

(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2012-256443

(P2012-256443A)

(43) 公開日 平成24年12月27日(2012.12.27)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H O 1 J 35/08 (2006.01)</b>	H O 1 J 35/08	F
	H O 1 J 35/08	B
	H O 1 J 35/08	C

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2011-127512 (P2011-127512)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成23年6月7日 (2011.6.7)		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	100126240
			弁理士 阿部 琢磨
		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(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	佐藤 安栄
			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	伊藤 靖浩
			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

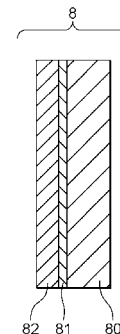
(54) 【発明の名称】 X線放出ターゲットおよびX線放出装置

(57) 【要約】

【課題】 ターゲットの過熱を抑制し、温度上昇に伴う出力変動を抑制し、高出力かつ安定したX線放出特性を有するX線放出ターゲットおよびX線放出装置を提供する。

【解決手段】 ダiamond基板と、前記diamond基板上に配され、第1の金属を含有する第1の層と、前記第1の層の上に配され、原子番号が42以上であって、前記第1の金属の熱伝導率よりも高い熱伝導率を有する第2の金属を含有する第2の層とを備え、前記第1の層の層厚が、0.1nm以上かつ100nm以下であるX線放出ターゲット。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ダイヤモンド基板と、  
前記ダイヤモンド基板の上に配され、第 1 の金属を含有する第 1 の層と、  
前記第 1 の層の上に配され、原子番号が 42 以上であって、前記第 1 の金属の熱伝導率よりも高い熱伝導率を有する第 2 の金属を含有する第 2 の層とを備え、  
前記第 1 の層の層厚が、0.1 nm 以上かつ 100 nm 以下である事を特徴とする X 線放出ターゲット。

## 【請求項 2】

前記第 1 の層の層厚が、1 nm 以上 10 nm 以下である請求項 1 に記載の X 線放出ターゲット。

## 【請求項 3】

前記第 1 の金属と前記第 2 の金属との固溶体が、前記第 1 の層と前記第 2 の層との境界に存在している事を特徴とする請求項 1 または 2 に記載の X 線放出ターゲット。

## 【請求項 4】

前記第 1 の金属は、チタン、バナジウム、タンタル、クロムのいずれかからなる事を特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の X 線放出ターゲット。

## 【請求項 5】

前記第 1 の金属は、500 から 1500 の温度域における炭化物生成標準自由エネルギーが -40 kJ/mol 以下であ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 X 線放出ターゲット。

## 【請求項 6】

前記第 1 の金属は、チタンまたはタンタルからなる事を特徴とする請求項 5 に記載の X 線放出ターゲット。

## 【請求項 7】

前記第 2 の金属は、タングステンからなる事を特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の X 線放出ターゲット。

## 【請求項 8】

内部が減圧されている真空外囲器と、  
前記真空外囲器の内部に配された電子放出源と  
前記電子放出源と前記第 2 の層とが対向するように配された請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の X 線放出ターゲットとを備えた X 線放出装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、X 線放出ターゲットおよび X 線放出装置に関し、特に医療機器および産業機器分野における診断応用や非破壊 X 線撮影等に適用できる、透過型 X 線放出ターゲットおよび、それを用いた X 線放出装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

X 線放出ターゲットとして、透過型ターゲットが公知である。透過型ターゲットでは、電子放出源とターゲット部と取り出し窓とを直線上に配置する事ができるので、透過型ターゲットの小型 X 線放出装置への応用が期待されている。

特許文献 1 には、ダイヤモンド基板上にタングステンのアノードを形成する際に、アノードとダイヤモンド基板の間に密着促進層を中間層として配置する事が開示されている。特許文献 2 では、ベリリウム基板上にタングステンのアノードを形成する際に、アノードとベリリウム基板間に、線膨張量の差に伴う応力剥がれを防止する為に、銅、クロム、鉄、チタン等の中間層を配置する事が開示されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】特表 2 0 0 3 5 0 5 8 4 5 号公報

【特許文献 2】特開 2 0 0 0 3 0 6 5 3 3 号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 0 4 】

ダイヤモンドが有する、低密度（原子番号  $Z = 6$ ）、高熱伝導度（ $= 1 \text{ E } 3 \sim 2 \text{ E } 3 \text{ W / m} \cdot \text{K}$ ）、高耐熱性（融点  $3550$ ）等の特異な物理特性により、ダイヤモンドを基板とした透過型ターゲットは、放熱性の点で有利である。しかしながら、透過型 X 線ターゲットにおいてダイヤモンドを基板とした場合であっても、ターゲットにおける局在化した発熱の非局在化、すなわち、ターゲットのアノードの発熱部からダイヤモンド基板への熱伝達特性が必ずしも十分ではなかった。そのため、ターゲットから放出される X 線の放出強度の変動（出力変動）が生じる場合があった。出力変動が抑制され安定した高出力動作を図る事は、X 線ターゲットを用いた X 線分析システムの高感度化、高性能化において重要である。

10

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 5 】

本発明の X 線放出ターゲットは、ダイヤモンド基板と、前記ダイヤモンド基板の上に配され、第 1 の金属を含有する第 1 の層と、前記第 1 の層の上に配され、原子番号が 4 2 以上であって、前記第 1 の金属の熱伝導率よりも高い熱伝導率を有する第 2 の金属を含有する第 2 の層とを備え、前記第 1 の層の層厚が、 $0.1 \text{ nm}$  以上かつ  $100 \text{ nm}$  以下である事を特徴とする。

20

## 【発明の効果】

## 【 0 0 0 6 】

本発明によれば、ダイヤモンド基板とターゲット層（アノード）との間の熱伝達特性に優れ、ターゲット層の温度上昇に伴う出力変動を抑制し、高出力かつ安定した X 線放出特性を有する X 線放出ターゲットおよび X 線放出装置を提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 0 7 】

【図 1】本発明における X 線放出装置の断面図

30

【図 2】本発明における X 線放出ターゲットの断面図

【図 3】本発明における他の X 線放出ターゲットの断面図

【図 4】本発明における X 線放出部の断面図

【図 5】本発明における X 線放出ターゲットの伝熱径路を説明するための説明図

【図 6】本発明における実験装置のブロック図

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 0 8 】

図 1 を用いて本発明の X 線放出装置の構成例について説明する。

## 【 0 0 0 9 】

X 線放出装置 13 は、放出窓 10 を有した筐体 11 と X 線放出源 1 と駆動回路 14 から構成される。X 線放出源 1 は、X 線透過窓 9 を有する外囲器 6 からなる。外囲器 6 の内部は、減圧（真空排気）された内部空間 12 となっている。内部空間 12 は、電子の平均自由行程として、後述する電子放出源 3 と X 線放出ターゲット 8（以下、ターゲットと略す）の間の距離を少なくとも電子が飛翔可能なだけの真空度であれば良く、 $1 \text{ E } - 4 \text{ Pa}$  以下の真空度が適用可能である。使用する電子放出源や、動作する温度等を考慮して適宜選択する事が可能であり、冷陰極電子放出源等の場合は、 $1 \text{ E } - 6 \text{ Pa}$  以下の真空度とする事がより好ましい。真空度の維持の為に、不図示のゲッタを内部空間 12、若しくは、内部空間 12 に連通している不図示の補助スペースに設置する事も可能である。

40

## 【 0 0 1 0 】

外囲器 6 内に配置する電子放出源 3 としては、外囲器 6 の外部より放出電子量を制御可

50

能な電子放出源であれば良く、熱陰極型電子放出源、冷陰極型電子放出源を適宜適用する事が可能である。電子放出源 3 は、外囲器 6 を貫通するよう配した電流導入端子 4 を介して、電子放出量および電子放出のオン・オフ状態を制御可能なように、外囲器 6 の外部に設置した駆動回路 14 に電氣的に接続される。電子放出源 3 は、電子放出部 2 を有している。電子放出部 2 から放出された電子は、不図示の引き出しグリッド及び加速電極により、 $10\text{ keV} \sim 200\text{ keV}$  程度のエネルギーを有する電子ビーム 5 となり、電子放出部 2 に対向して配置した、ターゲット 8 に、入射可能となっている。前述の引き出しグリッド、加速電極は、熱陰極の電子銃管に内蔵する事も可能である。また、電子ビームの照射スポット位置および電子ビームの非点収差の調整の為に補正電極を電子放出源 3 に配置し、補正電極を、筐体 11 の内外に配置した不図示の補正回路と接続する事も可能である。また、筐体 11 は、所定の電位に規定する事が好ましく、接地端子 16 を介して接地する事が可能である。

10

20

30

40

50

#### 【0011】

次に、ターゲット 8 について図 1 および図 2 を用いて説明する。ターゲット 8 は、外囲器 6 内の真空雰囲気中に配置され、電子放出源 3 からの電子ビーム 5 を、その一方の面に入射可能な位置に配置される。ターゲット 8 は重元素からなるターゲット物質により構成され、ターゲット物質内において、入射した電子ビームの電子が運動エネルギーを失う過程で X 線が発生する。すなわち、ターゲット物質内の（電子侵入長×電子ビームスポット）の領域が X 線の発生領域となり、ここから、全方位に X 線が放射される。本発明の X 線放出源 1 においては、発生した X 線のうち、電子入射面の裏面側より放出された成分を利用するものである。

#### 【0012】

ターゲット 8 は、ターゲット保持部 7 に固定される。電子放出源 3 と、ターゲット 8、放出 X 線の取り出し部（透過窓 9 および放出窓 10）とは、それらの中心が同一直線上となるように配置される。さらに、ターゲット保持部 7 は、加速された電子ビーム 5 をターゲット 8 に入射させる為に、所定の電位にターゲットを電位規定する為の電氣的接続機構を兼ねる事が可能である。従って、ターゲット保持部 7 は、ターゲット部の温度が変動した場合にも、安定した位置規定性能が維持される為の耐熱性と、電氣的接続性能が維持されるための導電性とを有する材料を使用する事が好ましい。さらに、ターゲットの保持部 7 は、放射 X 線の外部取り出し成分 15 を規定するアパーチャ機構すなわち、X 線遮蔽作用をも有する事が可能である。従って、ターゲット保持部 7 は、耐熱性と、導電性と、X 線非透過の為に高い比重とを有する事がさらに望ましく、例えば、モリブデン、タンタル、タングステン等の重金属、すなわち、原子番号 30 以上の金属が使用可能である。

#### 【0013】

ターゲット保持部 7 は、ターゲット 8 の位置および電子放出源との相対的な角度を規定するターゲット保持面 7C を有する。さらに、ターゲット保持部 7 は、ターゲット保持面 7C より、電子放出源 3 側に突出した部位を有し、これを後方ターゲット保持部 7A とする。さらに、ターゲット保持部 7 は、ターゲット保持面 7C より、放出窓 10 側に突出した部位を有し、これを前方ターゲット保持部 7B とする。後方ターゲット保持部 7A が、高比重材料で構成されている場合は、ターゲット 8 で発生する反射電子と電子放出源 3 側に放射される X 線の放射範囲を制限する事ができる。同様にして、前方ターゲット保持部 7B が、高比重材料で構成されている場合は、ターゲット 8 で発生する電子放出源 3 側に放射される X 線の放射範囲を制限する事ができる。前述のターゲット 8 から離れた位置にあって部材の嵩が高い筐体 11 および外囲器 6 に、高比重の高比重材料を設ける場合に比較して、ターゲット 8 により近い位置にあるターゲット保持部 7B に高比重材料を設ける場合の方が、X 線発生装置全体の重量増を抑制する効果があり、軽量化の点で有利である。

#### 【0014】

ターゲット 8 についてさらに詳細に、図 2 を用いて説明する。ターゲット 8 は、ダイヤモンド基板 80 と、500 から 1500 の温度域における炭化物標準生成自由エネルギー

ギーが負である金属を含有する第 1 の層 8 1 と、原子番号が 4 2 以上の金属を含有する第 2 の層 8 2 がこの順に積層した構成からなる。

【0015】

ダイヤモンド基板 8 0 は、少なくとも第 1 の層 8 1 と第 2 の層 8 2 を付与する側の面（内面）と、その面の裏面として X 線を取り出す為の面（外面）と、ターゲット保持部 7 と接続する為の側面とを有している。ダイヤモンド基板 8 0 の厚さ（内面と外面との距離）は、面内で実質的に一定であることが、X 線の透過率分布を均一化する点で好ましい。ダイヤモンド基板 8 0 は、円柱状（ディスク状）、平板状の形状とする事が可能である。ダイヤモンド基板 8 0 の厚さの上限は、X 線の透過率の観点で決める事が可能であり、厚さの下限は、熱伝達性と強度の観点から決める事が可能であって、 $50\text{ }\mu\text{m} \sim 2000\text{ }\mu\text{m}$  の範囲を使用する事が可能である。特に好ましくは、 $350\text{ }\mu\text{m} \sim 1200\text{ }\mu\text{m}$  の範囲を使用する事が可能である。ダイヤモンド基板 8 0 は、単結晶体、多結晶体、ダイヤモンドライクカーボン（DLC）のような非晶質体のいずれでも良いが、熱伝導性の観点からは単結晶体である事が好ましい。同様に、ダイヤモンド基板 8 0 を得る為の製法についても、化学気相成長法（CVD）、焼結体形成法、種結晶と原料炭素と触媒金属を用いて高圧下で合成した高圧合成法のいずれでも可能であり、特に限定されないが、厚さの確保と熱物性、純度の観点からは、高圧合成法が好ましく適用される。

【0016】

次に、第 2 の層 8 2 について説明する。第 2 の層 8 2 の含有する第 2 の金属は、入射電子を効率的に X 線に変換する為に高い比重を有する材料が使用される。具体的には、前記第 2 の層 8 2 は、原子番号が 4 2 以上の金属を含有する。例えば、タングステン、ルテニウム、白金、イリジウム、タンタル等が適用可能である。電子から X 線への変換に關与する領域は、同時に、発熱の領域でもあり、第 2 の層 8 2 の層厚方向で電子侵入長の範囲に局所的な発熱スポット生じる。第 2 の層 8 2 が高い熱伝導性を有する材料である事は、発熱部より低温であるターゲット保持部 7 への熱伝達性の点で有利であり、電子照射スポット 5 3 の過熱を緩和する事が可能となる。特にタングステンは、高融点  $3380$  であり、広い温度域で  $100\text{ W/mK}$  より大の高熱伝導率を有する材料であってより好ましい材料の一つである。第 2 の層 8 2 の膜厚は、X 線の（発生量、減衰量、線質）、電子の加速電圧、ターゲット支持部への熱伝達の観点から選択する事が可能であり、例えば、 $1\text{ }\mu\text{m} \sim 15\text{ }\mu\text{m}$  の範囲を実施する事が可能である。より高電圧で加速した電子を利用する場合は、第 2 の層 8 2 へ電子侵入長よりも高膜厚とする事が可能であるが、制動放射成分よりも特性放射成分を支配的としたい場合は、電子侵入長より低膜厚とする事が可能である。第 2 の層 8 2 の形成方法は、ダイヤモンド基板や第 1 の層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、CVD、蒸着等が利用可能である。

【0017】

次に、第 1 の層 8 1 について説明する。ダイヤモンドは、高熱伝導性、高耐熱性、低比重の点からダイヤモンド基板および X 線の透過窓として優れている。然しながら、ターゲット材料に適用可能な高比重な各種金属材料とダイヤモンドとは親和性が低い為に、ターゲット金属（第 2 の層 8 2）の成膜時および X 線放出動作時に膜剥がれを生じる等の密着性の問題を有していた。第 1 の層 8 1 は、当該密着性の問題を改善する目的から、ダイヤモンド基板 8 0 と第 2 の層 8 2 の層間に、密着層として配置するものである。第 1 の層 8 1 は、ダイヤモンドと炭化物を形成する第 1 の金属を含有する事でダイヤモンドと密着性を確保する事が可能であり、炭化物の標準生成自由エネルギーが負である材料からなる。炭化物の標準生成自由エネルギーとは、炭化物を単体（金属）から

生成するときの自由エネルギー変化である。炭化物の標準生成自由エネルギーは、一般に温度特性を有しており、本発明における炭化物の標準生成自由エネルギーが考慮すべき温度範囲は、ターゲットの動作温度および第 2 層が含有する金属の融点を考慮して、 $500 \sim 1500$  である。本発明の第 1 の層の炭化物の標準生成自由エネルギーは、負である事が、第 1 の層 8 1 とダイヤモンド基板 8 0 間のアンカリング効果を得られる点で好ましい。本発明の第 1 の層の炭化物の標準生成自由エネルギーが  $-40\text{ kJ/mol}$  以

10

20

30

40

50

下である事により、第１の層８１の層厚が薄くても、ダイヤモンド基板８０と間で充分なアンカリングの効果を得る事が可能であり、より好ましい。さらに、第２の層が含有する金属と第１の層が含有する金属が固溶体を形成する事が、第１の層８１と第２の層８２との間の高い親和性を利用可能となるので、より一層好ましい。同様の観点から、第２の層が含有する金属と第１の層が含有する金属が、全率固溶の関係にある事がより好ましい。

#### 【００１８】

具体的には、第２の層８２がタングステンであった場合には、第１の層としては、チタン、バナジウム、タンタル、クロムを適用する事で、第２の層８２と第１の層８１の各層其々に存在する金属元素同士が、任意の組成比で固溶体を形成する事が可能である。前述の通り、任意の組成比で固溶体を形成可能な材料からなる層間の界面は、連続的な金属濃度分布が形成される事で、二つの層の界面が強固に密接する事が可能となる。

#### 【００１９】

さらには、第１の層８１を構成する金属元素が、５００～１５００における炭化物の標準生成自由エネルギーが負である事を満足する事を本発明の実施形態は含み、第１の層８１とダイヤモンド基板８０との密着性を確保する事が可能となる。さらに、第１の層８１として、チタン、バナジウム、タンタル、クロムを適用する事により、第１の層８１を構成する金属元素が、５００～１５００における炭化物の標準生成自由エネルギーが－４０ｋＪ／ｍｏｌ以下である事を満足し、第１の層８１とダイヤモンド基板８０との密着性をより一層確保する事が可能である。さらに、第１の層８１として、チタン、タンタルを適用する事により、炭化物の標準生成自由エネルギーが－１００ｋＪ／ｍｏｌ以下で有る事を満足し、さらにより一層の密着性を、第１の層８１とダイヤモンド基板８０との間で確保する事が可能である。第１の層８１の形成方法は、ダイヤモンド基板８０や第２の層８２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、ＣＶＤ、蒸着等が様々な成膜方法が利用可能である。

#### 【００２０】

次に、第１の層８１の膜厚の好適な範囲について説明する。第１の層８１が含有する第１の金属は、前述のように、密着性に優れた金属であるが、これら金属の熱伝導率は、表１に示す通り、第２の層８２に好適なタングステンよりも、必ずしも高い熱伝導率を有さない。

#### 【００２１】

【表１】

	チタン	バナジウム	タンタル	クロム	タングステン (第２の層)
熱伝導率 (W/mK)	14/13	36.8	54/60.2	76.2/67.4	121
温度(℃)	400/600	500	100/627	426/760	500

#### 【００２２】

このため、第１の層８１の層厚が厚すぎると、発熱部からダイヤモンド基板８０への熱伝達が阻害される。第２の層８２の発熱部からの熱伝達について図５を用いて具体的に説明する。図５は、熱伝達パスを説明する為の説明図であり、図５（Ａ）が上面図、図５（Ｂ）が上面図に対応する断面図である。半径ｒ２のディスク状で厚さｔ０のダイヤモンド基板５０の上に、層厚ｔ１の第１の層５１と層厚ｔ２の第２の層５２が、それぞれ各層の下層の周縁部まで覆うように積層されている。積層されたターゲットは、各層の周縁部において、ターゲット保持部５４により固定されている。第２の層には電子照射スポットに相当する高温部を、第１の層の加熱部５３として示し、加熱部５３は、第２の層８２の外周円と同心円状に半径ｒ１で示している。ここで、加熱部５３から低温部（ターゲット保持部）５４への熱伝達を考える。なお、ダイヤモンド基板５０、第１の層５１、第２の層

10

20

30

40

50

5 2 の各熱伝導率は、それぞれ、 0、 1、 2 とした。

【 0 0 2 3 】

第 2 の層 5 2 の加熱部 5 3 から、直下の第 1 の層の熱伝達径路 5 7 を介してダイヤモンド基板 5 0 に流れる熱流径路の熱伝達率  $K_1$  は、式 1 となる。

【 0 0 2 4 】

【数 1】

$$K_1 = \frac{\lambda_1 \pi (r_1)^2}{t_1} \quad \text{式 1}$$

10

【 0 0 2 5 】

第 2 の層 5 2 の加熱部 5 3 から第 2 の層 5 2 の膜面の方向に放射状に熱伝達し、低温部 5 4 に至る熱流経路 5 8 の熱伝達率  $K_2$  は、式 2 となる。

【 0 0 2 6 】

【数 2】

$$K_2 = \frac{2\pi(t_2)\lambda_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad \text{式 2}$$

20

【 0 0 2 7 】

第 1 の層 5 1 からダイヤモンド基板 5 0 がその中央部で受けた熱流を、ダイヤモンド基板 5 0 の中央部から基板面方向に放射状に熱伝達し、低温部 5 4 に至る熱流経路 5 9 の熱伝達率  $K_0$  は、式 3 となる。

【 0 0 2 8 】

【数 3】

$$K_0 = \frac{2\pi(t_0)\lambda_0}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad \text{式 3}$$

30

【 0 0 2 9 】

ここで、各熱流径路 5 7、5 8、5 9 の熱流の連続の関係を満足する条件と、熱流径路 5 7 が、加熱部 5 3 からダイヤモンド基板 5 0 への熱伝達上のボトルネック (Thermal Flow 流れを制限する意味当業者 - 伝熱技術分野の技術常識の範囲；英英辞書 a narrow or obstructed section, where movement is slowed down) とならない為の条件は、式 4 で示される。

40

【 0 0 3 0 】

【数 4】

$$\left(K_0^{-1} + K_1^{-1}\right)^{-1} \geq K_2 \quad \text{式 4}$$

【 0 0 3 1 】

50

熱伝導率  $\lambda_0$  が高いダイヤモンドを基板としている為、第 2 の層 5 2 の熱伝導率  $\lambda_2$  との関係では、式 5 を満たす。

【 0 0 3 2 】

【数 5】

$$\lambda_0 \gg \lambda_1 \quad \text{式 5}$$

【 0 0 3 3 】

ダイヤモンド基板 5 0 の厚さ  $t_0$ 、第 2 の層 5 2 の厚さ  $t_2$  の関係  $t_0 > t_2$ 、および、ダイヤモンド基板 5 0 の熱伝導率  $\lambda_0$ 、第 2 の層 5 2 の熱伝導率  $\lambda_2$  の関係  $\lambda_0 > \lambda_2$  および、式 2、式 3 から自明な、熱伝達率の関係  $K_0 > K_2$  であることを考慮して、整理すると、第 1 の層 5 1 の厚さ  $t_1$  の上限は、第 1 の層 5 1 と第 2 の層 5 2 の形状と熱伝導率で規定され、式 6 のようになる。

【 0 0 3 4 】

【数 6】

$$t_1 \leq \frac{1}{2} \frac{1}{t_2} (r_1)^2 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \ln(r_2 / r_1) \quad \text{式 6}$$

【 0 0 3 5 】

式 6 は、第 1 の層 5 1 の熱的ボトルネックを解消し、より高熱伝達なダイヤモンド基板 5 0 を、支配的な熱伝導経路とする事が可能となる技術的な意義を有する。例えば、第 2 の層 5 2 の層厚が大きい時には、第 1 の層 5 1 の層厚の上限をより一層小さくする事により、第 1 の層 5 1 の熱的なボトルネックを解消する事が可能であることを意味する。このようにする事で、ターゲット金属層（第 2 の層 5 2）への電子照射密度が増大した場合にも、X 線放出スポットである第 2 の層 5 2 の加熱部 5 3 の過熱を緩和する事が可能となる効果を得る事ができる。

【 0 0 3 6 】

第 1 の層 5 1 の層厚  $t_1$  が式 6 を満たした上で、さらに、第 1 の層の層厚  $t_1$  が、 $0.1 \text{ nm}$  以上  $100 \text{ nm}$  以下の範囲を満たす事により、X 線放出動作時の線形性と出力安定性を確保した X 線放出ターゲットと X 線放出装置を提供する事が可能であることを、本発明者等は見出した。さらには、前記第 1 の層 5 1 の層厚が、 $1 \text{ nm}$  以上  $10 \text{ nm}$  以下である事により、X 線放出動作時のより一層高い出力安定性を確保する事が可能であることを見出した。

【 0 0 3 7 】

なお、ダイヤモンド基板 8 0 に対する、第 1 の層 8 1 および第 2 の層 8 2 の積層の形態は、図 2 に示すように、ダイヤモンド基板の片面全体を覆うような形態に限らず、図 3 (B) 乃至図 3 (D) の各図に示すように、さまざまな被覆状態をも含む。第 1 の層 8 1 および第 2 の層 8 2 をどの範囲まで被覆するかは、図 3 (A) のように、電子ビーム 3 5 の照射範囲や、ターゲット保持部 7 との電氣的接続を考慮して、決定する事が可能である。本発明のターゲット 8 のターゲット保持部 7 に対する固定方法は、不図示の銀口ウ材等の導電性の接続部材を用いる方法、あるいは、圧着方法等が利用可能である。

【 0 0 3 8 】

また、ターゲット保持部 7 とターゲット 8 からなる X 線放出部の形態については、図 1 に示す形態に限らずに、図 4 (A) 乃至図 4 (D) に示すような様々な形態をとる事が可能である。どのような形態でターゲット 8 をターゲット保持部 7 が保持するかは、ターゲット 8 への電氣的接続および、ターゲット 8 の第 2 の層 8 2 で反射する反射電子の到達範囲、および、放出 X 線や後方散乱 X 線の放射範囲を考慮して適宜決定する事が可能である。

【 0 0 3 9 】

10

20

30

40

50



また、電子放出源 3 および X 線の放射ターゲット 8 は、X 線放出装置 1 3 および X 線放出源 1 に対して、図 1 のように単数配置するだけでなく、それぞれ複数配置する事も本発明は含む。

#### 【0040】

また、電子放出源 3 とターゲット 8 との電位関係は、筐体 1 1 の電位、および、電源回路の種類等により適宜選択可能である。電子放出源 3 とターゲット 8 との電位関係は、加速した電子ビーム 5 がターゲット 8 に所定の運動エネルギーで入射可能であればよく、例えば、電子放出源 3 の加速電極を接地した上で、電子放出部（カソード）2 を接地電位に対して負電位に規定するようにする事も可能であるし、電子放出部 2 と加速電極の間の任意の電位を接地して、加速電極を正電位に、電子放出部 2 の電位を負電位に規定する事も可能である。

10

#### 【実施例】

#### 【0041】

（第 1 の実施例）

第 1 の実施例を、図 2、図 4 B、図 6 を用いて詳細に説明する。

#### 【0042】

まず、住友電気工業株式会社製の高圧合成ダイヤモンドをダイヤモンド基板 8 0 として用意した。ダイヤモンド基板 8 0 は、直径 5 mm、厚さ 1 mm のディスク状（円柱状）の形状であり、室温での熱伝導率は、 $2000 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  である。予め、UV - オゾンアッシャにより、ダイヤモンド基板 8 0 の表面にある有機物を除去した。

20

#### 【0043】

このダイヤモンド基板の直径 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 をキャリアガスとして、チタンからなる第 1 の層 8 1 を 10 nm の厚さで形成した。チタンの成膜時のダイヤモンド基板は、 $260^\circ\text{C}$  となるように基板加熱した。次に、成膜装置の雰囲気をも脱気する事なしに、連続成膜により、第 1 の層 8 1 の上に、Ar 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第 2 の層 8 2 を  $8 \mu\text{m}$  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基板 8 0 は、チタンの成膜時と同様に、 $260^\circ\text{C}$  となるようにステージにより基板加熱した。成膜過程で予め用意したモニター基板により各層の熱伝導率を評価したところ、第 1 の層の熱伝導率は、 $16 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  であり、第 2 の層の熱伝導率は、 $178 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  であった。

30

#### 【0044】

第 1 の層 8 1 および第 2 の層 8 2 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積層した。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。

#### 【0045】

得られた、ターゲット 8 の断面を、機械研磨と FIB 加工処理により、第 2 の層 8 2、第 1 の層 8 1 およびダイヤモンド基板 8 0 の界面を含むようにした断面検体 S 1 を準備した。準備した検体 S 1 を X 線電子分光法（XPS）により、組成と結合の分布状態をマッピングしたところ、第 1 の層 8 1 に対応するチタンが支配的な領域と、ダイヤモンド基板 8 0 に対応する炭素が支配的な領域との境界に、チタンと炭素の結合が存在する事を確認した。また、前記検体 S 1 と同様にして、FIB 加工処理する事により、透過型電子線顕微鏡（TEM）観察用の検体 S 2 を準備した。その後、透過型電子線顕微鏡の明視野像観察と、電子線回折分析（ED）と電子線分光分析（EDX）を組合せて、結晶性分布と結晶方位分布と組成分布を評価した。得られた結晶方位のマッピングをした。この結果、第 2 の層 8 2 に対応するタングステンが支配的な領域と、第 1 の層 8 1 に対応するチタンが支配的な領域の遷移領域にタングステンとチタンの固溶体が形成されている事を確認した。このようにして、図 2 に示すような、ダイヤモンド基板 8 0、チタンからなる第 1 の層 8 1、タングステンからなる第 2 の層 8 2 がこの順に積層したターゲット 8 を得た。次に、ターゲット 8 を後方ターゲット保持部 7 A、前方ターゲット保持部 7 B からなるタング

40

50

ステン製のターゲット保持部 7 に挟持し、さらに不図示の銀口ウを接続層として用いて、図 4 ( A ) のように、第 2 の層 8 2 が後方ターゲット保持部 7 A と接触するように固定した。

#### 【 0 0 4 6 】

次に、ターゲット 8 とターゲット保持部 7 とからなるユニット ( X 線放出部 ) を、ターゲット 8 と、電子放出部 2 を有する含侵型の熱電子銃を電子放出源 3 とを、第 2 の層 8 2 と電子放出部 2 とが正対する様に対向させた。さらに、図 6 に示すように、前記ユニットと電子放出源 3 を、フランジ 1 9 を有する真空チャンバ 1 8 に配置した。ターゲット保持部 7 は、フランジ 1 9 を介して真空チャンバに固定される。ターゲット 8 は、ターゲット保持部 7、フランジ 1 9 を介して真空チャンバとの間で電気的な導通が得られるよう接続した。さらに、真空チャンバ 1 8 は、真空チャンバ 1 8 に接続した接地端子 1 6 により接地電位に電位規定した。電子放出源 3 のカソードは、 - 1 2 0 k V に不図示の電源回路により電位規定し、ターゲット 8 の第 2 の層 8 2 の中心に、 1 2 0 k e V の運動エネルギーを有する電子ビーム 5 を照射可能となるようにした。電子放出源 3 の周縁部と後方ターゲット保持部 7 A の周縁部には、内部に水を還流する不図示の銅製の冷却管を配置して、電子放出源 3 とターゲット 8 およびターゲット保持部 7 を、X 線出力動作時に冷却可能なようにした。

#### 【 0 0 4 7 】

次に、電子放出部 2 とディスク状のターゲット 8 の中心を結ぶ延長上で、かつ、ダイヤモンド基板 8 0 の大気側面より大気側に 1 0 0 c m 離れた箇所に、2 種の線量計 ( 2 0 , 2 1 ) を交換可能なように配置した。片方の線量計 2 0 は、電離箱方式の線量計であり、線量の時間積分値を測定する為に配置し、もう片方の線量計 2 1 は、半導体検出器を有して時間変動を測定する為に配置した。電子放出源 3 からの放出電流密度を変化させて、線量計 2 0 により電子照射量に対する X 線量の線形性を測定した。さらに、電子放出源 3 を 0 . 1 秒、1 秒、3 秒間連続照射した時間経過後に、線量計 2 1 により検出した検出強度の中心値の 1 秒間の時間変動を測定した。なおいずれの電子照射も、第 2 の層 8 2 の真空側表面に焦点をアライメントし、電子ビーム 5 のスポット半径は、0 . 5 m m となるようにした。これらの評価結果を表 2 および、表 3 に示す。なお、線形性と安定性のいずれの評価も、第 2 の層 8 2 から接地電極に流れる電流を検知して、不図示の負帰還回路により、第 2 の層に流れる電流密度を 1 % 以内の変動値とするよう制御した。

#### 【 0 0 4 8 】

##### 【表 2】

	線量計 2 0 検出		
電流密度 ( mA/mm <sup>2</sup> )	5	1 0	2 0
検出線量の相対強度	1	2.01	3.96
線形性評価	基準	○	○

#### 【 0 0 4 9 】

10

20

30

40

【表 3】

	線量計 2 1 検出		
電流密度 ( mA/mm <sup>2</sup> )	1 0	1 0	1 0
電子照射経過時間 t ( min )	0.1	1	3
検出線量の変動率 ( % )	2.3%	2.4%	2.5%
安定性評価	基準	○	○

10

## 【 0 0 5 0 】

本実施例の X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性のいずれの評価においても、十分な線形性と安定性を確認した。( 本実施例およびその他の実施例の X 線出力特性結果のうち線形性評価結果を示す表 2、4、6、8、10、12 の各表中の「 」は、線形性評価結果が問題無かった事を示す。さらに、出力安定性評価結果を示す表 3、5、7、9、11、13 の各表中の「 」は、出力安定性評価結果が問題無かった事を示している。 )

20

( 第 2 の実施例 )

第 1 の実施例の第 1 の層 8 1 の層厚を 1 nm、第 2 の層 8 2 の層厚を 7 μm とした事以外は、実施例 1 と同様にして、X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性を評価した。これらの評価結果を表 4 および、表 5 に示す。

30

## 【 0 0 5 1 】

【表 4】

	線量計 2 0 検出		
電流密度 ( mA/mm <sup>2</sup> )	5	1 0	2 0
検出線量の相対強度	1	2.02	3.99
線形性評価	基準	○	○

40

## 【 0 0 5 2 】

【表 5】

	線量計 2 1 検出		
電流密度 (mA/mm <sup>2</sup> )	1 0	1 0	1 0
電子照射経過時間 t (min)	0.1	1	3
検出線量の変動率 (%)	2.3%	2.3%	2.4%
安定性評価	基準	○	○

10

## 【0053】

本実施例の X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性のいずれの評価においても、十分な線形性と安定性を確認した。

## 【0054】

(第 3 の実施例)

20

第 1 の実施例の第 1 の層 8 1 の層厚を 1 0 0 nm、第 2 の層 8 2 の層厚を 5 . 5 μm とした事以外は、実施例 1 と同様にして、X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性を評価した。これらの評価結果を表 6 および、表 7 に示す。

## 【0055】

【表 6】

	線量計 2 0 検出		
電流密度 (mA/mm <sup>2</sup> )	5	1 0	2 0
検出線量の相対強度	1	1.99	3.95
線形性評価	基準	○	○

30

## 【0056】

【表 7】

	線量計 2 1 検出		
電流密度 ( mA/mm <sup>2</sup> )	1 0	1 0	1 0
電子照射経過時間 t ( min )	0.1	1	3
検出線量の変動率 ( % )	2.5%	2.8%	2.9%
安定性評価	基準	○	○

10

【 0 0 5 7 】

20

本実施例の X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性のいずれの評価においても、十分な線形性と安定性を確認した。

【 0 0 5 8 】

( 第 4 の実施例 )

第 1 の実施例の第 1 の層 8 1 の層厚を 0 . 1 n m、第 2 の層 8 2 の層厚を 5 . 6 μ m とした事以外は、実施例 1 と同様にして、X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性を評価した。これらの評価結果を表 8 および、表 9 に示す。

【 0 0 5 9 】

【表 8】

30

	線量計 2 0 検出		
電流密度 ( mA/mm <sup>2</sup> )	5	1 0	2 0
検出線量の相対強度	1	1.99	3.98
線形性評価	基準	○	○

40

【 0 0 6 0 】

【表 9】

	線量計 2 1 検出		
電流密度 ( mA/mm <sup>2</sup> )	1 0	1 0	1 0
電子照射経過時間 t ( min )	0.1	1	3
検出線量の変動率 ( % )	2.5%	2.7%	2.8%
安定性評価	基準	○	○

10

## 【 0 0 6 1 】

20

本実施例の X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性のいずれの評価においても、十分な線形性と安定性を確認した。

## 【 0 0 6 2 】

( 第 5 の実施例 )

第 1 の実施例の第 1 の層 8 1 を、スパッタ成膜したタンタルとして、第 1 の層 8 1 の層厚を 1 0 0 n m とした事以外は、実施例 1 と同様にして、X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性を評価した。なお、形成したタンタルからなる第 1 の層の室温での熱伝導率は、5 8 W / m ・ K であった。これらの評価結果を表 1 0 および、表 1 1 に示す。

## 【 0 0 6 3 】

30

【表 1 0】

	線量計 2 0 検出		
電流密度 ( mA/mm <sup>2</sup> )	5	1 0	2 0
検出線量の相対強度	1	1.99	4.01
線形性評価	基準	○	○

40

## 【 0 0 6 4 】

【表 1 1】

	線量計 2 1 検出		
電流密度 ( mA/mm <sup>2</sup> )	1 0	1 0	1 0
電子照射経過時間 t ( min )	0.1	1	3
検出線量の変動率 ( % )	2.2%	2.2%	2.4%
安定性評価	基準	○	○

10

## 【 0 0 6 5 】

20

本実施例の X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性のいずれの評価においても、十分な線形性と安定性を確認した。

## 【 0 0 6 6 】

また、実施例 1 と同様にして、X P S により、第 1 の層 8 1 と基板 8 0 との間の界面の組成 結合の分布解析をしたところ、第 1 の層 8 1 に対応するタンタルが支配的な領域と、ダイヤモンド基板 8 0 に対応する炭素が支配的な領域との境界に、タンタルと炭素の結合が存在する事を確認した。さらに、実施例 1 と同様にして、透過型電子線顕微鏡の明視野像観察と、電子線回折分析 ( E D ) と電子線分光分析 ( E D X ) を組合せて、結晶性分布と結晶方位分布と組成分布を評価した。得られた結晶方位のマッピングをした。この結果、第 2 の層 8 2 に対応するタンゲステンが支配的な領域と、第 1 の層 8 1 に対応するタ

30

## 【 0 0 6 7 】

( 第 6 の実施例 )

第 1 の実施例の第 1 の層 8 1 をスパッタ成膜したタンタルとして層厚を 1 n m とした事以外は、実施例 1 と同様にして、X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性を評価した。これらの評価結果を表 1 2 および、表 1 3 に示す。

## 【 0 0 6 8 】

【表 1 2】

	線量計 2 0 検出		
電流密度 ( mA/mm <sup>2</sup> )	5	1 0	2 0
検出線量の相対強度	1	1.99	3.99
線形性評価	基準	○	○

10

【 0 0 6 9 】

【表 1 3】

	線量計 2 1 検出		
電流密度 ( mA/mm <sup>2</sup> )	1 0	1 0	1 0
電子照射経過時間 t ( min )	0.1	1	3
検出線量の変動率 ( % )	2.1%	2.2%	2.4%
安定性評価	基準	○	○

20

30

【 0 0 7 0 】

本実施例の X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性のいずれの評価においても、十分な線形性と安定性を確認した。

【 0 0 7 1 】

( 第 7 の実施例 )

第 1 の実施例と同様にして、ターゲット 8 の第 2 の層 8 2 と、電子放出部 2 とが正対するように対向させ、かつ、図 1 に示すように、ベリリウムからなる厚さ 1 mm の透過窓 9 を具備し、かつ、窒化ホウ素からなるセラミック製の外囲器 6 の中に、第 1 の実施例のターゲット 8 と電子放出源 3 とのそれぞれを配置した。ターゲット保持部 7 は、セラミック製の外囲器 6 に予め設けた不図示の電極との間で電氣的に導通している。ターゲット 8 の非成膜面側が大気側を向き、成膜面側が真空側を向いている。透過窓 9 の中心と、ターゲット 8 の中心と、電子放出部 2 の中心とが同一直線上に並ぶように、透過窓 9、ターゲット 8、電子放出部 2 がそれぞれ固定されている。次に、外囲器 6 の内部空間 1 2 を減圧して真空外囲器 6 とした。真空外囲器 6 に設けた電極は、接地電位に電位規定され、電子放出源 3 のカソードが  $-120\text{ kV}$  となるようにして、ターゲット 8 の第 2 の層の中心部に、 $120\text{ keV}$  の運動エネルギーの電子を照射可能となるようにした。この真空外囲器 6 からなる X 線放出源 1 を、電子銃を駆動する駆動回路 1 4 とともに、図 1 のように、絶縁

40

50



シリコン油で満たした筐体 1 1 の筐体内部空間 1 7 に配置して、X 線放出装置 1 3 を完成させた。得られた X 線放出装置 1 3 に対して、実施例 1 と同様にして、X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性を評価した。これらの評価結果を表 1 4 および、表 1 5 に示す。なお、線形性と安定性のいずれの評価も、第 2 の層 8 2 から接地電極に流れる電流を検知して、不図示の負帰還回路により、第 2 の層に流れる電流密度を 1 % 以内の変動値とするよう制御した。

【 0 0 7 2 】

【表 1 4】

	線量計 2 0 検出		
電流密度 ( mA/mm <sup>2</sup> )	5	1 0	2 0
検出線量の相対強度	1	1.98	3.95
線形性評価	基準	○	○

10

【 0 0 7 3 】

【表 1 5】

	線量計 2 1 検出		
電流密度 ( mA/mm <sup>2</sup> )	1 0	1 0	1 0
電子照射経過時間 t ( min )	0.1	1	3
検出線量の変動率 ( % )	2.5%	2.4%	2.5%
安定性評価	基準	○	○

20

30

【 0 0 7 4 】

本実施例の X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性のいずれの評価においても、十分な線形性と安定性を確認した。

【 0 0 7 5 】

以上、実施例 1 乃至実施例 6 で得られたいずれの X 線放出ターゲット 8、および実施例 7 の X 線放出装置 1 3 は、X 線出力強度の電子照射量に対する線形性、高ドーズ電子照射条件における X 線出力強度の安定性において、十分な線形性と安定性を確認した。

40

【符号の説明】

【 0 0 7 6 】

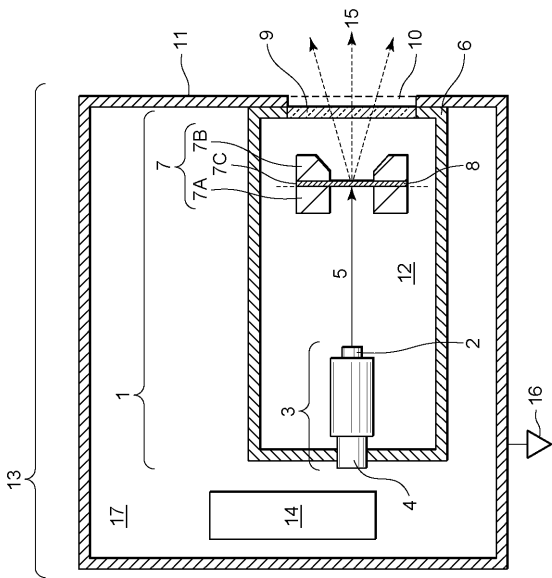
5 0、8 0 ダイヤモンド基板

5 1、8 1 第 1 の層

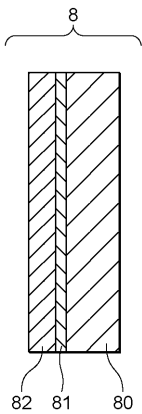
5 2、8 2 第 2 の層

8 X 線放出ターゲット

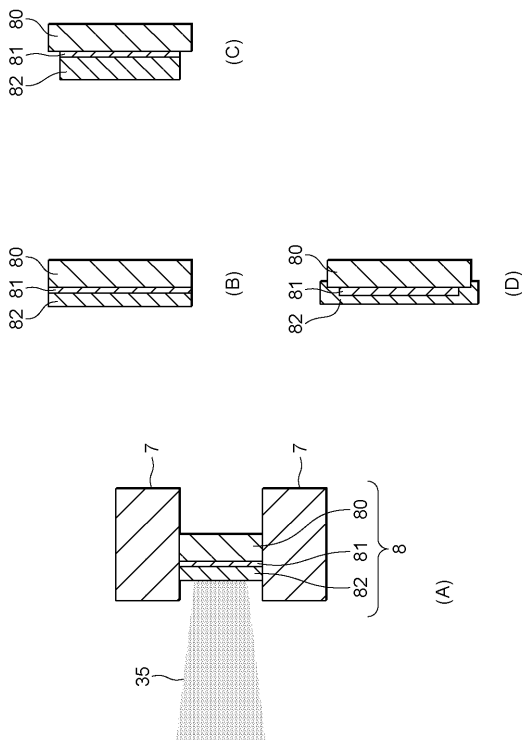
【図 1】



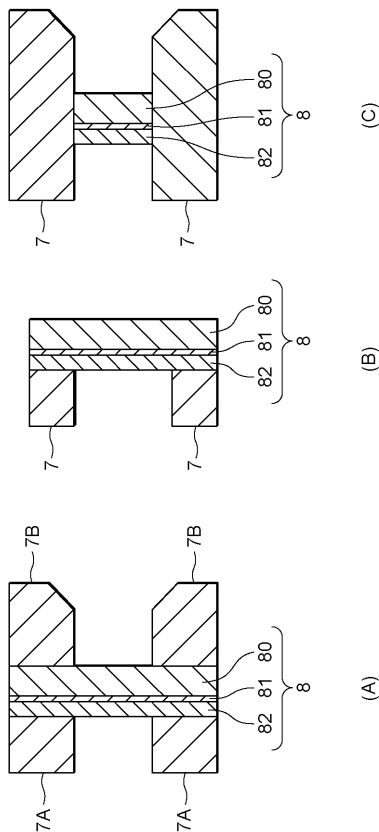
【図 2】



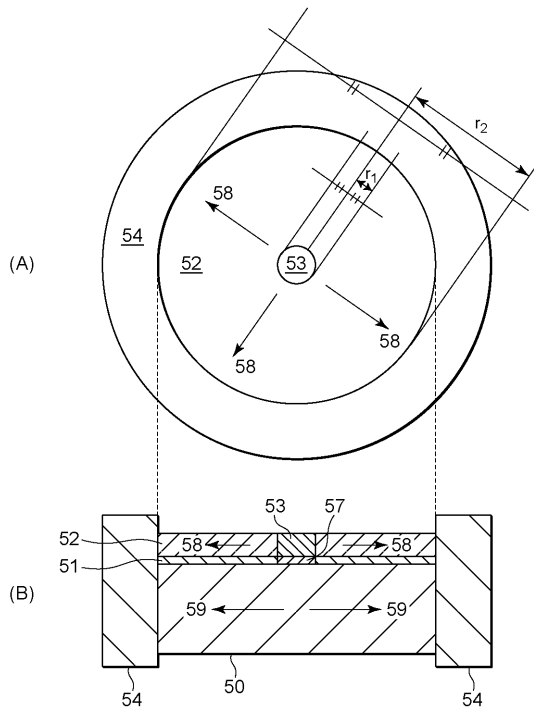
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【図 6】

