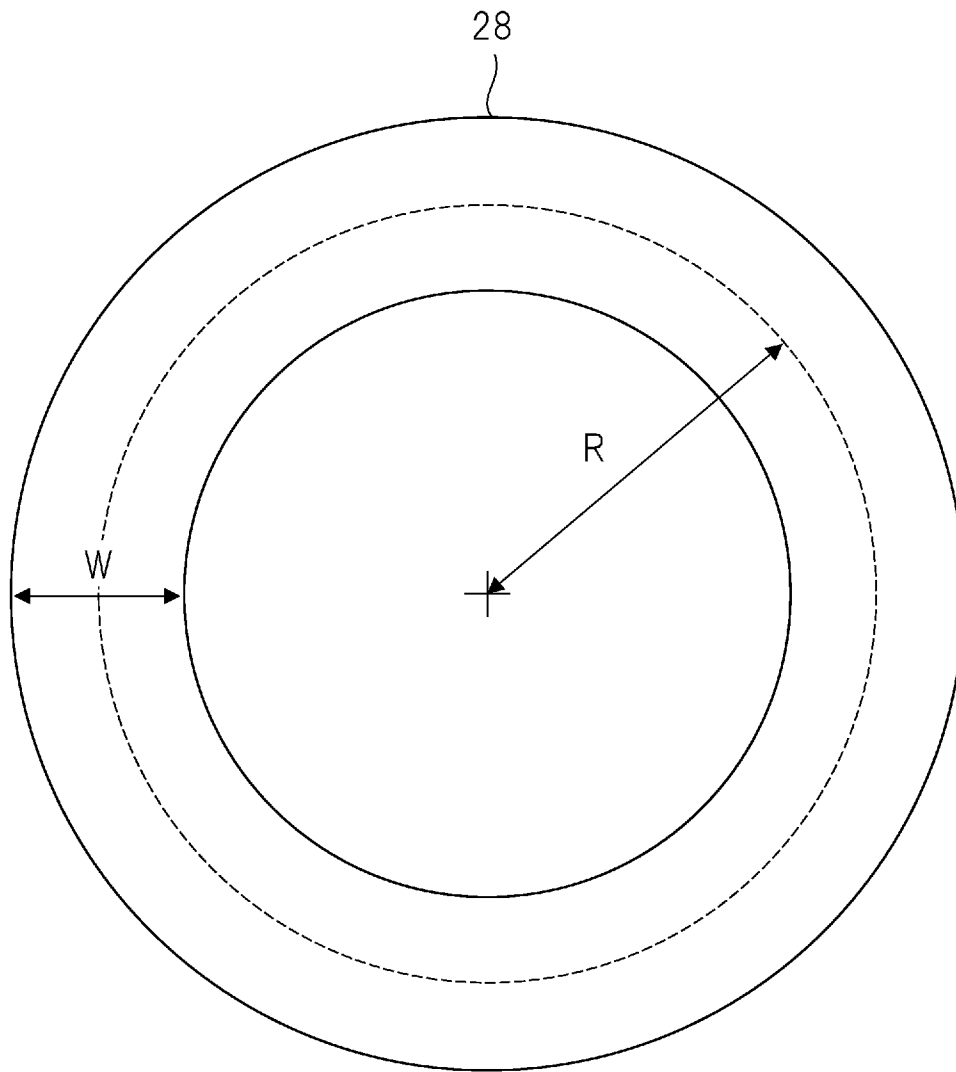
[図11]

図 11



[図12]

図 12



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/017938

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. H01J37/26 (2006.01) i, G01N23/225 (2018.01) i, H01J37/22 (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)
Int.Cl. H01J37/26, G01N23/225, H01J37/22, H01J37/28

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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 60-105150 A (JEOL LTD.) 10 June 1985, entire text, all drawings (Family: none)	1-12
A	JP 60-150548 A (JEOL LTD.) 08 August 1985, entire text, all drawings (Family: none)	1-12

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
02.07.2019

Date of mailing of the international search report
09.07.2019

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01J37/26(2006.01)i, G01N23/225(2018.01)i, H01J37/22(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（IPC））

Int.Cl. H01J37/26, G01N23/225, H01J37/22, 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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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 60-105150 A（日本電子株式会社）1985.06.10, 全文、全図（ファミリーなし）	1-12
A	JP 60-150548 A（日本電子株式会社）1985.08.08, 全文、全図（ファミリーなし）	1-12

☐ 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

02.07.2019

国際調査報告の発送日

09.07.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）
 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）

鳥居 祐樹

2G

4070

電話番号 03-3581-1101 内線 3226