

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第1区分

【発行日】平成26年11月20日(2014.11.20)

【公開番号】特開2013-101895(P2013-101895A)

【公開日】平成25年5月23日(2013.5.23)

【年通号数】公開・登録公報2013-026

【出願番号】特願2011-246106(P2011-246106)

【国際特許分類】

H 01 J 35/16 (2006.01)

H 05 G 1/52 (2006.01)

H 01 J 35/14 (2006.01)

H 01 J 35/08 (2006.01)

【F I】

H 01 J 35/16

H 05 G 1/52 B

H 01 J 35/14

H 01 J 35/08 F

【手続補正書】

【提出日】平成26年10月2日(2014.10.2)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】放射線管及びそれを用いた放射線発生装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、透過型ターゲットを用いた放射線管及びそれを用いた放射線発生装置に関する。

【背景技術】

【0002】

透過型放射線管は、陰極、陽極及び絶縁性の絶縁管からなる真空管であって、陰極の電子源から放出された電子を、陰極-陽極間に印加された高電圧で加速し、陽極に設けられた透過型ターゲットに照射して放射線を発生させる。発生した放射線は放射線取り出し窓を兼ねる透過型ターゲットから外部に放出される。このような透過型放射線管は、医療用や工業用の放射線発生装置に採用されている。

【0003】

従来、このような透過型放射線管や反射型放射線管では、放射線管の耐電圧性能(以下、「耐圧」)の確保が課題となっていた。耐圧確保の方法として、特許文献1には、透過型放射線管において、電子の集束電極の陰極側の端部を絶縁管と陰極に挟んで固定し、かつ絶縁管と集束電極の間に隙間を作る構造により、絶縁管の沿面距離を稼いで耐圧を向上させる技術が開示されている。また、特許文献2や非特許文献1には、反射型放射線管において、中間電位電極(中間電極)を設ける構造により耐圧を向上させる技術が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平09-180660号公報

【特許文献2】特開2010-086861号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】「カーボンナノ構造体を利用した可搬型X線源を開発」，産業技術総合研究所プレスリリース，2009年3月19日発表

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記文献の技術において、更に耐圧を上げようとした場合、次のような課題があった。特許文献1の技術では、絶縁管の電位が、絶縁管の誘電率（場合によっては体積抵抗）によって場所毎に決まり、集束電極と絶縁管の内壁との距離によっては、集束電極と絶縁管の内壁との間で放電が発生するおそれがあり高耐圧化の障壁となっていた。特許文献2や非特許文献1の技術では、中間電極が絶縁管の内壁面よりも内部空間へ突出しているため、中間電極の先端部や、中間電極と放射線管の内壁との境界部から電子放出し、中間電極と陽極との間で放電が発生するおそれがあり高耐圧化の障壁となっていた。

【0007】

そこで、本発明は、不要な電子放出を抑制できる絶縁管の内壁面電位制御構造によって、放射線管内部での好ましくない放電（陽極との間の放電）を抑制し、高耐圧化された放射線管及びそれを用いた放射線発生装置の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するために、本発明は、電子放出部を有する電子銃が接続された陰極と、該電子放出部から放出された電子の照射により放射線を発生するターゲットが設けられた陽極と、の間に、絶縁性の絶縁管が該電子銃を囲んで配置された放射線管であって、

前記絶縁管には、前記絶縁管の管軸方向の中間部に、電位規定手段と電気的に接続され、前記陰極の電位よりも大きく、かつ前記陽極の電位よりも小さい電位に規定された電位規定部材が設けられ、

前記電位規定部材と前記絶縁管との境界部が、前記陽極の前記放射線管内部に露出した部分から直視できず、かつ前記電位規定部材が、前記陽極の前記放射線管内部に露出した部分から直視されるコーナー部を有していないことを特徴とする放射線管を提供するものである。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、放射線管の絶縁管の管軸方向の中間部に電位規定部材を設けている。更に、電位規定部材と絶縁管との境界部が、陽極の放射線管内部に露出した部分から直視できず、かつ電位規定部材が、陽極の放射線管内部に露出した部分から直視されるコーナー部を有していない。これにより、電位規定部材のコーナー部のような尖った部分や電位規定部材と絶縁管との境界部といった電界集中する部分の電界強度を弱める効果や、たとえ好ましくない電子が出たとしても陽極に到達しにくくなることにより放電を抑制する効果がある。よって、高耐圧化された放射線管、及び高エネルギー出力を可能とする放射線発生装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1-1】本発明の放射線管の例を示す断面模式図である。

【図1-2】本発明の放射線管の別の例を示す断面模式図である。

【図2】本発明の放射線管において、二つの電位規定部材を配置した場合の一例を示す断面模式図である。

【図3】本発明の放射線管において、二つの電位規定部材を配置した場合の別の例を示す断面模式図である。

【図4】本発明の放射線管において、電位規定部材の電位を接地電位にした場合の一例を示す断面模式図である。

【図5】本発明の放射線管を用いた放射線発生装置の概略模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、図面を参照して、本発明の放射線管及び放射線発生装置の好適な実施形態を例示的に詳しく説明する。但し、下記実施形態に記載されている構成部材の材質、寸法、形状、相対配置等は、特に記載がない限り、本発明の範囲を限定する趣旨のものではない。

【0012】

図1-1及び図1-2に従い本発明の放射線管の構成を説明する。図1-1(a)～(c)及び図1-2(d)(e)は本発明の放射線管の実施形態を例示例挙し、これらの断面を模式的に示した図である。

【0013】

放射線管1は、陰極2、陽極3、及び絶縁性の管(以下、「絶縁管」)4からなる真空管である。

【0014】

陰極2には電子放出部を有する電子銃5が接続されており、電子銃5は陽極3に向かって突出させて設けられている。電子銃5は主に電子源6、グリッド電極7、集束電極8からなる。

【0015】

電子源6は電子を放出する。電子源6には電子放出素子として冷陰極、熱陰極のいずれも用いることができるが、本実施形態の放射線管に適用する電子源としては、大電流を安定して取り出せる含浸型カソード(熱陰極)を好適に使用することができる。含浸型カソードは、電子放出部近傍のヒーターに通電することにより、カソードの温度を上昇させ、電子を放出する。

【0016】

グリッド電極7は、電子源6から放出された電子を真空中に引き出すために所定の電圧が印加される電極である。グリッド電極7は、電子源6と所定の距離を持って配置される。また、グリッド電極7の形状、孔径、開口率等は、電子の引き出し効率やカソード近傍の排気コンダクタンスを考慮して決定される。例えば線径50μm程度のタンゲステンメッシュを好適に使用することができる。

【0017】

集束電極8は、グリッド電極7によって引き出された電子線の広がり(=ビーム径)を制御するために配置される電極である。通常、集束電極8には数百V～数kV程度の電圧が印加されてビーム径の調節を行う。電子源6近傍の構造や印加電圧によっては、集束電極8を省略し、電界によるレンズ効果のみによって電子線を集束することも可能である。

【0018】

陰極2は絶縁部材9を有する。絶縁部材9には電子源駆動用端子10とグリッド電極用端子11が、陰極2とは電気的に絶縁されるように固定されている。電子源駆動用端子10及びグリッド電極用端子11は、放射線管1内の電子源6及びグリッド電極7からそれぞれ陰極側に向かって延びてあり、放射線管1の外部へと引き出されている。集束電極8は直接陰極2に固定され、陰極2と同電位に規定されている。但し、集束電極8を陰極2と絶縁して、陰極2とは別の電位を与えられるようにしても良い。この場合、電子源6から放出された電子が効率良くターゲット12に照射されるような電位を適宜選ぶと良い。

【0019】

陽極3は、所定のエネルギーを有する電子線が照射されることにより、放射線を発生させるターゲット12を有する。この陽極3には数十kV～百kV程度の電圧が印加される。電子源6により発生し、電子放出部から放出されグリッド電極7により引き出された電子線は、集束電極8により陽極3上のターゲット12へと向けられ、陽極3に印加された電圧により加速されて、ターゲット12と衝突し、放射線が発生する。発生した放射線は

全方向に放射され、全方向に放射された放射線のうち、ターゲット12を透過した放射線が放射線管1の外部に取り出される。

【0020】

ターゲット12は、金属膜と金属膜を支持する基板からなる構成、又は金属膜のみからなる構成とすることができます。金属膜と金属膜を支持する基板からなる構成とする場合には、放射線を透過する基板の電子線照射面（電子銃側の面）に、電子線の衝突により放射線を発生する金属膜を配置する。金属膜は、通常、原子番号26以上の金属材料を用いることができる。具体的には、タングステン、モリブデン、クロム、銅、コバルト、鉄、ロジウム、レニウム等、又はこれらの合金材料を用いた薄膜を好適に用いることができ、スパッタリング等の物理成膜によって緻密な膜構造をとるように形成される。金属膜の膜厚は、加速電圧によって電子線浸入深さ即ち放射線発生領域が異なるため、最適な値が異なるが、百kV程度の加速電圧を印加する場合には通常、数 μm ~十 μm 程度の厚さである。一方、基板は、放射線の透過率が高く、熱伝導率が高く、真空封止に耐える必要があり、ダイヤモンド、窒化ケイ素、炭化ケイ素、炭化アルミ、窒化アルミ、グラファイト、ベリリウム等を好適に用いることができる。放射線の透過率が高く、熱伝導率がタングステンよりも高い、ダイヤモンド、窒化アルミ、窒化ケイ素を用いるのがより好ましい。特に、ダイヤモンドは、他の材料に比べて熱伝導率が極めて高く、放射線の透過率も高く、真空を保持しやすいため、より優れている。基板の厚さは、上記の機能を満足すれば良く、材料によって異なるが、0.1mm以上2mm以下が好ましい。ターゲット12と陽極3の接合は、熱的接合の他、真空の維持を考慮し、ろう付けや溶接が好適である。

【0021】

絶縁管4は、ガラスやセラミック等の絶縁部材で形成され、陰極2と陽極3の間に、電子銃5を囲んで配置される。絶縁管4の両端がそれぞれ陰極2及び陽極3とろう付けや溶接によって接合される。絶縁管4は、真空管を形成できれば良く、形状には制約は多くないが、小型化や作り易さの観点からすると円筒形が好ましい。放射線管1内の真空度を良くするために加熱排気を行う場合には、陰極2、陽極3、絶縁管4、及び絶縁部材9は熱膨張率が近い材料を用いるのが良い。例えば、陰極2及び陽極3にはコバルトやタングステン、絶縁管4及び絶縁部材9にはホウケイ酸ガラスやアルミナを用いると良い。

【0022】

上述の放射線管では、陰極側に設置された電極の中で、集束電極8が最も絶縁管4の近くに配置されている。このような場合、絶縁管4と集束電極8の空間耐圧を上げることによって、放射線管1を更に高耐圧化させることができる。空間耐圧は、絶縁管4と集束電極8の間の電界強度を弱めれば達成できる。放射線管を大型化させずに電界強度を弱める方法として、本発明では絶縁管4の電位を低くする方法を提案する。尚、以下、図1に従い集束電極8が有る場合について説明するが、集束電極8がない場合においても、電子銃5をなす、例えばグリッド電極7に置き換えて適用できる。また、電子源6の形態によっては、グリッド電極7がない場合もあるが、そのような場合でも、他の電子銃5の構成要素に置き換えて適用できる。

【0023】

絶縁管4の電位を低くすることは、絶縁管4の管軸方向の中間部に電位規定部材13を設けることで達成される。電位規定部材13は、電位規定手段によって陰極2の電位よりも大きく、かつ陽極3の電位よりも小さい電位に規定される。但し、電位規定部材13のコーナー部のような尖った部分や電位規定部材13と絶縁管4の境界部が電界集中するため、電位規定部材13の形状、位置や電位によっては、好ましくない電子放出から放電に至る場合がある。よって、好ましくない電子放出を防ぐために、電位規定部材13には次のことが求められる。それは、電位規定部材13と絶縁管4との境界部を陽極に対して露出させないこと、及び電位規定部材13が、陽極に対して露出したコーナー部を有していないことである。より正確には、電位規定部材13と絶縁管4との境界部が、陽極3の放射線管内部に露出した部分から直視できないこと、及び電位規定部材13が、陽極3の放射線管内部に露出した部分から直視されるコーナー部を有していないことである。好まし

くは、電位規定部材 1 3 全体が、陽極 3 の放射線管内部に露出した部分から直視できることである。これにより、電位規定部材 1 3 がコーナー部を有する場合にはこのコーナー部のような尖った部分や、電位規定部材 1 3 と絶縁管 4との境界部といった電界集中する部分の間の電界強度を弱める効果がある。また、たとえ好ましくない電子が出たとしても陽極 3 に到達しにくくなることにより放電を抑制する効果がある。電位規定部材 1 3 が陽極 3 に対して露出してしまう場合は、電位規定部材 1 3 自身の形状において尖った部分を排除することが好ましい。例えば、陽極 3 の放射線管内部に露出した部分から直視される部分が、半径 R の丸みを有していれば良い。

【 0 0 2 4 】

上記条件を考慮した電位規定部材 1 3 の具体的な構造を以下に提案する。

【 0 0 2 5 】

第 1 の方法は、図 1 - 1 (a) に示すように、電位規定部材 1 3 の放射線管内部（内部空間）に露出した部分を、絶縁管 4 の内壁面よりも絶縁管 4 の外壁側へ後退させるように、電位規定部材 1 3 を設ける方法である。これにより、電位規定部材 1 3 と絶縁管 4 との境界部、電位規定部材 1 3 のコーナー部及び電位規定部材 1 3 全体を陽極 3 に対して隠すことができる。更に、絶縁管 4 の内壁側の電位を直接的に規定することができ、放電抑制のための電位規定が容易に行える。電位規定部材 1 3 と絶縁管 4 とは、溶着やろう付けによって接合できる。

【 0 0 2 6 】

第 2 の方法は、図 1 - 1 (b) に示すように、電位規定部材 1 3 の放射線管内部側の端部を、絶縁部材 1 4 にて被覆する方法である。電界強度を弱める効果に加えて、電位規定部材 1 3 が放射線管内部に露出していないので電子放出しにくい構造である。第 1 の方法に対して、絶縁管 4 の内壁の電位を直接的に規定できないが、絶縁部材 1 4 の材料や厚みを好適に選択すれば良い。絶縁部材 1 4 は、電位規定部材 1 3 と絶縁管 4 を溶着やろう付けにより接合した後に、絶縁ペーストを塗布し焼成すれば良い。または、予め絶縁部材 1 4 の形状を形成し接着する方法でも良い。なお、図 1 - 1 (b) では、絶縁部材 1 4 は、電位規定部材 1 3 の放射線管内部側の端部及び電位規定部材 1 3 と絶縁管 4 との境界部を覆う最低限の部分のみにしか形成されていないが、絶縁管 4 の内壁面全面に形成しても良い。

【 0 0 2 7 】

第 3 の方法は、図 1 - 1 (c) に示すように、電位規定部材 1 3 を、絶縁管 4 の外壁面に形成する方法である。第 1 , 2 の方法に比べて、放射線管内部への電子放出を抑制する能力が高い（ほぼ電子放出を防止できる）。電位規定に関しては、絶縁管 4 の材料として真空よりも誘電率が高いものを使用すれば、絶縁管 4 の内壁の電位は、静的には絶縁管 4 が支配的に決める。よって、絶縁管 4 の外壁面に電位規定部材 1 3 を設けても、内壁面の電位を制御することが可能である。例えばアルミナの比誘電率は 10 程度、ホウケイ酸ガラスで 5 程度である。電位規定部材 1 3 は接着等の方法で固着しても良いし、一体化せずとも接触させておくだけでも良い。

【 0 0 2 8 】

第 4 の方法は、図 1 - 2 (d) に示すように、電位規定部材 1 3 が絶縁管 4 の内壁面より放射線管内部側に突出している部分は、半径 R の丸みを有する形状とする方法である。図 1 - 2 (d) では、電位規定部材 1 3 と絶縁管 4 との境界部は、陽極 3 の放射線管内部に露出した部分から直視できず、電位規定部材 1 3 の、陽極 3 の放射線管内部に露出した部分から直視される部分は、半径 R の丸みを有している。この方法は電位規定部材 1 3 の角を丸め、形状により局所的に電界強度が強くなることを抑制することができ、電子放出しにくくすることができる。具体的には R は 0 . 5 mm 以上が好ましい。

【 0 0 2 9 】

第 5 の方法として、第 3 の方法の変形例を示す。図 1 - 2 (e) に示すように、電位規定部材 1 3 を絶縁管 4 の外壁面に設け、絶縁管 4 の内壁面には、絶縁管 4 を挟んで電位規定部材 1 3 と対峙した位置に別の電位規定部材 1 5 を配置する方法である。電位規定部材

15は電位規定部材13と容量性カップリングにより間接的に電位規定される。容量性カップリングのメリットとして、直接的な電子供給源がないためDC的な電子放出し難く、放射線管内部の電位均一性や安定性が良くなる点が挙げられる。電位規定部材15に対して第1, 2, 4の方法を合わせて適用すると、電子放出の抑制のためにより好ましい。

【0030】

本発明では、上記第1～第5の方法のうち、適宜最適な方法を選べば良い。

【0031】

上述の電位規定部材13は、絶縁管4の管軸方向における陰極2からの距離が同一な面上の複数個所に離散的に配置される構成としても良い。絶縁管4の形状として、好ましくは円筒としたが、別の形でも良く、集束電極8と絶縁管4の内壁が相似形でない場合には、電位規定部材13は少なくとも集束電極8と絶縁管4の距離が短い場所に配置されれば良い。例えば、集束電極8の断面と絶縁管4の断面が、丸と三角系の組合せなら3か所、丸と4角形なら4か所配置すれば良い。このように電位規定部材13を配置した場合、一つ一つの電位規定部材が小さくなるため、万が一放電した場合の放電電流を小さくすることができ、電源回路等へのダメージを抑制することができる。

【0032】

もちろん、電位規定部材13は、絶縁管4の管軸方向における陰極2からの距離が同一な面上に、環状に配置されていても良い。集束電極8と絶縁管4の距離が等距離で1周している場合等は、電位の均一化の点で好ましい。

【0033】

また、図2や図3に示すように、電位規定部材13を、絶縁管4の管軸方向に、複数設けても良い。複数の電位規定部材を用いると、強制的に所望の電位分布を作り出すことが可能である。さらに、単に集束電極8と絶縁管4の電界強度を弱めるだけでなく、他の機能を持たせることもできる。例えば、図2に示すように、別の電位規定部材16を陰極2に近い位置に設け陰極電位に規定することによって、陰極2と絶縁管4の境界部の電界強度を弱めることができ、この部位からの電子放出を抑制できる。特に外壁面のみに電位規定部材を設ける場合には、別の電位規定部材16の陽極側端部の陰極2からの距離が、絶縁管4の壁厚よりも長い方が効果的である。なお、電位規定部材13がなく、別の電位規定部材16が単独でも、集束電極8と絶縁管4の電界強度を弱める効果も、もちろんある。他には、図3に示すように、放射線管内部に電位規定部材13が露出している場合においては、絶縁管4の内壁面を電子がホッピングしていく過程で、電子をトラップすることが可能である。よって、効果的に配置することによって、絶縁管4の沿面耐圧を上げることが可能となる。例えば、複数の電位規定部材の各々の電位を、陰極3から陽極3に向かうにつれて大きくなるように規定することができる。

【0034】

電位規定部材13と陽極3の間の電界強度を抑制するように考慮すると、次のように電位規定部材13の配置、電位を決めるのが良い。電位規定部材13を、陰極2からの距離が、陰極2から電子銃の陽極側の端部までの距離以下となる位置に配置し、(陽極電位-陰極電位) × (陰極と電子銃の陽極側の端部との距離) / (陰極と陽極との距離)以下の電位に規定するのが良い。図1-1(a)では、電子銃の陽極側の端部とは、集束電極8の先端である。

【0035】

陰極2が負極性、陽極3が正極性の場合には、図4に示すように電位規定部材13は接地電位にすることが好ましい。電位規定手段としてGNDを用いて電位規定部材13の電位を接地電位とする場合、電位規定手段が、放射線管1を放射線発生装置に固定する場合の固定部材(不図示)を兼ねることが可能である。

【0036】

電位規定部材13の導電率は、絶縁管4の導電率の10倍以上であることが、電位規定部材13自身の電位均一性の点で好ましい。より好ましくは、電位規定部材13の導電率が1E-3S/m以上である。

【0037】

上述のような放射線管1を用いて放射線発生装置17を作製することができる。図5に本発明の放射線管を用いた放射線発生装置の概略模式図を示す。放射線発生装置17は、筐体18の中に、放射線管1及び放射線管1と電気的に接続された電源回路19を収納してなる。筐体18には、放射線管1のターゲット12(不図示)位置に合わせて、放射線放射窓20を設けている。また、筐体18の中には絶縁油等の絶縁性流体21で満たされ、封止されている。放射線管1のうち、陰極2、陽極3、電子源駆動用端子10、グリッド電極用端子11及び電位規定部材13は電源回路19に接続され適当な電位に規定される。電位規定部材13は電位規定手段と電気的に接続されている。電源回路19は、電位規定部材13の電位規定手段としての電圧源を有する(不図示)。電源回路19は電位規定部材13の電位規定手段として、電圧源ではなくGNDを有していても良い。

【実施例】

【0038】

[実施例1]

本実施例は上記実施形態で例示列挙された構成の一例であり、以下、図1-1(a)を用いて説明する。図1-1(a)は放射線管を絶縁管4の管軸で割った切断面の模式図である。本実施例の放射線管1は、陰極2、陽極3、絶縁管4、電子銃5、絶縁部材9、電子源駆動用端子10、グリッド電極用端子11、ターゲット12、及び電位規定部材13からなる。尚、電子銃5は、電子源6、グリッド電極7、集束電極8からなる。

【0039】

陰極2、陽極3及び電位規定部材13にはコバール、絶縁管4及び絶縁部材9にはアルミナを用い、溶接によって接合している。絶縁管4は円筒形とした。電子源6として含浸型カソードを用いた。このカソードは電子放出部(エミッタ)が含浸された円柱形状をしており、筒形のスリーブ上端に固定されている。スリーブ内にはヒーターが取り付けられており、このヒーターに電子源駆動用端子10より通電することによってカソードが加熱されて電子が放出される。電子源駆動用端子10は絶縁部材9にろう附着されている。

【0040】

ターゲット12は、板厚0.5mmのシリコンカーバイド基板上に膜厚5μmのタングステン膜を形成した構成とし、陽極3にろう附着されている。

【0041】

電子銃5は、電子源6と、電子源6からターゲット12に向かってグリッド電極7と集束電極8を順に配置してなる。グリッド電極7はグリッド電極用端子11から通電され、電子源6から電子を効率良く引き出す。グリッド電極用端子11は電子源駆動用端子10と同様に絶縁部材9にろう附着されている。集束電極8は陰極2に溶接され、陰極2と同電位に規定される。集束電極8は、グリッド電極7によって引き出された電子ビームのビーム径を絞り、電子ビームを効率良くターゲット12に照射させる。

【0042】

陰極2、陽極3及び絶縁管4の外径は60mm、内径は50mm、集束電極8の外形はほぼ円柱で25mmであり、それぞれの中心を合わせている。絶縁管4は管軸方向の中間部に電位規定部材13を挟み2分されており、トータルの長さが70mmである。電位規定部材13は外径60mm、内径56mmで厚さが2mmのリングであり、陰極2から28mm(陽極3から40mm)の位置に接合されている。電位規定部材13と絶縁管4との境界部、電位規定部材13のコーナー部及び電位規定部材13全体は、陽極3に対して露出していない。

【0043】

最後に、加熱しながら、陰極2に溶接された不図示の排気管から排気し、封止される。

【0044】

上記方法で、図1-1(a)の放射線管1を5個作製し、絶縁油中で高電圧印加を試みた。陰極2を接地し、陽極3を高圧電源に接続し、徐々に陽極電圧を上げていった。尚、電位規定部材13は、陽極3の電位の5分の1で連動するように制御した。最初に放電し

た電圧の平均が 75 kV、100 kVまでの累積放電回数は平均 1.8 回であった。電位規定部材 13 がない場合の初回放電電圧は 60 kV、100 kVまでの累積放電回数は平均 5 回であった。よって、本実施例の放射線管の耐圧が高いことが実証できた。

【0045】

更に、上記放射線管 1 を用いて、図 5 に示す放射線発生装置 17 を作製した。陰極 2 の電位は -50 kV、陽極 3 の電位は 50 kV とし、電位規定部材 13 の電位を -30 kV とし、作製した放射線発生装置 17 を用いて放射線を発生させたところ、放電による障害なく放射線を発生させることができた。

【0046】

[実施例 2]

本実施例は実施例 1 とは異なり、図 1-1 (b) に示すように、電位規定部材 13 の放射線管内部側の端部を絶縁部材 14 で被覆した。また、配置位置も変えている。本実施例において、電位規定部材 13 は外径 60 mm、内径 50 mm で厚さが 5 mm のリングであり、陰極 2 から 35 mm (陽極 3 から 30 mm) の位置に接合されている。接合後、絶縁部材 14 としてガラスペーストを塗布し焼成した。ガラスペーストは焼成後に 200 μ m の厚みとなるように塗布した。そして、加熱しながら、陰極 2 に溶接された不図示の排気管から排気し、封止される。

【0047】

上記方法で、図 1-1 (b) の放射線管 1 を 5 個作製し、実施例 1 と同様に、絶縁油中で高電圧印加を試みた。尚、電位規定部材 13 は、陽極 3 の電位の 5 分の 1 で連動するように制御した。いずれも 100 kV まで放電することは無かった。よって、本実施例は実施例 1 よりも耐圧が高いことを実証した。

【0048】

更に、上記放射線管 1 を用いて、図 5 に示す放射線発生装置 17 を作製した。陰極 2 の電位は -50 kV、陽極 3 の電位は 50 kV とし、電位規定部材 13 の電位を -30 kV とし、作製した放射線発生装置 17 を用いて放射線を発生させたところ、放電による障害なく放射線を発生させることができた。

【0049】

[実施例 3]

本実施例は実施例 1 とは異なり、図 1-1 (c) に示すように、電位規定部材 13 を絶縁管 4 の外壁面に配置した。また、電位規定部材 13 を接地すべく配置場所を設定した。本実施例において、電位規定部材 13 は内径 60 mm、外形 62 mm、厚さが 5 mm のリングであり、陰極 2 から 45 mm (陽極 3 から 20 mm) の位置に接合されている。そして、加熱しながら、陰極 2 に溶接された不図示の排気管から排気し、封止される。

【0050】

上記方法で、図 1-1 (c) の放射線管 1 を 5 個作製し、実施例 1 と同様に、絶縁油中で高電圧印加を試みた。尚、電位規定部材 13 は、陽極 3 の電位の 2 分の 1 で連動するように制御した。最初に放電した電圧の平均が 67 kV、100 kV までの累積放電回数は平均 2.9 回であった。よって、本実施例は実施例 1 よりも耐圧が高いことを実証した。

【0051】

更に、上記放射線管 1 を用いて、図 5 に示す放射線発生装置 17 を作製した。陰極 2 の電位は -50 kV、陽極 3 の電位は 50 kV とし、電位規定部材 13 を接地電位とし、作製した放射線発生装置 17 を用いて放射線を発生させたところ、放電による障害なく放射線を発生させることができた。

【0052】

[実施例 4]

本実施例は実施例 1 とは異なり、図 1-2 (d) に示すように、電位規定部材 13 は陽極 3 に対して露出しているが、露出した部分は丸みを有している。また、配置位置も変えている。本実施例において、電位規定部材 13 は外径 60 mm、内径 44 mm で厚さが 5 mm のリングであり、陰極 2 から 35 mm (陽極 3 から 30 mm) の位置に接合され

ている。電位規定部材 13 の内部空間側の端部は全周囲を $R = 2 \text{ mm}$ の丸みを帯びた形状にしている。電位規定部材 13 と 絶縁管 4との境界部は、陽極 3 に対して露出しておらず、電位規定部材 13 の、陽極 3 に対して露出した部分は半径 R の丸みを有している。そして、加熱しながら、陰極 2 に溶接された不図示の排気管から排気し、封止される。

【0053】

上記方法で、図 1 - 2 (d) の放射線管 1 を 5 個作製し、実施例 1 と同様に、絶縁油中で高電圧印加を試みた。尚、電位規定部材 13 は、陽極 3 の電位の 10 分の 3 で連動するように制御した。最初に放電した電圧の平均が 73 kV、100 kV までの累積放電回数は平均 1.9 回であった。よって、本実施例は実施例 1 よりも耐圧が高いことを実証した。

【0054】

更に、上記放射線管 1 を用いて、図 5 に示す放射線発生装置 17 を作製した。陰極 2 の電位は -50 kV、陽極 3 の電位は 50 kV とし、電位規定部材 13 の電位を -20 kV とし、作製した放射線発生装置 17 を用いて放射線を発生させたところ、放電による障害なく放射線を発生させることができた。

【0055】

[実施例 5]

本実施例は実施例 3 に加えて、図 1 - 2 (e) に示すように、電位規定部材 13 と容量性カップリングする別の電位規定部材 15 が、絶縁管 4 の内壁面の、絶縁管 4 を挟んで電位規定部材 13 と対峙した位置に接合されている。そして、加熱しながら、陰極 2 に溶接された不図示の排気管から排気し、封止される。

【0056】

上記方法で、図 1 - 2 (e) の放射線管 1 を 5 個作製し、実施例 1 と同様に、絶縁油中で高電圧印加を試みた。尚、電位規定部材 13 は、陽極 3 の電位の 2 分の 1 で連動するように制御した。最初に放電した電圧の平均が 67 kV、100 kV までの累積放電回数は平均 2.9 回であった。よって、本実施例は実施例 1 よりも耐圧が高いことを実証した。

【0057】

更に、上記放射線管 1 を用いて、図 5 に示す放射線発生装置 17 を作製した。陰極 2 の電位は -50 kV、陽極 3 の電位は 50 kV とし、電位規定部材 13 を接地電位とし、作製した放射線発生装置 17 を用いて放射線を発生させたところ、放電による障害なく放射線を発生させることができた。

【0058】

[実施例 6]

本実施例は実施例 3 に加えて、図 2 に示すように、別の電位規定部材 16 が、絶縁管 4 の外壁面の、電位規定部材 13 よりも陰極側に接合されている。電位規定部材 16 は、形状は電位規定部材 13 と同様に、陰極 2 から 5 mm (陽極 3 から 60 mm) の位置に接合した。そして、加熱しながら、陰極 2 に溶接された不図示の排気管から排気し、封止される。

【0059】

上記方法で、図 2 の放射線管 1 を 5 個作製し、実施例 1 と同様に、絶縁油中で高電圧印加を試みた。尚、電位規定部材 13 は、陽極 3 の電位の 2 分の 1 で連動するように、電位規定部材 16 は、陰極 2 の電位と等しく連動するように制御した。最初に放電した電圧の平均が 66 kV、100 kV までの累積放電回数は平均 3.2 回であった。よって、本実施例は実施例 1 よりも耐圧が高いことを実証した。また、陽極 - 陰極間を流れる電流が実施例 3 よりも少なかった。

【0060】

更に、上記放射線管 1 を用いて、図 5 に示す放射線発生装置 17 を作製した。陰極 2 の電位は -50 kV、陽極 3 の電位は 50 kV とし、電位規定部材 13 を接地電位、電位規定部材 16 を陰極電位とし、作製した放射線発生装置 17 を用いて放射線を発生させたところ、放電による障害なく放射線を発生させることができた。

【符号の説明】**【0 0 6 1】**

1：放射線管、2：陰極、3：陽極、4：絶縁管、5：電子銃、6：電子源、7：グリッド電極、8：集束電極、9：絶縁部材、10：電子源駆動用端子、11：グリッド電極用端子、12：ターゲット、13：電位規定部材、14：絶縁部材、15、16：電位規定部材、17：放射線発生装置、18：筐体、19：電源回路、20：放射線放射窓、21：絶縁性流体

【手続補正2】**【補正対象書類名】**特許請求の範囲**【補正対象項目名】**全文**【補正方法】**変更**【補正の内容】****【特許請求の範囲】****【請求項1】**

電子放出部を有する電子銃が接続された陰極と、該電子放出部から放出された電子の照射により放射線を発生するターゲットが設けられた陽極と、の間に、絶縁性の絶縁管が該電子銃を囲んで配置された放射線管であって、

前記絶縁管には、前記絶縁管の管軸方向の中間部に、電位規定手段と電気的に接続され、前記陰極の電位よりも大きく、かつ前記陽極の電位よりも小さい電位に規定された電位規定部材が設けられ、

前記電位規定部材と前記絶縁管との境界部が、前記陽極の前記放射線管内部に露出した部分から直視できず、かつ前記電位規定部材が、前記陽極の前記放射線管内部に露出した部分から直視されるコーナー部を有していないことを特徴とする放射線管。

【請求項2】

前記電位規定部材の全体が、前記陽極の前記放射線管内部に露出した部分から直視できないように設けられていることを特徴とする請求項1に記載の放射線管。

【請求項3】

前記コーナー部は、前記管軸方向における断面において、前記電位規定部材が、管軸に向かって尖っている部分であることを特徴とする請求項1又は2に記載の放射線管。

【請求項4】

前記電位規定部材は、前記絶縁管の前記管軸方向における中間部に設けられた電極であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の放射線管。

【請求項5】

前記電位規定部材は、前記電位規定部材の前記放射線管内部に露出した部分が、前記絶縁管の内壁面よりも前記絶縁管の外壁側に後退していることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の放射線管。

【請求項6】

前記電位規定部材は、前記放射線管内部側の端部が絶縁部材で覆われていることを特徴とする請求項1又は2に記載の放射線管。

【請求項7】

前記電位規定部材が前記絶縁管の外壁面に設けられていることを特徴とする請求項1又は2に記載の放射線管。

【請求項8】

前記電位規定部材の、前記陽極の前記放射線管内部に露出した部分から直視される部分が、半径Rの丸みを有していることを特徴とする請求項1に記載の放射線管。

【請求項9】

前記半径Rが0.5mm以上であることを特徴とする請求項8に記載の放射線管。

【請求項10】

前記絶縁管の内壁面には、前記絶縁管を挟んで、前記電位規定部材と容量性カップリングしてなる別の電位規定部材が設けられていることを特徴とする請求項7に記載の放射線

管。

【請求項 1 1】

前記電位規定部材は、前記絶縁管の管軸方向における前記陰極からの距離が同一な面上の複数個所に離散的に設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 0 のいずれか 1 項に記載の放射線管。

【請求項 1 2】

前記電位規定部材が、前記絶縁管の管軸方向における前記陰極からの距離が同一な面上に、環状に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 0 のいずれか 1 項に記載の放射線管。

【請求項 1 3】

前記電位規定部材が、前記絶縁管の管軸方向に、複数設けられていることを特徴とする請求項 1 乃至 1 2 のいずれか 1 項に記載の放射線管。

【請求項 1 4】

前記複数の電位規定部材のうち、前記陰極に最も近い位置に設けられた前記電位規定部材の電位が前記陰極の電位と同じであることを特徴とする請求項 1 3 に記載の放射線管。

【請求項 1 5】

前記複数の電位規定部材のうち、前記陰極に最も近い位置に設けられた前記電位規定部材の前記陽極側端部の前記陰極からの距離が、前記絶縁管の壁厚よりも長いことを特徴とする請求項 1 4 に記載の放射線管。

【請求項 1 6】

前記電位規定部材は、前記陰極からの距離が、前記陰極から前記電子銃の前記陽極側の端部までの距離以下となる位置に配置され、かつ（前記陽極の電位 - 前記陰極の電位）×（前記陰極と前記電子銃の前記陽極側の端部との距離）/（前記陰極と前記陽極との距離）以下の電位に規定されることを特徴とする請求項 1 乃至 1 5 のいずれか 1 項に記載の放射線管。

【請求項 1 7】

前記電位規定部材の導電率が前記絶縁管の導電率の 10 倍以上であることを特徴とする請求項 1 乃至 1 6 のいずれか 1 項に記載の放射線管。

【請求項 1 8】

前記電位規定部材の導電率が $1 E - 3 S / m$ 以上であることを特徴とする請求項 1 7 に記載の放射線管。

【請求項 1 9】

前記電位規定手段が電圧源であることを特徴とする請求項 1 乃至 1 8 のいずれか 1 項に記載の放射線管。

【請求項 2 0】

前記電位規定部材の電位が接地電位であることを特徴とする請求項 1 乃至 1 8 のいずれか 1 項に記載の放射線管。

【請求項 2 1】

請求項 1 乃至 2 0 のいずれか 1 項に記載の放射線管と、前記放射線管と電気的に接続された電源回路と、を少なくとも収納する筐体を備えることを特徴とする放射線発生装置。

【請求項 2 2】

前記電位規定手段が、前記放射線管を前記筐体に固定する固定部材を兼ねることを特徴とする請求項 2 1 に記載の放射線発生装置。