



基材の表面における成膜領域を適切に制御して、良質な薄膜を成膜することができる真空アーク蒸着装置および真空アーク蒸着法を提供する。カーボン材料によって形成された陰極にアーク放電を行ってカーボン材料を蒸発させることによりビーム状のプラズマを発生させ、基材表面にカーボン材料を蒸着させて成膜する真空アーク蒸着装置であって、基材に向けて突出する少なくとも1つの突起部を備えた陰極と、陰極の近傍に配置されて陰極の周囲に磁界を生じさせる磁界発生手段と、磁界発生手段を移動させて陰極の周囲に動磁場を形成する動磁場形成手段とを備えており、陰極の周囲に形成された動磁場によりビーム状のプラズマを基材表面に走査させて成膜するように構成されている真空アーク蒸着装置。

明 細 書

発明の名称：真空アーク蒸着装置および真空アーク蒸着法

技術分野

[0001] 本発明は、真空アーク蒸着装置および真空アーク蒸着法に関する。

背景技術

[0002] アーク放電を用いて基材表面に薄膜を形成する真空アーク蒸着法には、通常、真空アーク蒸着装置が用いられている。図24は、従来の真空アーク蒸着装置を示す概略図である。

[0003] 図24に示すように、従来の真空アーク蒸着装置は、真空チャンバー31と、焼結構造のカーボン材料からなる陰極32と、電源34、37と、バッキングプレート36を備えており、真空チャンバー31内の陰極32と対向した位置に基材33が配置されている。なお、真空チャンバー31にはチャンバー内を真空排気する排気系が設けられている。

[0004] この真空アーク蒸着装置では、上記した排気系によって所定の真空度まで真空排気され、電源37により陰極32に負の電圧を印加することにより、陽極を兼ねる真空チャンバー31と陰極32との間にアーク放電を生じさせる。これにより、陰極32の放電位置にアークスポットが形成されてカーボン材料が蒸発し、真空チャンバー31内にプラズマが発生する。そして、蒸発したカーボン材料が陰極32と対向した基材33の表面に蒸着することにより、基材33上に薄膜が成膜される。

[0005] この真空アーク蒸着装置の陰極には、従来より、円盤状に成形されたカーボン材料が用いられていたが、このような円盤状の陰極の場合、アーク放電中に陰極の半径方向に大きな熱応力の歪み（熱歪み）が生じて割れることがあった。

[0006] このような熱歪みによる陰極割れを防止するために、近年では、図24に示すように、カーボン材料からなる小さな径の柱状の突起部を台座部から突出させた陰極32が用いられている。このように小さな径の柱状の突起部が

らプラズマを発生させることにより、陰極 32 の半径方向における熱歪みが大きくなることが抑制されて、陰極割れの発生が防止される（例えば、特許文献 1）。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：国際公開第 2013/015280 号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかしながら、従来の真空アーク蒸着装置を用いた成膜方法においては、膜厚分布形状、半値全幅、最大膜厚位置などについて成膜領域を適切に制御することが難しく、さらなる改善が求められていた。

[0009] そこで、本発明は、基材の表面における成膜領域を適切に制御して、良質な薄膜を成膜することができる真空アーク蒸着装置および真空アーク蒸着法を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明者は、上記した課題の解決について種々の実験と検討を行い、陰極の近傍に磁界を発生させて成膜を行った場合、成膜された薄膜の膜質が改善されることを見出した。

[0011] 即ち、図 1 に示すように、陰極 40 に突起部 40b を形成すると共に、陰極 40 の近傍（バックングプレート 7 の背面）にリング状の磁石 60（磁界発生手段）を配置して磁界を発生させた場合、陰極 40 の周囲に静磁場が形成されて、陰極 40 から放射されたプラズマ 9 が強い指向性でビーム状に形成されることが分かった。

[0012] そして、このとき、アーク放電中の陰極 40 では、アークスポットを形成する放電位置が突起部 40b の先端から台座部 40a 側に向けて突起部 40b の外周面をスパイラル状に移動するため、放射されたビーム状のプラズマ 9 がこの放電位置の移動に合わせて回転しながら基材 11、12 を照射する

ことになり、基材 11、12 の表面において均質な成膜領域が形成されて良質の薄膜を成膜できることが分かった。

[0013] しかし、本発明者が図 1 に示す真空アーク蒸着装置におけるビーム状のプラズマ 9 の回転状況をさらに観察したところ、単に、陰極 40 近傍に磁石 60 を配置して静磁場を形成するのみでは、ビーム状のプラズマ 9 が、スパイラル状に移動するアークスポットに合わせて回転してしまうため、基材 11、12 の表面に成膜される薄膜の成膜領域を精密に制御することが困難であることが分かった。

[0014] 具体的には、図 1 に示すような静磁場の下で回転するビーム状のプラズマは、例えば、図 2 に示すように、A 位置から B 位置、次いで C 位置というように飛ぶように移動して、それぞれの位置 A～E における照射時間も異なっている、即ち、回転方向に沿ってランダムに移動しているため、薄膜の成膜領域を精密に制御することが難しい。

[0015] 本発明者は、上記のようなビーム状のプラズマのランダムな移動を防止することができれば、基材表面における薄膜の成膜領域を精密に制御して、より良質な薄膜を成膜できると考え、さらに、種々の実験と検討を行った。その結果、単に磁石を陰極近傍に配置するのではなく、例えば、磁石を回転させて陰極の周囲に動磁場を形成させることにより、ビーム状のプラズマの移動を適切に制御できることを見出した。

[0016] 即ち、ビーム状のプラズマは磁石から発生する磁界に沿って輸送されるという特性を有しているため、磁石を回転させることにより陰極の周囲に磁界の向きが変化する動磁場を形成した場合、磁界の向きの変化に応じてビーム状のプラズマの輸送方向が変化して、磁石の回転に合わせてスムーズにプラズマが移動し、図 3 に示すように基材の表面が均一にスキャン（走査）されるようにビーム状のプラズマを基材表面に照射することができる。この結果、薄膜の成膜領域を精密に制御できる。

[0017] そして、このような動磁場は、上記した磁石を回転させるだけではなく、磁石を上下方向などに直線的に移動させた場合でも形成することができ、ビ

ーム状のプラズマを上下方向に移動させることにより、均一にスキャンできることが分かった。

[0018] なお、上記における磁界発生手段としては、永久磁石、コイル等を用いることができる。

[0019] 請求項 1 ～請求項 4 に記載の発明は、上記の知見に基づく発明である。即ち、請求項 1 に記載の発明は、

カーボン材料によって形成された陰極にアーク放電を行ってカーボン材料を蒸発させることによりビーム状のプラズマを発生させ、基材表面にカーボン材料を蒸着させて成膜する真空アーク蒸着装置であって、

前記基材に向けて突出する少なくとも 1 つの突起部を備えた陰極と、
前記陰極の近傍に配置されて、前記陰極の周囲に磁界を生じさせる磁界発生手段と、

前記磁界発生手段を移動させて前記陰極の周囲に動磁場を形成する動磁場形成手段とを備えており、

前記陰極の周囲に形成された動磁場により前記ビーム状のプラズマを前記基材表面に走査させて、成膜するように構成されていることを特徴とする真空アーク蒸着装置である。

[0020] また、請求項 2 に記載の発明は、

前記動磁場形成手段が、前記磁界発生手段を前記陰極の周囲で回転させる回転機構により動磁場を形成する動磁場形成手段であることを特徴とする請求項 1 に記載の真空アーク蒸着装置である。

[0021] また、請求項 3 に記載の発明は、

前記回転機構による前記磁界発生手段の回転中心が、前記陰極の突起部の中心軸と一致していることを特徴とする請求項 2 に記載の真空アーク蒸着装置である。

[0022] また、請求項 4 に記載の発明は、

前記動磁場形成手段が、前記磁界発生手段を直線的に移動させる移動機構により動磁場を形成する動磁場形成手段であることを特徴とする請求項 1 に

記載の真空アーク蒸着装置である。

[0023] 請求項 5 に記載の発明は、

前記磁界発生手段が、前記陰極の突起部の周囲、前記陰極と前記基材の間および前記陰極の背面の何れかに配置されていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 4 のいずれか 1 項に記載の真空アーク蒸着装置である。

[0024] これらの位置に磁界発生手段を配置し、動磁場形成手段により陰極の周囲に適切な動磁場を形成することにより、基材表面にビーム状のプラズマを適切にスキャンさせることができる。

[0025] 請求項 6 に記載の発明は、

前記陰極が、台座部と、前記台座部に取り付けられた前記突起部とを備えていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 5 のいずれか 1 項に記載の真空アーク蒸着装置である。

[0026] 陰極が、台座部と、この台座部に取り付けられた突起部とを備えていることにより、現有の設備を改造することなく、薄膜の膜質の改善を図ることができる。

[0027] 請求項 7 に記載の発明は、

前記陰極の前記突起部は、中心軸に垂直な断面の形状が、円形状、楕円形状、多角形状、角部に丸みを付けた多角形状であり、中実状又は環状の柱状をなしていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 6 のいずれか 1 項に記載の真空アーク蒸着装置である。

[0028] 突起部は、中実の柱状だけでなく、パイプ等の環状の柱状（筒状）を含む概念であり、ここで、「柱状」とは、例えば、中心軸に垂直な断面が円形状、楕円形状、多角形状、角部に丸みを付けた多角形状をなす形状をいう。そして、「環状」には、円環状、楕円環状、多角環状、および角部に丸み（R 取り）を付けた多角環状が含まれる。よって、陰極部材は、円柱状の他、例えば、楕円柱状、多角柱状、又は角部に丸み（R 取り）を付けた多角柱状とすることもできるし、円筒状、楕円筒状、多角筒状、又は角部に丸み（R 取り）を付けた多角筒状とすることもできる。

[0029] 請求項 8 に記載の発明は、

前記陰極が、ガラス状炭素から構成されていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 7 のいずれか 1 項に記載の真空アーク蒸着装置である。

[0030] 焼結構造のカーボン材料を用いて真空アーク蒸着を行うと、粒径の大きな粒子（マクロパーティクル）が発生して、基材に蒸着することにより、基材表面を傷付けたり、成膜後の薄膜の表面粗度を悪化させたりする恐れがある。焼結構造のカーボン材料には必ず粒界が存在しており、アーク放電の際、この粒界に沿ってカーボン材料が割れることによってマクロパーティクルが発生する。これに対して、ガラス状炭素は、構造的にガラス状であり、粒界が存在しないため、このガラス状炭素から構成された陰極を用いて、真空アーク蒸着を行うことにより、基材表面を傷付けたり、成膜後の薄膜の表面粗度を悪化させたりすることが無くなり、ガラス状炭素を陰極として用いる意義は、極めて大きい。

[0031] 請求項 9 に記載の発明は、

前記アーク放電が行われた後に前記陰極の前記突起部の外周面に形成される放電痕の形状が、スパイラル状であることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 8 のいずれか 1 項に記載の真空アーク蒸着装置である。

[0032] 陰極周囲に形成された磁界によりアークスポットは、突起部の外周面（側面）をスパイラル状に移動する。従って、放電痕の形状がスパイラル状となる。スパイラル状となることによって、突起部以外にアークスポットが移動することが無く、スパイラル状に移動させることの意義は、極めて大きい。

[0033] 請求項 10 に記載の発明は、

前記磁界発生手段が、前記陰極の突起部の軸方向に 21 Gauss 以上、前記突起部の径方向に 10 Gauss 以上の磁場強度の磁界を発生させるように構成されていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 9 のいずれか 1 項に記載の真空アーク蒸着装置である。

[0034] 磁界発生手段としては、ビーム状のプラズマを適切に制御できる程度の磁界を適切に発生させるという観点から、陰極の突起部の軸方向 B_z に沿って

21 Gauss 以上、突起部の径方向 B_r に沿って 10 Gauss 以上の磁場強度の磁界を発生させる磁場発生手段を用いることが好ましい。

[0035] 次に、前記した請求項 1 および請求項 2 は方法の面から、以下のように捉えることができる。即ち、請求項 11 に記載の発明は、

陰極にアーク放電を行ってカーボン材料を蒸発させることによりビーム状のプラズマを発生させて、基材の表面にカーボン材料を蒸着させて成膜する真空アーク蒸着法であって、

前記陰極として、前記基材に向けて突出した少なくとも 1 つの突起部を有する陰極を用い、

前記陰極の近傍に配置された磁界発生手段により前記陰極の周囲に磁界を生じさせると共に、前記磁界発生手段を移動させて前記陰極の周囲に動磁場を形成し、前記ビーム状のプラズマを前記基材表面に走査させることにより前記基材の表面に薄膜を成膜することを特徴とする真空アーク蒸着法である。

[0036] また、請求項 12 に記載の発明は、

前記磁界発生手段を前記陰極の周囲で回転させることにより動磁場を形成することを特徴とする請求項 11 に記載の真空アーク蒸着法である。

発明の効果

[0037] 本発明によれば、基材の表面における成膜領域を適切に制御して、良質な薄膜を成膜することができる真空アーク蒸着装置および真空アーク蒸着法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0038] [図1]本発明に先立って検討した真空アーク蒸着装置の構成を示す概略図である。

[図2]図 1 に示す真空アーク蒸着装置におけるビーム状プラズマの回転状況を示す図である。

[図3]本発明に係る真空アーク蒸着装置におけるビーム状プラズマの回転状況を示す図である。

[図4]本発明の一実施の形態に係る真空アーク蒸着装置の構成を模式的に示す図である。

[図5]本発明の一実施の形態に係る真空アーク蒸着装置におけるアーク式蒸発源を示す図である。

[図6]本発明の一実施の形態に係る真空アーク蒸着装置におけるアーク式蒸発源の変形例を示す図である。

[図7]本発明の一実施の形態における回転機構を模式的に示す図である。

[図8]図7の回転機構における磁石の配置を説明する図である。

[図9]本発明の他の実施の形態における回転磁石の配置の変形例を示す図である。

[図10]動磁場形成手段の他の例を模式的に示す図である。

[図11]動磁場形成手段の他の例を模式的に示す図である。

[図12]本発明の実施の形態における磁界の向きを説明する図である。

[図13]本発明に係る真空アーク蒸着装置の他の構成の一例を示す概略図である。

[図14]本発明に係る真空アーク蒸着装置の他の構成の一例を示す概略図である。

[図15]アーク放電が行われた後の突起部を示す写真である。

[図16]比較例1における真空アーク蒸着装置の構成を示す概略図である。

[図17]成膜前の基材表面の状況を示す図である。

[図18]比較例1における成膜後の基材表面の状況を示す図である。

[図19]実施例1における成膜後の基材表面の状況を示す図である。

[図20]実施例2における成膜後の基材表面の状況を示す図である。

[図21]実施例3における成膜後の基材表面の状況を示す図である。

[図22]実施例4における成膜後の基材表面の状況を示す図である。

[図23]実施例5と比較例2の膜厚分布測定結果を示す図である。

[図24]従来の真空アーク蒸着装置の構成を示す概略図である。

発明を実施するための形態

[0039] 以下、本発明を実施の形態に基づき、図面を用いて説明する。

[0040] 図4は本実施の形態に係る真空アーク蒸着装置の構成を模式的に示す図である。

[0041] 図4に示すように、本実施の形態に係る真空アーク蒸着装置は、従来の真空アーク蒸着装置と同様に、真空チャンバー1と、陰極40と、電源14、18と、バックングプレート7を備えており、陰極40に対向するように保持台10に保持された基材11、12が真空チャンバー1に収容されている。なお、図4中の1aは真空チャンバー1を真空排気する排気系、2はアーク電流フィールドスルー、13はトリガー機構、15は抵抗、16は保持台10の回転軸である。

[0042] 次に、図5は本実施の形態に係る真空アーク蒸着装置におけるアーク式蒸発源を示す図であり、バックングプレート7の上に陰極40が配置されている。陰極40は、ガラス状炭素により形成されており、図5に示すように、円盤状の台座部40aと、台座部40aから基材11、12に向けて突出する突起部40bを備えている。

[0043] ガラス状炭素には粒界がないため、このような陰極40を用いた場合、アーク放電中にマクロパーティクルが発生することが防止されて、基材表面に成膜される薄膜における膜質の低下を防止することができる。なお、台座部40aと突起部40bがガラス状炭素により形成されている図5に示す陰極40に替えて、図6に示すような、焼結構造のカーボン材料（焼結体グラファイト）の台座部40aにガラス状炭素からなる突起部40bが取り付けられた陰極40を用いてもよい。

[0044] 本実施の形態に係る真空アーク蒸着装置は、図4に示すように、陰極40の近傍に回転する磁石6が配置されており、この磁石6が回転することにより陰極40の付近に回転動磁場を形成して、ビーム状のプラズマ9を磁石6の回転に合わせてスムーズに輸送させる点が従来の真空アーク蒸着装置と異なる。

[0045] 即ち、本実施の形態においては、磁界発生手段として使用される磁石6が

陰極 4 0 の背面に配置されており、動磁場形成手段として磁石 6 の回転中心を陰極 4 0 の突起部 4 0 b の中心軸に一致させて回転させる回転機構を備えている。

[0046] 図 7 は本実施の形態における回転機構を模式的に示す図であり、図 4 の A-A 断面における図を示している。そして、図 8 は図 7 の回転機構における磁石の配置を説明する図であり、(a) は図 7 中の回転板 4 の拡大図、(b) は図 7 の B-B 断面における回転板 4 の断面図である。

[0047] 図 7 に示すように、この回転機構は、一对のアクリル製の回転板 4、2 0 にベルト 5 を架け渡して構成されている。一方の回転板 4 には磁石 6 が取り付けられており、他方の回転板 2 0 の回転軸 2 1 にはモーター（図示省略）が接続されている。モーターの回転数をコントローラー（図示せず）により調整して回転軸 2 1 を回転させることにより回転板 2 0 が回転し、さらに、ベルト 5 を介して回転板 4 が回転する。そして、回転板 4 の回転に合わせて磁石 6 が、陰極の突起部の延長線を中心軸として回転する。なお、本実施の形態においては、図 8 (b) に示すように、計 4 個の磁石 6 が回転板 4 を両側から挟んで配置されている。

[0048] 本実施の形態に係る真空アーク蒸着装置を用いた薄膜の成膜は以下のように行われる。なお、以下においては、真空アーク蒸着装置として、図 4 に示す真空アーク蒸着装置を用いている。

[0049] 先ず、突起部 4 0 b を有する陰極 4 0 をバックングプレート 7 に取り付けると共に、陰極 4 0 と対向するように真空チャンバー 1 内の保持台 1 0 に基材 1 1、1 2 を保持させる。

[0050] 次に、真空ポンプ（図示省略）などを用いて排気系 1 a から真空チャンバー 1 内のガスを排気すると共に、アーク電流フィールドスルー 2 を介して電源 1 8 から陰極 4 0 に負の電圧を印加する。一方、保持台 1 0 に保持された基材 1 1、1 2 に電源 1 4 からバイアス電圧を印加すると共に、保持台 1 0 の回転軸 1 6 を回転させる。

[0051] そして、上記したモーターを稼働させることにより、図 7 に示すように、

回転板 20 を回転させ、その回転をベルト 5 を介して回転板 4 に伝えて回転させる。これにより、陰極 40 の背面に配置された磁石 6 を回転させることができ、陰極 40 の付近に動磁場を形成させることができる。

[0052] この状態で、トリガー機構 13 によって放電を開始させると、陽極としての真空チャンバー 1 と陰極 40 の突起部 40b との間にアーク放電が生じる。

[0053] このとき、上記の通り、回転する磁石 6 によって陰極 40 の付近に動磁場が形成されているため、陰極 40 のアークスポットから発生したビーム状のプラズマ 9 が磁石 6 の回転による動磁場の影響を受けて、磁石 6 の回転方向と同じ方向に輸送される。

[0054] これにより、陰極 40 に対向して配置された基材 11、12 の表面には、磁石 6 の回転方向と同じ方向に一定の円周軌道を描いて等速回転するビーム状のプラズマ 9 が照射される（図 3 参照）。この結果、基材の表面に成膜される薄膜の領域を適切に制御して、基材表面に均質な薄膜を成膜することができる。

[0055] なお、本実施の形態においては、磁石 6 は陰極 40 の背面に配置させているが、ビーム状のプラズマを強制的に回転できるような動磁場を陰極 40 の周囲に形成することができる位置であれば、磁石 6 の配置位置は特に限定されない。具体的には、例えば、図 9（a）のように陰極 40 の突起部 40b の周囲を回転するような位置に磁石 6 を配置してもよく、また、図 9（b）のように基材 11 と突起部 40b との間の空間において回転するような位置に磁石 6 を配置してもよい。

[0056] なお、動磁場形成手段は、上記したような磁石の回転中心を陰極の突起部の中心軸と一致させて回転させる回転機構に限定されず、例えば、図 10 に示すようなリング状の磁石 6a を突起部 40b の中心軸とは異なる回転軸で偏心させて回転させてもよく、また、図 11 に示すように、棒状の磁石 6b を所定の方向（図 11 では上下方向）に直線的に移動させてもよい。

[0057] また、磁界発生手段は、図 12 に示すように、陰極の突起部 40b の軸方

向 B_z に沿って 21 Gauss 以上、突起部 $40b$ の径方向 B_r に沿って 10 Gauss 以上の磁場強度の磁界を発生させるような磁石を用いることが好ましい。これにより、 B_z と B_r の合成ベクトル B の方向に適切な磁場強度の磁界を生じさせてビーム状のプラズマを適切に輸送させることができる

[0058] なお、本実施の形態に係る真空アーク蒸着装置は、上記した図4に示した構成の真空アーク蒸着装置だけでなく、他の様々な構成の真空アーク蒸着装置に適用することができる。

[0059] 例えば、図13に示すように、陰極40と対向するように1枚の基材11を回転させずに保持する保持台10aを用いた場合であっても、基材11の表面に成膜される薄膜の領域を適切に制御して、基材11表面に均質な薄膜を成膜することができる。

[0060] また、図14に示すように、陰極40の突起部を基材に向かって送り出す送り出し機構80を設けた真空アーク蒸着装置も好ましく用いることができる。この場合、アーク放電によって陰極40が消耗すると、制御手段（図示せず）の制御によって陰極40の未消耗部分の先端を消耗前の先端部と同じ位置まで送り出すことにより、安定したアーク放電を長時間持続させることができる。

[0061] そして、突起部は、中心軸に垂直な断面の形状が、円形状、楕円形状、多角形状、角部に丸みを付けた多角形状であり、中実状又は環状をなしていることが好ましい。

[0062] また、本実施の形態において、成膜される薄膜の種類としては、アモルファスカーボン薄膜、ダイヤモンドライクカーボン薄膜、テトラヘドラルアモルファスカーボン膜、非晶質硬質炭素薄膜および硬質炭素薄膜などを挙げることができる。

[0063] また、本実施の形態において、使用される基材としては金属、セラミックス、樹脂、半導体などを挙げることができ、より具体的には、金属としてタングステンカーバイト、鋼、アルミニウムやコバルトクロム合金など、セラミックスとして酸化アルミニウム、窒化ケイ素、立方晶窒化ホウ素や二酸化

ケイ素など、樹脂としてポリカーボネート、ポリエチレンテレフタレートやポリ塩化ビニルなど、半導体としてケイ素、窒化ガリウムや酸化亜鉛などを挙げることができる。

[0064] また、上記した通り、陰極の突起部はガラス状炭素から構成されていることが好ましいが、このガラス状炭素としては、グラッシーカーボン (glassy carbon)、アモルファスカーボン、非晶質カーボン、非定形炭素、無定形炭素、非黒鉛化炭素およびガラス質炭素 (vitreous carbon) を挙げることができる。また、突起部は、ガラス状炭素以外に、熱分解性カーボン並びにパイロリティックカーボンであって熱CVD法により作製される積層状炭素であってもよい。

[0065] そして、図15に示すように、放電後の突起部の外周面にスパイラル状の放電痕が形成されるようにアークスポットの動きが制御されていることが好ましい。これにより、アークスポットが突起部以外に移動することがなくなる。

実施例

[0066] 以下、実施例により、本発明をさらに具体的に説明する。

[0067] 1. 試験1

(1) 実施例1～4

本試験では、実施例1～4として、図11に示す真空アーク蒸着装置を用いて、回転機構によって磁石を反時計方向に60rpmの速度で回転させて表1に示す磁場強度 (Gauss) で動磁場を形成しながら、保持台に固定された基材 (350mm×350mm×t3mmのSUS304製) の表面にカーボン薄膜を40秒間成膜した。また、その他の条件は下記の表1に示す通りに設定した。

[0068] なお、磁石6を回転させるモーターとしてはPanasonic社製M61X6GD4L型を使用し、ギャヘッドにPanasonic社製MX6G5BA型を使用した。そして、磁石の回転数の調整は、モーターへの電力供給を兼ねたコントローラー (Panasonic社製US型) により行った

。

[0069] [表1]

	回転磁石回転数	回転磁石回転方向	アーク電流	成膜前到着真空度	成膜時間	B _z	B _r	B
(単位)	r p m		A	P a	s e c	G a u s s	G a u s s	G a u s s
比較例	—	—	80	9.9×10^{-3}	40	60	3	60
実施例1	60	反時計方向	80	9.9×10^{-3}	40	107	47	117
実施例2	60	反時計方向	80	9.9×10^{-3}	40	71	26	76
実施例3	60	反時計方向	80	9.9×10^{-3}	40	59	25	64
実施例4	60	反時計方向	80	9.9×10^{-3}	40	21	10	23

[0070] 表1における突起部の軸方向B_zと径方向B_rの磁場強度は、陰極の突起部の先端における磁界をガウスメーター（Lake Shore社製410-SCT型）を用いて測定した。

[0071] なお、本実施例においては、陰極として、図6に示すような、焼結体グラフィット（IG510 東洋炭素社製）からなる台座部40aと、ガラス状炭素（GC20SS 東海ファインカーボン社製）からなる突起部40bとを備えた陰極40を用いており、台座部40aの寸法はφ64mm×t20mmであり、突起部40bの寸法はφ3mm×L20mmである。

[0072] (2) 比較例1

比較例1として、図16に示す真空アーク蒸着装置を用いて、回転しないリング状磁石60により形成された静磁場の下で基材の表面にカーボン薄膜を成膜した。なお、その他の条件は実施例1と同じに設定した。

[0073] (3) 評価

(a) プラズマスキャン可否確認

実施例1～4および比較例において、アーク放電中の真空チャンバー1内の状況を、装置に取り付けられたのぞき窓から目視により観察し、成膜中（40秒間）のビーム状のプラズマの回転数と回転方向および回転状況を確認した。

[0074] (b) 成膜状況観察試験

成膜後の基材表面を目視により観察し、基材表面の全体に亘って均質な薄膜が形成された場合を「可」、ビーム状のプラズマが長時間滞在することにより膜厚が不均一な部分が生じた場合を「不可」と評価した。

[0075] プラズマスキャン可否確認および成膜状況観察試験の結果を表2に示す。

また、成膜前の基材表面の写真を図17、比較例1の製膜後の写真を図18、実施例1～4の成膜後の写真を図19～図22に示す。

[0076] [表2]

	ビーム状プラズマ回転数	ビーム状プラズマ回転方向	ビーム状プラズマ回転状況	成膜状況
比較例1	約2回転	時計方向	ランダム	不可
実施例1	40回転	反時計方向	等速回転	可
実施例2	40回転	反時計方向	等速回転	可
実施例3	40回転	反時計方向	等速回転	可
実施例4	40回転	反時計方向	等速回転	可

[0077] 表2より、比較例1ではビーム状のプラズマが時計方向に回転し、回転状況も図2に示すようにランダムであったのに対して、実施例1～4ではビーム状のプラズマが、磁石と同じ回転方向である反時計方向に一定の円周軌道を描いて等速回転しており、反時計方向に磁石を回転させて動磁場を形成することにより、ビーム状のプラズマを磁石の回転方向に一致させてスキャンさせることができることが確認できた。

[0078] また、実施例1～4において、回転する磁石が、陰極の突起部に対して上方に位置する場合、ビーム状のプラズマは基材下方を照射しており、陰極の突起部に対して下方に位置する場合、ビーム状のプラズマは基材上方を照射していた。

[0079] また、陰極の突起部の軸方向 B_z に 21 Gauss 以上、突起部の径方向 B_r に 10 Gauss 以上の磁場強度の磁界を形成した実施例1～4では、ビーム状のプラズマの回転数が磁石の回転数 ($60\text{ rpm} \times 40 / 60\text{ se}$

c. = 40回転)と同じであり、より適切にビーム状のプラズマを制御できることが確認できた。

[0080] そして、表2および図17～図22より、ビーム状のプラズマの回転状況を適切に制御できた実施例1～4においては、陰極の突起部と対向した基材の中心から均一にカーボン材料が成膜されており、均質な薄膜が基材表面に成膜できることが確認できた。

[0081] 2. 試験2

(1) 実施例5および比較例2

本試験例では、図4に示す真空アーク蒸着装置(実施例5)と、図1に示す比較例の真空アーク蒸着装置(比較例2)とを用いて、各真空アーク蒸着装置に配置された2枚の基材(基材11および基材12)のそれぞれの表面にカーボン薄膜を成膜した。また、その他の条件は下記の表2に示す通りに設定した。

[0082] [表3]

	回転磁石回転数	回転磁石回転方向	アーク電流	成膜前到着真空度	成膜時間	B _z	B _r	B _θ	基材	基材回転数	基材バイアス電圧
(単位)	rpm		A	Pa	min	Gauss	Gauss	Gauss		rpm	V
実施例5	60	反時計方向	80	9.9×10^{-3}	2	71	26	76	Cz-Si	4	-100
比較例2	—	—	80	9.9×10^{-3}	2	60	3	60	Cz-Si	4	-100

[0083] (2) 評価

実施例5および比較例2において、成膜後の薄膜の膜厚を測定して半値全幅と最大膜厚位置を算出した。膜厚測定には、触針式の表面形状測定器Dektek150(Veeco社製)を使用し、測定範囲を陰極材料中心を0mmとして鉛直方向±110mm(例えば、図4のY+、Y-方向)、測定間隔を10mmに設定した。

[0084] また、規格化された膜厚を1とした最大膜厚位置を算出し、その半分の値(0.5)のときの陰極中心からの鉛直方向距離を半値全幅として算出した。算出結果を表4および図23に示す。なお、図23において、縦軸は陰極

中心からの鉛直方向の距離を示し、横軸は規格化膜厚を示している。

[0085] [表4]

	半値全幅 (mm)	最大膜厚位置 (mm)
実施例5－基材1 1	176	0
実施例5－基材1 2	173	0
比較例2－基材1 1	128	10
比較例2－基材1 2	94	-10

[0086] 表4より、実施例5においては、基材1 1と基材1 2の最大膜厚位置が同一であり、半値全幅が類似した値になっていることが確認され、さらに図2 3（a）に示すように、それぞれの基材1 1、1 2において成膜された薄膜の形状（膜厚分布形状）が非常に似通ったものとなっていた。

[0087] 一方、比較例2においては、基材1 1と基材1 2との間で半値全幅および最大膜厚位置が大きく異なっていることが確認された。また、図2 3（b）に示すように、それぞれの基材1 1、1 2の膜厚分布形状が大きく異なっていた。

[0088] 以上の結果から、実施例5のように、磁石を回転させて動磁場を形成してビーム状のプラズマを強制的に回転させることによって、複数の基材を同時に成膜する場合であっても、成膜領域（膜厚分布形状、半値全幅、最大膜厚位置）を適切に制御することができ、均質な薄膜を成膜できることが確認できた。

[0089] 以上、本発明を実施の形態に基づいて説明したが、本発明は上記の実施の形態に限定されるものではない。本発明と同一および均等の範囲内において、上記の実施の形態に対して種々の変更を加えることができる。

符号の説明

[0090] 1、3 1 真空チャンバー

1 a	排気系
2	アーク電流フィールドスルー
3	回転板押さえ金具
4、20	回転板
5	ベルト
6、6 a、6 b、60	磁石
7、36	バッキングプレート
9	プラズマ
10、10 a	保持台
11、12、33	基材
13	トリガー機構
14、18、34、37	電源
15	抵抗
16	基材回転軸
21	回転軸
32、40	陰極
40 a	台座部
40 b	突起部
80	送り出し機構

請求の範囲

- [請求項1] カーボン材料によって形成された陰極にアーク放電を行ってカーボン材料を蒸発させることによりビーム状のプラズマを発生させ、基材表面にカーボン材料を蒸着させて成膜する真空アーク蒸着装置であって、
- 前記基材に向けて突出する少なくとも1つの突起部を備えた陰極と、
- 前記陰極の近傍に配置されて、前記陰極の周囲に磁界を生じさせる磁界発生手段と、
- 前記磁界発生手段を移動させて前記陰極の周囲に動磁場を形成する動磁場形成手段とを備えており、
- 前記陰極の周囲に形成された動磁場により前記ビーム状のプラズマを前記基材表面に走査させて、成膜するように構成されていることを特徴とする真空アーク蒸着装置。
- [請求項2] 前記動磁場形成手段が、前記磁界発生手段を前記陰極の周囲で回転させる回転機構により動磁場を形成する動磁場形成手段であることを特徴とする請求項1に記載の真空アーク蒸着装置。
- [請求項3] 前記回転機構による前記磁界発生手段の回転中心が、前記陰極の突起部の中心軸と一致していることを特徴とする請求項2に記載の真空アーク蒸着装置。
- [請求項4] 前記動磁場形成手段が、前記磁界発生手段を直線的に移動させる移動機構により動磁場を形成する動磁場形成手段であることを特徴とする請求項1に記載の真空アーク蒸着装置。
- [請求項5] 前記磁界発生手段が、前記陰極の突起部の周囲、前記陰極と前記基材の間および前記陰極の背面の何れかに配置されていることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の真空アーク蒸着装置。
- [請求項6] 前記陰極が、台座部と、前記台座部に取り付けられた前記突起部と

を備えていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 5 のいずれか 1 項に記載の真空アーク蒸着装置。

[請求項7] 前記陰極の前記突起部は、中心軸に垂直な断面の形状が、円形状、楕円形状、多角形状、角部に丸みを付けた多角形状であり、中実状又は環状の柱状をなしていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 6 のいずれか 1 項に記載の真空アーク蒸着装置。

[請求項8] 前記陰極が、ガラス状炭素から構成されていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 7 のいずれか 1 項に記載の真空アーク蒸着装置。

[請求項9] 前記アーク放電が行われた後に前記陰極の前記突起部の外周面に形成される放電痕の形状が、スパイラル状であることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 8 のいずれか 1 項に記載の真空アーク蒸着装置。

[請求項10] 前記磁界発生手段が、前記陰極の突起部の軸方向に 2 1 G a u s s 以上、前記突起部の径方向に 1 0 G a u s s 以上の磁場強度の磁界を発生させるように構成されていることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 9 のいずれか 1 項に記載の真空アーク蒸着装置。

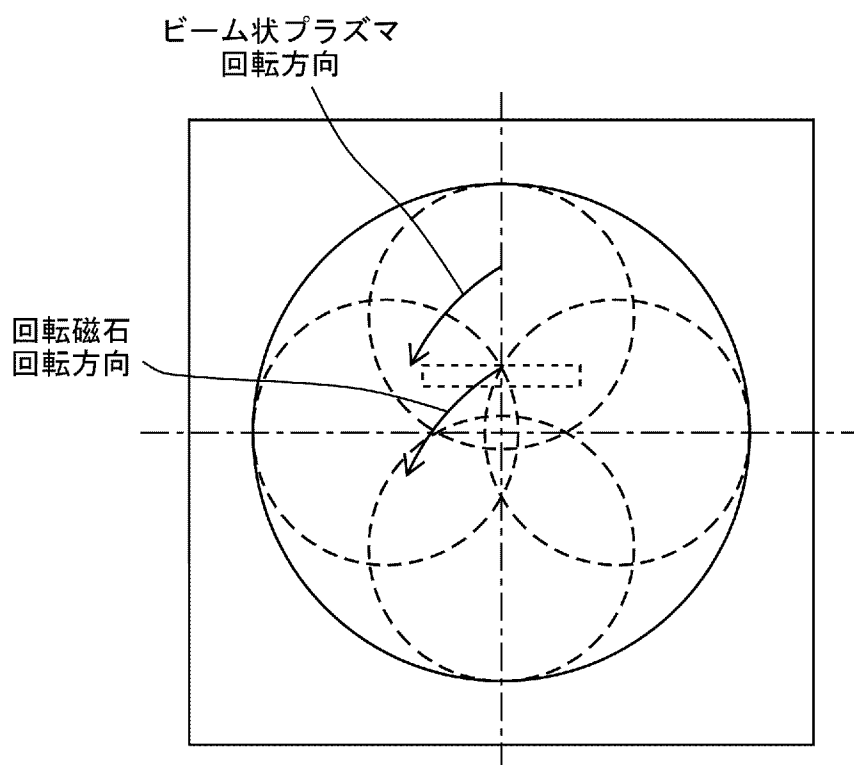
[請求項11] 陰極にアーク放電を行ってカーボン材料を蒸発させることによりビーム状のプラズマを発生させて、基材の表面にカーボン材料を蒸着させて成膜する真空アーク蒸着法であって、

前記陰極として、前記基材に向けて突出した少なくとも 1 つの突起部を有する陰極を用い、

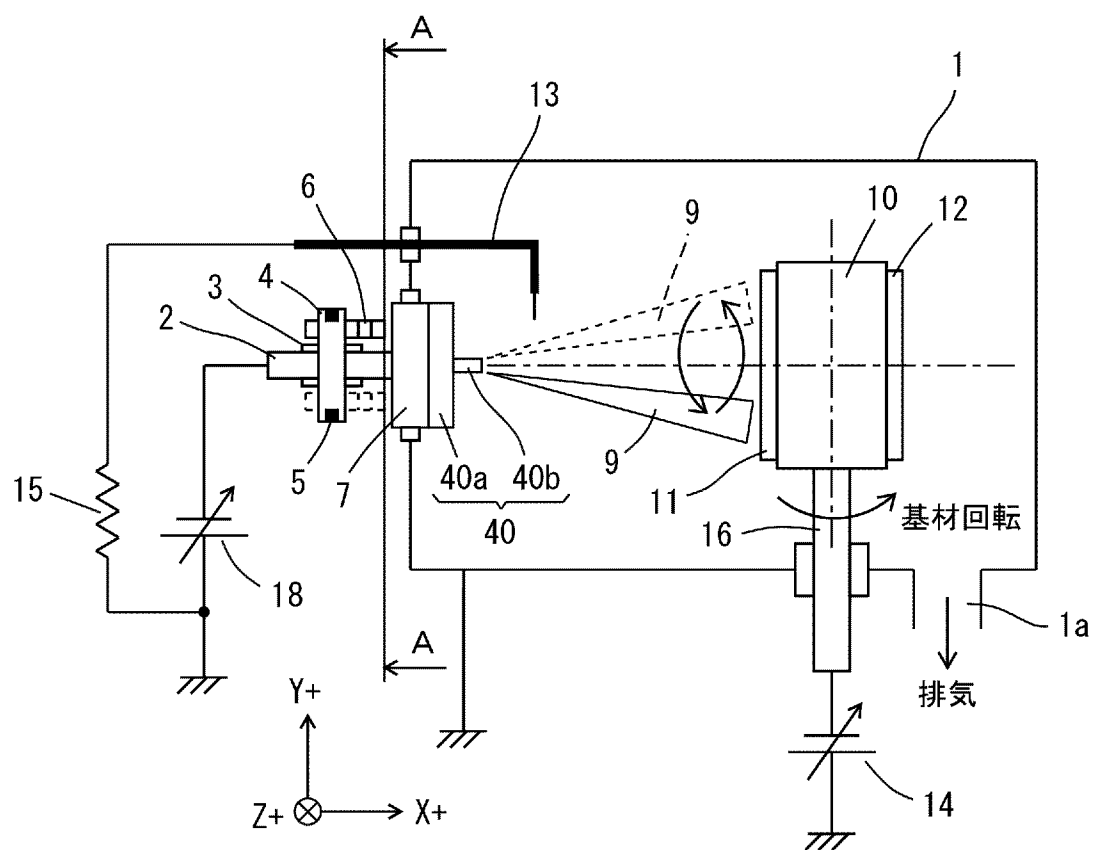
前記陰極の近傍に配置された磁界発生手段により前記陰極の周囲に磁界を生じさせると共に、前記磁界発生手段を移動させて前記陰極の周囲に動磁場を形成し、前記ビーム状のプラズマを前記基材表面に走査させることにより前記基材の表面に薄膜を成膜することを特徴とする真空アーク蒸着法。

[請求項12] 前記磁界発生手段を前記陰極の周囲で回転させることにより動磁場を形成することを特徴とする請求項 1 1 に記載の真空アーク蒸着法。

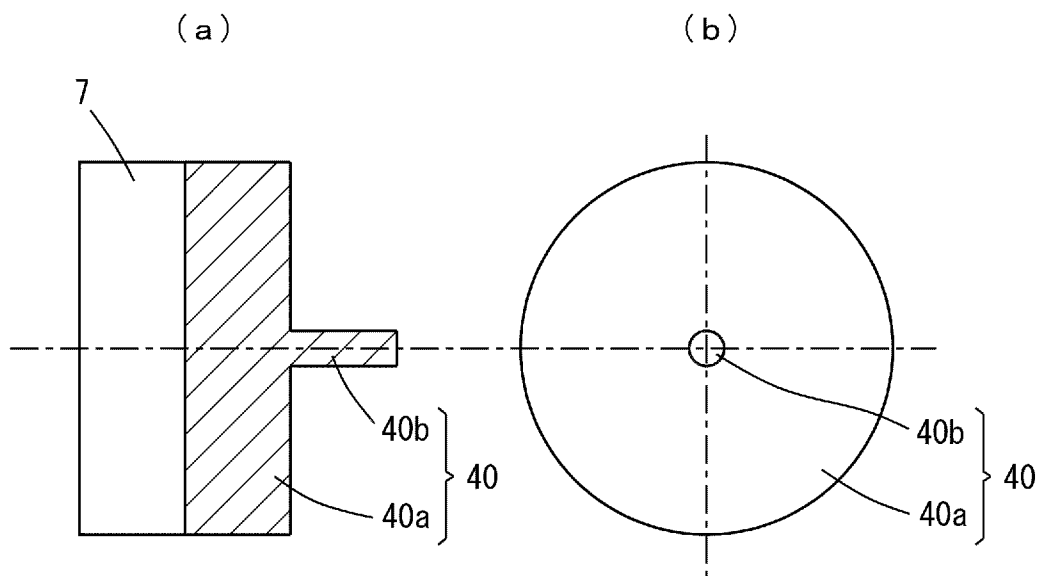
[図3]



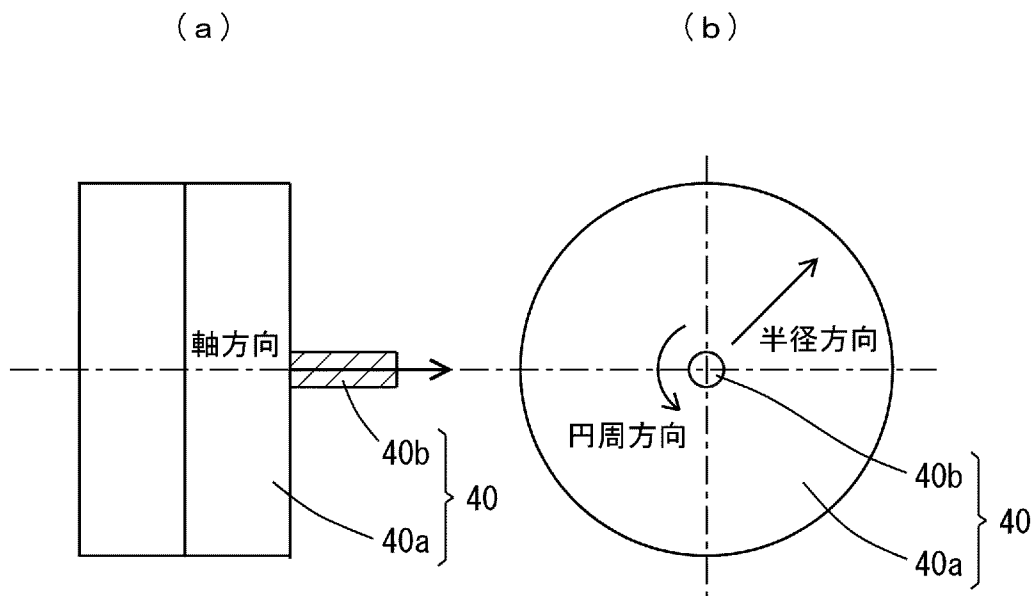
[図4]



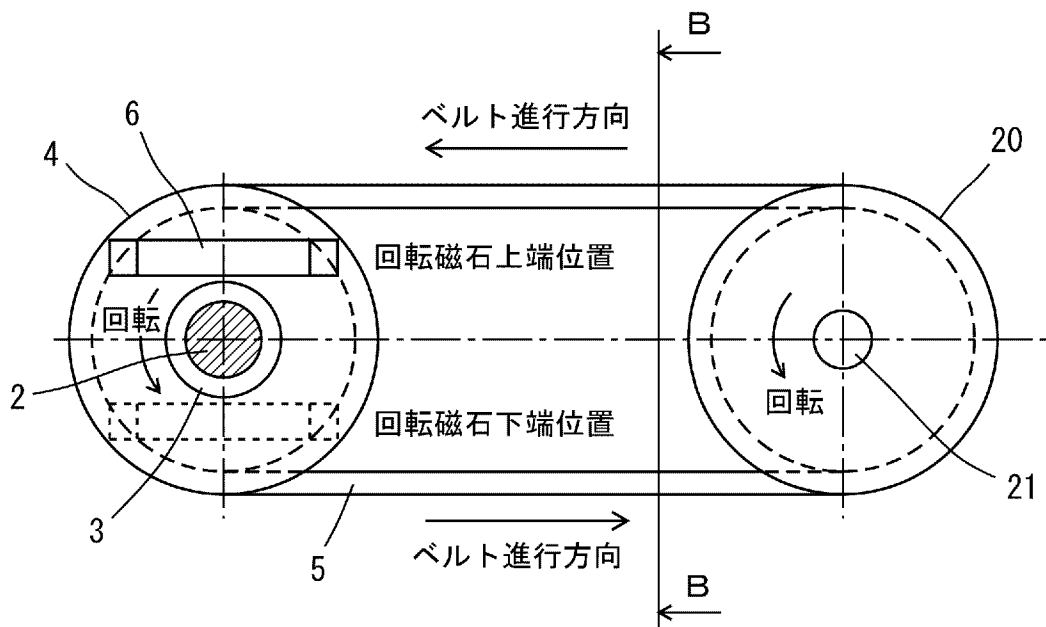
[図5]



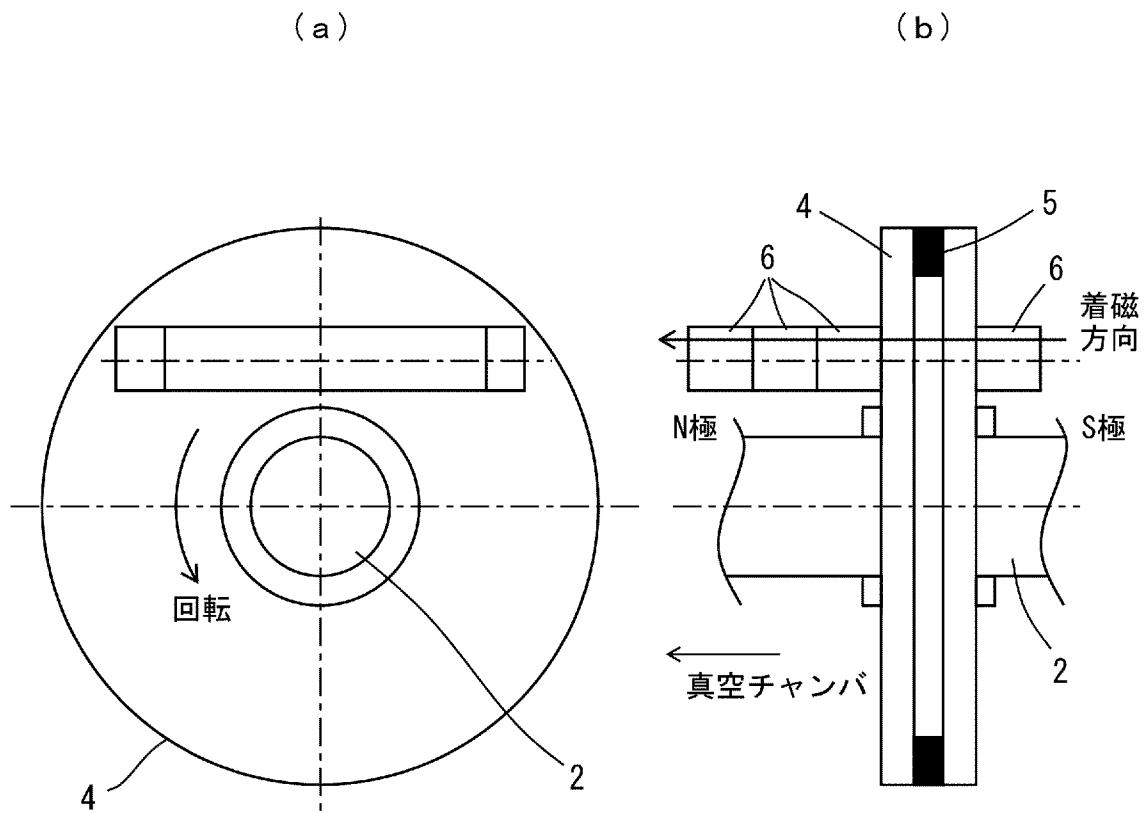
[図6]



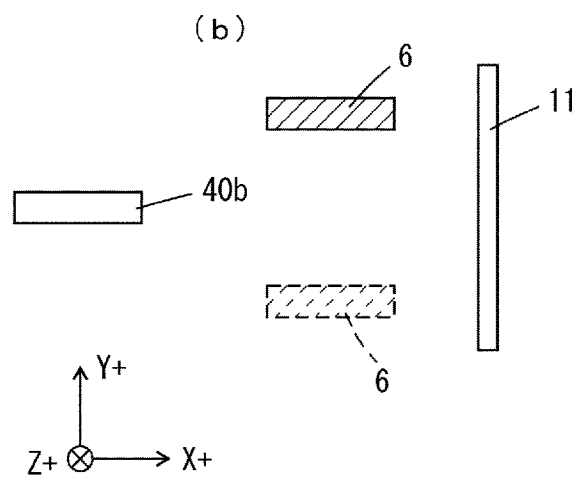
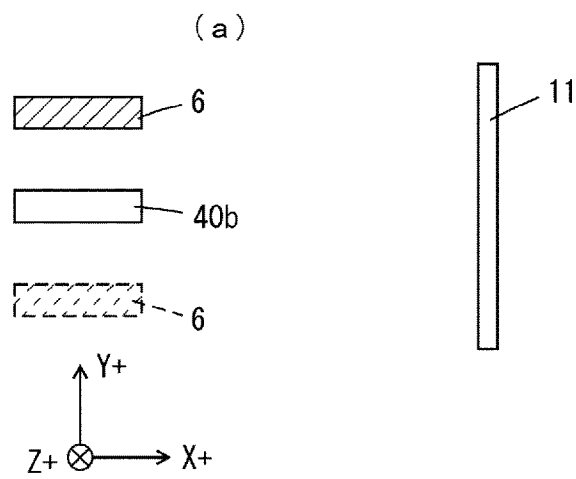
[図7]



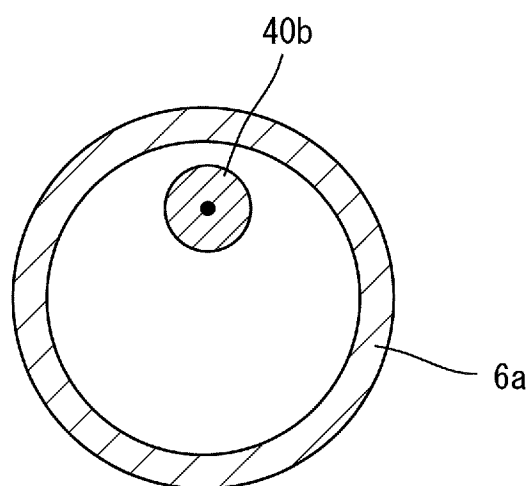
[図8]



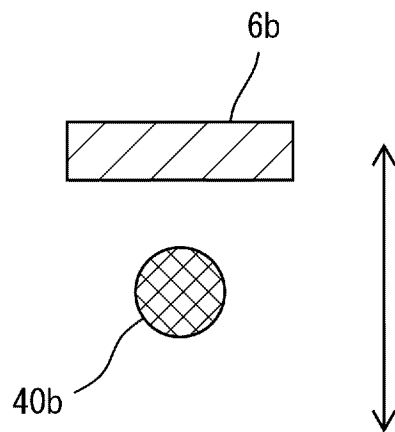
[図9]



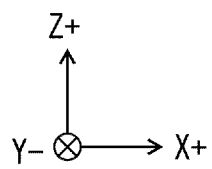
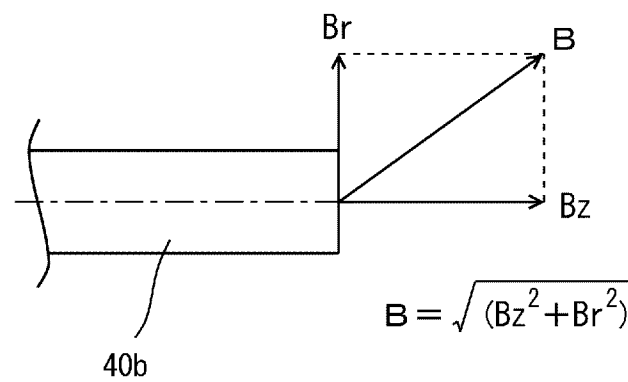
[図10]

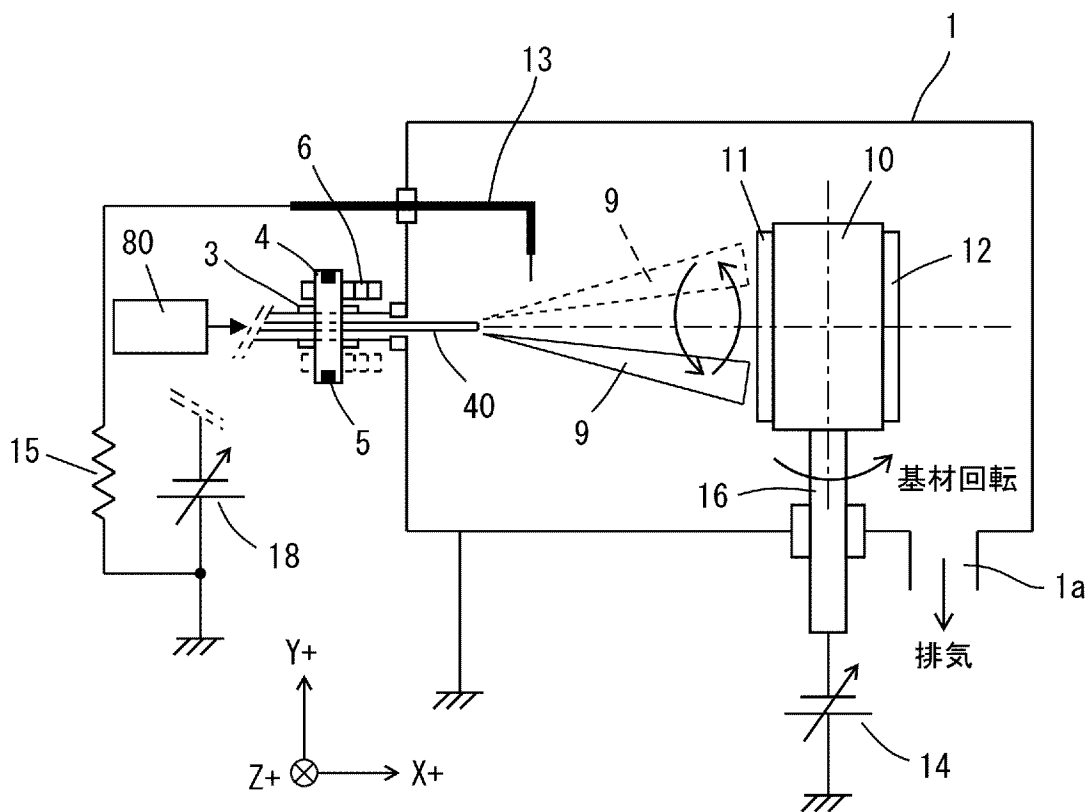
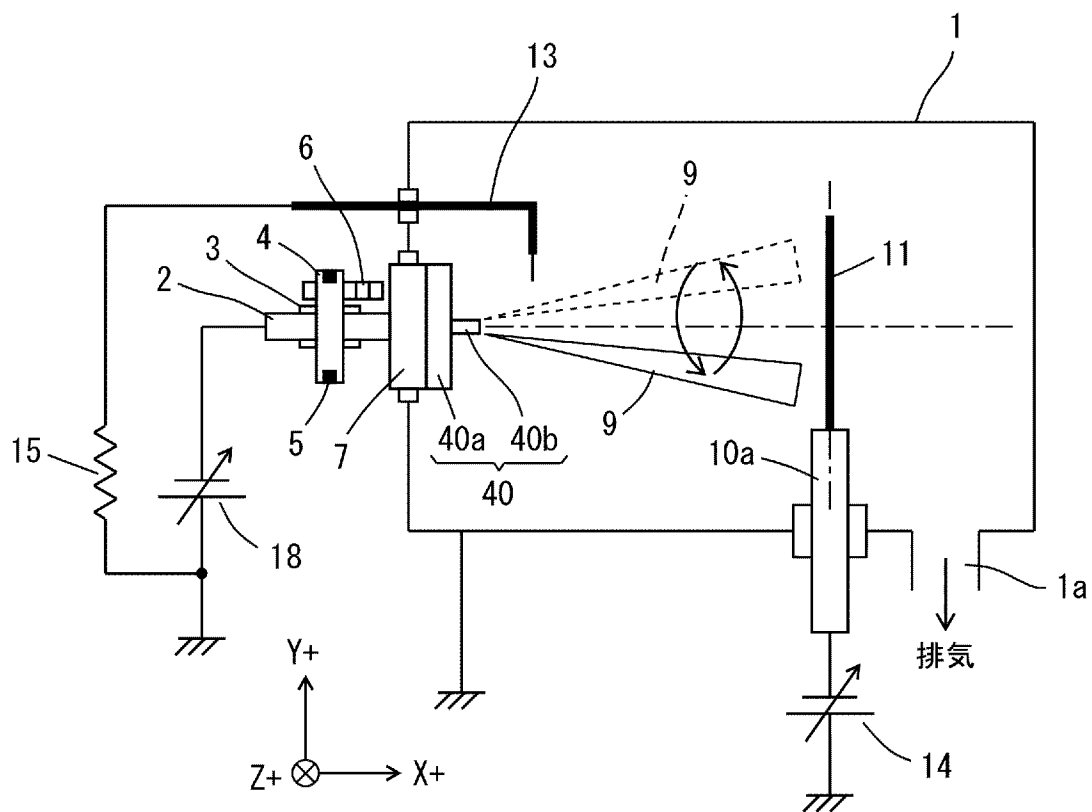


[図11]



[図12]

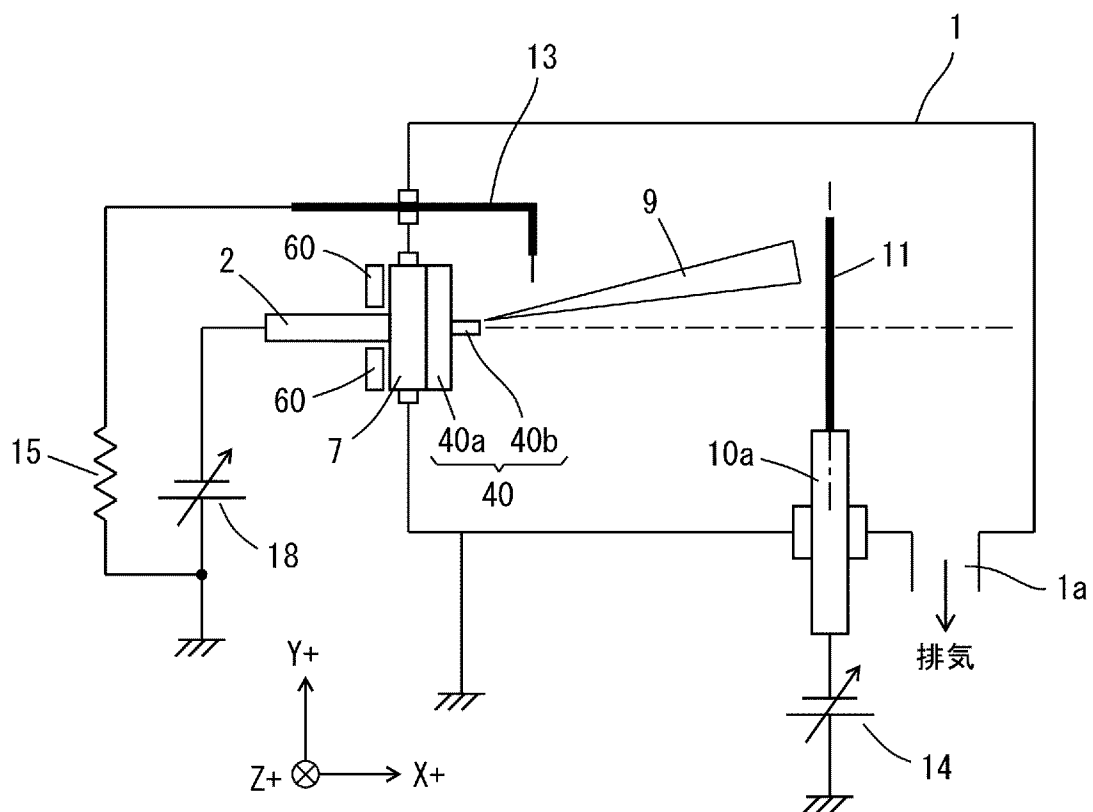




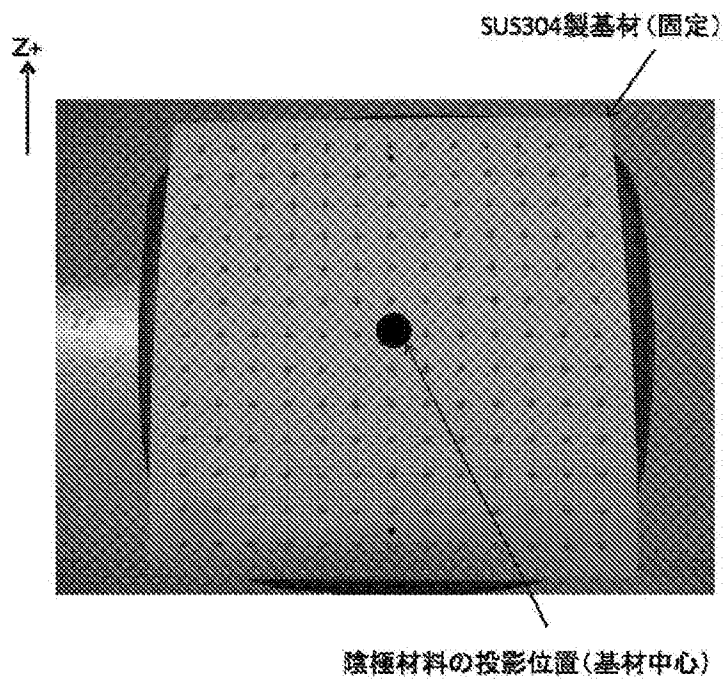
[図15]



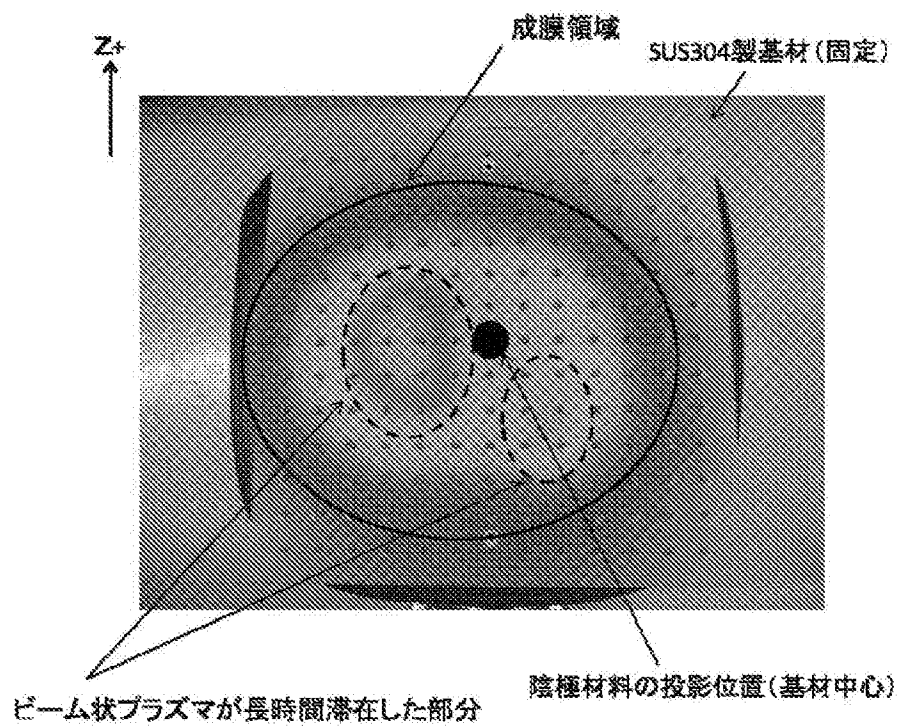
[図16]



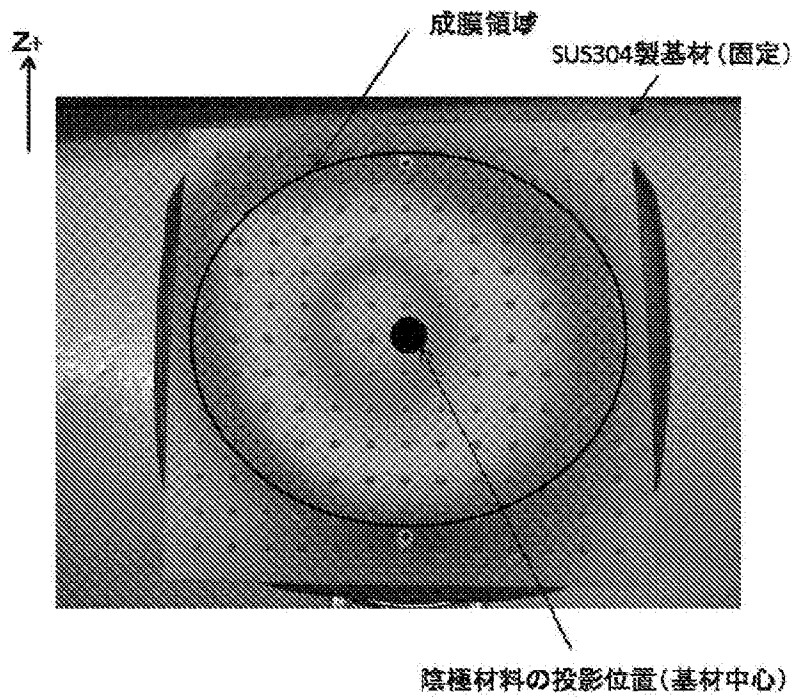
[図17]



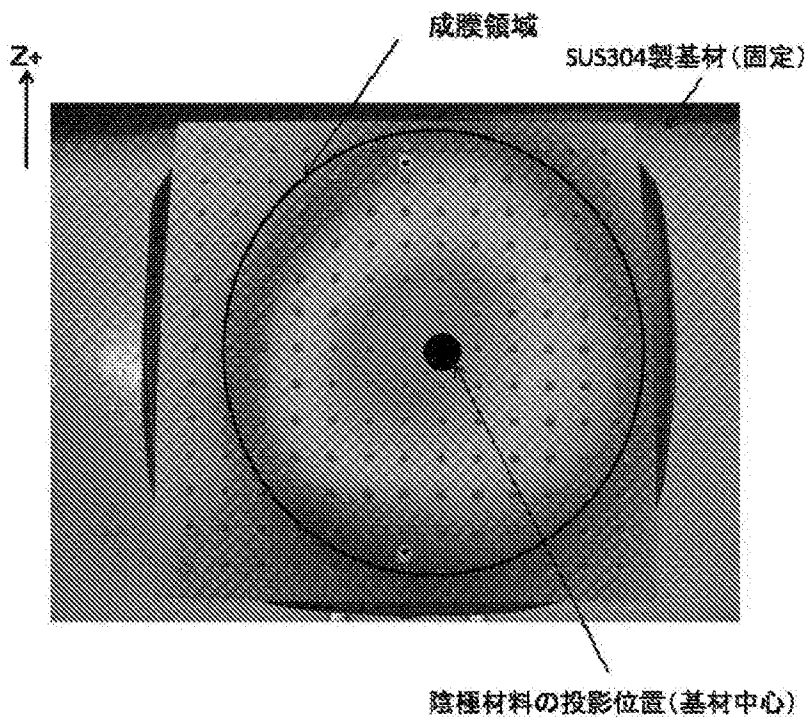
[図18]



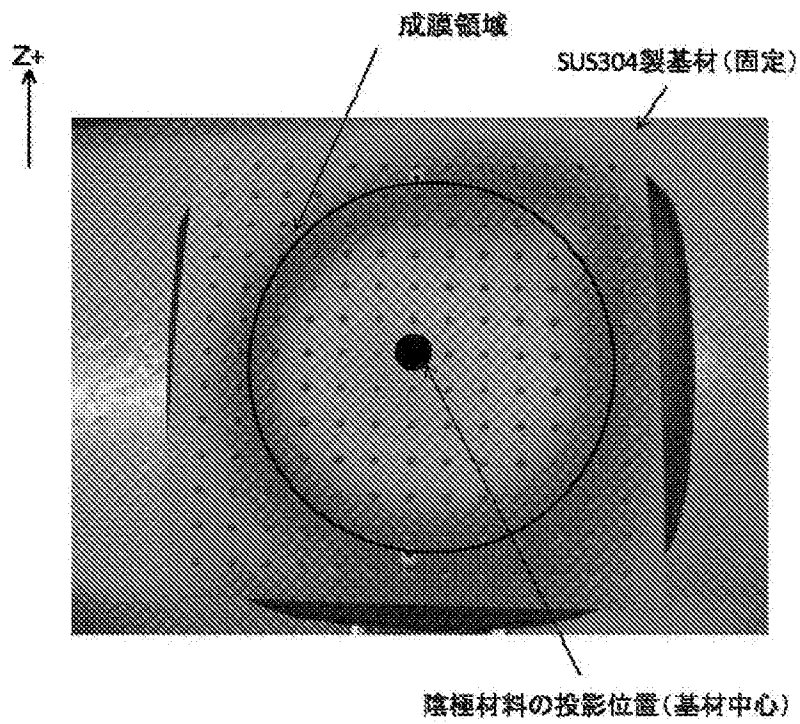
[図19]



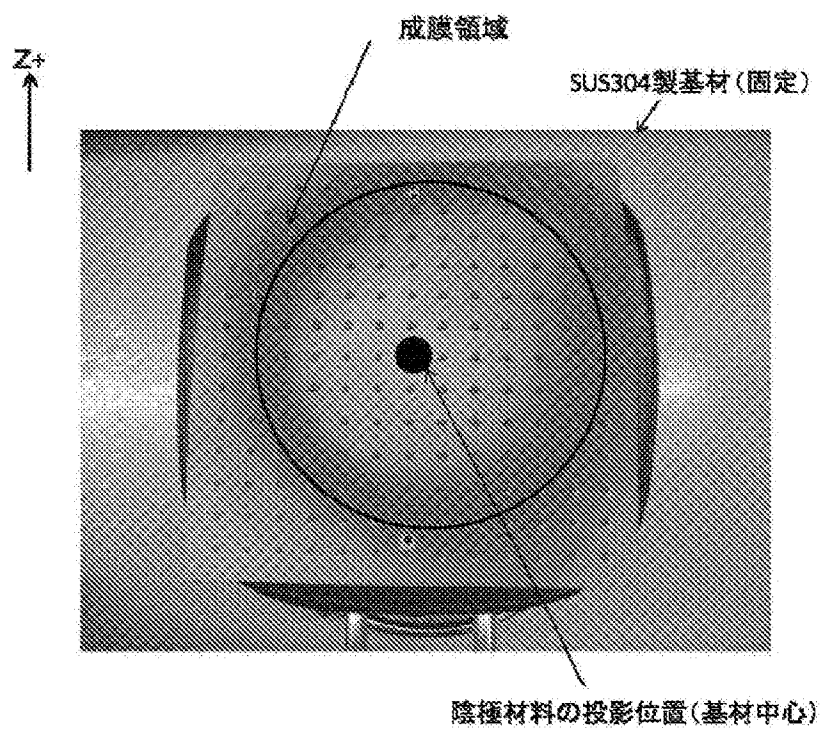
[図20]



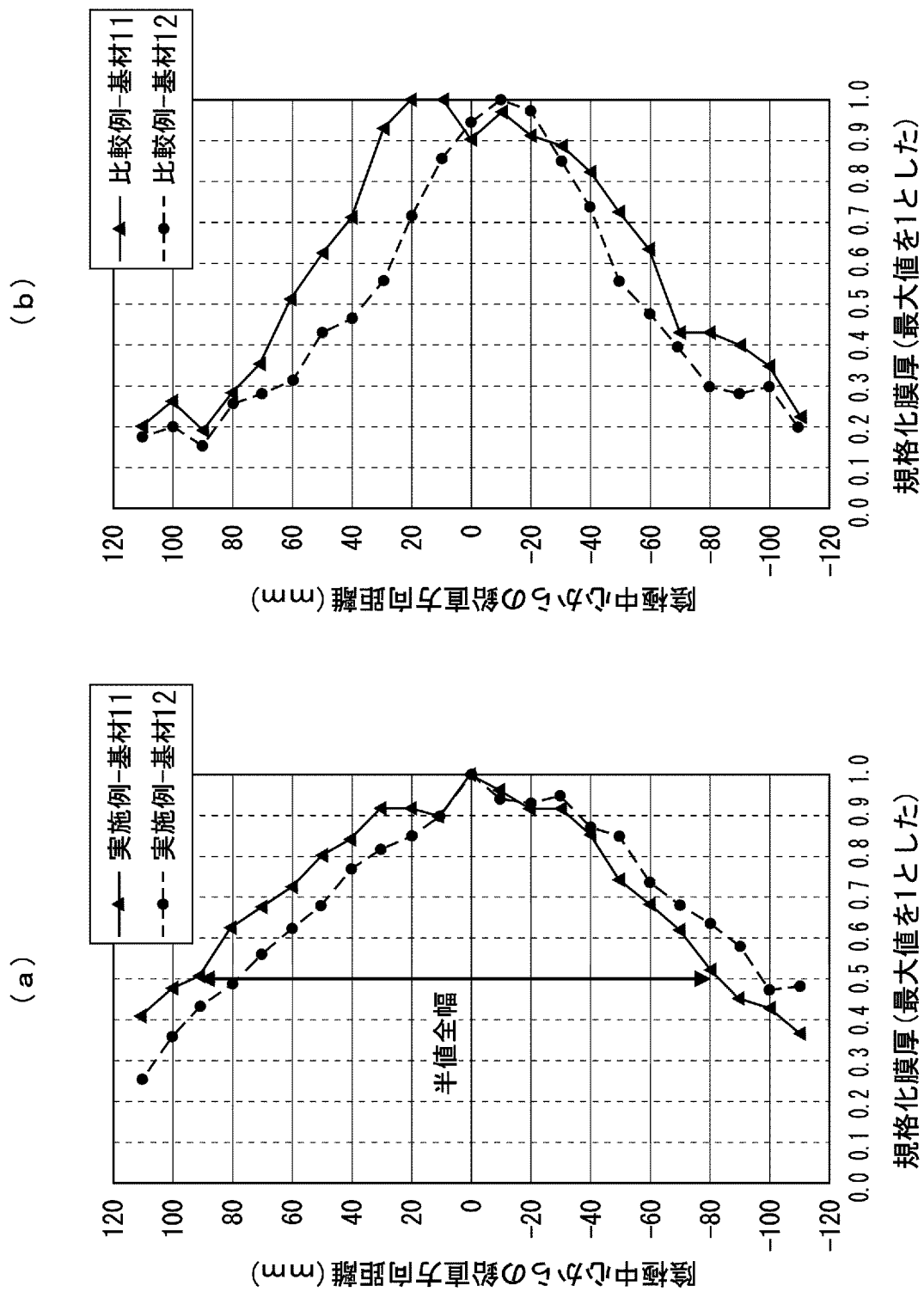
[図21]



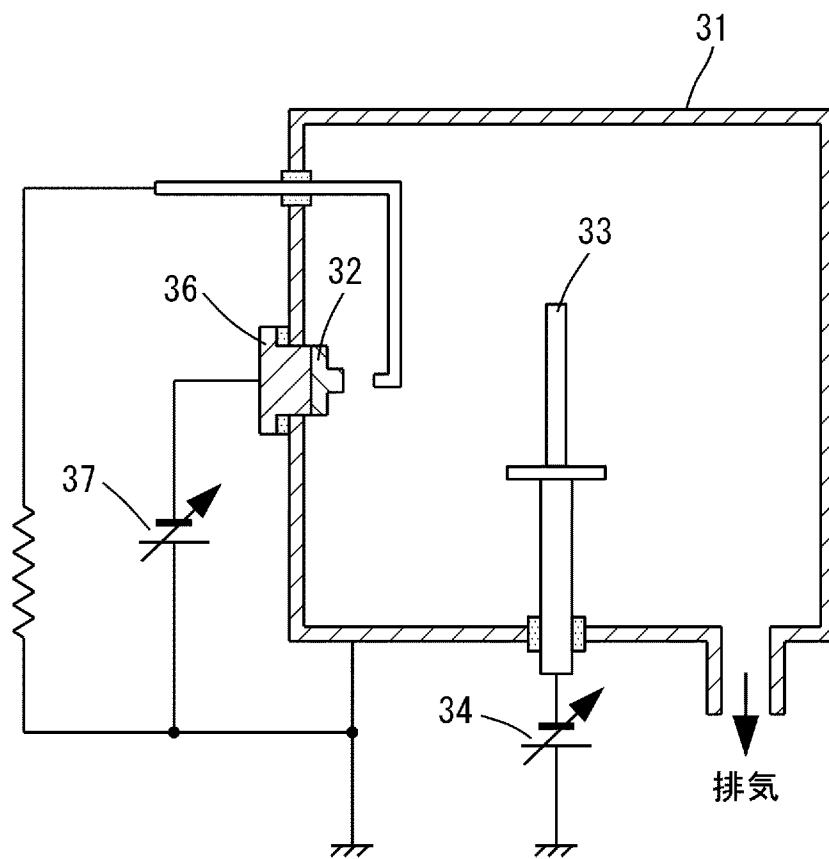
[図22]



[図23]



[図24]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/070211

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C23C14/24(2006.01)i, C23C14/06(2006.01)i, H05H1/50(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C23C14/00-14/58

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2014-133912 A (Nissin Electric Co., Ltd.), 24 July 2014 (24.07.2014), claims 1 to 7; paragraphs [0001] to [0007], [0016] to [0260]; fig. 7, 23 to 25, 30 to 33, 42 (Family: none)	1-12
Y	JP 4-236770 A (Kobe Steel, Ltd.), 25 August 1992 (25.08.1992), claims 1, 2; paragraphs [0001], [0039]; fig. 4, 6 & EP 495447 A1 page 2, left column, lines 5 to 7; page 6, left column, lines 13 to 17	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
06 October 2015 (06.10.15)

Date of mailing of the international search report
20 October 2015 (20.10.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. C23C14/24(2006.01)i, C23C14/06(2006.01)i, H05H1/50(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. C23C14/00-14/58

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2015年
日本国実用新案登録公報	1996-2015年
日本国登録実用新案公報	1994-2015年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2014-133912 A（日新電機株式会社）2014.07.24, 請求項1-7, [0001]-[0007], [0016]-[0260], 図7, 23-25, 30-33, 42（ファミリーなし）	1-12
Y	JP 4-236770 A（株式会社神戸製鋼所）1992.08.25, 請求項1, 2, [0001], [0039], 図4, 6 & EP 495447 A1, 2頁左欄5-7行, 6頁左欄13-17行	1-12

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

06.10.2015

国際調査報告の発送日

20.10.2015

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

末松 佳記

4 G

3 4 4 3

電話番号 03-3581-1101 内線 3416