

(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2014-86147

(P2014-86147A)

(43) 公開日 平成26年5月12日(2014.5.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H 0 1 J 35/16 (2006.01)</b>	H 0 1 J 35/16	4 C 0 9 2
<b>A 6 1 B 6/00 (2006.01)</b>	A 6 1 B 6/00 3 0 0 A	4 C 0 9 3
<b>H 0 5 G 1/00 (2006.01)</b>	H 0 5 G 1/00 C	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2012-231647 (P2012-231647)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成24年10月19日 (2012.10.19)		キヤノン株式会社
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
		(74) 代理人	100096828
			弁理士 渡辺 敬介
		(74) 代理人	100110870
			弁理士 山口 芳広
		(72) 発明者	山▲崎▼ 康二
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
			ヤノン株式会社内
		(72) 発明者	角田 浩一
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
			ヤノン株式会社内
		Fターム(参考)	4C092 AA01 AB17 AC01 AC08 BD01
			BD19
			4C093 CA32 EA02

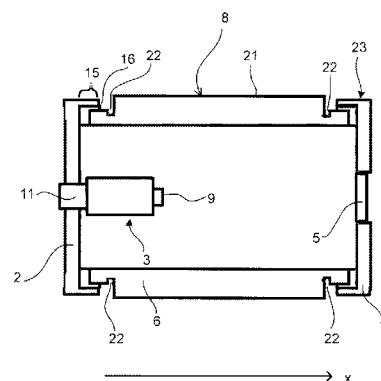
(54) 【発明の名称】放射線発生管、放射線発生ユニット及び放射線撮影システム

## (57) 【要約】

【課題】電子放出源3が接続された電極2と、電子放出源3からの電子の照射で放射線を発生させるターゲット5が接続された電極4とが、電気的に絶縁性の管状部材6の両開口端に取り付けられて真空容器を構成している放射線発生管1において、電極2、4と管状部材6の接合箇所における電極端部の電界集中を緩和し、絶縁破壊の可能性が低く、かつ放射線出力安定性及び信頼性の高い放射線発生管1を提供する。

【解決手段】管状部材6の外周の周方向に環状の凸部21を形成し、電極2、4と凸部21との間の管状部材6の外周の周方向に、両電極2、4に隣接する管状部材6の両端部の外周面を結ぶ面よりも内周側へ窪んだ環状の凹部22を形成する。

【選択図】図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

電子放出源が接続された電極と、前記電子放出源からの電子の照射で放射線が発生させるターゲットが接続された電極とが、電氣的に絶縁性の管状部材の両開口端に取り付けられて真空容器を構成している放射線発生管において、

前記管状部材の外周の周方向に環状の凸部が形成されており、

前記電極の少なくとも一方と前記凸部との間の管状部材の外周の周方向に、前記両電極に隣接する前記管状部材の両端部の外周面を結ぶ面よりも内周側へ窪んだ環状の凹部が形成されていることを特徴とする放射線発生管。

**【請求項 2】**

前記凸部は、前記両電極の対向方向に複数設けられていることを特徴とする請求項 1 記載の放射線発生管。

**【請求項 3】**

前記凹部は、前記複数の凸部のうち前記一方の電極に最も近い凸部と、前記一方の電極との間に位置していることを特徴とする請求項 2 に記載の放射線発生管。

**【請求項 4】**

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の放射線発生管と、

該放射線発生管の駆動を制御する駆動回路部と、

前記放射線発生管及び駆動回路部を収納し、放射線発生管で発生した放射線を放出する放出窓を有する収納容器と、

前記収納容器の内部に充填された絶縁性液体とを備えることを特徴とする放射線発生ユニット。

**【請求項 5】**

前記管状部材の誘電率は、前記絶縁性液体の誘電率よりも高いことを特徴とする請求項 4 記載の放射線発生ユニット。

**【請求項 6】**

前記管状部材は、比誘電が 6 ~ 10 の物質で構成され、前記絶縁性液体は、比誘電率が 3 ~ 4 の物質であることを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の放射線発生ユニット。

**【請求項 7】**

請求項 4 乃至 6 のいずれか一項に記載の放射線発生ユニットと、

該放射線発生ユニットから放出され、被検体を透過した放射線を検出する放射線検出装置と、

前記放射線発生ユニットと前記放射線検出装置とを連携制御する制御装置とを備えることを特徴とする放射線撮影システム。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、例えば医療機器、非破壊検査装置等に適用できる放射線発生管、それを備えた放射線発生ユニット及び放射線撮影システムに関する。

**【背景技術】****【0002】**

一般に、陰極と陽極とを、電氣的に絶縁性の管状部材の各開口端に取り付けて真空容器を構成した放射線発生管が知られている。この放射線発生管の陰極には電子放出源が接続さ、陽極には前記電子放出源からの電子の照射で放射線が発生させるターゲットが接続されており、陰極と陽極間に電圧を印加することで放射線が発生させるものとなっている。このような放射線発生管では、小型化や、高エネルギー化のための高電圧化において、耐電圧性能（以下「耐圧」という）が課題となっている。

**【0003】**

放射線発生管は、駆動回路部と共に収納容器内に収容され、放射線発生ユニットとして放射線撮影システムに組み込まれる。放射線発生ユニットにおいては、高電圧に対する耐

10

20

30

40

50

圧を確保するためと、放射線発生管を冷却するために、放射線発生管を熱伝導性が良好な絶縁性液体が充填された収納容器に収納した構造がとられている。しかし、放射線発生管の構造や使用電圧によっては、絶縁性液体中で絶縁破壊を発生することもある。

【 0 0 0 4 】

従来、上記沿面放電の抑制のために、放射線発生管の管状部材の表面に凹凸を設け、これによって電極間の沿面距離を延長させ、耐電圧性能を向上させることが提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

10

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 4 - 3 5 7 7 2 4 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

近年、放射線撮影システムの用途として在宅医療・救急時の現場医療検査にも適用される場合があり、装置の搬送を容易するため小型化が求められている。出力を維持しつつ小型化するためには陰極と陽極間にはより高い電界が印加されるため、更なる耐電圧性能が求められる。従って、特許文献 1 に記載の構成だけでは、耐電圧性能が不足する場合がある。

【 0 0 0 7 】

20

本発明者等は、耐圧向上に際して次のような課題を発見した。即ち、一般に電極と管状部材の接合箇所における電極端部（他方の電極との対向側端部）に電界集中する。特許文献 1 のような凹凸を付けた場合、凸部が開始する位置が電極に近づく、と、電極と管状部材の接合箇所における電極端部の電界集中をより一層招いてしまい、絶縁性液体中で絶縁破壊を生じやすくなる。

【 0 0 0 8 】

本発明は、電極と管状部材の接合箇所における電極端部の電界集中を緩和し、絶縁破壊の可能性が低く、かつ放射線出力安定性及び信頼性の高い放射線発生管を提供することを目的とする。また、本発明は、同時に、絶縁破壊の可能性が低く、かつ放射線出力安定性及び信頼性の高い放射線発生ユニット及び放射線撮影システムを提供することを目的とする。

30

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

上記課題を解決するために、本発明の第 1 は、電子放出源が接続された電極と、前記電子放出源からの電子の照射で放射線を発生させるターゲットが接続された電極とが、電気的に絶縁性の管状部材の両開口端に取り付けられて真空容器を構成している放射線発生管において、

前記管状部材の外周の周方向に環状の凸部が形成されており、

前記電極の少なくとも一方と前記凸部との間の管状部材の外周の周方向に、前記両電極に隣接する前記管状部材の両端部の外周面を結ぶ面よりも内周側へ窪んだ環状の凹部が形成されていることを特徴とする放射線発生管を提供するものである。

40

【 0 0 1 0 】

また、本発明の第 2 は、上記本発明の第 1 に係る放射線発生管と、  
該放射線発生管の駆動を制御する駆動回路部と、  
前記放射線発生管及び駆動回路部を収納し、放射線発生管で発生した放射線を放出する放出窓を有する収納容器と、

前記収納容器の内部に充填された絶縁性液体と  
を備えることを特徴とする放射線発生ユニットを提供するものである。

【 0 0 1 1 】

更に、本発明の第 3 は、上記本発明の第 2 に係る放射線発生ユニットと、該放射線発生

50

ユニットから放出され、被検体を透過した放射線を検出する放射線検出装置と、前記放射線発生ユニットと前記放射線検出装置とを連携制御する制御装置とを備えることを特徴とする放射線撮影システムを提供するものである。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、電極の少なくとも一方と凸部との間に環状の凹部を設けることで、電極端部の電界集中を緩和することができる。従って、長期間に渡り高い耐圧性能を維持することができ、放射線出力安定性及び信頼性の高い放射線発生管、放射線発生ユニット及び放射線発生システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0013】

【図1】本発明に係る放射線発生管の第1の実施形態を示す断面図である。

【図2】放射線発生管の電極付近の電位状態を示す図で、(A)は凸部と凹部がない場合の電極付近の電位分布を示す等電位線図、(B)は凸部を有する場合の電極付近の電位分布を示す等電位線図、(C)は凸部と凹部を有する場合の電極付近の電位分布を示す等電位線図である。

【図3】図2の(A)～(C)における電界強度と電極の突出部からの距離の関係を示す図である。

【図4】本発明に係る放射線管の他の例を示す図で、(A)は第2の実施形態を示す断面図、(B)は第3の実施形態を示す断面図、(C)は第4の実施形態を示す断面図である。

20

【図5】本発明に係る放射線発生ユニットの一実施形態を示す図である。

【図6】本発明に係る放射線撮影システムの一実施形態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下に、本発明の好ましい実施形態を添付の図面を用いて詳細に説明する。なお、以下に参照する図面において、同じ符号は同様の構成要素を示す。

【0015】

〔放射線発生管の第1の実施形態〕

図1に示すように、放射線発生管1は、陰極2と陽極4である両電極と、電気的に絶縁性の管状部材6とを有する。筒状をなす管状部材6の両開口端には両電極(陰極2及び陽極4)がそれぞれ取り付けられて、真空容器8を構成している。

30

【0016】

真空容器8の内部には、陰極2に接続された電子放出源3が設けられている。真空容器8内は、電子放出源3が備える電子放出部9から放出された電子が、電子線としてターゲット5に照射可能な程度に減圧(真空排気)されている。真空容器8の内部空間の真空度は、使用する電子放出源3の種類や、駆動条件等を考慮して適宜選択することが可能であるが、例えば、 $10^{-4} \sim 10^{-8}$  Paの真空度とすることが可能である。スピント(Spindt)型、MIM等の冷陰極型電子放出源を使用した場合には、電子放出特性の安定性の点で、 $10^{-6}$  Pa以下の真空度とすることが好ましい。真空度の維持の為に、不図示のゲッタを真空容器8の内部空間又は内部空間に連通している不図示の補助スペースに設置することも可能である。

40

【0017】

本発明における陰極2は、電子放出源3の周辺の静電場の空間的な非対称性を緩和するとともに、局所的な電界集中が生じないように真空容器8に対する電子放出源3の取り付け部周辺の静電場を規定している。電子放出源3は、電子放出部9を有し、電子放出部9は、放出電子電流を供給する2極の電極をエミッタ電極対として備える(不図示)。電子ビーム集束、非点収差補正等の電子光学的な機能を付加する場合は、更に数極の補助電極(不図示)を設けることができる。前述のエミッタ電極対と補助電極とからなる電極群は、駆動回路部12(図5参照)と電流導入端子11を介して接続することが可能である。

50

前述の静電場の非対称性緩和の観点からは、陰極 2 は、陽極 4 の電極電位に対して充分低い定電位に規定されることが好ましい。陰極 2 は、電子放出部 9 に電位を供給するエミッタ電極対のいずれか一方と同電位に規定したり、エミッタ電極対のそれぞれの電位の中間電位に電位規定したりすることが可能である。上記補助電極は、放射線発生管 1 の外部に配置した不図示の補正回路と接続することが可能である。この補正回路及びターゲット 5 の電位を規定する電圧源は、いずれも駆動回路部 12 (図 5 参照) が備えるようにすることも可能である。

#### 【0018】

陰極 2 は、管状部材 6 の開口端に固着されている。この実施形態では、陰極の外周縁から管状部材 6 側へ環状の突出部 23 が延出しており、突出部 23 の接合部 15 において接合材 16 を介して管状部材 6 が嵌合して接合されている。また、陰極 2 には電子放出源 3 が接続されており、その電子放出部 9 から陽極 4 側に対して電子を出射できる構造となっている。

#### 【0019】

電子放出源 3 としては、真空容器 8 の外部より放出電子量を制御可能な電子放出源であれば良く、前述の冷陰極型電子放出源の他、熱陰極型電子放出源を用いることが可能である。大電流の電子線を安定に取り出せる点で、含浸型カソードの熱陰極電子放出源を好適に使用することができる。また、電子放出源 3 は、陰極 2 に設けた電流導入端子 11 を介して、電子放出量及び電子放出のオン・オフタイミングを制御可能なように、駆動回路部 12 (図 5 参照) に電氣的に接続されている。

#### 【0020】

陽極 4 は、電圧源によりターゲット 5 を電位規定し、ターゲット 5 に流れる陽極電流を電圧源を介して接地端子 (不図示) に通電する機能を有する。更に、陽極 4 は、陰極 2 と同様にして、放射線発生管 1 のターゲット 5 周辺の静電場を規定する機能を有する電極である。よって、陰極 2 及び陽極 4 は、電子放出源 3 及びターゲット 5 のそれぞれの近傍の静電場において局所的に電界集中が生じないことが望ましく、かつ、陰極 2 と陽極 4 間の電界分布を平行電場になるべく近づけるものであることが望ましい。

#### 【0021】

この実施形態の陽極 4 は、陰極 2 と同様の接続構造で管状部材 6 の開口端に固着されている。即ち、外周縁に環状の突出部 23 が設けられ、接合部 15 において接合材 16 を介して管状部材 6 が嵌合して接合されている。陽極 4 にはターゲット 5 が接続されている。陰極 2 に接続された電子放出源の電子放出部 9 から出射された電子がターゲット 5 に衝突することで放射線が発生するものとなっている。

#### 【0022】

陰極 2 及び陽極 4 の大きさは、管状部材 6 の開口端の径と同等又はそれ以上の径で形成されている。陰極 2 及び陽極 4 のそれぞれは、所定の面積の範囲を電位規定することが好ましく、絶縁性の管状部材 6 の開口断面積に一致させることがより好ましい。

#### 【0023】

陽極 4 は、ターゲット 5 を透過して放出される放射線の照射範囲を規定可能な不図示の遮蔽体を別途備えることも可能である。遮蔽体は、ターゲット 5 の周囲を取り囲み、真空容器の外側と内側にそれぞれ突出した筒状の部材として設けることができる。陽極 4 とターゲット 5 は、前記遮蔽体を介して接続することも可能である。

#### 【0024】

陰極 2 と陽極 4 の材料は、導電性、気密性、強度、及び管状部材 6 との線膨張係数整合によって決めることが可能であり、コパールやタングステン等を適用することが可能である。

#### 【0025】

ターゲット 5 は、電子放出部 9 から放出された電子の照射を受けることが可能な位置に配置されている。陰極 2 と陽極 4 間の電場の対称性の観点からは、ターゲット 5 が電子放出部 9 と対向して配置されていることが好ましい。

## 【 0 0 2 6 】

ターゲット 5 には、電子放出部 9 に対して 1 0 k V ~ 2 0 0 k V の正電位が印加され、電子放出部 9 から放出された電子が電子線として、1 0 k e V ~ 2 0 0 k e V の入射エネルギーでターゲット 5 に入射し、ターゲット 5 で放射線を発生させる。従って、陰極 2 と陽極 4 間の電界分布の非対称性を抑制する観点から、陽極 4 には陰極 2 に対して、電子放出部 9 に対するターゲット 5 の電位と同程度の正電位が印加されることが好ましい。ターゲット 5 は、電子の衝突によって放射線を発生する重元素を含有したターゲット材を備えている。

## 【 0 0 2 7 】

ターゲット 5 は、ターゲット材のみからなる自立型の形態とすることが可能であり、自立型の形態としては、ダイアフラム状の金属薄膜が陽極 4 に接続されている形態を含む。またターゲット 5 は、放射線を透過する材料中にターゲット材料を分散した状態で含有した分散型形態とすることや、ターゲット材料を含む金属薄膜を、放射線を透過する材料からなる支持基板上に積層させた積層型の形態とすることも可能である。放射線を透過する支持基板としては、ベリリウムやダイヤモンドのような低原子番号材料からなる板材が好ましい。金属薄膜は数  $\mu$  m の厚さで支持基板上に形成することが、放射線の減衰を抑制する点、ターゲット 5 の熱変形によるデフォーカスを抑制する点で好ましい。この金属薄膜は、放射線量及び入射電子量の変換効率の観点から、原子番号 2 6 以上の重金属材料を用いることが好ましい。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、レニウム又はこれらの合金材料とすることが可能である。支持基板上に金属薄膜を形成する場合は、支持基板との密着性が確保されれば、特定の製法には限定されず、スパッタ、C V D、蒸着等の各種成膜方法が利用可能である。

## 【 0 0 2 8 】

管状部材 6 は電氣的に絶縁性で、陰極 2 と陽極 4 が取り付けられる 2 つの開口端を備えている。管状部材 6 は、電子放出部 9 から放出された電子がターゲット 5 に照射されるように真空容器 8 の内部空間を形成している。真空容器 8 としては、図 1 のように陰極 2 と陽極 4 が互いに露出して対向している形態だけでなく、管状部材 6 の内部空間が仕切りにより隔てられていて、電子放出源 3 がこの仕切りを貫通しているような形態も含まれる。また、陽極 4 ( 陰極 2 でもよい ) が、管状部材 6 の側面に接続された形態としても良い。さらには、陰極 2 と陽極 4 が互いに対向せずに、非平行な位置関係とすることも可能である。管状部材 6 は、図 1 のようにその断面が円管状の形態に限らず、その断面の外周形状や内周形状が多角形であってもよい。管状部材 6 の材料は、電気絶縁性、気密性、低ガス放出性、耐熱性及び陰極 2 や陽極 4 との線膨張係数整合の観点で選ばれるが、ポロンナイトライド、アルミナ等の絶縁性セラミック、ホウケイ酸ガラス等の絶縁性の無機ガラスが適用可能である。

## 【 0 0 2 9 】

本実施形態においては、管状部材 6 の両端部を残して中央部に幅広に設けた単一の凸部 2 1 が環状に設けられている。管状部材 6 の両開口端は、陰極 2 及び陽極 4 が固着されて密閉されている。前記のように、陰極 2 及び陽極 4 の管状部材 6 への取り付けは、突出部 2 3 を管状部材 6 に嵌め込むことで行われている。この実施形態では、陰極 2 及び陽極 4 の突出部 2 3 の端部が電界集中箇所であり、この電極端部と凸部 2 1 の間の管状部材 6 の外周の周方向に環状の凹部 2 2 が形成されている。凹部 2 2 は、陰極 2 及び陽極 4 にそれぞれ隣接する管状部材 6 の両端部の外周面を結ぶ面よりも内周側へ窪んでいる。この実施形態の凹部 2 2 は、断面矩形となっているが、その他の断面形状とすることもできる。

## 【 0 0 3 0 】

陰極 2 又は陽極 4 の突出部 2 3 の端部である電極端部は、放射線発生管 1 の動作時に電界集中するため、放射線発生管 1 の耐圧特性を制限する。従って、放電抑制の観点から、電極端部近傍の電界分布の不均一性を抑制することが対策の一つとなる。陰極 2、陽極 4 と管状部材 6 を導電性の接合材 1 6 を介して接合することで、接合部 1 5 近傍の電界分布を、接合部 1 5 の周方向に沿って均一化することが可能となる。接合材 1 6 としては、導

10

20

30

40

50

電性を有し、耐熱性と金属絶縁体の異種材料間の接合性が良好な銀ろう、銅ろう等の硬ろう（ろう付け用合金）が好ましく適用できる。管状部材 6 と、陰極 2 又は陽極 4 との接合部 15 の周方向の電界の均一性の観点からは、接合材 16 は環状であって、接合部 15 を環状に気密接合していることが好ましい。

#### 【0031】

接合材 16 は、陰極 2、陽極 4 及び管状部材 6 よりも融点が低く、接合工程において、陰極 2、陽極 4 及び管状部材 6 よりも軟化変形しやすい性質を備えるとともに、被接合部材に濡れる性質を有することで、被接合部材に密着して接合面を確保する材料である。

#### 【0032】

この実施形態の管状部材 6 には前述したように凸部 21 が形成されている。凸部 21 は、陰極 2 の外周面と陽極 4 の外周面とを結ぶ面よりも外方へ突出している。これにより、陰極 2 と陽極 4 の各突出部 23, 23 の先端同士が直接向かい合わないようにすることができ、陰極 2 と陽極 4 の沿面距離を長くすることができる。

#### 【0033】

上記の効果により、陰極 2 又は陽極 4 の近傍の電界集中により発生した部分放電を、陰極 2 と陽極 4 間の全路破壊に発展させにくくすることができ、耐圧を向上させることができる。耐圧向上により、高エネルギー放射線の放射や、更なる小型化が可能となる。

#### 【0034】

更に本発明の特徴である凹部 22 を設けることにより更なる耐圧向上を実現することができる。

#### 【0035】

凹部 22 は、管状部材 6 の外周面に、管状部材 6 の周方向に環状に形成されている。凹部の形状には限定はないが、深く、広く、かつ陰極 2 又は陽極 4 に近いほど効果があり、真空容器 8 の機能を損なわないように適宜選択することができる。凹部 22 は、少なくとも一方の電極側（陰極 2 側又は陽極 4 側）に設けることで、電界集中の緩和による耐圧性の向上を得ることができる。但し、より高い耐圧性を得るためには、本実施形態のように、両電極側（陰極 2 側及び陽極 4 側）に設けることが好ましい。

#### 【0036】

上記の耐圧向上について図 2 及び図 3 を用いて詳細に説明する。図 2 (a) ~ (c) の各図は、本発明の特徴である環状の凹部による突出部近傍の電界集中の緩和効果を、陰極と管状部材との界面近傍における等電位線分布を用いて説明する概略断面図である。図 3 は、陰極と管状部材との界面近傍における、電界強度分布の突出部からの距離依存性を示すものである。図 3 中のプロット (a) ~ (c) は、図 2 (a) ~ (c) の各図に対応している。

#### 【0037】

図 2 (A) に示すように、凸部 21 (図 1 参照) を有しない放射線発生管の陰極 2 側では、突出部 23 の先端に電界が集中する。図 2 (A) に示す湾曲した曲線は、電位分布を示す等電位線であり、電位分布は突出部 23 近辺で勾配が高く、徐々に緩やかになっている。図 3 のグラフの縦軸が規格化電界強度であり、横軸が突出部 23 の先端から陽極に向かう方向における距離を示す。図 2 (A) の放射線発生管の電界強度を図 3 の破線 (A) が示す。この破線 (A) によって表されているように、電界集中箇所である突出部 23 の先端で電界強度が高くなっており、突出部 23 先端からの距離が離れた場所では電界強度が低下している。

#### 【0038】

一方、凸部 21 が陰極 2 に近づくと、より一層陰極 2 の端部付近の電界集中を招いて、放電を引き起こし易くなる。図 2 (B) は、凸部 21 を設けた従来の放射線発生管の陰極 2 近傍を示している。図 2 (B) において凸部 21 のある領域 a は、凸部 21 のない領域 b に比べて、相対的に静電容量が増すため、領域 b での電位勾配が増大し、その結果、陰極 2 付近の電界集中を招いている。この実施形態では突出部 23 の先端に電界が集中する。図 2 (B) に示す湾曲した曲線は電位分布を示しており、電位分布は突出部 23 近辺で

勾配が高く、徐々に緩やかになっている。また、図 2 ( B ) の領域 b 及び領域 c は、図 3 における領域 b ' 及び領域 c ' と対応している。この放射線発生管の場合、図 3 で一点鎖線 ( B ) で示すように、電界集中箇所である突出部 2 3 近傍で電界強度が高くなっており、突出部 2 3 先端からの距離が離れた場所では電界強度が低下している。

【 0 0 3 9 】

つまり、上述した図 2 ( A ) 及び図 2 ( B ) では突出部 2 3 の先端部で電界強度が高くなるため、電界放出を起こす可能性が高くなってしまっている。

【 0 0 4 0 】

図 2 ( C ) は、凸部 2 1 を設けた管状部材 6 に更に凹部 2 2 を設けた本発明の放射線発生管の陰極 2 側の極近傍を示している。上述した図 2 ( A ) 、図 2 ( B ) と同様に、電位分布は突出部 2 3 近辺で比較的勾配が高くなる。しかし、凹部 2 2 を設けることにより、突出部 2 3 近辺の勾配よりも高い電位分布の場所を規定することができる。凹部 2 2 は、凸部 2 1 と陰極 2 との間に形成されている。また、放射線発生管は、通常、図 5 に示されるように、絶縁性液体 2 0 中に浸漬された状態で設置される。一般的に、管状部材 6 の素材の比誘電率は 6 ~ 1 0 程度、絶縁性液体 2 0 は比誘電率が 3 ~ 4 程度の物質であり、相対的な誘電率は管状部材 6 が絶縁性液体 2 0 よりも高い。図 2 ( C ) において凹部 2 2 のある領域 c ' は領域 b ' に比べて、相対的に静電容量が減るため、領域 c ' では領域 b ' に比べて電位勾配が増大する。従って、相対的に領域 b ' の電位勾配が緩和される。よって、陰極 2 の近傍は局所的に電界集中が緩和されることになる。

【 0 0 4 1 】

つまり、図 2 ( C ) の領域 b では、電位勾配が図 2 ( A ) 及び図 2 ( B ) と同程度と考えられる。しかし、領域 c ' に凹部 2 2 を設けたことにより、凹部 2 2 が設けられている領域 c ' 内に電位勾配が高い場所を規定することができる。更にこれを図 3 により説明すると、図 3 の実線 ( C ) に示すように、突出部 2 3 近傍よりも電界強度が高い場所が凹部 2 2 上に規定される。従って、突出部 1 6 の先端の電界強度よりも高い電界強度の箇所を凹部 2 2 により規定することにより、c ' 区間の電界強度を増大させて、b ' 区間の電界強度を低減させることが可能となる。これにより、陰極 2 近傍である突出部 2 3 近傍に生じる電界集中を、環状の凹部 2 2 によって抑制することができ、陰極 2 近傍の電界強度を低減させることを実現できる。

【 0 0 4 2 】

陰極 2 近傍の電界強度を低減させることにより、陰極 2 近傍で発生していた電界放出を抑制することができ、耐圧性能を上げることができる。また、上記図 2 及び図 3 による説明は陰極 2 の近傍についてであるが、陽極 4 側においても同様な耐圧性能の向上が得られる。更に、後述する第 2 ~ 第 4 の実施形態に係る放射線発生管 1 についても同様である。

【 0 0 4 3 】

〔放射線発生管の第 2 の実施形態〕

図 4 ( A ) に示すように、管状部材の陰極 2 と陽極 4 の対向方向の外断面形状が、凸部 2 1 が凹部を挟んで連なった波形をなしている。また、最も陰極 2 寄りの凸部 2 1 と陰極の間と、最も陽極 4 寄りの凸部 2 1 と陽極 4 の間に、それぞれ凹部 2 2 が設けられている。

【 0 0 4 4 】

この実施形態のような波形の凸部 2 1 とし、陰極 2 と陽極 4 の対向方向に複数設けると、陰極 2 と陽極 4 の沿面距離をより長いものとしやすく、これと凹部 2 2 を組み合わせることで、耐圧を一層高めることができる。

【 0 0 4 5 】

〔放射線発生管の第 3 の実施形態〕

図 4 ( B ) に示すように、この実施形態の凸部 2 1 は、横断方向の断面形状が半円形となっている。このような形状の凸部 2 1 としても、凹部 2 2 と組み合わせることで、図 1 と同様の耐圧性の向上を得ることができる。

【 0 0 4 6 】



## 〔放射線発生管の第４の実施形態〕

図４（Ｃ）に示すように、この実施形態の凸部２１は、管状部材６の両端部の外周にそれぞれ設けられている。また、凸部２１の横断方向の断面形状は矩形となっている。このような形状の凸部２１としても、凹部２２と組み合わせることで、図１の放射線発生管１と同様の耐圧性の向上を得ることができる。

## 【００４７】

## 〔放射線発生ユニットの実施形態〕

本発明の放射線発生ユニットを図５により詳細に説明する。

## 【００４８】

放射線発生ユニット１８は、収納容器１７と、放射線発生管１と、駆動回路部１２とを有し、収納容器１７内部に放射線発生管１と駆動回路部１２が設置されている。また、これらの冷却媒体として収納容器１７の内部の余剰空間には絶縁性液体２０が満たされている。また、収納容器１７には、収納容器１７内部に配置される放射線発生管１からの放射線を放出するための放出窓１９が設けられている。

10

## 【００４９】

収納容器１７は、放射線発生ユニット１８の動作安定性や安全性の観点から、所定の電位に規定する事が好ましく、好適な所定の規定電位としては、接地端子１３を介して規定した接地電位である。収納容器１７の材料としては、各種の材料を選択することが可能であるが、放射線遮蔽性、強度、表面電位規定性能の観点から、鉄、ステンレス、鉛、真鍮、銅等の金属が使用可能である。

20

## 【００５０】

駆動回路部１２では電圧が生成され、放射線発生管１の電流導入端子１１を介して電子放出部９の各電極に接続されている。電子放出部９から電子線１０が出射され、ターゲット５に当たることにより放射線１４が発生し、放射線透過窓１９を介して外部に出射される。

## 【００５１】

絶縁性液体２０は、放射線発生ユニット１８の耐圧特性と駆動時の動作安定性の観点から、収納容器１７内に充填されている。絶縁性液体２０を導入することにより、放射線発生管１の陰極２と陽極４の間の絶縁性を確保した上で、放射線発生管１の動作時の放熱性を向上させることが可能となる。

30

## 【００５２】

絶縁性液体２０は、電気絶縁性が高く、冷却能力の高く、熱による変質の少ないものが好ましく、例えば、シリコン油、トランス油、フッ素系オイル等の電気絶縁油、ハイドロフルオロエーテル等のフッ素系の絶縁性液体等が使用可能である。

## 【００５３】

この実施形態に示す放射線発生管１は、陰極２及び陽極４に突出部２３（図１参照）が設けられておらず、管状部材６の開口端の外径と同径の陰極２及び陽極４が、環状に配置された接合材１６によって固着して接合している。また、凸部２１は、陰極２と陽極４の対向方向に波形となるように複数形成されている。

40

## 【００５４】

凹部２２は、最も陰極２寄りの凸部２１と陰極の間と、最も陽極４寄りの凸部２１と陽極４の間に、それぞれ設けられている。陰極２及び陽極４と凸部２１の間に凹部２２を設けたことにより、波形の凸部２１による長い沿面距離と相俟って、高い耐圧性を得ることができる。

## 【００５５】

本発明の放射線発生管は透過型に限定されることなく反射型にも好適に適用できる。また、この放射線発生ユニットに可動絞りユニットを備えた放射線発生装置を提供することもできる。

## 【００５６】

## 〔放射線撮影システムの一実施形態〕

50

図 6 に基づいて、本発明に係る放射線撮影システムの一例を説明する。

【 0 0 5 7 】

本例において、既に説明した放射線発生ユニット 1 8 は、その放射線透過窓 1 9 部分に設けられた可動絞りユニット 1 0 0 と共に放射線発生装置 2 0 0 を構成している。可動絞りユニット 1 0 0 は、放射線発生ユニット 1 8 から照射される放射線の照射野の広さを調整する機能を有する。また、可動絞りユニット 1 0 0 として、放射線の照射野を可視光により模擬表示できる機能が付加されたものを用いることもできる。

【 0 0 5 8 】

システム制御装置 2 0 2 は、放射線発生装置 2 0 0 と放射線検出装置 2 0 1 とを連携制御する。放射線駆動回路 1 2 は、システム制御装置 2 0 2 による制御の下に、放射線発生管 1 に各種の制御信号を出力する。この制御信号により、放射線発生装置 2 0 0 から放出される放射線の放出状態が制御される。放射線発生装置 2 0 0 から放出された放射線は、被検体 2 0 4 を透過して検出器 2 0 6 で検出される。検出器 2 0 6 は、検出した放射線を画像信号に変換して信号処理部 2 0 5 に出力する。信号処理部 2 0 5 は、システム制御装置 2 0 2 による制御の下に、画像信号に所定の信号処理を施し、処理された画像信号をシステム制御装置 2 0 2 に出力する。システム制御装置 2 0 2 は、処理された画像信号に基づいて、表示装置 2 0 3 に画像を表示させるための表示信号を表示装置 2 0 3 に出力する。表示装置 2 0 3 は、表示信号に基づく画像を、被検体 2 0 4 の撮影画像としてスクリーンに表示する。放射線の代表例は X 線であり、本発明の放射線発生ユニット 1 8 と放射線撮影システムは、X 線発生ユニットと X 線撮影システムとして利用することができる。X 線撮影システムは、工業製品の非破壊検査や人体や動物の病理診断に用いることができる。

【 実施例 】

【 0 0 5 9 】

( 実施例 1 )

図 1 に示す放射線発生管 1 を作製した。凸部 2 1 及び凹部 2 2 は、陰極 2 側及び陽極 4 側に同じように形成した。凸部 2 1 は陰極 2 側の接合部 1 5 の端から 5 mm の位置と、陽極 4 側の接合部 1 5 の端から 5 mm の位置までを、高さ 4 mm で突出させた。凹部 2 2 は接合部 1 5 の端から 1 mm ~ 5 mm の位置に深さ 1 mm の矩形状とした。

【 0 0 6 0 】

また、比較のため、凸部 2 1 及び凹部 2 2 のない放射線発生管、凸部 2 1 だけを設けた放射線発生管も作製した。凸部 2 1 だけを設けた場合は、凸部 2 1 も凹部 2 2 もない場合に比べて、絶縁性液体 2 0 中の陰極 2 と陽極 4 間沿面距離を約 1 0 mm 延長でき、陰極 2 又は陽極 4 近傍の部分放電が、陰極 2 と陽極 4 間の絶縁破壊に発展しにくくなっている。しかし、陰極 2 や陽極 4 の端部の電界強度は 1 . 2 倍に増加し、部分放電し易くなる。

【 0 0 6 1 】

一方、本実施例の放射線発生管 1 は、絶縁性液体 2 0 中の陰極 2 と陽極 4 間の沿面距離は凸部 2 1 だけ設けた場合の放射線発生管と同等の長さで、陰極 2 や陽極 4 の端部の電界強度は凸部 2 1 も凹部 2 2 も設けない場合の放射線発生管と同等に留められている。よって、部分放電の発生を抑え、かつ陰極 2 と陽極 4 間の絶縁破壊への発展も抑制できる。

【 0 0 6 2 】

上記のような方法で、放射線発生管 1 を作製し、放射線発生装置 1 8 に用いた絶縁性液体 2 0 と同じ電気絶縁油中で高電圧印加を試みた。陰極 2 を接地し、陽極 4 を高圧電源に接続し、1 2 0 k V 以上で 5 k V 毎に昇圧し、3 0 分保持する試験を行ったところ、1 5 0 k V まで放電することが無かった。一方、凸部 2 1 も凹部 2 2 もない場合は 1 3 0 k V 、凸部 2 1 のみ設けた場合も 1 3 0 k V で放電しており、本実施例の効果が確認された。

【 0 0 6 3 】

また、上記作製した放射線発生管 1 を放射線発生装置 1 8 内に収め、駆動したところ、安定して放射線放出が確認できた。

【 0 0 6 4 】

(実施例 2)

図 4 (A) に示す放射線発生管を作製した。図 5 で示す放射線発生管 1 に対して、陰極 2 及び陽極 4 に突出部 2 3 を設け、真空機密をより確実なものとした。突出量は 5 mm とし、接合代として、管状部材 6 を 10 mm 長くし 70 mm とした。また凹部 2 2 は陰極 2 側及び陽極 4 側ともに、接合部 1 5 の端から 1 mm ~ 5 mm の位置とした。

【0065】

また、比較のために、凸部 2 1 及び凹部 2 2 のない放射線発生管、凸部 2 1 だけを設けた放射線発生管も作製した。凸部 2 1 だけを設けた場合は、凸部 2 1 も凹部 2 2 もない場合に比べて、絶縁性液体 2 0 中の陰極 2 と陽極 4 間沿面距離を約 10 mm 延長でき、陰極 2 又は陽極 4 近傍の部分放電が、陰極 2 と陽極 4 間の絶縁破壊に発展しにくくなっている。しかし、陰極 2 や陽極 4 の端部の電界強度は 1.1 倍に増加し、部分放電し易くなる。

10

【0066】

一方、本実施例の放射線発生管 1 は、絶縁性液体 2 0 中の陰極 2 と陽極 4 間沿面距離は凸部 2 1 だけ設けた場合の放射線発生管と同等の長さで、陰極 2 や陽極 4 の端部の電界強度は凸部 2 1 も凹部 2 2 も設けない場合の放射線発生管と同等に留められている。よって、部分放電の発生を抑え、かつ陰極 2 と陽極 4 間の絶縁破壊への発展も抑制できる。

【0067】

上記のような方法で、放射線発生管 1 を作製し、放射線発生装置 1 8 に用いた絶縁性液体 2 0 と同じ電気絶縁油中で高電圧印加を試みた。陰極 2 を接地し、陽極 4 を高圧電源に接続し、120 kV 以上で 5 kV 毎に昇圧し、30 分保持する試験を行ったところ、150 kV まで放電することが無かった。一方、凸部 2 1 も凹部 2 2 もない場合は 130 kV、凸部 2 1 のみ設けた場合は 135 kV で放電しており、本実施例の効果が確認された。

20

【0068】

また、上記作製した放射線発生管 1 を放射線発生装置 1 8 内に収め、駆動したところ、安定して放射線放出が確認できた。

【0069】

(実施例 3)

図 4 (B) に示す放射線発生管 1 を作製した。実施例 1 で作製した放射線発生管 1 に対して、凸部 2 1 及び凹部 2 2 の形状を変えた。凸部 2 1 及び凹部 2 2 は、陰極 2 側及び陽極 4 側に同じように形成した。凸部 2 1 は接合部 1 5 の端から 4 mm ~ 14 mm の位置に半径 5 mm の半円状とし、凹部 2 2 は接合部 1 5 の端から 1 mm ~ 4 mm の位置に半径 1.5 mm の半円状とした。

30

【0070】

また、比較のために、凸部 2 1 及び凹部 2 2 のない放射線発生管、凸部 2 1 だけを設けた放射線発生管も作製した。凸部 2 1 だけを設けた場合は、凸部 2 1 も凹部 2 2 もない場合に比べて、絶縁性液体 2 0 中の陰極 2 と陽極 4 間沿面距離を約 10 mm 延長でき、陰極 2 又は陽極 4 近傍の部分放電が、陰極 2 と陽極 4 間の絶縁破壊に発展しにくくなっている。しかし、陰極 2 や陽極 4 の端部の電界強度は 1.1 倍に増加し、部分放電し易くなる。

【0071】

一方、本実施例の放射線発生管 1 は、絶縁性液体 2 0 中の陰極 2 と陽極 4 間沿面距離は凸部 2 1 だけ設けた場合の放射線発生管と同等の長さで、陰極 2 や陽極 4 の端部の電界強度は凸部 2 1 も凹部 2 2 も設けない場合の放射線発生管と同等に留められている。よって、部分放電の発生を抑え、かつ陰極 2 と陽極 4 間の絶縁破壊への発展も抑制できる。

40

【0072】

上記のような方法で、放射線発生管 1 を作製し、放射線発生装置 1 8 に用いた絶縁性液体 2 0 と同じ電気絶縁油中で高電圧印加を試みた。陰極 2 を接地し、陽極 4 を高圧電源に接続し、120 kV 以上で 5 kV 毎に昇圧し、30 分保持する試験を行ったところ、145 kV で放電した。一方、凸部 2 1 も凹部 2 2 もない場合は 130 kV、凸部 2 1 のみ設けた場合も 130 kV で放電しており、本実施例の効果が確認された。

【0073】

50

また、上記作製した放射線発生管 1 を放射線発生装置 18 内に収め、駆動したところ、安定して放射線放出が確認できた。

【0074】

(放射線発生ユニットの実施例)

図 5 に示される放射線発生ユニットを作製した。

【0075】

まず、放射線発生管を以下のようにして作成した。住友電気工業株式会社製の高圧合成ダイヤモンドを支持基板として用意した。前記支持基板は、直径 5 mm、厚さ 1 mm のディスク状(円柱状)の形状である。用意した支持基板を、UV - オゾンアッシャにより支持基板の表面にある有機物を除去した。

10

【0076】

この支持基板の直径 1 mm の円形の 2 面のうちの一方の面上に、スパッタ法により、Ar (アルゴン) をキャリアガスとして、チタンからなる密着層を 10 nm の厚さで形成した。チタンの成膜時の支持基板は、260 となるようにステージ加熱により加熱した。次に、成膜装置の雰囲気ベントする事なしに、連続成膜により、密着層の上に、Ar (アルゴン) をキャリアガスとして、スパッタにより、タングステンからなるターゲット層を 7 μm の厚さに形成した。タングステンの成膜時のダイヤモンドからなる支持基板は、チタンの成膜時と同様に、260 となるようにステージ加熱により加熱した。

【0077】

チタンからなる密着層及びタングステンからなるターゲット層の各層の厚さは、積層成膜する前に、予め、単層膜で成膜した膜厚と成膜時間との検量線データを取得し、成膜時間により指定の膜厚となるようにして調整した。検量線データを取得する為の膜厚の測定は、株式会社堀場製作所製の分光エリプソメータ UVISEL ER を用いた。このようにして、ダイヤモンドからなる支持基板、チタンからなる密着層、タングステンからなるターゲット層がこの順に積層したターゲット 5 を得た。

20

【0078】

次に、直径 60 mm で厚さ 3 mm のディスク状のコパールからなる金属板の中心部に、直径 1.1 mm の円柱状の開口を形成するように加工して陽極 4 とした。陽極 4 に対して、有機溶媒洗浄、リンス、UV - オゾンアッシャ処理によって、陽極 4 の表面にある有機物を除去した。

30

【0079】

次に、陽極 4 の開口と、ディスク状のターゲット 5 の外周部との間に、銀ろうを接合材として付与し、ろう付けを行い、ターゲット 5 が接続された陽極 4 を得た。

【0080】

次に、直径 60 mm で厚さ 3 mm のディスク状のコパールからなる金属板の中心部に、予め、電流導入端子 11 を備え付けて陰極 2 とした。陰極 2 に対して、陽極 4 にした洗浄と同様の洗浄を行い、有機溶媒洗浄、リンス、UV - オゾンアッシャ処理によって、陽極 4 の表面にある有機物を除去した。

【0081】

次に、電流導入端子 11 と含浸型電子銃を電氣的及び機械的に接続して、電子放出源 3 と接続された陰極 2 を得た。

40

【0082】

次に、長さ 60 mm、内径 50 mm の円管状で、外周部に波状の凸部 21 を有する誘電性の管状部材 6 を用意した。管状部材 6 の基準となる外径は 60 mm で、凸部 21 は、高さ 8 mm、周期 8 mm の sin 波状とし、円管軸状の中心振り分けで連続的に 6 個形成した。また、二つの開口端から 1 mm の位置から 5 mm の位置まで深さ 1 mm の、断面が矩形の凹部 22 を設けた。管状部材 6 は比誘電率が 10 程度のアルミナで形成した。管状部材 6 に対しても、陰極 2 や陽極 4 にしたのと同様の洗浄を行い、表面の有機物を除去した。

【0083】

50

次に、陰極 2 の電子放出源 3 が接続された面と、管状部材 6 の一方の開口端との間に、環状に成形した日本工業規格 B A g - 8 ( A g 7 2 - C u 2 8 、融点 7 8 0 ) の銀ろうを挿入して 8 2 0 であろう付けを行った。このろう付けにより、環状に気密接合した接合材 1 6 を備える接合部 1 5 を形成した。

【 0 0 8 4 】

次に、管状部材 6 の他方の開口端と、ターゲット 5 のタングステンを露出している側の面と同じ側を露出している陽極 4 の面とを、陰極 2 側の接合と同様のろう付けを行い、環状に気密接合した接合材 1 6 を備える接合部 1 5 を形成した。

【 0 0 8 5 】

以上によって、陰極 2 と陽極 4 とのそれぞれと、管状部材 6 とを、管状部材 6 の二つの開口端においてそれぞれに気密接合により接続した真空容器 8 を作成した。

10

【 0 0 8 6 】

次に、不図示の排気管と排気装置により、真空容器 8 の内部を 1 E - 5 P a の真空度となるように排気した後、排気管を封止することにより、放射線発生管 1 を作製した。

【 0 0 8 7 】

上記のようにして作製した放射線発生管 1 を収納容器 1 7 内に収め、放射線発生ユニットを構成した。なお、収納容器 1 7 内は絶縁性液体 2 0 で満たした。絶縁性液体 2 0 は、比誘電率が 3 程度の電気絶縁油とした。

【 0 0 8 8 】

比較のために、凸部 2 1 及び凹部 2 2 のない放射線発生管、凸部 2 1 だけを設けた放射線発生管も作製した。凸部 2 1 だけを設けた場合は、凸部 2 1 も凹部 2 2 もない場合に比べて、絶縁性液体 2 0 中の陰極 2 と陽極 4 間沿面距離を約 1 0 m m 延長でき、陰極 2 又は陽極 4 近傍の部分放電が、陰極 2 と陽極 4 間の絶縁破壊に発展しにくくなっている。しかし、陰極 2 や陽極 4 の端部の電界強度は 1 . 1 倍に増加し、部分放電はし易くなる。

20

【 0 0 8 9 】

一方、本実施例の放射線発生管 1 は、絶縁性液体 2 0 中の陰極 2 と陽極 4 間沿面距離は凸部 2 1 だけ設けた場合の放射線発生管と同等の長さで、陰極 2 や陽極 4 の端部の電界強度は凸部 2 1 も凹部 2 2 もない場合の 1 . 0 5 倍に留まる。よって、部分放電の発生を抑え、かつ陰極 2 と陽極 4 間の絶縁破壊への発展も抑制できる。

【 0 0 9 0 】

上記のような方法で、放射線発生管 1 を作製し、放射線発生ユニット 1 8 に用いた絶縁性液体 2 0 と同じ電気絶縁油中で高電圧印加を試みた。陰極 2 を接地し、陽極 4 を高圧電源に接続し、1 2 0 k V 以上で 5 k V 毎に昇圧し、3 0 分保持する試験を行ったところ、1 5 0 k V まで放電することが無かった。一方、凸部 2 1 も凹部 2 2 もない場合は 1 4 0 k V、凸部 2 1 のみ設けた場合は 1 4 5 k V で放電しており、本実施例の効果が確認された。

30

【 0 0 9 1 】

また、上記作製した放射線発生管 1 を用いて放射線発生ユニット 1 8 を構成し、駆動したところ、安定して X 線放出が確認できた。

【 0 0 9 2 】

実施例 1 ~ 3 と本実施例と比較することにより、陰極 2 や陽極 4 に突出部 2 3 が有るような場合、本発明の効果が大きいことが確認された。

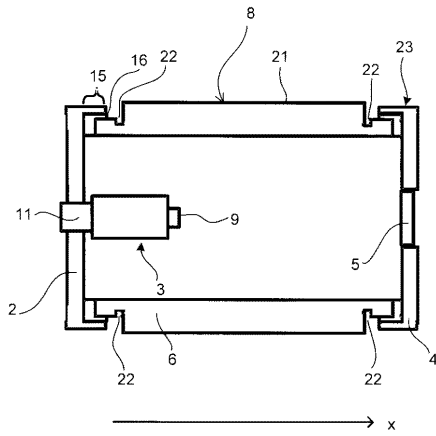
40

【 符号の説明 】

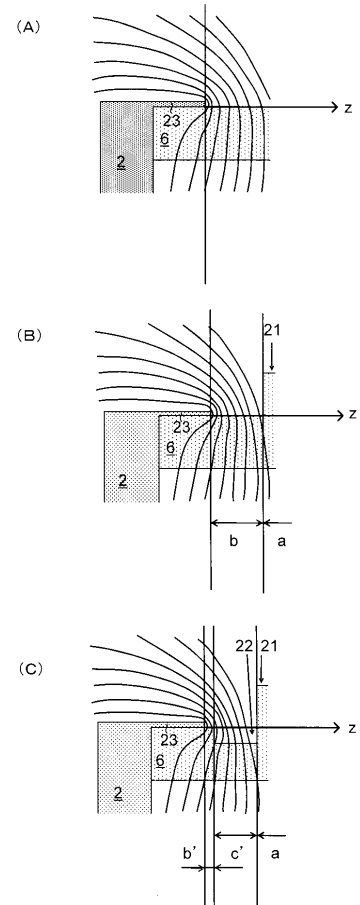
【 0 0 9 3 】

1 : 放射線発生管、 2 : 陰極、 3 : 電子放出源、 4 : 陽極、 5 : ターゲット、 6 : 管状部材、 8 : 真空容器、 9 : 電子放出部、 1 0 : 電子線、 1 1 : 電流導入端子、 1 2 : 駆動回路部、 1 3 : 接地端子、 1 4 : 放射線、 1 5 : 接合部、 1 6 : 接合材、 1 7 : 収納容器、 1 8 : 放射線発生ユニット、 1 9 : 放出窓、 2 0 : 絶縁性液体、 2 1 : 凸部、 2 2 : 凹部

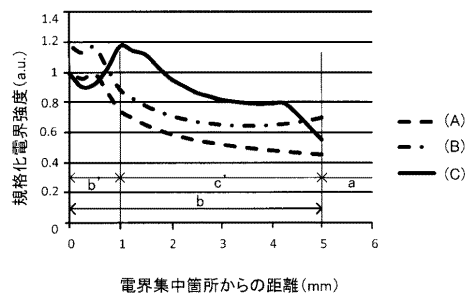
【図 1】



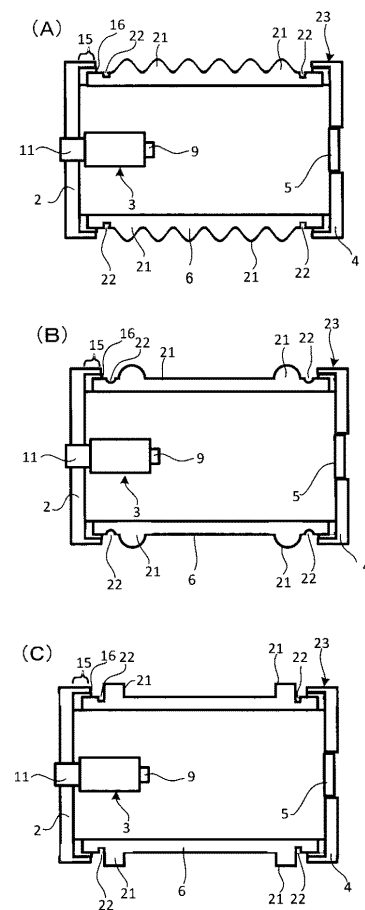
【図 2】



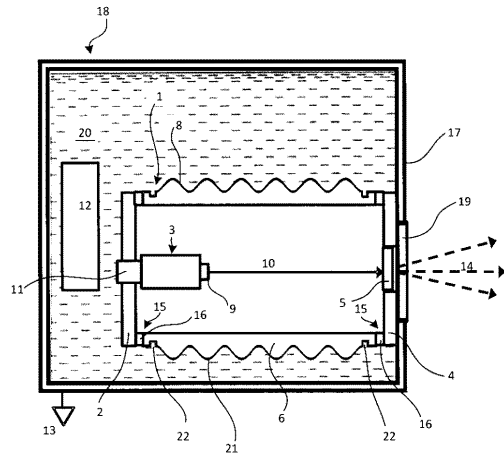
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【図 6】

