

(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
2012年6月28日(28.06.2012)



(10) 国際公開番号

WO 2012/086419 A1

- (51) 国際特許分類:
H01J 37/06 (2006.01) H01J 37/08 (2006.01)
H01J 27/26 (2006.01) H01J 37/16 (2006.01)
H01J 37/073 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/078372
- (22) 国際出願日: 2011年12月8日(08.12.2011)
- (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 2010-286355 2010年12月22日(22.12.2010) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立ハイテクノロジーズ(HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目2番14号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 荒井 紀明 (ARAI Noriaki) [JP/JP]; 〒3128504 茨城県ひたちなか市大字市毛882番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ 那珂事業所内 Ibaraki (JP).
- (74) 代理人: 平木 祐輔, 外(HIRAKI Yusuke et al.); 〒1056232 東京都港区愛宕2丁目5番1号 愛宕グリーンヒルズMORIタワー32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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, 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, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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,

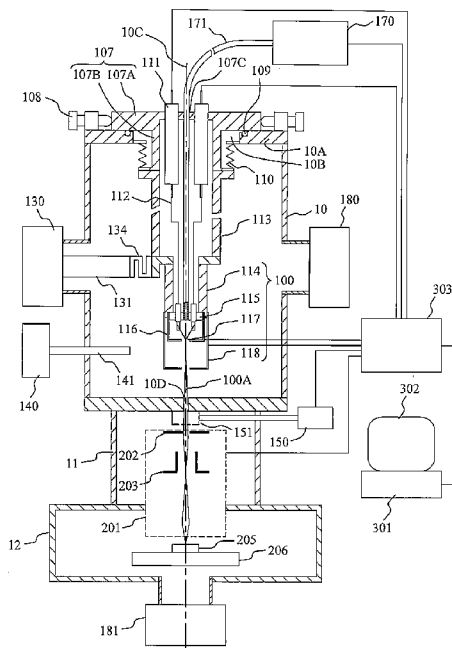
[続葉有]

(54) Title: CHARGED PARTICLE EMISSION GUN AND CHARGED PARTICLE RAY APPARATUS

(54) 発明の名称: 荷電粒子放出銃及び荷電粒子線装置

[図1]

図1



(57) Abstract: Provided is a charged particle emission gun with which chip cleaning can be performed for a long period without stopping operation of the charged particle emission gun and without heating the chip. The charged particle emission gun is provided with: a cleaning photo-irradiation device which generates ultraviolet light or infrared light that is used to irradiate a chip; and an optical fibre which guides the ultraviolet light or infrared light onto the chip. The cleaning photo-irradiation device generates ultraviolet light or infrared light of a prescribed wavelength and intensity in order to remove molecules adsorbed to the chip by photo-stimulated removal, or in order to remove molecules adsorbed to the chip by photo-stimulated removal and ionise the removed molecules.

(57) 要約: 荷電粒子放出銃の作動を長時間停止することなく、チップを加熱させることなく、チップのクリーニングが可能な荷電粒子放出銃を提供する。荷電粒子放出銃は、チップに照射する紫外光又は赤外光を生成するクリーニング用照射光装置と紫外光又は赤外光をチップに導くための光ファイバを有する。クリーニング用照射光装置は、チップの吸着分子を光刺激脱離によって脱離させるために、又は、チップの吸着分子を光刺激脱離によって脱離させ、該脱離した分子をイオン化するために、所定の波長と強度の紫外光又は赤外光を生成する。

WO 2012/086419 A1



MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラ
シア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：荷電粒子放出銃及び荷電粒子線装置

技術分野

[0001] 本発明は、極低温に冷却した針状電極を備えた荷電粒子放出源及び荷電粒子線装置に関する。

背景技術

[0002] 電子顕微鏡の電子銃として、熱電子源、ショットキー電子源、冷陰極電界放出電子源等が知られている。これらの電子源のうち、最も高輝度で単色性の良い電子源は冷陰極電界放出電子源であり、超高分解能電子顕微鏡に使用される。冷陰極電界放出電子源は、針状のタングステン製チップを非加熱状態にて用い、高強度の電界を発生させてトンネル効果により電子を発生させるものである。

[0003] 一般に、電子ビームのエネルギー幅は、室温では、理想的な清浄表面においても200 meV（半値幅）以上である。しかしながら、電子源を極低温で使用すれば、電子ビームのエネルギー幅を絞ることができる。例えば、タングステン製のチップを用いた電子源の場合、室温（300 K）でのエネルギー幅は200 meV程度であるが、液体窒素温度の約77 Kでは120 meV程度となり、液体水素温度の約21 Kでは110 meV程度となる。即ち、極低温の場合には、室温の場合の半分程度にまでエネルギー幅を小さくすることが可能である。この結果、電子顕微鏡の光学系で発生するレンズの色収差が半減するため、電子ビームをより小さな光線径にまで絞ることができる。

[0004] 一方、イオン顕微鏡のイオン銃として、ガス電界電離イオン源（GFIS : Gas Field Ionization Ion Source）が知られている。ガス電界電離イオン源では、通常、冷陰極電界放出電子源と同様に、液体窒素温度以下の極低温とした針状電極（チップ）の先端部に強電界を発生させる。チップの近傍に原料ガスを供給し、チップとガス分子間の電

子のトンネル効果により原料ガスをイオン化する。原料ガスとして希ガスが用いられる。近年、ヘリウムイオンをプローブとして使用するヘリウムイオン顕微鏡が注目されている。ヘリウムイオンは、電子よりも重いので、短波長化と回折収差の低減が可能であり、走査型電子顕微鏡（SEM：Scanning Electron Microscope）の分解能と焦点深度を遥かに凌ぐ顕微鏡が得られる。

[0005] 尚、イオン銃のチップに印加される電圧は一般に正極性の電圧であって、電子銃のそれとは逆である。つまり、イオンはチップに対して相対的に負の電位にて放出されるが、電子はチップに対して相対的に正の電位にて放出される。

[0006] 収束イオンビーム（FIB：Focused Ion Beam）装置では、従来、ガリウムに代表される液体金属イオンが用いられていた。しかしながら、液体金属イオンの代わりに、ネオン（Ne）、アルゴン（Ar）等を用いることにより、低ダメージで精緻なスパッタ加工を可能とすることができる。

[0007] 特許文献1には、真空中における電子源への残留ガスの吸着を防止するために紫外線レーザーを用いる清浄化手法が開示されている。特許文献2には、商用化されたガス電界電離イオン源（GFIS）を搭載した顕微鏡の技術の開示がある。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開平11-07913号公報

特許文献2：米国公開公報2008/0217555号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] チップを超高真空中で長時間使用すると、超真空中の残留ガス（主に水素と一酸化炭素）がチップに吸着し、放出電流のノイズ増加や電流量の経時的

減少などが起きる。そのため、プローブとしての安定性が損なわれる。そこで、吸着ガスによるチップの汚染を防止するために、チップのクリーニングが必要である。

[0010] 従来、冷陰極電界放出電子源を用いた電子銃においては、チップを瞬間的に通電加熱（フラッシング）することにより、チップのクリーニングが行われている。しかしながら、極低温にあるチップを急激に高温に変化させると、熱応力によるチップ破損やチップ先端の鈍化を引起すため好ましくない。さらに、フラッシングを行うときは、荷電粒子放出を比較的長時間停止させる必要がある。

[0011] 本発明の目的は、荷電粒子放出銃の作動を長時間停止することなく、チップを加熱させることなく、チップのクリーニングが可能な荷電粒子放出銃を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明の荷電粒子放出銃は、チップと、該チップと同軸的な中心孔を有する引出し電極と、前記チップと同軸的な中心孔を有し前記チップと前記引出し電極の間に配置されたイオンコレクタと、前記チップ、前記引出し電極、及び、前記イオンコレクタを収納する真空容器と、前記チップを冷却するための冷却装置と、前記チップに照射する紫外光又は赤外光を生成するクリーニング用照射光装置と、を有する。

[0013] クリーニング用照射光装置は、前記チップの吸着分子を光刺激脱離によって脱離させるために、又は、前記チップの吸着分子を光刺激脱離によって脱離させ、該脱離した分子をイオン化するために、所定の波長の紫外光又は赤外光を生成する。

[0014] 前記クリーニング用照射光装置は、連続スペクトル光を生成するランプ光源、又は、パルス光を生成するレーザー光源を用いる。

[0015] ランプ光源を用いる場合には、吸着ガスの光刺激脱離し、脱離分子を排気するか、又は、脱離ガス分子をイオン化してイオンコレクタによって捕獲する。レーザー光源の場合には、フェムト秒のパルス幅、 $10^{10}\text{W}/\text{cm}^2$ オー

ダー以下の光強度で照射し、光刺激脱離および共鳴多光子イオン化法によりチップを清浄化する。

発明の効果

[0016] 本発明の荷電粒子放出銃によると、荷電粒子放出銃の作動を長時間停止することなく、且つ、チップを加熱させることなく、チップのクリーニングが可能となる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の荷電粒子線装置の第1の例の主要部の断面構成を示す図である。

[図2]本発明の荷電粒子線装置の荷電粒子放出銃のチップの周辺の構造の例を示す図である。

[図3]本発明の荷電粒子線装置の第2の例の主要部の断面構成を示す図である。

[図4]本発明の荷電粒子線装置の荷電粒子放出銃のチップにおける残留ガス分子の吸着、吸着分子の光刺激脱離及び脱離分子のイオン化の過程を説明する模式図である。

[図5A]荷電粒子放出銃のチップの先端に形成されたナノピラミッド構造の原子配列の一例をチップの先端側から見た図である。

[図5B]荷電粒子放出銃のチップの先端のナノピラミッドの原子配列の一例をチップの横側から見た図である。

[図5C]荷電粒子放出銃を冷陰極電界放出電子源として使用する場合に、チップの先端のナノピラミッドの頂点の単原子からトンネル電子が放出される状態を説明する図である。

[図5D]荷電粒子放出銃をガス電界電離イオン源（GFIS）として使用する場合に、チップの先端のナノピラミッドにて原料ガスがホッピングし、頂点の単原子にて電界電離イオン化する状態を説明する図である。

[図6A]チップの先端のナノピラミッド構造の頂点に二原子分子が吸着した場合を説明する模式図である。

[図6B]チップの先端のナノピラミッド構造において、吸着の影響により、電界蒸発電圧が低下した結果、ナノピラミッド先端が破壊されることを説明する模式図である。

[図6C]チップの先端のナノピラミッド構造において、吸着ガスによってナノピラミッドの形成が阻害されることを説明する模式図である。

[図7A]本発明の荷電粒子放出銃を電子銃として使用する場合に、イオンコレクタの作用を説明する説明図である。

[図7B]本発明の荷電粒子放出銃をイオン銃として使用する場合に、イオンコレクタの作用を説明する説明図である。

[図8]本発明の荷電粒子放出銃においてチップの先端に赤外光又は紫外光の導入するために中空光ファイバを用いる例を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0018] 図1を参照して、本発明による荷電粒子線装置の第1の例を説明する。本例の荷電粒子線装置は、真空容器10、光学系真空容器11、及び、試料室真空容器12を有し、更に、制御電源ユニット303、制御コンピュータ301及び表示装置302を有する。真空容器10には、真空ポンプ180、及び、冷却装置130が装着され、更に、真空容器10の周囲には、クリーニング用照射光装置170、及び、ガス導入装置140が設けられている。試料室真空容器12の下側には、真空ポンプ181が装着されている。

[0019] ここで、本例の荷電粒子線装置より光学系真空容器11、及び、試料室真空容器12を除いた部分を、荷電粒子放出銃と称することとする。本例の荷電粒子放出銃は、電子銃又はイオン銃として用いることができる。特に、本例の荷電粒子放出銃は、極低温で動作する冷陰極電界放出電子源又はガス電界電離イオン源（GFIS）として用いることができる。更に、本例の荷電粒子放出銃は、フォーカスドイオンビーム装置（FIB）のイオン源として用いることができる。

[0020] 本例の荷電粒子放出銃を電子銃として用いる場合には、光学系真空容器11の内部に電子光学系を設け、試料室真空容器12の内部に、試料ステージ

を設ければよい。それによって、超高分解能電子顕微鏡が構成される。本例の荷電粒子放出銃をイオン銃として用いる場合には、光学系真空容器 11 の内部にイオン光学系を設け、試料室真空容器 12 の内部にイオン顕微鏡又はフォーカスドイオンビーム用の試料ステージを設ければよい。それによって、イオン顕微鏡又はフォーカスドイオンビーム装置 (FIB) が構成される。

[0021] 真空容器 10 の内部は、真空ポンプ 180 によって真空排気される。それによって、真空容器 10 の内部は、容易に 10^{-6} Pa 台以下の高真空が得られる。しかしながら、荷電粒子放出銃を加熱処理 (ベーキング) することにより、 10^{-8} Pa 台以下の超高真空を得ることができる。加熱処理 (ベーキング) は、真空容器 10 内の荷電粒子放出銃を構成する部材の吸着ガスや吸蔵ガスに対する脱ガス処理である。

[0022] 真空容器 10 の天井壁 10A に支持構造体 107 が設けられている。支持構造体 107 はフランジ部 107A と円筒部 107B を有する。支持構造体 107 のフランジ部 107A は、真空容器 10 の天井壁 10A の上面によって支持されている。支持構造体 107 のフランジ部 107A の下面と、真空容器 10 の天井壁 10A の上面の間に Oリング等のシール部材 109 が装着されている。支持構造体 107 の円筒部 107B は、真空容器 10 の天井壁 10A の孔 10B に装入されている。

[0023] 支持構造体 107 の円筒部 107B の下端には、熱絶縁構造体 113 を介して、ホルダー 114 が装着されている。ホルダー 114 には、チップ碍子 115、金属製のイオンコレクタ 116 及び引出し電極 118 が装着されている。チップ碍子 115 にはチップ 117 が装着されている。本例では、ホルダー 114、チップ碍子 115、チップ 117、イオンコレクタ 116 及び引出し電極 118 によってチップユニット 100 が構成されている。熱絶縁構造体 113 及びチップユニット 100 は支持構造体 107 より吊り下げられた状態にて支持されている。チップユニット 100 の構造及び動作は後に図 2 を参照して詳細に説明する。

[0024] 真空容器 10 の天井壁 10A の孔 10B の内径は、支持構造体 107 の円

筒部 107B の外径より大きい。両者の差に相当する分だけ、支持構造体 107 は、真空容器 10 に対して水平方向の移動が可能である。支持構造体 107 のフランジ部 107A の外周面には、チップ移動用ねじ 108 が当接している。このねじ 108 を回転させて半径方向に移動させることによって、支持構造体 107 は、真空容器 10 に対して水平方向に移動する。即ち、チップ移動用ねじ 108 を回転させることにより、チップ 117 は水平方向に移動する。それによって、チップの光軸を真空容器 10 の中心軸線 10C に整合させることができる。

[0025] 真空容器 10 の天井壁 10A と熱絶縁構造体 113 の外周の間はベローズ 110 によって接続されている。ベローズ 110 は、支持構造体 107 の円筒部 107B を囲むように配置されている。ベローズ 110 によって支持構造体 107 のフランジ部 107A の下面と、真空容器 10 の天井壁 10A の上面の間がシールされる。

[0026] 支持構造体 107 には高電圧導入碍子 111 が装着されている。制御電源ユニット 303 に接続された電線 112 は、高電圧導入碍子 111 を経由して真空容器 10 内に導入され、その先端はチップ 117 に接続されている。この電線を介して、チップ 117 に高電圧（最大±40kV 程度）が印加される。尚、イオンコレクタ 116 及び引出し電極 118 は、電線を介して制御電源ユニット 303 に接続されている。この電線を介して、イオンコレクタ 116 及び引出し電極 118 に所望の高電圧が印加される。

[0027] 支持構造体 107 のフランジ部 107A の温度は室温であるが、チップ 117 は極低温に冷却される。熱絶縁構造体 113 は、外部からの熱が、支持構造体 107 を経由して、チップ 117 へ流入しないように構成されている。熱絶縁構造体 113 は、熱の流入量を小さくするために、薄肉（0.3mm 程度）の金属円筒、又は、複数本の薄肉の金属円筒パイプによって構成される。熱絶縁構造体 113 の材料として、熱伝導率と線膨張係数が小さいスーパーインバーが用いられてよい。それによって、実用的に、真空容器 10 の中心軸線 10C 方向の熱収縮を無視できるレベルにすることができる。熱

絶縁構造体 113 の材料として、熱伝導率と線膨張係数が小さいセラミックのアルミナ等を用いることも可能である。更に、熱絶縁構造体 113 の材料として、加熱処理（ベーキング）に耐えることができる、耐熱性のプラスチック、例えばポリテトラフルオロエチレン（PTFE）やポリフェニレンサルファイド（PPS）の利用も可能であるが、機械的強度を求める場合には適さない。

[0028] 外部からの熱が、支持構造体 107 を経由して、チップ 117 へ流入しないように、支持構造体 107 の円筒部 107B とチップ碍子 115 の間の距離は、熱絶縁に必要な寸法に設定される。本例では、支持構造体 107 の円筒部 107B とチップ碍子 115 の間の距離は約 100 mm である。尚、外部からの熱が、電線 112 を経由してチップ 117 へ流入する可能性があるが、電線 112 として細線を用いることにより、熱の流入を阻止することができる。

[0029] チップ 117 の冷却機構を説明する。冷却装置 130 は機械振動を生じる本体部分と本体部分から供給される冷却済みガスを循環させるコールドエンド 131 を有する。本例では、冷却装置 130 の本体部分が真空容器 10 の外側に配置され、コールドエンド 131 が真空容器 10 の内側に配置されている。コールドエンド 131 の内端は、網線 134 を介してホルダー 114 に接続されている。網線 134 は、熱伝導率の良い材料、例えば、無酸素銅によって形成されてよい。冷却装置 130 の本体部分の機械振動は、網線 134 によって減衰するから、チップ 117 に伝達されることはない。

[0030] エネルギー幅の狭い電子ビーム、又は、高輝度イオンビームを発生させるためには、チップを極低温に、望ましくは液体窒素温度 77 K 以下に冷却する必要がある。本例では、冷却装置 130 の冷凍能力は 70 K で 10 W 程度であり、チップ 117 をほぼ 70 K に冷却することが可能である。

[0031] チップのクリーニング用照射光装置 170 について説明する。クリーニング用照射光装置 170 は、チップのクリーニング用照射光を生成する。チップのクリーニング用照射光は、チップに吸着した吸着分子を光刺激脱離させ

、更に、光刺激脱離した脱離分子をイオン化する機能を有する。クリーニング用照射光として、所定の波長及び強度の赤外線又は紫外線が用いられる。赤外線を発生させる赤外線光源として、赤外線ランプ又は赤外線レーザー光源を用いてよい。紫外線を発生させる紫外線光源として、真空紫外光ランプ又は紫外線レーザー光源を用いてよい。真空紫外光ランプとして重水素ランプを用いてよい。

[0032] クリーニング用照射光装置 170 には光ファイバ 171 が接続されている。光ファイバ 171 は中空光ファイバであってよい。光ファイバ 171 は、支持構造体 107、及び、熱絶縁構造体 113 の中心軸線に沿って延びており、その内端は、チップ碍子 115 を貫通し、チップ 117 の先端に向けられている。光ファイバ 171 の中心軸線、即ち、光ファイバ 171 の光軸は、チップ 117 から発生する電子ビーム又はイオンビームの光軸に整合している。即ち、光ファイバ 171 の中心軸線と、電子ビーム又はイオンビームの光軸は、同軸に配置されている。真空容器 10 の中心軸線 10C を Z 軸とすると、光ファイバ 171 の中心軸線と、電子ビーム又はイオンビームの光軸は、Z 軸に沿って配置されている。

[0033] クリーニング用照射光装置 170 からの赤外光又は紫外光は、光ファイバ 171 を経由し、チップ 117 の先端を照射する。光ファイバ 171 を用いることによって、真空容器に光学窓、レンズ等の光学系を直接装着する必要性がなくなる。

[0034] 支持構造体 107 には、光ファイバ 171 が通るための孔 107C が形成されている。光ファイバ 171 と支持構造体 107 の孔 107C の間のシール用に、市販の真空気密フランジが用いられてよい。尚、クリーニング用照射光装置 170 と光ファイバ 171 のシール構造については、後に、図 8 を参照して説明する。光ファイバ 171 は、絶縁材料である石英を素材とする。そのため、光ファイバ 171 によって、チップ碍子 115 と接地電位である支持構造体 107 の間の電氣的絶縁が可能となる。

[0035] ガス導入装置 140 にはガス導入パイプ 141 が接続されている。ガス導

入パイプ 141 は、真空容器 10 内に配置され、その内端は、チップ 117 の先端の領域に向けられている。ガス導入装置 140 の内部には、高純度ガスボンベ類、及び、それらを制御するバルブ及び純化器が設けられている。純化器では、市販されている化学的に活性な合金を用いたゲッター材を用いてよい。それにより、不純物の濃度を 1 p p b レベルに低減することが可能である。従って、ガス導入装置 140 からガス導入パイプ 141 を介して真空容器 10 内に、不純物が除去されたガスを導入することができる。

[0036] 本例の荷電粒子放出銃をイオン銃として用いる場合には、ガス導入装置 140 を用いて、原料ガスを導入する。原料ガスは、ヘリウム (He)、ネオン (Ne)、アルゴン (Ar) 等の希ガスが一般的である。しかしながら、チップ材料の電界蒸発に必要な電界強度よりも低い電界強度で電離するガスであれば、他のガスであってもよい。例えば、水素 (H_2)、窒素 (N_2)、酸素 (O_2) 等でもよい。近年、走査電子顕微鏡に代わる高分解能顕微鏡であるヘリウムイオン顕微鏡が商用化している。ヘリウムイオン顕微鏡では、ヘリウム (He) がプローブガスとして用いられる。更に、 H_2 イオン又は H イオンをプローブガスとして用いることにより、低ダメージ且つ高分解能の顕微鏡の実現が可能となる。

[0037] 導入する原料ガスの圧力は、0.01~0.1 Pa 程度である。従って、導入される原料ガス中の不純物の濃度は、純化器によって $1E-11 \sim 1E-10$ Pa オーダーの超高真空以下の分圧に低減されている。

[0038] 本例の荷電粒子放出銃を電子銃として用いる場合には、ガス導入装置 140 は、基本的に不要である。しかしながら、チップ先端形状を意図的に鈍化させ、先鋭化 (ナノピラミッド形成を含む) させるために、ガス導入装置 140 を用いて、酸素 (O_2) 又は窒素 (N_2)、又はこれらの混合ガスを導入してもよい。

[0039] 真空容器 10 の底壁には孔 10D が形成されている。チップ 117 によって生成された荷電粒子線 100A は、真空容器 10 の底壁の孔 10D を經由して、光学系真空容器 11 内に導入される。この孔 10D にはバルブ 151

が装着されている。バルブ 151 は、真空容器 10 の底壁の下面、即ち、光学系真空容器 11 の天井に装着されている。バルブ 151 を開くことによって、真空容器 10 と光学系真空容器 11 の間は接続され、バルブ 151 を閉じることによって、真空容器 10 と光学系真空容器 11 の間は遮断される。バルブ 151 の開閉は、バルブ駆動装置 150 によって制御される。バルブ駆動装置 150 は、制御電源ユニット 303 によって制御される。

[0040] 光学系真空容器 11 内には、光学系 201 が設けられている。光学系 201 は、基本的には、荷電粒子線 100A の成形や軌道制御を行うアライナーやレンズ系（図示せず）を備えた電子光学系又はイオン光学系であってよい。更に、本例の光学系 201 は、絞り板 202、及び、ビームブランカ 203 を有する。絞り板 202 は微小径の孔を有し、荷電粒子線の一部を遮断することにより、荷電粒子線の所定の開き角及び電流量を得るように構成されている。ビームブランカ 203 は、荷電粒子線 100A を電磁的または静電的に偏向させる機能を有する。絞り板 202 とビームブランカ 203 は、後述する散乱電子や散乱イオンの低減作用も有する。

[0041] 試料室真空容器 12 内には、試料ステージ 206 が設けられ、その上に試料 205 が配置される。光学系真空容器 11 及び試料室真空容器 12 内部は、真空ポンプ 181 によって真空排気される。

[0042] 制御コンピュータ 301 は、荷電粒子放出銃の各電極への高電圧の印加、真空容器 10、11、12 内の真空排気等を制御する。更に、制御コンピュータ 301 は、冷却装置 130、ガス導入装置 140、バルブ駆動装置 150、クリーニング用照射光装置 170、電子／イオン光学系 201 及び試料ステージ 206 の駆動及び制御を統合的に行う。表示装置 302 は、GUI (Graphical User Interface) を表示する。制御コンピュータ 301 は、制御電源ユニット 303 に接続されており、上述の各制御を個別に、又は予め用意されたプログラムによって自動的に運転することが可能である。

[0043] 図 2 を参照して、本発明の荷電粒子放出銃の主要部の構造について説明す

る。本例の荷電粒子放出銃は、円筒形のホルダー 114 と、その下端に装着された円板状のチップ碍子 115 と、チップ碍子 115 に支持された 2 本の電極 120 と、この電極に溶接されたタングステンのヘアピンフィラメント 121 と、ヘアピンフィラメント 121 の先端に溶接されたチップ 117 を有する。チップ 117 には、電線 112 を介して、高電圧が印加される。本例の荷電粒子放出銃は、更に、チップ碍子 115 の外周に接続された金属製のイオンコレクタ 116 と、ホルダー 114 の円周外面に装着された引出し電極 118 を有する。

[0044] 本例の荷電粒子放出銃では、ホルダー 114、チップ碍子 115、2 本の電極 120、タングステン製のヘアピンフィラメント 121、チップ 117、及び、引出し電極 118 によってチップユニットが構成される。本例の荷電粒子放出銃では、チップ 117 の中心軸線が、円板状のチップ碍子 115 の中心軸線に一致するように、チップユニットが組み立てられる。即ち、チップユニットの組立て時に、ホルダー 114 に対して、チップ 117 及びフィラメント 121 が装着されたチップ碍子 115 を、同心的に嵌め合わせることによって、両者の中心軸線を整合させる。

[0045] 本例の荷電粒子放出銃では、真空容器 10 の中心軸線 10C に沿って光ファイバ 171 が配置されている。光ファイバ 171 の端部には金属キャップが装着されている。チップ碍子 115 の中心に、孔 115A が形成されている。この孔 115A に、光ファイバ 171 の端部の金属キャップに係合している。光ファイバ 171 の端部に金属キャップを装着することにより、光ファイバ 171 の光軸が真空容器 10 の中心軸線 10C に整合した状態で、光ファイバ 171 を固定することができる。こうしてチップ 117 と光ファイバ 171 が同軸に配置されるため、チップユニットを構成する部品は、中心軸線 10C に対して軸対称に構成される。そのため、極低温でもチップユニットを構成する部品の軸がずれることはない。

[0046] 熱膨張又は熱収縮によって、Z 軸方向の変位ばかりでなく、Z 軸に直交する 2 方向（X 軸および Y 軸と呼ぶ）の変位も起きる。しかしながら、X 軸お

よびY軸の変位は同軸的に起きるため、軸ずれは起きない。また、Z軸方向の変位が発生しても、以下に説明するように、光ファイバ171からのクリーニング用照射光の照射光学系に影響を与えることはない。

[0047] イオンコレクタ116の底面には孔116Aが形成され、引出し電極118の底面には孔118Aが形成されている。孔118Aの周囲には円周状のテーパ面118Bが形成されている。引出し電極118の底面の孔118Aの内径 ϕ を0.5mm、チップ117と引出し電極118の孔118Aの間の距離を10mmとすると、テーパ面118Bが水平面となす角 θ は2°である。尚、チップ117の外径 ϕ は、約0.1mmとする。

[0048] 光ファイバ171、チップ117、イオンコレクタ116の孔116A及び引出し電極118の孔118Aは、同軸に配置されている、即ち、真空容器10の中心軸線10Cに沿って配置されている。そのため、光ファイバ171の先端から照射されたクリーニング用照射光862は、先ず、チップ117を背後から照射し、更に、テーパ面118Bにて反射する。反射光863は、チップ117を下から照射する。

[0049] 反射光863を得るには、光ファイバ171の先端から照射されたクリーニング用照射光862の光線の径は、引出し電極118の孔118Aの径（約0.5mm）より大きくなければならない。本例によると、光ファイバ171の先端から照射されたクリーニング用照射光862の光線を収束させることなく、チップ117の先端を照射することができる。また、チップ117の外径（約0.1mm）よりも大きなスポット径で、且つ、光強度をほぼ維持した状態の反射光863をチップ117に照射することができる。

[0050] 特に、クリーニング用照射光装置170からの照射光がレーザー光の場合には、指向性が良いため、光ファイバ171の先端から照射されたクリーニング用照射光862の光束の径は、光ファイバ171の内径とほぼ同一となり、また、テーパ面118Bからの反射光の光束の径も、光ファイバ171の内径とほぼ同一となる。そのため、チップ117の先端には、全方向から照射光が確実に照射される。

[0051] ホルダー 114 およびチップ碍子 115 は絶縁材料によって形成される。

ホルダー 114 およびチップ碍子 115 は、極低温に冷却されるため、熱伝導率の大きいセラミックス、具体的には窒化アルミニウムまたはサファイアが用いられる。

[0052] 引出し電極 118 は、単一の部材によって構成してもよいが、円板と円筒を組み合わせた複合構造によって構成してもよい。引出し電極 118 を単一の部材によって構成する場合には、引出し電極 118 をアルミニウムによって形成し、その表面又はテーパ面 118B を鏡面としてよい。更に、引出し電極 118 の表面又はテーパ面 118B に、蒸着、めっき、又は、イオンプレーティングによりコーティングしてもよい。コーティング材はアルミニウムであってもよいが、金 (Au)、銀 (Ag)、白金 (Pt) などの貴金属を用いてもよい。これらの貴金属は、アルミニウムよりも反射率が低い。しかしながら、 H_2 は、極低温にて貴金属に物理吸着するため、吸着した H_2 は、容易に光刺激脱離する。

[0053] 本願の発明者が行なった実施例では、引出し電極 118 のテーパ面 118B に、金 (Au) メッキを装着することより反射率が 30~40% に減少した。しかしながら、反射率の減少は、クリーニング用照射光である赤外光又は紫外光の強度を調整することにより、補うことが可能であった。

[0054] 引出し電極 118 を、円板と円筒を組み合わせた複合構造によって構成する場合には、引出し電極 118 の主要部分である円板を、無酸素銅によって形成してよい。この場合には、円板に孔を形成し、その周囲に、テーパ面 118B を形成する。このテーパ面 118B は、無酸素銅の母材を研磨後にアルミニウムを蒸着することにより形成してよい。それにより、反射率 90% 以上を得ることができる。尚、テーパ面 118B を貴金属によってコーティングしてもよい。上述のように H_2 は、極低温にて貴金属上に物理吸着するため、吸着した H_2 は容易に光刺激脱離する。チップ 117 の材質については、後に図 5A 及び図 5B を参照して説明する。

[0055] 図 3 を参照して本発明による荷電粒子線装置の第 2 の例を説明する。ここ

でも、荷電粒子線装置の主要部、特に、荷電粒子放出銃の部分を詳細に説明する。本例の荷電粒子線装置の構造は、基本的には図1の第1の例と同様であるが、引出し電極をチップユニットから分離した点が、第1の例と異なる。これは荷電粒子放出銃の光学系の性能的な要求や、引出し電極をチップに対して、第一の実施形態より高電圧で用いるための電気絶縁性能の要求がある場合に好ましい。

[0056] 真空容器10の天井壁10Aに支持構造体107が設けられている。支持構造体107の円筒部107Bの下端には、熱絶縁構造体113を介して、ホルダー114が装着されている。ホルダー114には、チップ碍子115、及び、金属製のイオンコレクタ116が装着されている。チップ碍子115にはチップ117が装着されている。本例では、ホルダー114、チップ碍子115、チップ117、及び、イオンコレクタ116によってチップユニット101が構成されている。本例のチップユニット101には、引出し電極は含まれていない。熱絶縁構造体113及びチップユニット101は支持構造体107より吊り下げられた状態にて支持されている。

[0057] 引出し電極119は、真空容器10の底壁に装着された熱及び電気絶縁構造体145によって支持されている。熱及び電気絶縁構造体145は円筒形状を有し、その内部には、荷電粒子放出銃の光学系が設けられてよい。尚、荷電粒子放出銃の光学系は、荷電粒子線100Aを収束させるための静電レンズまたは電磁レンズ等を含み、その光軸は、真空容器10の中心軸線10Cに整合するように構成される。

[0058] 引出し電極119は、単一の部材によって構成してもよいが、円板と円筒を組み合わせた複合構造によって構成してよい。ここでは、引出し電極119を円板と円筒を組み合わせた複合構造によって構成したものとして説明する。引出し電極119は、円形の金属電極と、それを支持する円筒部材を有する。金属電極は、中心に孔を有し、孔の周囲には円周状のテーパ面119Bが形成されている。支持部材は電氣的絶縁材料によって形成されている。光ファイバ171、チップ117、イオンコレクタ116及び引出し電極1

19は、同軸に配置されている、即ち、真空容器10の中心軸線10Cに沿って配置されている。

[0059] 真空容器10には高電圧導入碍子160が装着されている。制御電源ユニット303（図1参照）に接続された電線161は、高電圧導入碍子160を経由して真空容器10内に導入され、その先端は引出し電極119の金属電極に接続されている。この電線161を介して、金属電極に所望の高電圧が印加される。

[0060] 真空容器10にはガス導入装置140が装着されている。ガス導入装置140には真空容器10の外側のガス導入パイプ141と真空容器10の内側のガス導入パイプ142が接続されている。

[0061] 本例の荷電粒子放出銃における冷却機構を説明する。冷却装置130は本体部分とコールドエンド131、132を有する。本例では、2つのコールドエンド131、132が設けられている。冷却装置130の本体部分は真空容器10の外側に配置され、コールドエンド131、132が真空容器10の内側に配置されている。内側の第1のコールドエンド131は低温用であり、外側の第2のコールドエンド132は高温用である。第2のコールドエンド132は、第1のコールドエンド131を覆うように形成されており、第1のコールドエンド131への熱輻射を低減するための熱シールドの機能を有する。

[0062] 第1のコールドエンド131は、チップ117を冷却するために設けられている。第1のコールドエンド131の内端は、網線134を介してホルダー114に接続されている。

[0063] 第2のコールドエンド132の内端は、網線135を介して引出し電極119に接続されている。本例では、引出し電極119は、ホルダー114に接続されていない。その代わりに、第2のコールドエンド132に接続されている。したがって、引出し電極119は、第2のコールドエンド132によって直接冷却される。本例では、引出し電極119は、チップ117の近くに、且つ、チップ117の対向面として形成されている。そのため、チッ

チップ 117 への熱輻射を低減する目的で引出し電極 119 を冷却する。引出し電極 119 の金属電極は中心に孔を有する円形であり、また、熱及び電気絶縁構造体 145 は円筒形であるため、冷却により熱収縮しても、軸ずれは生じない。

[0064] 更に、第 2 のコールドエンド 132 の内端は、網線 136 を介して真空容器 10 の内側のガス導入パイプ 142 に接続されている。ガス導入パイプ 142 は、熱絶縁に必要な長さを確保し、且つ、伝熱経路の断面積が十分小さくなるように構成されている。本例では、ガス導入パイプ 142 が冷却されるため、ガス導入装置 140 から供給される室温程度のガスを低温に冷却してから、導入することができる。そのため、チップ 117 や他の極低温にある部材に直接、室温程度のガスが衝突して熱負荷となることを避けることができる。網線 134、135、136 は、熱伝導率の良い材料、例えば、無酸素銅、銅網線、グラファイト製シートを用いてよい。

[0065] 本例の冷却装置 130 は、市販されている二段ステージ型の冷凍機であってよく、低温側コールドエンド 131 の冷媒ガス温度と高温側のコールドエンド 132 の冷媒ガス温度の両者の設定が可能なものを使用すればよい。本例の冷却装置 130 では、熱シールド用の第 2 のコールドエンド 132 が設けられているため、低温用の第 1 のコールドエンド 131 の熱負荷の低減が可能となる。そのため、第 1 のコールドエンド 131 をより低温化することができる。なお、本例では冷凍機の低温側ステージは、20 K で 2 W 程度の冷凍能力を有していればよい。

[0066] 本例の冷却装置 130 によると、チップ 117 の温度を 20 K 程度の極低温とすることができ、荷電粒子線のエネルギー幅低減と高輝度化が可能になる。

[0067] 本例の荷電粒子放出銃では、支持構造体 107 に設けたチップ 117 の移動機構によって、チップユニット 101 の中心軸線、即ち、チップ 117 の中心軸線を真空容器 10 の中心軸線 10C に整合させることができる。従って、極低温でも、クリーニング用照射光を引出し電極 119 の金属電極によ

って反射させ、チップ 117 の先端を照射することが可能である。尚、図 3 に示した冷却装置 130 を、図 1 の荷電粒子放出銃に用いてもよい。

[0068] 図 4 を参照し、チップの汚染と清浄化について説明する。図 4 はチップ 117 の先端部分を拡大して示す。チップのシャンク 117A は、本来、円柱状であるが、電解研磨法にてエッチングすることにより、針状の先端部 117C が形成される。本例では、チップの先端部 117C の終端 117B は単原子からなる。終端 117B の原子配列については後に説明する。

[0069] 真空容器 10 の真空雰囲気中には残留ガス分子 451 が不可避免的に存在する。真空容器 10 の超高真空雰囲気中における、主な除去対象のガス分子は、水素 (H_2) と一酸化炭素 (CO) である。長時間のうちに、残留ガス分子 451 の幾つかは、真空中を運動しているうちに所定の確率にてチップに吸着される。本例では、チップは極低温に冷却されているため、吸着ガスは容易にチップにトラップされる。こうして、チップのシャンク 117A、先端部 117C、及び、終端 117B には、それぞれ、吸着分子 452、453、454 が付着する。チップのシャンク 117A に吸着した吸着分子 452 の一部も、吸着後に何らかの刺激をうけて、先端部 117C に移動する。こうしてチップが吸着分子 452、453、454 によって汚染されると、放出電流のノイズ増加や電流量の経時的減少を引き起こす。そこで、チップの吸着分子 452、453、454 を除去する必要がある。

[0070] 本発明によると、チップのシャンク 117A 及び先端部 117C には、クリーニング用照射光装置 170 からクリーニング用の照射光 862 を照射する。照射光 862 として、所定の波長領域の紫外光又は赤外光が用いられる。チップには、背後からの照射光 862 と引出し電極 118、119 を反射した反射光 863 が照射される。

[0071] チップのシャンク 117A 及び先端部 117C の吸着分子 452、453、454 は、照射光 862 又は反射光 863 を吸収すると、チップ構成原子との結合が切れる。こうして、吸着分子 453 は、光刺激脱離により、脱離分子 456 となる。

- [0072] 脱離分子456は速やかに除去する必要がある。脱離分子が存在すると、真空容器内の超高真空度を維持することが困難となる。また、真空容器内を再度、超高真空に戻すのに時間がかかる。更に、脱離したガス分子は、真空中を浮遊する間に、再度チップに吸着する可能性がある。
- [0073] 本発明によると、脱離分子456を極低温にあるチップ周辺部材にクライオポンプと同様の作用でトラップさせるか、又は、脱離分子456を真空ポンプ180によって排気する。更に、本発明によると、吸着分子452、454を脱離させ、照射光862又は反射光863によってイオン化してもよい。イオン457、458は、イオンコレクタ116によって吸収することによって、除去される。尚、脱離分子のイオン化は、共鳴多光子イオン化（REMPI：Resonance Enhanced Multi Photon Ionization）又は非共鳴多光子吸収イオン化（NRMPI：Non-resonant Multi Photon Ionization）によってなされてよい。これについては、後に説明する。イオンコレクタ116の機能は、図7A及び図7Bを参照して説明する。
- [0074] 次に、チップのクリーニング用照射光の光源について説明する。吸着分子の光刺激脱離には、所定の波長及び強度の赤外光を用いることができる。赤外光用の光源として、赤外線ランプ又は赤外線レーザー光源を用いることができる。例えば、MW/cm²級のピーク出力を有し、波長1μm以上の赤外光を生成する赤外線レーザー光源を用いてよい。赤外光を照射することにより、チップに吸着した分子内の振動、又は、チップ表面と吸着分子の結合に係る振動を励起することができる。赤外光は、紫外光より長波長であるため、光学系材料が大きな制約を受けることはない。そのため、H₂、COの脱離、及び、解離に好適な波長と光強度を選択することが可能である。
- [0075] 吸着分子の光刺激脱離には、所定の波長及び強度の紫外光を用いることができる。紫外光用の光源として、市販の真空紫外光ランプが最も簡便かつ安価に利用可能である。真空紫外光ランプとして、重水素ランプが用いられてよい。重水素ランプは、波長120～160nmの強い紫外光を生成し、簡単に数10μW/cm²～数mW/cm²の強度が得られる。従って、重水素

ランプによってチップを連続的に照射することにより、チップから H_2 、 CO を脱離させることができる。しかしながら、真空紫外光ランプは、照射光の指向性に乏しい。そのため、チップの先端に照射される光強度の低下が予想され、比較的長時間の光照射が必要となる。そこで、紫外光用の光源として、レーザー光源を使用することは好ましい。

[0076] H_2 と CO は ArF レーザーで光刺激脱離可能である。例えば、数 $10\mu J/cm^2$ の波長 $193nm$ ($6.4eV$) の ArF エキシマレーザによって H_2 の光刺激脱離が可能であること、数 mJ/cm^2 オーダーの $6.4eV$ 以下のエネルギーの ArF エキシマレーザでも CO の脱離が可能なが知られている。従って、 $200nm$ 程度の紫外光でも十分に光刺激脱離が可能である。例えば、 ArF レーザー ($193nm$)、 KrF レーザー ($248nm$) を用いることができる。こうして、光刺激脱離した分子は、上述のように、真空ポンプによって排気するか、又は、冷却した部材によってトラップすることにより除去することができる。

[0077] 脱離分子のイオン化に紫外線レーザー光源を使用することができる。 H_2 及び CO のイオン化エネルギーはそれぞれ、 $15.4eV$ 、 $14.0eV$ 程度であることが知られている。これらを一光子過程で直接イオン化するにはイオン化エネルギーに相当する波長 $80.5nm$ 、 $88.6nm$ の真空紫外光が必要となる。しかしながら、このような短波長の紫外線光源は、例えば、光学系に特殊な材質を要求する等の理由から、一般的な方法で入手することは困難である。

[0078] そこで、本発明によると、脱離分子のイオン化は、共鳴多光子イオン化 (REMPI: Resonance Enhanced Multi Photon Ionization) 又は非共鳴多光子吸収イオン化 (NRMPI: Non-resonant Multi Photon Ionization) によってなされる。共鳴多光子イオン化法は真空中の希薄気体を高効率かつ選択的にイオン化する方法である。本例では、ガス種に応じた共鳴吸収波長を有する紫外光を照射することにより、脱離分子を選択的にイオン化する。非共鳴多光子吸収イオン化法は、非共鳴吸収波長を有する紫外光を照射する

ことにより、多種の脱離分子を非選択的にイオン化する。

[0079] 光刺激脱離によるクリーニングに加えて、脱離分子をイオン化してより積極的なクリーニングを行う場合には、クリーニング用照射光の光源として、吸着分子の光刺激脱離を行うための照射光を生成する光源と脱離分子のイオン化を行うための照射光を生成する光源が必要である。クリーニング用照射光の光源は、異なる波長の光を発振する複数のレーザー光源を切り替えて用いるように構成してもよいが、ランプ光源と少なくとも一つ以上のレーザー光源とを切り替えて用いてもよい。

[0080] クリーニング用照射光の光源として、複数の波長のレーザー光を切替えるか、又は、波長をスキャンすることにより、波長に応じた吸着ガスの除去が可能である。従って、吸着分子を光刺激脱離させるばかりでなく、共鳴多光子イオン化 (REMPI) 又は非共鳴多光子吸収イオン化 (NRMPI) によって、脱離分子をイオン化することができる。

[0081] 例えば、色素レーザー (波長 380~1000 nm)、Ti : サファイアレーザー (670~1130 nm)、Nd : YAGレーザー (1064 nm) 等の波長可変型レーザーを用いて吸着分子の光刺激脱離と脱離分子のイオン化を行うことができる。これらのレーザー光源では、赤外波長を用いて H₂ 及び CO の光刺激脱離を行い、紫外波長を用いて H₂ 及び CO のイオン化を行う。紫外波長を生成する場合には、非線形光学結晶を用いた非線形光学現象を利用してよい。

[0082] 例えば、2 波長を相互に切換え、又は、波長のスキャンを行うことにより、H₂ と CO をイオン化することが可能である。また、波長可変型レーザーの高調波を用いて、それぞれの共鳴吸収波長である 201 nm 近傍、230 nm 近傍の紫外光で 3 光子吸収過程の共鳴多光子イオン化 (REMPI) を行ってよい。

[0083] レーザー光源からのレーザー光は指向性を有するから、引出し電極 118 での反射光の強度を最大限に使用することができる。更に、吸着ガス分子の種類に応じて効率的に光刺激脱離や吸着ガス分子とチップ表面間の振動の励

起を行うことができる。

[0084] 荷電粒子放出銃をガス電界電離イオン源（GFIS）として用いる場合には、原料ガスとして $0.01 \sim 0.1 \text{ Pa}$ 程度の希ガスをチップ付近に導入する。 10^{-5} Pa オーダーの希ガスのイオン化は 10^{14} W/cm^2 オーダーのレーザー光強度で起こることが知られている。イオンの発生数は分子密度に比例する。従って、 0.1 Pa 程度の原料ガスを導入する場合には、 10^{10} W/cm^2 程度の強度の紫外線によってイオンが発生する可能性がある。よってチップ先端の領域以外の気相でのイオン化を避ける必要がある。そのためには、高強度の紫外光を使用することは避けることが好ましい。更に、高強度の紫外光を使用する場合には、光の導入経路のソラリゼーション及び光が照射される部材のアブレーションが問題となる。アブレーションやソラリゼーションが起きると、経時的な照射強度の減少、引出し電極での反射率の減少、飛散した金属によるチップの汚染、電気絶縁性の低下などの問題が生じる。

[0085] この問題を解決するために、フェムト秒オーダー（数 100 フェムト秒以下をいう）の超短パルス幅のレーザー光を用いればよい。フェムト秒オーダーの超短パルス幅のレーザー光を駆動する技術は、Qスイッチに代表されるように、近年一般的に利用可能な技術となっている。これは、小さなレーザー出力を短時間に集約して高強度（光子密度の高い）のレーザー光を得る技術である。例えば、フェムト秒のパルス幅を有し、 100 mJ/cm^2 以下のレーザー光を用いると、アブレーションを無視することができる。

[0086] 一般的に入手可能な 1 mJ/cm^2 の出力で 100 fs といった超短パルスでレーザー光源を用いれば、大きなピーク強度 10^{10} W/cm^2 、 $30 \mu\text{J/pulse}$ 程度の光強度は簡単に得られる。従って、吸着ガス分子の脱離や共鳴多光子イオン化（REMPI）又は非共鳴多光子吸収イオン化（NRMPI）によるイオン化が可能である。

[0087] また、従来、ナノ秒オーダーで実施されていた共鳴多光子イオン化（REMPI）を同程度の光強度で、フェムト秒オーダーで行うため、より短い励

起寿命準位での多光子吸収も起こり、イオン化効率は向上すると考えられる。この光強度では、アブレーションは起こらず、チップや部材が損傷することではなく、希ガス中での不要なイオン化も生じない。

[0088] ここでは、荷電粒子放出銃をイオン銃として用いる場合を説明したが、これらの手法は、荷電粒子放出銃を電子銃として用いる場合にも適用可能である。

[0089] また、レーザー光の波長や出力を調整すれば、 H_2 とCO以外の残留ガスを光刺激脱離およびイオン化することも可能であり、適用する荷電粒子放出銃の形態やコストパフォーマンスを勘案して、ランプ光源やレーザー光源を選択すればよい。

[0090] 本発明によると、紫外線又は赤外線によって、不要な吸着分子を非熱的に且つチップの母材に対してダメージを与えることなく除去することができる。そのため、高輝度でコヒーレントな荷電粒子放出源を得ることができる。

[0091] 図5Aは、チップの先端部の終端をチップの中心軸線方向から観察したときの原子配列を模式的に示す図である。図5Bは、チップの先端部の終端をチップの側面から観察したときの原子配列を模式的に示す図である。これらの図では、原子配列が判るように、原子を模式的に丸で示している。また、原子層ごとにハッチングを施してある。図示のように、チップの先端部の終端は、三角錐状のナノピラミッド構造を有し、ピラミッドの頂点は単原子540からなる。従って、本例のチップは、真の意味での点光源が構成される。このような単原子光源により、通常の荷電粒子放出源よりも高輝度化が可能である。

[0092] 通常の荷電粒子放出源のチップの終端は、2点鎖線の曲線541にて示すように、頂点の単原子540から4～5層目の原子配列面によって構成される。即ち、通常のチップの終端は、ナノピラミッド構造のうち、頂点部分を除いた原子配列によって構成され、その曲率半径は、数100～1000Å程度である。

[0093] ナノピラミッド構造のチップは、先端が単原子から数原子からなる突起形

状を備え、走査トンネル顕微鏡（STM）の探針の微細化や電子源の輝度向上の手法としても古くから研究されている。チップは、金属製針によって構成される。チップの母材として、高融点金属であるタングステン（W）、モリブデン（Mo）、イリジウム（Ir）、レニウム（Re）、炭素（C）が使用される。特に、電子源の場合には、チップの母材として、カーボンナノチューブやダイヤモンドが使用されることができる。これらの金属元素は、高温において、瞬間的な加熱による不純物除去や強電界の形成に対して安定である。

[0094] 更に、チップの先端部は、金（Au）、銀（Ag）、白金（Pt）、パラジウム（Pd）、ロジウム（Rh）、イリジウム（Ir）、ルテニウム（Ru）及びオスミウム（Os）のいずれかによってコーティングしてよい。これらの貴金属は、酸化防止、ナノピラミッドの形成材料としても使用される。特にH₂は、極低温で貴金属上に物理吸着することが知られている。そのため貴金属を用いると、H₂の光刺激脱離が容易となる利点もある。

[0095] 本発明の、荷電粒子放出銃では、好ましくは、タングステンのみからなるナノピラミッド構造のチップを用いる。タングステンのみからなるナノピラミッド構造を有するチップの製造方法は既知である。

[0096] 図5Cを参照して、単原子光源を、冷陰極電界放出電子源として使用する場合を説明する。この場合には、最も電界が強い頂点の単原子540からのみトンネル電子542が放出される。そのため、指向性が高く且つエネルギーの揃った高輝度の電子線を放出することができる。

[0097] 図5Dを参照して、単原子光源を、ガス電界電離イオン源（GFIS）として使用する場合を説明する。この場合には、原料ガス543が極低温のチップの表面と衝突し、エネルギーを失いながら、ホッピングし、最も電界が強い頂点の単原子540にて電界電離イオン化する。原料ガスのイオン544が頂点の単原子540から引出される。こうして、高輝度な荷電粒子線を放出することができる。

[0098] 図6A、図6B、及び、図6Cを参照して、ナノピラミッド構造の頂点付

近に吸着分子が付着した場合を説明する。図 6 A に示すように、ナノピラミッド構造を有する荷電粒子放出源の場合、ナノピラミッド構造の頂点に異種の吸着分子 6 4 6 が配置されることがある。この場合には、荷電粒子放出が不安定になる。特にガス電界電離イオン源 (G F I S) では、ナノピラミッド構造を構成する原子 6 4 5 と吸着分子 6 4 6 間での電子の移動や、吸着分子 6 4 6 の分極によって下地との結合が弱くなる。

[0099] そこで図 6 B に示すように、吸着の影響により、電界蒸発電圧が低下し、ナノピラミッドの先端が破壊される。ナノピラミッド構成原子 6 4 7 を残して、原子団 6 4 8 の電界蒸発が起こり、ナノピラミッドが破壊されることもある。

[0100] ナノピラミッド構造は、チップ表面にある母材の原子を移動させるか、又は、蒸着やメッキによってコーティングされた異種原子を移動させることにより形成される。従って、図 6 C に示すように、チップの先端部を構成する原子 6 4 9 上に吸着分子 6 5 0 が存在すると、頂点を構成するための原子の移動 (マイグレーション) が阻止又は妨害される。そのため、単原子からなる頂点を形成することができない。

[0101] 図 7 A を参照して、本発明による荷電粒子放出銃を電子銃として使用する場合に、チップ 1 1 7、イオンコレクタ 1 1 6 及び引出し電極 1 1 8 に印加する高電圧と散乱電子について説明する。チップ 1 1 7 には高電圧電源 3 1 3 が接続され、イオンコレクタ 1 1 6 及び引出し電極 1 1 8 には、高電圧電源 3 1 1、3 1 2 が、それぞれ接続されている。図 1 を参照して説明したように、これらの高電圧電源 3 1 1、3 1 2、3 1 3 は、制御電源ユニット 3 0 3 によって構成される。

[0102] 電子銃の場合には、引出し電極 1 1 8 の電位はチップ 1 1 7 の電位より高い (正の) 電位に設定される。チップ 1 1 7 からの電子ビームは、引出し電極 1 1 8 によって引き出され、引出し電極 1 1 8 の孔 1 1 8 A を通って、光学系真空容器 1 1 に導かれる。

[0103] 例えば、紫外光の波長 1 2 0 n m とすると、その光子エネルギーは 1 0 .

3 eVであり、通常の金属のイオン化エネルギー（約7 eV）よりも大きな値となる。従って、紫外光により光電子が発生する。引出し電極118に、イオン化エネルギー（約6 eV）の小さいアルミニウムをコーティングした場合には、波長200 nmの紫外光でも光電子の放出が起きる。更に、REMPI法によってもイオンが発生する。

[0104] 図示のように、光ファイバ171からの紫外光865が経路上の部材を照射することにより、光電子701（図中の○に丸）が励起される可能性がある。この光電子701はチップよりも正の電位にある引出し電極118の方向に加速される。光電子701は、光刺激脱離した分子と衝突して、イオン化させる。それによって、脱離分子のイオン711（図中の+に丸）が生成される。ただし、イオン711は共鳴多光子イオン化（REMPI）又は非共鳴多光子吸収イオン化（NRMPI）によっても生じる。

[0105] イオン711は、イオンコレクタ116が無ければ、負の電位を有するチップ117に引っ張られる。その結果、チップ117と衝突し、チップ117の先端を破壊する。特にナノピラミッド構造の破壊は致命的である。電子銃の場合には、イオン711を、イオンコレクタ116によって捕獲する。そのために、イオンコレクタ116の電位は、チップ117の電位より低い電位に設定する。即ち、引出し電極の電位>チップの電位>イオンコレクタの電位、となる。

[0106] さらに、チップ碍子115とイオンコレクタ116の間で発生した光電子701は、イオンコレクタ116の電界によって、チップ117又はヘアピンフィラメント121方向に押し返されて吸収される。従って、イオンコレクタ116にチップ117の電位より低い電位を印加すると、イオン711の生成に寄与する光電子701を低減させることができる。

[0107] 光電子701の中には、引出し電極118の孔118Aを抜けて、プローブとして使用する電子ビーム以外の電子、即ち、散乱電子となるものもある。散乱電子702が、真空容器10の孔10Dを経由して光学系真空容器11に入り、試料に照射されると、試料から得る情報信号、及び、画像にノイ

ズが生成される。しかしながら、バルブ 151 を閉じれば、散乱電子 702 が光学系真空容器 11 又は試料に影響を与えることはない。試料がレジストのように紫外線に対して感光性を有する場合には、同様に、バルブ 151 を閉じればよい。それによって、紫外線が試料に照射されることが回避される。

[0108] 試料 205 が紫外光 865 に対して感度がない（ダメージがない）場合には、バルブ 151 を閉じなくてもよい。この場合には、絞り板 202 によって散乱電子 702 を低減させる。更に、ビームブランカ 203 を動作させることにより、散乱電子 702 を偏向させ、試料 205 への散乱電子 702 の照射を防止することができる。

[0109] こうして、本発明によると、基本的には、電子銃の運転中でも光照射によるチップの清浄化が可能である。しかしながら、電子銃の運転中に常時、チップの清浄化を行うと、バルブ 151 の開閉、ビームブランカ 203 の作動等も常時行う必要があり、好ましくない。そこで、チップの清浄化を所定の周期にて定期的に行うとよい。

[0110] 真空中での吸着量の指標とされるラングミュア量（1 ラングミュアは 1.33×10^{-4} Pa の真空中で、1 秒間に残留ガスが表面に単原子層吸着する量）によると、 1×10^{-8} Pa の真空中では、単原子層の吸着が起こるのに 3.7 時間を要する。従って、チップの清浄化を実行する周期を、3.7 時間より短い時間とすればよい。例えば、チップの清浄化作業の周期を 3 時間として設定してよい。チップのクリーニングの周期は、短くても数時間に 1 度の頻度でよい。

[0111] 一般的に超短パルスのレーザー発振は 10 Hz 以上の繰返し照射が可能である。数十回の照射が必要であったとしても、チップの清浄化に要する時間は数秒にすぎない。従って、1 回のチップの清浄化作業に必要な時間は、数秒程度である。従って、チップの清浄化作業では、電子銃の高電圧のみを一時的に停止してもよい。それによって、光電子及び散乱電子の発生を最小限に抑えることができる。尚、この場合において、バルブ 151 を閉じて、上

述のように、試料 205 への散乱電子の照射及び紫外線の照射を回避してもよい。

[0112] チップのクリーニングを行う場合には、荷電粒子放出銃に印加する高電圧を OFF して、更に、バルブ 151 を閉じた状態で実行しても装置の稼働時間を大きく妨げない。

[0113] クリーニングの周期、紫外光の照射時間及びパルス幅、高電圧の ON/OFF 制御、等は、制御コンピュータ 301 によって制御される。これらのクリーニングのパラメータ及びスケジュールは、制御コンピュータ 301 に保存され、実行される。

[0114] 高電圧を OFF して再度 ON すると、電源の出力安定化に時間を要する場合がある。このような場合には、高電圧電源の電圧を ON したまま清浄化を実行して、速やかにイオンを除去する必要がある。

[0115] そこで、制御コンピュータ 301 に登録された電圧を高電圧電源 311 ~ 313 に印加すればよい。ただしこの方式の適用は、金属部材のイオン化エネルギー（約 7 eV 以上）よりも大きな光子エネルギーをもつ短波長の紫外光を含むランプ光源を使用した場合や、波長 200 nm の紫外光でも光電子放出が可能なイオン化エネルギーの小さいアルミニウム（約 6 eV）を引出し電極 118 にコーティングした場合、および REMPI 法によるイオンが発生する場合に適用される。

[0116] 図 7B を参照して、本発明による荷電粒子放出銃をガス電界電離イオン源（GFIS）のようにイオン銃として使用する場合に、チップ 117、イオンコレクタ 116 及び引出し電極 118 に印加する高電圧と散乱イオンについて説明する。チップ 117 には高電圧電源 323 が接続され、イオンコレクタ 116 及び引出し電極 118 には、高電圧電源 321、322 が、それぞれ接続されている。イオン銃の場合には、チップ 117 の電位は引出し電極 118 の電位より高い（正の）電位に設定される。即ち、チップの電位 > イオンコレクタの電位 > 引出し電極の電位、である。

[0117] チップ 117 の先端部に発生した強電界によって、原料ガスはイオン化す

る。この原料ガスのイオンは、引出し電極 118 によって引き出され、引出し電極 118 の孔 118 A を通って、光学系真空容器 11 に導かれる。

[0118] 電子銃の場合と同様に、光ファイバ 171 からの紫外光 865 が経路上の部材を照射することにより、光電子 701（図中の－に丸）が励起される可能性がある。イオン銃では、光電子 701 の加速方向はチップ 117 の方向である。光電子 701 は、光刺激脱離した吸着分子と衝突して、イオン化させる。それによって、脱離分子のイオン 711（図中の＋に丸）が生成される。ただし、イオン 711 は、光共鳴多光子イオン化（REMPI）又は非共鳴多光子吸収イオン化（NRMPI）によっても生じる。また、このイオン 711 には、原料ガスと光電子 701 の衝突によって生じたものも含まれる。

[0119] イオン銃では、脱離分子のイオン 711（図中の＋に丸）がチップ 117 に引き付けられることはない。従って、脱離分子のイオン 711 がチップ 117 に衝突し、それを破壊することはない。イオン銃では、イオンコレクタ 116 は、チップ 117 より低い電位に設定されている。脱離分子のイオン 711 は、最も電位の低い引出し電極 118 又は二番目に電位の低いイオンコレクタ 116 に引寄せられて捕獲される。

[0120] 電子銃の場合と同様に、チップ碍子 115 とイオンコレクタ 116 の間で発生した光電子 701 は、イオンコレクタ 116 の電界によって、チップ 117 又はヘアピンフィラメント 121 方向に押し返されて吸収される。従って、イオンコレクタ 116 にチップ 117 の電位より低い電位を印加すると、イオン 711 の生成に寄与する光電子 701 を低減させることができる。また、引出し電極 118 で発生した光電子が、イオンコレクタ 116 に衝突することにより、二次電子 703 が発生する。この二次電子 703 はチップ 117 又はイオンコレクタ 116 自身に吸収されて消滅することになる。

[0121] イオン 711 の中には、引出し電極 118 の孔 118 A を抜けて、散乱イオン 712 となるものもある。しかしながら、電子銃の場合と同様に、バルブ 151 を閉じれば、散乱イオン 712 が光学系真空容器 11 又は試料に影響

響を与えることはない。試料が紫外線に対して感光性を有する場合には、同様に、バルブ 151 を閉じればよい。それによって、紫外線が試料に照射されることが回避される。

[0122] 試料 205 が紫外光 865 に対して感度がない（ダメージがない）場合には、バルブ 151 を閉じなくてもよい。この場合には、絞り板 202 によって散乱イオン 712 を低減させる。更に、ビームブランカ 203 を動作させることにより、散乱イオン 712 を偏向させ、試料 205 への散乱イオン 712 の照射を防止することができる。

[0123] ガス電界電離イオン源（GFIS）では、原料ガスを流しながら微量の排気を行う方法か、又は、チップの周辺領域に原料ガスを封入して排気しない方法が用いられる。従って、イオンの発生量は、電子銃の場合よりも比較的多いと考えられる。そのため、ガス電界電離イオン源（GFIS）では、チップの清浄化において、光刺激脱離処理ばかりでなく、イオン化処理を用いることが特に有効である。

[0124] 原料ガスのイオン化については既に説明した。原料ガスに含まれる不純物ガスのイオン化を考察する。原料ガスに含まれる不純物ガスは、希ガスの場合よりも小さい電界強度でイオン化する。従って、チップの周囲に高強度の電界が発生している場合には、不純物ガスがチップに吸着することはできない。例えば、希ガスとしてヘリウムを想定し、不純物ガスとして水素を想定する。ヘリウムの電界電離強度は $4.4 \text{ V}/\text{\AA}$ 程度、水素の電界電離強度は $2.2 \text{ V}/\text{\AA}$ 程度であり、2 倍の開きがある。従って、水素がチップに吸着することはない。

[0125] しかしながら、イオン電流を減少させるために、チップの周囲の電界強度を小さくすると、チップの先端近傍にて、不純物ガスの吸着が起きる可能性が高くなる。更に、イオン銃を停止した場合には、不純物ガスの吸着が起これ、イオンビームの放出位置の変化や安定性を損なう問題がある。そこで本発明によると、イオン銃の運転を停止させることなく、チップの清浄化作業を行う。

- [0126] しかしながら、イオン銃の運転中に常時、チップの清浄化を行うのは好ましくない。それについては電子銃の場合と同様である。従って、電子銃の場合と同様に、所定の周期にて、チップの清浄化を行う。
- [0127] チップの清浄化を行う場合には、イオンコレクタのみに負の電圧を印加して、チップ及び引出し電極は接地電位とするか、又は、イオンコレクタに印加する電圧よりも相対的に正の電圧を印加してよい。イオン銃として動作していない状態から動作状態とする直前に、毎回、レーザー光又はランプ光を任意の繰返し周波数で照射してもよい。
- [0128] 図8を参照して、本例のクリーニング用照射光装置170と光ファイバ171について説明する。レーザー光源によって高強度のレーザー光を生成する場合には、光の導入経路のソラリゼーション及び光が照射される部材のアブレーションが問題となる。アブレーションやソラリゼーションが起きると、経時的に照射強度の減少、引出し電極での反射率の減少や飛散した金属によるチップの汚染や電気絶縁性の低下などの問題が生じる。そこで本例のクリーニング用照射光装置170と光ファイバ171は、ソラリゼーションの発生を防止するように構成されている。
- [0129] 本例のクリーニング用照射光装置170は、密閉室170Bと、その内部に配置されたレーザー光源170Aを有する。密閉室170Bには、紫外光の減衰を防止するために、乾燥窒素が封入されている。光ファイバ171として、市販の水素やフッ素をドープした石英ガラス製の光ファイバ又は光ファイババンドルを使用してよい。本例では、特に、光ファイバ171として、中空光ファイバ171を用いる。レーザー光源170Aとして紫外線レーザー光源を用いる場合を説明する。
- [0130] 図示のように、紫外線レーザー光源170Aからの紫外線レーザー光866は、適当なレンズ系（図示せず）によって整形され、石英ガラス製又はフッ化カルシウム製の紫外光入射窓172を介して、中空光ファイバ171の端部に導かれる。紫外光入射窓172は、中空光ファイバ171の端部をフッ化カルシウムによって気密封止したものである。従って、中空光ファイバ

１７１の内部の空間１７１Ｂは、クリーニング用照射光装置１７０の内部空間に対して完全に密閉される。

[0131] 一方、真空容器１０の天井壁に設けられた支持構造体１０７の孔には、真空フランジ１７３が設けられている。中空光ファイバ１７１と真空フランジ１７３は気密性を持たせて一体化しており、真空フランジ１７３はコンフラットフランジ等のガスケットシールにより真空容器１０に取り付けられる。中空光ファイバ１７１の下端には、光ファイバ出射口１７１Ａが形成されている。光ファイバ出射口１７１Ａは、チップ碍子１１５を介して、真空容器１０内の真空雰囲気中に開口している。従って、中空光ファイバ１７１の内部の空間１７１Ｂは、真空容器１０の内部空間と接続される。即ち、中空光ファイバ１７１の内部の空間は、真空容器１０の内部空間と同様に高真空に保持される。従って、中空光ファイバ１７１を伝播する紫外光の減衰を最小限に抑えることが可能となる。こうして、本例では、ソラリゼーションの発生を防止することができる。

[0132] 本発明によると、荷電粒子放出源として用いられるチップを極低温に保持し、非加熱的に、効果的に且つ短時間に清浄化できる。従って、荷電粒子放出銃の停止時間を最短とし、狭エネルギー幅および高輝度で変動やノイズがない、安定した荷電粒子線プローブが利用可能となる。

[0133] 更に、本発明によると、高エネルギー分解能で空間的にもプローブサイズが小さい、高分解能な電子顕微鏡、イオン顕微鏡、荷電粒子を用いた描画装置や分光装置といった荷電粒子線装置を提供可能にする。

[0134] 更に、極低温にある荷電粒子放出源にクリーニング手段を設けることにより、従来、超高真空以上の良い真空度が必要であった冷陰極電界放出電子源やガス電界電離イオン源を、超高真空よりも悪い真空雰囲気中で使用可能にできる。

[0135] その結果、超高真空の実現に必要な荷電粒子放出銃のベーキングが不要となり、荷電粒子放出銃の内部を大気暴露しても短期間で使用可能な状態にすることができる。そのため、荷電粒子線装置のダウンタイムを最短にするこ

とができる。

[0136] 以上、本発明の例を説明したが本発明は上述の例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された発明の範囲にて様々な変更が可能であることは、当業者によって容易に理解されよう。

符号の説明

[0137] 10…真空容器、10A…天井壁、10B…孔、10C…中心軸線、10D…孔、11…光学系真空容器、12…試料室真空容器、100…チップユニット、100A…荷電粒子線、101…チップユニット、107…支持構造体、107A…フランジ部、107B…円筒部、107C…孔、108…チップ移動用ねじ、109…シール部材、110…ベローズ、111…高電圧導入碍子、112…電線、113…熱絶縁構造、114…ホルダー、115…チップ碍子、115A…孔、116…イオンコレクタ、116A…孔、117…チップ、117A…シャンク、117B…終端、117C…先端部、118…引出し電極、118A…孔、118B…テーパ面、119…引出し電極、119B…テーパ面、120…電極、121…ヘアピンフィラメント、130…冷却装置、131、132…コールドエンド、134、135、136…網線、140…ガス導入装置、141、142…ガス導入パイプ、145…熱及び電気絶縁構造体、150…バルブ駆動装置、151…バルブ、160…高電圧導入碍子、161…電線、170…クリーニング用照射光装置、170A…レーザー光源、170B…密閉室、171…光ファイバ、171A…光ファイバ出射口、171B…空間、172…紫外光入射窓、173…真空フランジ、180、181…真空ポンプ、201…光学系、202…絞り板、203…ビームブランカ、204…光学系、205…試料、206…試料ステージ、301…制御コンピュータ、302…表示装置、303…制御電源ユニット、311、312、313…高電圧電源、321、322、323…高電圧電源、451…残留ガス分子、452、453、454…吸着分子、457、458…イオン、456…脱離分子、540…単原子、541…曲線、542…トンネル電子、544…イオン、645…原子

、 6 4 6 …吸着分子、 6 4 7 …ナノピラミッド構成原子、 6 4 8 …原子団、
6 4 9 …原子、 6 5 0 …吸着分子、 7 0 1 …光電子、 7 0 2 …散乱電子、 7
0 3 …二次電子、 7 1 1 …イオン、 7 1 2 …散乱イオン、 8 6 2 …照射光、
8 6 3 …反射光、 8 6 5 …紫外光、 8 6 6 …紫外線レーザー光

請求の範囲

- [請求項1] チップと、該チップと同軸的な中心孔を有する引出し電極と、前記チップと同軸的な中心孔を有し前記チップと前記引出し電極の間に配置されたイオンコレクタと、前記チップ、前記引出し電極、及び、前記イオンコレクタを収納する真空容器と、前記チップを冷却するための冷却装置と、前記チップに照射する紫外光又は赤外光を生成するクリーニング用照射光装置と、を有することを特徴とする荷電粒子放出銃。
- [請求項2] 請求項1記載の荷電粒子放出銃において、
前記クリーニング用照射光装置は、 MW/cm^2 級のピーク出力を有する波長 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上の赤外線レーザー光を発生する赤外線レーザー光源を有することを特徴とする荷電粒子放出銃。
- [請求項3] 請求項1記載の荷電粒子放出銃において、
前記クリーニング用照射光装置は、波長 400 nm 以下の連続スペクトルを有する紫外線を発生する紫外線ランプを有することを特徴とする荷電粒子放出銃。
- [請求項4] 請求項1記載の荷電粒子放出銃において、
前記クリーニング用照射光装置は、 $10\text{ GW}/\text{cm}^2$ 以下の出力にて、フェムト秒オーダーのパルス幅の波長 400 nm 以下の紫外線レーザー光を発生する紫外線レーザー光源を有することを特徴とする荷電粒子放出銃。
- [請求項5] 請求項1記載の荷電粒子放出銃において、
前記クリーニング用照射光装置は、前記チップの吸着分子を光刺激脱離によって脱離させるための第1の波長の光と、前記第1の波長の光の照射によって前記脱離した分子をイオン化するための第2の波長の光と、を交互に切り替えて光照射を行うことを特徴とする荷電粒子放出銃。
- [請求項6] 請求項1記載の荷電粒子放出銃において、

前記クリーニング用照射光装置は、所定の周期にて前記チップに紫外光又は赤外光を照射することを特徴とする荷電粒子放出銃。

[請求項7] 請求項1記載の荷電粒子放出銃において、
前記脱離した分子のイオン化は、共鳴多光子イオン化（REMPI）又は非共鳴多光子吸収イオン化（NRMPI）によってなされることを特徴とする荷電粒子放出銃。

[請求項8] 請求項1記載の荷電粒子放出銃において、
前記クリーニング用照射光装置によって生成された紫外光又は赤外光を前記チップに導くための光ファイバが設けられ、該光ファイバは前記チップと同軸的に配置されていることを特徴とする荷電粒子放出銃。

[請求項9] 請求項8記載の荷電粒子放出銃において、
前記光ファイバは、中空光ファイバであり、該中空光ファイバの内部は真空排気されていることを特徴とする荷電粒子放出銃。

[請求項10] 請求項1記載の荷電粒子放出銃において、
前記引出し電極の中心孔の周囲に円周状のテーパ面が形成されており、前記クリーニング用照射光装置からの紫外光又は赤外光は、前記チップの周囲を照射してから該テーパ面を反射して前記チップを再度照射するように構成されていることを特徴とする荷電粒子放出銃。

[請求項11] 請求項1記載の荷電粒子放出銃において、
前記引出し電極の電位を V_e 、前記チップの電位を V_t 、前記イオンコレクタの電位を V_{ic} とすると、 $V_e > V_t > V_{ic}$ となるように設定することにより冷陰極電界放出電子源として構成されることを特徴とする荷電粒子放出銃。

[請求項12] 請求項1記載の荷電粒子放出銃において、
前記チップの電位を V_t 、前記イオンコレクタの電位を V_{ic} 、前記引出し電極の電位を V_e とすると、 $V_t > V_{ic} > V_e$ となるように設定することによりガス電界電離イオン源（GFIS）として構

成されることを特徴とする荷電粒子放出銃。

[請求項13] チップと、該チップと同軸的な中心孔を有する引出し電極と、前記チップと同軸的な中心孔を有し前記チップと前記引出し電極の間に配置されたイオンコレクタと、前記チップ、前記引出し電極、及び、前記イオンコレクタを収納する真空容器と、前記チップを冷却するための冷却装置と、前記チップに照射するための紫外線又は赤外線を生成するクリーニング用照射光装置と、を有し、

前記クリーニング用照射光装置によって生成された紫外光又は赤外光を前記チップに導くための光ファイバが設けられ、該光ファイバは前記チップと同軸的に配置されていることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項14] 請求項13記載の荷電粒子線装置において、

前記光ファイバは、中空光ファイバであり、該中空光ファイバの内部は真空排気されていることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項15] 請求項13記載の荷電粒子線装置において、

前記引出し電極の中心孔の周囲に円周状のテーパ面が形成されており、前記クリーニング用照射光装置からの紫外光又は赤外光は、前記チップの周囲を照射してから該テーパ面を反射して前記チップを再度照射するように構成されていることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項16] 請求項13記載の荷電粒子線装置において、

前記光ファイバの第1の端部は前記チップに向けられており、前記光ファイバの第2の端部は前記真空容器の外側に配置された前記クリーニング用照射光装置に接続されており、該第2の端部は密閉封止され、前記紫外線又は赤外線を入射するための光学窓が形成されていることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項17] チップと、該チップと同軸的な中心孔を有する引出し電極と、前記チップと同軸的な中心孔を有し前記チップと前記引出し電極の間に配置されたイオンコレクタと、前記チップ、前記引出し電極、及び、前

記イオンコレクタを収納する真空容器と、前記チップを冷却するための冷却装置と、前記チップに照射するための紫外線又は赤外線を生成するクリーニング用照射光装置と、を有し、

前記クリーニング用照射光装置によって生成された紫外光又は赤外光を前記チップに導くための光ファイバが設けられ、該光ファイバは前記チップと同軸的に配置されており、

前記引出し電極の中心孔の周囲に円周状のテーパ面が形成されており、前記クリーニング用照射光装置からの紫外光又は赤外光は、前記チップの周囲を照射してから該テーパ面を反射して前記チップを再度照射するように構成されていることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項18] 請求項17記載の荷電粒子線装置において、

前記光ファイバは、中空光ファイバであり、該中空光ファイバの内部は真空排気されていることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項19] 請求項17記載の荷電粒子線装置において、

前記真空容器の底壁には、前記チップによって生成された荷電粒子線が通るための孔と、該孔を開閉するバルブが設けられており、

前記クリーニング用照射光装置によって紫外線又は赤外線を照射するとき、前記バルブを閉じることを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項20] 請求項17記載の荷電粒子線装置において、

前記チップによって生成された荷電粒子線を偏向させるビームブランカが設けられ、

前記クリーニング用照射光装置によって紫外線又は赤外線を照射するとき、前記ブランカを動作させることを特徴とする荷電粒子線装置。

[図1]

図 1

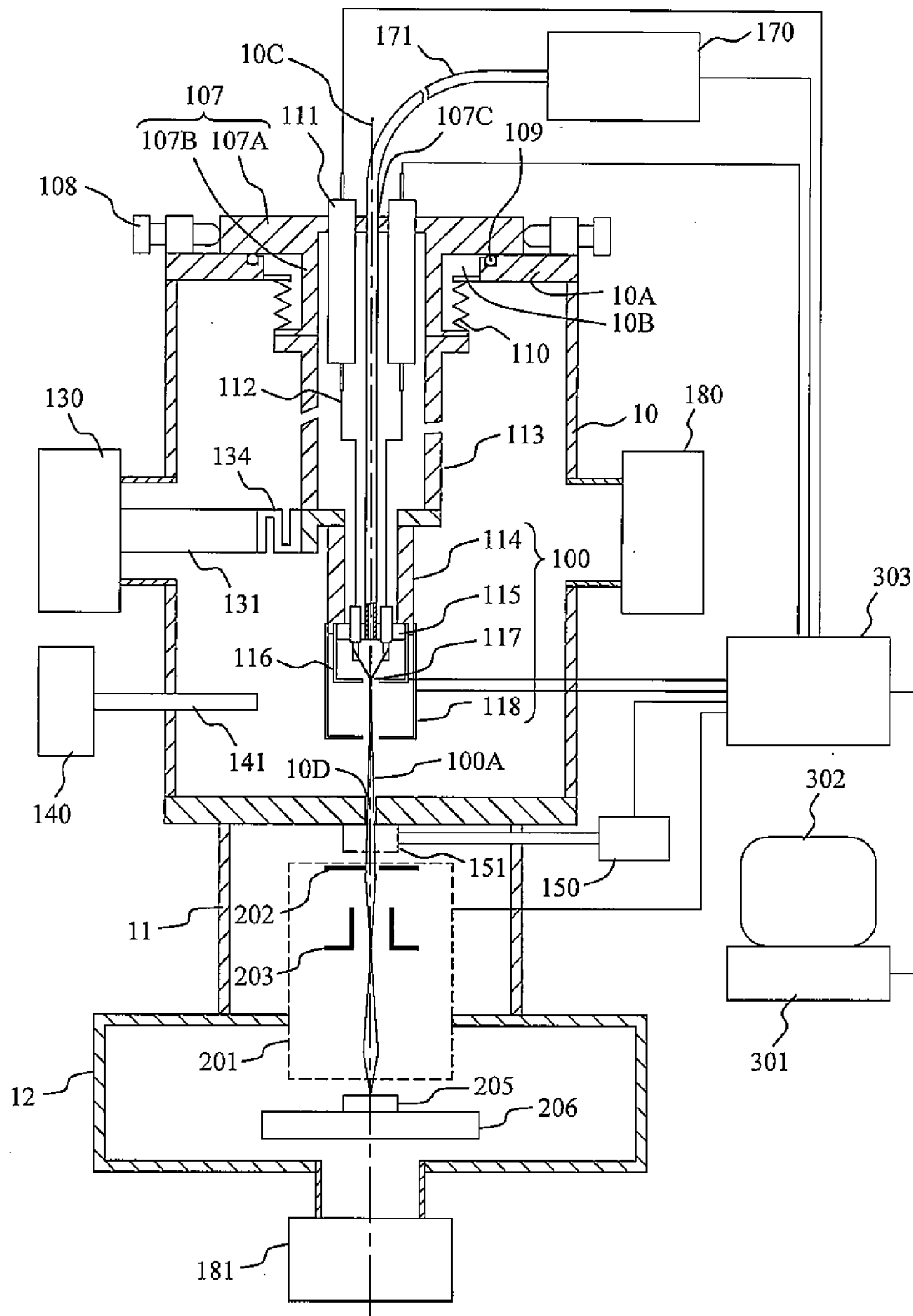
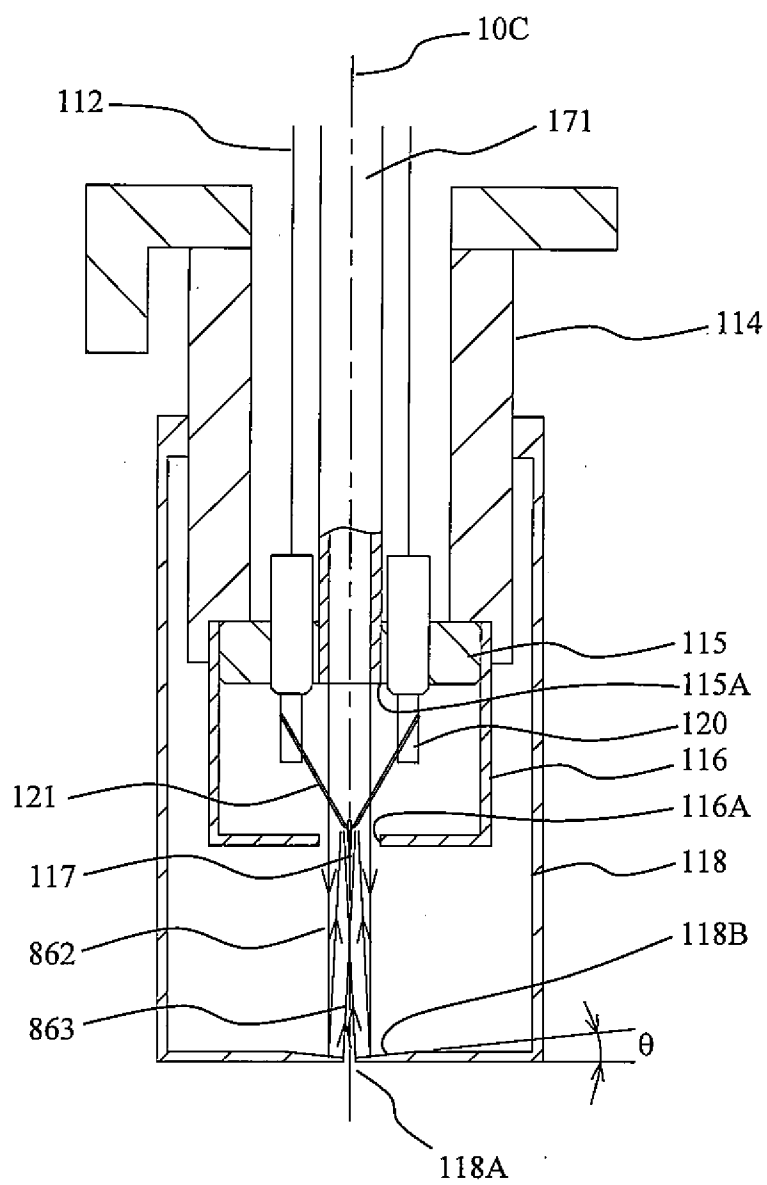
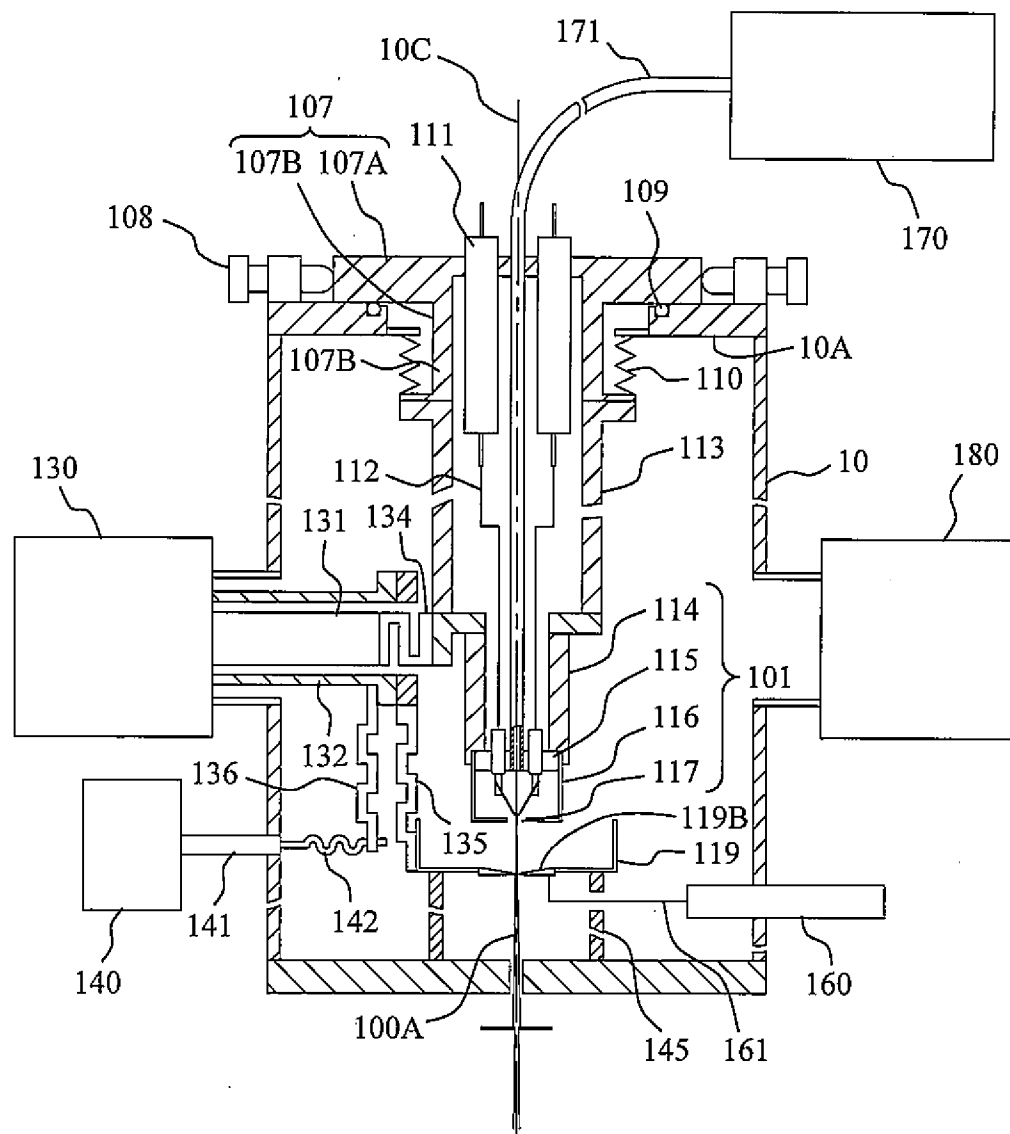


図 2



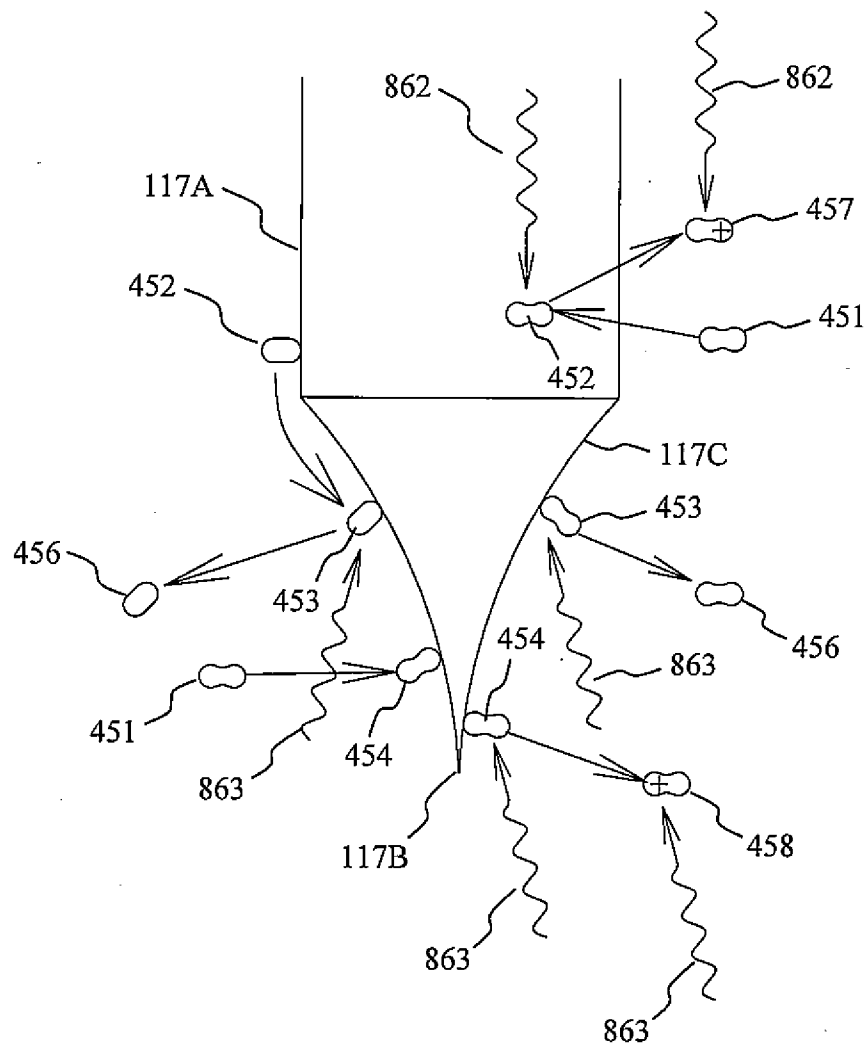
[図3]

図 3



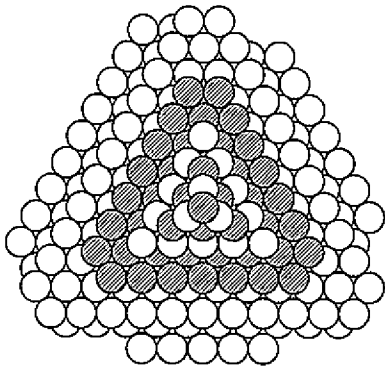
[図4]

図 4



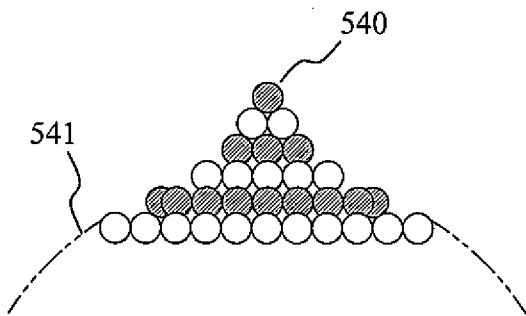
[図5A]

図 5 A



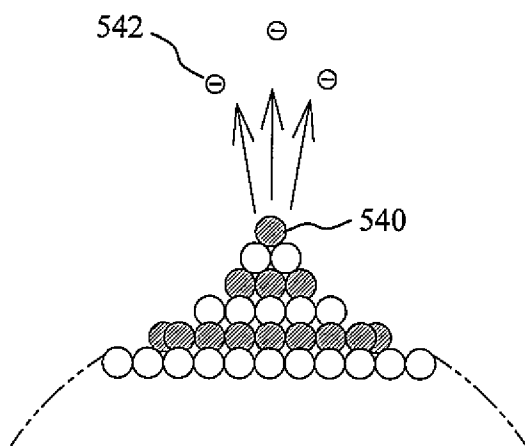
[図5B]

図 5 B



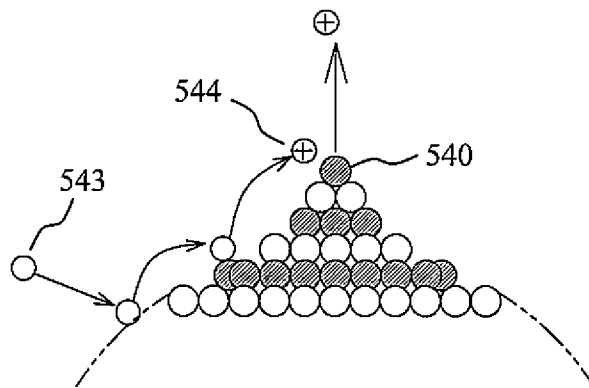
[図5C]

図 5 C



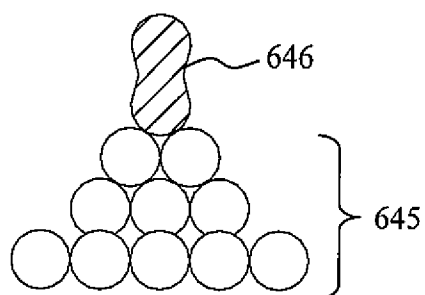
[図5D]

図 5 D



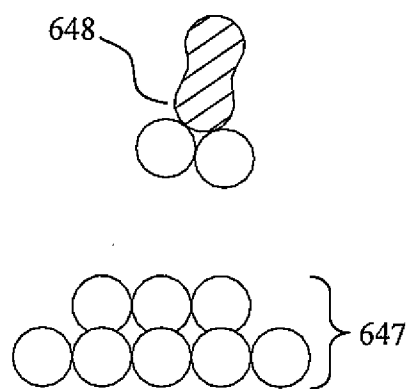
[図6A]

図 6 A



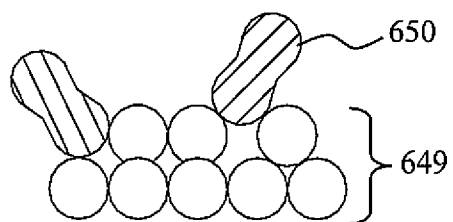
[図6B]

図 6 B



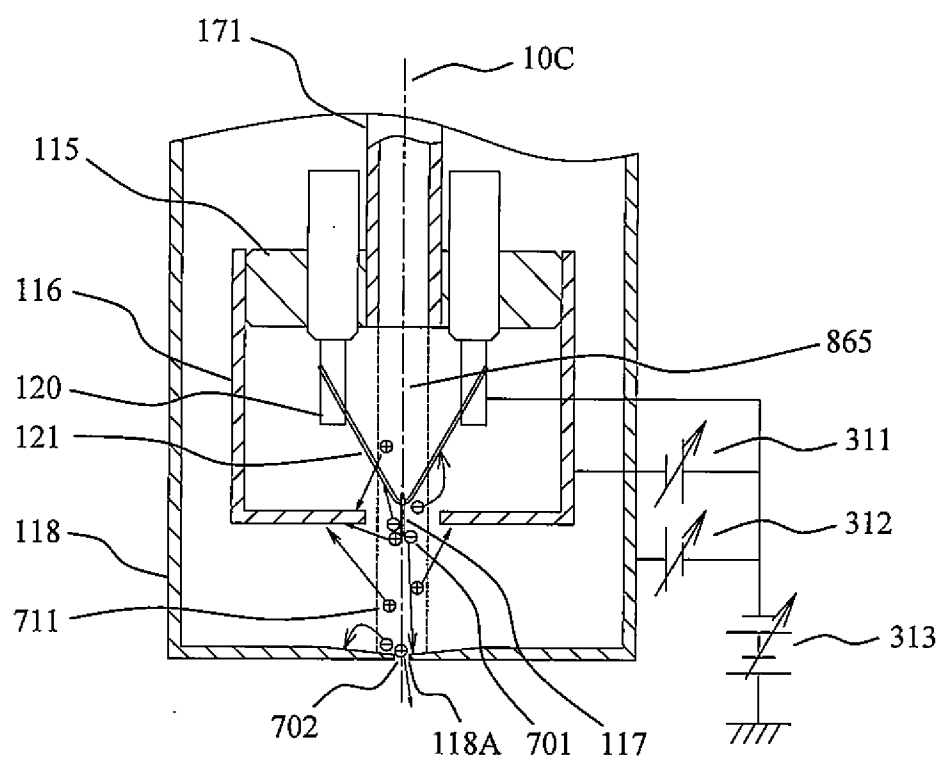
[図6C]

图 6 C

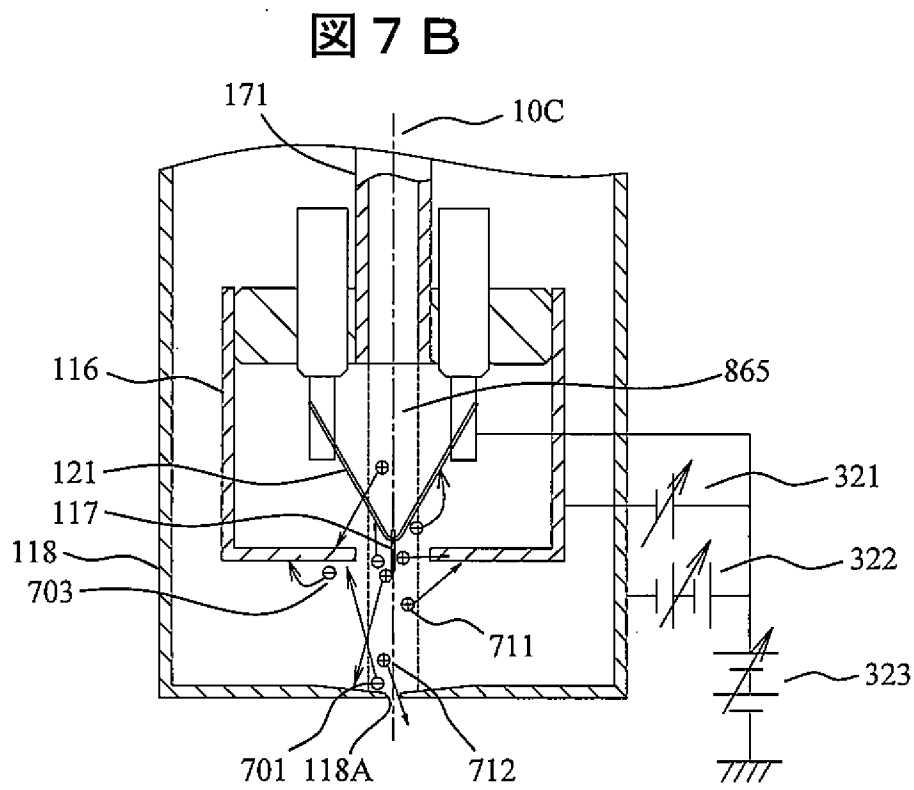


[図7A]

图 7 A

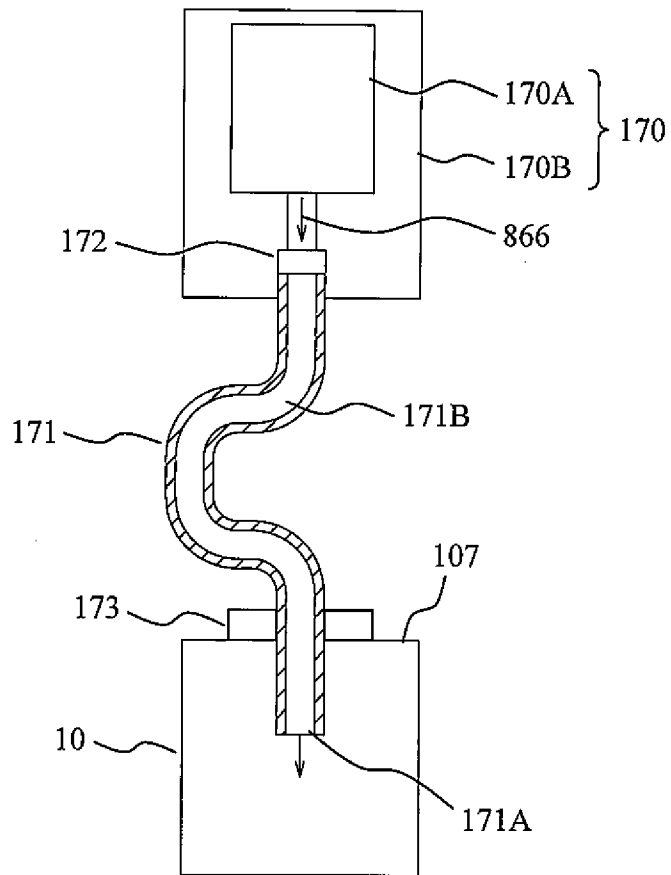


[図7B]



[図8]

図 8



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/078372

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01J37/06(2006.01)i, H01J27/26(2006.01)i, H01J37/073(2006.01)i, H01J37/08(2006.01)i, H01J37/16(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)

H01J37/06, H01J27/26, H01J37/073, H01J37/08, H01J37/16

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	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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

JSTPlus (JDreamII), JST7580 (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 5-114353 A (Fujitsu Ltd.), 07 May 1993 (07.05.1993), entire text; all drawings (Family: none)	1-20
A	JP 7-182969 A (Mitsubishi Electric Corp.), 21 July 1995 (21.07.1995), entire text; all drawings & US 5491375 A & FR 2714208 A1	1-20
A	JP 2009-289670 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 10 December 2009 (10.12.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-20



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
28 December, 2011 (28.12.11)

Date of mailing of the international search report
17 January, 2012 (17.01.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/078372

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 7-153403 A (Hitachi, Ltd.), 16 June 1995 (16.06.1995), entire text; all drawings (Family: none)	1-20
A	JP 2007-73521 A (ICT, Integrated Circuit Testing Gesellschaft fuer Halbleiterpruftechnik mbH), 22 March 2007 (22.03.2007), entire text; all drawings & US 2007/0158588 A1 & EP 1760761 A1	1-20

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H01J37/06(2006.01)i, H01J27/26(2006.01)i, H01J37/073(2006.01)i, H01J37/08(2006.01)i,
H01J37/16(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. H01J37/06, H01J27/26, H01J37/073, H01J37/08, H01J37/16

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 1 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 1 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 1 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)

JSTPlus(JDreamII), JST7580(JDreamII)

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
A	JP 5-114353 A (富士通株式会社) 1993. 05. 07 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 2 0
A	JP 7-182969 A (三菱電機株式会社) 1995. 07. 21 全文、全図 & US 5491375 A & FR 2714208 A1	1 - 2 0

☒ 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

2 8 . 1 2 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 7 . 0 1 . 2 0 1 2

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 1 0 0 - 8 9 1 5
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)

山口 剛

2 G

9 8 0 6

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 2 6

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 2009-289670 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2009. 12. 10 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 2 0
A	JP 7-153403 A (株式会社日立製作所) 1995. 06. 16 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 2 0
A	JP 2007-73521 A (イツェーテー インテグレイテッド サーキット テスティング ゲゼルシャフト フェール ハルブライターブリュッフテヒニク ミット ベシュレ ンクテル ハフツング) 2007. 03. 22 全文、全図 & US 2007/0158588 A1 & EP 1760761 A1	1 - 2 0