

(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2013-51165

(P2013-51165A)

(43) 公開日 平成25年3月14日 (2013.3.14)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 J 35/08 (2006.01)	H 0 1 J 35/08	F
	H 0 1 J 35/08	D
	H 0 1 J 35/08	B

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2011-189224 (P2011-189224)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成23年8月31日 (2011.8.31)		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	小倉 孝夫
			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	田村 美樹
			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	廣木 珠代
			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

(54) 【発明の名称】 透過型X線発生装置

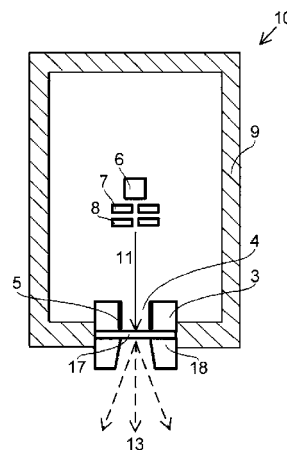
(57) 【要約】

【課題】透過型ターゲットで反射した電子を有効利用することによりX線発生効率を向上させることができる透過型X線発生装置10を提供する。

【解決手段】周囲を電子通過路形成部材3で囲むことにより形成された電子通過路4を介して電子を透過型ターゲットに照射してX線を発生させる透過型X線発生装置10において、前記電子通過路4内に設けられた副X線発生面5に前記透過型ターゲットで反射された電子が照射されることにより発生するX線を外部に取出し可能とすると共に、前記透過型ターゲットの構成材料と、前記電子通過路形成部材3の少なくとも前記副X線発生面5の構成材料とを、原子番号が40以上の同じ材料とする。

。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

周囲を電子通過路形成部材で囲むことにより形成された電子通過路を有し、
前記電子通過路を介して電子を透過型ターゲットに照射して X 線を発生させる透過型 X 線発生装置であって、

前記透過型ターゲットは、照射された電子の一部を反射し、

前記電子通過路内に電子の照射により X 線を生じる副 X 線発生面を有し、

前記副 X 線発生面と前記透過型ターゲットとは、前記透過型ターゲットに直接電子が照射されることにより発生する X 線と、前記副 X 線発生面に前記透過型ターゲットで反射された電子が照射されることにより発生する X 線とが重畳されて外部に取出し可能となるように配置され、

前記透過型ターゲットの構成材料と、前記電子通過路形成部材の少なくとも前記副 X 線発生面の構成材料とが、原子番号が 40 以上の同じ材料であることを特徴とする透過型 X 線発生装置。

【請求項 2】

前記電子通過路の長さ z と半径 R の関係が $2 \leq z/R \leq 20$ であることを特徴とする請求項 1 に記載の透過型 X 線発生装置。

【請求項 3】

前記電子通過路の長さ z と半径 R の関係が $4 \leq z/R \leq 20$ であることを特徴とする請求項 1 に記載の透過型 X 線発生装置。

【請求項 4】

前記透過型ターゲットと前記電子通過路形成部材の構成材料が、Mo、W、ランタノイドのいずれかであることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の透過型 X 線発生装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、医療分野及び工業分野における診断や非破壊検査のための X 線撮影等に適用できる透過型 X 線発生装置に関する。

【背景技術】

【0002】

透過型ターゲットに電子を照射して X 線を発生させる透過型 X 線発生装置は、装置の小型化に適しているが、X 線の発生効率が極めて低い。これは、電子束を高エネルギーに加速し透過型ターゲットに照射して X 線を発生させる際、衝突する電子のエネルギーの約 1 % 以下が X 線となり、残りの約 99 % 以上が熱となるためである。このため、X 線発生効率の向上が求められている。

【0003】

特許文献 1 には、電子源とターゲットの間に、電子源からターゲットに向かって開口径を絞った円錐型チャンネルを有する陽極部材を配置し、電子をチャンネル表面で弾性散乱させターゲットに入射させることで X 線発生効率を向上させた X 線管球が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開平 9 - 171788 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来の透過型 X 線発生装置では、透過型ターゲットに電子が衝突する際には反射電子が発生するが、大部分の反射電子は X 線の発生に寄与しない。そのため、入力電力に対する

10

20

30

40

50

X線発生効率が十分ではなかった。

【0006】

そこで、本発明は、透過型ターゲットで反射した電子を有効利用することによりX線発生効率を向上させることができる透過型X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】

【0007】

上記課題を解決するために、本発明のX線発生装置は、周囲を電子通過路形成部材で囲むことにより形成された電子通過路を有し、

前記電子通過路を介して電子を透過型ターゲットに照射してX線を発生させる透過型X線発生装置であって、

前記透過型ターゲットは、照射された電子の一部を反射し、

前記電子通過路内に電子の照射によりX線を生じる副X線発生面を有し、

前記副X線発生面と前記透過型ターゲットとは、前記透過型ターゲットに直接電子が照射されることにより発生するX線と、前記副X線発生面に前記透過型ターゲットで反射された電子が照射されることにより発生するX線とが重畳されて外部に取出し可能となるように配置され、

前記透過型ターゲットの構成材料と、前記電子通過路形成部材の少なくとも前記副X線発生面の構成材料とが、原子番号が40以上の同じ材料であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、透過型ターゲットで発生するX線に加えて、透過型ターゲットで発生した反射電子が電子通過路形成部材に照射されることで発生するX線を外部に取り出すことができる。また、少なくとも電子通過路形成部材の副X線発生面の構成材料が、原子番号が40以上の材料であることにより反射電子の照射により生じるX線量が多くなる。しかも、透過型ターゲットの構成材料と、少なくとも電子通過路形成部材の副X線発生面の構成材料とが同じ材料であるので発生するX線の特性が等しくなる。これにより、有効利用しやすいX線発生効率を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の透過型X線発生装置に用いる透過型X線発生管の模式図である。

【図2】図1に示されるターゲット部の拡大模式図で、(a)は断面図、(b)は平面図である。

【図3】図1に示されるアノードを示す模式的拡大断面図である。

【図4】本発明に用いるアノードの第二の例を示す模式的断面図である。

【図5】本発明に用いるアノードの第二の例の変形例を示す模式的断面図である。

【図6】本発明に用いるアノードの第三の例を示す図で、(a)は模式的断面図、(b)はターゲット部の模式的平面図である。

【図7】図6に示されるターゲット部の変形例を示す模式図で、(a)は断面図、(b)は平面図である。

【図8】本発明の透過型X線発生装置の一例を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、図面を用いて本発明の実施形態を説明する。尚、本発明のX線発生装置は、中性子線等の他の放射線が発生させるものをも含む。

【0011】

〔第1の実施形態〕

図1は本発明に用いる透過型X線発生管の模式図、図2は図1に示されるターゲット部の拡大図である。

【0012】

真空容器9は、透過型X線発生管10の内部を真空に保つためのもので、ガラスやセラ

10

20

30

40

50

ミクス材料等が用いられる。真空容器 9 内の真空度は $10^{-4} \sim 10^{-8}$ Pa 程度である。真空容器 9 は開口部を有しており、その開口部には電子通過路 4 を形成するための電子通過路形成部材 3 が接合されている。図 1 及び図 2 に示されるように、この電子通過路 4 の端面に、透過型ターゲット 1 (以下、単にターゲット 1 と略す) と支持基板 2 からなるターゲット部 17 が接合されることにより真空容器 9 が密閉される。ターゲット 1 は、電子通過路形成部材 3 と電氣的に導通している。また、真空容器 9 には不図示の排気管を設けても良い。排気管を設けた場合、例えば排気管を通じて真空容器 9 内を真空に排気した後、排気管の一部を封止することで真空容器 9 の内部を真空にすることができる。真空容器 9 の内部には真空度を保つために、不図示のゲッターを配置しても良い。

【0013】

電子放出源 6 は、真空容器 9 の内部に、ターゲット 1 に対向して配置されている。電子放出源 6 にはタングステンフィラメントや、含浸型カソードのような熱陰極、又はカーボンナノチューブ等の冷陰極を用いることができる。電子放出源 6 より放出された電子線 11 は、電子通過路形成部材 3 により形成された電子通過路 4 の一端から入射して電子通過路 4 内を通過し、電子通過路 4 の他端側に設けられたターゲット 1 に照射される。ターゲット 1 に電子線 11 が照射されることにより、X 線 13 が発生し、発生した X 線は真空容器 9 の外部に取出される。透過型 X 線発生管 10 には、引出し電極 7 と集束電極 8 が設けられている。引出し電極 7 によって形成される電界によって電子放出源 6 から電子が放出され、放出された電子は集束電極 8 で収束され、ターゲット 1 に入射する。このとき、電子放出源 6 とターゲット 1 との間に印加される電圧 V_a は、X 線の使用用途によって異なるものの、概ね $40 \text{ kV} \sim 150 \text{ kV}$ 程度である。

【0014】

ターゲット 1 は、支持基板 2 の電子放出源側の面に配置されている。ターゲット 1 と電子放出源 6 の間には、電子通過路形成部材 3 が配置され、周囲を電子通過路形成部材 3 で囲むことにより両端が開口した電子通過路 4 が形成されている。電子通過路形成部材 3 の内壁面は、副 X 線発生面 5 となっている。副 X 線発生面 5 は、電子通過路形成部材 3 の内壁面の一部として形成されていても良いし、電子通過路形成部材 3 の表面に電子通過路形成部材 3 とは別部材で形成されていても良い。

【0015】

図 1 及び図 2 の構成において、電子放出源 6 から放出された電子線 11 は、電子通過路 4 を介してターゲット 1 に衝突する。加速された電子がターゲット 1 に衝突することで X 線が発生し、この時発生した X 線は、支持基板 2 を透過して透過型 X 線発生管 10 の外部に放出される。また、ターゲット 1 に電子が衝突した際には、X 線が発生するとともに、反射電子も発生する。ターゲット 1 は原子番号が 40 以上の材料 (金属) で構成されるため、電子の反射率は $20 \sim 60\%$ と比較的大きい。ターゲット 1 で生成された反射電子は、副 X 線発生面 5 に衝突し X 線を発生する。この時発生した X 線 (以下、「副 X 線」という) は、支持基板 2 を透過して透過型 X 線発生管 10 の外部に放出される。即ち、副 X 線発生面 5 に反射電子が照射されることで生じる X 線の少なくとも一部が、ターゲット 1 に直接電子が照射されたことで生じる X 線に重畳されて、支持基板 2 を透過して透過型 X 線発生管 10 の外部に放出される。

【0016】

図 3 に示すように、本例のアノード 16 は、ターゲット部 17 (ターゲット 1、支持基板 2)、電子通過路形成部材 3、遮蔽部材 18 により構成される。

【0017】

ターゲット 1 の材料は、通常、原子番号 26 以上の金属材料を用いることができる。より好適には、熱伝導率が大きく、比熱が大きいものほど良い。また、ターゲット 1 の膜厚は、発生した X 線が透過する厚さでなければならず、加速電圧によって電子線浸入深さすなわち X 線の発生領域が異なるため最適な値は異なるが、 $1 \mu\text{m} \sim 15 \mu\text{m}$ である。支持基板 2 はダイヤモンド等を用いることができ、その厚みは、 $0.5 \text{ mm} \sim 5 \text{ mm}$ が適当である。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 8 】

遮蔽部材 18 は、必須の部材ではないが、前方（ターゲット 1 から電子放出源 6 とは反対の方向）へ向かって放出された X 線のうち、必要とされる X 線を開口から取り出し、不要な X 線を遮蔽する機能を有する。遮蔽部材 18 に用いることができる材質は、40 kV ~ 150 kV で発生する X 線を遮蔽できるものであれば良く、X 線の吸収率が高く、かつ熱伝導率の高いものが好ましい。好適には、ターゲット 1 にタングステンをを用いた場合、遮蔽部材 18 にはタングステン、タンタル等、またはこれらの合金材料を用いることができる。ターゲット 1 にモリブデンを用いた場合、遮蔽部材 18 にはタングステン、タンタルの他、モリブデン、ジルコニウム、ニオブ等を用いることができる。

【 0 0 1 9 】

遮蔽部材 18 の開口の形状は、円形であっても角形であっても良い。遮蔽部材 18 の開口の大きさは、少なくとも必要な X 線が取り出せる大きさが必要である。開口の形状が円形の場合には直径 0.1 mm ~ 3 mm が好ましく、開口の形状が角形の場合には 1 辺が 0.1 mm ~ 3 mm が好ましい。これは、0.1 mm 以下では実質的に撮像時の X 線量が少なくなり使用しにくく、3 mm 以上では実質的に遮蔽体 18 への放熱効果が得られにくいからである。

【 0 0 2 0 】

また、遮蔽部材 18 の開口は、前方に向かって徐々に広がっていることが望ましい。すなわち、遮蔽部材 18 のターゲット側開口端から、遮蔽部材 18 のターゲット 1 とは反対側の開口端に向かって徐々に広がっていることが望ましい。これは、ターゲット側開口端が狭いとターゲット 1 で発生した熱がより速やかに遮蔽部材 18 に伝わって放熱でき、かつターゲット 1 とは反対側の開口端が広いと撮像時の X 線の照射領域を広くすることができるからである。

【 0 0 2 1 】

遮蔽部材 18 の厚さ a は、発生した X 線を実質的に問題ない範囲まで減少させる遮蔽効果を有する厚さであれば良い。この厚さは、発生する X 線のエネルギーによって異なる。例えば、X 線のエネルギーが 30 keV ~ 150 keV の場合、遮蔽効果の大きいタングステンでも、少なくとも 1 mm ~ 3 mm は必要である。X 線を遮蔽する観点からはこれ以上の厚さであれば問題ないが、熱容量、コスト、重量の観点からは 3 mm ~ 10 mm がより好ましい。

【 0 0 2 2 】

電子通過路形成部材 3 は、副 X 線発生面 5 として機能する以外に、後方（ターゲット 1 から電子放出源側に向かう方向）へ向かって放出される X 線を遮蔽する機能を有する。但し、電子通過路形成部材 3 の開口を通過して電子放出源側に放出される X 線は遮蔽できないため、別途遮蔽手段を設けてもよい。

【 0 0 2 3 】

ターゲット 1 で反射した反射電子により発生する副 X 線を効率的に発生させると共に、ターゲット 1 で発生する X 線と特性を等しくするためには、ターゲット 1 の材料と、少なくとも電子通過路形成部材 3 の副 X 線発生面 5 の構成材料との組み合わせが重要である。

【 0 0 2 4 】

ターゲット 1 に衝突した電子の一部は、入射した時のエネルギーの一部を失い、反射電子となって、電子通過路形成部材 3 の副 X 線発生面 5 に衝突する。ターゲット 1 に直接衝突する電子には所望の電圧が印加されているが、反射電子はエネルギーの一部を失って、ターゲット 1 への入射電圧以下の電圧になっている。X 線の発生は、電圧、電流、電子線が照射される材料によって影響を受けるため、反射電子による X 線の発生効率を高めるためには、少なくとも電子通過路形成部材 3 の副 X 線発生面 5 を構成する材料は、原子番号が 40 以上の材料であることが必要である。また、ターゲット 1 で発生する X 線と特性を等しくするためには、少なくとも電子通過路形成部材 3 の副 X 線発生面 5 を構成する材料はターゲット 1 の材料と同じ材料であることが必要である。ターゲット 1 の材料と電子通過路形成部材 3 の材料としては、Mo、W、ランタノイドのいずれかを好ましく用いるこ

10

20

30

40

50

とができる。

【0025】

本例の電子通過路形成部材3と副X線発生面5は一体的に同じ材料で構成されているが、電子通過路形成部材3の上に電子通過路形成部材3とは異なる材料の副X線発生面5が形成されていてもよい。例えば、ターゲット1の材料と副X線発生面5の構成材料をWとし、電子通過路形成部材3の材料を銅(Cu)とすることができる。このとき、副X線発生面5の厚みは、電子の侵入長以上であることが好ましく、 $1\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ が好ましい。

【0026】

ここで、副X線発生面5が形成される領域の好ましい範囲について説明する。図3において、電子通過路4の断面形状を円形とした場合、その大きさ(半径 = R)と電子通過路4の路長 Z (副X線発生面5のターゲット1からの形成距離)の好ましい範囲について述べる。路長 Z の好ましい範囲は、ターゲット1で発生した反射電子の周辺部への到達密度分布を考慮して設定することができる。ターゲット1で反射した反射電子の到達点は、ターゲット1からの距離 Z が $2R$ 以下の電子通過路内の周辺部表面に多く存在し、全体の80%程度が存在する。また、距離 Z が $4R$ 以下では全体の95%程度が存在する。さらに、距離 Z が $20R$ になると、反射電子の到達密度は、ほぼゼロに集束する。従って、電子通過路4の開口幅(電子通過路形成部材3の開口の大きさ)を $2R$ とした時に、距離 Z が少なくとも $2R$ 以下、好ましくは $4R$ 以下の領域には副X線発生面5が形成されていることが望ましい。従って、電子通過路形成部材3の開口の大きさ $2R$ と電子通過路の路長 Z は($2R \leq Z \leq 20R$)の関係を満たすことが望ましい。さらに、好ましくは、($4R \leq Z \leq 20R$)の関係を満たすことが望ましい。本実施形態では、路長 Z は電子通過路形成部材3の厚さ b に等しい。

【0027】

一方、電子通過路4の開口の大きさは、少なくとも電子線11がこの開口の中に入る大きさが必要である。その大きさは、電子放出源6の種類や集束電極8の種類により電子線11の集束状態が異なるため一意的には決まらないが、電子通過路4の断面形状を円形とすると、その直径は、 $0.5\text{mm} \sim 5.0\text{mm}$ であることが好ましい。また、電子通過路形成部材3の厚さ b は、X線の遮蔽効果を得るためには 1mm 以上は必要であることから、 $1\text{mm} \sim 25\text{mm}$ が好適である。

【0028】

電子通過路形成部材3の開口の形状は、円形以外に正多角形とすることもできる。これは、電子線11の断面の形状が、円形または四角形であることが多く、ターゲット1の電子線照射領域から電子通過路形成部材3までの距離をできるだけ等しくするためである。

【0029】

遮蔽部材18とターゲット部17との接合及びターゲット部17と電子通過路形成部材3との接合は、口ウ付けや、機械的な加圧、ねじ締め等により行うことができる。

【0030】

次に、図4を用いて第二の例に係るアノード16の構成及びX線の発生メカニズムについて説明する。

【0031】

図4に示されるように、電子通過路4の断面積は、ターゲット1に向かって連続的に拡大している。具体的には、本例の電子通過路1のターゲット1側は、すり鉢状又はラッパ状にターゲット1に向かって連続的に拡大している。また、電子通過路4の断面積が拡大した領域の内壁面は、副X線発生面5となっている。尚、電子通過路4の断面積が拡大した領域の内壁面の少なくとも一部が副X線発生面5となっていれば良い。

【0032】

次に、電子通過路4の好ましい形状について説明する。副X線発生面5とターゲット1とのなす角度の好ましい範囲について述べる。 $> 90^\circ$ では、発生したX線15の多くが副X線発生面5内を通過中に吸収され、外部にはわずかしが放出されない。 $= 90^\circ$

10

20

30

40

50

°では、発生したX線15の半分程度が副X線発生面5内で吸収される。 <90°では、発生したX線15の多く(少なくとも半分程度以上)が吸収されずに外部に放出される。よって、 <90°、即ち電子通過路4のターゲット1側の端部における断面積が、ターゲット1とは反対側に比して拡大した形状とすることで、発生したX線15が副X線発生面5内で吸収される割合を低減し、X線15の取り出し量を増大できる。

【0033】

また、X線強度の出射角度依存を考慮して、角度の好ましい範囲を設定することもできる。一般に10kV~200kVに加速された電子は、入射角度に強く依存することなく、副X線発生面5の数μm程度内部に侵入するため、副X線も副X線発生面5表面から数μm程度内側で多く発生する。発生する副X線は様々な角度に放出されるが、副X線の出射角度(副X線発生面5の表面からの角度)が小さい場合、副X線発生面5内部を通過する距離が長くなる。そのため、例えば <5°では、が小さくなるに従って、X線強度が急激に小さくなる。従って、X線強度の出射角度依存性を考慮して出射角度の下限を θ_0 とした場合、角度の好ましい範囲は、前述の好ましい範囲と合わせると、 <90°- θ_0 となる。 θ_0 を5°とすると、 <85°となる。また、ターゲットで反射された電子を内壁面に効率良く衝突させるための限界値を考慮すると、 θ_0 の下限は10° < θ_0 となる。よって、角度の好ましい範囲は10° < θ_0 < 85°である。

【0034】

図1~図3で説明した第一の例に係るアノード16と同様に、本例においても、電子通過路4の開口の大きさ2Rと副X線発生面5のターゲット1からの形成長さZは(2R < Z < 20R)の関係を満たすことが望ましい。さらに、好ましくは、(4R < Z < 20R)の関係を満たすことが望ましい。

【0035】

尚、図4では、副X線発生面5は電子通過路4の断面積が拡大した領域の内壁全面に形成されているが、副X線発生面5は必ずしも電子通過路4の断面積が拡大した領域の内壁全面に形成されていなくても良い。少なくとも上記好ましい距離Zの範囲を含む領域に形成されていれば良い。

【0036】

また、電子通過路4内に設けられた副X線発生面5に、反射電子12を衝突させて副X線を発生させ、副X線を透過型X線発生管10(図1参照)の外部に取り出す構成とするためには、副X線発生面5とターゲット1を次のように配置すれば良い。例えば、副X線発生面5を、ターゲット1の電子が照射される側の上方を覆うように張り出して配置すれば良い。他にも、ターゲット1に直接電子が照射されることにより発生するX線と副X線とが重畳されて外部に取出し可能となるように、副X線発生面5とターゲット1を配置すれば良い。この配置の場合、ターゲット1としては、照射された電子の20%~60%を反射する材料を用いることができる。これらの配置の場合でも、副X線発生面5は、電子通過路形成部材3と同じ材料で形成されていても良いし、電子通過路形成部材3とは異なる材料で形成されていても良い。

【0037】

副X線発生面5の形態は、副X線発生面5に反射電子が照射されることで生じたX線であって、ターゲット1の電子が照射される領域を透過するX線量を増大させる形態としておくことが好ましい。

【0038】

図4に示される例で用いられるターゲット1、支持基板2、電子通過路形成部材3の材料や形状は図1~図3で説明した第一の例と同じである。また、第一の例に係るアノード16と同様に、電子通過路形成部材3の表面に電子通過路形成部材3とは異なる材料の副X線発生面5が形成されていてもよい。

【0039】

以上、本例によれば、ターゲット1で発生するX線14に加えて、ターゲット1で発生した反射電子12により発生するX線15も、効率良く取り出す構成とすることにより、

10

20

30

40

50

X線発生効率を向上させることが可能となる。

【0040】

図5は、上記第二の例の変形例を示している。この例では、電子通過路形成部材3に形成された電子通過路4の形状が、上記第二の例と異なっている。即ち、本例における電子通過路4は、ターゲット1側が半球状となっている。電子通過路形成部材3及び電子通過路4の形状以外は、上記第二の例と同様とすることができる。この場合も上記第二の例と同様の効果が得られる。

【0041】

図6は、第三の例に係るアノード16を示している。アノード16は、X線透過窓を兼ねる支持基板2と、導電層60と、ターゲット1と、電子通過路形成部材3とで構成される。

10

【0042】

支持基板2は、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、ベリリウム等を用いることができる。より好ましくは、X線の透過率がアルミニウムよりも小さく熱伝導率がタングステンよりも大きい、ダイヤモンドが望ましい。支持基板2の厚さは、材料によって異なるが、0.3mm～2mmが好ましい。

【0043】

導電層19は、電子線11がターゲット1に照射され、電子によるターゲット部17のチャージアップを防ぐ目的で設けられるため、導電性を有するものであれば良く、多くの金属材料又は炭化物、酸化物等を用いることができる。支持基板2への導電層19の成膜は、スパッタ、蒸着によって行われる。支持基板2がグラファイトやベリリウムのような導電体、又は絶縁体に添加物によって導電性を付与できる材料であれば、導電層19は不要である。しかし、通常、市販されているダイヤモンドのような絶縁体では、導電性がないため、導電層19を設ける必要がある。また、導電層19を設けることにより、導電層19を介してターゲット1に電圧を供給することもできる。

20

【0044】

導電層19がターゲット部17のチャージアップを防ぐことのみを目的とするのであれば、導電性を有していれば、材料の種類や厚さに何ら制限はない。しかし、本実施形態では、導電層19には、電子通過路形成部材3に形成された電子通過路4の内壁面で発生する副X線を外部に取り出すための機能を持たせることを目的としているため、材料の種類や厚さについても影響を受ける。

30

【0045】

本例で用いられるターゲット1及び電子通過路形成部材3の材料や形状は前記第一の例に係るアノード16と同じである。また、第一の例と同様に、電子通過路形成部材3とは異なる材料で副X線発生面5が形成されていてもよい。

【0046】

第一の例に係るアノード16と同様に、電子通過路形成部材3は、両端が開口した電子通過路4を有し、電子通過路4の一端（電子放出源6側の端部の開口部）から電子が入射し、電子通過路4の他端側（電子放出源6と反対側）に設けられたターゲット1に電子が照射されてX線が発生する。電子通過路4は、ターゲット1よりも電子放出源6側では、電子線11をターゲット1の電子線照射領域（X線発生領域）に導くための通過路になっている。電子通過路4は、電子放出源6側から見たときの形状が円形でも良いし、四角形や楕円形等適宜、選択することができる。また、電子通過路形成部材3は、ターゲット1に衝突して反射した電子を電子通過路4の副X線発生面5に衝突させ、副X線が発生させる機能も有している。

40

【0047】

本例におけるターゲット部17は、支持基板2上に導電層19を設け、導電層19上の中央領域にターゲット1を設けた構成をとる。図6において、d1はターゲット1の径、d2は電子通過路4の内径である。ターゲット部17と電子通過路形成部材3は不図示の口ウ材により口ウ付けされ、真空容器9（図1参照）の内部が真空維持されている。図6

50

(b)における破線より外側の領域の導電層19は、ターゲット部17と電子通過路形成部材3を一体化すると、電子通過路形成部材3によって覆われる。

【0048】

電子放出源6から発生した電子線11は、電子通過路形成部材3により形成された電子通過路4を介してターゲット1に衝突し、ターゲット1からX線13が発生する。X線13の一部はターゲット1の自己吸収により減衰し、更にX線透過窓を兼ねる支持基板2によっても減衰するが、これらの減衰の程度は少なく、実質上、許容される。ターゲット1の径d1は、電子線11の断面の径にほぼ等しいことが望ましい。

【0049】

一方、ターゲット1に衝突した電子のうち、一部の電子は反射され、反射電子となって電子通過路4の内壁面に衝突し、内壁面から副X線が発生する。

10

【0050】

副X線がターゲット部17を透過するとき、導電層19、支持基板2の2層を透過するものと、ターゲット1、導電層19、支持基板2の3層を透過するものがある。ターゲット1は、電子を衝突させてX線を効率良く発生させる材料や厚さでなければならないので、使用条件に応じて最適化されていなければならない。一方、導電層60は、電子が衝突してX線が発生させることがほとんどないため、本来の機能である導電性と、X線透過性を考慮すれば良い。但し、副X線のエネルギーは、ターゲット1から放出されるX線のエネルギーに比べて小さいため、導電層60がターゲット1と同じ材質、同じ厚さであると、X線の吸収が大きくなり、十分に副X線を取り出すことができない場合がある。

20

【0051】

導電層19に用いるX線透過性の良い材料としては、軽元素が望ましく、例えばアルミ、チタン、窒化ケイ素、シリコン、グラファイト等を用いることができる。ターゲット1に比して質量の軽いこれらの元素を用いた場合の導電層19の厚さは、 $0.1\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{ m}$ が好ましい。導電層19の材料は、ターゲット1の材料と同じでも良い。導電層19の材料がターゲット1の材料と同じ場合、導電層19の厚さは、X線を透過させるために実質的に支障のない薄さであれば良い。一般的なターゲット1として通常用いられる原子番号26以上の金属材料であっても、その厚さが薄ければ、X線の透過率が高いため、導電層19として用いることができる。例えばタングステンをを用いた場合には、 $0.1\text{ nm} \sim 0.2\text{ }\mu\text{ m}$ であれば、X線を僅かに遮る程度であり、軽元素の場合と同様に用いることができる。

30

【0052】

また、本例では、支持基板2上に導電層19、導電層19上にターゲット1を設けているが、この順でなくても良く、ターゲット1上から支持基板2上に跨るように導電層60を設けることもできる。

【0053】

導電層19上にターゲット1を設けた場合には、ターゲット1で覆われた領域における導電層19の厚さを $0.1\text{ nm} \sim 0.1\text{ }\mu\text{ m}$ とするのが好ましい。この範囲の厚さにすることでX線放射時の良好な線形性と出力安定性を確保できるからである。尚、導電層19の厚さは、ターゲット1で覆われた領域以外では上記範囲でなくても良い。また、導電層19とターゲット1とが同じ材料の場合には、ターゲット1で覆われた領域における導電層60の厚さは上記範囲でなくても良い。

40

【0054】

ターゲット1上に導電層19を設けた場合には、ターゲット1を覆う領域の導電層19の厚さを $0.1\text{ nm} \sim 0.1\text{ }\mu\text{ m}$ とするのが好ましい。この範囲の厚さにすることで電子が導電層19に直接衝突することにより発生するX線量が許容範囲以下になるからである。尚、導電層19の厚さは、ターゲット1を覆う領域以外では電子が導電層19に直接衝突しないため上記範囲でなくても良い。また、導電層19とターゲット1が同じ材料の場合には、ターゲット1を覆う領域の導電層19の厚さは上記範囲でなくても良い。

【0055】

50

図 7 は、図 6 に示されるターゲット部 17 の変形例に係るターゲット部 17 の断面図及び平面図（ターゲット部 17 をターゲット 1 側から見た図）である。

【0056】

導電層 19 の形状が異なること以外は、図 6 の例と同じである。支持基板 2 上の中央領域に導電層 19 を設け、支持基板 2 上の中央領域以外の領域の一部にも中央領域から周縁に延びる導電層 19 を設けている。また、支持基板 2 の中央領域に位置する導電層 19 上にターゲット 1 を設けている。ターゲット 1 で覆われていない支持基板 2 上の周縁領域において、導電層 19 はこの周縁領域の一部に設けられており、この周縁領域のその他の部分は、支持基板 2 の露出面になっている。

【0057】

本例によれば、ターゲット 1 で覆われていない支持基板 2 の周縁領域において、導電層 19 が覆っているのは一部だけであり、周縁領域の他の部分は支持基板 2 の露出面になっている。このため、この周縁領域における副 X 線の透過性が良好になる。従って、ターゲット 1 で発生した反射電子により発生する副 X 線も、効率良く取り出すことができる。これにより、X 線発生効率を向上させることが可能となる。

【0058】

次に、図 8 を用いて透過型 X 線発生管を備えた本発明の X 線発生装置について説明する。図 8 は本実施形態の X 線発生装置の構成図である。

【0059】

まず、本発明に用いられる透過型 X 線発生管 10 を備えた X 線発生装置 24 について説明する。X 線発生装置 24 は、外囲器 20 の内部に、透過型 X 線発生管 10 を収納している。外囲器 20 には、X 線取出し窓 21 が備えられており、透過型 X 線発生管 10 より放出された X 線は、X 線取出し窓 21 を透過して、X 線発生装置 24 外部に放出される。

【0060】

外囲器 20 の内部に透過型 X 線発生管 10 を収納した余空間には絶縁性媒体 23 が充填されていても良い。絶縁性媒体 23 としては、例えば絶縁媒体及び透過型 X 線発生管 10 の冷却媒体としての役割を有する電気絶縁油を用いるのが好ましい。電気絶縁油としては、鉱油、シリコン油等が好適に用いられる。その他に使用可能な絶縁性媒体 23 としては、フッ素系電気絶縁液体等が挙げられる。

【0061】

また、外囲器 20 の内部には、本実施形態のように不図示の回路基板及び絶縁トランス等から構成される電圧制御部 22 を設けても良い。電圧制御部 22 を設けた場合、例えば透過型 X 線発生管 10 に、電圧制御部 22 から電圧信号が印加され X 線の発生を制御することができる。

【0062】

以上、本実施形態によれば、透過型ターゲット 1 で発生する X 線 14 に加えて、透過型ターゲット 1 で発生した反射電子 12 により発生する X 線 15 も取り出せるため、X 線発生効率を向上させた透過型 X 線発生装置を実現できる。

【実施例】

【0063】

（実施例 1）

図 1～図 3 で説明したような透過型 X 線発生管 10 を作成した。

【0064】

高圧合成ダイヤモンドをターゲット 1 の支持基板 2 として用意した。高圧高温ダイヤモンドは、直径 5 mm、厚さ 1 mm のディスク状（円柱状）の形状である。予め、UV - オゾンアッシャにより、ダイヤモンドの表面にある有機物を除去した。

【0065】

このダイヤモンド基板の一方の面上に、スパッタ法により、Ar をキャリアガスとして、あらかじめ、チタン層を形成し、その後、ターゲット 1 として 8 μ m の厚さのタンゲステン層を形成した。このようにして、ターゲット部 17 を得た。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 6 】

このターゲット部 1 7 の周りにチタンを活性金属成分としたメタライズ層を形成し、その上に、銀、銅、チタンからなるろう材を付けた。

【 0 0 6 7 】

一方、電子通過路形成部材 3 としてタングステンの部材を用意し、ターゲット部 1 7 の保持部及び電子通過路 4 を形成した。保持部の直径は 5 . 3 mm、電子通過路 4 の半径 R 及び電子通過路 4 の長さ Z は、表 1 に条件 1 ~ 1 8 として示すごとくパラメータとして異なる値で作製した。

【 0 0 6 8 】

ろう材を付けたターゲット部 1 7 を、上記のような形状に加工した電子通過路形成部材 3 にセットして、8 5 0 で焼成し、アノード 1 6 を作製した。

10

【 0 0 6 9 】

次に、図 1 に示すように、ターゲット部 1 7 と電子通過路形成部材 3 を一体としたアノード 1 6 を、電子放出源 6 を有する含侵型の熱電子銃をターゲット 1 と対向させて、電子線 1 1 が電子通過路 4 の中に入るように位置決めした。そして、ゲッターを配置し、真空封止し、透過型 X 線発生管 1 0 を作製した。

【 0 0 7 0 】

ターゲット部 1 7 は、支持基板 2 とその表面に形成されたターゲット 1 により構成される。ターゲット 1 は、電子通過路形成部材 3 と電気的に導通している。ターゲット 1 は、支持基板 2 の電子放出源 6 側の面に配置されている。ターゲット 1 と電子放出源 6 の間には、電子通過路形成部材 3 が配置され、周囲を電子通過路形成部材 3 で囲むことにより、両端が開口した電子通過路 4 が形成されている。電子通過路形成部材 3 の内壁面は、副 X 線発生面 5 となっている。

20

【 0 0 7 1 】

また、比較のために、図 1 中の電子通過路形成部材 3 を設けない比較用透過型 X 線発生管も作製した（条件 1 9）。最後に本発明の効果を確認するため、透過型 X 線発生管 1 0 及び比較用透過型 X 線発生管によって得られる X 線量を測定した。この X 線量の測定は電離箱方式の線量計で行った。透過型 X 線発生管 1 0 及び比較用透過型 X 線発生管の駆動は、加速電圧が 1 0 0 k V で、電流が 5 m A、照射時間が 1 0 0 m s e c で行った。電子線の直径は、0 . 3 mm から 2 mm の間で、電子レンズにより制御した。

30

【 0 0 7 2 】

表 1 は、比較用透過型 X 線発生管によって得られる X 線量を 1 0 0 としたときの条件 1 から条件 1 9 までの透過型 X 線発生管 1 0 の X 線量を示している。表 1 に示されるように、条件 1 から条件 1 8（実施例）の全てにおいて、X 線量が 1 0 4 ~ 1 6 4 で、副 X 線の発生がない、電子通過路形成部材 3 のない条件 1 9（比較例）に対し、より多くの X 線が得られた。

【 0 0 7 3 】

（実施例 2）

次に、実施例 2 について説明する。

【 0 0 7 4 】

支持基板 2 は、実施例 1 と同様なダイヤモンド基板で、同様な処理をした。その後、ターゲット 1 として 8 μ m の厚さのモリブデン層を形成した。このようにして、ターゲット部 1 7 を得た。尚、その他のターゲット部 1 7 の構成は実施例 1 と同様である。

40

【 0 0 7 5 】

このターゲット部 1 7 の周りにチタンを活性金属成分としたメタライズ層を形成し、その上に、銀、銅、チタンからなるろう材を付けた。

【 0 0 7 6 】

一方、電子通過路形成部材 3 としてモリブデン部材を用意し、実施例 1 と同様な寸法、形状とした。また、電子通過路 4 の半径 R と電子通過路の長さ Z は、表 2 に従って、条件 2 0 から条件 3 7 の寸法とし、さらに、実施例 1 と同様にアノード 1 6 を作製して、透過

50

型 X 線発生管 10 を完成させた。また、比較のために、図 1 中の電子通過路形成部材 3 を設けない比較用透過型 X 線発生管も作製した（条件 38）。この透過型 X 線発生管 10 及び比較用透過型 X 線発生管の X 線量の測定は電離箱方式の線量計で行った。

【0077】

透過型 X 線発生管 10 及び比較用透過型 X 線発生管の駆動は、加速電圧が 40 kV で、電流が 5 mA、照射時間が 100 msec で行った。電子線の直径は、0.3 mm から 2 mm の間で、電子レンズにより制御した。

【0078】

表 2 は、電子通過路形成部材 3 を設けない比較用透過型 X 線発生管によって得られる X 線量を 100 としたときの条件 20 から条件 38 までの透過型 X 線発生管 10 の X 線量を示している。表 2 に示されるように、条件 20 から条件 37（実施例）の全てにおいて、X 線量が 103 ~ 151 で、副 X 線発生がしない電子通過路形成部材 3 のない条件 38（比較例）に対してより多くの X 線が得られた。

10

【0079】

（実施例 3）

次に、実施例 3 について説明する。

【0080】

支持基板 2 は、実施例 1 と同様なダイヤモンド基板で、同様な処理をした。その後、ターゲット 1 として 8 μ m の厚さのセリウム層を形成した。このようにして、ターゲット部 17 を得た。尚、その他のターゲット部 17 の構成は実施例 1 と同様である。

20

【0081】

このターゲット部 17 の周りにチタンを活性金属成分としたメタライズ層を形成し、その上に、銀、銅、チタンからなるろう材を付けた。

【0082】

一方、電子通過路形成部材 3 としてセリウム部材を用意し、実施例 1 と同様な寸法、形状とした。また、電子通過路 4 の半径 R と長さ Z は、表 3 に従って、条件 39 及び条件 40 の寸法で作製し、さらに、実施例 1 と同様にアノード 16 を作製して、透過型 X 線発生管 10 を完成させた。また、比較のために、図 1 中の電子通過路形成部材 3 を設けない比較用透過型 X 線発生管も作製した（条件 41）。この透過型 X 線発生管 10 及び比較用透過型 X 線発生管の X 線量の測定は電離箱方式の線量計で行った。

30

【0083】

透過型 X 線発生管 10 及び比較用透過型 X 線発生管の駆動は、加速電圧が 40 kV で、電流が 5 mA、照射時間が 100 msec で行った。電子線の直径は、0.3 mm から 2 mm の間で、電子レンズにより制御した。

【0084】

表 3 は、電子通過路形成部材 3 を設けない比較用透過型 X 線発生管によって得られる X 線量を 100 としたときの条件 39 と条件 40 の透過型 X 線発生管 10 の X 線量を示している。表 3 に示されるように、条件 39 及び 40（実施例）における X 線量が 150 及び 143 で、反射電子を受けることのできる電子通過路形成部材 3 のない条件 41（比較例）に対してより多くの X 線が得られた。

40

【0085】

（実施例 4）

次に、実施例 4 を説明する。

【0086】

支持基板 2 は、実施例 1 と同様なダイヤモンド基板で、同様な処理をした。その後、ターゲット 1 として 8 μ m の厚さのランタン層を形成した。このようにして、ターゲット 17 を得た。尚、その他のターゲット部 17 の構成は実施例 1 と同様である。

【0087】

このターゲット部 17 の周りにチタンを活性金属成分としたメタライズ層を形成し、その上に、銀、銅、チタンからなるろう材を付けた。

50

【0088】

一方、電子通過路形成部材3としてランタン部材を用意し、電子通過路4の半径Rと長さZは表4に従って、条件42及び条件43の寸法で作製し、さらに、実施例1と同様にアノード16を作製して、透過型X線発生管10を完成させた。また、比較のために、図1中の電子通過路形成部材3を設けない比較用透過型X線発生管も作製した(条件44)。この透過型X線発生管10及び比較用透過型X線発生管のX線量の測定は電離箱方式の線量計で行った。

【0089】

透過型X線発生管10及び比較用透過型X線発生管の駆動は、加速電圧が40kVで、電流が5mA、照射時間が100msで行った。電子線の直径は、0.3mmから2mmの間で、電子レンズにより制御した。

10

【0090】

表4は、電子通過路形成部材3を設けない比較用透過型X線発生管によって得られるX線量を100としたときの条件42と条件43の透過型X線発生管10のX線量を示している。表3に示されるように、条件42及び43(実施例)におけるX線量が151及び144で、反射電子を受けることのできる電子通過路形成部材3のない条件44(比較例)に対してより多くのX線が得られた。

【0091】

(実施例5)

次に、実施例5について説明する。

20

【0092】

本実施例では、図4に示すように、電子通過路4の断面積を、ターゲット1に向かって連続的に拡大したものとした。また、電子通過路4の断面積が拡大した領域の内壁面は、副X線発生面5となっている。尚、電子通過路4の断面積が拡大した領域の内壁面の少なくとも一部が副X線発生面5となっていれば良く、その他は実施例1と同様である。尚、電子通過路4の半径Rは1mm、電子通過路4の長さZは11mmとした。

【0093】

透過型X線発生管10を完成後、X線量の測定を電離箱方式の線量計で行った。透過型X線発生管10の駆動は、加速電圧が100kVで、電流が5mA、照射時間が100msで行った。電子線の直径は、0.3mmから2mmの間で、電子レンズにより制御した。

30

【0094】

その結果、実施例1で作成した比較用透過型X線発生管に対してより多くのX線が得られた。

【0095】

(実施例6)

本実施例では、図6に示すようなアノード16とした。アノード16は、X線透過窓を兼ねる支持基板2と、導電層19と、ターゲット1と、電子通過路形成部材3とで構成されている。導電層19は、電子線11がターゲット1に照射され、電子によるターゲット部17のチャージアップを防ぐ目的で設けられている。また、導電層19を介してターゲット1に電圧を供給することもできる。

40

【0096】

本実施例で用いられるターゲット1及び電子通過路形成部材3の材料や形状は実施例1と同じである。尚、電子通過路4の半径Rは1mm及び電子線導入孔の長さZは11mmとした。

【0097】

透過型X線発生管10を完成後、X線量の測定を電離箱方式の線量計で行った。透過型X線発生管10の駆動は、加速電圧が100kVで、電流が5mA、照射時間が100msで行った。電子線の直径は、0.3mmから2mmの間で、電子レンズにより制御した。

50

【 0 0 9 8 】

その結果、実施例 1 で作成した比較用透過型 X 線発生管に対してより多くの X 線が得られた。

【 0 0 9 9 】

【表 1】

条件No.	Z (mm)	R (mm)	Z / R	X線量
条件 1	1 2	2	6	1 5 4
条件 2	1	2	0. 5	1 1 0
条件 3	1 2	1. 5	8	1 5 7
条件 4	1	1. 5	0. 6 7	1 2 0
条件 5	1 2	1	1 2	1 6 4
条件 6	8	1	8	1 5 7
条件 7	4	1	4	1 5 0
条件 8	1	1	1	1 2 1
条件 9	0. 5	1	0. 5	1 1 0
条件 1 0	0. 1	1	0. 1	1 0 4
条件 1 1	1 2	0. 5	2 4	1 6 1
条件 1 2	8	0. 5	1 6	1 6 4
条件 1 3	4	0. 5	8	1 5 7
条件 1 4	1	0. 5	2	1 4 3
条件 1 5	0. 5	0. 5	1	1 2 9
条件 1 6	0. 1	0. 5	0. 2	1 0 5
条件 1 7	1 2	0. 3	4 0	1 6 4
条件 1 8	1	0. 3	3. 3 3	1 5 0
条件 1 9	ターゲット 1 のみ (電子通過路形成部材 3 なし)			1 0 0

10

20

【 0 1 0 0 】

30

【表 2】

条件No.	Z (mm)	R (mm)	Z/R	X線量
条件20	12	2	6	142
条件21	1	2	0.5	108
条件22	12	1.5	8	145
条件23	1	1.5	0.67	115
条件24	12	1	12	151
条件25	8	1	8	146
条件26	4	1	4	147
条件27	1	1	1	117
条件28	0.5	1	0.5	109
条件29	0.1	1	0.1	103
条件30	12	0.5	24	148
条件31	8	0.5	16	153
条件32	4	0.5	8	146
条件33	1	0.5	2	134
条件34	0.5	0.5	1	123
条件35	0.1	0.5	0.2	106
条件36	12	0.3	40	151
条件37	1	0.3	3.33	140
条件38	ターゲット1のみ (電子通過路形成部材3なし)			100

10

20

【0101】

【表 3】

条件No.	Z (mm)	R (mm)	Z/R	X線量
条件39	8	1	8	150
条件40	4	1	4	143
条件41	ターゲット1のみ (電子通過路形成部材3なし)			100

30

【0102】

【表 4】

条件No.	Z (mm)	R (mm)	Z/R	X線量
条件42	8	1	8	151
条件43	4	1	4	144
条件44	ターゲット1のみ (電子通過路形成部材3なし)			100

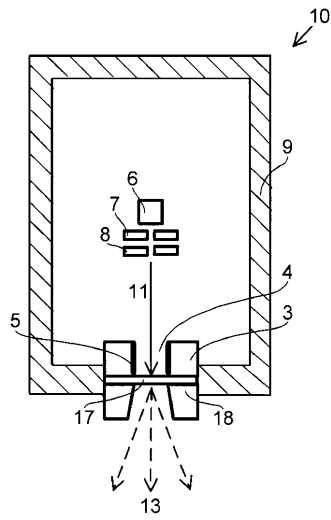
40

【符号の説明】

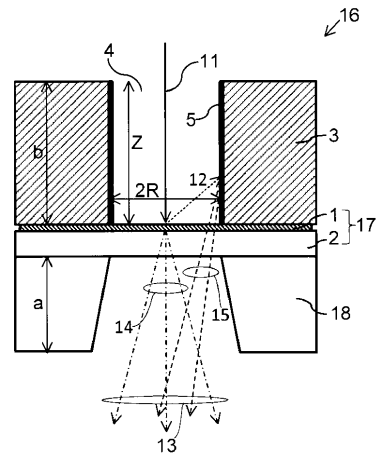
【0103】

1：透過型ターゲット（ターゲット）、2：支持基板、3：電子通過路形成部材、4：電子通過路、5：副X線発生面

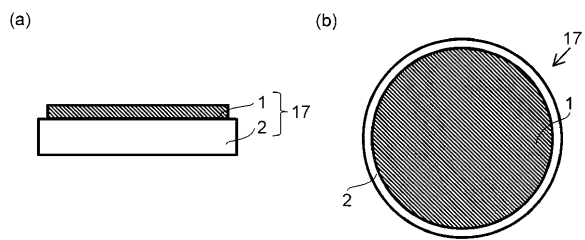
【 図 1 】



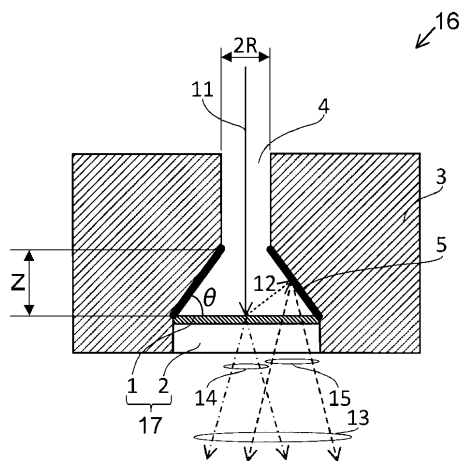
【 図 3 】



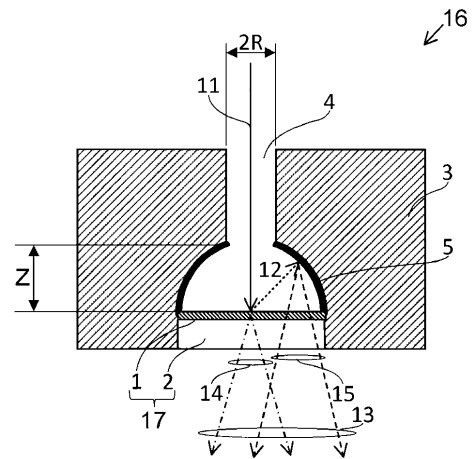
【 図 2 】



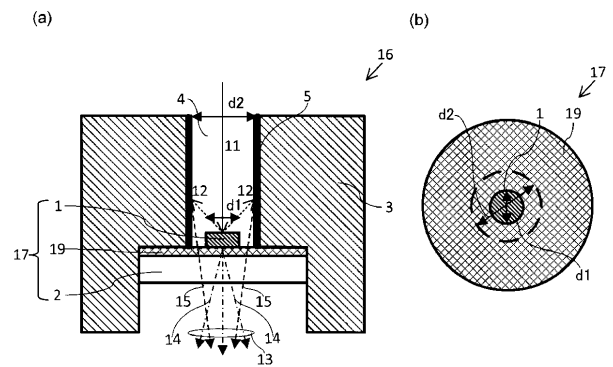
【 図 4 】



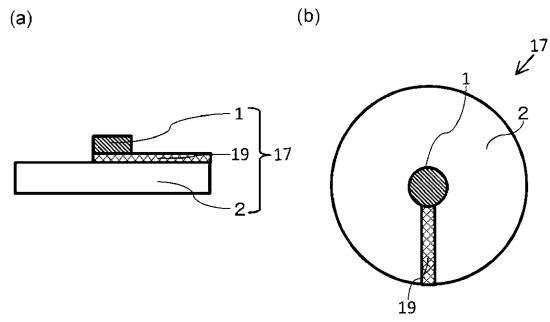
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

