(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2006-161121
(P2006-161121A)
(43)公開日　平成18年6月22日(2006.6.22)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
C23C 14/32	(2006.01)	C23C 14/32	H	4K029

審査請求 未請求　請求項の数 5　OL　（全 10 頁）

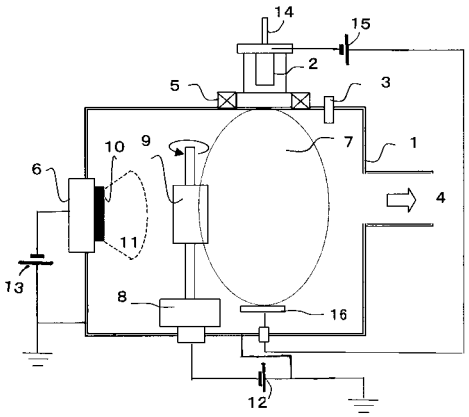
(21)出願番号　特願2004-356224 (P2004-356224)
(22)出願日　平成16年12月9日 (2004.12.9)

(71)出願人　000005197
株式会社不二越
富山県富山市不二越本町一丁目１番１号
(74)代理人　100077997
弁理士　河内　潤二
(72)発明者　加藤　範博
富山県富山市不二越本町一丁目１番１号株式会社不二越内

Fターム(参考)　4K029 BC02　BD05　CA13　DD05

(54)【発明の名称】アーク式イオンプレーティング装置

(57)【要約】
【課題】処理物である基板の表面に、密着性の良好な、高品質で均一な硬質膜を量産的に形成するためのアーク式イオンプレーティング装置を提供。
【解決手段】真空容器１の中に設けられた、回転式装着用治具８に保持された基材９の１側に向かって真空容器１の内側のアーク式蒸発源６に取り付けられた陰極を構成するターゲット10、真空容器１に対して基材９に負のバイアス電圧を印加する第１の直流のバイアス電源12、基材９を挟むように基材９の他側に向けて真空容器１内上部に取り付けられた圧力勾配型プラズマ電子銃２、及び真空容器１内に配置したアノード16に対して圧力勾配型プラズマ電子銃２に負のバイアス電圧を印加する直流電源15、を有する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
真空容器と、前記真空容器内にそれぞれ設けた、被処理物である基材を保持する装着用治具、前記真空容器に対して前記装着用治具に保持された基材に負のバイアス電圧を印加する第１のバイアス電源、前記装着用治具に保持される基材の１側に向けて前記真空容器の１内側に取り付けられた陰極を構成するターゲット、前記陰極を構成するターゲットと陽極を構成する前記真空容器との間に接続されたアーク電源、前記装着用治具に保持される基材を挟むように前記基材の他側に向けて前記真空容器の他内側に取り付けられた圧力勾配型プラズマ電子銃、及び前記真空容器又は前記真空容器内に配置したアノードに対して前記圧力勾配型プラズマ電子銃に負のバイアス電圧を印加する圧力勾配型プラズマ電子銃用の直流電源、とを有することを特徴とするアーク方式イオンプレーティング装置。
【請求項２】
前記ターゲットは前記真空容器の第１の横内壁に取り付けられ、前記圧力勾配型プラズマ電子銃は前記真空容器の上部内壁又は第２の横内壁に取り付けられたことを特徴とする請求項１記載のアーク方式イオンプレーティング装置。
【請求項３】
前記圧力勾配型プラズマ電子銃によるグロー放電プラズマは、コーティング成膜中に用いられる反応ガスのイオン化をアシストするようにしたことを特徴とする請求項１又は請求項２に記載のアーク式イオンプレーティング装置。
【請求項４】
前記圧力勾配型プラズマ電子銃によるグロー放電プラズマは、コーティング成膜前に不活性ガスによるイオンボンバードを施すときに前記不活性ガスのイオン化をアシストするようにしたことを特徴とする請求項１乃至請求項３のいずれか１に記載のアーク式イオンプレーティング装置。
【請求項５】
前記装着用治具は複数個の基材を保持する回転装着軸を有することを特徴とする請求項１乃至請求項４のいずれか１に記載のアーク方式イオンプレーティング装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、アーク式イオンプレーティング法によって、ドリル・エンドミル等の切削工具、金型、パンチ等の成形用工具、機械部品等の耐摩耗部品の基材の表面に密着性の優れた、高品質の被膜を形成するアーク式イオンプレーティング装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来ＴｉＮなどのセラミック硬質膜を工具などの基材の表面に形成する場合、イオンプレーティング法が一般的に用いられている。特にアーク法イオンプレーティングは、耐熱性に優れるＴｉＡｌＮなどの多元素の成膜が可能であるため、最近ではドライの表面処理加工技術として広く普及している。一般的なアーク式イオンプレーティング装置は例えば特許文献１に開示する、図２に示すようなものがあり、図示しない真空排気ポンプにつながる真空排気穴４を介して真空に排気される真空容器１と、真空容器１の中にそれぞれ設けられた、被処理物である基材９を保持する装着用治具である回転式装着用治具８、回転式装着用治具８に保持された基材９に向けて真空容器１の内側のアーク式蒸発源６に取り付けられた陰極を構成するターゲット10、アーク式蒸発源６に取り付けられたターゲット10と陽極を構成する真空容器１との間に接続されたアーク電源13、及び真空容器１に対して回転式装着用治具８に保持された基材９に負のバイアス電圧を印加する直流のバイアス電源12、を有する。基材９にはバイアス電源12を用いて負の数十Ｖから数百Ｖの大きさのバイアス電圧が印加される。ターゲット10は成膜したい物質に応じた金属が選択される。このターゲット10は、図示していないトリガー電極によりアーク電源13を用いたアーク放電を生じることにより局部的に溶解されて、陰極物質を蒸発させる。このときターゲット

の近傍にはイオン化した蒸発物質を含むアーク放電部プラズマ11が形成される。
【特許文献１】特開２００４－２５６９１４号公報
【特許文献２】特開２００４－１５６０９１号公報
【特許文献３】特実開平６－３３９５６号公報
【０００３】
図２に示す装置により、具体的にアーク方式によるＴｉＮの成膜工程の場合を述べる。ターゲット10にはＴｉ金属板を用いる。真空容器１内を真空に排気した後、真空容器内に導入口３から反応性のガスである窒素ガスを導入して、基材９には負のバイアス電圧を印加した状態で、アーク式蒸発源６に取り付けられたターゲット10表面に、トリガー電強によりアーク放電を発生、継続させる。ターゲット10の前面には溶解金属で生じたアーク放電プラズマ11が発生し、Ｔｉの蒸発金属と反応ガス（窒素ガス）のイオン化した状態ができる。そして負のバイアスに印加された基材９にはイオン化した金属蒸発物質と反応ガスイオンが反応してＴｉＮ被膜が形成される。以上はコーティング被膜の形成工程のみを述べたが、切削工具などを基材にする場合には密着性を確保するため、通常は真空容器内部にヒータなどの加熱機構を加えて350 ℃以上の温度に保持した状態で行う。また上記のような成膜工程の前に真空容器内にＡｒなどの不活性ガスを導入して、バイアス電源12を用いて、基材９と真空容器１との間でアルゴンのグロー放電を起こして数百Ｖのイオンボンバードを行い、基材の表面を清浄化した上で、成膜工程を行うことにより被膜の密着性はより向上する。通常のアーク式イオンプレーティング装置による処理工程は、（基材の装着）→（真空排気）→（基材の加熱）→（イオンボンバード）→（成膜）→（冷却）→（基材の取り出し）である。
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
イオンボンバード工程
特許文献１に開示する、図２に示すアーク式イオンプレーティング装置は、前述したようにＡｒなどの不活性ガスを用いてイオンボンバードを行うことで密着性が向上するが、通常の真空容器を陽極にして、基材を陰極にした場合、２極放電によるグロー放電プラズマを形成させるためには数10Pa（パスカル）の比較的低真空度の圧力領域で、基材に印加する負電圧も数百マイナスＶが必要になる。この領域のイオンボンバードメントは、基材が複雑な形状物や先端が尖った物などを処理する場合は、ドリルで言えば溝形状の所が密着不良になったり、切れ刃の先端部の表面が荒れたりするなどの問題が生じる。また平板状の表面においても平板の中央部と角部で密着性が異なり、中央部において膜の剥離を生じる現象が起きやすい。上記対策として、特許文献２では、真空容器内部にフィラメントワイヤーなどの電子放出機構を設けることでプラズマ形成のアシストを行い、0.1 Pa以下の高真空領域でグロー放電プラズマの形成を可能にし、基材にダメージを与えないでイオンボンバード・エッチングを行っている。しかし本発明者らの経験ではワイヤーの寿命が短いために数チャージ毎の取り替えが煩雑でロスタイムが多いことなどが問題になる。またフィラメント方式ではワイヤーの近傍の狭いプラズマ領域しかつくることができないため、製品装着治具等の工夫で生産は可能であるが、量産装置においてはこの機構は適当ではない。
【０００５】
成膜工程
特許文献１に開示する、図２に示すアーク式イオンプレーティング装置は、また成膜中の反応ガスのイオン化についても、ターゲット表面に形成されるアーク放電プラズマの領域11に限定されるためプラズマ密度も低く、成膜中のプラズマ密度も不均一になり、基材の中央と端面で形成される被膜の結晶性が異なるなどのばらつきが生じやすくなるという課題があった。また特許文献１又は特開平10－251845号公報のように、アークイオンプレーティング装置の成膜工程において一般的に反応ガスの導入は真空装置内部に直接導入するケースが多い。あるいは特開平09－157837号公報のように、イオン化を促進する方法と

して反応ガスの導入をターゲット近傍に吹き付ける方法も提案されている。また特開平10－1771号公報のように、あらかじめガスをフィラメントからでる熱電子でイオン化してターゲット近傍に導入する例もある。しかしながら上記の方法ではいずれも反応ガスのイオン化はターゲット近傍のプラズマ領域しか作用せず成膜の結晶性を広域のわたって向上させるには十分とはいえない。

【０００６】

本発明の課題は、処理物である基板の表面に、密着性の良好な、高品質で均一な硬質膜を量産的に形成するためのアーク式イオンプレーティング装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

このため本発明は、真空容器と、前記真空容器内にそれぞれ設けた、被処理物である基材を保持する装着用治具、前記真空容器に対して前記装着用治具に保持された基材に負のバイアス電圧を印加する第１のバイアス電源、前記装着用治具に保持される基材の１側に向けて前記真空容器の１内側に取り付けられた陰極を構成するターゲット、前記陰極を構成するターゲットと陽極を構成する前記真空容器との間に接続されたアーク電源、前記装着用治具に保持される基材を挟むように前記基材の他側に向けて前記真空容器の他内側に取り付けられた圧力勾配型プラズマ電子銃、及び前記真空容器又は前記真空容器内に配置したアノードに対して前記圧力勾配型プラズマ電子銃に負のバイアス電圧を印加する圧力勾配型プラズマ電子銃用の直流電源、とを有することを特徴とするアーク方式イオンプレーティング装置によって上述の本発明の課題を解決した。

【発明の効果】

【０００８】

本発明では、装着用治具に保持される基材の１側に向けて真空容器の１内側に取り付けられた陰極を構成するターゲット、装着用治具に保持される基材を挟むように基材の他側に向けて真空容器の他内側に取り付けられた圧力勾配型プラズマ電子銃、及び真空容器又は真空容器内に配置したアノードに対して圧力勾配型プラズマ電子銃に負のバイアス電圧を印加する圧力勾配型プラズマ電子銃用の直流電源、とを有するので、処理物である基材の表面に、ターゲットの前面から溶解金属で生じたアーク放電プラズマを発生させて蒸発金属と反応ガスをイオン化した状態とし、さらに圧力勾配型プラズマ電子銃によるグロー放電プラズマが、これら蒸発金属と反応ガスのイオン化した状態のイオン化をアシストするようにして、密着性の良好な、高品質で均一な硬質膜を量産的に形成するためのアーク式イオンプレーティング装置を提供するものとなった。

【０００９】

この圧力勾配型プラズマ電子銃を用いることによって、成膜前のイオンボンバード工程において不活性ガス（たとえばＡｒガス）のイオン化が促進してイオンボンバード効果を高め、また成膜中には反応ガス（たとえば窒素ガス）のイオン化を促進しターゲットからのイオン化した陰極物質と反応させることにより反応性が向上し、密着力の優れた、高品位の被膜が得られるものとなった。

本発明で搭載している圧力勾配型プラズマ電子銃は、特許文献３に開示するような、ルツボを用いて金属元素を溶解する溶解方式イオンプレーティング装置で一般的に使われている電子銃であるが、本発明においてはガスのイオン化を広域に促進するのためにアーク式イオンプレーティング装置において搭載することにより、特に量産装置を容易に得ることができる。なお、本発明装置においてはアノードは圧力勾配型プラズマ電子銃と基材までの距離が短い場合は、必ずしも必要ではなく、真空用本体をアノードの代わりにしてもよい。アノードは大型の真空容器などで電子銃と基材との距離が離れている場合にプラズマを発生、継続するために必要となる。

好ましくは、前記装着用治具は複数個の回転装着軸を有する量産装置に展開することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１０】

本発明を実施するための最良の形態を説明する。図１の本発明を実施するための最良の形態のアーク式イオンプレーティング装置の断面ブロック図に示すように、図示しない真空排気ポンプにつながる真空排気穴４を介して真空に排気される真空容器１と、この真空容器１の中にそれぞれ設けられた、被処理物である基材９を保持する装着用治具である回転式装着用治具８、回転式装着用治具８に保持された基材９の１側に向かって真空容器１の内側のアーク式蒸発源６に取り付けられた陰極を構成するターゲット10、アーク式蒸発源６に取り付けられた陰極を構成するターゲット10と陽極を構成する真空容器１との間に接続されたアーク電源13、真空容器１に対して回転式装着用治具８に保持された基材９に負のバイアス電圧を印加する第１の直流のバイアス電源12、回転式装着用治具８に保持される基材９を挟むように基材９の他側に向けて真空容器１の他内側である上内側部に取り付けられた圧力勾配型プラズマ電子銃２、及び真空容器１内に配置したアノード16に対して圧力勾配型プラズマ電子銃２に負のバイアス電圧を印加する圧力勾配型プラズマ電子銃用の直流電源15、を有する。３は反応ガス導入口、14は不活性ガス導入口である。

【００１１】

基材９には第１のバイアス電源12を用いて負のバイアス電源が印加され、このバイアス電源は数十Ｖから数百Ｖの大きさである。ターゲット10は成膜したい物質に応じた金属が選択される。このターゲット10は、図示していないトリガー電極によりアーク電源13を用いたアーク放電を生じることにより局部的に溶解されて、陰極物質を蒸発させる。このときターゲットの近傍にはイオン化した蒸発物質を含むアーク放電部プラズマ11が形成される。本発明装置においてはアノード16は圧力勾配型プラズマ電子銃２と基材９までの距離が短い場合は、必ずしも必要ではなく、真空容器１本体をアノードの代わりにしてもよい。アノード16は大型の真空容器などで、圧力勾配型プラズマ電子銃２と基材９との距離が離れている場合にプラズマを発生、継続するために必要となる。

圧力勾配型プラズマ電子銃２は、アーク式蒸発源６に取り付けられたターゲット10を横方向に複数設置したアーク式イオンプレーティング装置のような機構の場合には、基材９の装着治具８の構成に応じて基材９がプラズマに覆われるように真空容器１の横内壁に複数個を設置してもよい。また図２に示すように装着用治具８は複数個の基材９を保持する回転装着軸20を増やして量産装置に展開することも容易にできる。

【００１２】

イオンボンバード工程について説明する。本発明は真空装置１の上部に圧力勾配型プラズマ電子銃２を搭載しており、圧力勾配型プラズマ電子銃２の周囲には磁石５が取り付けられており、圧力勾配型プラズマ電子銃２から発せられるプラズマビームを制御してプラズマ７を形成させる。作動においてはまず不活性ガス導入口14から不活性ガスであるＡｒを電子銃の容器内に導入し、圧力勾配型プラズマ電子銃２を陰極として起動させて、アノード16との間でプラズマ電子ビーム７を発生させる。圧力勾配型プラズマ電子銃の作動域である1 Paで電子銃を加熱し、赤熱した状態で徐々に 0.5～0.01 Pa まで真空度を上げて電子を放出させアノードと16の間でグロー放電を生じさせる。真空容器１内にはＡｒ不活性ガスによるプラズマ領域７が形成され、イオン化したアルゴン原子が多く存在した状態になる。ここで回転治具である回転式装着用治具８と基材９にバイアス電源12で数百Ｖ（たとえば 200Ｖ）印加する。イオン化したＡｒイオンは電気的に基材に引き寄せられて基材表面に衝突する（ボンバードする）。このとき基材の表面の汚染物（酸化膜や洗浄付着物など）がエッチング作用により物理的に除去される。このボンバード工程をコーティング前に行うことによって、基材と被膜の密着性は飛躍的に向上する。ここで被膜の密着性は、ボンバードする真空度と基材に印加する電圧により、大きく左右される。低真空度で、印加電圧が高いほど基材はダメージを受けやすくなる。前述したように工具のような切れは刃先端部が荒れたり、写真１に示すように平面の中央部で剥離が生じやすくなる。従ってイオンボンバード処理は、例えばハイス工具を処理するときは、0.5 Pa以上の高真空で、印加電圧が 200Ｖ以下であることが好ましい。

【００１３】

次に成膜工程について説明する。アーク式蒸発源６には陰極物資であるターゲット10を

取り付ける。具体的にはターゲットがＴｉで反応ガスにはN_2の場合は窒化チタン（ＴｉＮ）が形成される。またターゲットにＴｉＡｌの合金を用いれば、反応ガスがN_2ならばＴｉＡｌＮが形成される。ターゲット表面にアーク放電を生じさせると、アーク放電のホットスポットがターゲット表面に多数生じてターゲット近傍で継続的なアーク分岐が起きる。発生したターゲット原子は多数のホットスポットで蒸気飛散して基板へ向かう。そこに反応ガス導入口３から反応ガスを導入し、回転式装着用治具８と基材９にバイアス電源12をたとえば 100Ｖに印加することで、蒸着物質と反応ガスがイオン化した状態で引き寄せられて基材９の表面に上記の様な硬質な被膜が形成される。一方でこの成膜中に圧力勾配型プラズマ電子銃２を作動させた場合の効果について説明する。前述のように圧力勾配型プラズマ電子銃２を用いることでアルゴンによるグロー放電のプラズマ領域７がアノード16との間にできる。反応ガスである窒素ガスはアルゴンのプラズマ領域７でアルゴンイオンにより窒素ガスの分解、イオン化が促進される。この状態で基板にバイアス電源12でたとえば前述と同様に-100Ｖ印加することで被膜の形成を行う。基板表面に形成された被膜は、結晶性がよく、表面も平滑になり高品質な被膜が得られる。この違いを具体的な実施例で示す。

【００１４】

〔比較例１〕

比較例１として、図２に示した従来の装置を用いた。ターゲット10にはTiAlを使用し、基材には高速度工具鋼で作成した試験片（6mm ×6mm ×40mm：母材硬さ66.0 HRC、研磨面粗さ Ry 0.2m）を用いた。真空排気で10～2 Paまで排気した後、図示していない加熱用ヒータで 450℃に加熱保持をした。それからボンバード工程として、 Ａｒガスを導入して10Paを維持し、装着した基材にグロー放電が維持できる－500 Ｖを印加して陰極を構成する基材９と陽極を構成する真空容器１の２極でグロー放電プラズマを形成させて基材表面のボンバードを20分間行った。ボンバード終了後の成膜工程では、反応ガスとして窒素ガスN_2を用いて、真空に排気しながら 4Paに保持し、ターゲットに印加してアーク放電を起こしＴｉＡｌを蒸発させた。このときのアーク放電電流は50Ａである。基材はバイアス電圧-100Ｖを印加して所定時間成膜を行い、基材表面にＴｉＡｌＮを３μｍ形成した。

【実施例１】

【００１５】

一方、本発明装置による実施例１として図１に示した装置で、ボンバード工程として圧力勾配型プラズマ電子銃２にＡｒガスを導入して0.3 Paを維持し、高真空のグロー放電プラズマを形成した後、基材に-200Ｖを印加してプラズマシストによる基材のイオンボンバード処理を20分間行った。その後の成膜工程は比較例１と同じ条件で同様に基材にＴｉＡｌＮの３μｍを成膜した。基材のＴｉＡｌＮ被膜の密着力の評価には、スクラッチ試験法よる臨界強度Ｌｃ（Ｎ）とロックウェルによる圧痕剥離試験法で行った。そしてスクラッチ試験は、ＴｉＡｌＮ被膜の表面をダイヤモンド圧子で荷重を増加させながら、ＡＥ信号（アコースティックエミッション）を測定する方法で、剥離が生じた時に発する音をＡＥで検出し、そのときの荷重を密着強度の臨界荷重値Ｌｃとして密着力の評価を行う測定法である。基材のＴｉＡｌＮ被膜の圧痕剥離試験法は標準的なロックウェル（Ｃスケール）硬度計を用いておこない、ダイヤモンド圧子を基材のＴｉＡｌＮ被膜表面に押圧した場合に生ずる圧痕を観察するものである（図４）。ダイヤモンド圧子の剪断力により密着の程度に応じて圧痕の周囲に硬質被膜の剥離が生じるため密着性の判断が出来る。このためセラミック硬質膜の密着性の簡便な評価方法として一般的に広く知られている。

	ボンバード工程 プラズマアシスト	成膜工程 プラズマアシスト
比較例１	なし	なし
実施例１	あり	なし

	膜の密着力	圧痕剥離試験
比較例１	Ｌｃ２０Ｎ	圧痕の周囲に剥離（図４（Ａ））

実施例１　　Ｌｃ５６Ｎ　　圧痕の周囲に剥離なし（図４（Ｂ））

【実施例２】

【００１６】

実施例１の圧力勾配型プラズマ電子銃によるボンバード工程の後、イオンアシストのない状態で従来の反応ガス導入のみで成膜した場合（実施例１）と圧力勾配型プラズマ電子銃による反応ガスのイオン化のアシストを行いながら成膜した場合（実施例２）について、被膜の表面性状の比較を行った（図５）。

	ボンバード工程 プラズマアシスト	成膜工程 プラズマアシスト
実施例２	あり	あり

	膜厚	密着性	表面性状
実施例１	３．０μｍ	５６Ｎ	ＳＥＭ写真１（図５（Ａ））
実施例２	３．２μｍ	６０Ｎ	ＳＥＭ写真２（図５（Ｂ））

実施例１、２から判るように、通常の方法で成膜した比較例１のＴｉＡｌＮ膜は、密着性は良好であるが表面は非常に粗く（ＳＥＭ写真１）、成膜時に圧力勾配型プラズマ電子銃を使用した場合（ＳＥＭ写真２）は表面の平滑性が向上している。

【００１７】

〔発明を実施するための最良の形態の効果〕

本発明を実施するための最良の形態の圧力勾配型プラズマ電子銃を搭載したアーク式イオンプレーティング装置は、ボンバード工程で用いられる不活性ガスと、成膜工程で用いられる反応ガスのそれぞれのイオン化を促進するため搭載するものであり、被膜の密着性と成膜される被膜の品質を広域な成膜範囲わたって飛躍的に向上させることが可能となった。しかもその構成においては基本構成のままで量産装置に適用するのは比較的容易であり、従来のアーク式イオンプレーティング装置の性能を大幅に向上させるものである。

【図面の簡単な説明】

【００１８】

【図１】本発明を実施するための最良の形態のアーク式イオンプレーティング装置の断面ブロック図。

【図２】従来のアーク式イオンプレーティング装置の断面ブロック図。

【図３】（Ａ）は図１のアーク式イオンプレーティング装置の装着用治具に４個の基材を保持する回転装着軸を設けたものの断面ブロック図、（Ｂ）は（Ａ）の装着用治具に４個の基材を保持する回転装着軸を上面からみた部分上面図。

【図４】基材のＴｉＡｌＮ被膜表面の圧痕剥離試験法による剥離の写真で、（Ａ）は圧痕の周囲に剥離がある比較例１の写真、（Ｂ）は圧痕の周囲に剥離がない実施例１の写真。

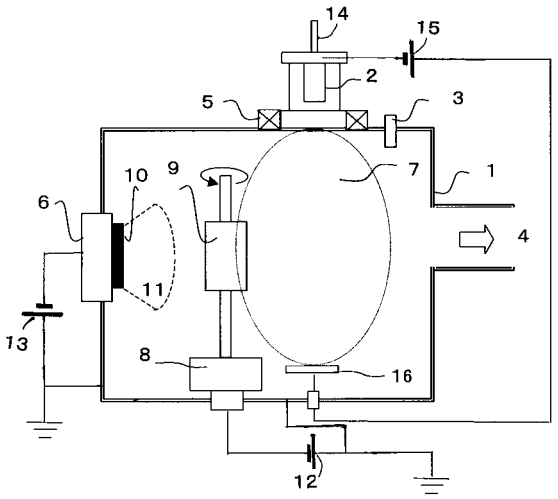
【図５】基材のＴｉＡｌＮ被膜のＴｉＡｌＮ膜表面性状の倍率1000倍の電子顕微鏡（ＳＥＭ）写真で、（Ａ）は実施例１のＳＥＭ写真、（Ｂ）は実施例２のＳＥＭ写真。

【符号の説明】

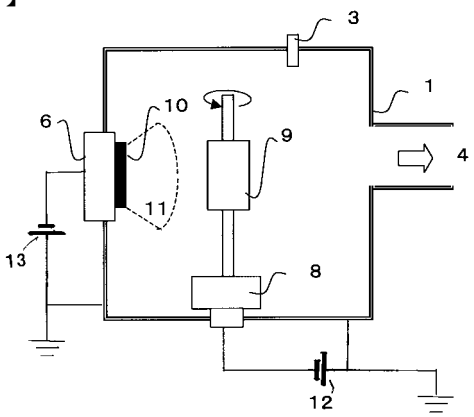
【００１９】

１・・真空容器　　２・・勾配型プラズマ電子銃　　６・・アーク式蒸発源
８・・回転式装着用治具（装着用治具）　　９・・基材
10・・ターゲット　　12・・第１のバイアス電源　　13・・アーク電源
15・・直流電源　　16・・アノード

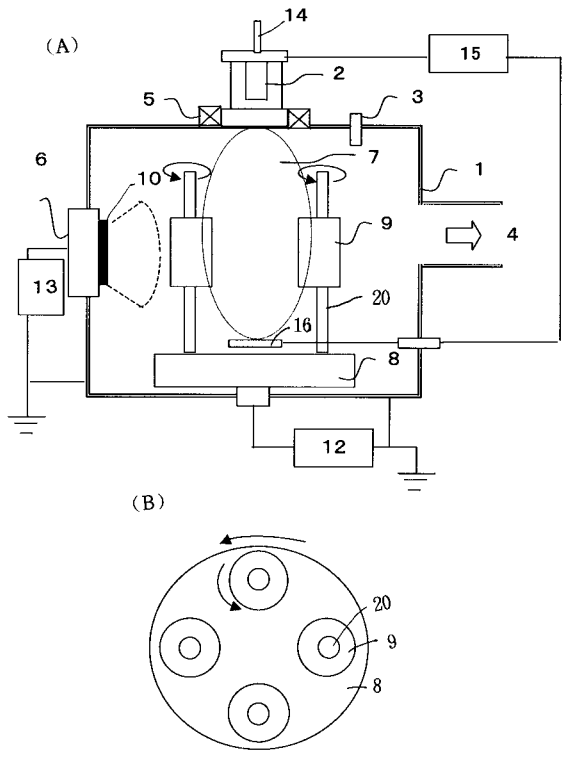
【図１】


14
15
2
5
3
10
9
7
1
6
4
11
13
8
16
12

【図２】

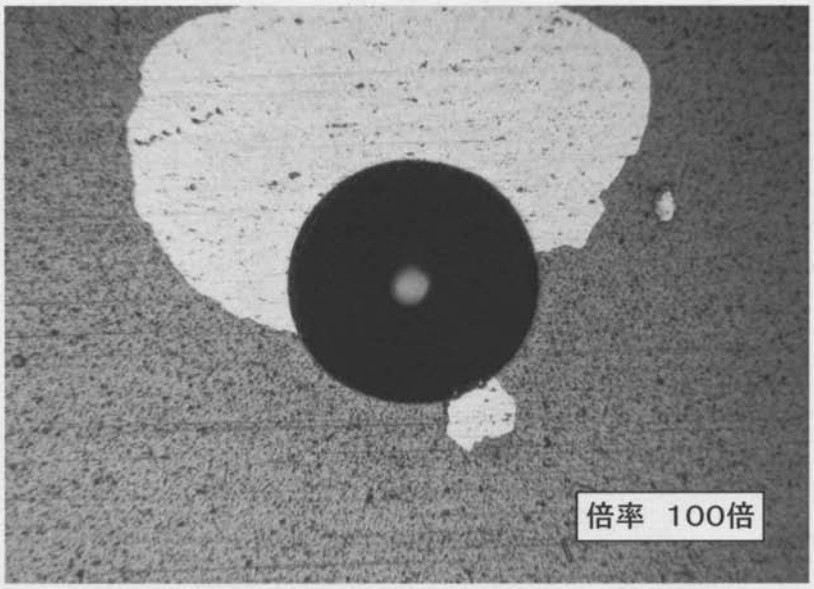

3
1
6
10
9
4
11
13
8
12

【図３】


(A)
14
15
2
5
3
6
7
1
10
9
4
13
20
16
8
12
(B)
20
9
8

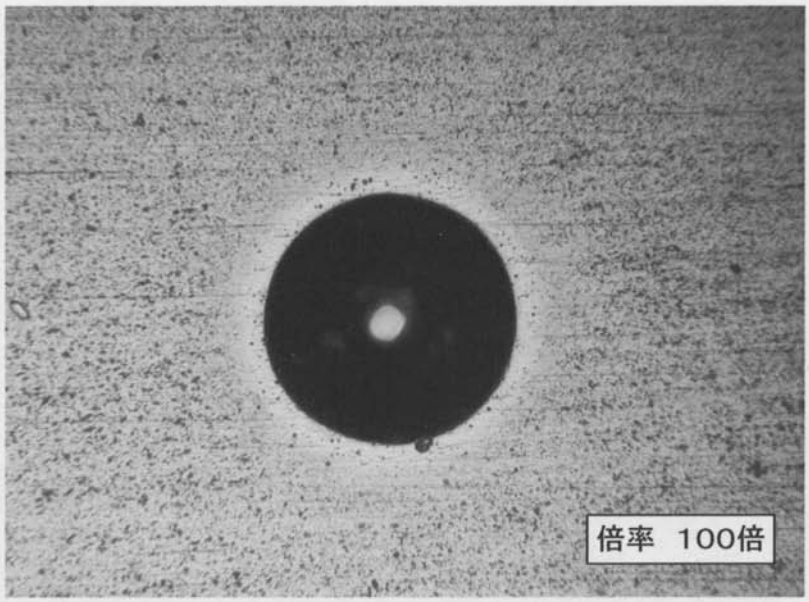
【図４】

(A)



比較例1のTiAlN膜の圧痕剥離試験

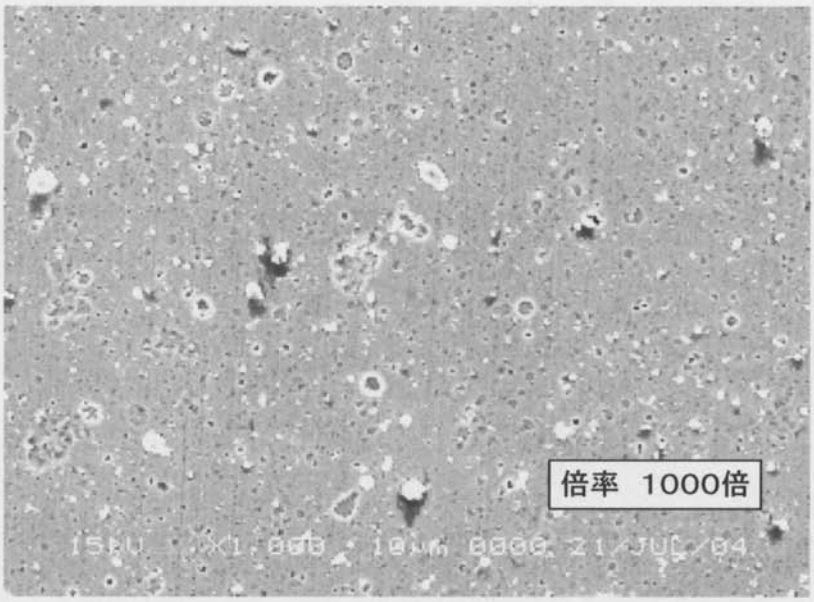
(B)



実施例1のTiAlN膜の圧痕剥離試験

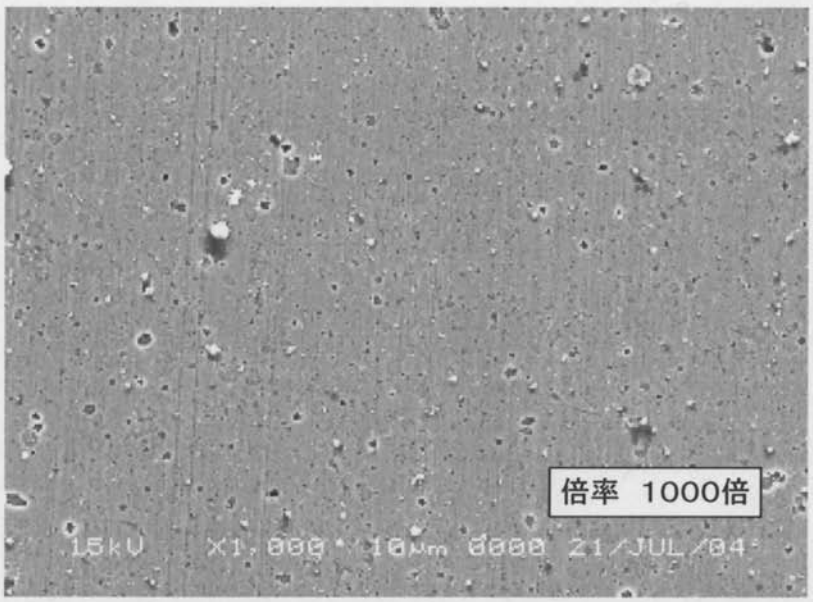
【図５】

(A)



実施例1 TiAlN膜の表面性状(SEM写真1)

(B)



実施例2 TiAlN膜の表面性状(SEM写真2)