

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-286346

(P2010-286346A)

(43) 公開日 平成22年12月24日(2010.12.24)

(51) Int.Cl.
G01N 23/225 (2006.01)

F I
G O I N 23/225

テーマコード(参考)
2 G O O 1

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2009-140134 (P2009-140134)
(22) 出願日 平成21年6月11日 (2009.6.11)

(71) 出願人 000001993
株式会社島津製作所
京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地
(74) 代理人 100083806
弁理士 三好 秀和
(74) 代理人 100095500
弁理士 伊藤 正和
(74) 代理人 100108914
弁理士 鈴木 壯兵衛
(72) 発明者 丸井 隆雄
京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地
株式会社島津製作所内
Fターム(参考) 2G001 AA03 BA05 CA01 DA06 EA01
EA02 GA01 JA05 JA06 SA07

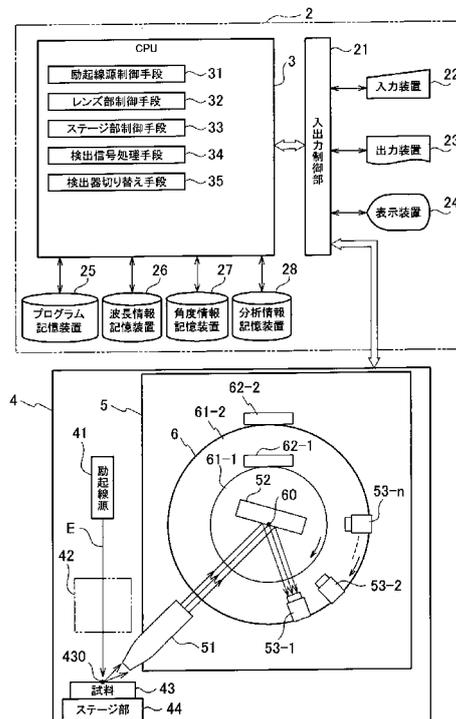
(54) 【発明の名称】 分光器

(57) 【要約】

【課題】簡単な構造でワーク領域を小さくでき、波長走査範囲の広い波長分散型の分光器を提供する。

【解決手段】試料43から放出される試料43の特性を示す電磁波を回折する分光素子52と、この分光素子52をこの分光素子52の表面を軸として回転させる分光素子回転機構(61-1, 62-1)と、分光素子52で回折された電磁波をそれぞれ異なる波長領域で検出する複数の検出器53-1, 53-2, …… , 53-nと、分光素子回転機構(61-1, 62-1)と回転軸を共有し、複数の検出器を分光素子52の回りで移動させる検出器回転機構(61-2, 62-2)とを備える。検出器回転機構(61-2, 62-2)のオフセット角度を変えることで、複数の検出器を切り替え可能とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試料から放出される前記試料の特性を示す電磁波を回折する分光素子と、
該分光素子を該分光素子の表面を軸として回転させる分光素子回転機構と、
前記分光素子で回折された前記電磁波をそれぞれ異なる波長領域で検出する複数の検出器と、

前記分光素子回転機構と回転軸を共有し、前記複数の検出器を前記分光素子の回りで移動させる検出器回転機構

とを備え、前記検出器回転機構のオフセット角度を変えることで、前記複数の検出器を切り替え可能としたことを特徴とする分光器。

10

【請求項 2】

試料から放出される前記試料の特性を示す電磁波を回折する分光素子と、
該分光素子を該分光素子の表面を軸として回転させる分光素子回転機構と、
前記分光素子で回折された前記電磁波をそれぞれ異なる波長領域で検出する複数の検出器と、

前記分光素子回転機構と回転軸を共有し、前記複数の検出器の何れかを搭載し、前記分光素子の回りで移動させる複数の検出器回転機構

とを備え、前記複数の検出器回転機構を切り替えることで、前記複数の検出器を切り替え可能としたことを特徴とする分光器。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電子プローブマイクロアナライザ（EPMA）等の波長分散型の分光器に関する。

【背景技術】

【0002】

ヨハンソン型の分光器は、図16に示すように、分光素子12eの結晶格子面がローランド円Qの半径Rの2倍の曲率半径2Rに湾曲され、分光素子12eの表面形状は、ローランド円Qの半径Rと等しい曲率に研磨されている。円周角一定の定理から、試料11eの励起線照射部位10eを一方の焦点とすると、励起線照射部位10eと、分光素子12eの分光面と、検出器13eによる検出点とが、ローランド円Q上に位置すれば、分光素子12eからの回折X線が、検出器13eによる検出点で焦点を結ぶ。ヨハンソン型の分光器は、常に励起線照射部位10eを含めた3点をローランド円Q上に配置可能なように設計する必要があり、分光素子12eによりローランド円Qの半径が決まってしまうので、試料11eと分光素子12eの間の距離を自由に選べない。このため、励起線照射部位10eの位置も含めて分光器を設計する必要があり、ヨハンソン型の分光器を、既存の分析装置に新たに搭載することは困難である。又、分光素子12eと、検出器13eの位置を制御する必要があるため、装置が複雑になり、大型化する。

30

【0003】

一方、図17に示すように、試料11fの励起線照射部位10fから放出された特性X線を、ポリキャピラリレンズ15fを用いて平行ビーム化し、平板型の分光素子12fによって分光し、検出器13fに入射させることによって分析を行う方法が考案されている（特許文献1参照）。この方式では、検出器13fの検出点に焦点を結ぶ必要がなく、分光素子12f上のX線照射部位120fを中心に分光素子12fを回転させ、検出器13fを分光素子12fの回転に連動させることにより分析を行うことができるので、装置の構造を小型化にできる。又、ポリキャピラリレンズ15fから分光素子12fまでの距離は、任意に設定可能であり、図17に示す方式の分光器を、既存の分析装置に新たに搭載することが比較的容易である。

40

【0004】

以上のような波長分散型のX線分光器の場合、1台の分光器に分光可能な波長範囲の異

50

なる複数の分光結晶を搭載し、それらを切り替えることで分光できる波長範囲を広くしているが（特許文献2参照）、1台の分光器で更に広い波長範囲を分析するためには、検出可能な波長範囲の異なる複数の検出器を搭載し、切り替えて使用する必要がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2004-294168号公報

【特許文献2】特開2008-026251号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0006】

しかしながら、検出器の切り替えには複雑な構造が必要になるため、小型化が可能な実用に足るような分光器の構成は未だ提案されていない。

【0007】

本発明は、簡単な構造でワーク領域を小さくでき、波長走査範囲の広い波長分散型の分光器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的を達成するために、本発明の第1の様態は、(a)試料から放出される試料の特性を示す電磁波を回折する分光素子と、(b)この分光素子をこの分光素子の表面を軸として回転させる分光素子回転機構と、(c)分光素子で回折された電磁波をそれぞれ異なる波長領域で検出する複数の検出器と、(d)分光素子回転機構と回転軸を共有し、複数の検出器を分光素子の回りで移動させる検出器回転機構とを備え、検出器回転機構のオフセット角度を変えることで、複数の検出器を切り替え可能とした分光器であることを要旨とする。

20

【0009】

本発明の第2の様態は、(a)試料から放出される試料の特性を示す電磁波を回折する分光素子と、(b)この分光素子をこの分光素子の表面を軸として回転させる分光素子回転機構と、(c)分光素子で回折された電磁波をそれぞれ異なる波長領域で検出する複数の検出器と、(d)分光素子回転機構と回転軸を共有し、複数の検出器の何れかを搭載し、分光素子の回りで移動させる複数の検出器回転機構とを備え、複数の検出器回転機構を切り替えることで、複数の検出器を切り替え可能とした分光器であることを要旨とする。

30

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、簡単な構造でワーク領域を小さくでき、波長走査範囲の広い波長分散型の分光器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る分光器を用いた分析装置の基本的な構成を示すブロック図である。

40

【図2】本発明の第1の実施の形態に係る分光器を用いた分析装置に用いる、レンズ部の構成の一例を説明する模式図である。

【図3】本発明の第1の実施の形態に係るポリキャピラリレンズの構造を説明する模式図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態に係る回転体駆動部の構成の一例を説明する模式図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態に係る分光器における視射角及び回折角を説明する模式図である。

【図6】本発明の第1の実施の形態に係る検出器切り替え手段の論理構成の概略を示すブロック図である。

50

【図 7】本発明の第 1 の実施の形態に係る分析方法を説明するフローチャートである。

【図 8】本発明の第 1 の実施の形態に係る分析方法に用いる、2 台の検出器の間のオフセット角を説明する模式図である。

【図 9】本発明の第 1 の実施の形態に係る分析方法において、切り替え前の第 1 の検出器により X 線を検出する様子を説明する模式図である。

【図 10】本発明の第 1 の実施の形態に係る分析方法において、切り替え後の第 2 の検出器により X 線を検出する様子を説明する模式図である。

【図 11】本発明の第 2 の実施の形態に係る分光器を用いた分析装置の基本的な構造を示すブロック図である。

【図 12】本発明の第 3 の実施の形態に係る分光器を用いた分析装置の基本的な構造を示すブロック図である。

【図 13】本発明の第 3 の実施の形態に係る分光器の基本的な構造を説明する模式図である。

【図 14】本発明の第 3 の実施の形態に係る検出器切り替え手段の論理構成の概略を示すブロック図である。

【図 15】本発明のその他の実施の形態に係る分光器を用いた分析装置の励起線源及びレンズ部の一例を示す模式図である。

【図 16】従来ヨハンソン型の分光器を説明する基本的な模式図である。

【図 17】ポリキャピラリレンズを用いた分光器を説明する模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

次に、図面を参照して、本発明の第 1 ~ 第 3 の実施の形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。但し、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、装置の構成等は現実のものとは異なることに留意すべきである。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。又、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることは勿論である。又、以下に示す第 1 ~ 第 3 の実施の形態は、本発明の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、本発明の技術的思想は、構成部品の材質、形状、構造、配置等を下記のものに特定するものでない。本発明の技術的思想は、特許請求の範囲に記載された技術的範囲内において、種々の変更を加えることができる。

【0013】

(第 1 の実施の形態)

本発明の第 1 の実施の形態に係る分光器を用いた分析装置として、図 1 に示すように、試料 43 から放出される X 線を分析する分析ユニット 4 と、分析ユニット 4 の種々の動作を制御し、且つ分析ユニット 4 から得られたデータを解析、管理等をする制御解析装置 2 を備える電子プローブマイクロアナライザ (EPMA) について例示的に説明する。

【0014】

分析ユニット 4 は、図 1 に示すように、試料 43 に向け励起線 (電子線) E を出射する励起線源 (電子銃) 41 と、励起線源 41 と試料 43 との間に位置し、試料 43 上に励起線 E を集束し、走査するレンズ部 42 と、試料 43 を保持し、移動するステージ部 44 と、励起線 E が照射された試料 43 から放出された X 線を分光、検出する分光器 5 とを備える。レンズ部 42 は例えば、図 2 に示すように、集束レンズ 421、偏向コイル 422、対物レンズ 423 等の電子レンズを備える。集束レンズ 421 及び対物レンズ 423 は、励起線 E を試料 43 上に集束し、偏向コイル 422 は、励起線 E の照射方向を曲げ、試料 43 上において、励起線 E を走査する。

【0015】

励起線 E は、レンズ部 42 が形成する磁場を通り、微小径に収束されて、ステージ部 44 上に載置された試料 43 の励起線照射部位 430 を照射する。試料 43 の励起線照射部位 430 から試料 43 の特性を示す X 線が周囲に放出されるので、試料 43 の近傍の上方

10

20

30

40

50

には、図 1 に示すように、励起線照射部位 4 3 0 から放出された X 線を分光する分光器 5 が設置されている。ステージ部 4 4 は図示を省略した駆動機構により水平方向に移動し、試料 4 3 上の励起線照射部位 4 3 0 で励起線 E の照射位置が走査可能となっている。

【 0 0 1 6 】

第 1 の実施の形態に係る分光器 5 は、試料 4 3 から放出される試料 4 3 の特性を示す電磁波を回折する分光素子 5 2 と、この分光素子 5 2 をこの分光素子 5 2 の表面を軸として回転させる分光素子回転機構 (6 1 -1, 6 2 -1) と、分光素子 5 2 で回折された電磁波をそれぞれ異なる波長領域で検出する複数の検出器 5 3 -1, 5 3 -2, …… , 5 3 -n と、分光素子回転機構 (6 1 -1, 6 2 -1) と回転軸を共有し、複数の検出器 5 3 -1, 5 3 -2, …… , 5 3 -n を分光素子 5 2 の回りで移動させる検出器回転機構 (6 1 -2, 6 2 -2) とを備え、検出器回転機構 (6 1 -2, 6 2 -2) のオフセット角度を変えることで、複数の検出器 5 3 -1, 5 3 -2, …… , 5 3 -n を切り替え可能としている。図 1 に示すように、分光素子回転機構 (6 1 -1, 6 2 -1) は、円盤状の第 1 の回転体 6 1 -1 と、第 1 の回転体 6 1 -1 を回転させる第 1 の回転体駆動機構 6 2 -1 とを備える。検出器回転機構 (6 1 -2, 6 2 -2) は、第 2 の回転体 6 1 -2 と、第 2 の回転体 6 1 -2 を回転させる第 2 の回転体駆動機構 6 2 -2 とを備える。第 1 の回転体 6 1 -1 及び第 2 の回転体 6 1 -2 は、第 1 の回転体 6 1 -1 がなすゴニオメータ円の中心を通り、紙面に垂直な軸である回転軸 6 0 を共有して回転する。

10

【 0 0 1 7 】

即ち、第 1 の実施の形態に係る分光器 5 は、励起線照射部位 4 3 0 から放出された X 線を平行ビーム化するポリキャピラリレンズ 5 1 と、第 1 の回転体 6 1 -1 と第 1 の回転体 6 1 -1 より大きな半径を有する第 2 の回転体 6 1 -2 を有するゴニオメータ装置 6 と、第 1 の回転体 6 1 -1 の中央に搭載された分光素子 5 2 と、第 2 の回転体 6 1 -2 の円周側に設けられ、それぞれ検出可能な X 線の波長範囲の異なる n 台 (n は 2 以上の整数である。) の検出器 5 3 -1, 5 3 -2, …… , 5 3 -n とを備える。

20

【 0 0 1 8 】

ポリキャピラリレンズ 5 1 は、図 3 に示すように、内径が 1 ~ 1 0 0 μ m 程度の微小径のガラスキャピラリ (毛管) を 1 0 0 本 ~ 1 0 0 万本程度束ね、一端側は個々のキャピラリが焦点 F に向くようにすぼめられ、他端側は個々のキャピラリが平行になるように構成された光学素子である。試料 4 3 の励起線照射部位 4 3 0 から放出された X 線は、励起線照射部位 4 3 0 が焦点 F と一致するように設置されたポリキャピラリレンズ 5 1 の個々のキャピラリ内を全反射しつつ通過して平行化され、他端側において X 線の平行ビームを形成する。

30

【 0 0 1 9 】

第 1 の回転体駆動機構 6 2 -1 は、例えば図 4 に示すように、ステッピングモータ、サーボモータ等のアクチュエータ 6 2 1 と、アクチュエータ 6 2 1 によって回転されるウォーム (ねじ歯車) 6 2 2 と、ウォーム 6 2 2 と噛み合い、第 1 の回転体 6 1 -1 の周囲にリング状に設けられたウォームホイール (はすば歯車) 6 2 3 から構成可能である。第 2 の回転体駆動機構 6 2 -2 についても同様であり、第 1 の回転体駆動機構 6 2 -1 と第 2 の回転体駆動機構 6 2 -2 とは、それぞれ独立した駆動が可能である。第 1 の回転体駆動機構 6 2 -1 及び第 2 の回転体駆動機構 6 2 -2 の動力伝達機構はウォームギアに限定されるものではなく、第 1 の回転体 6 1 -1 及び第 2 の回転体 6 1 -2 を高精度に駆動制御が可能である限り、他のギアセット、若しくはベルト・プーリ、チェーン・スプロケット等を採用してもよく、又、動力伝達機構を用いないダイレクトドライブ方式等を採用しても構わない。

40

【 0 0 2 0 】

ゴニオメータ装置 6 は、図示を省略したロータリエンコーダ等の角度検出器を内蔵し、第 1 の回転体 6 1 -1 及び第 2 の回転体 6 1 -2 の基準点からの回転角度を検出可能である。ゴニオメータ装置 6 の角度検出器により検出された角度情報は、信号化され制御解析装置 2 に入力される。

【 0 0 2 1 】

第 1 の実施の形態に係る分光器 5 に用いる分光素子 5 2 は平板型であり、分光素子 5 2

50

の表面が回転軸 60 を含むように、第 1 の回転体 61-1 の回転面に対して表面を垂直にして搭載されている。分光素子 52 は、フッ化リチウム (LiF)、タンタル酸リチウム (LiTaO₃)、フタル酸ルビジウム (RAP)、フタル酸タリウム (TAP)、ペンタエリスリトール (PET)、人工超格子分光素子 (LDE)、磷酸 2 水素アンモニウム (ADP)、... 等公知の種々の結晶から適宜選択して、切り替え可能である。分光素子 52 は、例えば、四角柱や六角柱の各側面に結晶を貼り付け、角柱の中心軸に対して回転する機構を設け、角柱を回転させることにより分光に用いる結晶を切り替えるようにすればよい。角柱の軸の方向は、分光に用いる結晶の表面が回転軸 60 を含むように搭載可能であれば、第 1 の回転体 61-1 に対して垂直でもよいし、平行でもよい。ポリキャピラリレンズ 51 によって平行ビーム化された X 線は、ポリキャピラリレンズ 51 から分光素子 52 の表面に向け出射される。分光素子 52 への入射角の余角である視射角は、第 1 の回転体 61-1 の回転による分光素子 52 の表面のポリキャピラリレンズ 51 の軸方向に対する角度の制御によって変化する。

10

【0022】

複数の検出器 53-1 ~ 53-n は、それぞれの検出方向を回転軸 60 へ向け、相互間に所定のオフセット角を有して、第 2 の回転体 61-2 に互いに干渉しないように配置されている。検出器 53-1 ~ 53-n が互いに干渉しない限り、検出器 53-1 ~ 53-n の個数は何台でも構わない。ポリキャピラリレンズ 51 によって平行ビーム化された X 線が、分光素子 52 で回折され、図示を省略した受光スリットを通過して複数の検出器 53-1 ~ 53-n の何れかにより検出される。このため、ポリキャピラリレンズ 51、分光素子 52、検出器 53-1 ~ 53-n は、回転軸 60 の方向を法線方向とする同一平面上に位置することは勿論である。

20

【0023】

例えば、分光素子 52 を用いて波長走査を行う場合において、検出器 53-1 は、図 5 に示すように、分光素子 52 への視射角 = θ の場合、分光素子 52 への入射波の方向と、回折波の方向との間の角 (以下において回折角という。) が 2θ となるように、第 2 の回転体 61-2 の回転によって移動される。つまり、視射角 θ を設定する第 1 の回転体 61-1 に設置された分光素子 52 の回転と、この回転に連動する第 2 の回転体 61-2 に設置された検出器 53-1 の回転により、回折角 2θ を制御して、倍角の関係を維持することによりブラッグの回折条件が満たされる。

30

【0024】

検出器 53-1 ~ 53-n は、それぞれ測定する X 線の波長に応じて、例えば、シンチレーションカウンター、ガスフロー型比例計数管 (FPC)、イグザトロン検出器、Ge や CdZnTe 等の半導体検出器等を用いればよい。

【0025】

検出器 53-1 ~ 53-n による検出信号は、制御解析装置 2 における信号処理により、例えば、波長走査に応じた X 線スペクトルが作成され、更にこれに基づく定性分析や定量分析が可能である。又、励起線 E 若しくはステージ部 44 による位置走査に応じて試料 43 上の元素の含有量の分布 (マッピング) 画像を作成するようにすることもできる。

【0026】

制御解析装置 2 は図 1 に示すように、CPU (中央演算処理装置) 3、プログラム記憶装置 25、波長情報記憶装置 26、角度情報記憶装置 27、分析情報記憶装置 28、入力装置 22、出力装置 23、表示装置 24、入出力制御部 21 等を備えて、ノイマン型コンピュータのハードウェア構成をなしている。

40

【0027】

制御解析装置 2 のプログラム記憶装置 25 は、分析ユニット 4 の制御に必要な一連のプログラムを格納する。波長情報記憶装置 26 は、複数の検出器 53-1 ~ 53-n が、それぞれ有する検出可能な X 線の波長範囲と、使用した分光素子 52 によって波長走査を行うことができる波長範囲とを格納する。角度情報記憶装置 27 は、検出器 53-1 ~ 53-n の切り替え時に必要となる情報として、切り替え前後の視射角 θ 、回折角 2θ 、検出器 53-1

50

～ 5 3 -nの配置された角度差等を格納する。分析情報記憶装置 2 8 は、分析対象や分光素子 5 2 等の分析条件、分析に用いる検出器 5 3 -1～ 5 3 -nの他、分析を行った際の分析結果、分析日時等の情報を格納する。

【 0 0 2 8 】

入力装置 2 2、出力装置 2 3 及び表示装置 2 4 は、入出力制御部 2 1 を介して、CPU 3 とのデータの送受信を行う。図 1 において、入力装置 2 2 はキーボード、マウス、ライトペン等で構成される。入力装置 2 2 より分析実行者は、分析対象の元素、分光素子 5 2 の種類、複数の検出器 5 3 -1～ 5 3 -nによる走査波長範囲、波長走査の際のステップ幅、等の分析条件の設定を行うことが可能である。更に、入力装置 2 2 より、分析中止の命令、設定した各条件の修正等を行うことも可能である。又、出力装置 2 3 及び表示装置 2 4 は、それぞれ、プリンタ装置及びディスプレイ装置等により構成することが可能である。表示装置 2 4 は分析条件設定画面、分析結果画面等を表示することができる。

10

【 0 0 2 9 】

制御解析装置 2 の CPU (中央演算処理装置) 3 は、励起線源 4 1 の動作を制御する励起線源制御手段 3 1、レンズ部 4 2 の動作を制御するレンズ部制御手段 3 2、ステージ部 4 4 の動作を制御するステージ部制御手段 3 3、検出器 5 3 -1～ 5 3 -nからの検出信号を処理する検出信号処理手段 3 4、検出器 5 3 -1～ 5 3 -nの切り替えを制御する検出器切り替え手段 3 5 等のハードウェア資源を論理構成として有する。検出器切り替え手段 3 5 の詳細は、図 6 に示すように、ゴニオメータ装置 6 の第 1 の回転体駆動機構 6 2 -1 及び第 2 の回転体駆動機構 6 2 -2 の駆動制御を行うゴニオメータ装置制御手段 3 5 1 と、検出器 5 3 -1～ 5 3 -nの切り替え時に必要となるゴニオメータ装置 6 の駆動量(回転角)を計算する駆動量処理手段 3 5 2 と、検出器 5 3 -1～ 5 3 -nの駆動制御を行う検出器制御手段 3 5 3 とを有する。

20

【 0 0 3 0 】

なお、図 1 のプログラム記憶装置 2 5、波長情報記憶装置 2 6、角度情報記憶装置 2 7、分析情報記憶装置 2 8 は、論理構成を模式的に表示したものであり、現実の物理的構成としては、プログラム記憶装置 2 5、波長情報記憶装置 2 6 等の記憶内容は同一のハードウェアに格納されて構わない。例えば、角度情報記憶装置 2 7 の記憶内容は、SRAM、DRAM 等の揮発性の記憶装置からなる主記憶装置に格納することが可能で、プログラム記憶装置 2 5、波長情報記憶装置 2 6、分析情報記憶装置 2 8 の記憶内容は、ハードディスク(HD)等の磁気ディスク、磁気テープ、光ディスク、光磁気ディスク等の不揮発性の記憶装置からなる補助記憶装置に格納することが可能である。補助記憶装置としては、その他、RAMディスク、ICカード、フラッシュメモリーカード、USBフラッシュメモリー、フラッシュディスク(SSD)等が使用可能である。

30

【 0 0 3 1 】

図 1 に示すような、本発明の第 1 の実施の形態に係る分光器 5 によれば、以下に説明するような手順で波長範囲の異なる複数の検出器 5 3 -1～ 5 3 -nを切り替えて順次使用できる。

【 0 0 3 2 】

なお、図 1 に示す第 1 の実施の形態に係る分光器 5 は例示であり、複数の検出器 5 3 -1, 5 3 -2, …… , 5 3 -nを搭載するギアを用い、このギアの中心軸中に分光素子 5 2 を搭載するためのシャフトを通し、そのシャフトを大きなギアで回すような、他の構成であっても構わない。

40

【 0 0 3 3 】

- 検出器切り替え方法 -

図 7 のフローチャートを用いて、第 1 の実施の形態に係る分析方法の一例として、第 1 の検出器 5 3 -1を用いて視射角 θ_{s1} 、回折角 $2\theta_{s1}$ で分析を行った後、第 2 の検出器 5 3 -2に切り替えて視射角 θ_{s2} 、回折角 $2\theta_{s2}$ で分析を行う場合について例示的に説明する。図 8 に示すように、分光素子 5 2 への入射波の方向を基準として、第 1 の検出器 5 3 -1の回転角 α_1 、第 2 の検出器 5 3 -2の回転角 α_2 とすれば、

50

第1の検出器53-1、第2の53-2の間のオフセット角 $= \theta_1 - \theta_2$ となる。:

(イ) 先ず、ステップS101において、図1に示す入力装置22を介して、分析に用いる検出器、試料43の分析対象元素、分光素子52の種類、走査波長範囲、波長ステップ幅、視射角 $\theta_{s, 1, 2, E}$ 、回転角 $\theta_{1, 2}$ 等、分析に用いる種々の条件やパラメータを分析条件として設定する。設定された条件やパラメータは、分析情報記憶装置28に格納され、視射角 $\theta_{s, 1, 2, E}$ 、回転角 $\theta_{1, 2}$ が角度情報記憶装置27に格納される。

【0034】

(ロ) ステップS102において、ステップS101で指定された分析条件に基づき分析を行う。ゴニオメータ装置制御手段351が、第1の回転体駆動機構62-1及び第2の回転体駆動機構62-2を駆動させ、図9に示すように、分光素子52への視射角 $= \theta_s$ 、第1の検出器53-1の回転角 $\theta_1 = 2\theta_s$ を初期値として、第1の回転体61-1を例えば、時計方向に回転させ、この第1の回転体61-1の回転に連動させて、第2の回転体61-2を時計方向に回転させ、第1の検出器53-1を用いて、視射角 $\theta_s \sim \theta_1$ 、回折角 $2\theta_s \sim 2\theta_1$ までの間時計方向に波長走査する。第1の検出器53-1の時計方向の波長走査が終了すると、ステップS103において、ステップS101で指定された分析条件に基づき、第2の検出器53-2に切り替えて分析を行うか否かを決定する。第2の検出器53-2に切り替える場合は、ステップS104に進む。

10

【0035】

(ハ) ステップS104において、第2の検出器53-2に切り替えるためのゴニオメータ装置6の駆動量を取得する。駆動量処理手段352は、角度情報記憶装置27から視射角 $\theta_{2, E}$ 、回転角 $\theta_{1, 2}$ を読み出し、ゴニオメータ装置6に必要な駆動量である回転角を算出し、角度情報記憶装置27に格納し、ゴニオメータ装置制御手段351が、角度情報記憶装置27からゴニオメータ装置6に必要な回転角を読み出す。

20

【0036】

(ニ) ステップS105において、ゴニオメータ装置制御手段351は、第1の回転体61-1と第2の回転体61-2を連動させて回転させ $= \theta_2, \theta_1 = 2\theta_2$ とした後、第2の回転体駆動機構62-2を介して、第2の回転体61-2を、オフセット角 だけ時計方向に進行させ、第2の検出器53-2の回転角 $\theta_2 = 2\theta_2$ とする。更に、検出器制御手段353によって、検出器53-1の動作を停止し、検出器53-2の動作を開始し、検出器53-2からの検出信号を制御解析装置2に出力するように切り替える。

30

【0037】

(ホ) ステップS106に進み、ゴニオメータ装置制御手段351が、第1の回転体駆動機構62-1及び第2の回転体駆動機構62-2を駆動させ、図10に示すように、検出器53-2を用いて、視射角 $\theta_2 \sim \theta_E$ 、回折角 $2\theta_2 \sim 2\theta_E$ までの間波長走査する。検出器53-2での波長走査が終了すると、ステップS103において、ステップS101で指定された分析条件に基づき、更に次の検出器に切り替えて次の波長範囲の分析を続けるか否かを決定する。次の波長範囲の分析を行わない場合は終了する。

【0038】

上記の説明は、第1の回転体61-1及び第2の回転体61-2が時計方向に回転して、時計方向に波長走査する場合について説明したが、反時計方向に波長走査をする場合は、第1の回転体61-1及び第2の回転体61-2を反時計方向に回転させ、視射角 θ のとき回折角 2θ となるようにすればよい。

40

【0039】

(第2の実施の形態)

図1に示す第1の実施の形態に係る分光器の構成は例示であり、ゴニオメータ装置6は、図11に示すように、複数の検出器回転機構(61-2a, 62-2a; 61-3a, 62-3a)を備え、複数の検出器回転機構(61-2a, 62-2a; 61-3a, 62-3a)にそれぞれ検出器を備えるようにしてもよい。

【0040】

50

即ち、本発明の第2の実施の形態に係る分光器5aは、図11に示すように、試料43から放出される試料43の特性を示す電磁波を回折する分光素子52aと、この分光素子52aをこの分光素子52aの表面を軸として回転させる分光素子回転機構(61-1a, 62-1a)と、分光素子52aで回折された電磁波をそれぞれ異なる波長領域で検出する複数の検出器(53-1a~53-na; 54-1a~54-ma)と、分光素子回転機構(61-1a, 62-1a)と回転軸を共有し、複数の検出器(53-1a~53-na; 54-1a~54-ma)の何れかを搭載し、分光素子52aの回りで移動させる複数の検出器回転機構(61-2a, 62-2a; 61-3a, 62-3a)とを備え、複数の検出器回転機構(61-2a, 62-2a; 61-3a, 62-3a)を切り替えることで、複数の検出器(53-1a~53-na; 54-1a~54-ma)を切り替え可能としている点で第1の実施の形態と異なる。分光素子回転機構(61-1a, 62-1a)は、図11に示すように、円盤状の第1の回転体61-1aと、第1の回転体61-1aを回転させる第1の回転体駆動機構62-1aとを備える。第1の検出器回転機構(61-2a, 62-2a)は、第2の回転体61-2aと、第2の回転体61-2aを回転させる第2の回転体駆動機構62-2aとを備え、第2の検出器回転機構(61-3a, 62-3a)は、第3の回転体61-3aと、第3の回転体61-3aを回転させる第3の回転体駆動機構62-3aとを備える。

【0041】

具体的には、図11に示すように、第2の回転体61-2上にn台(nは1以上の整数である。)の検出器53-1a~53-naを、第3の回転体61-3上にm台(mは1以上の整数である。)の検出器54-1a~54-maを備える。

【0042】

図11に示すように、第2の回転体61-2aは、第1の回転体61-1より大きな半径を有し、第3の回転体61-3aは、第2の回転体61-2aより大きな半径を有する。第1の回転体61-1a、第2の回転体61-2a、第3の回転体61-3aは、それぞれ第1の回転体61-1aがなすゴニオメータ円の中心を通り、紙面に垂直な回転軸60aを共有して回転する。第3の回転体駆動機構62-3aは、第1の回転体駆動機構62-1a、第2の回転体駆動機構62-2aと同様な基本構成となっており、第1の回転体駆動機構62-1a、第2の回転体駆動機構62-2a、第3の回転体駆動機構62-3aは、互いに独立した高精度な駆動制御が可能である。

【0043】

なお、図11においては、複数の検出器回転機構(61-2a, 62-2a; 61-3a, 62-3a)として、第1の検出器回転機構(61-2a, 62-2a)及び第2の検出器回転機構(61-3a, 62-3a)の2つの検出器回転機構を例示しているが、検出器回転機構は2つに限定されるものではなく、検出器回転機構は3つ以上でも構わない。即ち、第2の実施の形態のゴニオメータ装置6aが4枚以上の回転体を備え、それぞれの回転体に検出器を備えるようにしてもよい。

【0044】

図11に示すように、検出器54-1a~54-maは、検出器53-1~53-nと同様に、mが2以上の場合は、それぞれの検出方向を回転軸60aへ向け、互いに干渉しないように相互間に所定の角度差を有して、第3の回転体61-3aに配設される。ポリキャピラリレンズ51aによって平行ビーム化されたX線等の電磁波が、分光素子52aで回折され、図示を省略したスリットを通過して検出器53-1a~53-na, 54-1a~54-maによって検出可能なように、ポリキャピラリレンズ51a、分光素子52a、検出器53-1a~53-na, 54-1a~54-maは、回転軸60aに対して垂直な同一平面上に位置する。

【0045】

例えば、定性分析や定量分析等のための波長走査を、検出器53-1aを用いて視射角 θ_1 、回折角 $2\theta_1$ までの間行った後、検出器54-1aに切り替えて視射角 θ_2 、回折角 $2\theta_2$ までの間行う場合において、分光素子52aへの入射波の方向を基準として、切り替え前に用いる検出器53-1aの回転角 ϕ_1 、切り替え後に

用いる検出器 5 4 -1 a の回転角 θ_2 とすると、第 2 の回転体 6 1 -2 a に設置された検出器 5 3 -1 a と、第 3 の回転体 6 1 -3 a に設置された検出器 5 4 -1 a とは、互いに独立した回転が可能のため、検出器 5 3 -1 a による波長走査の最中に、検出器 5 4 -1 a の回転角 $\theta_2 = 2 \theta_2$ として待機させておくことが可能となり、より迅速な分析を行うことができる。

【 0 0 4 6 】

(第 3 の実施の形態)

分光素子は、第 1 及び第 2 の実施の形態で説明したような平板型に限定されるものではない。本発明の第 3 の実施の形態に係る分光器を用いた分析装置の分析ユニット 4 b は、図 1 2 に示すように、湾曲型の分光素子 5 2 b によって分光を行うヨハンソン型の分光器 5 b を備える。背景技術の欄で説明したように、分光素子 5 2 b の表面の曲率半径 R と等しい半径 R を有するローランド円 Q 上に、試料 4 3 b の励起線照射部位 4 3 0 b と、格子面の曲率半径 2 R の分光素子 5 2 b と、検出点とが位置する必要がある。このため、第 3 の実施の形態に係る分光器を用いた分析装置においては、励起線照射部位 4 3 0 b から分光素子 5 2 b までの距離と、分光素子 5 2 b から n 台の検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b による検出点までの距離とがローランド円 Q を基準として調節される。

10

【 0 0 4 7 】

例えば、図 1 3 に示すように、第 3 の実施の形態に係る分光器は、励起線照射部位 4 3 0 b と、湾曲型の分光素子 5 2 b と、受光スリット 5 9 b とをローランド円 Q の外周に配置する第 1 の回転体 6 1 -1 b と、検出可能な波長範囲の異なる複数の検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b (図 1 2 及び図 1 3 では、2 台の検出器 5 3 -1 b , 5 3 -2 b のみ図示している。) を配置するように、第 1 の回転体 6 1 -1 b と同一の回転中心を有し、第 1 の回転体 6 1 -1 b より大きな半径を有し、第 1 の回転体 6 1 -1 b よりも紙面の奥に位置する円盤状の第 2 の回転体 6 1 -2 b とを備える。第 2 の回転体 6 1 -2 b には、第 2 の回転体 6 1 -2 b を回転させる第 2 の回転体駆動機構 6 2 -2 b が設けられている。図 1 3 に示すような構成にすれば、主アーム 6 3 b の一端側 (図 1 3 において左側の端部側) は、ローランド円 Q の回転軸 6 0 b に平行な励起線照射部位 4 3 0 b を通る軸を回転軸としてローランド円 Q に固定され、他端側 (図 1 3 において右側の端部側) はローランド円 Q の中心となる回転軸 6 0 b を、ローランド円 Q が回転するように支持する。位置を固定された励起線照射部位 4 3 0 b が、常にローランド円 Q の円周上に位置し、主アーム 6 3 b の回転により移動する回転軸 6 0 b には、補助アーム 6 4 b の一方の端部が固定され、補助アーム 6 4 b により距離 R を隔てた補助アーム 6 4 b の他端側がローランド円 Q の円周上に位置するように、受光スリット 5 9 b がローランド円 Q 上に設置されている。検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b による検出点 D は、受光スリット 5 9 b のスリット部に近似することが可能なので、検出点 D は、補助アーム 6 4 b により、常にローランド円 Q の円周上に位置する。

20

30

【 0 0 4 8 】

湾曲型の分光素子 5 2 b は、分光素子 5 2 b の法線方向がローランド円 Q の回転軸 6 0 b に向かうように、分光素子ホルダ 6 5 b を介してローランド円 Q である第 1 の回転体 6 1 -1 b の円周上に回転可能に、且つ、円周上をスライドするように設置されている。分光素子 5 2 b は、分光素子駆動機構 5 5 b により、分光素子ガイド 5 6 b に沿って直線駆動されることにより、ローランド円 Q の円周上をスライドする。分光素子ガイド 5 6 b は、励起線 E が照射される試料 4 3 b の表面に対して一定の角度を維持して、分光素子 5 2 b が直線移動するので、励起線照射部位 4 3 0 b と、分光素子 5 2 b の表面を通る分光素子中心軸 5 2 0 b の距離が変化すると、ローランド円 Q の中心である回転軸 6 0 b が、励起線照射部位 4 3 0 b を中心として回転する。

40

【 0 0 4 9 】

分光素子駆動機構 5 5 b は、図 1 3 に示すように、分光素子ホルダ 6 5 b に保持された分光素子 5 2 b がローランド円 Q の円周上をスライドするように、分光素子中心軸 5 2 0 b を中心に回転する。

【 0 0 5 0 】

受光スリット 5 9 b は、受光スリット駆動機構 5 7 b により、ローランド円 Q の円周上

50

に受光スリット 5 9 b の回転中心がスライドするように固定されながら受光スリットガイド 5 8 b に沿って直線移動される。受光スリットガイド 5 8 b は、受光スリット 5 9 b を駆動させる際の直線移動のガイドであり、常に受光スリット 5 9 b を通る光軸が分光素子中心軸 5 2 0 b の方向を向くように設定されている。分光素子 5 2 b からの回折 X 線が、受光スリット 5 9 b を通過し、検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b の何れかによって検出されるように、受光スリットガイド 5 8 b は、分光素子中心軸 5 2 0 b、受光スリット 5 9 b、及び検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b の何れかが一直線上に保持する。

【 0 0 5 1 】

複数の検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b は、それぞれ検出器ホルダ 6 6 -1 b ~ 6 6 -n b に保持され、互いに干渉しないように相互間に所定の角度差を有して、分光素子ガイド 5 6 b、
10 受光スリットガイド 5 8 b よりも紙面の奥の方で回転する第 2 の回転体 6 1 -2 b の円周側に配設されている。検出器ホルダ 6 6 -1 b ~ 6 6 -n b は、それぞれ第 2 の回転体 6 1 -2 b と平行な面で回転（自転）可能であり、第 2 の回転体 6 1 -2 b の回転（公転）に伴い、検出に用いる検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b の検出方向を受光スリット 5 9 b に向くように制御する。

【 0 0 5 2 】

検出器ホルダ 6 6 -1 b ~ 6 6 -n b のそれぞれは、検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b の何れかを受光スリットガイド 5 8 b に順次脱着させるため、図示を省略した駆動機構により、紙面に垂直方向の移動が可能である。受光スリットガイド 5 8 b は、検出器の位置の下面に開口部を有し、検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b の何れかを選択して受光スリットガイド 5 8 b に
20 順次開口部を介して脱着させる際、選択された検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b の何れかと、受光スリットガイド 5 8 b の開口部との位置合わせは、第 2 の回転体駆動機構 6 2 -2 b による第 2 の回転体 6 1 -2 b の回転によって行われる。

【 0 0 5 3 】

図 1 3 で第 2 の回転体 6 1 -2 b は紙面の奥に位置するが、測定時（分析時）において、X 線が分光素子 5 2 b で回折され、受光スリット 5 9 b で焦点を結び、検出点 D を複数の検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b の何れかによって順次検出可能なように、励起線照射部位 4 3 0 b、分光素子 5 2 b、検出点 D は、同一平面をなすローランド円 Q の円周上にそれぞれ位置する。

【 0 0 5 4 】

第 3 の実施の形態に係る制御解析装置 2 の CPU 3 が論理構造として有する検出器切り替え手段 3 5 b は、図 1 4 に示すように、ゴニオメータ装置 6 b の第 2 の回転体駆動機構 6 2 -2 b の駆動制御を行うゴニオメータ装置制御手段 3 5 1 b と、検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b の切り替え時に必要となる分光器 5 b の駆動量を計算する駆動量処理手段 3 5 2 b と、検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b の駆動制御を行う検出器制御手段 3 5 3 b と、分光素子駆動機構 5 5 b、受光スリット駆動機構 5 7 b を駆動制御する分光器制御手段 3 5 5 b とを備える。試料 4 3 b の励起線照射部位 4 3 0 b と、分光素子 5 2 b の分光面と、検出器 5 3 -1 b ~ 5 3 -n b による受光スリット 5 9 b の検出点 D とは、主アーム 6 3 b、補助アーム 6 4 b、分光素子駆動機構 5 5 b、受光スリット駆動機構 5 7 b、第 2 の回転体駆動機構 6 2 -2 b によって、常にローランド円 Q の円周上に位置するように、試料 4 3 b から分光
40 素子 5 2 b までの距離と、分光素子 5 2 b から検出点 D までの距離とが等しくなるように制御され、このまま、視射角 θ と回折角 2θ とが倍角の関係でブラッグの回折条件を満たすので、X 線の波長走査が達成される。

【 0 0 5 5 】

例えば、第 1 の検出器 5 3 -1 b と第 2 の検出器 5 3 -2 b とが、回転軸 6 0 b に対してオフセット角 α を有して配置され、第 1 の検出器 5 3 -1 b を用いて分析を行った後、第 2 の検出器 5 3 -2 b に切り替えて分析を行う場合において、第 1 の検出器 5 3 -1 b による検出が終了すると、第 1 の検出器 5 3 -1 b は、受光スリットガイド 5 8 b の開口部から紙面の奥に下がることにより、受光スリットガイド 5 8 b から離脱される。第 2 の回転体駆動機構 6 2 -2 b により第 2 の回転体 6 1 -2 b をオフセット角 α だけ回転させることによって、
50

第2の検出器53-2bと受光スリットガイド58bの開口部との位置合わせが行われる。第2の検出器53-2bが、紙面の奥から上昇して開口部から受光スリットガイド58bの内部に挿入されることによって受光スリットガイド58bに装着され、第2の検出器53-2bによる検出が可能となる。

【0056】

(その他の実施の形態)

上記のように、本発明は第1～第3実施の形態によって記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面は本発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなる。

【0057】

例えば、第1及び第2の実施の形態の説明においては、ゴニオメータ装置6, 6aが備える複数の回転体の形状は、円盤状に限るものでない。分光素子52の表面が回転軸60を含み、複数の検出器が検出方向を回転軸60に向くように配設可能であれば、リング状、棒状等であっても構わない。例えば、棒状の回転体を、回転軸60と一致するように装置し、先端に分光素子52を搭載するようにしてもよい。

【0058】

又、第3の実施の形態においては、ゴニオメータ装置6bが備える回転体の数は2枚に限られるものでなく、第2の実施の形態の形態に示すように、3枚以上の回転体を備え、それぞれの回転体に検出器を備えるようにしてもよい。

【0059】

更に、第1～第3の実施の形態の説明においては、検出器として、CCD検出器、フォトダイオード、光電子増倍管等を備えることによって、X線以外の波長、即ち波長0.1～0.01nm以下の線或いは波長10nm以上の紫外線の波長の電磁波を検出することができ、分光素子として、様々な分光結晶、回折格子、反射鏡等を分光素子ホルダに備え、分光素子を適宜選択し、変更可能にすることにより、広範な分析対象についてより多くの分析を行うことができる。例えば、分光素子52を回折格子とし、CCD検出器によりカソードルミネッセンス等を検出する構成としてもよい。

【0060】

又、第1～第3実施の形態の説明においては、励起線源41及びレンズ部42は、電子銃及び電子レンズに限るものでなく、図15に示すように、X線源41dと、試料43dの励起線照射部位430dに焦点を合わせたポリキャピラリレンズ42dとを採用した蛍光X線分析(XRF)装置であっても、同様なシステムが構築可能であり、同様な方法が実施可能で、更に、同様な作用効果が得られることは、上記の説明から明らかであろう。

【0061】

又、第1～第3実施の形態の説明においては、励起線としてイオンビームを用いた粒子線励起X線分析(PIXE)装置等、波長分散型の分光器を用いた他の分析装置であっても、同様なシステムが構築可能であり、同様な方法が実施可能で、更に、同様な作用効果が得られることは、上記の説明から明らかであろう。

【0062】

このように、本発明はここでは記載していない様々な実施の形態等を含むことは勿論である。したがって、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

【符号の説明】

【0063】

Q...ローランド円

2...制御解析装置

3...CPU

4, 4b...分析ユニット

5, 5a, 5b...分光器

6, 6a, 6b...ゴニオメータ装置

10

20

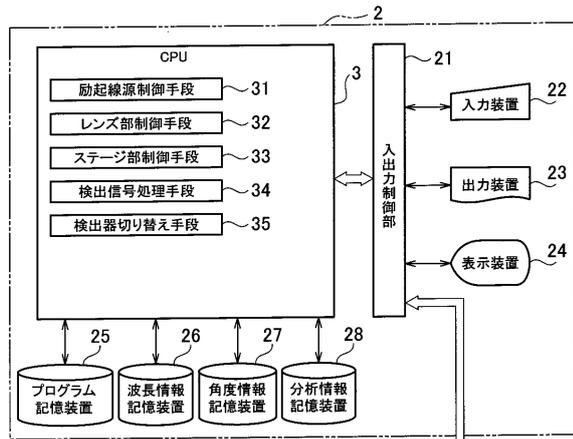
30

40

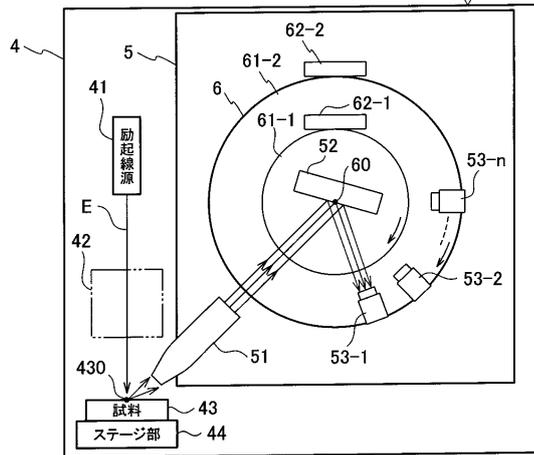
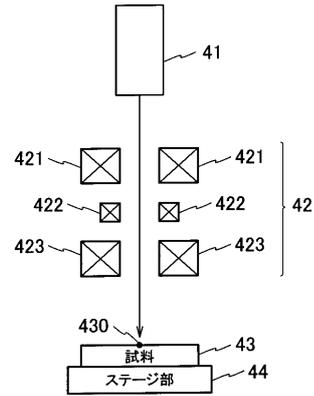
50

1 0 e , 1 0 f , 4 3 0 , 4 3 0 b , 4 3 0 d ... 励起線照射部位	
1 1 e , 1 1 f , 4 3 , 4 3 b , 4 3 d ... 試料	
1 2 e , 1 2 f , 5 2 , 5 2 a , 5 2 b ... 分光素子	
1 3 e , 1 3 f , 5 3 -1 ~ 5 3 -n , 5 4 -1 ~ 5 4 -m... 検出器	
1 5 f , 4 2 d , 5 1 , 5 1 a ... ポリキャピラリレンズ	
2 1 ... 入出力制御部	
2 2 ... 入力装置	
2 3 ... 出力装置	
2 4 ... 表示装置	
2 5 ... プログラム記憶装置	10
2 6 ... 波長情報記憶装置	
2 7 ... 角度情報記憶装置	
2 8 ... 分析情報記憶装置	
3 1 ... 励起線源制御手段	
3 2 ... レンズ部制御手段	
3 3 ... ステージ部制御手段	
3 4 ... 検出信号処理手段	
3 5 , 3 5 b ... 検出器切り替え手段	
4 1 ... 励起線源	
4 1 d ... X線源	20
4 2 ... レンズ部	
4 4 ... ステージ部	
5 5 b ... 分光素子駆動機構	
5 6 b ... 分光素子ガイド	
5 7 b ... 受光スリット駆動機構	
5 8 b ... 受光スリットガイド	
5 9 b ... 受光スリット	
6 0 , 6 0 a , 6 0 b ... 回転軸	
6 1 -1... 第1の回転体	
6 1 -2... 第2の回転体	30
6 1 -3... 第3の回転体	
6 2 -1... 第1の回転体駆動機構	
6 2 -2... 第2の回転体駆動機構	
6 2 -3... 第3の回転体駆動機構	
6 3 b ... 主アーム	
6 4 b ... 補助アーム	
6 5 b ... 分光素子ホルダ	
6 6 -1 b ~ 6 6 -n b ... 検出器ホルダ	
3 5 1 , 3 5 1 b ... ゴニオメータ装置制御手段	
3 5 2 , 3 5 2 b ... 駆動量処理手段	40
3 5 3 , 3 5 3 b ... 検出器制御手段	
3 5 5 b ... 分光器制御手段	
4 2 1 ... 集束レンズ	
4 2 2 ... 偏向コイル	
4 2 3 ... 対物レンズ	
5 2 0 b ... 分光素子中心軸	
6 2 1 ... アクチュエータ	
6 2 2 ... ウォーム	
6 2 3 ... ウォームホイール	

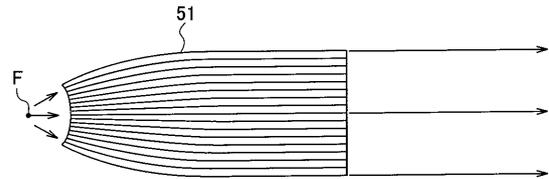
【 図 1 】



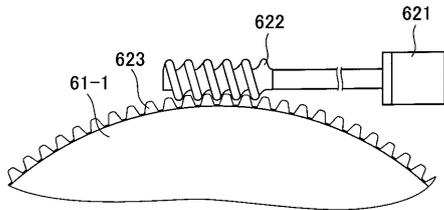
【 図 2 】



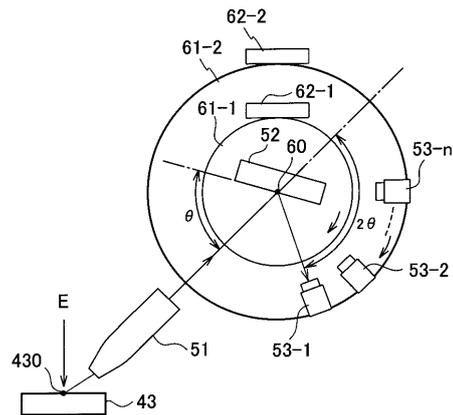
【 図 3 】



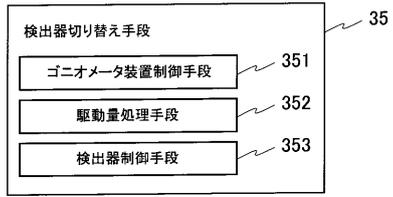
【 図 4 】



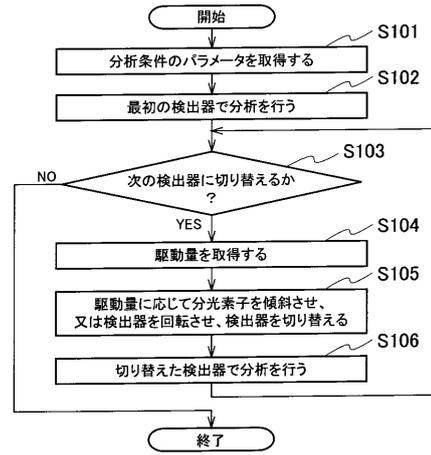
【 図 5 】



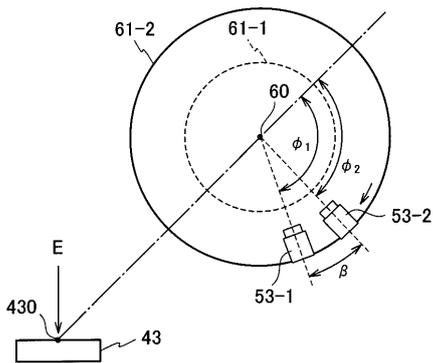
【 図 6 】



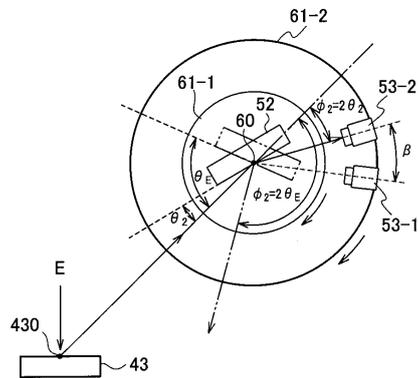
【 図 7 】



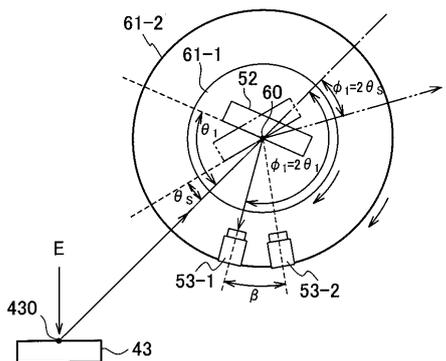
【 図 8 】



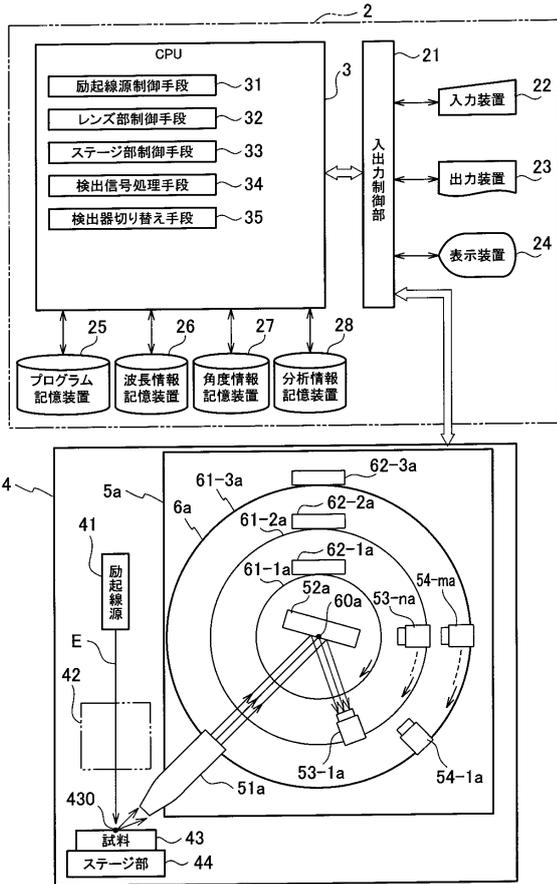
【 図 10 】



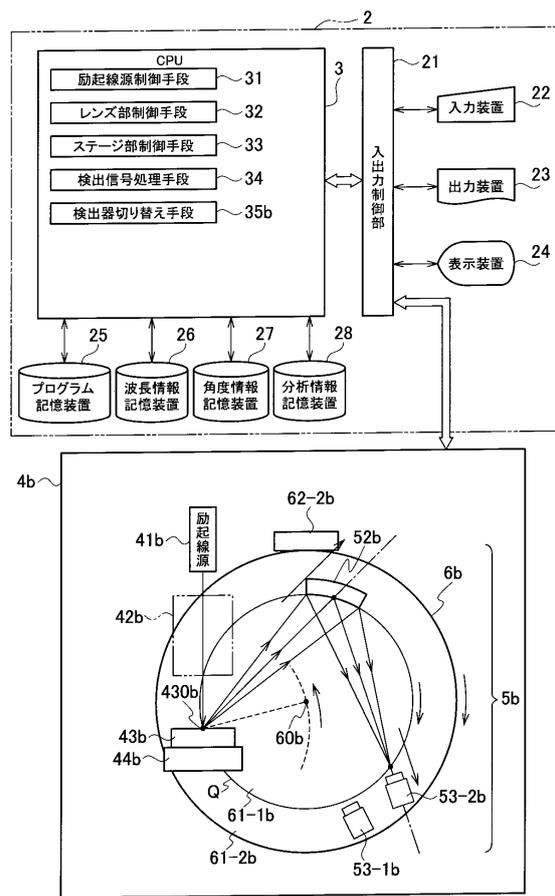
【 図 9 】



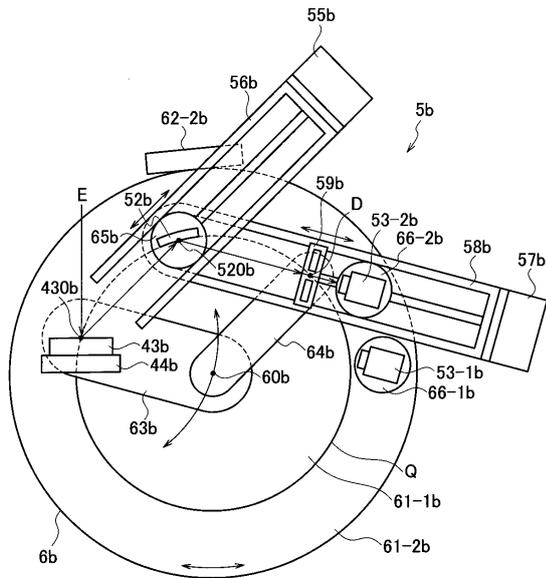
【図 1 1】



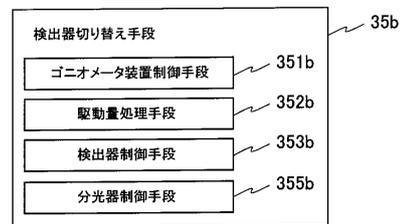
【図 1 2】



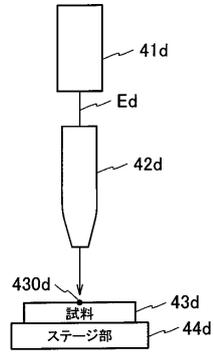
【図 1 3】



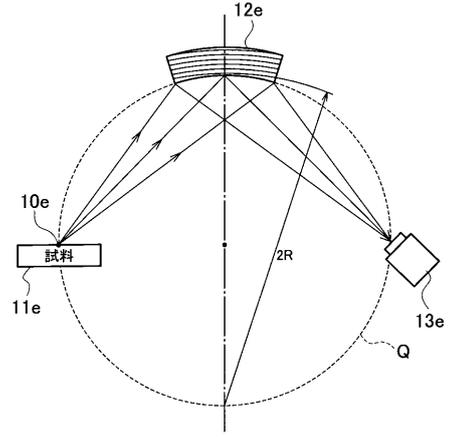
【図 1 4】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】



【 図 1 7 】

