(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7161815号
(P7161815)

(45)発行日　令和4年10月27日(2022.10.27)

(24)登録日　令和4年10月19日(2022.10.19)

(51)国際特許分類
C23C 14/30 (2006.01)

FI
C23C 14/30

請求項の数　7　（全21頁）

(21)出願番号　特願2022-508695(P2022-508695)
(86)(22)出願日　令和2年3月18日(2020.3.18)
(86)国際出願番号　PCT/JP2020/011904
(87)国際公開番号　WO2021/186604
(87)国際公開日　令和3年9月23日(2021.9.23)
審査請求日　令和4年8月10日(2022.8.10)
早期審査対象出願

(73)特許権者　321005928
株式会社Ｔｈｅｒｍａｌｙｔｉｃａ
茨城県つくば市千現一丁目２番地１
(74)代理人　100169591
弁理士　小島 浩嗣
(72)発明者　松本 一秀
東京都八王子市北野台３－１３－４
(72)発明者　王 興財
台北市松山▲区▼南京東路４段１▲号▼
１１▲楼▼ 陸昇科技有限公司内
審査官　今井 淳一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　蒸着装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

基材にセラミック被膜を形成するための蒸着装置であって、蒸着室と準備室と基材支持機構と水平移動機構と反転機構とを有し、

前記蒸着室と前記準備室は、それぞれが真空排気装置に接続されるとともに、開口部で左右方向に相互に接続され、

前記蒸着室内に、セラミック原料を支持する原料保持部と、前記セラミック原料に電子線を照射する電子銃とを備え、

前記基材支持機構は、左面隔壁と右面隔壁とを有し、前記左面隔壁の左側に複数の基材を取り付け可能な左面基材支持盤と、前記右面隔壁の右側に複数の基材を取り付け可能な右面基材支持盤とをさらに有し、前記左面基材支持盤を前記左面隔壁に平行な面内で回転させ取り付けた複数の基材を取り付け部を中心に回転させ、前記右面基材支持盤を前記右面隔壁に平行な面内で回転させることができ、

前記水平移動機構は、前記基材支持機構を、前記左面または右面の一方の隔壁を前記準備室内に残し他方の隔壁を当該準備室側から前記開口部の周囲の壁面に密着させる蒸着位置と、当該準備室内の反転位置との間で前記左右方向に水平移動させることができ、

前記反転機構は、前記反転位置において前記基材支持機構の左右を反転させることができる、

蒸着装置。

【請求項２】

請求項１において、前記準備室はさらに、スパッタ源、クリーニング装置、酸化装置のうちの少なくとも１つを備える、
蒸着装置。
【請求項３】
請求項１において、前記蒸着室はさらに、酸素プラズマ発生装置を備える、
蒸着装置。
【請求項４】
請求項１において、前記蒸着室はさらに、前記原料保持部に保持される前記セラミック原料に前記電子線が照射される位置を走査する走査機構を備える、
蒸着装置。
【請求項５】
請求項１において、前記基材支持機構は、前記左面及び右面基材支持盤の回転速度と、前記複数の基材の回転速度との比を規定する歯車を有する、
蒸着装置。
【請求項６】
請求項１において、前記原料保持部は、複数のセラミックインゴットを保持可能であり、前記複数のセラミックインゴットを順次前記電子線が照射される位置に移動させる機構を備える、
蒸着装置。
【請求項７】
請求項１において、前記蒸着室を中心とする対称な位置に、前記準備室と前記基材支持機構と前記水平移動機構と前記反転機構とを、複数組備える、
蒸着装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、蒸着装置に関し、特に金属基材の表面にセラミックを蒸着するために好適に利用できるものである。
【背景技術】
【０００２】
ガスタービンの動翼・静翼、燃焼器やジェットエンジンのブレードなど、運転時に高温になる金属基材には、セラミックによる遮熱被膜を施す必要がある。このとき、基材に加わる温度サイクルに伴い、基材の金属と被覆したセラミックの熱膨張率の違いによって、被覆のヒビ割れや剥離が発生し、耐久性を低下させる恐れがある。このような耐久性の低下を抑えるために、種々の技術が提案されている。
【０００３】
特許文献１には、金属基材上にボンド層と遮熱用セラミック被膜を積層する技術が開示されている。ボンド層は金属基材に耐食性と耐酸化性を与え、金属基材とセラミック被膜の接着性を向上し、さらに金属基材とセラミック被膜の熱膨張の差を吸収して熱応力を緩和するとされる。また、同文献には、金属基材を回転自在に保持する機材駆動装置を備えた電子線蒸着装置が開示されている。電子線蒸着によれば、特に強固な柱状晶結晶が緻密に形成されるとされる（同文献第００３８段落）。ここで電子線蒸着とは、坩堝の中に配置したセラミック原料を、電子線を照射することによって加熱，溶融して蒸発させ、その蒸気を金属基材に堆積させる、物理蒸着の一種である。
【０００４】
特許文献２には、熱処理と蒸着を同一チャンバー内で連続的に行うことができる熱処理・蒸着複合装置が開示されている。基材を自転と公転の２軸で回転させることができる回転治具を備え、回転治具の軸を中空として熱電対を挿入することができる構成とすることにより、基材の温度を精密に制御することができる。
【０００５】

特許文献３には、一度に多数のワークに蒸着を行うことができる蒸着装置用ワーク移動機構が開示されている。ターゲットからの蒸着位置を含む一定の公転経路に沿って、複数のワークを自転させながら移動させる。なお、蒸着の対象物を、ワークまたはワークピースと呼ぶ場合があるが、本明細書で「基材」という語を用いることとする。意味するところは同義である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００６】

【文献】特開２００３－３１３６５２号公報
特開２００６－２９９３７８号公報
特開２０１２－２２４８７８号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００７】

本発明者は、特許文献１及び２に開示されるような、セラミックの金属基材への遮熱コーティングにおいて、量産性を高める蒸着装置の研究開発に取り組んだ。量産性を高めるには、複数の基材を対象として一度に多数の基材に対する蒸着を可能とすることにより達成される。このとき特許文献３に開示される技術を組み合わせることができればよい。

【０００８】

しかしながら本発明者は、特許文献３に開示される技術は、セラミックの金属基材への遮熱コーティングには適用することができないことに気付いた。同文献に示されるワーク移動機構は、左右に立てられた２つの長方形のターゲットの間に配置され、各ターゲットには励起用の電源が接続されている（同文献第００１４段落及び図１，図２参照）。一方、セラミックの金属基材への遮熱コーティングにおいては、遮熱用のセラミック被膜を強固で緻密な柱状晶結晶とするために電子線蒸着が好適であるため、ワークである金属基材は、電子線で加熱溶融されるセラミック原料が入った坩堝の上方に配置される必要がある。特許文献３に開示される蒸着装置において、ターゲットに代えて電子ビームが照射される坩堝を配置した場合には、坩堝に近い部分と遠い部分でワークに形成される被膜の膜厚が大幅に異なることとなり、実用上採用することができない。

【０００９】

本発明の目的は、電子線蒸着においても、複数の基材に対して膜厚ばらつきを抑えることができ、量産性の高い蒸着装置を提供することである。

【００１０】

このような課題を解決するための手段を以下に説明するが、その他の課題と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面から明らかになるであろう。

【課題を解決するための手段】

【００１１】

本発明の一実施の形態によれば、下記の通りである。

すなわち、基材にセラミック被膜を形成する蒸着装置であって、蒸着室と準備室と基材支持機構と水平移動機構と反転機構とを有し、以下のように構成される。

【００１２】

蒸着室と準備室は、それぞれが真空排気装置に接続されるとともに開口部で相互に接続され、蒸着室内には、保持されるセラミック原料に電子線を照射する電子銃が備えられている。基材支持機構は、左右に隔壁を有し、左の隔壁の左側と右の隔壁の右側のそれぞれに、基材を取り付けるための複数の基材取り付け部を有する左と右の基材支持盤をさらに備える。左と右の基材支持盤は左右それぞれの隔壁に平行な面内で公転し、複数の基材取り付け部はそれぞれ自転することができるように構成される。水平移動機構は、基材支持機構を、一方の隔壁を開口部周囲の壁面に密着させる蒸着位置と、基材支持機構の左右を反転させる反転位置との間で、左右方向に水平移動させることができる。

【発明の効果】

【００１３】
前記一実施の形態によって得られる効果を簡単に説明すれば下記のとおりである。
すなわち、複数の基材に対するセラミックの電子線蒸着においても、複数の基材に対して膜厚ばらつきを抑えることができ、量産性の高い蒸着装置を提供することができる。上述の形態によればセラミックの蒸発源の上方に基材を配置した状態で蒸着を行うことができるので、電子線蒸着を採用することができる。また、複数の基材は左右の基材支持盤に保持されて自公転するので、膜厚を均一に制御することが容易で、さらに準備室で左右を反転することができるため、真空を破ることなく蒸着対象の基材を交代させることができ、量産性が向上する。
【図面の簡単な説明】
【００１４】
【図１】図１は、本発明の一実施形態に係る蒸着装置の構成例を示す平面図である。
【図２】図２は、蒸発源の構成例を示す説明図である。
【図３】図３は、基材支持機構の構成例を示す模式図である。
【図４】図４は、基材水平移動機構の構成例を示す模式図である。
【図５】図５は、基材支持機構を反転位置まで移動させたときの装置の正面図である。
【図６】図６は、反転位置における装置の上面図である。
【図７】図７は、蒸着室の一構成例を示す側面図である。
【図８】図８は、基材取り付け部１５に熱電対８を取り付けた基材支持機構１０の断面図である。
【図９】図９は、基材支持盤１４に１個の基材４を取り付けた例を模式的に示す斜視図である。
【図１０】図１０は、基材支持盤１４に３個の基材４を取り付けた例を模式的に示す斜視図である。
【図１１】図１１は、準備室の一構成例を示す側面図である。
【図１２】図１２は、準備室の前処理と蒸着室の蒸着処理を連続して行う場合のタイムチャートである。
【図１３】図１３は、セラミック原料であるインゴットの連続供給機構の構成例を示す斜視図である。
【図１４】図１４は、図１３の連続供給機構において、使用済みのインゴットを電子線照射点から移動させる様子を描いた説明図である。
【図１５】図１５は、図１３の連続供給機構において、未使用インゴットを電子線照射点へ移動させる様子を描いた説明図である。
【図１６】図１６は、インゴット再利用機構の構成例を示す模式的な斜視図（使用済みインゴット待避）である。
【図１７】図１７は、インゴット再利用機構の構成例を示す模式的な斜視図（未使用インゴット供給）である。
【図１８】図１８は、インゴット再利用機構の構成例を示す模式的な斜視図（未使用インゴット待避）である。
【図１９】図１９は、インゴット再利用機構の構成例を示す模式的な斜視図（使用済みインゴット載置）である。
【図２０】図２０は、準備室の数を１個とした蒸着装置の構成例である。
【図２１】図２１は、準備室の数を４個とした蒸着装置の構成例である。
【発明を実施するための形態】
【００１５】
１．実施の形態の概要
先ず、本願において開示される代表的な実施の形態について概要を説明する。代表的な実施の形態についての概要説明で括弧を付して参照する図面中の参照符号はそれが付された構成要素の概念に含まれるものを例示するに過ぎない。なお、参照符号の枝番（例えばハイフン付きの番号や「Ｌ」「Ｒ」）は、同じ構造物が複数あって、区別するために付与

されている。区別する必要がない場合は、枝番なしの参照符号が総称として用いられる。
【００１６】
〔１〕＜複数の基材を自公転可能に支持する支持盤を２組備えて反転可能とした基材支持機構を有するセラミック被膜蒸着装置＞
本発明の代表的な実施の形態は、基材（４）にセラミック被膜を形成するための蒸着装置であって、蒸着室（１００）と準備室（１１０－１，１１０－２）と基材支持機構（１０）と水平移動機構（２０）と反転機構（２２）とを有し、以下のように構成される（図１）。
【００１７】
前記蒸着室と前記準備室は、それぞれが真空排気装置に接続されるとともに、開口部で左右方向に相互に接続される。
【００１８】
前記蒸着室内に、セラミック原料（３）を支持する原料保持部と、前記セラミック原料に電子線を照射する電子銃（３１）とを備える（図２，図１の１－１，１－２）。
【００１９】
前記基材支持機構（図３及び図１の１０－１，１０－２参照）は、左面隔壁（１３Ｌ，図１の１３）と右面隔壁（１３Ｒ，図１の１３）とを有し、前記左面隔壁の左側に複数の基材（図１の４）を取り付け可能な左面基材支持盤（１４Ｌ）と、前記右面隔壁の右側に複数の基材を取り付け可能な右面基材支持盤（１４Ｒ）とをさらに有する。前記基材支持機構は、前記左面基材支持盤を前記左面隔壁に平行な面内で回転（公転）させ取り付けた複数の基材を取り付け部（１５Ｌ）を中心に回転（自転）させ、前記右面基材支持盤を前記右面隔壁に平行な面内で回転させることができる。
【００２０】
前記水平移動機構（図４及び図１の２０－１，２０－２参照）は、前記基材支持機構を、前記左面または右面の一方の隔壁（１３）を前記開口部の周囲の壁面に密着させる蒸着位置（図１）と、反転位置との間で前記左右方向に水平移動させることができ、前記反転機構は、前記反転位置において前記基材支持機構の左右を反転させることができる（図５，図６）。
【００２１】
これにより、複数の基材に対するセラミックの電子線蒸着においても、複数の基材に対して膜厚ばらつきを抑えることができ、量産性の高い蒸着装置を提供することができる。上述の形態によればセラミックの蒸発源の上方に基材を配置した状態で蒸着を行うことができるので、電子線蒸着を採用することができる。また、複数の基材は左右の基材支持盤に取り付けられて自公転するので、膜厚を均一に制御することが容易で、さらに準備室で左右を反転することができるため、真空を破ることなく蒸着対象の基材を交代させることができ、量産性が向上する。
【００２２】
〔２〕＜準備室における前処理＞
〔１〕項の蒸着装置において、前記準備室はさらに、スパッタ源（６）、クリーニング装置（７）、酸化装置（不図示）のうちの少なくとも１つを備える（図１１）。
【００２３】
これにより、準備室において種々の前処理を行うことができる。例えば、基材表面をクリーニングし、薄く酸化し、または、ボンド層をスパッタによって形成することができる。
【００２４】
〔３〕＜蒸発源に対する酸素の補償＞
〔１〕項の蒸着装置において、前記蒸着室はさらに、酸素プラズマ発生装置（２）を備える（図１）。
【００２５】
これにより、電子銃により発生した蒸気から失われる酸素を補うことができる。セラミック原料は酸化物であるところ、発生した蒸気は高エネルギー熱電子と衝突したときに、

その衝撃により一部の酸化物から酸素が分離する現象が発生する。その結果、堆積するセラミック被膜における元素比率が、セラミック本来の組成比から外れる問題が発生する。セラミック蒸発源（１）の近傍で酸素プラズマを発生させることにより、失われた酸素を補い、被膜をセラミック本来の組成比に戻すことができる。

【００２６】

〔４〕＜電子線走査型電子銃＞

〔１〕項の蒸着装置において、前記蒸着室はさらに、前記原料保持部に保持される前記セラミック原料に前記電子線が照射される位置を走査する走査機構（３２，３５）を備える（図２）。

【００２７】

これにより、電子線が照射される位置が点から面に広がり、セラミック原料（３）消費の面内での偏りを減らすことができる。なお、これに代えて、またはこれと合わせて、セラミック原料であるインゴットを回転させるなどにより、電子線が照射される位置を移動させることにより、セラミック原料（３）消費の面内での均一化に寄与することができる。

【００２８】

〔５〕＜基材自公転機構＞

〔１〕項の蒸着装置において、前記基材支持機構は、前記左面及び右面基材支持盤の回転速度と、前記複数の基材の回転速度との比を規定する歯車（１８ａ、１８ｂ）を有する（図３）。

【００２９】

歯車（１８ａ、１８ｂ）を交換することにより、自転と公転の回転速度の比を自由に調整することができる。なお、基材自公転機構（１２）に、ギア比を変更できるような変速機構を採用することもできる。

【００３０】

〔６〕＜インゴット供給機構＞

〔１〕項の蒸着装置において、前記原料保持部は、複数のセラミックインゴット（３－１～３－４）を保持可能であり、前記複数のセラミックインゴットを順次前記電子線が照射される位置に移動させる機構を備える（図１３，図１４，図１５）。

【００３１】

これにより、セラミック原料としてのインゴットの補給／交換のために蒸着を中断することなく連続して行うことができる。また、セラミック原料としてのインゴットの無駄を抑えることができる。

【００３２】

〔７〕＜複数の基材支持機構と準備室＞

〔１〕項の蒸着装置において、前記蒸着室を中心とする対称な位置に、前記準備室と前記基材支持機構と前記水平移動機構と前記反転機構とを、複数組備える（図１，図２１）。

【００３３】

これにより、一度に蒸着することができる基材の数を倍加させることができ、量産性がより高まる。

【００３４】

２．実施の形態の詳細

実施の形態について更に詳述する。

【００３５】

〔実施形態１〕

図１は、本発明の一実施形態に係る蒸着装置の構成例を示す平面図である。上側が上面図、下側が正面図であり、いずれも装置の内部構造を示すために装置中央部の断面図として描かれているが、発明の理解を助けるために、一部の構造は図示を省略、簡略化、または配置を正確な位置から移動して描かれている。

【００３６】

特に限定されるものではないが、基材、セラミック原料、ボンド層について一例を示す

。基材は、例えば、Ｎｉ基合金、Ｃｏ基合金、Ｆｅ基合金などの耐熱超合金である。セラミック原料、セラミック被膜の材料は、例えば、酸化ジルコニウム（「ジルコニア」；ＺｒＯ２）、酸化ハフニウム（「ハフニア」；ＨｆＯ２）を主成分とし、安定化剤としてＹ２Ｏ３，ＭｇＯ，ＣａＯ，ＴｉＯ２，ランタノイド酸化物等が添加されても良い。なお、セラミック原料はインゴットの状態で供給されるのが一般的であり、以下単に「インゴット」と記載してあっても、セラミック原料としてのインゴットを意味する。ボンド層は、例えば、白金（Ｐｔ）族金属、またはＮｉ基合金、Ｃｏ基合金、Ｎｉ－Ｃｏ合金のいずれかから構成され、一般式Ｍ－Ｃｒ－Ａｌ－Ｙ（但し、ＭはＮｉ，ＣｏまたはＦｅ）で表される耐熱合金である。

【００３７】

本実施形態１の蒸着装置は、蒸着室１００と、左右の準備室１１０－１，１１０－２と、複数の基材４が取り付けられる左右の基材支持機構１０－１，１０－２と、水平移動機構２０－１，２０－２と、反転機構２２－１，２２－２とを備える。蒸着室１００と左右の準備室１１０－１，１１０－２とは、それぞれが真空排気装置に接続されるとともに、開口部で相互に接続されている。真空排気装置は、拡散ポンプ、クライオポンプ、ターボ分子ポンプ、メカニカルポンプ、ロータリーポンプ等を適宜組み合わせて構成される。

【００３８】

蒸着室１００内には、左右の蒸発源１－１，１－２とヒーター５が配置されている。左右の蒸発源１－１，１－２はそれぞれ、セラミック原料３を支持する原料保持部と、セラミック原料３に電子線を照射する電子銃３１とを備える。ヒーター５は、基材４を加熱するヒーターであり、図示が省略されている電源ケーブルによって電力が供給されている。

【００３９】

図２は、蒸発源の構成例を示す説明図である。図示が省略された原料保持部に保持されたセラミック原料３としてのインゴットに、電子線を照射することによってセラミック原料３を加熱、溶融して蒸気を発生させ、基材４の表面に堆積させる。電子銃３１には、熱電子を発生させる電源３３と、発生した熱電子を加速する直流高圧電源３４とが接続されている。なお、各電源は図示が省略されているケーブルにより蒸着室１００の外部から導入されている。

【００４０】

蒸発源１にはさらに、電子線が照射される位置を走査する走査機構を備えるとより好適である。走査機構は、例えば、セラミック原料３の上方に配置された２個の電極とこの２個の電極間の電位差を変化させる交流電源３５とを用いて構成することができる。熱電子に与える加速エネルギーは、中心値が電源３４の電圧で規定され、交流電源３５によって２つの電極間に生じる横方向の電界によって、２個の電極間を走査される。これにより、電子線が照射される位置が点から面に広がり、セラミック原料３が消費される領域の偏りを減らすことができる。また、電子線の走査に代えて、セラミック原料３を移動させることによって、原料が消費される領域の偏りを減らすことができる。例えば、セラミック原料３であるインゴットを回転させる。電子線の走査とインゴットの回転を併用することにより、セラミック原料３の面内での消費をさらに均一にすることができる。なお、電子線の走査にさらに多くの電極と電源を用いて、２次元に走査するように構成することもできる。

【００４１】

図１を参照する説明に戻る。蒸着室１００はさらに、酸素プラズマ発生装置２を備えるとより好適である。セラミック原料は酸化物であるところ、発生した蒸気は高エネルギー熱電子との衝突したときに、その衝撃により一部の酸化物から酸素が分離する現象が発生する。その結果、堆積するセラミック被膜を組成する元素比率が、セラミック本来の組成比から外れる問題が発生する。例えば、セラミック原料が酸化ジルコニウムＺｒＯ２のときその一部から酸素が分離してＺｒＯとなり、堆積されるセラミックではジルコニウムＺｒ＝１に対する酸素Ｏの比率が本来の値である２よりも小さくなる。酸素プラズマ発生装置２を蒸発源１の近傍に備えて酸素プラズマを発生させることにより、失われた酸素を補

うことができる。酸素プラズマ発生装置２は、例えば、外部から酸素ガスと高周波電力が供給され、導入された酸素を高周波によって励起することによって酸素プラズマを発生させる。酸素が分離した蒸気にプラズマ中の酸素イオンが結合して元の元素比に戻る。導入する酸素は例えば、バックグラウンドの真空度を１０－３Ｐａ（１０－５Ｔｏｒｒ）としたとき１～１０Ｐａ（１０－２～１０－１Ｔｏｒｒ）が好適である。

【００４２】

基材支持機構１０について説明する。図１には、左右に２個の基材支持機構１０－１と１０－２とを備える構成例が示されている。基材支持機構１０は左右両面のそれぞれに、複数の基材４を取り付けることができ、基材４を自転させるとともに複数の基材４をそれぞれの面で公転させることができるように構成されている。自公転のための駆動力は、例えば、基材自公転駆動機構２３－１，２３－２によって準備室１１０－１，１１０－２の外側から供給される。一方の面の基材４が蒸着室１００に入ると、他方の面の基材４は準備室１１０－１，１１０－２に残る。蒸着が終わると左右の面を入れ替えるために、基材支持機構１０を反転させる。基材支持機構１０を反転させるために、基材水平移動機構２０－１，２０－２によって蒸着室１００との境界の壁面から距離を離し、基材反転駆動機構２２－１，２２－２から供給される駆動力によって反転させる。基材水平移動機構２０－１，２０－２への駆動力は、基材水平移動駆動機構２１－１，２１－２から供給される。以下、さらに詳しく説明する。

【００４３】

図３は、基材支持機構１０の構成例を示す模式図である。理解を助けるために、構成物の間隔が左右方向に広げて示されている。基材支持機構１０は、中央に基材回転動力伝達機構１１を備え、その外側に順次、左右の隔壁１３Ｌと１３Ｒ、基材自公転機構１２Ｌと１２Ｒ、基材支持盤１４Ｌと１４Ｒを備え、基材支持盤１４Ｌと１４Ｒ上に、それぞれ複数の基材取り付け部１５Ｌと１５Ｒが設けられている。

【００４４】

基材回転動力伝達機構１１は、基材自公転駆動機構２３から供給される自公転のための駆動力を、かさ歯車１６ａ，１６ｂ，１６ｃによって、基材自公転機構１２Ｌと１２Ｒへ伝達する。基材自公転機構１２Ｌと１２Ｒは、基材支持盤１４Ｌと１４Ｒを回転（公転）させ、歯車１８ａと１８ｂを使って駆動力を基材取り付け部１５Ｌと１５Ｒへ伝達して自転させる。歯車１８ｂは、複数の基材取り付け部１５Ｌにそれぞれ１個ずつ設けられているが、図３では１個のみが示され他は図示が省略されている。

【００４５】

左右の隔壁１３Ｌと１３Ｒは、蒸着を行うときに蒸着室１００との間の壁に密着する。蒸着室１００と準備室の間の開口部を真空封止するために接触面にはＯリング１７Ｌと１７Ｒが付けられている。基材支持盤１４Ｌ，１４Ｒと基材自公転機構１２Ｌ，１２Ｒは開口部よりも小さく、Ｏリング１７Ｌ，１７Ｒは開口部よりも大きく蒸着室１００との間の壁に密着することができる位置に配置される。

【００４６】

図１を参照する説明に戻る。左右の基材支持機構１０－１と１０－２は、水平移動機構２０－１と２０－２によって、左右に水平移動することができるように構成されている。蒸着を行うときには、蒸着室１００側に移動して、左右の隔壁１３を蒸着室１００との間の壁に密着させ、開口部を真空封止する。蒸着中は、通常、準備室１１０－１と１１０－２も真空排気されているので、蒸着室１００との間に圧力差はなく、厳密な真空封止は求められないが、蒸着中にも準備室１１０－１，１１０－２を大気に解放できるように構成しておけば、汎用性が高まる。蒸着中は、基材自公転駆動機構２３－１と２３－２が、基材支持機構１０－１と１０－２の基材回転動力伝達機構１１にそれぞれ結合されて、基材を自公転させるための駆動力を、蒸着室１００の外側から供給する。基材自公転駆動機構２３－１と基材回転動力伝達機構１１との結合は、例えば、一方を２本の円柱（棒）、他方を円柱よりも径の大きい２つの孔として、嵌合できるように構成すれば良い。

【００４７】

蒸着の終わった基材を取り出し、準備室１１０－１，１１０－２側にあった基材を蒸着室１００に入れるには、基材支持機構１０－１と１０－２を左右反転させる。そのためには、左右の隔壁１３を蒸着室１００との間の壁から離し、反転させるための空間を確保する必要があるので、基材支持機構１０－１と１０－２を基材水平移動機構２０－１，２０－２によって準備室１１０－１，１１０－２の中央付近まで移動させる。

【００４８】

図４は、基材水平移動機構２０の構成例を示す模式図である。基材水平移動機構２０は、基材水平移動駆動機構２１によって準備室１１０－１，１１０－２の外側から供給される駆動力を使って基材支持機構１０を水平方向に移動させる機構である。基材水平移動機構２０は、例えば、台座４０の２辺に沿って固定された６個の固定ブロック４４によって支えられた２本のガイドレール４２と１本のネジ棒４３、それらの中間部分を支え基材支持機構１０と接続される３個の移動ブロック４５、及び、ネジ棒４３と基材水平移動駆動機構２１にそれぞれ結合された２個のかさ歯車４１ａ、４１ｂによって構成される。図示は省略されているが、３個の移動ブロック４５と基材支持機構１０とは、基材支持機構１０が左右反転できるような回転可能な状態で接続されている。２本のガイドレール４２は、両端で２個の固定ブロック４４に固定されており、中間の移動ブロック４５は貫通するだけで固定されておらず、スライドすることができる。ネジ棒４３は、両端の固定ブロック４４には回転可能な状態で支持され、中間の移動ブロック４５にはネジ棒４３のネジ山と噛み合うネジが形成されており、ネジ棒４３の回転に伴って水平方向に移動できるように構成されている。基材水平移動駆動機構２１によって回転力として供給された駆動力は、２個のかさ歯車４１ｂ、４１ａによってネジ棒４３の回転に伝達され、ネジ棒４３の中間に位置する移動ブロック４５を水平移動させる力に変換される。この移動ブロック４５は、ガイドレール４２を支える他の２個の移動ブロック４５とともに基材支持機構１０に結合され、基材支持機構１０を左右方向に水平移動させる。ガイドレール４２と移動ブロック４５が接触する部分や、固定ブロック４４のネジ棒４３を回転可能な状態で支える部分には、摩擦を減らすために例えばテフロン樹脂のパッキンを挟むとよい。このような基材水平移動機構２０を搭載することにより、基材支持機構１０－１，１０－２を、左面または右面の一方の隔壁１３を蒸着室１００と準備室１１０－１，１１０－２の間の開口部に密着させる蒸着位置と、基材支持機構１０－１，１０－２を左右反転させる反転位置との間で左右方向に水平移動させることができる。

【００４９】

図５は基材支持機構１０－１，１０－２を反転位置まで移動させたときの装置の正面図であり、図６は反転位置における装置の上面図である。図１は基材支持機構１０－１，１０－２が蒸着位置にある状態を示し、図１下の正面図に示すように、基材自公転駆動機構２３－１と２３－２が、基材支持機構１０－１と１０－２にそれぞれ結合されて、基材を自公転させるための駆動力を、蒸着室１００の外側から供給する。一方、反転位置では、基材反転駆動機構２２－１と２２－２が、基材支持機構１０－１と１０－２にそれぞれ結合されて、基材支持機構１０－１と１０－２の左右を反転させる。図６は、左側の準備室１１０－１内で基材支持機構１０－１が左右反転する様子を描いたもので、右側は反転前または反転後を示している。実動作では左右同時に反転させることができる。これにより、蒸着された基材４が蒸着室１００から準備室１１０－１、１１０－２へ移動し、代わってまだ蒸着されていない基材４が蒸着室１００側に移動する。

【００５０】

準備室１１０－１，１１０－２の蒸着室１００と反対側の面に、それぞれ扉を設けて、基材４の取り付け、交換などの作業ができるように構成するとより好適である。このとき、基材水平移動機構２０は、基材支持機構１０を、反転位置を過ぎてより扉に近い側まで移動できるように構成するとよい。

【００５１】

以上のような構成により、複数の基材に対するセラミックの電子線蒸着においても、複数の基材に対して膜厚ばらつきを抑えることができ、量産性の高い蒸着装置を提供するこ

とができる。上述の形態によればセラミックの蒸発源の上方に基材を配置した状態で蒸着を行うことができるので、電子線蒸着を採用することができる。また、複数の基材は左右の基材支持盤に保持されて自公転するので、膜厚を均一に制御することが容易で、さらに準備室で左右を反転することができるため、真空を破ることなく蒸着対象の基材を交代させることができ、量産性が向上する。

【００５２】

装置の構成をさらに詳しく説明する。

【００５３】

〔基材の配置と温度制御、蒸着膜厚制御〕

図７は、一構成例を示す蒸着室の側面図である。ヒーター５は、基材支持機構１０に支持される複数の基材４を囲むように、蒸着室１００の上面の他、前面と背面にも設置されるとよい。基材温度と蒸着膜厚を、蒸着処理中にモニターできるように構成するとさらに好適である。

【００５４】

まず膜厚測定について説明する。例えば、蒸着室１００の壁面から基材４にレーザー光を照射する照射器９Ｔと基材４で反射した反射光を受信する受光器９Ｒで構成される膜厚測定器９を備える。このとき基材４に代えて、測定用試料を基材支持機構１０以外に固定してもよい。または、蒸着中ではなく、準備室または外部に基材４を測定してもよい。

【００５５】

次に基材温度の測定と制御について説明する。例えば、熱電対８を蒸着室１００の上面から導入して、ヒーター５の温度を測定することができるように構成する。基材４の温度とヒーター５の温度の相関を予め実験的に求めておく。予め求めた相関から、基材４を所望の温度にするために目標とすべきヒーター５の温度を特定し、ヒーター５がその温度になるように、ヒーター５に供給する電力を制御する。

【００５６】

熱電対８はヒーター５に取り付ける代わりに、またはさらに、基材支持機構１０の基材４に近い部分の温度を測定する別の熱電対８を設けても良い。図８は、基材取り付け部１５に熱電対８を取り付けた基材支持機構１０の断面図である。基材回転動力伝達機構１１のかさ歯車１６ｂは、隔壁１３Ｌを貫通して、基材自公転機構１２Ｌの歯車１８ａと基材支持盤１４に接続されている。接続する公転軸は、隔壁１３Ｌを貫通する箇所で、例えばテフロンパッキンとＯリングを組み合わせる等により回転できるように真空封止されている。基材保持部１５に熱電対８を取り付け、公転軸を中空として、中空部分を貫通して配線し、基材回転動力伝達機構１１側に回転式ジョイントを設けて、準備室１１０－１，１１０－２の外側の温度測定器２４まで配線する。熱電対８は基材支持盤１４に取り付けてもよい。または、赤外線センサ（サーモグラフィ）などにより、非接触で基材４の温度を測定することができるように構成してもよい。

【００５７】

図７には、基材支持盤１４に７個の基材４を取り付けた例が示されるが、取り付ける基材４の個数は任意である。基材４が大きい場合などには、基材支持盤１４上の基材保持部１５の数が決まっていても、一部にのみ基材４を取り付けて蒸着すればよい。または、基材保持部１５の数を変えた基材支持盤１４を準備して取り替えられるようにしてもよい。

【００５８】

図９は、基材支持盤１４に１個の基材４を取り付けた例を模式的に示す斜視図である。基材支持盤１４の公転がそのまま基材４の自転となり、基材自公転機構１２は省略される。それ以外の構成と動作は図７を引用して説明したとおりなので、詳しい説明を省略する。基材４が、例えば、ガスタービン第一段動翼のように、大型である場合に採用される。

【００５９】

図１０は、基材支持盤１４に３個の基材４を取り付けた例を模式的に示す斜視図である。基材自公転機構１２は、基材支持盤１４に接続されて公転する歯車１８ａと、３個の基材保持部１５に接続されて自転させる３個の歯車１８ｂを組み合わせて構成される。それ

以外の構成と動作は図７を引用して説明したとおりなので、詳しい説明を省略する。基材が、中規模である場合に採用される。

【００６０】

〔準備室の構成例と前処理〕

図１１は、準備室１１０の一構成例を示す側面図である。準備室１１０には、スパッタ源６とプラズマクリーナ７が設けられるとより好適である。基材支持機構１０は左右対称であるので、蒸着室１００内で基材４を自公転させると、準備室１１０においても同様に自公転させることができる。蒸着室１００で蒸着を行うのと並行して、準備室１１０において基材４のクリーニング処理やスパッタ処理を行うことができる。一般に金属に遮熱コーティングを施す場合、金属の基材表面にボンド層を形成した上で、遮熱用のセラミック被膜をコーティングする。プラズマクリーナ７を使って基材４の金属をクリーニングした後、スパッタ源６を使ってボンド層の材料を金属基材４の表面に堆積させ、その後、真空を破らずに蒸着室１００へ移動させ、遮熱コーティングを施すことができる。スパッタ源６としては，例えばマグネトロンスパッタが好適である。

【００６１】

図１２は、準備室１１０の前処理と蒸着室１００の蒸着処理を連続して行う場合のタイムチャートである。横軸を時間経過とし、準備室１１０と蒸着室１００それぞれでの処理が示されている。時刻ｔ１より前に、準備室１１０において基材４を基材支持機構１０に取り付ける。このとき、基材支持機構１０を準備室１１０内で反転することにより、両面に基材４を取り付ける。次に全体を真空排気する。排気が完了した後、時刻ｔ１から時刻ｔ２の期間にプラズマクリーナ７を動作させて基材のクリーニングを行う。そのまま連続して時刻ｔ２から時刻ｔ３の期間にスパッタ源６を動作させて、基材４の表面にボンド層を堆積する。次に、基材支持機構１０を準備室１１０内に戻して反転させた後、蒸着室１００に密着させることにより、ボンド層が形成された基材４が蒸着室１００内に送られる。このとき、準備室１１０と蒸着室１００の密閉は解除されるが、どちらも真空が保たれる。その後、準備室１１０と蒸着室１００を所定の真空度（例えば１０－３Ｐａ，１０－５Ｔｏｒｒ）になるまで排気し、時刻ｔ４から時刻ｔ６の期間に蒸着室１００では遮熱用セラミック被膜の蒸着処理を行う。これと並行して準備室１１０では、時刻ｔ４から時刻ｔ５の期間に基材のクリーニングが、時刻ｔ５から時刻ｔ６の期間にスパッタによるボンド層の堆積が行われる。次に再度、基材支持機構１０を準備室１１０内に戻して反転させた後、蒸着室１００に密着させることにより、ボンド層の形成された基材４が蒸着室１００内に送られる。次に準備室１１０と蒸着室１００を所定の真空度になるまで排気し、時刻ｔ７から時刻ｔ８の期間に蒸着室１００で遮熱用セラミック被膜の蒸着処理を行う。

【００６２】

以上のように、基材のクリーニングとボンド層の堆積、遮熱用セラミック被膜の蒸着を、真空を破ることなく連続して行うことができるため、界面の汚染等を最小限に抑えることができる。また、クリーニング及びスパッタリングと蒸着処理とを並行して行うことができるため、単位時間あたりの処理量を向上することができ、量産性をさらに向上させることができる。

【００６３】

また、上述した一連のシーケンスは、人手による準備が終わり、冷却水の導入が確認され、主電源が投入された後、遠隔操作または自動運転によって、進行させることができる。即ち、蒸着室１００と準備室１１０を含む全体を真空排気し、蒸着室１００をベーキングし、バックグラウンドの真空度が所定の値以下になったことを確認する。その後、酸素プラズマ発生装置２に酸素を導入して酸素プラズマを発生させ、電子銃３１を動作させて蒸着を行う。さらにインゴットの状態を観察しながら蒸着膜厚を測定し、所定の膜厚に達したときに蒸着を完了する。これと並行してまたは準備段階として、準備室１１０において基材のクリーニングとボンド層を形成するためのスパッタを行っても良い。

【００６４】

〔インゴットの連続供給〕

図２には蒸着のセラミック原料であるインゴットは、１個のみが描かれているが、連続供給することができる機構を備えるとより好適である。

【００６５】

図１３は、セラミック原料であるインゴットの連続供給機構の構成例を示す斜視図である。インゴット保持ステージ５０上に、４個のインゴット３－１～３－４が１列に並んで置かれている。先頭のインゴット３－１は、電子銃３１によって電子線が照射される位置に配置されている。図示は省略されているが、先頭以外のインゴットは、両脇に設けられたガイド板に沿って並べられるとよい。先頭のインゴットは、使用後にインゴット排除レバー５２によって排除され、列をなすインゴットがインゴット送出レバー５３によって押されて、次のインゴットが先頭の電子線照射位置に送られる。

【００６６】

電子線照射位置にあるインゴットは、インゴット制御棒５１によって、上下方向に移動することができるように構成されている。蒸着中にインゴットが消費されるのに応じて、電子線が照射され溶融している部分の高さを一定に保つように制御される。インゴット制御棒５１はさらに回転可能とされ、使用されているインゴットはこのインゴット制御棒５１の回転に伴って回転するように構成するとさらに好適である。図２を参照した蒸発源１の説明で上述したように、インゴット表面における電子線の照射位置の偏りを抑え、均一に消費されるように制御することができる。

【００６７】

図１４は、図１３の連続供給機構において、使用済みのインゴットを電子線照射点から移動させる様子、図１５は、図１３の連続供給機構において、未使用インゴットを電子線照射点へ移動させる様子を描いた説明図である。図１４に示すように、インゴット制御棒５１を下げることにより、使用済みのインゴット３－１の下端をインゴット保持ステージ５０の表面と同じ高さにし、インゴット排除レバー５２を回転させることによって電子線照射位置から排除する。その後、図１５に示すように、インゴット送出レバー５３によって列をなすインゴット３－２～３－４が押し込まれ、先頭のインゴット３－２が電子線照射位置に送られる。

【００６８】

以上のようにインゴットの連続供給機構を設けることにより、蒸着の途中でインゴットを交換することができる。このため、複数のインゴットを要するような厚い膜厚の被覆も、途中で真空を破ることなく連続して蒸着することができる。

【００６９】

〔インゴットの再利用〕

上述した、インゴットを連続して供給することができる機構を改良して、使用済みのインゴットを再利用することができる構成とすると、さらに好適である。

【００７０】

図１６～図１９は、使用済みのインゴットを再利用することが可能なインゴット供給機構の構成例を示す、模式的な斜視図である。インゴットは、ある程度未使用の部分を残して使用を終える必要がある。照射する電子線を走査するなどして、上面からできる限り一様に蒸発するように制御しても、完全に使い切るとインゴット制御棒５１が露出して電子線が照射されてしまうからである。そこで、使用済みのインゴットを未使用のインゴットの上に乗せて、再利用することができる構成を採用する。

【００７１】

図１３～図１５のインゴット排除レバー５２に代えて、インゴットを一旦電子線照射位置から待避させた後に、元の電子線照射位置へ戻すことができるような、インゴット移動レバー５４を備える。インゴット移動レバー５４は、例えば図示されるように二股とすることができる。図１６に示すように、使用済みのインゴット３－１を一旦待避させ、次に使用される未使用のインゴット３－２を電子線照射位置に、インゴット送出レバー５３によって押し込む。次に、図１７に示すように、インゴット制御棒５１を下げることにより、未使用のインゴット３－２の上面がインゴット保持ステージ５０の表面と同じ高さにな

るまで引き下げる。次に図１８に示すように、インゴット移動レバー５４を用いて、待避していた、使用済みのインゴット３－１を電子線照射位置に戻す。このとき、電子線照射位置では、未使用のインゴット３－２の上面がインゴット保持ステージ５０の表面と同じ高さなっているので、使用済みのインゴット３－１が未使用のインゴット３－２の上に乗ることとなる。次に、図１９に示すように、インゴット制御棒５１を下げることにより、使用済みのインゴット３－１の上面が、未使用のインゴット３－３、３－４の上面と同じ高さになるまで引きあげる。これにより、使用済みのインゴット３－１の上面が、電子線が照射される位置まで引き上げられて、次の蒸着で使用されることとなる。蒸着ではインゴット３－１の上面から順次セラミック材料が消費されていき、それに応じてインゴット制御棒５１を引き上げていく。このとき、インゴット制御棒５１は未使用のインゴット３－２を押し上げ、その上に置かれたインゴット３－１を押し上げる。インゴット３－１がなくなるとそのまま下の未使用のインゴット３－２に電子線が照射され、蒸着に使用される。これにより、一旦使用済みとなったインゴットが再利用されることとなる。

【００７２】

ここで示した、使用済みのインゴットを再利用することが可能なインゴット供給機構の構成例は一例に過ぎず、種々変更することができる。

【００７３】

〔実施形態２〕

実施形態１では、蒸着室１００の両側の対称な位置に、２つの準備室１１０－１，１１０－２を備える蒸着装置を示したが、備える準備室の数は任意である。

【００７４】

図２０は、準備室の数を１個とした蒸着装置の構成例である。図１と同様に上面図と正面図を示す。構成と動作は，実施形態１で説明したものと同様であるので、詳しい説明を省略する。

【００７５】

図２１は、準備室の数を４個とした蒸着装置の構成例である。上面図のみを示す。１個の蒸着室１００を４方向に４個の準備室１１０－１～１１０－４が設けられており、それぞれに基材支持機構１０－１～１０－４を備える。個々の構成と動作は，実施形態１で説明したものと同様であるので、詳しい説明を省略する。

【００７６】

準備室の数を１個とした例では、基材加熱用ヒーター５を右側面にも配置することができ、基材の温度制御が容易となる。一方、準備室と基材支持機構の数を増やすことにより、同時に並行して蒸着することができる基材の数を増やすことができ、量産性を高めることができる。

【００７７】

以上本発明者によってなされた発明を実施形態に基づいて具体的に説明したが、本発明はそれに限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能であることは言うまでもない。

【産業上の利用可能性】

【００７８】

本発明は、金属基材の表面にセラミックを蒸着する蒸着装置に好適に適用することができる。

【符号の説明】

【００７９】

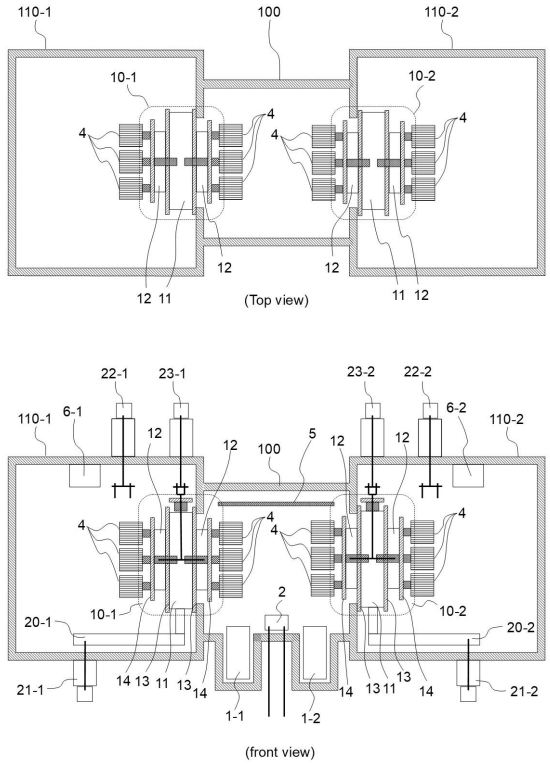
１　蒸発源（電子銃＋セラミックインゴット）
２　プラズマ発生器
３　セラミック原料（インゴット）
４　基材
５　基材加熱用ヒーター
６　スパッタ源（Sputtering Source）

７　プラズマクリーナ
８　熱電対
９　膜厚測定器
９Ｔ　レーザー照射器
９Ｒ　受光器
１０　基材支持機構
１１　基材回転動力伝達機構
１２　基材自公転機構
１３　隔壁
１４　支持盤
１５　基材保持部
１６ａ，１６ｂ，１６ｃ　かさ歯車
１７　Ｏリング
１８ａ，１８ｂ　歯車
１９　回転式ジョイント
２０　基材水平移動機構
２１　基材水平移動駆動機構
２２　基材反転駆動機構
２３　基材自公転駆動機構
２４　温度測定器
３１　電子銃
３２　走査電極
３３　熱電子発生用電源
３４　熱電子加速用電源
３５　電子線走査用電源
４０　台座
４１ａ，４１ｂ　かさ歯車
４２　ガイドレール
４３　ネジ棒
４４　固定ブロック
４５　移動ブロック
５０　インゴット保持ステージ
５１　インゴット制御棒
５２　インゴット排除レバー
５３　インゴット送出レバー
５４　インゴット移動レバー
１００　蒸着室
１１０－１，１１０－２　準備室

【図面】

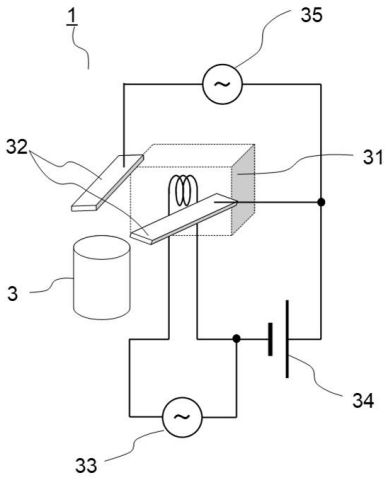
【図１】

Fig. 1



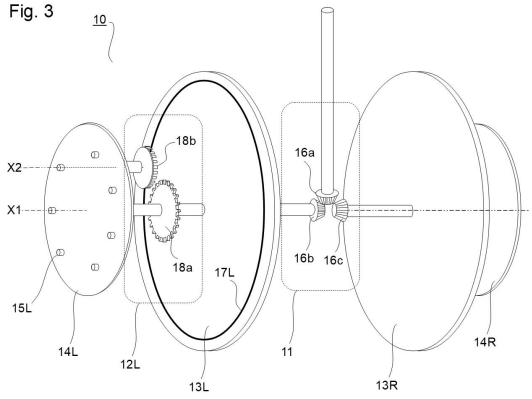
【図２】

Fig. 2



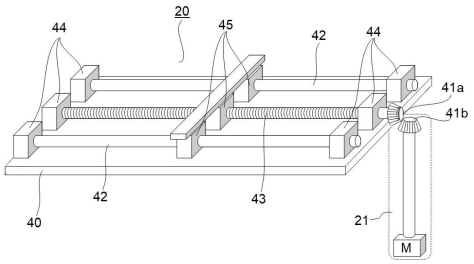
【図３】

Fig. 3



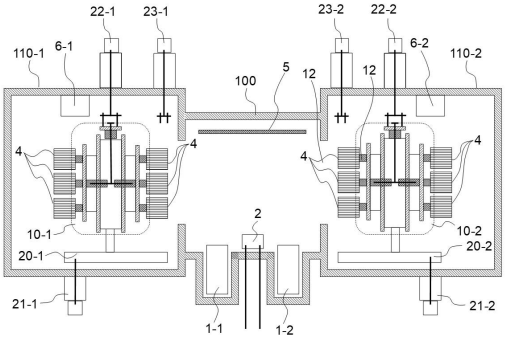
【図４】

Fig. 4



【図５】

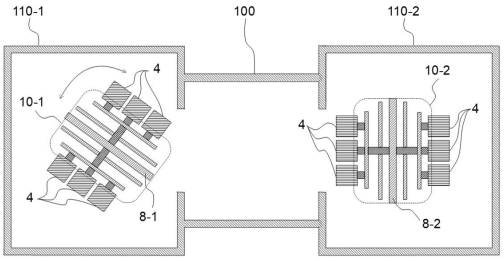
Fig. 5



(front view)

【図６】

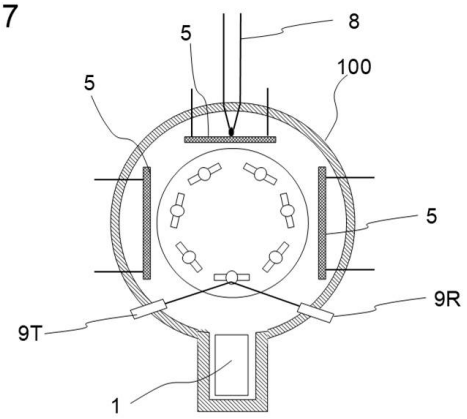
Fig. 6



(Top view)

【図７】

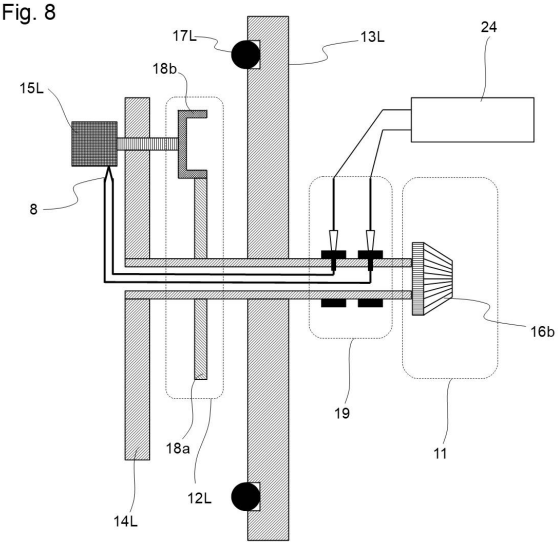
Fig. 7



(side view of the coating chamber)

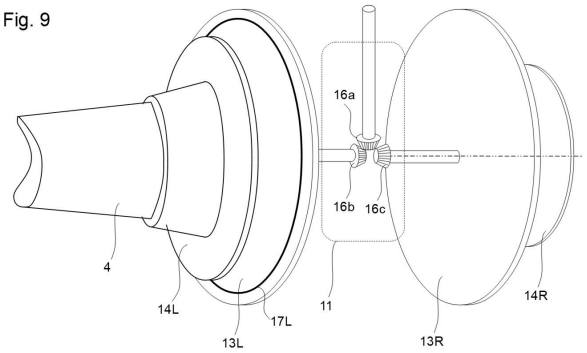
【図８】

Fig. 8



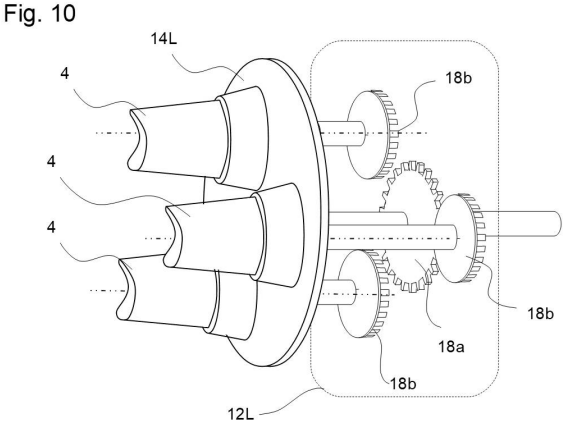
【図９】

Fig. 9



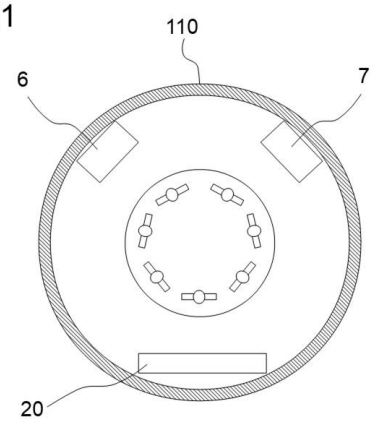
【図１０】

Fig. 10



【図１１】

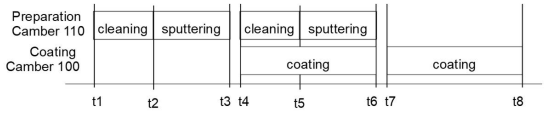
Fig. 11



(side view of the loading chamber)

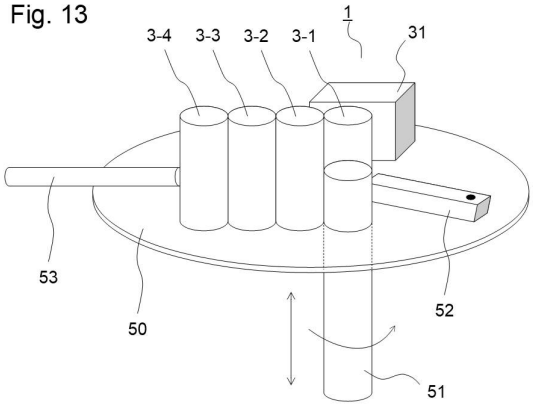
【図１２】

Fig. 12



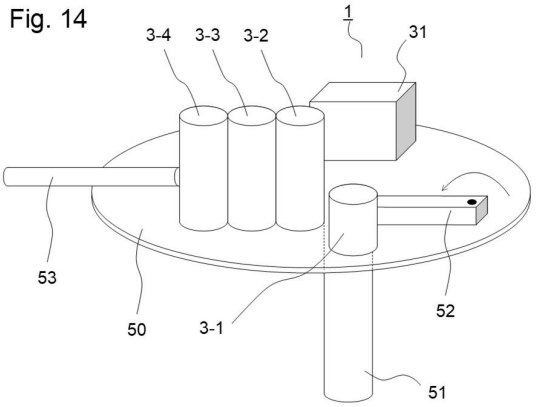
【図１３】

Fig. 13



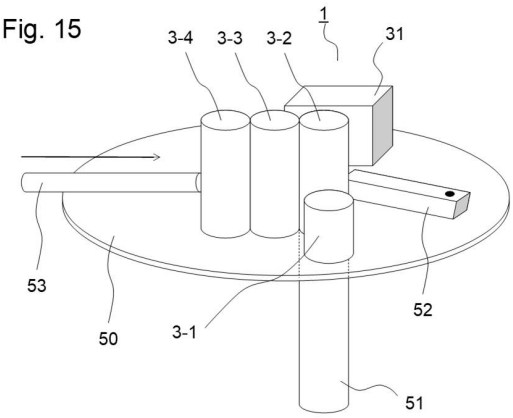
【図１４】

Fig. 14



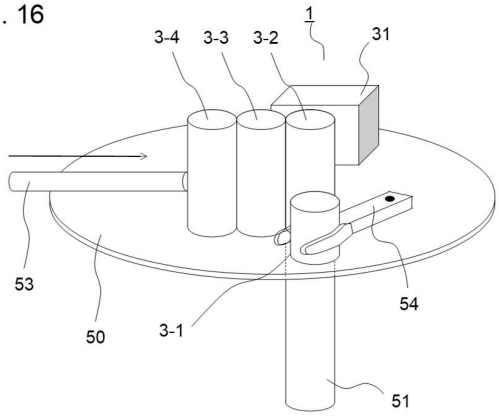
【図１５】

Fig. 15



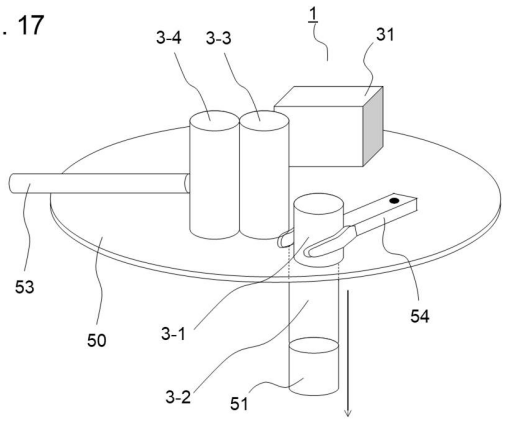
【図１６】

Fig. 16



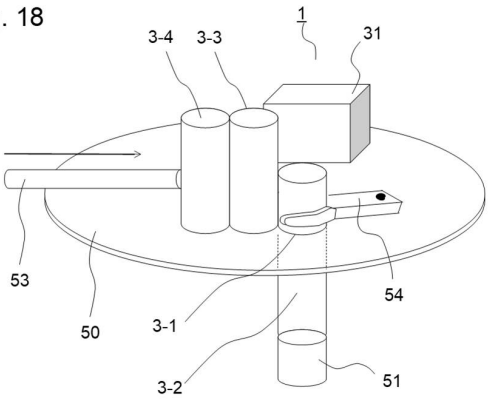
【図１７】

Fig. 17



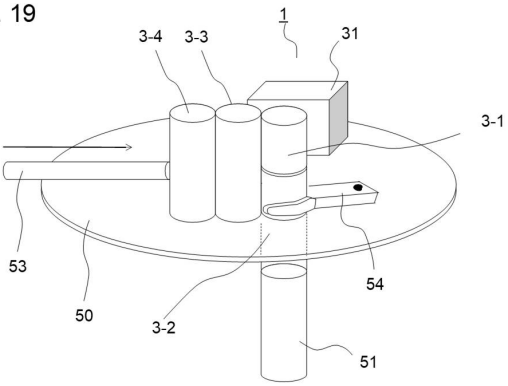
【図１８】

Fig. 18



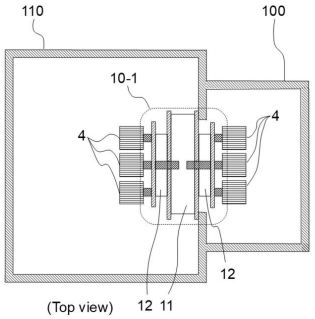
【図１９】

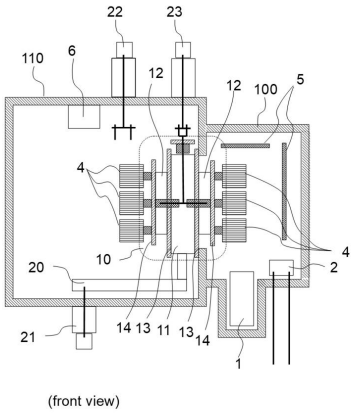
Fig. 19



【図２０】

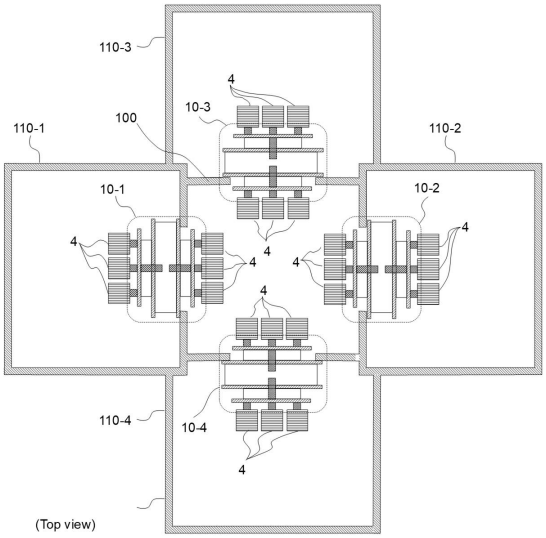
Fig. 20





【図２１】

Fig. 21



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０７－３３１４４７（ＪＰ，Ａ）
特開２０１５－０６３７２３（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－０９５７４５（ＪＰ，Ａ）
特開２００８－２４０１０５（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－１８７１１４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｃ２３Ｃ１４／３０
Ｈ０１Ｌ２１／６７