(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 7 月 31 日(31.07.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/115523 A1

(51) 国際特許分類:
C23C 14/24 (2006.01) *C23C 14/54* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2014/000231

(22) 国際出願日: 2014 年 1 月 17 日(17.01.2014)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2013-010525 2013 年 1 月 23 日(23.01.2013) JP

(71) 出願人: 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目１２番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 松浦　裕(MATSUURA, Hiroshi); 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目１２番１号　株式会社ニコン内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 龍華国際特許業務法人(RYUKA IP LAW FIRM); 〒1631522 東京都新宿区西新宿１－６－１　新宿エルタワー２２階 Tokyo (JP).

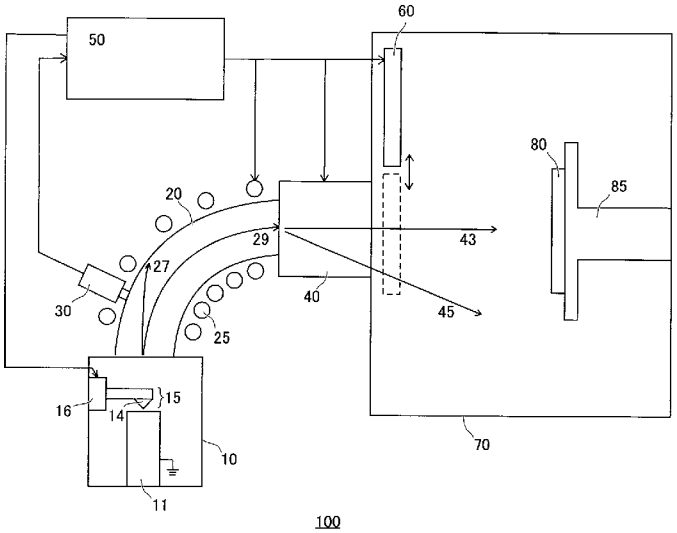
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

(54) **Title**: FILM-FORMING DEVICE, METHOD FOR PRODUCING FILM, AND PROGRAM

(54) 発明の名称 : 成膜装置、膜の製造方法、およびプログラム



(57) **Abstract**: In the present invention, the composition ratio of a composite film is controlled using the phenomenon of the elemental ratio in a plasma flow changing with time. Provided is a film-forming device that, using a composite material that is a mixture of multiple starting materials, forms on a target object a film containing multiple elements from multiple starting materials. The film-forming device comprises a discharge part for subjecting the composite material to arc discharge causing a multiple-element plasma discharge, and a control part for controlling the plasma flow that reaches the target object, on the basis of the composition ratio of multiple elements present in the plasma flowing toward the target object.

(57) 要約: プラズマ流中において元素比が時間変動する現象を利用して、複合膜の組成比を制御する。複数の原料を混合した複合材料を用いて、複数の原料中の複数の元素を含む膜を対象物に成膜する成膜装置であって、複合材料に対してアーク放電を生じさせて、複数の元素をプラズマ状態にし、放出させる放電部と、対象物に向かうプラズマ流中に存在する複数の元素の組成比に基づいて、対象物に到達するプラズマ流の量を制御する制御部とを備える成膜装置を提供する。

WO 2014/115523 A1

明　細　書

発明の名称 ： 成膜装置、膜の製造方法、およびプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、複合材料を用いた成膜装置、膜の製造方法、ならびにコンピュータを成膜装置の制御部として機能させるためのプログラムに関する。

[0002] 従来、フィルタードカソーディックバキュームアーク（ＦＣＶＡと略称する）法を用いて成膜する方法が知られている（例えば、特許文献１参照）。

［先行技術文献］

［特許文献］

［特許文献１］ 特開２００５－１３９５４７号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0003] ＦＣＶＡ法によって、炭素と炭素以外の金属元素とを含む膜（複合膜と略称する）を得る方法がある。当該方法では、炭素原料を用いたＦＣＶＡ機構と炭素以外の金属元素の原料を用いたＦＣＶＡ機構とを組み合わせて用いることが考えられる。しかしながら、当該方法においては、複数のＦＣＶＡ機構が必要になる。一つのＦＣＶＡ機構は、プラズマ発生機構および電磁気的フィルタ等を有するので、複数のＦＣＶＡ機構においては、複数のプラズマ発生機構および複数の電磁気的フィルタ等が必要になる。したがって、複数のＦＣＶＡ機構を採用すると成膜装置が複雑となる。

[0004] また、ＦＣＶＡ法によって複合膜を得ることを目的として、炭素と炭素以外の金属元素とを含む複合材料を用いたＦＣＶＡ機構を用いる方法も考えられる。当該方法においては、ＦＣＶＡ機構は一つでよい。しかしながら、複合膜における組成比は、複合材料中における炭素と炭素以外の金属元素との組成比が反映されるので、複合膜における組成比を制御することが困難である。例えば、異なる組成比の複合膜を得る場合、異なる組成比の複合材料を用いなければならない。

課題を解決するための手段

[0005] 本発明の第１の態様においては、複数の原料を混合した複合材料を用いて、複数の原料中の複数の元素を含む膜を対象物に成膜する成膜装置であって、複合材料に対してアーク放電を生じさせて、複数の元素をプラズマ状態にし、放出させる放電部と、対象物に向かうプラズマ流中に存在する複数の元素の組成比に基づいて、対象物に到達するプラズマ流の量を制御する制御部とを備える成膜装置を提供する。

[0006] 本発明の第２の態様においては、複数の元素を有する複合材料を準備する段階と、アーク放電を発生させて、複合材料からプラズマ流を生成するためのプラズマ発生段階と、複数の元素の比率を観測する観測段階と、プラズマ流における複数の元素の比率基づいて、被成膜体に到達するプラズマ流の量を制御する制御段階とを備える膜の製造方法を提供する。

[0007] 本発明の第３の態様においては、コンピュータを第１の態様の成膜装置における制御部として機能させるためのプログラムを提供する。

[0008] なお、上記の発明の概要は、本発明の必要な特徴の全てを列挙したものではない。また、これらの特徴群のサブコンビネーションもまた、発明となりうる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]第１の実施形態における、ＦＣＶＡ法を用いた成膜装置を示す図である。

[図2]第１の実施形態における、放電部の拡大図を示す図である。

[図3]第１の実施形態の複合材料における、波長に対するスペクトル強度を示す図である。

[図4]第１の実施形態の複合材料における、時間に対するスペクトル強度の変化を示す図である。

[図5A]第１の実施形態における、組成比の制御アルゴリズムを示す図である。

[図5B]図５Ａの制御アルゴリズムを時間軸で示す図である。

[図6A]第２の実施形態における、組成比の制御アルゴリズムを示す図である。

[図6B]図６Ａにおいて平均組成比c_2を算出した後の制御アルゴリズムを示す図である。

[図7]第３の実施形態における、ＦＣＶＡ法を用いた成膜装置を示す図である。

[図8]第４の実施形態におけるコンピュータのハードウェア構成の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 以下、発明の実施の形態を通じて本発明を説明するが、以下の実施形態は請求の範囲にかかる発明を限定するものではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが発明の解決手段に必須であるとは限らない。

[0011] 図１は、第１の実施形態における、ＦＣＶＡ法を用いた成膜装置１００を示す図である。複数の原料を混合した複合材料１１を用いて、複数の原料中の複数の元素を含む膜を成膜対象物である基板８０に成膜する成膜装置１００は、放電部１０、フィルタ部２０、測定部３０、スキャン部４０、制御部５０および成膜室７０を備える。

[0012] 放電部１０の内部には、複合材料１１が載置される。複合材料１１には、複数の原料が混合される。複数の原料は、炭素、ならびに炭素以外の金属元素であるチタンおよびアルミニウム等であってよい。本例では、複合材料１１には、炭素とチタンとが混合されている。なお、本例では、複合材料１１は電気的に接地されている。

[0013] 放電部１０は、プラズマ発生トリガ１５およびトリガ移動部１６を有する。プラズマ発生トリガ１５は、先端が尖った形状である接触部１４を有する。高電圧である接触部１４を複合材料１１の表面に接触させて引き離すと、複合材料１１に対してアーク放電を生じさせる。アーク放電により、複合材料１１からは、炭素とチタンとがプラズマ状態となり、放出される。なお、

トリガ移動部１６は、複合材料１１に対する接触部１４の位置を移動させる。移動させられた接触部１４は、複合材料１１の表面の異なる位置に接触することができる。したがって、複合材料１１の異なる位置において、アーク放電を発生させることができる。

[0014] フィルタ部２０は、放電部１０に接続される。フィルタ部２０は、例えばプラズマ流電磁的空間フィルタである。フィルタ部２０は、湾曲した筒形状である。フィルタ部２０は、プラズマ流に磁場を印加して、プラズマ流の流れを制御する。

[0015] フィルタ部２０は、プラズマ流に含まれるイオンのイオン価数およびイオン質量に基づき、放電部１０から発生したプラズマ流の方向を変える。本例では、フィルタ部２０は、予め定められたイオン種である炭素イオンおよびチタンイオンの流れを通過させる（プラズマ流２９）。しかし、フィルタ部２０は、予め定められたイオン種以外のイオンからなるプラズマ流の方向を変えて、当該プラズマ流を湾曲した筒の内部に衝突させる（プラズマ流２７）。したがって、フィルタ部２０は、プラズマ流２７をフィルタ部２０内で遮ることができる。

[0016] フィルタ部２０は、湾曲した筒の外部表面に巻き付けられた巻線２５を備える。巻線２５はソレノイドコイルを形成してよい。巻線２５に電流を流すことにより、フィルタ部２０の内部において、湾曲した筒の内部に沿った磁場を印加することができる。また、巻線２５に流す電流量を制御することにより、磁場の大きさを制御することができる。よって、磁場の大きさを制御することにより、イオン価数およびイオン質量に基づき、イオンの流れを制御することができる。

[0017] 測定部３０は、プラズマ流中における複数のイオンの存在比を測定する。測定部３０は、例えば、発光分光スペクトルを観測して複数のイオンのスペクトル強度比を特定する発光分光光度計である。測定部３０はプラズマ中の対象イオン種による吸収スペクトルを測定するものであっても良い。測定部３０は、フィルタ部２０に接続されて設けられる。複数のイオンのスペクト

ル強度比からプラズマ流中における複数のイオンの存在比を算出することができる。測定部３０によってプラズマ流を観測しつつ、プラズマ流を基板８０に照射することにより、基板８０に成膜される元素の組成比を特定することができる。本例においては、炭素イオンおよびチタンイオンに固有の波長のスペクトル強度を観測することにより、基板８０に成膜される炭素とチタンの組成比を特定する。なお、本明細書において組成比とは、特に断らない限り原子数比を指すものとする。

[0018] 本例の測定部３０は、スキャン部４０よりも放電部１０に近い位置のフィルタ部２０に備えられる。なお、測定部３０は、放電部１０よりもスキャン部４０に近い位置のフィルタ部２０に備えられてもよい。また、測定部３０は後述するスキャン部４０に備えてもよい。測定部３０をスキャン部４０に備える場合には、フィルタ部２０に設ける巻線２５を隙間なく配置することができるので、測定部３０をフィルタ部２０に備える場合と比較して、より均一に磁場を発生させることができる。なお、測定部３０としては、発光分光光度計の他に、紫外～可視域の吸収分光光度計、ラマン分光光度計、ＣＡＲＳ分光光度計、ラングミュアプローブ等を用いることができる。

[0019] スキャン部４０は、フィルタ部２０と成膜室７０との間に設けられる。プラズマ流の一部は、フィルタ部２０を通過した後に、スキャン部４０に入る。スキャン部４０を通過したプラズマ流は、成膜室７０に導かれる。

[0020] スキャン部４０は、プラズマ流と交差する方向において磁界の大きさを変化させることで、基板８０にプラズマ流が照射される向きを制御する。例えば、スキャン部４０は、プラズマ流に対して磁界をかけないことにより、基板８０にプラズマ流を照射することができる（プラズマ流４３）。また、スキャン部４０は、プラズマ流と交差する方向において磁界をかけることにより、基板８０における成膜位置を調節することができる。スキャン部４０を用いて、基板８０の表面を均一に走査することで、基板８０に形成される膜を均一に成膜することができる。また、スキャン部４０は、基板８０の表面を均一に走査する場合よりも大きな磁界をかけることにより、プラズマ流の

流れ方向を変えて、プラズマ流を基板８０に照射しないこともできる（プラズマ流４５）。

[0021] 本例においては、フィルタ部２０と成膜室７０との間にスキャン部４０を設けた。なお、スキャン部４０は省略することもできる。すなわち、フィルタ部２０は、基板８０がある成膜室７０と直接連結される構成としてもよい。

[0022] 制御部５０は、測定部３０からの情報に基づき、放電部１０のプラズマ発生トリガ１５およびトリガ移動部１６、巻線２５の電流量、スキャン部４０の磁界、ならびに後述される成膜室７０にあるシャッタ部６０の位置を制御する。制御部５０は、測定部３０が測定した、基板８０に向かうプラズマ流中に存在する複数の元素の組成比に基づいて、基板８０に到達するプラズマ流の量を制御する。

[0023] 複合材料１１にアーク放電をかけてプラズマ流を発生させた場合には、プラズマ流中の複数の元素比は、時間変動することが観測された。そこで、本例においては、制御部５０は、測定部３０を用いてプラズマ流中に存在する複数の元素の組成比の時間変動を測定しつつ、プラズマ流を制御する。

[0024] 具体的には、制御部５０は、成膜対象物としての基板８０に向かうプラズマ流中に存在する複数の元素の組成比の時間変動情報を、測定部３０から取得する。そして、制御部５０は、当該時間変動に基づいて、基板８０に到達するプラズマ流の量を制御する。例えば、制御部５０は、フィルタ部２０の磁場の大きさを調整することにより、基板８０に照射されるプラズマ流の量を調整する。これにより、複数の原料中の複数の元素を含む膜が、基板８０に成膜される。なお、対象物に到達するプラズマ流の量は、プラズマ流の流量、すなわち単位時間あたりに対象物に到達するプラズマ流の量であって良い。

[0025] また、制御部５０は、複数の元素の組成比が予め定められた範囲外である場合に、基板８０に対してプラズマ流を照射させないよう制御する。一方で、制御部５０は、複数の元素の組成比が予め定められた範囲内である場合に

、基板８０に対してプラズマ流を照射させるよう制御する。制御部５０は、当該組成比が予め定められた範囲外である場合に、巻線２５の電流量、スキャン部４０の振動する磁界、ならびにシャッタ部６０の位置の少なくとも一つを制御して、基板８０に対してプラズマ流を照射させないよう制御する。

[0026] 成膜室７０は、シャッタ部６０および基板８０が載置される基板フォルダ８５を備える。本例では、シャッタ部６０は、基板８０に向かうプラズマ流を遮蔽するか否かを切り替える機械的シャッタである。当該機械的シャッタにより、元素の組成比が予め定められた範囲外である場合に、基板８０に到達するイオンの流れを遮ることができる。

[0027] 図２は、第１の実施形態における、放電部１０の拡大図を示す図である。本例では、複合材料１１には、炭素マトリクス１３中に金属元素１２であるチタンが混合されている。

[0028] 複合材料１１の表面においてアーク放電が発生した領域は、アーク陰極点と呼ばれる。当該アーク陰極点は、一旦発生した後、複合材料１１の表面を移動していく。したがって、一度、アーク陰極点が発生した後、再度アーク放電をかけなくとも、アーク陰極点の移動が続く間はイオンの生成が持続する。

[0029] アーク陰極点では、高いエネルギーにより励起された複合材料１１中の元素が、固体状態からプラズマ状態に転移する。一般に、炭素のプラズマ化には、金属等の炭素以外の元素よりも高いエネルギーが必要とされる。それゆえ、炭素と金属等の炭素以外の元素とを含む複合材料１１の場合では、アーク放電が発生した直後は、金属等の炭素以外の元素が先にプラズマ化し、遅れて炭素のプラズマ化が起ると考えられる。また、アーク陰極点が移動した場合も同様に、金属等の炭素以外の元素が先にプラズマ化すると考えられる。

[0030] したがって、炭素と金属等の炭素以外の元素とを含む複合材料１１においては、炭素と金属等の炭素以外の元素とが常に同じ割合で、プラズマ化、つまり電離しイオンが発生するわけではない。つまり、イオンの生成が持続す

る間において、炭素イオンが支配的な時間帯と金属属等の炭素以外の元素のイオンが支配的な時間帯とが分かれている。したがって、イオンの生成が持続する間、プラズマ流における、炭素イオンと金属等の炭素以外の元素のイオンとの比率は、時間変化すると考えられる。これが、イオンの生成が持続する間において、複数の元素の組成比が時間変動する原因の一つであると考えられる。

[0031] また、複数の元素の組成比の時間変動の原因として、複合材料の組成ムラも考えられる。複合材料において炭素と金属等の炭素以外の元素とが均質に混合されておらず、複合材料の場所により組成に差異がある場合には、アーク陰極点の移動に伴いイオン化される複数の元素の組成比が変動することがある。したがって、プラズマ流中の複数の元素の組成比も変動することがある。それゆえ、堆積する膜にもその組成比変動が転写される。アーク陰極点は、１から１００ミクロン程度のサイズと考えられており、組成ムラの空間的周期がアーク陰極点の大きさよりも十分大きい場合に、このような現象が生じることが考えられる。なお、上述の現象は炭素と炭素以外の元素との複合材料の場合に限られず、異なる元素を含む複合材料において観測され得るものである。

[0032] なお、一旦、アーク放電を発生させて、イオンの生成が持続する間は、プラズマ流を乱さないように、接触部１４は複合材料１１の表面付近から退避させる。しばらく後に、再び接触部１４を複合材料１１の表面に戻して、複合材料１１の表面にアーク放電をかけてよい。本例では、アーク放電を発生させてから再びアーク放電をかける時間間隔は、約１０秒とした。

[0033] 図３は、第１の実施形態の複合材料１１を用いて生成したプラズマ流に対して、測定部３０が測定した波長に対するスペクトル強度を示す図である。上述のように炭素イオンとチタンイオンとのスペクトル強度比は、プラズマ流中のチタンイオンおよび炭素イオンの存在比に対応する。ただし、一部のイオンは、基板８０に成膜する前に一定程度量が離脱する。そこで、成膜装置１００の使用者は、事前に、測定部３０を通じて測定されるプラズマ流中

における複数のイオンの存在比と基板８０に成膜された複合膜中の各元素の組成比との関係を調べておく。これにより、プラズマ流中の複数のイオンの存在比に対する複合膜中の組成比を示す換算係数を、事前に得ることができる。当該換算係数を用いることにより、測定部３０で観測されるスペクトル強度比は、容易に成膜中の元素組成比に換算される。

[0034] 本例では、制御部５０は、チタンイオンに由来する３３７ｎｍ近傍のピーク強度と炭素イオンに由来する５０９ｎｍ近傍のピーク強度との比率を、測定部３０を通じて取得する。ただし、膜中の組成比を最も精度よく推定できるスペクトルであれば、測定するスペクトルピークは１元素あたり１つのピークに限定されない。すなわち、制御部５０は、１元素あたり複数のスペクトルピークの平均強度などに基づいて、各元素のピーク強度の比率を取得してよい。

[0035] なお、上述の換算係数は、放電部１０の真空度によって変化することが確認されている。したがって、放電部１０の真空度と各元素における複数のスペクトルピークの波長とをパラメータとして、上記換算係数を準備してよい。

[0036] 図４は、第１の実施形態の複合材料１１を用いて生成したプラズマ流に対して、測定部３０が測定した、時間に対するスペクトル強度の変化を示す図である。実線Ａは、炭素イオンに由来する波長６７１ｎｍのピークの時間変動を示す。破線Ｂは、チタンイオンに由来する波長３３７ｎｍのピークの時間変動を示す。実線Ｃは、チタンイオンに由来する波長３２６ｎｍのピークの時間変動を示す。各元素における各特定の波長の強度が時間変動することがわかる。

[0037] 図５Ａは、第１の実施形態における、組成比の制御アルゴリズムを示す図である。横軸は成膜された膜の膜厚であり、縦軸は当該膜における元素の組成比である。本例では、基板８０に接する膜の表面を膜厚ゼロの位置として、膜の厚さ方向を膜厚正方向としている。なお、本例の組成比は、炭素およびチタン元素の組成比である。当該組成比は、測定部３０により特定される

。

[0038] 二つの点線の間の領域は、本例における予め定められた組成比の範囲である。本例では、制御部５０は、膜厚h_1の位置までは予め定められた組成比の範囲を略線型に増加させる。さらに、制御部５０は、膜厚h_1より厚い位置では予め定められた組成比の範囲を略一定にする。

[0039] 制御部５０は、プラズマ流中の複数の元素の組成比が予め定められた組成比の範囲に収まる時のみ、当該プラズマ流を基板８０に照射させる。例えば制御部５０は、フィルタ部２０において特定のプラズマ流を通過させて、シャッタ部６０をオープンにする。そして、制御部５０は、スキャン部４０を制御して、プラズマ流を基板８０の表面において走査させる。一方、制御部５０は、プラズマ流中の複数の元素の組成比が予め定められた組成比の範囲外にある時、フィルタ部２０、スキャン部４０、および機械シャッタの少なくとも一つを制御して、当該プラズマ流を基板８０から遮る。

[0040] 本例では、制御部５０は、プラズマ流の組成比が予め定められた組成比の範囲を最初に組成比が超えた時、プラズマ流を基板８０から遮る。当該遮られたプラズマ流の組成比をａ点近傍の破線により示す。そして、制御部５０は、組成比が予め定められた組成比の範囲に再び戻って来たことを測定部３０により確認して、成膜を再開する。再開された場合の組成比をａ点とｂ点との間の実線により示す。

[0041] なお、ａ点近傍において、組成比が予め定められた組成比の範囲を超えた時、プラズマ流は基板８０から遮られているので、スキャン部４０による基板８０の表面の走査も遮られる。そして、組成比が予め定められた組成比の範囲に再び戻って来た時、プラズマ流は基板８０に照射されて、スキャン部４０は基板８０の表面の走査を再開する。なお、走査再開時には、走査方向において、走査を停止した位置から少し戻して走査を再開してよい。走査再開時に位置を戻すことにより、走査停止時に生じ得る走査線上の被膜の間欠を補償することができる。

[0042] 次に、組成比が予め定められた組成比の範囲を超えた時、制御部５０はプ

ラズマ流を基板８０から遮る。当該遮られたプラズマ流をｂ点近傍の破線により示す。そして、制御部５０は、組成比が予め定められた組成比の範囲に再び戻って来たことを測定部３０により確認して、成膜を再開する。当該成膜が再開されたプラズマ流の組成比をｂ点とｃ点との間の実線により示す。

[0043] 同様にして、ｃ点近傍において、組成比が予め定められた組成比の範囲を超えた時、制御部５０はプラズマ流を基板８０から遮る。そして、制御部５０は、組成比が予め定められた組成比の範囲に再び戻って来たことを測定部３０により確認して、成膜を再開する。

[0044] 本例の制御アルゴリズムにより、膜厚h_1までは組成比を略線型に増加させて、膜厚h_1より厚い場所では組成比を略一定にすることができる。つまり、膜厚方向で組成比を制御することができる。

[0045] このように、複合材料における元素の組成比が一定である場合であっても、当該複合材料から生じたプラズマ流のイオン比（すなわち、成膜に寄与する元素比）が時間的に変動する現象を利用して、複合膜の組成を制御することができる。つまり、プラズマ流中において元素比が所定の範囲である場合に成膜を行い、かつ、元素比が所定の範囲にない場合に成膜を行わないことにより、複合膜の組成比を制御することができる。これにより、１つのＦＣＶＡ機構を用いて複合膜の組成比を制御することができる。

[0046] 図５Ｂは、図５Ａの制御アルゴリズムを時間軸で示す図である。a_1点の時刻およびa_2点の時刻は、図５Ａのａ点に相当する。同様に、b_1点の時刻およびb_2点の時刻は図５Ａのｂ点に、c_1点の時刻およびc_2点の時刻は図５Ａのｃ点にそれぞれ相当する。

[0047] 成膜時間は膜厚に比例するので、成膜時間に対する膜厚の換算係数は事前の成膜により得ることができる。そこで、当該換算係数を用いて、図５Ａと図５Ｂとを変換してよい。なお、図５Ａにおいて二つの点線により表された予め定められた組成比の範囲は、成膜が行われない時間の間、時間軸に平行に延長されて図５Ｂに示される。

[0048] a_1点の時刻からa_2点の時刻までの間、およびc_1点の時刻からc_2点の時

刻までの間は、プラズマ流が予め定められた組成比の範囲を超えた後に、プラズマ発生トリガ１５を退避させたまま、組成比が再び予め定められた組成比の範囲に戻って来る状況を示している。

[0049] しかしながら、組成比が再び予め定められた組成比の範囲に常に戻って来るとは限らない。また、組成比が再び予め定められた組成比の範囲に戻って来ることを待っていては、成膜時間がかかりすぎることもある。そこで、組成比が予め定められた組成比の範囲から外れて所定の時間が経過した場合に、複合材料１１に対してプラズマ発生トリガ１５により再度アーク放電をかけることにより、プラズマ流の組成比を予め定められた組成比の範囲に戻してよい。

[0050] b_1点の時刻からb_2点の時刻までにおいては、予め定められた組成比の範囲を超えた後に、ある時刻ｔにおいてプラズマ発生トリガ１５によりあらたにアーク陰極点の場所を変える事で、プラズマ流の組成比を予め定められた組成比の範囲に戻す状況を示している。複合材料１１中の複数の元素の存在状態によっては、アーク陰極点の場所を変えても必ずしも定められた組成比の範囲に戻るとは限らないので、その場合は複数回数上記試みを行っても構わない。上記手段により、プラズマ流の組成比を速やかに予め定められた組成比の範囲に戻すことができる。

[0051] このように、制御部５０は、測定部３０が測定した複数の元素の組成比の変化に基づいて、放電部１０がアーク放電を行った後、次のアーク放電を開始するタイミングを制御してよい。なお、測定部３０が測定した複数の元素の組成比の変化は、複数の元素の組成比の時間変化であってよい。これにより、組成比が予め定められた範囲にない場合に、新たに組成比の時間変動を起こすことができるので、成膜時間を短縮することができる。

[0052] 図６Ａは、第２の実施形態における、組成比の制御アルゴリズムを示す図である。横軸および縦軸は、図５Ａと同様に、膜厚および組成比である。なお、組成比は図５Ａと同様に炭素およびチタン元素の組成比である。

[0053] 実線で描かれた台形の領域は、予め定められた組成比の初期範囲である。

設計膜厚h_{plan}は、成膜予定の複合膜の膜厚である。設計組成比c_{plan}は、成膜予定の複合膜における膜厚方向の平均組成比、つまり膜全体の組成比である。本例では、初期範囲、設計膜厚h_{plan}および設計組成比c_{plan}を定めることにより、膜厚方向での組成比のばらつきを許容しつつ、設計膜厚h_{plan}における膜厚単位長さ当たりの組成比の平均を一定値である設計組成比c_{plan}にする。

[0054] 本例の初期範囲においては、膜厚ゼロの位置では組成比の範囲を広くして、設計膜厚h_{plan}の位置では組成比の範囲を狭くする。初期範囲において、膜厚ゼロの位置での組成比の範囲を狭くすると、組成比が当該狭い範囲に入らない限り成膜を開始できない。したがって、膜厚ゼロの位置での組成比の範囲を広くすることにより、膜厚ゼロの位置での組成比の範囲を狭くする場合と比較して、スムーズに成膜を開始することができる。

[0055] また、本例の初期範囲は、設計組成比c_{plan}を通る膜厚の横軸に平行な直線に対して線対称とする。ただし、膜厚ゼロの位置から設計膜厚h_{plan}の位置までの間の範囲における初期範囲の形状は線対称形状に限定されない。例えば、初期範囲は、設計組成比c_{plan}を通る膜厚の横軸に平行な直線に対して非対称であってよい。さらに、膜厚ゼロの位置から設計膜厚h_{plan}の位置までの間において、初期範囲の膜厚に対する組成比の変化は、線型に変化させても、非線形に変化させてもよい。

[0056] 制御部５０は、図５Ａの制御と同様に、プラズマ流の組成比が予め定められた組成比の範囲内にある時、プラズマ流を基板８０に照射して、当該範囲を超えた時にプラズマ流を基板８０から遮る。第１実施例の図５Ａとの相違は、成膜途中において、制御部５０が一定膜厚h_2における平均組成比c_2を算出し、当該算出結果に基づき予め定められた組成比の初期範囲を変更する点である。

[0057] 上述のように、事前に換算係数を得ることにより、膜厚と成膜時間とは容易に変換することができる。なお、本例では、プラズマ流を基板８０に走査させて成膜するので、成膜時間とプラズマ流を基板８０に照射した時間とも

また、一定の比例関係にある。したがって、膜厚とプラズマ流を基板８０に照射した時間とは、一対一の関係にある。当該関係を利用することにより、本例では、制御部５０は、膜厚に対するプラズマ流の組成比の積分値を計算する。これは、制御部５０は、プラズマ流を基板８０に照射した時間に対するプラズマ流の組成比の積分値を計算することにも相当する。

[0058] これにより、膜厚h_2までの組成比の値の合計は、図６Ａの斜線領域により表される積分値となる。制御部５０は、当該積分値を膜厚h_2で除することにより、膜厚ゼロから膜厚h_2までの平均組成比c_2を得る。本例の平均組成比c_2は、設計組成比c_{plan}よりも低い。そこで、膜厚h_2以降の成膜においては、組成比を設計組成比c_{plan}に近づけるべく、予め定められた組成比の範囲を変更する。

[0059] 図６Ｂは、図６Ａにおいて平均組成比c_2を算出した後の制御アルゴリズムを示す図である。なお、横軸および縦軸は図６Ａと同様である。点線で描かれた略三角形の領域は、図６Ａにおいて定められた組成比の初期範囲であり、実線で描かれた台形の領域は、膜厚h_2から膜厚h_{plan}までにおける予め定められた組成比の変更後の範囲である。

[0060] 制御部５０は、平均組成比c_2を設計組成比c_{plan}近づけるべく、膜厚h_2までの組成比の積分値に基づいて、組成比の予め定められた範囲を変更する。本例では、制御部５０は、設計組成比c_{plan}と膜厚h_2までの平均組成比c_2との差分を計算して、膜厚h_2から設計膜厚h_{plan}までにおける修正平均組成比c_{new}を設定する。具体的には、制御部５０は、設計組成比c_{plan}と平均組成比c_2との差が、修正平均組成比c_{new}と設計組成比c_{plan}との差に等しくなるように修正平均組成比c_{new}を設定する。

[0061] それゆえ、平均組成比c_2が設計組成比c_{plan}よりも低い場合は、修正平均組成比c_{new}は設計組成比c_{plan}よりも高くなる。逆に、平均組成比c_2が設計組成比c_{plan}よりも高い場合は、修正平均組成比c_{new}は設計組成比c_{plan}よりも低くなる。本例では、制御部５０は、膜厚h_2までの平均組成比c_2が設計組成比c_{plan}よりも低いので、修正平均組成比c_{new}は設計組成比c_{pla}

$_{n}$よりも高くする。なお、設計組成比c_{plan}の複合膜を形成するために、変更後の範囲における膜厚h_2での組成比の範囲は、初期範囲における膜厚h_2での組成比の範囲よりも広くされている。

[0062] 本例では、変更後の範囲内において、修正平均組成比c_{new}と修正平均組成比c_{new}よりも下の組成比の曲線とによって囲まれた面積（S_1）が、修正平均組成比c_{new}と修正平均組成比c_{new}よりも上の組成比の曲線とによって囲まれた面積（S_2）に等しい。つまり、膜厚h_2から設計膜厚h_{plan}までにおける所定の修正平均組成比c_{new}が得られる。それゆえ、膜厚h_2から設計膜厚h_{plan}までにおいて修正平均組成比をc_{new}にすることができるので、最終的に、膜厚h_{plan}における設計組成比c_{plan}の複合膜を得ることができる。

[0063] これにより、膜厚方向での組成比のばらつきを許容しつつも、膜全体としては、設計膜厚における設計組成比を有する膜を成膜することができる。

[0064] なお、制御部５０は、成膜中において、成膜を開始してからの組成比の変動の履歴に基づいて、組成比の予め定められた範囲を変更してもよい。組成比の変動の履歴は、組成比の時間変動の履歴であってよい。例えば、成膜を開始してから所定の膜厚までの平均組成比が設計組成比c_{plan}よりも著しく低い場合がある。つまり、成膜を開始してから所定の膜厚までの組成比の時間変動の履歴は、設計組成比c_{plan}よりも著しく低い領域にある場合がある。この場合、制御部５０は、組成比の時間変動の履歴を考慮して、修正平均組成比c_{new}を設計組成比c_{plan}よりも著しく高い位置に設定してよい。

[0065] なお、制御部５０は、組成比の予め定められた範囲を複数回変更してもよい。例えば、予め定められた組成比の初期範囲における範囲面積と比較して、複数回に渡って組成比の範囲を変更するにしたがって、徐々に範囲面積を小さくしてよい。つまり、成膜の初期段階においては組成比のばらつきが比較的大きくなる可能性を許容して、膜厚が厚くなるにつれて次第に限定的な組成比の範囲で成膜してよい。これにより、例えば、膜厚が小さい段階において設計組成比c_{plan}よりも著しく低い組成比の膜が形成され、膜厚が大き

い段階において設計組成比c_{plan}よりも急激に高い修正平均組成比の膜を形成されることを防ぐことができる。つまり、膜厚方向において、組成比のばらつきが大きくなることを防ぐことができる。よって、組成比の範囲を複数回変更し、かつ、徐々に範囲面積を小さくすることにより、膜厚全体にわたって組成比をより均一にすることができる。

[0066] 図７は、第３の実施形態における、ＦＣＶＡ法を用いた成膜装置２００を示す図である。本実施形態では、組成比の変動のパターンに再現性がある場合を前提としている点が第１の実施形態と異なる。なお本例において、組成比の変動パターンは、組成比の時間変動パターンであってよい。さらに、本実施形態では、第１の実施形態の測定部３０に代えて、制御部５０において記憶部５５を備える点が異なる。

[0067] プラズマ発生トリガ１５がアーク放電を生じさせてから、予め定められた時間内における、プラズマ流中に存在する複数の元素の組成比の変動のパターンに再現性がある場合には、記憶部５５は当該パターンを記憶する。本例では、記憶部５５は、プラズマ流中に存在する炭素イオンおよびチタンイオンの組成比の変動を記憶する。記憶部５５は、例えば、予め定められた時間内における炭素イオンとチタンイオンとのスペクトル強度比の変動パターンを記憶してよい。

[0068] 記憶部５５が記憶した変動のパターンに基づきプラズマ流を制御する場合、制御部５０は、測定部３０が観測した情報によらずにプラズマ流を制御することができる。つまり、制御部５０は、当該変動のパターンに基づいて、フィルタ部２０、スキャン部４０、およびシャッタ部６０の少なくとも一つを制御して、基板８０に到達するプラズマ流の量を制御することができる。記憶部５５を用いた制御は、測定部３０が観測した情報に依らないので、より簡便にプラズマ流を制御することができる。

[0069] 図８は、第４の実施形態におけるコンピュータ９０のハードウェア構成の一例を示す図である。本実施形態に係るコンピュータ９０は、ホスト・コントローラ１８２により相互に接続されるＣＰＵ９５、ＲＡＭ１２０、グラフ

ィック・コントローラ１７５、及び表示装置１８０を有するＣＰＵ周辺部と、入出力コントローラ１８４によりホスト・コントローラ１８２に接続される通信インターフェイス１３０、ハードディスクドライブ１４０、及びＤＶＤ－ＲＯＭドライブ１６０を有する入出力部と、入出力コントローラ１８４に接続されるＲＯＭ１１０、フレキシブルディスク・ドライブ１５０、及び入出力チップ１７０を有するレガシー入出力部とを備える。

[0070] ホスト・コントローラ１８２は、ＲＡＭ１２０と、高い転送レートでＲＡＭ１２０をアクセスするＣＰＵ９５及びグラフィック・コントローラ１７５とを接続する。ＣＰＵ９５は、ＲＯＭ１１０及びＲＡＭ１２０に格納されたプログラムに基づいて動作し、各部の制御を行う。グラフィック・コントローラ１７５は、ＣＰＵ９５等がＲＡＭ１２０内に設けたフレーム・バッファ上に生成する画像データを取得し、表示装置１８０上に表示させる。これに代えて、グラフィック・コントローラ１７５は、ＣＰＵ９５等が生成する画像データを格納するフレーム・バッファを、内部に含んでもよい。

[0071] 入出力コントローラ１８４は、ホスト・コントローラ１８２と、比較的高速な入出力装置である通信インターフェイス１３０、ハードディスクドライブ１４０、ＤＶＤ－ＲＯＭドライブ１６０を接続する。通信インターフェイス１３０は、ネットワークを介して他の装置と通信する。ハードディスクドライブ１４０は、コンピュータ９０内のＣＰＵ９５が使用するプログラム及びデータを格納する。ＤＶＤ－ＲＯＭドライブ１６０は、ＤＶＤ－ＲＯＭ１９５からプログラム又はデータを読み取り、ＲＡＭ１２０を介してハードディスクドライブ１４０に提供する。

[0072] また、入出力コントローラ１８４には、ＲＯＭ１１０と、フレキシブルディスク・ドライブ１５０、及び入出力チップ１７０の比較的低速な入出力装置とが接続される。ＲＯＭ１１０は、コンピュータ９０が起動時に実行するブート・プログラム、及び／又は、コンピュータ９０のハードウェアに依存するプログラム等を格納する。フレキシブルディスク・ドライブ１５０は、フレキシブルディスク１９０からプログラム又はデータを読み取り、ＲＡＭ

１２０を介してハードディスクドライブ１４０に提供する。入出力チップ１７０は、フレキシブルディスク・ドライブ１５０を入出力コントローラ１８４へと接続すると共に、例えばパラレル・ポート、シリアル・ポート、キーボード・ポート、マウス・ポート等を介して各種の入出力装置を入出力コントローラ１８４へと接続する。

[0073] ＲＡＭ１２０を介してハードディスクドライブ１４０に提供されるプログラムは、フレキシブルディスク１９０、ＤＶＤ－ＲＯＭ１９５、又はＩＣカード等の記録媒体に格納されて利用者によって提供される。プログラムは、記録媒体から読み出され、ＲＡＭ１２０を介してコンピュータ９０内のハードディスクドライブ１４０にインストールされ、ＣＰＵ９５において実行される。

[0074] コンピュータ９０にインストールされ、コンピュータ９０を成膜装置１００の制御部５０として機能させるプログラムは、複合材料１１に対してアーク放電を生じさせて、複数の元素をプラズマ状態にし、放出させる放電モジュールと、対象物に向かうプラズマ流中に存在する複数の元素の組成比の変動に基づいて、対象物に到達するプラズマ流の量を制御する制御モジュールとを備える。なお、対象物に向かうプラズマ流中に存在する複数の元素の組成比の変動は、複数の元素の組成比の時間変動であってよい。これらのプログラム又はモジュールは、ＣＰＵ９５等に働きかけて、コンピュータ９０を、成膜装置１００の制御部５０として機能させる。

[0075] これらのプログラムに記述された情報処理は、コンピュータ９０に読込まれることにより、ソフトウェアと上述した各種のハードウェア資源とが協働した具体的手段である放電部１０および制御部５０として機能する。そして、これらの具体的手段によって、本実施形態におけるコンピュータ９０の使用目的に応じた情報の演算又は加工を実現することにより、使用目的に応じた特有の成膜装置１００が構築される。

[0076] 一例として、コンピュータ９０と外部の装置等との間で通信を行う場合には、ＣＰＵ９５は、ＲＡＭ１２０上にロードされた通信プログラムを実行し

、通信プログラムに記述された処理内容に基づいて、通信インターフェイス１３０に対して通信処理を指示する。通信インターフェイス１３０は、ＣＰＵ９５の制御を受けて、ＲＡＭ１２０、ハードディスクドライブ１４０、フレキシブルディスク１９０、又はＤＶＤ－ＲＯＭ１９５等の記憶装置上に設けた送信バッファ領域等に記憶された送信データを読み出してネットワークへと送信し、もしくは、ネットワークから受信した受信データを記憶装置上に設けた受信バッファ領域等へと書き込む。このように、通信インターフェイス１３０は、ＤＭＡ（ダイレクト・メモリ・アクセス）方式により記憶装置との間で送受信データを転送してもよく、これに代えて、ＣＰＵ９５が転送元の記憶装置又は通信インターフェイス１３０からデータを読み出し、転送先の通信インターフェイス１３０又は記憶装置へとデータを書き込むことにより送受信データを転送してもよい。

[0077] また、ＣＰＵ９５は、ハードディスクドライブ１４０、ＤＶＤ－ＲＯＭドライブ１６０（ＤＶＤ－ＲＯＭ１９５）、フレキシブルディスク・ドライブ１５０（フレキシブルディスク１９０）等の外部記憶装置に格納されたファイルまたはデータベース等の中から、全部または必要な部分をＤＭＡ転送等によりＲＡＭ１２０へと読み込ませ、ＲＡＭ１２０上のデータに対して各種の処理を行う。そして、ＣＰＵ９５は、処理を終えたデータを、ＤＭＡ転送等により外部記憶装置へと書き戻す。このような処理において、ＲＡＭ１２０は、外部記憶装置の内容を一時的に保持するものとみなせるから、本実施形態においてはＲＡＭ１２０および外部記憶装置等をメモリまたは記憶装置等と総称する。本実施形態における各種のプログラム、データ、テーブル、データベース等の各種の情報は、このような記憶装置上に格納されて、情報処理の対象となる。なお、ＣＰＵ９５は、ＲＡＭ１２０の一部をキャッシュメモリに保持し、キャッシュメモリ上で読み書きを行うこともできる。このような形態においても、キャッシュメモリはＲＡＭ１２０の機能の一部を担うから、本実施形態においては、区別して示す場合を除き、キャッシュメモリもＲＡＭ１２０、メモリ、及び／又は記憶装置に含まれるものとする。

[0078] また、ＣＰＵ９５は、ＲＡＭ１２０から読み出したデータに対して、プログラムの命令列により指定された、本実施形態中に記載した各種の演算、情報の加工、条件判断、情報の検索・置換等を含む各種の処理を行い、ＲＡＭ１２０へと書き戻す。例えば、ＣＰＵ９５は、条件判断を行う場合においては、本実施形態において示した各種の変数が、他の変数または定数と比較して、大きい、小さい、以上、以下、等しい等の条件を満たすかどうかを判断し、条件が成立した場合（又は不成立であった場合）に、異なる命令列へと分岐し、またはサブルーチンを呼び出す。

[0079] また、ＣＰＵ９５は、記憶装置内のファイルまたはデータベース等に格納された情報を検索することができる。例えば、第１属性の属性値に対し第２属性の属性値がそれぞれ対応付けられた複数のエントリが記憶装置に格納されている場合において、ＣＰＵ９５は、記憶装置に格納されている複数のエントリの中から第１属性の属性値が指定された条件と一致するエントリを検索し、そのエントリに格納されている第２属性の属性値を読み出すことにより、所定の条件を満たす第１属性に対応付けられた第２属性の属性値を得ることができる。

[0080] 以上に示したプログラム又はモジュールは、外部の記録媒体に格納されてもよい。記録媒体としては、フレキシブルディスク１９０、ＤＶＤ－ＲＯＭ１９５の他に、ＤＶＤ又はＣＤ等の光学記録媒体、ＭＯ等の光磁気記録媒体、テープ媒体、ＩＣカード等の半導体メモリ等を用いることができる。また、専用通信ネットワーク又はインターネットに接続されたサーバシステムに設けたハードディスク又はＲＡＭ等の記憶装置を記録媒体として使用し、ネットワークを介してプログラムをコンピュータ９０に提供してもよい。

[0081] 以上、本発明を実施の形態を用いて説明したが、本発明の技術的範囲は上記実施の形態に記載の範囲には限定されない。上記実施の形態に、多様な変更又は改良を加えることが可能であることが当業者に明らかである。その様な変更又は改良を加えた形態も本発明の技術的範囲に含まれ得ることが、請求の範囲の記載から明らかである。

[0082] 請求の範囲、明細書、および図面中において示した装置、システム、プログラム、および方法における動作、手順、ステップ、および段階等の各処理の実行順序は、特段「より前に」、「先立って」等と明示しておらず、また、前の処理の出力を後の処理で用いるのでない限り、任意の順序で実現しうることに留意すべきである。請求の範囲、明細書、および図面中の動作フローに関して、便宜上「まず、」、「次に、」等を用いて説明したとしても、この順序で実施することが必須であることを意味するものではない。

符号の説明

[0083] １０　放電部、１１　複合材料、１２　金属元素、１３炭素マトリクス、１４　接触部、１５　プラズマ発生トリガ、１６　トリガ移動部、２０　フィルタ部、２５　巻線、２７　プラズマ流、２９　プラズマ流、３０　測定部、４０　スキャン部、４３　プラズマ流、４５　プラズマ流、５０　制御部、５５　記憶部、６０　シャッタ部、７０　成膜室、８０　基板、８５　基板フォルダ、９０　コンピュータ、９５　ＣＰＵ、１００　成膜装置、１１０　ＲＯＭ、１２０　ＲＡＭ、１３０　通信インターフェイス、１４０　ハードディスクドライブ、１５０　フレキシブルディスク・ドライブ、１６０　ＤＶＤ－ＲＯＭドライブ、１７０　入出力チップ、１７５　グラフィック・コントローラ、１８０　表示装置、１８２　ホスト・コントローラ、１８４　入出力コントローラ、１９０　フレキシブルディスク、１９５　ＤＶＤ－ＲＯＭ、２００　成膜装置

請求の範囲

[請求項1] 複数の原料を混合した複合材料を用いて、前記複数の原料中の複数の元素を含む膜を対象物に成膜する成膜装置であって、

前記複合材料に対してアーク放電を生じさせて、前記複数の元素をプラズマ状態にし、放出させる放電部と、

前記対象物に向かうプラズマ流中に存在する前記複数の元素の組成比に基づいて、前記対象物に到達する前記プラズマ流の量を制御する制御部と

を備える成膜装置。

[請求項2] 前記制御部は、

前記複数の元素の組成比が予め定められた範囲外である場合に、前記対象物に対して前記プラズマ流を照射させず、

前記複数の元素の組成比が予め定められた範囲内である場合に、前記対象物に対して前記プラズマ流を照射させる請求項１に記載の成膜装置。

[請求項3] 前記プラズマ流中に存在する前記複数の元素の組成比を測定する測定部をさらに備え、

前記制御部は、前記測定部が測定した前記組成比に基づいて前記プラズマ流の量を制御する請求項１または２に記載の成膜装置。

[請求項4] 前記アーク放電を生じさせてから、予め定められた時間内における、前記プラズマ流中に存在する前記複数の元素の組成比の変動のパターンを記憶する記憶部をさらに備え、

前記制御部は、前記記憶部が記憶した前記変動のパターンに基づいて前記プラズマ流の量を制御する請求項１または２に記載の成膜装置。

[請求項5] 前記制御部は、成膜中において、

成膜を開始してからの前記組成比の変動の履歴に基づいて、

前記組成比の前記予め定められた範囲を変更する

請求項２に記載の成膜装置。

[請求項6] 前記制御部は、前記プラズマ流を前記対象物に照射した時間に対する前記組成比の積分値に基づいて、前記組成比の前記予め定められた範囲を変更する

請求項５に記載の成膜装置。

[請求項7] 湾曲した筒形状であり、前記プラズマ流に磁場を印加して、前記プラズマ流の流れを制御するフィルタ部、前記プラズマ流が前記対象物に照射される向きを制御するスキャン部、および前記対象物に向かう前記プラズマ流を遮蔽するか否かを切り替えるシャッタ部の少なくとも一つを備え、

前記制御部は、前記フィルタ部、前記スキャン部、および前記シャッタ部の少なくとも一つを制御して、前記対象物に対する前記プラズマ流の量を制御する請求項１から６のいずれか一項に記載の成膜装置。

[請求項8] 前記制御部は、前記測定部が測定した前記複数の元素の組成比の変化に基づいて、前記放電部が前記アーク放電を行った後、次の前記アーク放電を開始するタイミングを制御する請求項３に記載の成膜装置。

[請求項9] 複数の元素を有する複合材料を準備する段階と、

アーク放電を発生させて、前記複合材料からプラズマ流を生成するためのプラズマ発生段階と、

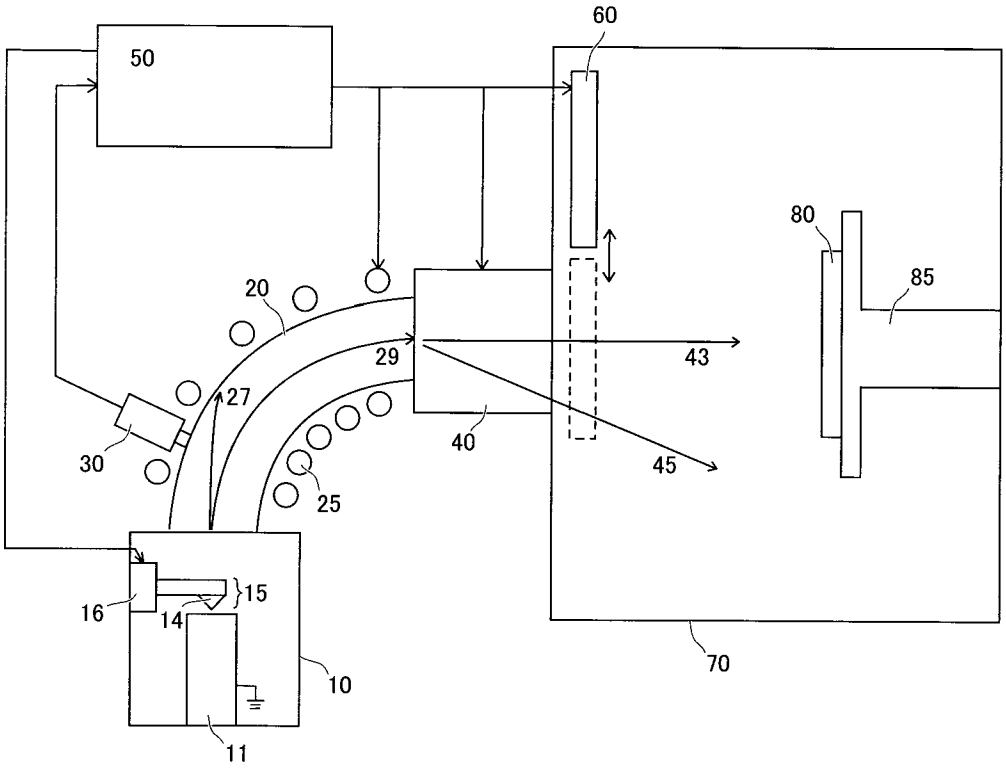
前記複数の元素の比率を観測する観測段階と、

前記プラズマ流における複数の元素の比率に基づいて、被成膜体に到達する前記プラズマ流の量を制御する制御段階と

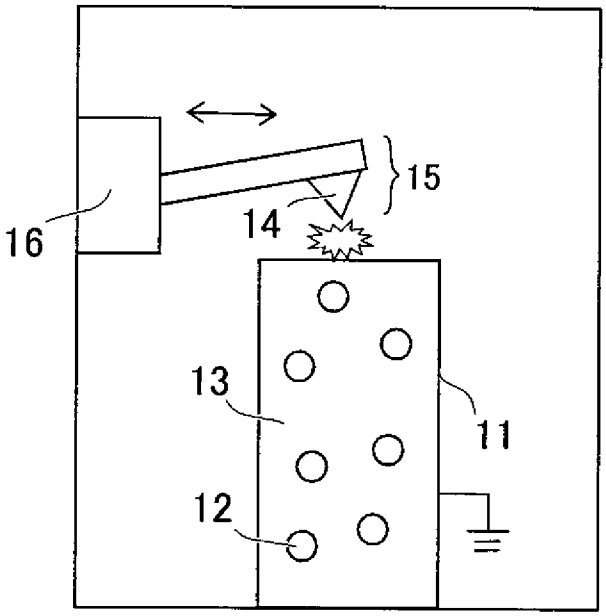
を備える膜の製造方法。

[請求項10] コンピュータを請求項１から８のいずれか一項に記載の成膜装置における前記制御部として機能させるためのプログラム。

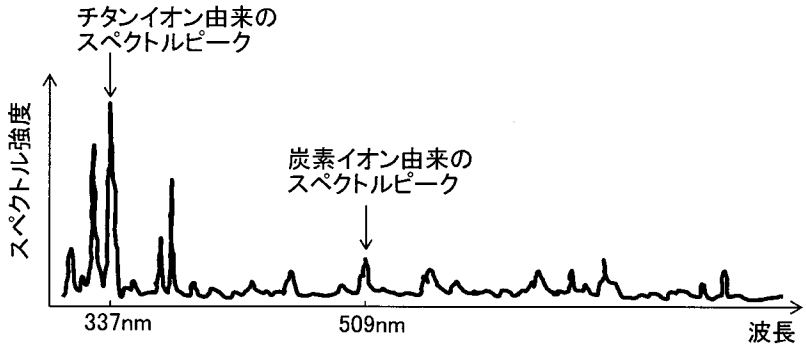
[図1]


50
60
80
85
20
29
43
27
40
30
45
25
16
15
14
10
11
70
100

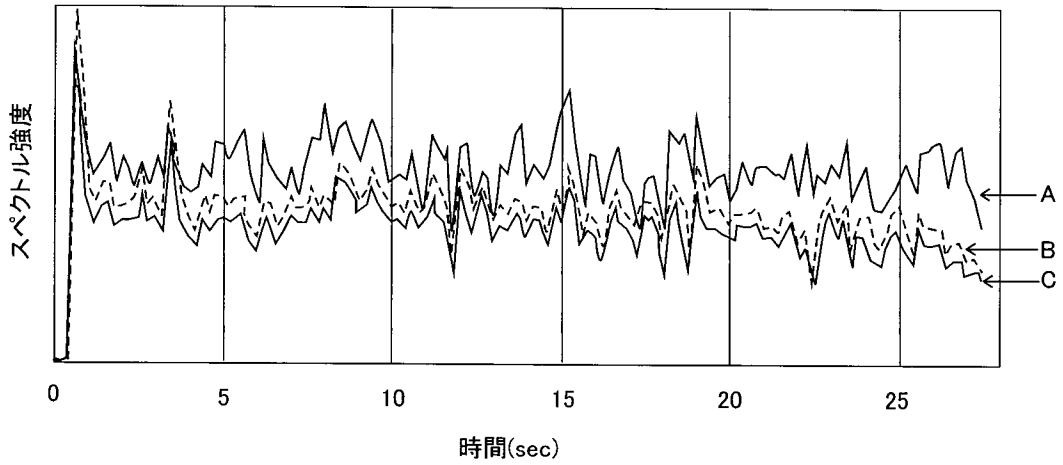
[図2]


15
16
14
13
11
12
10

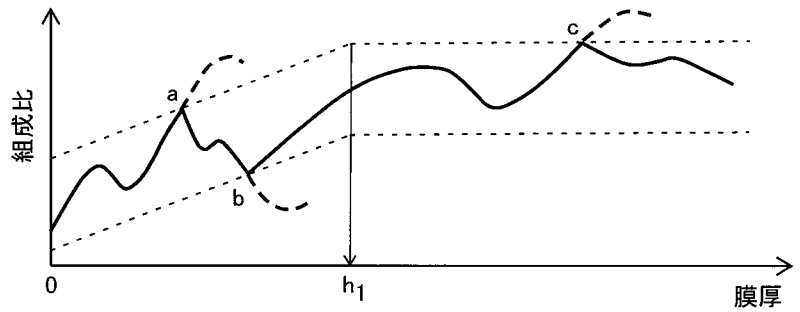
[図3]


チタンイオン由来の
スペクトルピーク
炭素イオン由来の
スペクトルピーク
スペクトル強度
337nm
509nm
波長

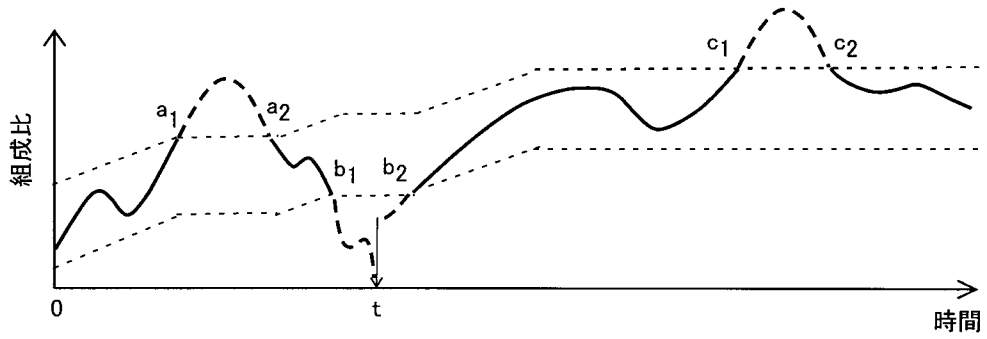
[図4]


スペクトル強度
A
B
C
0
5
10
15
20
25
時間(sec)

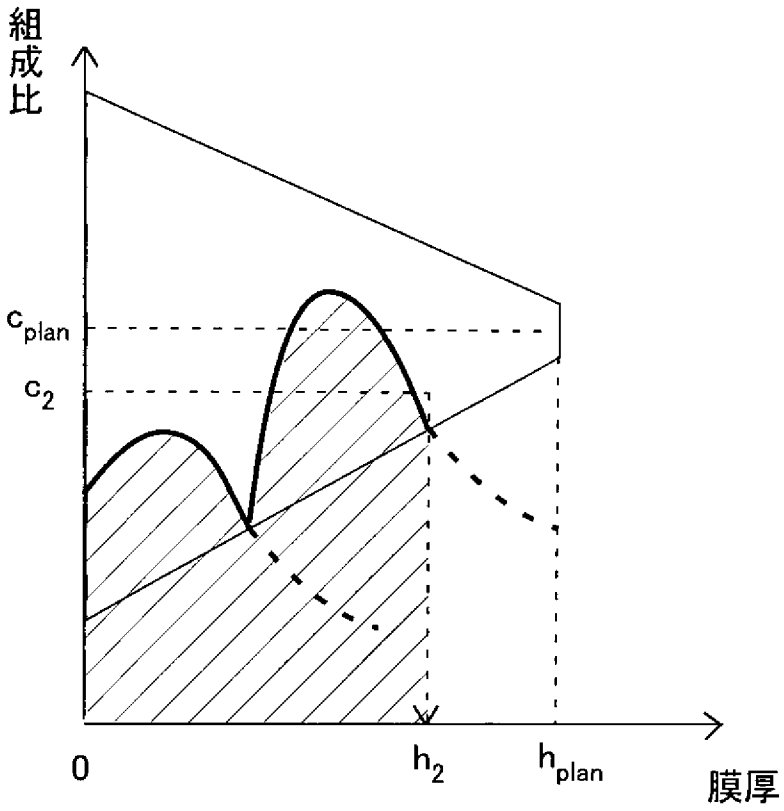
[図5A]


組成比
a
b
c
0
h_1
膜厚

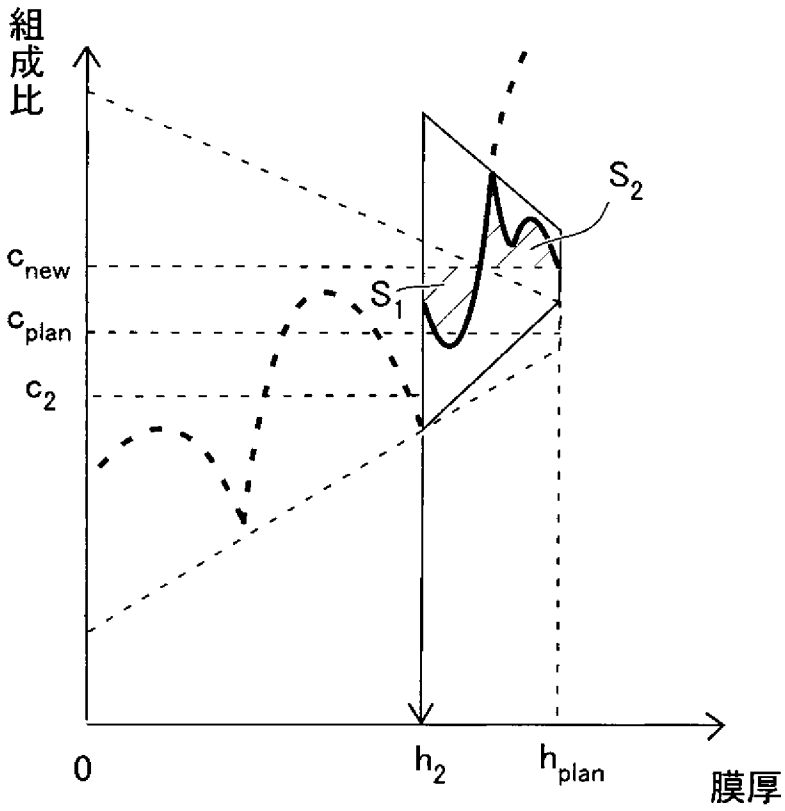
[図5B]


組成比
a_1
a_2
b_1
b_2
c_1
c_2
0
t
時間

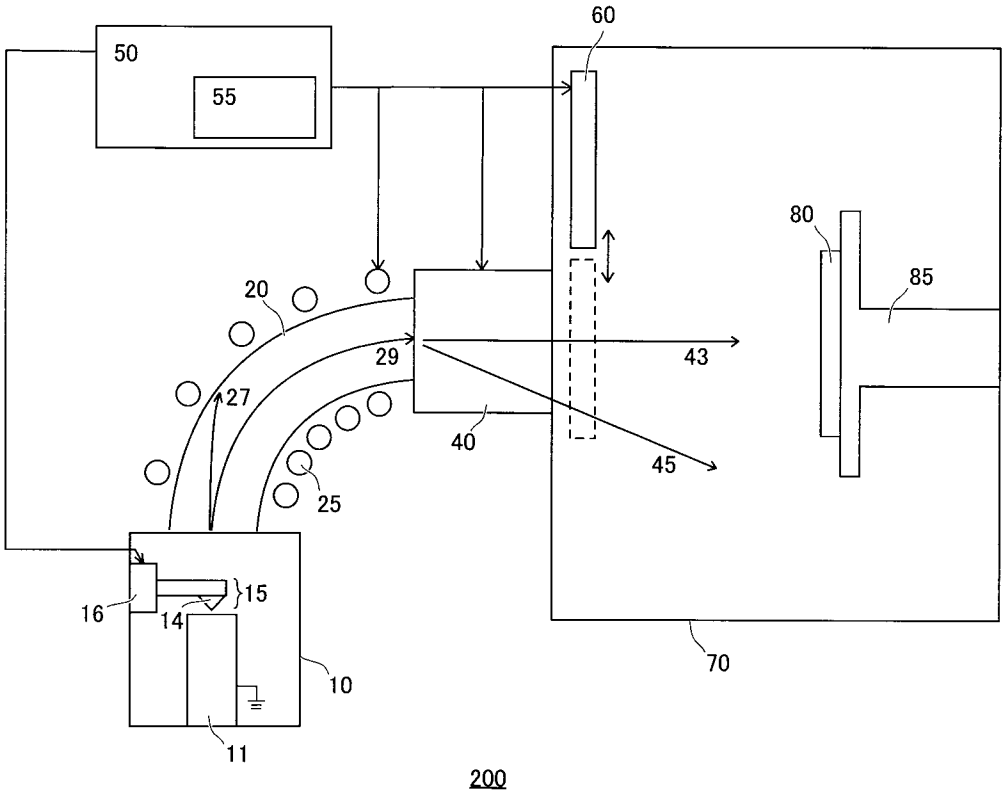
[図6A]



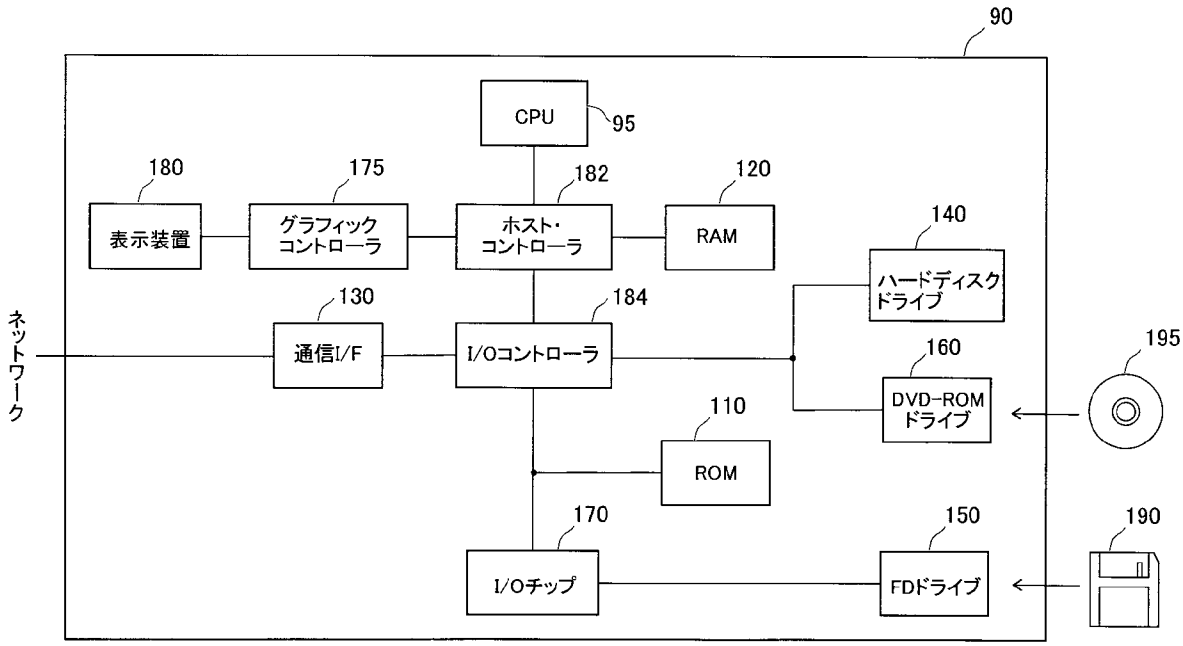
[図6B]


組成比
c_{new}
c_{plan}
c_2
S_1
S_2
0
h_2
h_{plan}
膜厚

[図7]


50
55
60
80
85
20
29
43
27
40
45
25
15
16
14
10
11
70
200

[図8]


90
CPU
95
180
175
182
120
表示装置
グラフィック
コントローラ
ホスト・
コントローラ
RAM
140
ハードディスク
ドライブ
130
184
ネットワーク
通信I/F
I/Oコントローラ
160
195
DVD-ROM
ドライブ
110
ROM
170
150
190
I/Oチップ
FDドライブ

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/000231

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C23C14/24(2006.01)i, *C23C14/54*(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 1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
CAplus(STN), WPI, Science Direct, JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII), CiNii

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2005-139547 A (Shimadzu Corp.), 02 June 2005 (02.06.2005), claims 1 to 7; paragraphs [0013] to [0021]; fig. 1, 4, 6 to 8 & US 2005/0081790 A1	1-10
Y	JP 57-161063 A (Nippon Sheet Glass Co., Ltd.), 04 October 1982 (04.10.1982), claims 1, 2; page 3, upper right column, line 7 to page 4, upper left column, line 11; fig. 2 & US 4407709 A & GB 2097428 A & DE 3212037 A & FR 2503190 A & BE 892711 A	1-10

☒ 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	Date of mailing of the international search report
03 February, 2014 (03.02.14)	04 March, 2014 (04.03.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/000231

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2007-270273 A (Fujitsu Ltd.), 18 October 2007 (18.10.2007), paragraphs [0033] to [0038], [0050] to [0053]; fig. 4, 10 (Family: none)	8
A	JP 2010-287268 A (Fuji Electric Device Technology Co., Ltd.), 24 December 2010 (24.12.2010), claims 1 to 4; fig. 1, 2 & US 2010/0314247 A1	1-10
A	JP 2002-544380 A (Nanyang Technological University), 24 December 2002 (24.12.2002), claims 1 to 24 & US 6143142 A & US 2002/0102398 A1 & US 6387443 B1 & GB 9910842 A & GB 2369829 A & WO 2000/068455 A1 & AU 4601100 A	1-10
A	JP 8-508362 A (Fraunhofer-Gesellschaft zur Forderung der Angewandten Forschung e.V.), 03 September 1996 (03.09.1996), claims 1 to 14; fig. 1, 2 & EP 674805 A1 & WO 1994/014183 A1 & DE 4242633 A	1-10
A	US 4166784 A (APPLIED FILMS LAB INC.), 04 September 1979 (04.09.1979), claims (Family: none)	1-10
A	Hideo SUGAI, "Recent Development of Reactive Plasma Diagnostics and Radical Control", Journal of Plasma and Fusion Research, 1995.03, vol.71, no.3, pages 191 to 201	1-10
A	H.-S. ZHANG et al., Direct-current cathodic vacuum arc system with magnetic-field mechanism for plasma stabilization, Review of Scientific Instruments, 2008.07.08, Vol.79, pp.073905-1 - 073905-7	1-10
A	Peng WANG et al., The effect of applied negative bias voltage on the structure of Ti-doped a-C:H films deposited by FCVA, Applied Surface Science, 2006.09.07, Vol.253, pp.3722-2726	1-10

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１４／０００２３１

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C23C14/24(2006.01)i, C23C14/54(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（ＩＰＣ））

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　１９７１－２０１４年
日本国実用新案登録公報　１９９６－２０１４年
日本国登録実用新案公報　１９９４－２０１４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）

CAplus(STN), WPI, Science Direct, JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII), CiNii

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 2005-139547 A（株式会社島津製作所）2005.06.02, 請求項1-7, [0013]-[0021], 図1, 4, 6-8 & US 2005/0081790 A1	1-10
Y	JP 57-161063 A（日本板硝子株式会社）1982.10.04, 請求項1, 2, 第3ページ右上欄第7行-第4ページ左上欄第11行, 第2図 & US 4407709 A & GB 2097428 A & DE 3212037 A & FR 2503190 A & BE 892711 A	1-10
Y	JP 2007-270273 A（富士通株式会社）2007.10.18, [0033]-[0038], [0050]-[0053], 図4, 10（ファミリーなし）	8

☑　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	国際調査報告の発送日
０３．０２．２０１４	０４．０３．２０１４

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　４Ｇ　２９２７
横山　敏志
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４１６

C（続き）．　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
A	JP 2010-287268 A (富士電機デバイステクノロジー株式会社) 2010.12.24, 請求項 1-4,図 1,2 & US 2010/0314247 A1	1-10
A	JP 2002-544380 A (ナンヤン テクノロジカル ユニバーシティ) 2002.12.24, 請求項 1-24 & US 6143142 A & US 2002/0102398 A1 & US 6387443 B1 & GB 9910842 A & GB 2369829 A & WO 2000/068455 A1 & AU 4601100 A	1-10
A	JP 8-508362 A (フラウンホッファーーゲゼルシャフト ツァ フェルダールング デァ アンゲヴァンテン フォアシュンク エー．ファオ．) 1996.09.03, 請求項 1-14,図 1,2 & EP 674805 A1 & WO 1994/014183 A1 & DE 4242633 A	1-10
A	US 4166784 A (APPLIED FILMS LAB INC.) 1979.09.04, Claims (ファミリーなし)	1-10
A	菅井 秀郎, 反応性プラズマの計測とラジカル制御の新展開, プラズマ・核融合学会誌, 1995.03, 第 71 巻,第 3 号, 第 191-201 ページ	1-10
A	H.-S. ZHANG et al., Direct-current cathodic vacuum arc system with magnetic-field mechanism for plasma stabilization, Review of Scientific Instruments, 2008.07.08, Vol.79, pp.073905-1 - 073905-7	1-10
A	Peng WANG et al., The effect of applied negative bias voltage on the structure of Ti-doped a-C:H films deposited by FCVA, Applied Surface Science, 2006.09.07, Vol.253, pp.3722-2726	1-10