

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空外囲器と、

前記真空外囲器の内部に配置され負の高電圧が印加され電子を放出する陰極と、

前記電子が入射して X 線を放出する焦点が形成されるターゲット面を前記真空外囲器の内部に有する接地された陽極ターゲットと、

第 1 方向に前記陰極から前記陽極ターゲットに向かう前記電子の軌道と前記ターゲット面とを取り囲み開口部が形成された陽極フードと、前記開口部を閉塞し前記焦点から放出される前記 X 線を透過させる X 線窓と、を有する前記陽極ターゲットと同電位の陽極筒と、

10

前記真空外囲器の外側に配置され前記ターゲット面を含む空間に磁場を発生させて前記第 1 方向から第 2 方向へと連続的に前記電子の軌道を偏向させる磁気偏向部と、を備え、

前記焦点が形成される位置の前記ターゲット面に接する平面を第 1 平面、とすると、

前記第 2 方向が前記第 1 平面から内側に成す角度は、 0° より大きく 40° 以下である、固定陽極型 X 線管装置。

【請求項 2】

前記焦点から前記開口部及び前記 X 線窓に向かう方向を第 3 方向、前記焦点を通り前記ターゲット面の上方を向き前記第 1 平面に垂直な方向を第 4 方向、前記第 2 方向及び前記第 4 方向に沿った平面を第 2 平面、とすると、

前記第 1 方向は、前記第 2 平面上の方向であり、

20

前記第 3 方向は、前記第 1 方向に対して垂直である、請求項 1 に記載の固定陽極型 X 線管装置。

【請求項 3】

前記焦点から前記開口部及び前記 X 線窓に向かう方向を第 3 方向、前記焦点を通り前記ターゲット面の上方を向き前記第 1 平面に垂直な方向を第 4 方向、前記第 2 方向及び前記第 4 方向に沿った平面を第 2 平面、とすると、

前記第 3 方向及び前記第 4 方向は第 3 平面上にあり、

前記第 2 平面と前記第 3 平面とは、同一平面上にある、請求項 1 に記載の固定陽極型 X 線管装置。

【請求項 4】

30

前記磁気偏向部は、前記第 2 平面に垂直な方向に前記磁場をつくる、請求項 2 又は 3 に記載の固定陽極型 X 線管装置。

【請求項 5】

前記陽極筒は、前記ターゲット面とともに前記焦点から前記 X 線窓に向かう前記 X 線を取り囲み前記ターゲット面と対向した反跳電子捕捉面を有し、

前記焦点を通り前記ターゲット面の上方を向き前記第 1 平面に垂直な方向を第 4 方向とし、前記第 2 方向及び前記第 4 方向に沿った平面を第 2 平面とし、前記第 1 方向及び前記第 2 方向が下方を示すように前記 X 線窓側から前記磁場に視点をいた場合を仮定すると、

前記磁気偏向部は前記第 2 平面に垂直な左向きの前記磁場を前記焦点から前記 X 線窓に向かって放出される反跳電子に作用させ、前記反跳電子は偏向され前記反跳電子捕捉面を衝撃する、請求項 1 に記載の固定陽極型 X 線管装置。

40

【請求項 6】

前記反跳電子捕捉面を冷却するための冷却装置をさらに備える、請求項 5 に記載の固定陽極型 X 線管装置。

【請求項 7】

前記冷却装置は、ガス冷却装置である、請求項 6 に記載の固定陽極型 X 線管装置。

【請求項 8】

前記冷却装置は、ペルチェ冷却装置である、請求項 6 に記載の固定陽極型 X 線管装置。

【請求項 9】

50

前記冷却装置は、液体冷却装置である、請求項 6 に記載の固定陽極型 X 線管装置。

【請求項 10】

前記陰極に印加される前記負の高電圧は、-150乃至-350kVの範囲内である、請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の固定陽極型 X 線管装置。

【請求項 11】

前記磁気偏向部は、永久磁石である、請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の固定陽極型 X 線管装置。

【請求項 12】

前記陰極に前記負の高電圧を印加する高電圧発生器と、
少なくとも前記陰極の充電露出部及び前記高電圧発生器を収納するタンクと、
前記タンク内に充填された電気絶縁材と、をさらに備えている、請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の固定陽極型 X 線管装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、固定陽極型 X 線管装置に関する。

【背景技術】

【0002】

固定陽極型 X 線管装置は、固定陽極型 X 線管を備えている。固定陽極型 X 線管は、回転陽極型 X 線管と比べて小型で操作性が良いという利点を活かして、可搬型の小型 X 線管装置や工業用の非破壊検査装置などに用いられている。

20

【0003】

固定陽極型 X 線管装置では、陰極から放射された電子は、陰極と陽極ターゲットとの間の電位勾配により加速、集束され、電子ビームとなる。電子ビームは、典型的には 100 ~ 350 keV のエネルギーを持って、陽極ターゲットのターゲット面に衝突して X 線発生源となる焦点を形成する。電子ビームは、陽極ターゲットのターゲット面に略垂直 (90° ± 20°) に衝突する。焦点に高いエネルギーを持った電子ビームが衝突すると、電子ビームは、ターゲット材により急速に減速され、X 線を放出する。X 線に変換される割合は、陽極ターゲットに衝突する電子の運動エネルギーの中の 1% 以下である。残りの電子の運動エネルギーは熱に変換される。

30

【0004】

このような従来 X 線管に比べて X 線強度を増大させる改良 X 線管が開示されている (特許文献 4 乃至 8)。この改良 X 線管は、陽極接地管であり、従来 X 線管よりもターゲット面に対して浅い角度で電子ビームを入射させて焦点を形成する。これにより、X 線窓から放出される X 線強度を増大させている。電子ビーム強度を同一とし、陰極と陽極ターゲット間の電位勾配を 100 ~ 150 kV とした条件において、改良 X 線管は、従来 X 線管に比べて X 線強度を最大で 1.5 倍に増大させることができることが示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

40

【特許文献 1】実公平 1 - 45082 号公報

【特許文献 2】特開平 3 - 149740 号公報

【特許文献 3】特開 2014 - 22185 号公報

【特許文献 4】米国特許第 3719846 号明細書

【特許文献 5】米国特許第 4607380 号明細書

【特許文献 6】米国特許第 5128977 号明細書

【特許文献 7】米国特許第 5828727 号明細書

【特許文献 8】米国特許第 7068749 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 0 6 】

しかしながら、改良 X 線管において、X 線窓の電位は、陽極ターゲットと同電位である。焦点から X 線窓方向に飛び出した反跳電子は、X 線窓を直撃する。このため、改良 X 線管は、X 線窓の温度上昇を低減させることが困難である。反跳電子は、焦点から X 線窓に向かう方向で多くなるような角度分布をもって飛び出すものである。従って、改良 X 線管において、反跳電子が X 線窓を直撃することによる X 線窓の温度上昇は、従来 X 線管に比べてより深刻であると予想される。

以上のことから、改良 X 線管は、X 線強度の増大に限界が生じてしまう恐れがある。また、ターゲット面に対して浅い角度で電子ビームを入射させて焦点を形成させるための電子光学系は、X 線の放射方向に沿った方向の寸法を増大させてしまう恐れがある。

10

【 0 0 0 7 】

本実施形態は以上の点に鑑みなされたもので、その目的は、コンパクトかつ高い X 線強度を有する固定陽極型 X 線管装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

本実施形態によれば、

真空外囲器と、前記真空外囲器の内部に配置され負の高電圧が印加され電子を放出する陰極と、前記電子が入射して X 線を放出する焦点が形成されるターゲット面を前記真空外囲器の内部に有する接地された陽極ターゲットと、第 1 方向に前記陰極から前記陽極ターゲットに向かう電子の軌道と前記ターゲット面とを取り囲み開口部が形成された陽極フードと、前記開口部を閉塞し前記焦点から放出される前記 X 線を透過させる X 線窓と、を有する前記陽極ターゲットと同電位の陽極筒と、前記真空外囲器の外側に配置され前記ターゲット面を含む空間に磁場を発生させて前記第 1 方向から第 2 方向へと連続的に前記電子の軌道を偏向させる磁気偏向部と、を備え、前記焦点が形成される位置の前記ターゲット面に接する平面を第 1 平面、とすると、前記第 2 方向が前記第 1 平面から内側に成す角度は、 0° より大きく 40° 以下である、固定陽極型 X 線管装置が提供される。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図 1】図 1 は、本実施形態における固定陽極型 X 線管装置の X - Y 断面を示す図である。

30

【図 2】図 2 は、固定陽極型 X 線管の X - Y 断面を示す図である。

【図 3】図 3 は、陽極構体の X - Y 断面を示す図である。

【図 4】図 4 は、第 1 平面、第 2 平面、及び第 3 平面を示す図である。

【図 5】図 5 は、固定陽極型 X 線管の X - Z 断面を示す図である。

【図 6】図 6 は、本実施形態における固定陽極型 X 線管装置の変形例を示す X - Y 断面図である。

【図 7】図 7 は、固定陽極型 X 線管装置の従来例を示す X - Y 断面図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

以下、本実施形態について、図面を参照しながら説明する。なお、開示はあくまで一例に過ぎず、当業者において、発明の主旨を保つての適宜変更について容易に想到し得るものについては、当然に本発明の範囲に含有されるものである。また、図面は、説明をより明確にするため、実際の態様に比べて、各部の幅、厚さ、形状等について模式的に表される場合があるが、あくまで一例であって、本発明の解釈を限定するものではない。また、本明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同一又は類似した機能を発揮する構成要素には同一の参照符号を付し、重複する詳細な説明を適宜省略することがある。

40

【 0 0 1 1 】

図 1 は、本実施形態における固定陽極型 X 線管装置の X - Y 断面を示す図である。なお、X - Y 断面とは、方向 X 及び方向 Y を含む X - Y 平面に平行な断面を指すものである。

50

方向 X は、上方から下方へ向かう方向である。方向 Y は、方向 X と交差する方向であり、方向 Z は、方向 X 及び方向 Y と交差する方向である。図示した例においては、方向 X、方向 Y、及び方向 Z は、互いに直交している。

【 0 0 1 2 】

固定陽極型 X 線管装置 99 は、固定陽極型 X 線管 100、磁気偏向部 101、タンク 102、高電圧発生器 103、電気絶縁用流体 104、X 線放射口 105、エアファン 106、リング状ハンドル 107、リング状ベース 108、及び隔壁 109 を備えている。

【 0 0 1 3 】

固定陽極型 X 線管 100 は、真空外囲器 50、陰極フィラメント 6、陰極カップ 7、陽極ターゲット 10 などを備えている。真空外囲器 50 は、例えば、絶縁筒 5、陰極構体 1、陽極構体 2、及びフランジ 12 で構成されている。陰極フィラメント 6 は、陰極構体 1 に備えられ、真空外囲器 50 の内部に配置されている。陽極ターゲット 10 は、陽極構体 2 に備えられ、真空外囲器 50 の内部に配置されている。絶縁筒 5 及び陰極構体 1 は、タンク 102 の内部に配置されている。円盤状のフランジ 12 の内径には、陽極構体 2 が挿通され、固定されている。また、フランジ 12 の下側の面にタンク 102 の内面が固定されている。すなわち、真空外囲器 50 は、フランジ 12 及び O - リング 12 b を介して、タンク 102 に固定されている。なお、陽極構体 2 は、タンク 102 の下方へ延出している。

10

【 0 0 1 4 】

磁気偏向部 101 は、真空外囲器 50 の外側に配置され、真空外囲器 50 の内部に磁場を発生させる。このとき、磁場は、陰極フィラメント 6 と陽極ターゲット 10 との間で、陽極ターゲット 10 に近接して形成されている。図示した例では、磁気偏向部 101 は、陽極構体 2 に対向し、タンク 102 の下側に配置されている。磁気偏向部 101 の位置調整や交換の容易性の観点から、磁気偏向部 101 は、固定陽極型 X 線管 100 の外側に配置されていることが望ましく、タンク 102 の外側に配置されていることが望ましい。

20

【 0 0 1 5 】

タンク 102 は、胴部 102 a、上部 102 b、及び下部 102 c を備えている。胴部 102 a は、筒状に形成されており、胴部 102 a の内部空洞は、方向 X に延在している。上方に位置する胴部 102 a の開口端は、上部 102 b によって密閉されており、下方に位置する胴部 102 a の開口端は、下部 102 c によって密閉されている。上部 102 b は、例えばろう接や溶接によって、胴部 102 a に気密に固定されている。下部 102 c も、胴部 102 a に気密に固定されている。下部 102 c は、例えば中央に開口部を有しており、この開口部を貫通する様に固定陽極型 X 線管 100 が配置されている。下部 102 c の開口部には、フランジ 12 が O - リング 12 b を介して気密に固定されている。フランジ 12 の内径には、陽極構体 2 が気密に固定されている。このため、タンク 102 の内部は、密閉状態を維持することができる。

30

【 0 0 1 6 】

高電圧発生器 103 は、タンク 102 の内部に配置されている。高電圧発生器 103 は高電圧ケーブル 40 を介して、陰極構体 1 の充電露出部に接続され、陰極構体 1 に負の高電圧を印加する。このとき、陰極構体 1 に印加される負の高電圧は、例えば - 150 乃至 - 350 kV である。固定陽極型 X 線管装置 99 が X 線を出力している間、陰極フィラメント 6 と陽極ターゲット 10 との間には、管電流が流れる。この管電流は、真空外囲器 50 中の真空を介した伝導であるために低電流であり、例えば、管電流の値は、3 mA である。タンク 102 の内部には、電気絶縁用流体 104 が、タンク 102 の外側の雰囲気圧以上の圧力で封入されており、固定陽極型 X 線管 100 及び高電圧発生器 103 を囲んでいる。電気絶縁用流体 104 は、六フッ化硫黄などの大気よりも電気絶縁性の高いガスで形成されており、高電圧発生器 103 をタンク 102 から電氣的に絶縁している。また、電気絶縁用流体 104 は、固定陽極型 X 線管 100 及び高電圧発生器 103 を冷却する機能も有している。

40

【 0 0 1 7 】

50

X線放射口105は、タンク102の下方に配置され、方向Yで陽極構体2と対向している。X線窓11bを通して固定陽極型X線管100から放射されるX線は、X線放射口105を通して固定陽極型X線管装置99から放射される。

【0018】

リング状ハンドル107は、タンク102の上方に配置され、タンク102の上部102bに接続している。リング状ハンドル107は、把持部107aと、把持部107aからタンク102へ延出する支柱107bと、を備えている。固定陽極型X線管装置99は、可搬性を有しており、運搬時には把持部107aを把持して移動させることができる。リング状ベース108は、タンク102の下方に配置され、タンク102の下部102cに接続している。リング状ベース108は、土台部108aと、土台部108aからタンク102へ延出する支柱108bとを備えている。例えば、固定陽極型X線管装置99は、土台部108aを足にして設置場所に設置される。これにより、固定陽極型X線管装置99は、X線の放射位置を固定することができる。複数の支柱107bは、互いに間隔を空けて配置されている。複数の支柱108bも、互いに間隔を空けて配置されている。

10

【0019】

隔壁109は、リング状ベース108の内側に配置され、陽極構体2を囲んでいる。図示した例において、隔壁109は、隔壁109とタンク102の間、及び土台部108a側に複数の間隙を有している。隔壁109の内側には、エアファン106が配置されている。エアファン106は、隔壁109の内側に気流110を形成し陽極構体2を冷却するガス冷却装置である。後述するが、陽極構体2を冷却する冷却装置は、ガス冷却装置に限

20

【0020】

図2は、固定陽極型X線管のX-Y断面を示す図である。

絶縁筒5は、絶縁材料によって、筒状に形成されている。絶縁筒5の内部空洞は、方向Xに延在している。絶縁筒5を形成する絶縁材料は、例えば、アルミナ等のセラミックである。陰極構体1と陽極構体2とは、絶縁筒5を介して所定の間隔で対向配置されている。陰極構体1は、絶縁筒5の上側に位置する一端5aに固定されている。陽極構体2は、絶縁筒5の一端5aの下側に位置する他端5bに固定され、絶縁筒5の外側に延出している。陰極構体1は、封止金属リング3を介して、絶縁筒5に固定されている。陽極構体2は、封止金属リング4を介して、絶縁筒5に固定されている。例えば、封止金属リング3及び4は、コパールで形成されており、陰極構体1側の封止金属リング3は、コロナリングの機能を有している。このとき、陰極構体1は、陰極フィラメント6、陰極カップ7、カバー8を備えている。陽極構体2は、陽極ターゲット10、陽極筒11、フランジ12、コロナリング19を備えている。

30

【0021】

絶縁筒5の外周には、陰極構体1と陽極構体2との沿面距離を長くするため、陽極構体2側の他端5b付近を除いて複数のヒダ13が形成されている。絶縁筒5の外周は、他端5bにおいて、環状のメタライズ面14及び環状凹部15を備えている。メタライズ面14は、環状凹部15より絶縁筒5の端部の近くに位置している。環状凹部15がある部分における絶縁筒5の外径は、ヒダ13がある部分における絶縁筒5の外径より小さい。メタライズ面14は、方向Xに延在している。メタライズ面14に、断面U字形の封止金属リング4の直線部4aが接合されている。絶縁筒5の外周面は、環状凹部15aによって、封止金属リング4の湾曲部4bから離れる形状に構成されている。

40

【0022】

また、絶縁筒5の陰極構体1側の一端5aにも環状のメタライズ面16が形成されている。メタライズ面16は、円盤状に形成されている。このメタライズ面16に、断面U字形の封止金属リング3の直線部3aが接合されている。絶縁筒5の外周は、陰極構体1側の一端5aに段部15bを備えている為、封止金属リング3の湾曲部3bから下方に離れる形状に構成されている。

50

【 0 0 2 3 】

以上、説明した構造により、絶縁筒 5 と封止金属リング 4 との接合部、及び絶縁筒 5 と封止金属リング 3 との接合部には、陽極筒 1 1 および陰極構体 1 の間にできる高電圧がほとんど及ばない。従って、陰極構体 1 と陽極ターゲット 1 0 との間に 1 0 0 ~ 3 5 0 k V という高電圧を印加した場合でも、ろう接部からのコロナ放電を抑制することができる。なお、メタライズ面 1 4 と直線部 4 a との接合、及びメタライズ面 1 6 と直線部 3 a との接合は、気密であれば特に限定されるものではなく、例えばろう接によって接合されている。

【 0 0 2 4 】

封止金属リング 3 の直線部 3 a とは反対側の直線部には、カバー 8 がビス 1 7 により取り付けられている。カバー 8 には、支持リング 1 8 により陰極カップ 7 が支持されている。支持リング 1 8 は、封止金属リング 3 の内側に配置されている。封止金属リング 3 はカバー 8 と気密に接合されているため、陰極構体 1 は、絶縁筒 5 と気密に接合されている。陰極カップ 7 は、絶縁筒 5 の一端 5 a に方向 X に挿通され、絶縁筒 5 の内部空洞へ延出している。陰極カップ 7 の形状は、下方に開口部を有するカップ状である。陰極フィラメント 6 は、陰極カップ 7 の内部に配置され、陽極ターゲット 1 0 と方向 X で対向している。陰極フィラメント 6 は、例えばタングステンなどの、高融点かつ高抵抗の金属で形成されている。

【 0 0 2 5 】

封止金属リング 4 の直線部 4 a とは反対側の直線部には、フランジ 1 2 が固定されている。フランジ 1 2 は、封止金属リング 4 を介して絶縁筒 5 と気密に接合している。なお、絶縁筒 5 は、フランジ 1 2 の上側の面に固定されている。フランジ 1 2 の下側の面には、O - リング溝 1 2 a が形成されている。陽極筒 1 1 は、フランジ 1 2 の内径に気密に接合されている。陽極筒 1 1 は、上部陽極フード 1 1 a、下部陽極フード 1 1 e、及び X 線窓 1 1 b 等を有し、筒状に形成されている。陽極フードを構成する上部陽極フード 1 1 a 及び下部陽極フード 1 1 e は、図示した例では個別に形成され互いに固定されている。ただし、陽極フードは、図示した例に限定されるものではなく、連続に形成された 1 つの部材で構成されていてもよい。上部陽極フード 1 1 a は、フランジ 1 2 に接合し、絶縁筒 5 の内部へ延出している。下部陽極フード 1 1 e は、上部陽極フード 1 1 a の下に接合され、下方に延出している。X 線窓 1 1 b は、下部陽極フード 1 1 e の側面に形成された開口部を閉塞している。コロナリング 1 9 は、金属によって筒状に形成され、絶縁筒 5 と上部陽極フード 1 1 a との間に同軸的に配置されている。コロナリング 1 9 は、フランジ 1 2 と電氣的に接続し、陽極筒 1 1 と同電位である。陽極ターゲット 1 0 は、下部陽極フード 1 1 e の内部に配置され、陽極筒 1 1 の内部空間を密封している。なお、陽極筒 1 1 は、陽極ターゲット 1 0 に電氣的に接続され、陽極ターゲット 1 0 と同電位である。以上の様に気密に形成された真空外囲器 5 0 の内部空間は、減圧されており、真空状態となっている。

【 0 0 2 6 】

陽極ターゲット 1 0 は、例えば、方向 X で陰極フィラメント 6 及び陰極カップ 7 と対向している。フランジ 1 2 がタンク 1 0 2 に電氣的に接続されているため、陽極構体 2 に備えられた陽極ターゲット 1 0 は、フランジ 1 2 を介して電氣的に接地されている。また、陰極構体 1 は、高電圧発生器 1 0 3 によって負の高電圧が印加されるため、陰極フィラメント 6 及び陰極カップ 7 と、陽極ターゲット 1 0 との間に電位勾配が形成される。陰極フィラメント 6 から放出された電子は、陰極フィラメント 6 及び陰極カップ 7 と、陽極ターゲット 1 0 との間の電位勾配によって、陽極ターゲット 1 0 の方向へ加速され、電子ビーム 2 2 を形成する。すなわち、電子ビーム 2 2 は、陰極フィラメント 6 から陽極ターゲット 1 0 へ向かう第 1 方向 D 1 に出射される。ターゲット面 9 は、第 1 方向 D 1 と交差する方向で下部陽極フード 1 1 e に取り囲まれている。また、上部陽極フード 1 1 a は、第 1 方向 D 1 の電子ビーム 2 2 の軌道を取り囲んでいる。陰極フィラメント 6 の近傍には、電子ビーム 2 2 を集束させる集束装置が配置されていてもよい。このような集束装置は、例

えば、陰極カップ 7 に相当する集束電極であり、電場によって電子ビーム 2 2 の断面形状を変化させる。

【 0 0 2 7 】

図 3 は、陽極構体の X - Y 断面を示す図である。

陽極筒 1 1 と陽極ターゲット 1 0 とは、共に電氣的に接地され同電位であるため、陽極筒 1 1 及び陽極ターゲット 1 0 に囲まれた領域は、ほとんど電界が存在しない無電界空間 2 4 となっている。陽極ターゲット 1 0 は、陰極フィラメント 6 と対向する側にターゲット面 9 を有している。ターゲット面 9 において、電子ビーム 2 2 が入射して X 線 2 9 を放出する焦点 2 6 が形成される。ターゲット面 9 は、真空外囲器 5 0 の内部に位置し、無電界空間 2 4 に面している。陽極筒 1 1 は、反跳電子捕捉面 1 1 c 及び冷却面 1 1 d を有している。反跳電子捕捉面 1 1 c は、陽極筒 1 1 の内側に位置し、無電界空間 2 4 に面している。冷却面 1 1 d は、反跳電子捕捉面 1 1 c に対応する陽極筒 1 1 の外側に位置している。反跳電子捕捉面 1 1 c は、ターゲット面 9 と共に焦点 2 6 から X 線窓 1 1 b に向かう X 線 2 9 を取り囲み、ターゲット面 9 と対向している。

10

【 0 0 2 8 】

磁気偏向部 1 0 1 によって形成される磁場 M F は、ターゲット面 9 を含む無電界空間 2 4 に発生し、ローレンツ力を利用して電子ビーム 2 2 の進行方向を変化させる。このとき、電子ビーム 2 2 の軌道は、第 1 方向 D 1 から第 2 方向 D 2 へ連続的に偏向し、電子ビーム 2 2 は、第 2 方向 D 2 でターゲット面 9 に入射する。電子ビーム 2 2 は、典型的には 1 0 0 ~ 3 5 0 k e V のエネルギーを持って、ターゲット面 9 に衝突する。高いエネルギーを持った電子ビーム 2 2 が陽極ターゲット 1 0 への入射によって急速に減速されることにより、X 線 2 9 が放出される。X 線窓 1 1 b は、焦点 2 6 から第 3 方向 D 3 に放出される X 線 2 9 を透過させる。

20

【 0 0 2 9 】

ターゲット面 9 に衝突した電子ビーム 2 2 の一部は、焦点 2 6 で反射されて反跳電子 2 8 となる。反跳電子 2 8 は、X 線窓 1 1 b や反跳電子捕捉面 1 1 c などの方向へ飛散する。このとき、電子ビーム 2 2 の運動エネルギーから X 線 2 9 に変換される割合は、例えば 1 % 以下であり、電子ビーム 2 2 の残りの運動エネルギーの一部は反跳電子 2 8 に移行し、さらに他の一部は陽極ターゲット 1 0 に吸収されて熱に変換される。反跳電子 2 8 の運動エネルギーは主に陽極筒 1 1 に吸収されて熱に変換される。電子ビーム 2 2 がターゲット面 9 に浅い角度で入射すると X 線 2 9 の取出し効率が向上するため、ターゲット面 9 は、第 1 方向 D 1 に垂直な方向から、X 線窓 1 1 b と対向する方向に傾斜している。

30

【 0 0 3 0 】

第 2 方向 D 2 は、第 1 方向 D 1 から第 3 方向 D 3 へ傾いた方向である。これによって、電子ビーム 2 2 をターゲット面 9 に対して浅い角度で入射させることができる。なお、磁場 M F の向きは、第 5 方向 D 5 である。磁場 M F は無電界空間 2 4 で電子ビーム 2 2 に作用しているため、電子ビーム 2 2 の軌道は磁場 M F 中において、ほぼサイクロイド曲線となる。無電界空間で一様な磁界が有る場合に電子ビームの軌道がサイクロイド曲線となることは良く知られおり、例えば下記の文献に示されている。

【 0 0 3 1 】

基礎電子管工学 (山本賢三監訳、昭和 4 1 年廣川書店発行)

原著 : Principles of Electron Tubes (J.W.GEWARTOWSKI , H.A.WATSON , 1965 , D.VAN NOSTRAND COMPANY, Inc.)

40

なお、図示した例において、第 1 方向 D 1 は方向 X と平行な方向であり、第 3 方向 D 3 は方向 Y と平行な方向であり、第 5 方向 D 5 は方向 Z と平行な方向である。すなわち、第 3 方向 D 3 は、第 1 方向 D 1 と直交する方向であり、第 5 方向 D 5 は、第 1 方向 D 1 及び第 3 方向 D 3 と直交する方向である。

【 0 0 3 2 】

ターゲット面 9 への電子ビーム 2 2 の入射角は、磁場 M F の大きさを予め調整することにより、目的とする角度に設定可能である。電子ビーム 2 2 の入射位置や入射角の組立上

50

の誤差は、磁気偏向部 101 の配置位置を微調整することにより解消することが可能である。焦点 26 が形成される位置のターゲット面 9 に接する平面を第 1 平面 P1 とする。第 1 平面 P1 から第 2 方向 D2 が内側に成す角度を角度 1 とする。第 1 平面 P1 から第 3 方向 D3 が内側に成す角度を角度 2 とする。

角度 1 は、 0° より大きく 40° 以下である ($0^\circ < 1 < 40^\circ$)。角度 2 は、 0° より大きく 20° 以下である ($0^\circ < 2 < 20^\circ$)。なお、図示した構成例において、角度 1 は 20° であり、角度 2 は 15° である。

【0033】

反跳電子 28 の飛散方向の分布は、入射する電子ビーム 22 がターゲット面 9 で正反射する方向に最も多くなる。このため、本構成例において X 線窓 11b に向かう反跳電子 28 は図 7 で後述する従来例よりも多くなる。しかしながら、磁場 MF は、X 線窓 11b へ向かう反跳電子 28 を上方に偏向させ、反跳電子捕捉面 11c に衝撃させることができる。反跳電子捕捉面 11c は、衝撃した反跳電子 28 によって加熱される。反跳電子捕捉面 11c で発生した熱は、上部陽極フード 11a 中を熱伝導し、冷却面 11d の温度を上昇させる。

10

【0034】

温度が上昇した冷却面 11d は、例えば、図 1 に図示した気流 110 で冷却される。すなわち、陽極フードは、エアファン 106 によって冷却される。このため、固定陽極型 X 線管装置 99 は、反跳電子捕捉面 11c における温度上昇を低減することができ、真空外囲器 50 内の真空度の低下を抑制することができる。反跳電子捕捉面 11c 及び冷却面 11d を有する上部陽極フード 11a は、好適には、熱伝導性に優れ、かつ比較的安価な銅や銅合金で形成することができる。なお、冷却面 11d における冷却効率を向上させるため、冷却面 11d は、放熱フィンなどを備えていてもよい。

20

【0035】

図 4 は、第 1 平面、第 2 平面、及び第 3 平面を示す図である。

第 4 方向 D4 は、焦点 26 を通りターゲット面 9 の上方を向き第 1 平面 P1 に垂直な方向である。第 2 方向 D2 及び第 4 方向 D4 に沿った平面を第 2 平面 P2 とし、第 3 方向 D3 及び第 4 方向 D4 に沿った平面を第 3 平面 P3 とする。第 2 平面 P2 と第 3 平面 P3 とがなす角度を角度 3 とする。

第 1 方向 D1 は、第 2 平面 P2 上の方向である。角度 3 は、 180° ($= 0^\circ$) であり、第 2 平面 P2 と第 3 平面 P3 とは、同一平面上にある。すなわち、第 1 方向 D1、第 2 方向 D2 及び第 3 方向 D3 は、同一平面上の互いに異なる方向である。

30

【0036】

図 5 は、固定陽極型 X 線管の X-Z 断面を示す図である。

本構成例において、磁気偏向部 101 は、永久磁石であり、N 磁極 32、S 磁極 34、及びヨーク 36 を備えている。N 磁極 32 は、方向 Z で S 磁極 34 と対向しており、ターゲット面 9 は、N 磁極 32 と S 磁極 34 との間に位置している。ヨーク 36 は、N 磁極 32 と S 磁極 34 とを接続している。図 5 の断面図を示す視点において、電子ビーム 22 は、ターゲット面 9 に対して上方から入射している。すなわち、ここで図示する X-Z 断面は、電子ビーム 22 の進行方向である第 1 方向 D1 及び第 2 方向 D2 が下方を示すように、かつ X 線窓 11b 側から焦点 26 に視点を置いた場合の断面である。このような視点を仮定すると、磁気偏向部 101 は、前述した第 2 平面 P2 に垂直な左向き (第 5 方向 D5) の磁場 MF を発生させる。なお、磁気偏向部 101 は、永久磁石に限定されるものではなく、電磁石であってもよい。電磁石を利用した場合、磁気偏向部 101 は、磁場 MF の強度を容易に調整することができる。また、永久磁石と電磁石とを併用してもよい。

40

【0037】

以上の様に、本実施形態によれば、固定陽極型 X 線管装置 99 は、真空外囲器 50 の外側に配置され、ターゲット面 9 を含む空間に磁場 MF を発生させる磁気偏向部 101 を備えている。これにより、本実施形態は、X 線の放射方向に沿った方向の装置寸法を増大させることなく、ターゲット面 9 に対して浅い角度で電子ビーム 22 を入射させることがで

50

きる。すなわち、固定陽極型 X 線管装置 99 を大型化することなく X 線強度を増大させることができる。本構成例 ($\theta_1 = 20^\circ$ 、 $\theta_2 = 15^\circ$) の場合、陰極フィラメント 6 に印加される電圧が -100 kV の場合、図 7 に図示する従来の固定陽極型 X 線管装置 99 に比べて X 線強度を約 1.2 倍に増大させることができる。また、陰極フィラメント 6 に印加される電圧が -350 kV の場合、図 7 に図示する従来の固定陽極型 X 線管装置 99 に比べて X 線強度を約 2 倍に増大させることができる。従来の固定陽極型 X 線管に対する本実施形態の X 線強度の増大率は、陰極フィラメント 6 と陽極ターゲット 10 間の電位差の増加に従って増大することが確認された。以上説明した様に、本実施形態は、コンパクトかつ高い X 線強度を有する固定陽極型 X 線管装置を提供することができる。

【0038】

磁場 MF は、焦点 26 と X 線窓 11b との間にも形成されているため、焦点 26 から X 線窓 11b の方向へ飛散した反跳電子 28 は、反跳電子捕捉面 11c へ偏向される。すなわち、本実施形態によれば、反跳電子 28 の衝撃による X 線窓 11b の過熱を抑制することができるため、X 線窓 11b の破損による真空外囲器 50 内の真空破壊を防ぐことができる。このため、X 線窓 11b は、ベリリウムなどの耐熱性が高く高価な材料を用いることなく、アルミニウム、チタン、ニッケル、ステンレス鋼、クロム鋼、鉄合金など、安価な材料で形成することができる。

【0039】

なお、第 3 方向 D3 は、第 1 方向 D1 に対して垂直である。すなわち、本実施形態は、固定陽極型 X 線管装置 99 の X 線出力方向のサイズを長大化させることなくターゲット面 9 に対する電子ビーム 21 の入射角 θ_1 を浅くすることができ、X 強度を増大させることができる。

【0040】

本構成例において、磁気偏向部 101 は、永久磁石である。永久磁石は、メンテナンス性が良好であり、磁場 MF の形成に電力を消費しないので、固定陽極型 X 線管装置 99 は、ランニングコストの上昇を抑制することができる。

【0041】

固定陽極型 X 線管装置 99 は、タンク 102 を備え、タンク 102 に陰極構体 1 の充電露出部及び高電圧発生器 103 を収容し、タンク 102 内に陽圧に封入された電気絶縁用流体 104 を備えている。このため、負の高電圧を生成する高電圧発生器 103 とタンク 102 との間の電氣的な短絡を防止することができる。

【0042】

次に、本実施形態の変形例について説明する。

【0043】

図 6 は、本実施形態における固定陽極型 X 線管装置の変形例を示す X - Y 断面図である。

本変形例は、冷却面 11d に近接する冷却装置 121 を備えている点で、図 1 に図示した構成例と相違している。冷却装置 121 は、反跳電子捕捉面 11c を冷却できればその種類や配置場所を限定されるものではない。冷却装置 121 は、例えば、蒸気圧縮式冷却装置や液体冷却装置やペルチェ冷却装置である。蒸気圧縮式冷却装置は、例えば、フロンなどの冷媒を、コンプレッサで液化し、冷却面 11d 近傍で気化させることで、気化熱により冷却を行う。液体冷却装置は、例えば水などの液体の冷媒を循環させて冷却を行う。ペルチェ冷却装置は、ペルチェ素子を利用した冷却装置である。ペルチェ素子は、電圧を印加して冷却を行う素子であるため、冷却面 11d へペルチェ素子から電圧が漏れない様に、例えば電気絶縁性の部材を介して冷却面 11d に貼り付けて用いられる。冷却装置 121 は、陽極ターゲット 10 の下面などの、冷却面 11d 以外の陽極構体 2 近傍にも配置されてもよい。なお、固定陽極型 X 線管装置 99 は、冷却装置 121 からの発熱を放散させるため、冷却装置 121 及びエアファン 106 の両方を備えていてもよい。

【0044】

この様な変形例においても、上記と同様の効果を得ることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 5 】

図 7 は、固定陽極型 X 線管装置の従来例を示す X - Y 断面図である。

この従来例は、磁気偏向部 1 0 1 を備えておらず、電子ビーム 2 2 の軌道が偏向されない。すなわち、陰極フィラメント 6 から出射した電子ビーム 2 2 の進行方向と、ターゲット面 9 に入射する電子ビーム 2 2 の進行方向とが一致している。また、X 線窓 1 1 b に向かう反跳電子 2 8 は、偏向されることなく、X 線窓 1 1 b を衝撃する。

【 0 0 4 6 】

なお、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これらの新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これらの実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。たとえば、電気絶縁用流体 1 0 4 として、絶縁油などの電気絶縁性液体を使用してもよい。また、電気絶縁用流体 1 0 4 にかえて、シリコーン樹脂などからなる固体の電気絶縁材を使用してもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 4 7 】

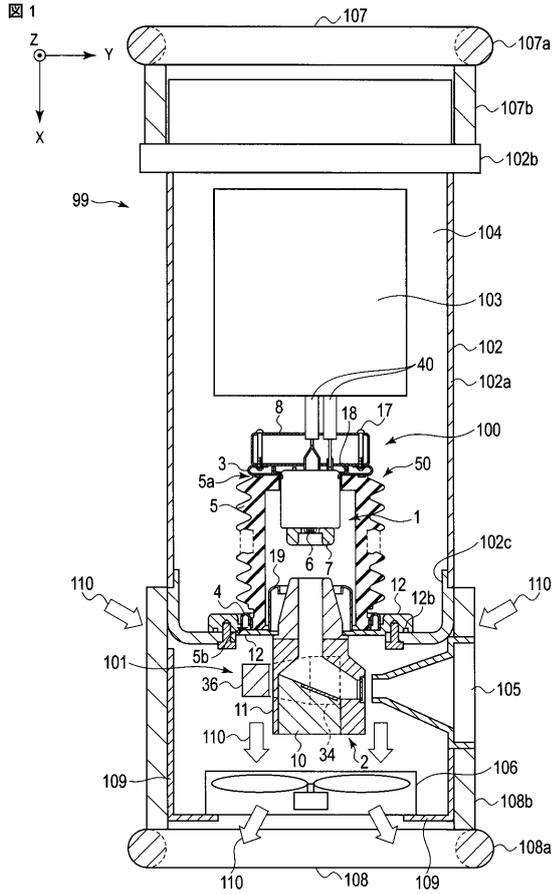
9 9 ... 固定陽極型 X 線管装置 1 0 0 ... 固定陽極型 X 線管 1 0 1 ... 磁気偏向部
 1 0 2 ... タンク 1 0 3 ... 高電圧発生器 1 0 4 ... 電気絶縁用流体
 1 0 5 ... X 線放射口 1 0 6 ... エアファン 1 0 7 ... リング状ハンドル
 1 0 8 ... リング状ベース 5 0 ... 真空外囲器 1 ... 陰極構体 2 ... 陽極構体
 3、4 ... 封止金属リング 5 ... 絶縁筒 6 ... 陰極 7 ... 陰極カップ 8 ... カバー
 9 ... ターゲット面 1 0 ... 陽極ターゲット 1 1 ... 陽極筒 1 1 a ... 上部陽極フード
 1 1 b ... X 線窓 1 1 c ... 反跳電子捕捉面 1 1 d ... 冷却面 1 2 ... フランジ
 2 1 ... 無電界空間 2 2 ... 電子ビーム 2 6 ... 焦点 2 8 ... 反跳電子 3 2 ... N 磁極
 3 4 ... S 磁極 3 6 ... ヨーク M F ... 磁場 D 1 ... 第 1 方向 D 2 ... 第 2 方向
 D 3 ... 第 3 方向 D 4 ... 第 4 方向 D 5 ... 第 5 方向 P 1 ... 第 1 平面 P 2 ... 第 2 平面

P 3 第 3 平面

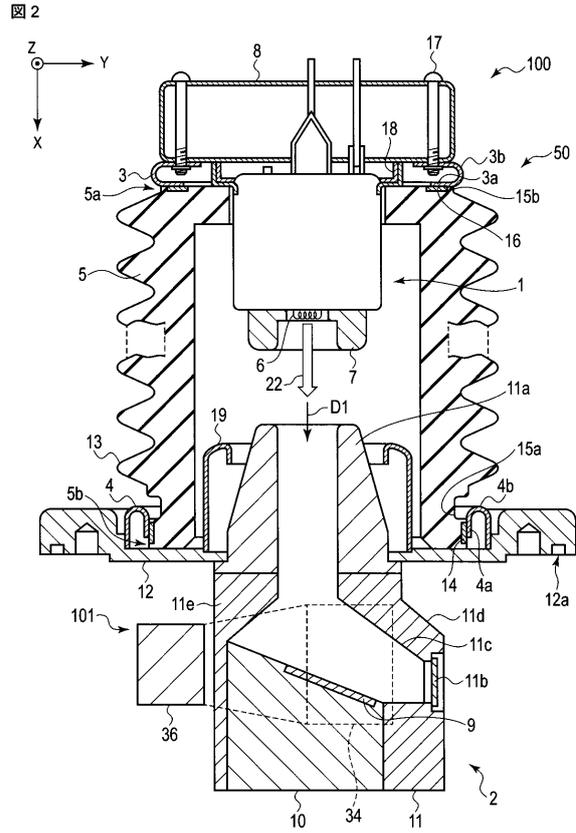
10

20

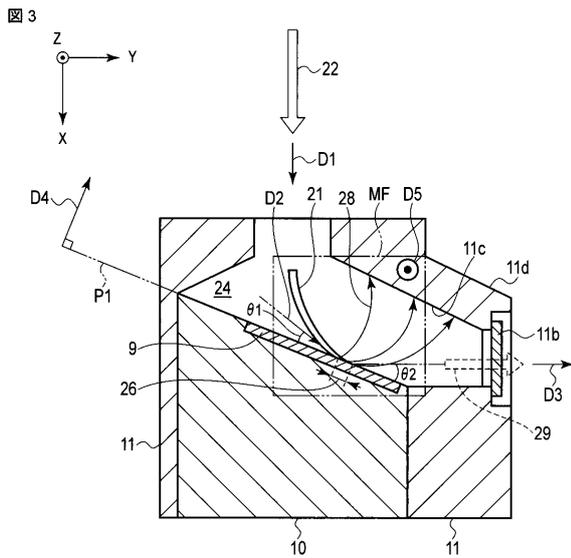
【 図 1 】



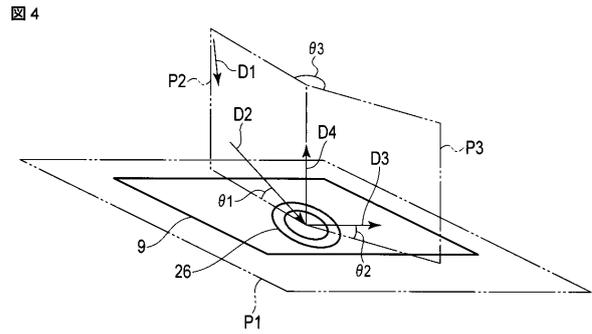
【 図 2 】



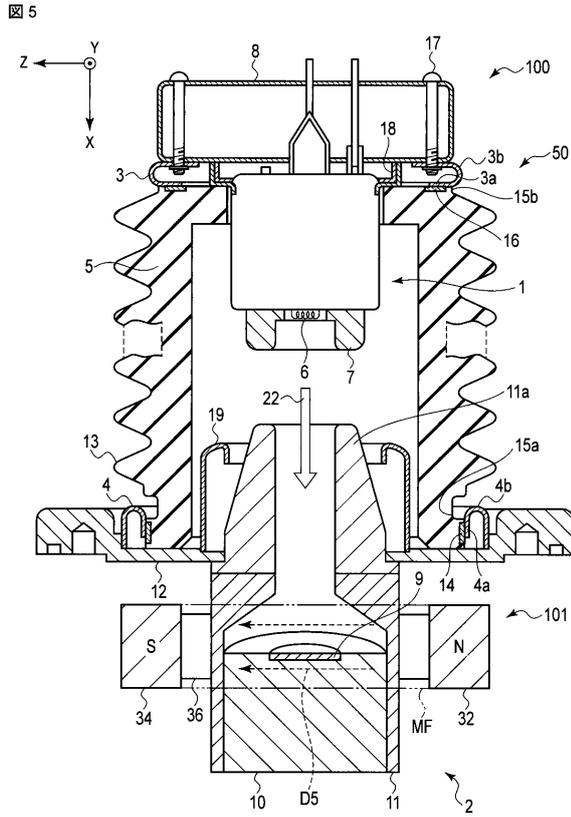
【 図 3 】



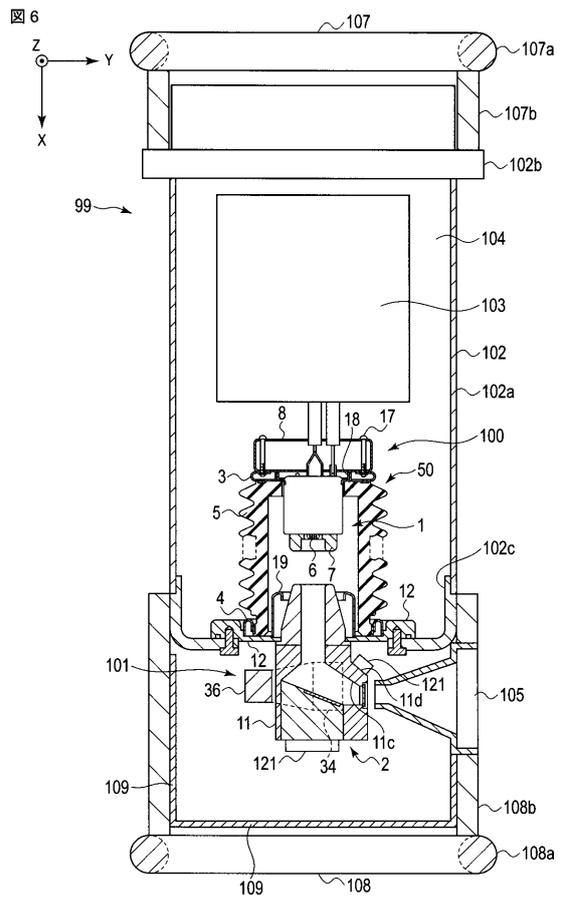
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

