

(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6月18日(18.06.2020)



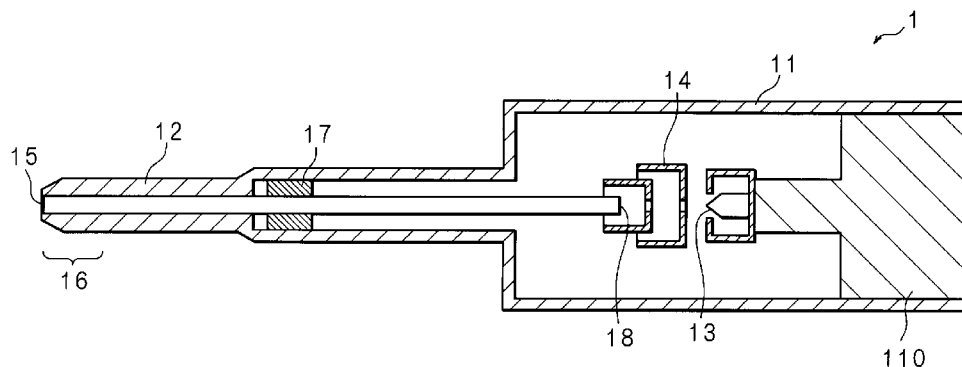
(10) 国際公開番号

WO 2020/122257 A1

- (51) 国際特許分類:
H01J 35/08 (2006.01) *G21K 5/02* (2006.01)
H01J 35/14 (2006.01) *G21K 5/08* (2006.01)
H01J 35/16 (2006.01) *G01N 23/223* (2006.01)
H01J 35/32 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/049162
- (22) 国際出願日: 2019年12月16日(16.12.2019)
- (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 2018-234647 2018年12月14日(14.12.2018) JP
- (71) 出願人: 株式会社堀場製作所 (**HORIBA, LTD.**)
[JP/JP]; 〒6018510 京都府京都市南区吉祥院宮の東町2番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 粟田 正吾 (**AWATA, Shogo**); 〒6018510 京都府京都市南区吉祥院宮の東町2番地 株式会社堀場製作所内 Kyoto (JP). 青山 淳一 (**AOYAMA, Junichi**); 〒6018510 京都府京都市南区吉祥院宮の東町2番地 株式会社堀場製作所内 Kyoto (JP). 水田 雅夫 (**MIZUTA, Masao**); 〒6018510 京都府京都市南区吉祥院宮の東町2番地 株式会社堀場製作所内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 河野 英仁, 外 (**KOHNO, Hideto et al.**); 〒5400035 大阪府大阪市中央区釣鐘町二丁目4番3号 河野特許事務所 Osaka (JP).

(54) Title: X-RAY TUBE AND X-RAY DETECTOR

(54) 発明の名称: X線管及びX線検出装置



(57) **Abstract:** Provided are an X-ray tube and an X-ray detector that can bring a target as close as possible to a sample. The X-ray tube comprises: an electron generation unit; an electron acceleration unit that accelerates electrons generated by the electron generation unit with a voltage; a target with which the accelerated electrons collide so that X-rays are generated; a tubular body part in which the electron generation unit is disposed; a narrow-tube part which has a smaller outer diameter than the tubular body part and communicates with the tubular body part, and through which the accelerated



(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, 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))

electrons pass the inside thereof along a longitudinal direction; and a magnetic field lens part that focuses the electrons passing through the inside of the narrow-tube part by means of a magnetic field, wherein the target is disposed at a tip portion of the narrow-tube part, and the distance from the electron generation unit to the target along the longitudinal direction of the narrow-tube part exceeds three times the largest outer diameter of the tubular body part from the electron generation unit to the target along the longitudinal direction of the narrow-tube part.

(57) 要約: 可及的に試料へターゲットを近づけることができるX線管及びX線検出装置を提供する。X線管は、電子発生部と、前記電子発生部が発生させた電子を電圧によって加速させる電子加速部と、加速された電子が衝突することによってX線が発生させるターゲットと、内部に前記電子発生部が配置された管体部と、前記管体部よりも外径が小さい管状であり、前記管体部に連通しており、前記加速された電子が内部を長手方向に沿って通過する細管部と、前記細管部の内部を通過する電子を磁界によって集束させる磁界レンズ部とを備え、前記ターゲットは、前記細管部の先端部に配置されており、前記細管部の長手方向に沿って前記電子発生部から前記ターゲットまでの間で最も大きい前記管体部の外径に比べて、前記細管部の長手方向に沿って前記電子発生部から前記ターゲットまでの距離は三倍を超過する長さである。

明 細 書

発明の名称： X線管及びX線検出装置

技術分野

[0001] 本発明は、X線を発生させるX線管、及びX線検出装置に関する。

背景技術

[0002] 試料へX線を照射し、試料を透過したX線、又は試料から発生した二次X線を検出し、試料の分析を行うことができる。例えば、試料から発生した蛍光X線に基づいて元素を分析する蛍光X線分析を行うことができる。このような分析に用いられるX線を発生させるために、X線管が用いられている。X線管では、加熱されたフィラメント等の電子発生部から電子を発生させ、電界により電子を加速し、加速した電子をターゲットに衝突させ、ターゲットからX線を発生させる。特許文献1には、X線管の例が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開昭58-145049号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] X線を利用した分析を高精度に行うためには、高強度のX線を試料へ照射することが望ましい。高強度のX線を試料へ照射するためには、X線の発生源を試料へ近づけることが望ましい。しかしながら、X線管の大きさのため、X線管のターゲットを試料に近づけることには限界がある。

[0005] 本発明は、斯かる事情に鑑みてなされたものであって、その目的とするところは、可及的に試料へターゲットを近づけることができるX線管及びX線検出装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明に係るX線管は、電子発生部と、前記電子発生部が発生させた電子を電圧によって加速させる電子加速部と、加速された電子が衝突することに

よってX線が発生させるターゲットとを備えるX線管において、内部に前記電子発生部が配置された管体部と、前記管体部よりも外径が小さい管状であり、前記管体部に連通しており、前記加速された電子が内部を長手方向に沿って通過する細管部と、前記細管部の内部を通過する電子を磁界によって集束させる磁界レンズ部とを備え、前記ターゲットは、前記細管部の先端部に配置されており、前記細管部の長手方向に沿って前記電子発生部から前記ターゲットまでの間で最も大きい前記管体部の外径に比べて、前記細管部の長手方向に沿って前記電子発生部から前記ターゲットまでの距離は三倍を超過する長さであることを特徴とする。

[0007] 本発明においては、X線管は、電子発生部が配置された管体部と、より外径が小さい細管部とを備え、ターゲットは細管部の先端部にあり、電子発生部からターゲットまでの距離は管体部の外径に比べて三倍を超過する長さである。外径が小さい細管部の先端部にターゲットを配置することにより、ターゲットを試料へ近づけることができる。電子発生部からターゲットまでの距離を長くすることにより、サイズの大きい管体部が他の機器に干渉すること無く、ターゲットを試料へ可及的に近づけることができる。

[0008] 本発明に係るX線管は、電子を加速させるために前記電子加速部が発生させる電圧は21kV以上70kV以下であることを特徴とする。

[0009] 本発明においては、電子を加速させる電圧は21kV以上70kV以下である。これにより、試料に含まれ分析対象となり得るほぼ全ての元素について十分な精度で元素分析を行うための蛍光X線を試料から発生させることができる。

[0010] 本発明に係るX線管は、前記細管部は、高熱伝導材を用いて構成されており、前記細管部の外面は磁性材でコーティングされていることを特徴とする。

[0011] 本発明においては、細管部は高熱伝導材を用いて構成されており、効率良くターゲットからの熱が放熱される。また、細管部の外面は磁性材でコーティングされている。コーティングされた磁性材が磁気シールドとなり、外部

磁界によって電子の進路が影響を受けることが無い。

[0012] 本発明に係るX線管は、前記磁界レンズ部は、永久磁石を用いて構成されていることを特徴とする。

[0013] 本発明においては、加速させた電子を集束する磁界レンズ部は、永久磁石を用いて構成されている。永久磁石を用いることにより、磁界レンズ部が小型化・軽量化する。また、電磁石を使用するために必要な機構が不要となり、X線管の構造が簡素化する。

[0014] 本発明に係るX線管は、前記ターゲットは、組成の異なる複数の領域を有し、前記磁界レンズ部は、前記複数の領域の中で前記加速された電子が衝突する領域を変更することを特徴とする。

[0015] 本発明においては、ターゲットは組成の異なる複数の領域を有し、X線管は電子が衝突する領域が変更可能になっている。電子が衝突する領域を変更することによって、X線管が放射するX線のエネルギーが変更され、試料の種類に応じて適切なエネルギーのX線を利用することが可能となる。

[0016] 本発明に係るX線管は、前記ターゲットは、前記細管部の先端を塞ぐ位置に配置されており、前記X線は、前記ターゲットを通過して外部へ放射され、前記先端部の内径は、前記先端にかけて連続的に減少していることを特徴とする。

[0017] 本発明においては、ターゲットは細管部の先端を塞いでおり、X線はターゲットを通過してX線管の外部へ放射される。細管部の先端部の内径は、先端にかけて連続的に減少している。細管部の先端の正面には、電子が衝突した先端部の内面から発生した蛍光X線が放出されない領域が存在する。先端部の内面から発生した蛍光X線が検出されることが抑制され、試料からのX線を測定する際のシステムピークが減少する。

[0018] 本発明に係るX線管は、前記細管部は、可撓性を有していることを特徴とする。

[0019] 本発明においては、細管部は可撓性を有している。細管部を曲線状にすることが可能となり、曲線状の細管部を用いて試料の所望の部分にターゲット

をより近づけることが可能となる。

[0020] 本発明においては、前記先端部の外径は2.6 mm以下であることを特徴とする。

[0021] 本発明においては、細管部の先端部の外径が2.6 mm以下であり、細管部が十分に細いので、試料が入り組んだ形状を有している場合であっても、試料の所望の部分にターゲットを近づけることが可能となる。

[0022] 本発明に係るX線管は、前記電子発生部及び前記電子加速部を稼働させるための電力を蓄電する蓄電部と、前記管体部に着脱可能であり、前記管体部に装着されている場合に、前記管体部及び前記細管部の内部を減圧し、前記蓄電部に給電する着脱ユニットと、前記着脱ユニットが前記管体部から離脱している場合に、前記管体部及び前記細管部の内部が減圧された状態を維持するべく、前記管体部及び前記細管部を封止する封止弁とを更に備えることを特徴とする。

[0023] 本発明においては、管体部に着脱可能な着脱ユニットは、管体部及び細管部の内部を減圧し、X線管を稼働させるための電力を蓄電する蓄電部に給電する。管体部及び細管部の内部を着脱ユニットによって減圧することができるので、X線管の構造を、一時的に減圧状態を保つことが可能な程度の簡素な構造とすることができる。着脱ユニットが給電を可能とすることによって、蓄電部を用いることが可能となり、外部からの電力の供給が無い状態でもX線管を使用することができる。

[0024] 本発明に係るX線検出装置は、本発明に係るX線管と、該X線管から放射されたX線を照射された試料から発生するX線を検出する検出部と、該検出部の検出結果に基づいた元素分析を行う分析部とを備えることを特徴とする。

[0025] 本発明に係るX線検出装置は、前記検出部は、前記試料から発生し、前記試料を透過したX線を検出することを特徴とする。

[0026] 本発明においては、X線管のターゲットを試料へ近づけることができる。これにより、高強度のX線を試料へ照射することが可能となり、高強度の蛍

光X線を検出部で検出し、分析部で元素分析を行うことができる。

発明の効果

[0027] 本発明にあつては、X線管のターゲットを試料へ近づけることにより、高強度のX線を試料へ照射することが可能となる。従つて、高強度のX線の照射に応じた高強度のX線が試料から得られ、高強度のX線を利用した高精度の元素分析が可能となる等、本発明は優れた効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0028] [図1]実施形態1に係るX線検出装置の構成を示すブロック図である。
[図2]X線管の内部の構成例を示す模式的断面図である。
[図3]実施形態1に係る細管部の先端部の構成例を示す模式的断面図である。
[図4]実施形態2に係る細管部の先端部の構成例を示す模式的断面図である。
[図5]実施形態3に係る細管部の先端部の構成例を示す模式的断面図である。
[図6]実施形態4に係るターゲットの第1の例を示す模式的平面図である。
[図7]実施形態4に係るターゲットの第2の例を示す模式的平面図である。
[図8]被衝突体を示す模式的斜視図である。
[図9A]永久磁石を用いた実施形態4に係る磁界レンズ部を示す模式的断面図である。
[図9B]永久磁石を用いた実施形態4に係る磁界レンズ部を示す模式的断面図である。
[図10]実施形態5に係るX線検出装置の構成を示すブロック図である。
[図11]実施形態6に係るX線管を示す模式図である。
[図12]実施形態7に係るX線管を示すブロック図である。
[図13]実施形態8に係るX線検出装置の構成を示すブロック図である。
[図14]実施形態8に係るX線管の一部を示す模式的断面図である。
[図15]実施形態8に係るX線検出器の例を模式的に示す平面図である。
[図16]実施形態8に係るX線検出器の他の例を模式的に示す平面図である。
[図17]実施形態9に係るX線管の内部の構成を示す模式的断面図である。

発明を実施するための形態

[0029] 以下本発明をその実施の形態を示す図面にに基づき具体的に説明する。

(実施形態1)

図1は、実施形態1に係るX線検出装置10の構成を示すブロック図である。X線検出装置10は、例えば蛍光X線分析装置である。X線検出装置10は、X線を放射するX線管1と、試料5が載置される試料台45と、X線検出器3とを備えている。X線検出器3は検出部に対応する。X線管1が放射したX線は試料5へ照射される。X線を照射された試料5では、蛍光X線が発生する。X線検出器3は、試料5から発生した蛍光X線を検出する。図中には、X線管1が放射するX線及び試料5から発生する蛍光X線を矢印で示している。X線検出器3は、検出した蛍光X線のエネルギーに比例した信号を出力する。X線管1及びX線検出器3の少なくとも一部は、内部が減圧される容器内に配置されていてもよい。X線検出装置10は、試料台45に載置させる方法以外の方法で試料5を保持する形態であってもよい。

[0030] X線検出器3には、出力した信号を処理する信号処理部42が接続されている。信号処理部42は、X線検出器3が出力した各値の信号をカウントし、蛍光X線のエネルギーとカウント数との関係、即ち蛍光X線のスペクトルを生成する処理を行う。信号処理部42は、分析部43に接続されている。分析部43は、演算を行う演算部及びデータを記憶するメモリを含んで構成されている。信号処理部42は、生成したスペクトルを示すデータを分析部43へ出力する。分析部43は、信号処理部42からのデータを入力され、入力されたデータが示すスペクトルに基づいて、試料5に含まれる元素の定性分析又は定量分析を行う。分析部43には、液晶ディスプレイ等の表示部44が接続されている。表示部44は、分析部43による分析結果を表示する。また、表示部44は、信号処理部42が生成したスペクトルを表示する。

[0031] X線管1には、X線管1を動作させるための電力をX線管1へ供給する電源部2が接続されている。信号処理部42、分析部43及び電源部2は、制御部41に接続されている。制御部41は、信号処理部42、分析部43及

び電源部 2 の動作を制御する。制御部 4 1 は、使用者の操作を受け付け、受け付けた操作に応じて X 線検出装置 1 0 の各部を制御する構成であってもよい。また、制御部 4 1 及び分析部 4 3 は同一のコンピュータで構成されていてもよい。

[0032] 図 2 は、X 線管 1 の内部の構成例を示す模式的断面図である。X 線管 1 は、管体部 1 1 と、管体部 1 1 に連結した細管部 1 2 とを備えている。管体部 1 1 及び細管部 1 2 はいずれも中空管である。細管部 1 2 の外径は管体部 1 1 に比べて小さい。管体部 1 1 は、両端が封止されている。細管部 1 2 の先端部 1 6 にはターゲット 1 5 が設けられている。ターゲット 1 5 は平板状であり、細管部 1 2 の先端を塞ぐ位置に配置されている。管体部 1 1 の一端には、細管部 1 2 の末端が連結されている。管体部 1 1 の他端にはセラミックコネクタ 1 1 0 が配置されている。細管部 1 2 の末端は、管体部 1 1 の内部で開口している。このため、管体部 1 1 及び細管部 1 2 は連通しており、管体部 1 1 の内部と細管部 1 2 の内部とは繋がっている。

[0033] 管体部 1 1 の内部には、電子発生部であるフィラメント 1 3 が配置されている。フィラメント 1 3 は、例えばタングステンを用いて構成されている。フィラメント 1 3 は、電源部 2 からの電力により、電流が流れ、加熱され、熱電子を放出する。このようにして、フィラメント 1 3 は、電子を発生させる。フィラメント 1 3 は、細管部 1 2 の末端の開口部 1 8 に対向する位置に配置されている。細管部 1 2 及びフィラメント 1 3 は、フィラメント 1 3 と細管部 1 2 の末端の開口部 1 8 とターゲット 1 5 とがほぼ直線状に並ぶように、配置されている。なお、X 線管 1 は、フィラメント 1 3 以外の電子発生部を備えた形態であってもよい。

[0034] 管体部 1 1 の内部には、フィラメント 1 3 から発生した電子を加速させる電子加速部 1 4 が配置されている。電子加速部 1 4 は、電源部 2 からの電力により、電圧を発生させ、電圧によって電子を加速させる。電子加速部 1 4 によってフィラメント 1 3 とターゲット 1 5 との間に発生する電圧を加速電圧とする。フィラメント 1 3 から発生した電子は、加速電圧によって加速さ

れ、開口部 1 8 から細管部 1 2 の内部へ侵入し、細管部 1 2 の長手方向に沿って細管部 1 2 の内部を通過し、ターゲット 1 5 へ衝突する。

[0035] X線管 1 は、磁界レンズ部 1 7 を備えている。磁界レンズ部 1 7 は、磁界を発生し、移動する電子を磁界によって集束させる。磁界レンズ部 1 7 は、細管部 1 2 に設けられており、細管部 1 2 の内部を通過する電子を集束させる。磁界レンズ部 1 7 が電子を集束させることによって、より多くの電子がターゲット 1 5 に衝突するようになる。磁界レンズ部 1 7 は、例えば、リング状に形成された磁石を用いて構成されている。磁界レンズ部 1 7 は、細管部 1 2 の長手方向に沿った一箇所で電子を集束させる形態であってもよく、複数の箇所で電子を集束させる形態であってもよい。

[0036] 磁界レンズ部 1 7 は、電磁石を用いて構成されることも可能ではあるものの、永久磁石を用いて構成されていることが望ましい。電磁石を用いた場合は、電磁石を動作させるための電源が必要となる。また、電磁石からは熱が発生するので、排熱機構が必要となる。永久磁石を用いた場合は、電源及び排熱機構が不要となり、X線管 1 の構造が簡素化し、X線管 1 が小型化する。また、永久磁石は電磁石よりも小さく形成することができるので、磁界レンズ部 1 7 が小型化・軽量化する。

[0037] ターゲット 1 5 は、加速された電子が衝突することによってX線が発生する材料で形成されている。例えば、ターゲット 1 5 は、タングステン又はモリブデンを用いて形成されている。加速された電子がターゲット 1 5 に衝突することによって発生したX線は、ターゲット 1 5 を通過してX線管 1 の外部へ放射される。放射されたX線は、試料 5 へ照射される。X線の照射によって試料 5 から蛍光X線が発生し、蛍光X線はX線検出器 3 で検出され、分析部 4 3 で元素分析が行われる。

[0038] 細管部 1 2 の内径は 3 mm 以上であることが望ましい。細管部 1 2 の内径が 3 mm 以上であれば、細管部 1 2 の内部を十分な量の電子が通過することができる。フィラメント 1 3 の先端からターゲット 1 5 までの最も大きい管体部 1 1 の外径に比べて、フィラメント 1 3 の先端からターゲット 1 5 まで

の距離は、三倍を超過する長さになっている。また、細管部 12 の先端部 16 の外径は 26 mm 以下である。

[0039] セラミックコネクタ 110 は、管体部 11 の端を封止している。セラミックコネクタ 110 は、管体部 11 内で発生した電子が管体部 11 の外部へ漏洩しないように、管体部 11 の内部と外部とを絶縁している。高電圧を扱う電源部 2 に対して絶縁を保つために、セラミックコネクタ 110 にはある程度の大きさが必要である。このため、セラミックコネクタ 110 を内部に配置している管体部 11 の外径を小さくすることには限界がある。フィラメント 13 からターゲット 15 までの距離を大きくすることにより、ターゲット 15 が設けられた細管部 12 の先端部 16 の外径を管体部 11 よりも大幅に小さくすることができる。先端部 16 の外径が小さいことによって、先端部 16 の外径がより大きい場合に比べて、ターゲット 15 をより試料 5 へ近づけることができる。また、管体部 11 に連結した細管部 12 の先端部 16 にターゲット 15 を配置してあることにより、サイズの大きい管体部 11 が X 線検出装置 10 内の他の部品に干渉すること無く、ターゲット 15 を試料 5 へ可及的に近づけることができる。ターゲット 15 は X 線の発生源であり、X 線の発生源が試料 5 に近づけることにより、高強度の X 線を試料 5 へ照射することが可能となる。高強度の X 線が試料 5 へ照射されることにより、高強度の蛍光 X 線が発生し、高強度の蛍光 X 線を利用して高精度の元素分析が可能となる。

[0040] 電子加速部 14 が発生させる加速電圧は、21 kV 以上 70 kV 以下である。加速電圧を 21 kV 以上とすることによって、十分な精度で元素分析を行うための蛍光 X 線を試料 5 から発生させることができる。加速電圧が 40 kV 以上である場合は、分析対象となり得るほぼ全ての元素について元素分析が可能になる蛍光 X 線を試料 5 から発生させることができる。このため、加速電圧は 40 kV 以上であることが望ましい。加速電圧が 70 kV を超過する場合は、元素分析が可能になる元素はほとんど増えないので、加速電圧は 70 kV までで十分である。

[0041] ターゲット 15 に電子が衝突することにより、熱が発生する。細管部 12 は、放熱のために高熱伝導材で構成されていることが望ましい。高熱伝導材は、ターゲット 15 が熱によって変質、溶融又は熱分解を起こさない程度に熱伝導率が高い物質である。例えば、高熱伝導材は銅である。細管部 12 が高熱伝導材で構成されていることによって、ターゲット 15 で発生した熱を素早く放熱させることができる。例えば、水冷機構等の大型の冷却機構を用いなくても、ターゲット 15 で発生した熱をスムーズに放熱させることができる。冷却機構が不要であるので、先端部 16 を細くすることができる。また、細管部 12 の外面は、ニッケルメッキ等の方法により磁性材でコーティングされていることが好ましい。銅等の強磁性を示さない材料で細管部 12 が構成されている場合であっても、コーティングされた磁性材が磁気シールドとなり、地磁気等の外部磁界が細管部 12 の内部へ侵入することが無い。このため、外部磁界によって電子の進路が影響を受けることが無く、効率的に多くの電子をターゲット 15 に衝突させることができる。

[0042] 図 3 は、実施形態 1 に係る細管部 12 の先端部 16 の構成例を示す模式的断面図である。細管部 12 の中心軸を含む面で先端部 16 を切断した断面を示す。図中には、細管部 12 の中心軸を一点鎖線で示す。平板状のターゲット 15 は、細管部 12 の先端を塞いでいる。先端部 16 の内面はテーパ状になっている。即ち、先端部 16 の内径は先端にかけて連続的に減少している。先端部 16 の内面の内で内径が連続的に減少している部分をテーパ面 161 とする。図 3 に示す例では、内径は線形に減少している。即ち、細管部 12 の中心軸を含む面内で、テーパ面 161 はターゲット 15 の表面に対して直線状に傾いている。図 3 には、テーパ面 161 の延長面を破線で示している。

[0043] 細管部 12 の内面に電子が衝突した場合は、細管部 12 の内面から X 線が発生する。先端部 16 の内面から発生した X 線は、ターゲット 15 を通過して X 線管 1 の外部へ放出されることがある。先端部 16 の内面から発生した X 線が X 線検出器 3 で検出された場合は、生成される蛍光 X 線のスペクトル

に、試料5に由来しないピーク、所謂システムピークが含まれることになる。蛍光X線のスペクトルにシステムピークが含まれることにより、試料5の元素分析が阻害される。

[0044] 先端部16にテーパ面161が存在することにより、先端部16の内面から発生したX線が放射される範囲が制限される。テーパ面161から発生するX線は、テーパ面161よりも細管部12の内側へ放出され、テーパ面161よりも外側へは放出されない。即ち、細管部12の中心軸を含む面内では、図3に示す左側のテーパ面161の延長面よりも右側のみにX線が放出され、延長面よりも左側へは放出されない。同様に、図3に示す右側のテーパ面161の延長面よりも左側のみにX線が放出され、延長面よりも右側へは放出されない。このため、図3にハッチングで示すように、細管部12の先端の正面には、先端部16の内面から発生したX線が放出されない領域162が存在する。

[0045] この領域162を利用することによって、先端部16の内面から発生したX線がX線検出器3で検出されることを抑制することができる。例えば、領域162内に試料台45が位置するように試料台45又はX線管1の位置を定めておくことによって、先端部16の内面から発生して試料5又は試料台45で反射したX線がX線検出器3へ入射することが抑制される。これにより、システムピークが減少し、試料5の元素分析の精度が向上する。また、X線検出器3を試料5へ近づけるほど、蛍光X線の強度が向上するものの、システムピークによる影響がより顕著になる可能性がある。領域162内に試料5が位置する状態では、X線検出器3を試料5へ近づけることによって、蛍光X線の強度を向上させながらも、システムピークによる影響を抑制し、試料5の元素分析の精度を向上させることができる。細管部12の中心軸を含む面内でターゲット15とテーパ面161とのなす角163は、 90° を超過する角度である。先端部16の内面から発生したX線が放出されない領域162を十分に大きくするためには、角163は、 120° 以上であることが望ましい。

[0046] なお、先端部 16 の内径は先端にかけて非線形に減少していてもよい。例えば、細管部 12 の中心軸を含む面内で、先端に近いほどターゲット 15 の表面に対するテーパ面 161 の角度が大きくなっていてもよい。また、先端部 16 の内径が先端にかけて減少する構成は、フィラメント 13 からターゲット 15 までの距離を大きくして先端部 16 の外径を小さくした X 線管以外の X 線管においても適用可能である。例えば試料 5 へターゲット 15 を近づける必要のない X 線管においても適用可能である。この場合においても、先端部 16 の内面から発生した X 線が X 線検出器 3 で検出されることが抑制され、試料 5 の元素分析の精度が向上する。

[0047] 実施形態 1 においては、固定した試料 5 に X 線を照射する例を示したが、X 線検出装置 10 は、試料 5 を X 線で走査する形態であってもよい。例えば、X 線検出装置 10 は、試料 5 を順次移動させるか、又は X 線の方角を順次変更させることによって、試料 5 を X 線で走査してもよい。この形態では、X 線検出装置 10 は、試料 5 上の複数の部分から発生した蛍光 X 線を順次検出し、蛍光 X 線の検出結果に基づいて、試料 5 に含まれる元素の分布を生成してもよい。また、X 線管 1 は、フィラメント 13 の先端からターゲット 15 までの最も大きい管体部 11 の外径に比べて、フィラメント 13 の先端からターゲット 15 までの距離を、2.5 倍以上 3 倍以下の長さにした構成とすることも可能である。

[0048] (実施形態 2)

図 4 は、実施形態 2 に係る細管部 12 の先端部 16 の構成例を示す模式的断面図である。細管部 12 の中心軸を含む面で先端部 16 を切断した断面を示す。図 4 には、細管部 12 の中心軸を一点鎖線で示す。ターゲット 15 は平板状であり、細管部 12 の先端を塞いでいる。ターゲット 15 の表面は、細管部 12 の中心軸に対して、直交しておらず、傾斜している。加速された電子はターゲット 15 へ衝突し、発生した X 線は、ターゲット 15 を通過し、X 線管 1 の外部へ放射される。X 線管 1 のその他の部分の構成、及び X 線検出装置 10 の X 線管 1 以外の部分の構成は、実施形態 1 と同様である。

[0049] 図4には、X線の放射される方向を矢印で示している。X線は、ターゲット15の表面に直交する方向へ放射される。より詳しくは、X線は、ターゲット15の表面に直交する方向を中心として放射状に放射される。ターゲット15の表面は、細管部12の中心軸に対して傾斜しているので、X線は細管部12の中心軸と交差する方向へ放射される。

[0050] 実施形態2においても、ターゲット15が設けられた細管部12の先端部16の外径を管体部11よりも大幅に小さくすることができる。先端部16の外径が小さいことによって、ターゲット15を試料5へ近づけることができる。また、管体部11がX線検出装置10内の他の部品に干渉すること無く、ターゲット15を試料5へ近づけることができる。更に、実施形態2では、ターゲット15の表面が細管部12の中心軸に対して傾斜しているので、X線検出装置10の構造によっては、ターゲット15を試料5へより近づけることができる。高強度のX線が試料5へ照射されることにより、高強度の蛍光X線が発生し、高強度の蛍光X線を利用して高精度の元素分析が可能となる。

[0051] (実施形態3)

図5は、実施形態3に係る細管部12の先端部16の構成例を示す模式的断面図である。細管部12の中心軸を含む面で先端部16を切断した断面を示す。細管部12の先端は封止されている。ターゲット15は、平板状であり、先端部16の内部（先端部16に含まれる空洞内）に配置されている。先端部16の側部には、X線が通過可能な窓164が設けられている。加速された電子はターゲット15へ衝突し、ターゲット15の電子が衝突した面から発生したX線は、窓164を通過し、X線管1の外部へ放射される。図中では、電子を破線矢印で示し、X線を直線矢印で示している。X線管1のその他の部分の構成、及びX線検出装置10のX線管1以外の部分の構成は、実施形態1と同様である。

[0052] 実施形態3においても、ターゲット15が設けられた細管部12の先端部16の外径を管体部11よりも大幅に小さくすることができる。先端部16

の外径が小さいことによって、ターゲット 15 をより試料 5 へ近づけることができる。また、管体部 11 が X 線検出装置 10 内の他の部品に干渉すること無く、ターゲット 15 を試料 5 へ可及的に近づけることができる。高強度の X 線が試料 5 へ照射されることにより、高強度の蛍光 X 線が発生し、高強度の蛍光 X 線を利用して高精度の元素分析が可能となる。

[0053] (実施形態 4)

図 6 は、実施形態 4 に係るターゲット 15 の第 1 の例を示す模式的平面図である。ターゲット 15 は、平板状であり、電子が衝突すべき複数の衝突領域 151 を含んでいる。複数の衝突領域 151 は、互いに組成が異なっている。例えば、複数の衝突領域 151 は異なる種類の元素からなる。複数の衝突領域 151 の組成が異なっているので、衝突領域 151 に電子が衝突したときに発生する電子のエネルギーは衝突領域 151 によって異なる。図 6 には、ターゲット 15 が二つの衝突領域 151 を有する例を示したが、ターゲット 15 は三個以上の衝突領域 151 を有していてもよい。

[0054] 図 7 は、実施形態 4 に係るターゲット 15 の第 2 の例を示す模式的平面図である。ターゲット 15 の面上には、電子が衝突すべき被衝突体 153 が設けられている。図 8 は、被衝突体 153 を示す模式的斜視図である。被衝突体 153 は、多面体であり、複数の衝突面 152 を有する。被衝突体 153 は、衝突面 152 に電子が衝突するような位置に配置されている。複数の衝突面 152 は、互いに組成が異なっている。例えば、複数の衝突面 152 は異なる種類の元素からなる。複数の衝突面 152 の組成が異なっているので、衝突面 152 に電子が衝突したときに発生する電子のエネルギーは衝突面 152 によって異なる。図 7 には、被衝突体 153 が四個の衝突面 152 を有する例を示したが、被衝突体 153 は三個の衝突面 152 を有していてもよく、五個以上の衝突面 152 を有していてもよい。

[0055] 磁界レンズ部 17 は、加速された電子の進路を変更することができるようになっている。例えば、磁界レンズ部 17 は、複数の電磁石を用いて構成されており、制御部 41 によりいずれの電磁石を稼働させるかを制御される。

磁界レンズ部 17 は、稼働させる電磁石を選択することにより、電子を集束させると共に電子の進路を調整し、何れの衝突領域 151 又は衝突面 152 に電子を衝突させるのかを選択する。

[0056] 磁界レンズ部 17 は永久磁石を用いて構成されていてもよい。図 9A 及び図 9B は、永久磁石を用いた実施形態 4 に係る磁界レンズ部 17 を示す模式的断面図である。細管部 12 の中心軸に交差する面で磁界レンズ部 17 及び細管部 12 を切断した断面を示す。磁界レンズ部 17 は、細管部 12 の外側に配置されており、細管部 12 を両側から挟むように二つの永久磁石が配置されている。また、磁界レンズ部 17 は、永久磁石の位置を変更することができる構成になっている。図 9A には、図中で横方向に二つの永久磁石が並んだ状態を示し、図 9B には、図中で縦方向に二つの永久磁石が並んだ状態を示す。永久磁石の位置を変更することにより、電子の進路が変更され、電子が衝突する衝突領域 151 又は衝突面 152 が変更される。磁界レンズ部 17 は、単一の永久磁石を用いていてもよく、三個以上の永久磁石を用いていてもよい。また、磁界レンズ部 17 は、細管部 12 の長手方向に永久磁石の位置を変更することにより電子の進路を調整してもよい。磁界レンズ部 17 は、永久磁石の位置を手動で変更することができる構成であってもよい。磁界レンズ部 17 が細管部 12 の外側に配置されている場合、少なくとも、細管部 12 の外面の磁界レンズ部 17 が配置される部分には、磁性材によるコーティングは設けられていない。X線管 1 のその他の部分の構成、及びX線検出装置 10 のX線管 1 以外の部分の構成は、実施形態 1～3 の何れかと同様である。

[0057] 以上のように、実施形態 4 では、X線管 1 は、電子が衝突する衝突領域 151 又は衝突面 152 を変更することができる。電子が衝突する衝突領域 151 又は衝突面 152 を変更することによって、X線管 1 が放射するX線のエネルギーが変更される。X線を利用した分析を行う際に、試料 5 の種類に応じて適切なエネルギーのX線を利用することが可能となる。試料 5 の種類に応じて、適切なエネルギーのX線を試料 5 へ照射することが可能となり、

適切な分析を行うことが可能となる。

[0058] (実施形態5)

図10は、実施形態5に係るX線検出装置10の構成を示すブロック図である。X線管1の構成は、実施形態1～4の何れかと同様である。X線管1は、X線検出器3に対する位置を変更可能であり、細管部12の先端を試料5へ近接させるようになっている。実施形態1と同様に、X線検出装置10は、電源部2、X線検出器3、制御部41、信号処理部42、分析部43及び表示部44を備えている。X線管1及び電源部2と、X線検出器3、制御部41、信号処理部42、分析部43及び表示部44とは分離していてもよい。この場合、X線管1及び電源部2は、制御部41とは異なる制御部によって制御される。

[0059] X線検出装置10は、例えば、モバイル型のX線検出装置10である。文化財等の試料5は、入り組んだ形状を有していることがある。例えば、試料5は、配管又は壺である。X線管1は、管体部11よりも外径が小さい細管部12を有し、細管部12の先端部16にターゲット15が設けられている。管体部11の外径に比したフィラメント13からターゲット15までの距離が三倍以下の長さである場合は、細管部12よりも太い管体部11が試料5に衝突し、試料5の所望の部分にターゲット15を近接させることが困難になることがある。この場合は、試料5の所望の部分にX線を照射することが困難となり、試料5の所望の部分の分析が困難となる。

[0060] 実施形態5では、フィラメント13からターゲット15までに最も大きい管体部11の外径に比べて、フィラメント13からターゲット15までの距離が三倍を超過する長さになるように、細管部12は長くなっている。細管部12が細長くなっているので、図10に示すように、入り組んだ形状を有する試料5の内部に細管部12を差し込んで、試料5の所望の部分にターゲット15を近接させることができる。このため、試料5が入り組んだ形状を有している場合であっても、試料5の所望の部分にX線管1からX線を照射することができる。X線を照射された試料5からは蛍光X線が発生し、X線

検出器 3 が蛍光 X 線を検出し、試料 5 の所望の部分の分析が行われる。

[0061] 以上のように、実施形態 5 においては、試料 5 が入り組んだ形状を有している場合であっても、試料 5 の所望の部分にターゲット 15 を近づけることができる。高強度の X 線が試料 5 へ照射されることにより、高強度の蛍光 X 線が発生し、高強度の蛍光 X 線を利用して高精度の元素分析が可能となる。また、試料 5 を非破壊で分析することが可能となる。

[0062] また、実施形態 5 に係るモバイル型の X 線検出装置 10 は、実施形態 4 と同様に、ターゲット 15 が複数の衝突領域 151 を含んでいる形態であってもよい。モバイル型の X 線検出装置 10 は、文化財等の試料 5 が存在する現場で種々の種類の試料 5 の測定に用いられることが想定される。試料 5 の種類に応じて、使用する衝突領域 151 を変更することにより、試料 5 に含まれる元素に適切なエネルギーの X 線を利用することが可能となる。このため、現場において、多様な試料 5 について適切な分析を行うことが可能となる。

[0063] (実施形態 6)

図 11 は、実施形態 6 に係る X 線管 1 を示す模式図である。細管部 12 は、可撓性を有しており、直線状の形状に限らず、曲線状の形状を有することができる。細管部 12 は、可撓管を用いて構成されている。例えば、可撓管は、帯状の金属を螺旋状に巻いた螺旋管と、螺旋管を覆う樹脂とを用いて構成されている。

[0064] 磁界レンズ部 17 は、曲線状の細管部 12 の中を電子が通過できるように電子の進路を調整する構成になっている。例えば、磁界レンズ部 17 は、細管部 12 の長手方向に沿った複数箇所に磁石を配置してなり、細管部 12 が曲線状になっている状態であっても、電子をターゲット 15 へ導くようになっている。また、例えば、磁界レンズ部 17 は、実施形態 4 と同様に、加速された電子の進路を変更することができるようになっており、ターゲット 15 まで電子が曲線状の細管部 12 の中を通過するように電子の進路を調整する。X 線管 1 のその他の部分の構成は実施形態 1 ～ 5 の何れかと同様であり

、X線検出装置10のX線管1以外の部分の構成は実施形態5と同様である。

[0065] 実施形態6においては、試料5が入り組んだ形状を有している場合であっても、細管部12を曲線状にすることによって、試料5の所望の部分にターゲット15をより近づけることができる。高強度のX線が試料5へ照射されることにより、高強度の蛍光X線が発生し、高強度の蛍光X線を利用して高精度の元素分析が可能となる。また、試料5を非破壊で分析することが可能となる。

[0066] (実施形態7)

図12は、実施形態7に係るX線管1を示すブロック図である。X線管1は、管体部11及び細管部12の内部を減圧された状態に保つべく管体部11及び細管部12を封止する封止弁19を有している。電源部2は、二次電池を用いた蓄電部21を有している。電源部2は、蓄電部21に蓄電された電力を利用して、X線管1へ電力を供給する。

[0067] 管体部11には、着脱ユニット6が着脱可能になっている。着脱ユニット6は、装着時に封止弁19に連結される減圧部61を有している。減圧部61は、真空ポンプを含んでおり、管体部11及び細管部12の内部を減圧することができる。着脱ユニット6が管体部11に装着された場合に、封止弁19が開放され、減圧部61は、封止弁19を介して管体部11及び細管部12の内部と連通する。この状態で、減圧部61は、動作し、管体部11及び細管部12の内部を減圧する。管体部11及び細管部12の内部が十分に減圧された状態で、封止弁19が閉鎖され、着脱ユニット6が離脱する。X線管1は、着脱ユニット6が離脱した状態で動作する。

[0068] また、着脱ユニット6は、装着時に蓄電部21に対して給電を行う給電部62を有している。着脱ユニット6が管体部11に装着された場合、給電部62は電源部2に接続される。給電部62は、蓄電部21へ給電を行い、蓄電部21は充電される。電源部2は、着脱ユニット6が離脱した状態で動作する。X線管1のその他の部分の構成は実施形態1～6の何れかと同様であ

り、X線検出装置10のX線管1及び電源部2以外の部分の構成は実施形態5又は6と同様である。

[0069] 実施形態7では、X線管1は、管体部11及び細管部12の内部を着脱ユニット6によって減圧することができるので、減圧状態を長期にわたって維持する必要が無い。このため、X線管1の構造を、短期間減圧状態を保つことが可能な程度の簡素な構造とすることができる。封止弁19の構造も、短期間減圧状態を保つことが可能な程度の簡素な構造とすることができる。従って、X線管1の軽量化及び低コスト化が可能となる。

[0070] また、着脱ユニット6が給電を可能とすることによって、電源部2が蓄電部21を用いることができる。蓄電部21を用いることによって、外部からの電力の供給が無い状態でもX線管1を使用することができる。このため、X線管1及びX線検出装置10をモバイル型とすることができる。X線管1又はX線検出装置10をモバイル型とすることによって、試料5に対してX線管1を可及的に近づけることができる。更に、着脱ユニット6は管体部11及び細管部12の内部の減圧と蓄電部21への給電を同時に行うことができる。このため、X線管1を動作可能にするための作業を短時間で完了することが可能である。

[0071] (実施形態8)

実施形態1～7では、X線管1とX線検出器3とが分離している形態を示した。高精度及び高速応答の蛍光X線分析を行うためには、X線管1及びX線検出器3の両方を試料5へ近づけることが望ましい。しかし、試料5が入り組んだ形状を有している場合、X線管1及びX線検出器3の両方を試料5へ近づけることが困難なことがある。実施形態8では、X線管1とX線検出器3とが一体になった形態を示す。

[0072] 図13は、実施形態8に係るX線検出装置10の構成を示すブロック図である。X線管1は、管体部11を備える。管体部11内には、電子発生部であるフィラメント13と、電子加速部14と、ターゲット15と、X線検出器3とが配置されている。X線管1には、電源部2が接続されている。電源

部 2 は、電力を X 線管 1 へ供給する。また、X 線管 1 には、信号処理部 4 2 が接続されている。フィラメント 1 3 は電子を発生させ、電子加速部 1 4 は電子を加速する。加速された電子はターゲット 1 5 に衝突し、ターゲット 1 5 から X 線が発生する。

[0073] 図 1 4 は、実施形態 8 に係る X 線管 1 の一部を示す模式的断面図である。管体部 1 1 は、X 線透過部 1 1 1 を有している。管体部 1 1 の一部が X 線を透過させる物質で構成されており、X 線透過部 1 1 1 になっている。例えば、X 線透過部 1 1 1 は、ベリリウムで構成されている。X 線透過部 1 1 1 は、管体部 1 1 の側部に設けられている。ターゲット 1 5 から発生した X 線は、X 線透過部 1 1 1 を透過して X 線管 1 の外部へ放射され、試料 5 へ照射される。図 1 4 では、ターゲット 1 5 へ衝突する電子の軌跡を一点鎖線で示し、ターゲット 1 5 から発生する X 線を実線矢印で示す。

[0074] X 線検出器 3 は、ターゲット 1 5 と X 線透過部 1 1 1 との間の位置に配置されている。X 線検出器 3 は、板状であり、貫通孔 3 4 が形成されている。X 線検出器 3 は、ターゲット 1 5 から発生した X 線の光軸が貫通孔 3 4 を通過するような位置に配置されている。これにより、ターゲット 1 5 から発生した X 線は、貫通孔 3 4 を通過し、X 線透過部 1 1 1 を透過し、X 線管 1 の外部にある試料 5 へ照射される。X 線を照射された試料 5 では、蛍光 X 線が発生する。図 1 4 では、蛍光 X 線を破線矢印で示す。

[0075] X 線検出器 3 は、放射線検出素子 3 1 と、冷却部 3 2 と、シールド部 3 3 とを有している。放射線検出素子 3 1 は、放射線を検出する半導体素子であり、例えば、SDD (Silicon Drift Detector) である。放射線検出素子 3 1 は、SDD 以外の素子であってもよい。冷却部 3 2 は、放射線検出素子 3 1 を冷却する素子であり、例えば、ペルチェ素子である。シールド部 3 3 は、ターゲット 1 5 からの X 線が放射線検出素子 3 1 へ入射することを妨害する。シールド部 3 3 は、ターゲット 1 5 に対向する位置に配置されており、放射線検出素子 3 1 は、X 線透過部 1 1 1 に対向する位置に配置されている。このように、X 線検出器 3 は、X 線透過部 1 1 1 を透過した外部からの X

線が放射線検出素子 3 1 へ入射する位置に配置されている。試料 5 で発生した蛍光 X 線は、X 線透過部 1 1 1 を透過し、放射線検出素子 3 1 へ入射する。X 線検出器 3 は、入射した蛍光 X 線を検出する。

[0076] X 線管 1 には、信号処理部 4 2 が接続されている。信号処理部 4 2 は、X 線管 1 内の X 線検出器 3 に接続されている。信号処理部 4 2 は、X 線検出器 3 が出力した信号を受け付け、信号処理部 4 2 が検出した蛍光 X 線のスペクトルを生成する。信号処理部 4 2 は、分析部 4 3 に接続されている。分析部 4 3 は、蛍光 X 線のスペクトルに基づいて、試料 5 の元素分析を行う。分析部 4 3 には、表示部 4 4 が接続されている。信号処理部 4 2、分析部 4 3 及び電源部 2 は、制御部 4 1 に接続されている。

[0077] 図 1 5 は、実施形態 8 に係る X 線検出器 3 の例を模式的に示す平面図である。放射線検出素子 3 1 は、円環状の形状を有し、貫通孔 3 4 が形成されている。X 線検出器 3 は、ターゲット 1 5 から発生する X 線の光軸 3 5 が貫通孔 3 4 を通過するように、配置されている。X 線検出器 3 がこのような構成になっていることにより、ターゲット 1 5 からの X 線は X 線管 1 の外部へ放射され、X 線透過部 1 1 1 を透過した外部からの蛍光 X 線を効率的に X 線検出器 3 で検出することができる。また、このような構成により、ターゲット 1 5 と、X 線検出器 3 と、X 線透過部 1 1 1 とを近接させた配置が可能となり、X 線管 1 のサイズが小さくなる。なお、放射線検出素子 3 1 は、八角環等の角環状の形状を有していてもよい。また、放射線検出素子 3 1 は、環の一部が繋がっていない形状を有していてもよい。

[0078] 図 1 6 は、実施形態 8 に係る X 線検出器 3 の他の例を模式的に示す平面図である。図 1 6 に示す例では、X 線検出器 3 は、複数の放射線検出素子 3 1 を有している。X 線検出器 3 は一体でなくてもよい。複数の放射線検出素子 3 1 は、ターゲット 1 5 から発生する X 線の光軸 3 5 の周囲に配置されている。この例においても、ターゲット 1 5 からの X 線は X 線管 1 の外部へ放射され、X 線透過部 1 1 1 を透過した外部からの蛍光 X 線を効率的に X 線検出器 3 で検出することができる。図 1 6 には、放射線検出素子 3 1 の数が四個

である例を示したが、放射線検出素子 3 1 の数は四個以外であってもよい。図 1 6 には、放射線検出素子 3 1 の形状が矩形である例を示したが、放射線検出素子 3 1 の形状は、円形等、矩形以外の形状であってもよい。

[0079] 図 1 3 に示すように、X線管 1 は、入り組んだ形状を有している配管等の試料 5 へ近接することができる。特に、試料 5 の所望の部分にX線透過部 1 1 1 を近接させることができる。このため、試料 5 の所望の部分にターゲット 1 5 及びX線検出器 3 の両方を近づけることができる。X線管 1 とX線検出器 3 とが分離した形態では、試料 5 が入り組んだ形状を有している場合、X線管 1 及びX線検出器 3 の両方を試料 5 へ近づけることが困難なことがある。実施形態 8 では、X線管 1 のみを試料 5 へ近づけるだけで、X線の発生源及び蛍光X線の検出部の両方を試料 5 へ近づけることができる。高強度のX線が試料 5 へ照射され、高強度の蛍光X線が発生し、高強度の蛍光X線を効率的に検出することができる。このため、高精度の元素分析が可能となる。また、高強度の蛍光X線を効率的に検出して元素分析を行うことができるので、精度を高く保ちながら元素分析の応答速度を速くすることができる。このように、試料 5 が入り組んだ形状を有している場合であっても、高精度及び高速応答の元素分析を行うことが可能となる。また、試料 5 を非破壊で分析することが可能となる。

[0080] (実施形態 9)

図 1 7 は、実施形態 9 に係るX線管 1 の内部の構成を示す模式的断面図である。管体部 1 1 の先端部分の一部が開口し、開口した部分を塞いでターゲット 1 5 が配置されている。ターゲット 1 5 は、平板状であり、管体部 1 1 の開口した部分にはめ込まれている。ターゲット 1 5 の周囲には、X線透過部 1 1 1 が配置されている。X線透過部 1 1 1 は、管体部 1 1 の先端部分の一部をなしている。管体部 1 1 内には、電子発生部であるフィラメント 1 3 と、電子加速部 1 4 と、X線検出器 3 とが配置されている。

[0081] X線検出器 3 は、X線透過部 1 1 1 の近傍に配置されている。X線検出器 3 は、板状であり、貫通孔 3 4 が形成されている。X線検出器 3 は、ターゲ

ット15へ衝突する電子の光軸が貫通孔34を通過するような位置に配置されている。フィラメント13から発生した電子は、電子加速部14により加速され、貫通孔34を通過し、ターゲット15へ衝突する。電子の衝突によりターゲット15からX線が発生し、発生したX線は、ターゲット15を透過してX線管1の外部へ放射され、試料5へ照射される。図17では、ターゲット15へ衝突する電子の軌跡を一点鎖線で示し、ターゲット15から発生するX線を実線矢印で示す。

[0082] X線を照射された試料5では、蛍光X線が発生する。蛍光X線は、X線透過部111を透過し、X線検出器3へ入射する。X線検出器3は、入射した蛍光X線を検出する。図17では、蛍光X線を破線矢印で示す。X線検出装置10のX線管1以外の部分の構成は実施形態8と同様である。

[0083] 実施形態9においても、X線管1は、入り組んだ形状を有している試料5へ近接することができる。特に、試料5の所望の部分に管体部11の先端を近づけることにより、試料5の所望の部分にターゲット15及びX線検出器3の両方を近づけることができる。高強度のX線が試料5へ照射され、高強度の蛍光X線が発生し、高強度の蛍光X線を効率的に検出することができ、高精度の元素分析が可能となる。このように、試料5が入り組んだ形状を有している場合であっても、高精度の元素分析が可能となる。また、試料5を非破壊で分析することが可能となる。

[0084] なお、X線検出器3は、複数の放射線検出素子31を有し、複数の放射線検出素子31はターゲット15へ衝突する電子の光軸の周囲に配置されている形態であってもよい。この形態においても、電子はターゲット15へ衝突し、ターゲット15からのX線はX線管1の外部へ放射され、X線透過部111を透過した外部からの蛍光X線をX線検出器3で検出することができる。

[0085] なお、以上の実施形態1～9においては、X線をエネルギー別に分離して検出するエネルギー分散型の形態を示したが、X線検出装置10は、X線を波長別に分離して検出する波長分散型の形態であってもよい。また、実施形

態 1 ～ 9 においては、蛍光 X 線を検出する形態を示したが、X 線検出装置 10 は、蛍光 X 線以外の X 線を検出する形態であってもよい。例えば、X 線検出装置 10 は、試料 5 を透過した透過 X 線、又は回折 X 線を検出する形態であってもよい。

[0086] 本発明は上述した実施の形態の内容に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能である。即ち、請求項に示した範囲で適宜変更した技術的手段を組み合わせて得られる実施形態も本発明の技術的範囲に含まれる。

[0087] (付記 1)

電子発生部と、前記電子発生部が発生させた電子が衝突することによって X 線が発生させるターゲットと、内部に前記電子発生部及び前記ターゲットが配置された管体部とを備える X 線管において、

前記管体部の内部に配置された X 線検出器を備え、

前記管体部は、X 線が透過する X 線透過部を有し、

前記 X 線検出器は、前記 X 線透過部を透過した外部からの X 線が入射する位置に配置されていること

を特徴とする X 線管。

[0088] (付記 2)

前記 X 線検出器は、板状であり、貫通孔を有し、前記ターゲットから発生する X 線の光軸が前記貫通孔を通過するような位置に配置されていること

を特徴とする付記 1 に記載の X 線管。

[0089] (付記 3)

前記 X 線検出器は、複数の X 線検出素子を有し、

前記複数の X 線検出素子は、前記ターゲットから発生する X 線の光軸の周囲に配置されていること

を特徴とする付記 1 に記載の X 線管。

[0090] (付記 4)

前記ターゲットから発生する X 線は、前記 X 線透過部を透過して外部へ放

射され、

前記X線検出器は、外部へ放射されX線を照射された試料から発生して前記X線透過部を透過したX線を検出すること

を特徴とする付記1乃至3のいずれか一つに記載のX線管。

[0091] (付記5)

前記ターゲットは、前記管体部の開口した部分を塞ぐ位置に配置され、

前記X線透過部は、前記ターゲットの周囲に配置され、

前記X線検出器は、板状であり、貫通孔を有し、前記ターゲットへ衝突する電子の光軸が前記貫通孔を通過するような位置に配置されていること

を特徴とする付記1に記載のX線管。

[0092] (付記6)

付記1乃至5のいずれか一つに記載のX線管と、

該X線管に含まれるX線検出器の検出結果に基づいた元素分析を行う分析部と

を備えることを特徴とするX線検出装置。

符号の説明

[0093] 1 X線管

1 0 X線検出装置

1 1 管体部

1 1 1 X線透過部

1 2 細管部

1 3 フィラメント（電子発生部）

1 4 電子加速部

1 5 ターゲット

1 5 1 衝突領域

1 6 先端部

1 7 磁界レンズ部

1 9 封止弁

1 1 0 セラミックコネクタ

2 電源部

2 1 蓄電部

3 X線検出器（検出部）

3 1 放射線検出素子

3 2 冷却部

3 3 シールド部

3 4 貫通孔

5 試料

6 着脱ユニット

6 1 減圧部

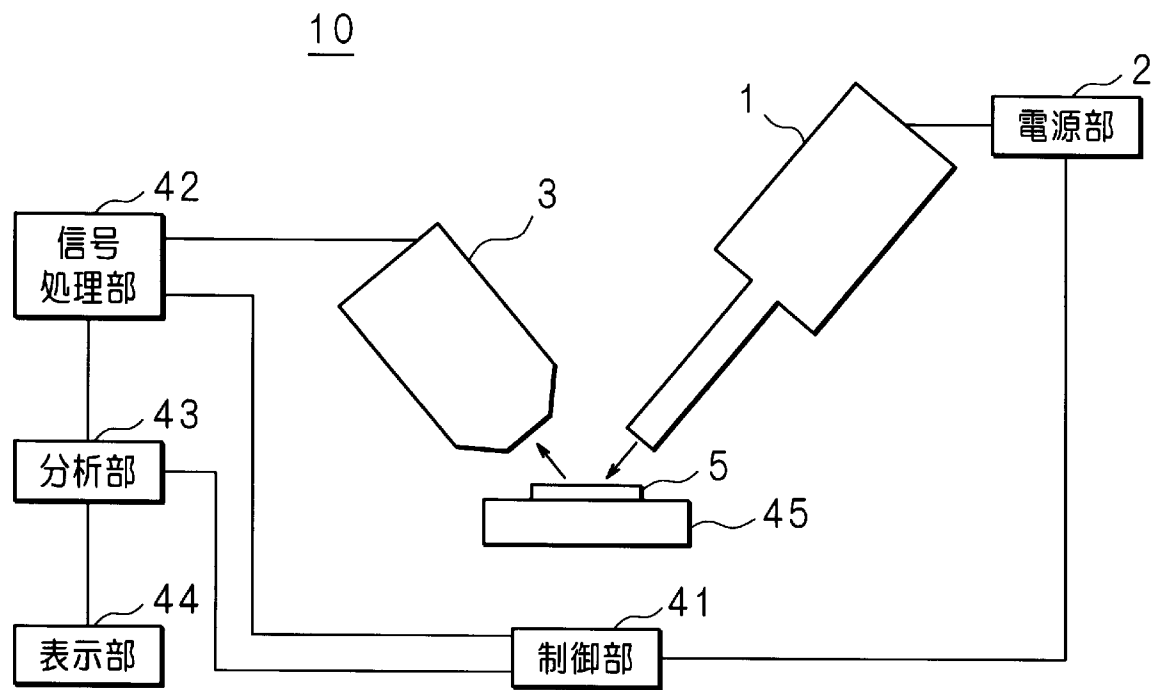
6 2 給電部

請求の範囲

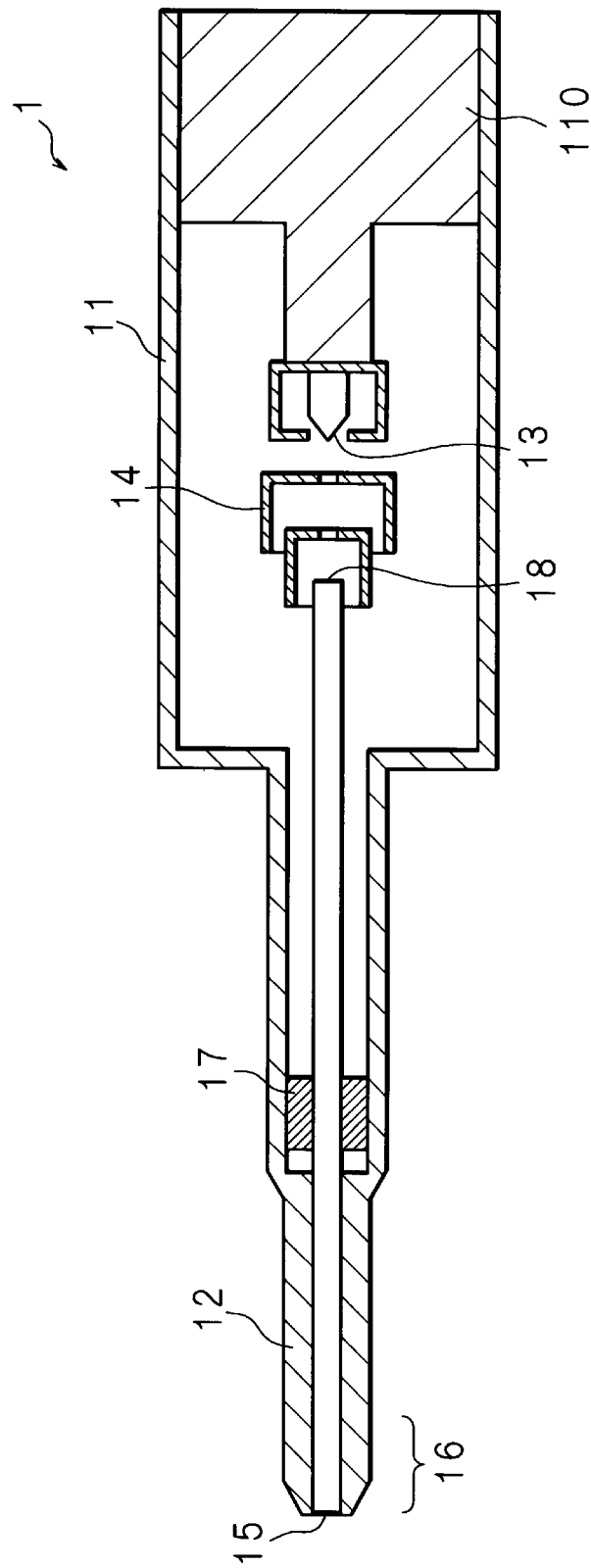
- [請求項1] 電子発生部と、前記電子発生部が発生させた電子を電圧によって加速させる電子加速部と、加速された電子が衝突することによってX線を発生させるターゲットとを備えるX線管において、
内部に前記電子発生部が配置された管体部と、
前記管体部よりも外径が小さい管状であり、前記管体部に連通しており、前記加速された電子が内部を長手方向に沿って通過する細管部と、
前記細管部の内部を通過する電子を磁界によって集束させる磁界レンズ部とを備え、
前記ターゲットは、前記細管部の先端部に配置されており、
前記細管部の長手方向に沿って前記電子発生部から前記ターゲットまでの間で最も大きい前記管体部の外径に比べて、前記細管部の長手方向に沿って前記電子発生部から前記ターゲットまでの距離は三倍を超過する長さであること
を特徴とするX線管。
- [請求項2] 電子を加速させるために前記電子加速部が発生させる電圧は21kV以上70kV以下であること
を特徴とする請求項1に記載のX線管。
- [請求項3] 前記細管部は、高熱伝導材を用いて構成されており、
前記細管部の外面は磁性材でコーティングされていること
を特徴とする請求項1又は2に記載のX線管。
- [請求項4] 前記磁界レンズ部は、永久磁石を用いて構成されていること
を特徴とする請求項1乃至3のいずれか一つに記載のX線管。
- [請求項5] 前記ターゲットは、組成の異なる複数の領域を有し、
前記磁界レンズ部は、前記複数の領域の中で前記加速された電子が衝突する領域を変更すること
を特徴とする請求項1乃至4のいずれか一つに記載のX線管。

- [請求項6] 前記ターゲットは、前記細管部の先端を塞ぐ位置に配置されており、
- 前記X線は、前記ターゲットを通過して外部へ放射され、
- 前記先端部の内径は、前記先端にかけて連続的に減少していることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一つに記載のX線管。
- [請求項7] 前記細管部は、可撓性を有していることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか一つに記載のX線管。
- [請求項8] 前記先端部の外径は26mm以下であることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか一つに記載のX線管。
- [請求項9] 前記電子発生部及び前記電子加速部を稼働させるための電力を蓄電する蓄電部と、
- 前記管体部に着脱可能であり、前記管体部に装着されている場合に、前記管体部及び前記細管部の内部を減圧し、前記蓄電部に給電する着脱ユニットと、
- 前記着脱ユニットが前記管体部から離脱している場合に、前記管体部及び前記細管部の内部が減圧された状態を維持するべく、前記管体部及び前記細管部を封止する封止弁と
- を更に備えることを特徴とする請求項1乃至8のいずれか一つに記載のX線管。
- [請求項10] 請求項1乃至9のいずれか一つに記載のX線管と、
- 該X線管から放射されたX線を照射された試料から発生するX線を検出する検出部と、
- 該検出部の検出結果に基づいた元素分析を行う分析部と
- を備えることを特徴とするX線検出装置。
- [請求項11] 前記検出部は、前記試料から発生し、前記試料を透過したX線を検出すること
- を特徴とする請求項10に記載のX線検出装置。

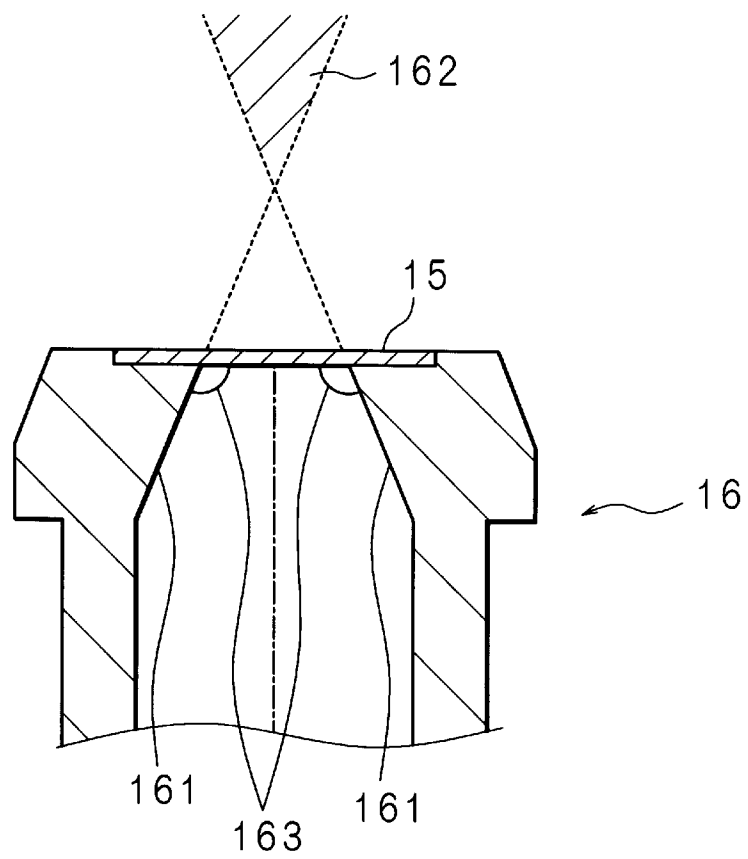
[図1]



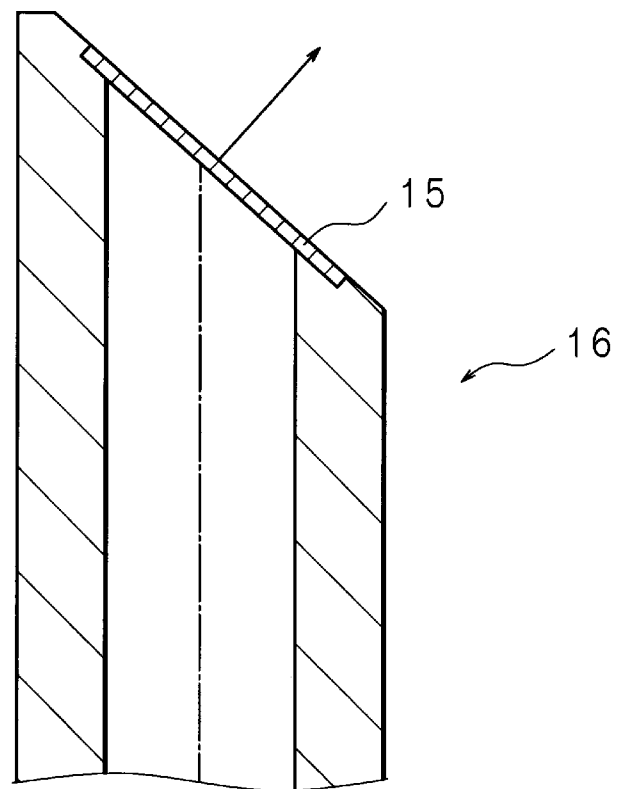
[図2]



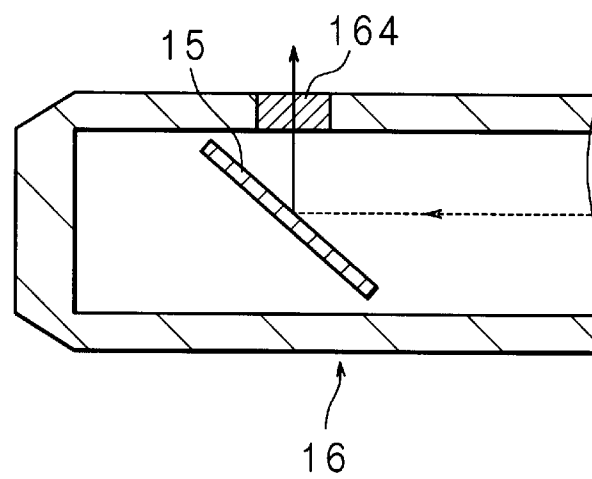
[図3]



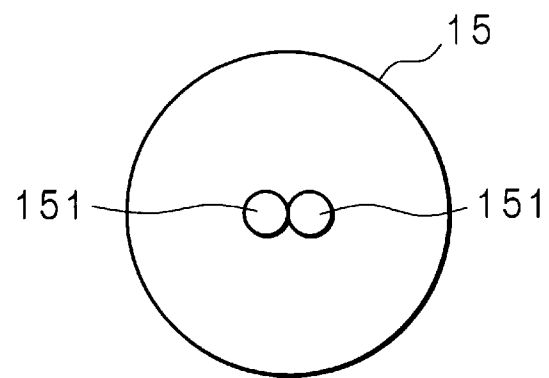
[図4]



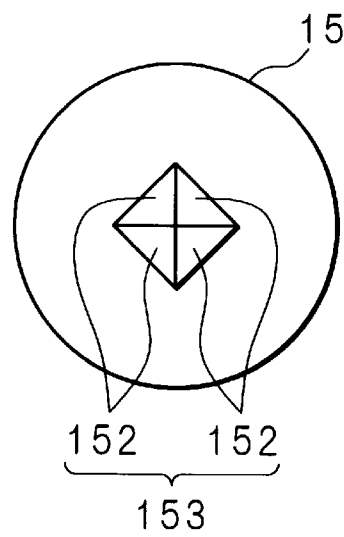
[図5]



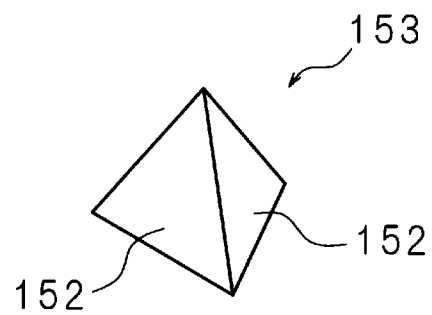
[図6]



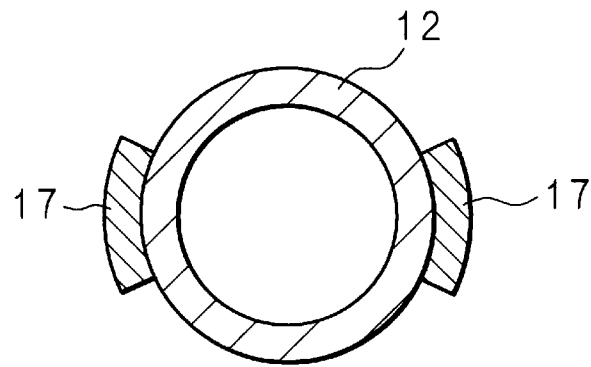
[図7]



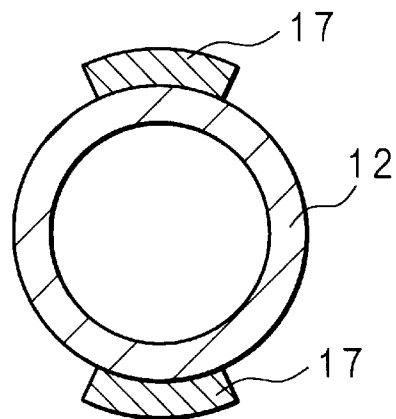
[図8]



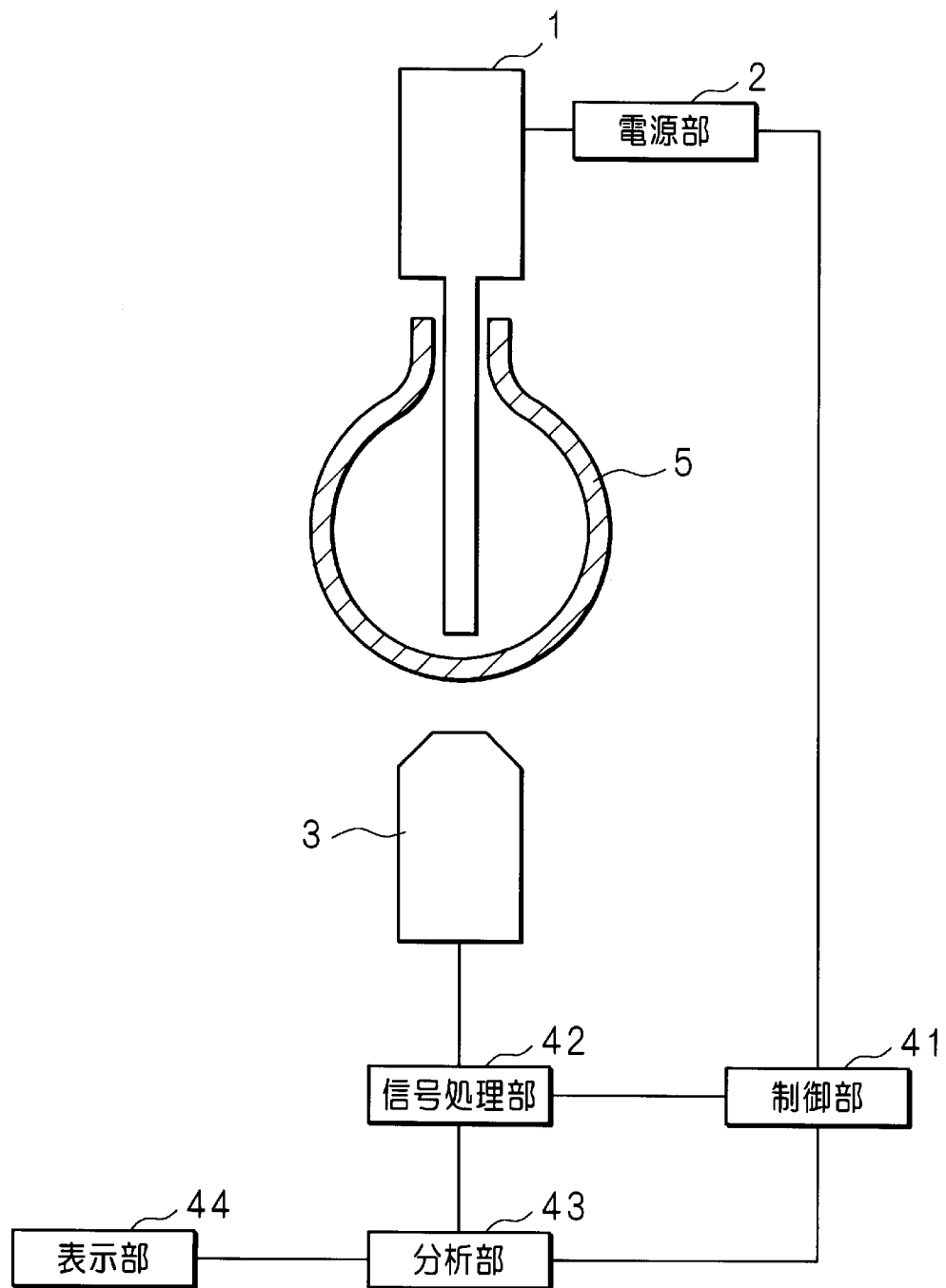
[図9A]



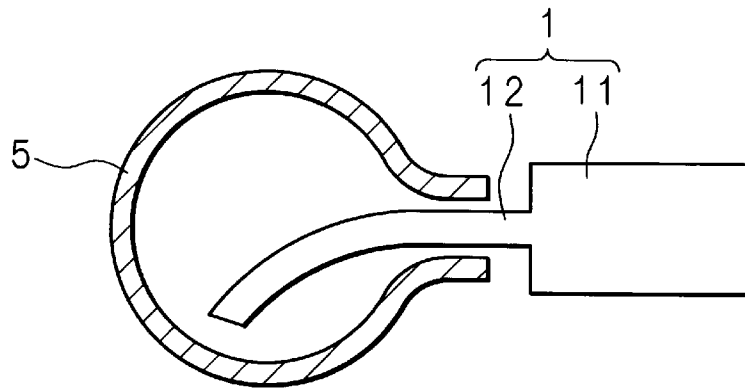
[図9B]



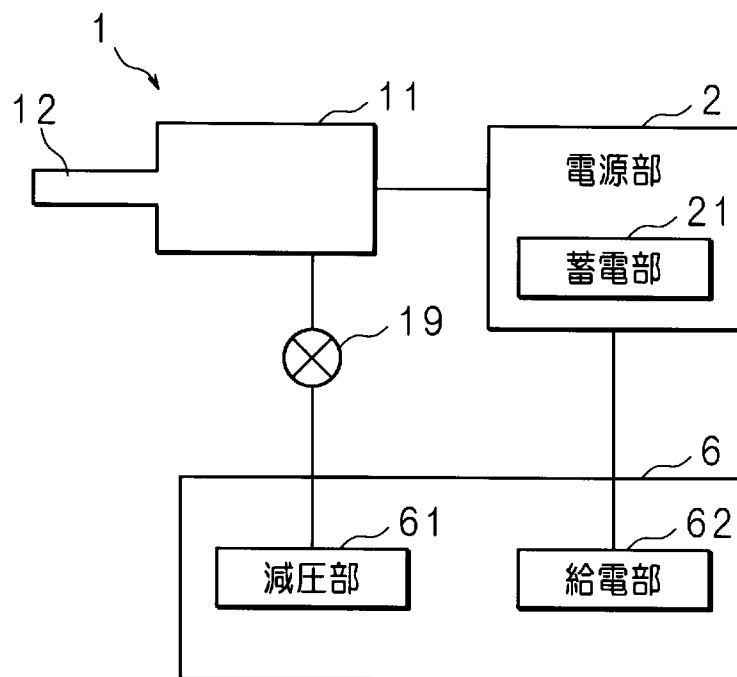
[図10]



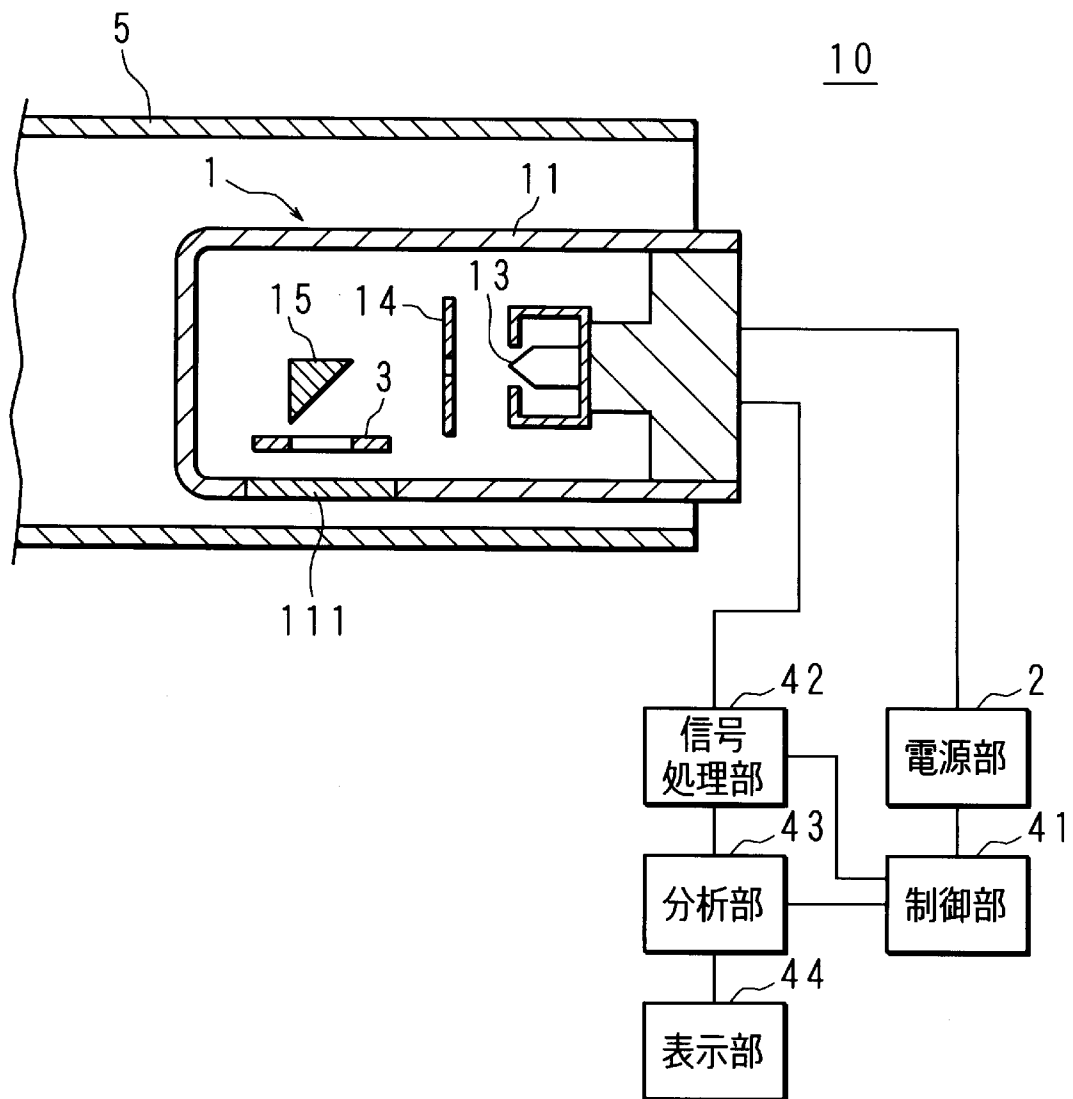
[図11]



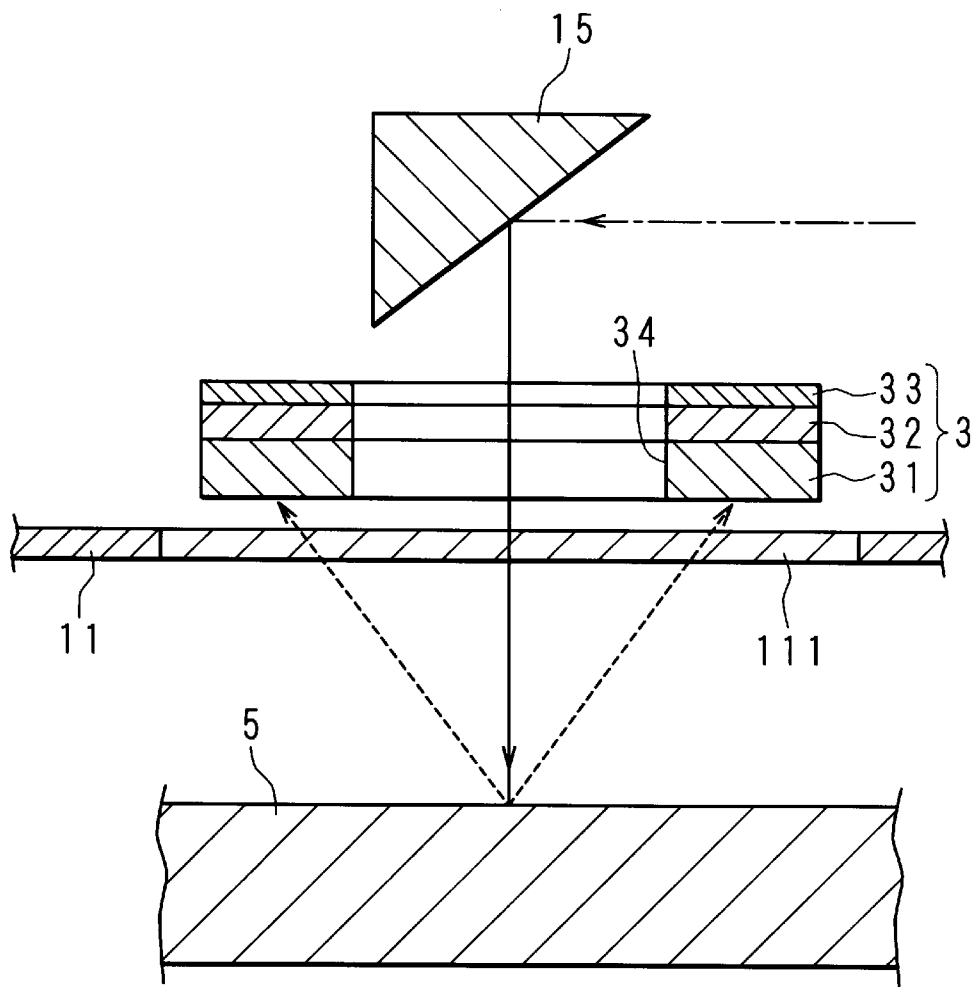
[図12]



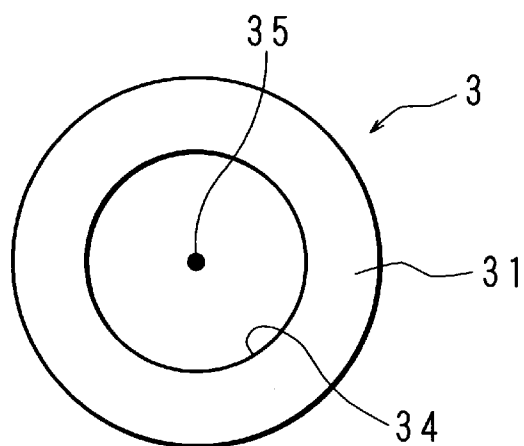
[図13]



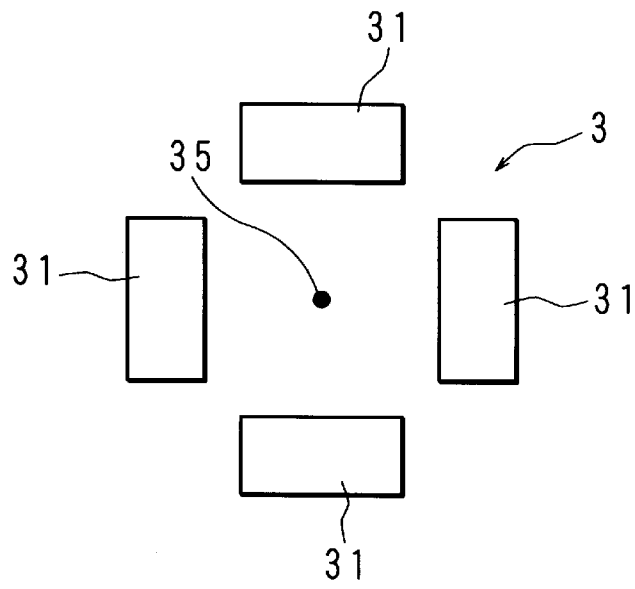
[図14]



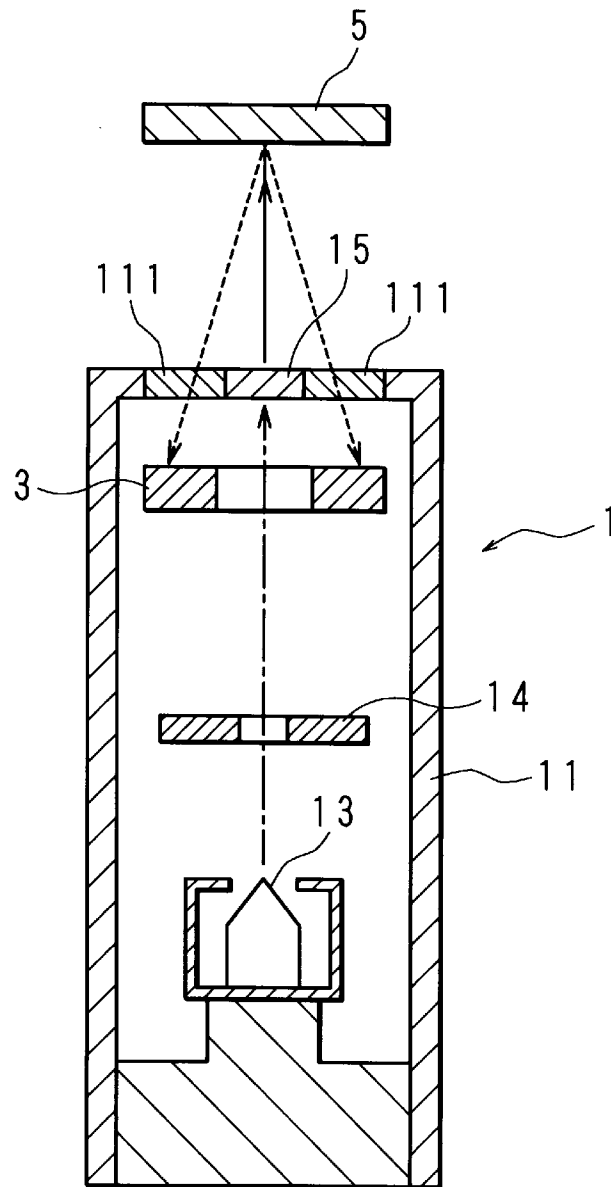
[図15]



[図16]



[図17]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/049162

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. H01J35/08 (2006.01) i, H01J35/14 (2006.01) i, H01J35/16 (2006.01) i, H01J35/32 (2006.01) i, G21K5/02 (2006.01) i, G21K5/08 (2006.01) i, C01N23/223 (2006.01) i
FI: H01J35/16, H01J35/08 F, G21K5/02 X, G21K5/08 X, G01N23/223, H01J35/14, H01J35/32

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. H01J35/08, H01J35/14, H01J35/16, H01J35/32, G21K5/02, G21K5/08, G01N23/223

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 1971-2020
Registered utility model specifications of Japan 1996-2020
Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

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	JP 58-145049 A (ALOKA CO., LTD.) 29 August 1983, fig. 2-5, page 1, lower left column, last line, to	1-2, 4, 7-8, 10-11
Y	lower right column, line 11, page 2, upper left	3, 5-6
A	column, line 17 to upper right column, line 7, page 2, upper right column, line 10 to lower left	9
Y	column, line 6, page 2, lower left column, line 18 to lower right column, line 13, page 3, upper left	3, 5-6
Y	column, lines 7-12	
Y	JP 9-505686 A (PHOTOELECTRON CORPORATION) 03 June 1997, fig. 4, pages 24, 25	5-6
Y	US 2018/0286623 A1 (SENSUS HEALTHCARE LLC) 04 October 2018, fig. 1, 3, 4, 5, 7, paragraphs [0043], [0045], [0051], [0052], [0060]	5



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
04.02.2020

Date of mailing of the international search report
18.02.2020

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/049162

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2016-536771 A (NUCTECH COMPANY LIMITED) 24 November 2016, paragraph [0095], fig. 9	5
Y	JP 47-34508 B1 (RIGAKU DENKI CO., LTD.) 31 August 1972, fig. 3, 4	6
Y	JP 2007-134325 A (COMET GMBH) 31 May 2007, fig. 8	6
Y	JP 2015-130334 A (MATSUSADA PREC INC.) 16 July 2015, fig. 2	6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2019/049162

Patent Documents referred to in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 58-145049 A	29.08.1983	(Family: none)	
JP 9-505686 A	03.06.1997	WO 95/20241 A1 page 16, line 21 to page 17, line 27	
US 2018/0286623 A1	04.10.2018	CN 110382047 A	
JP 2014-520363 A	21.08.2014	WO 2012/168832 A1 description, page 1, lines 7-12, page 19, lines 4-10	
JP 2016-536771 A	24.11.2016	US 2017/0162359 A1 paragraph [0117], fig. 9	
		WO 2016/029811 A1 CN 105374654 A	
JP 47-34508 B1	31.08.1972	(Family: none)	
JP 2007-134325 A	31.05.2007	US 2008/0089484 A1 fig. 8	
		DE 102005053386 A CN 1971834 A	
		KR 10-2007-0049071 A	
JP 2015-130334 A	16.07.2015	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01J 35/08(2006.01)i; H01J 35/14(2006.01)i; H01J 35/16(2006.01)i; H01J 35/32(2006.01)i; G21K 5/02(2006.01)i; G21K 5/08(2006.01)i; G01N 23/223(2006.01)i FI: H01J35/16; H01J35/08 F; G21K5/02 X; G21K5/08 X; G01N23/223; H01J35/14; H01J35/32		
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）） H01J35/08; H01J35/14; H01J35/16; H01J35/32; G21K5/02; G21K5/08; G01N23/223		
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 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020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 58-145049 A（アロカ株式会社）29.08.1983（1983-08-29） 図2-5; 1頁左下欄最下行-右下欄11行, 2頁左上欄17行-右上欄7行, 2頁右上欄10- 左下欄6行, 2頁左下欄18行-右下欄13行, 3頁左上欄7-12行	1-2, 4, 7-8, 10-11 3, 5-6 9
Y	JP 9-505686 A（フォトエレクトロン コーポレイション）03.06.1997（1997-06- 03） 図4; 24-25頁	3, 5-6
Y	US 2018/0286623 A1（SENSUS HEALTHCARE LLC）04.10.2018（2018-10-04） 図1, 3, 4, 5, 7; 段落43, 45, 51-52, 60	5-6
Y	JP 2014-520363 A（コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ）21.08.2014 （2014-08-21） 段落2, 132	5
☒ 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抵 触するものではなく、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 04.02.2020		国際調査報告の発送日 18.02.2020
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 右▲高▼ 孝幸 2G 9808 電話番号 03-3581-1101 内線 3226

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
Y	JP 2016-536771 A (ヌクテック カンパニー リミテッド) 24.11.2016 (2016 - 11 - 24) 段落95; 図9	5
Y	JP 47-34508 B1 (理学電機株式会社) 31.08.1972 (1972 - 08 - 31) 図3, 4	6
Y	JP 2007-134325 A (コメット・ゲゼルシャフト・ミト・ベシュレンクテル・ハフツング) 31.05.2007 (2007 - 05 - 31) 図8	6
Y	JP 2015-130334 A (松定プレジジョン株式会社) 16.07.2015 (2015 - 07 - 16) 図2	6

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2019/049162

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	58-145049	A	29.08.1983	(ファミリーなし)	
JP	9-505686	A	03.06.1997	WO 95/20241 A1	
				16頁21行-17頁27行	
US	2018/0286623	A1	04.10.2018	CN 110382047 A	
JP	2014-520363	A	21.08.2014	WO 2012/168832 A1	
				明細書1頁7-12行, 19頁4-10行	
JP	2016-536771	A	24.11.2016	US 2017/0162359 A1	
				段落 117; 図9	
				WO 2016/029811 A1	
				CN 105374654 A	
JP	47-34508	B1	31.08.1972	(ファミリーなし)	
JP	2007-134325	A	31.05.2007	US 2008/0089484 A1	
				図8	
				DE 102005053386 A	
				CN 1971834 A	
				KR 10-2007-0049071 A	
JP	2015-130334	A	16.07.2015	(ファミリーなし)	