

(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  
2025年1月16日(16.01.2025)



(10) 国際公開番号  
**WO 2025/013142 A1**

(51) 国際特許分類:  
**H01J 37/16** (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/025337

(22) 国際出願日: 2023年7月7日(07.07.2023)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人: 株式会社日立ハイテク  
(**HITACHI HIGH-TECH CORPORATION**) [JP/  
JP]; 〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目  
17番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 糟谷 圭吾(**KASUYA Keigo**); 〒1008280  
東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株  
式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 石川 修平

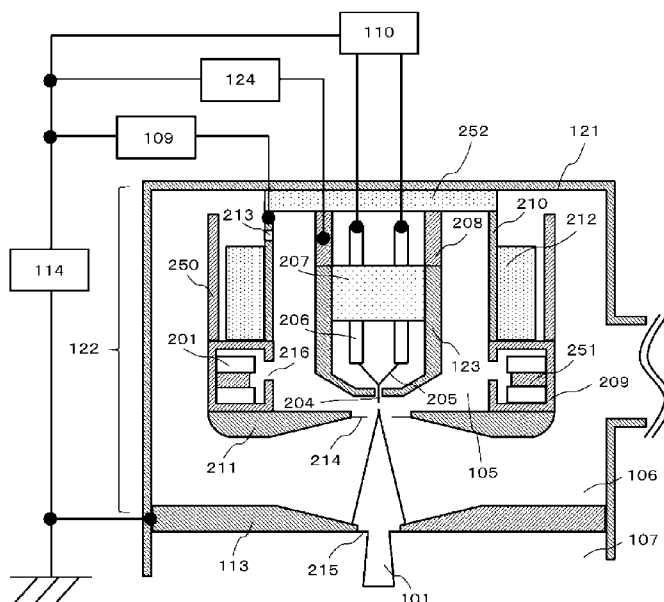
(**ISHIKAWA Shuhei**); 〒1056409 東京都港区虎  
ノ門一丁目17番1号 株式会社日立ハイ  
テク内 Tokyo (JP). 大西 崇(**ONISHI Takashi**);  
〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目17番1  
号 株式会社日立ハイテク内 Tokyo (JP). 谷  
本 憲史(**TANIMOTO Kenji**); 〒1056409 東京都  
港区虎ノ門一丁目17番1号 株式会社日立  
ハイテク内 Tokyo (JP). 土肥 隆(**DOI Takashi**);  
〒1056409 東京都港区虎ノ門一丁目17番1  
号 株式会社日立ハイテク内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: ポレール弁理士法人(**POLAIRE I.P.C.**);  
〒1030021 東京都中央区日本橋本石町三  
丁目3番5号 Tokyo (JP).

(54) Title: CHARGED PARTICLE BEAM DEVICE

(54) 発明の名称: 荷電粒子線装置

[図2]



(57) Abstract: This charged particle beam device is characterized by comprising: a charged particle source (202) provided with a single crystal needle (204), a filament (205) connected to the single crystal needle, and an insulator (207) for holding the filament; a non-evaporable getter material (201); an extraction electrode (203); a first vacuum chamber (105) which is inside the extraction electrode and in which the charged particle source and the non-evaporable getter material are disposed; a heater (212) for heating the non-evaporable getter material; a second vacuum chamber (106) in which the heater and

[続葉有]

(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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, 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, ME, 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:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

the extraction electrode are disposed and which has a pressure higher than that of the first vacuum chamber; and a heat absorption plate (250) connected to the extraction electrode and disposed so as to face the heater. The charged particle beam device is also characterized in that: the heater and the non-evaporable getter material are disposed in order with respect to a direction in which a charged particle beam is emitted from the charged particle source; and the non-evaporable getter material is disposed in the first vacuum chamber and the heater is disposed in the second vacuum chamber.

(57) 要約: 本発明による荷電粒子線装置は、単結晶針(204)と該単結晶針と接続したフィラメント(205)と該フィラメントを保持する碍子(207)とを備えた荷電粒子源(202)と、非蒸発ゲッター材(201)と、引出電極(203)と、前記荷電粒子源と前記非蒸発ゲッター材とを配置し、前記引出電極の内部にある第一の真空室(105)と、前記非蒸発ゲッター材を加熱するヒーター(212)と、前記ヒーターと前記引出電極とを配置し、前記第一の真空室より圧力が高い第二の真空室(106)と、前記引出電極に接続し、前記ヒーターと対向させて配置した熱吸収板(250)とを備え、前記荷電粒子源から荷電粒子線が放出される方向に対して前記ヒーター、前記非蒸発ゲッター材が順番に配置され、且つ、前記非蒸発ゲッター材は前記第一の真空室に配置され、前記ヒーターは第二の真空室に配置されることを特徴とする。

## 明 細 書

発明の名称：荷電粒子線装置

### 技術分野

[0001] 本発明は、荷電粒子線装置に関する。

### 背景技術

[0002] 荷電粒子線装置とは、電子線のような荷電粒子線を試料に照射し、試料から放出される二次電子や透過電子、反射電子、X線などを検出することで、試料の観察像を生成する装置である。空間分解能が高い観察像を得るには高輝度の電子源（荷電粒子源）が必要であり、例えば冷陰極電界放出（C F E : Cold Field Emission）電子源が用いられる。C F E 電子源は、先鋭化された単結晶（チップ）の先端に電界を集中させることで電子線（荷電粒子線）を放出させる。真空中の残留ガスがチップ先端に付着すると、放出する電流量が不安定になる。このため、電子源（荷電粒子源）のまわりの圧力を低くする（真空度を高くする）必要がある。

[0003] 電子源（荷電粒子源）は、内部を真空にした電子銃（真空容器）に搭載される。真空容器内の圧力を低くする方法として、非蒸発ゲッター（N E G : Non-Evaporable Getter）材を搭載することがある。N E G 材は、従来の蒸発型のゲッターと異なり、真空中で加熱（活性化）しても蒸発することなく元の形状を保つ。N E G 材を一度活性化して室温に戻すとガスを吸着、吸蔵するようになり、真空排気作用をもつ。特許文献1には、引出電極の近傍にN E G 材を備えた電子顕微鏡が開示されている。

### 先行技術文献

#### 特許文献

[0004] 特許文献1：特許第6 7 7 7 7 4 6 号

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1では、N E G 材の活性化温度に対する配慮が不

十分である。発明者らの研究の結果、NEG材の活性温度が一定の温度以上でないと真空排気作用が発現せず、圧力を低減できないことがわかった。このとき、電子源（荷電粒子源）から安定した電子線（荷電粒子線）が得られず、観察像の信頼性が損なわれる。

[0006] そこで本発明は、NEG材の加熱を効率的にすることで活性化温度を向上し、かつ、小型な荷電粒子線装置を提供することを目的とする。

### 課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一実施の態様である荷電粒子線装置は、真空容器と、単結晶針と該単結晶針と接続したフィラメントと該フィラメントを保持する碍子とを備えた荷電粒子源と、非蒸発ゲッター材と、引出電極と、前記荷電粒子源と前記非蒸発ゲッター材とを配置し、前記引出電極の内部にある第一の真空室と、前記非蒸発ゲッター材を加熱するヒーターと、前記ヒーターと前記引出電極とを配置し、前記第一の真空室より圧力が高い第二の真空室と、前記引出電極に接続し、前記ヒーターと対向させて配置した熱吸収板とを備え、前記荷電粒子源から荷電粒子線が放出される方向に対して前記ヒーター、前記非蒸発ゲッター材が順番に配置され、且つ前記非蒸発ゲッター材は前記第一の真空室に配置され、前記ヒーターは第二の真空室に配置されることを特徴とする。

### 発明の効果

[0008] 本発明によれば、NEG材の活性化温度を向上し、電子源（荷電粒子源）まわりの圧力を効率的に低減することで放出電流を安定化させた小型な荷電粒子線装置を提供することができる。

### 図面の簡単な説明

[0009] [図1]荷電粒子線装置の一例である走査電子顕微鏡の全体構成の一例を示す概略断面図である。

[図2]実施例1のCFE電子源とその周辺の構成の一例を示す概略断面図である。

[図3]実施例1の熱吸収板がNEG材の加熱効率を向上する作用の一例を示す

概略断面図である。

[図4]実施例1の引出電極の輻射率がNEG材の加熱効率を向上する作用の一例を示す概略断面図である。

[図5]実施例1の熱吸収板がNEG材の加熱効率を向上する効果の一例を示す図である。

[図6]実施例1の熱吸収板が電子線の電流を安定化する効果の一例を示す図である。

[図7]実施例2の熱反射板がNEG材の加熱効率を向上する構成の一例を示す概略断面図である。

[図8]実施例1のNEG材の構成の一部を拡大した一例を示す斜視図である。

### 発明を実施するための形態

[0010] 以下、添付図面に従って本発明に係る荷電粒子線装置の実施例について説明する。荷電粒子線装置は、電子線のような荷電粒子線を試料に照射し、試料から放出される二次電子や透過電子、反射電子、X線などを検出して、試料の観察像を生成する装置である。

#### 実施例 1

[0011] 図1を用いて、荷電粒子線装置の一例である走査電子顕微鏡の全体構成について説明する。走査電子顕微鏡は、電子線101を試料102に照射し、試料102から放出される二次電子や反射電子を検出して、試料102の観察像を生成する装置であり、内部を真空に保つ鏡体103と試料室104を備える。鏡体103は、グランド電位に接続される。鏡体103の内部は、上から第一真空室105、第二真空室106、第三真空室107、第四真空室108に分けられる。各真空室を隔てる電極の中央には電子線101が通過する絞りが配置され、差動排気される。各真空室105、106、107、108の圧力は、下方の真空室（試料室104に近い真空室）ほど圧力が高くなる。以下、各真空室105、106、107、108と試料室104について説明する。

[0012] 第一真空室105は、引出電極203の内部の空間であり、NEG材20

1で真空排気される。第一真空室105の圧力は、その他の真空室106, 107, 108の中で最も低く、 $1 \times 10^{-9}$  Paから $1 \times 10^{-10}$  Pa台またはそれ以下の極高真空領域に真空排気される。第一真空室105には、CFE電子源202が配置され、これを囲むように引出電極203が配置される。

[0013] CFE電子源202の2つのピンには、フラッシング電源110を介して加速電源114が接続され、通常時には加速電源114から供給されるグラウンド電位に対して負の加速電圧が印加される。CFE電子源202のサプレッサにはサプレッサ電源124が接続される。引出電極203は、カップ型の形状をもち、第一真空室105と第二真空室106とを隔てる。引出電極203には、引出電源109が接続され、CFE電子源202の2つのピンに印加されている負の加速電圧に対して正の引出電圧が印加される。引出電極203に引出電圧が印加されることで、CFE電子源202から電子線101が放出される。

[0014] CFE電子源202のフラッシング時には、フラッシング電源110により2つのピンの一方に負の加速電圧に数V程度足した電圧を印加して2つのピン間に数V程度の電位差を持たせてフィラメントにパルス電流を印加することで2000℃程度に加熱する（フラッシング）。このフラッシング操作でCFE電子源202に吸着した残留ガスを除去し、不安定となった放出電流の時間変化をリセットする。第一真空室105と第二真空室106とは差動排気されるため、その圧力は数桁の差ができる。CFE電子源202とその周辺の構成の詳細は、図2を用いて後述する。

[0015] 第二真空室106は、引出電極203の外側で、電子銃真空容器121と加速電極113とで囲まれた空間であり、配管120が接続される。配管120の先にはイオンポンプ111と補助NEGポンプ112があり、第二真空室106が真空排気される。第二真空室106の圧力は、 $1 \times 10^{-7}$  Paから $1 \times 10^{-9}$  Pa程度の超高真空領域である。第二真空室106には、加速電極113が配置され、第三真空室107と隔離される。加速電極113

と電子銃真空容器 121 とは、グランド電位に接続される。電子線 101 は加速電圧に応じて所定の速さに加速される。引出電極 203 と加速電極 113 とが向かい合う空間には静電レンズが形成される。引出電極 203 と加速電極 113 とはバトラーレンズ構造をもち、静電レンズの収差を低減する。加速電極 113 より上側の構成をまとめて電子銃 122 と呼ぶ。

[0016] 第三真空室 107 は、イオンポンプ 115 で真空排気される。第三真空室 107 には、コンデンサレンズ 116 が配置される。コンデンサレンズ 116 は、電子線 101 を集束させ、電流量などが調整される。

[0017] 第四真空室 108 には、検出器 117 が配置される。検出器 117 は、試料 102 から放出される二次電子や反射電子などを検出する。検出器 117 は、複数設けられてもよく、試料室 104 やその他の真空室 105, 106, 107 に配置されてもよい。

[0018] 試料室 104 は、ターボ分子ポンプ 118 で真空排気される。試料室 104 には、対物レンズ 119 と試料 102 が配置される。電子線 101 は対物レンズ 119 で集束されて試料 102 に照射される。

[0019] 図 2 を用いて C F E 電子源 202 とその周辺の構成の一例について説明する。C F E 電子源 202 は、チップ 204 とフィラメント 205 と二本のピン 206 と碍子 207 とサプレッサ 123 とで構成される。チップ 204 は、先端が先鋭化された  $\langle 310 \rangle$  や  $\langle 111 \rangle$  方位のタングステン単結晶針であり、先端の曲率半径は約 100 nm である。チップ 204 は、フィラメント 205 の先端に溶接される。フィラメント 205 は、V 字型のヘアピン形状にされたタングステン多結晶線である。フィラメント 205 の両端には、ピン 206 がそれぞれ溶接される。2 つのピン 206 は、金属の端子であり、碍子 207 に保持されることで互いに電氣的に絶縁される。サプレッサ 123 は、碍子 207 の外側に嵌合で取り付けられ、碍子 207 とピン 206 とフィラメント 205 とチップ 204 の一部とを内包する。サプレッサ 123 は、下部に開口を有し、ここからチップ 204 の先端部が突き出る。その突き出し長さは、0.1 mm から 1 mm 程度である。

[0020] 保持部208は、金属製の円筒であり、サプレッサ123を固定することでCFE電子源202全体を保持する。保持部208は、碍子252を介して電子銃真空容器121に接続され、電氣的に絶縁される。チップ204とフィラメント205とピン206は同電位であり、通常時には加速電源114から供給される負の加速電圧が印加される。保持部208とサプレッサ123には、サプレッサ電源124によってサプレッサ電圧が印加される。また、フラッシング時には、フラッシング電源110により2つのピン206の一方に負の加速電圧に数V程度足した電圧が印加され、2つのピン206間に数V程度の電位差を持たせてフィラメント205が通電加熱されることで、チップ204に吸着した残留ガスを除去（フラッシング）がなされる。なお、CFE電子源202は、サプレッサ123を備えなくてもよく、ない場合でも電子線を放出できる。

[0021] 引出電極203は、金属製の引出電極下部211，引出電極側壁210，絞り214，NEGユニット209，熱吸収板250，熱伝導板251及びNEG材201とで構成される。NEG材201以外の部品の主な材料として、ステンレススチール，チタン，パーマロイなどが用いられる。引出電極下部211は、チップ204の先端に対向した最も近い位置に配置され、両者は高さ方向に0.3mmから10mm程度離れる。引出電極下部211には、NEGユニット209が接続される。NEGユニット209の内部には、NEG材201が配置される。

[0022] NEGユニット209は、金属製の熱伝導容器であり、加熱時は全体に均一に熱を伝えて一定の温度になる。NEGユニット209の材料は、ステンレススチール，チタン，パーマロイに加えて、銅，銀，金，アルミニウムなどの熱伝導率が高い材料で作ってもよい。または、これらを表面に成膜してもよい。NEGユニット209は、第一真空室105側にのみ開口216をもち、第一真空室105をNEG材201で真空排気する。NEGユニット209の内部には、熱伝導板251を設けてもよい。熱伝導板251の材料は、NEGユニット209と同様であり、より好適には熱伝導率の高い材料

を用いる、または、これらを成膜してもよい。

[0023] NEG材201は、ジルコニウムとバナジウムと鉄の合金を焼結した多孔質の円柱状のピルであり、NEGユニット209の内部に複数個配置される。NEG材201は、その他のNEG材料でも良く、ピル以外の形状、例えばブロックやシートやリングや薄膜ないしはこれらを組み合わせた形状でもよい。また、配置する個数は一つのみでもよい。NEG材201が活性化される温度はおよそ500℃程度であり、材料によって異なる。NEG材201の加熱温度がこの活性化温度に近づくほど排気速度が向上する。

[0024] 引出電極203には引出電圧が印加され、その構成部品は同電位になる。引出電極側壁210は、碍子252を介して電子銃真空容器121に接続され、電氣的に絶縁される。引出電極203が形成する電位によってチップ204の先端の電界が決まり、チップ204から電界放出で電子線101が放出する。サプレッサ123には、チップ204に対して正または負のサプレッサ電圧が印加され、チップ204の先端の電界が調整される。引出電極下部211の中央には絞り214が配置される。絞り214の穴径は、典型的には1mm以下、より好適には0.5mm以下である。

[0025] 電子線101は、絞り214の穴を通過して第二真空室106に進み、コーン状に広がりながら加速電極113に到達する。加速電極113の中央には、絞り215が配置される。電子線101の外周部は絞り215や加速電極113に遮られ、中心部分が第三真空室107に進む。

[0026] 真空室の圧力は、真空ポンプの実効排気速度が高く、真空室内の部品からの脱ガスが少ないほど低くなる。実効排気速度は、真空ポンプ自体の排気速度が高く、かつ、排気経路のコンダクタンスが大きいほど高くなる。イオンポンプ111や補助NEGポンプ112は、配管120のコンダクタンスによって実効排気速度が律速され、電子源（荷電粒子源）まわりを排気する実効排気速度が低い。一方、NEG材201は引出電極203の内部で電子源（荷電粒子源）の極近傍に配置されることからコンダクタンスが大きく、実効排気速度が高い。このため、電子源（荷電粒子源）まわりを効率的に真空排

気する。一方、第一真空室 105 は引出電極 203 の内部のみの限られた狭い空間であり、内包する部品数が少ないことから脱ガスの総量が少ない。また、ヒーター 212 によって、引出電極 203 全体が一度高温に加熱されるため、部品内部の熔融水素が除去されて脱ガス自体が低減される。これらの結果、第一真空室 105 の圧力は効率的に低減され、C F E 電子源 202 から安定な放出電流が得られる。

[0027] 引出電極側壁 210 には、第一真空室 105 と第二真空室 106 とを接続する差動排気口 213 を設けてもよい。差動排気口 213 のコンダクタンスは低くし、第一真空室 105 と第二真空室 106 との間に数桁の圧力差を作る。一方、N E G 材 201 の活性化時には N E G 材 201 からの水素ガス等の放出により、一時的に第一真空室 105 の圧力が第二真空室 106 の圧力より大きくなる。N E G 材 201 から放出された水素などのガスは、この差動排気口 213 を介して第二真空室 106 に放出され、イオンポンプ 111 と補助 N E G ポンプ 112 とで排気される。N E G 材 201 が放出する水素ガスを十分に排除することで、活性化後の N E G 材 201 の排気速度が大きくなる。また、N E G 材 201 が排気できない希ガスなどは、イオンポンプ 111 で排気される。差動排気口 213 の形状は、円形や長穴などである。また、差動排気口 213 の開口面積は、絞り 214 の開口面積よりも大きくすることが有効である。絞り 214 も差動排気穴として作用するが、その穴径が小さいためにコンダクタンスが小さく影響は限定的となる。

[0028] 第一真空室 105 と第二真空室 106 とが隔離され、差動排気されることで、第二真空室 106 の圧力が上昇しても第一真空室 105 の圧力は上昇しにくい。第二真空室 106 の圧力は、試料室 104 から流入するガス、電子線 101 が照射された絞り 215 や加速電極 113 から放出する電子衝撃脱離ガス、突発的な放電等によって上昇する場合がある。しかし、差動排気の効果によって第一真空室 105 の圧力上昇は、第二真空室 106 の圧力上昇の数桁小さくなる。このため、第二真空室 106 の圧力が悪化した場合であっても、第一真空室 105 の圧力は低いままとなり、安定な放出電流が維持

される。

[0029] 第一真空室１０５と第二真空室１０６とが差動排気されるその他の利点として、電子銃１２２を小型化できることがある。NEG材２０１で電子源（荷電粒子源）まわりを効率的に真空排気することで、イオンポンプ１１１や補助NEGポンプ１１２の能力を低下させて第二真空室１０６の圧力を上昇させても、第一真空室１０５の圧力は低く維持される。イオンポンプ１１１や補助NEGポンプ１１２を小型化または省略することで、電子銃１２２を小型化することができ、コスト削減や荷電粒子線装置を設置する床面積または荷電粒子線装置の高さを低減できる。また、電子銃１２２が軽量化されるため、荷電粒子線装置の機械振動への耐性が向上し、分解能が向上する。

[0030] ヒーター２１２は、第二真空室１０６に配置され、引出電極側壁２１０の側面に接触するように配置される。ヒーター２１２を５００℃以上に加熱することで、この熱が引出電極側壁２１０を介してNEGユニット２０９へと伝わり、さらに内部のNEG材２０１が加熱されて活性化される。ヒーター２１２は、アルミナや窒化シリコンや窒化ボロンなどのセラミックヒーターである。セラミックヒーターは、金属製のヒーターに比べて脆性破壊や断線がしにくく、高温加熱に適する。ヒーター２１２は円筒構造をもち、引出電極側壁２１０と広い面積で接触させて熱抵抗を小さくし、ヒーター２１２の熱を引出電極側壁２１０へ効率的に伝える。ここで、セラミックヒーターは、定常的にガスを放出して圧力を悪化させる場合がある。そこで、ヒーター２１２を第二真空室１０６側に配置することで第一真空室１０５の圧力の悪化を防ぎ、第一真空室１０５の圧力を最小化する。

[0031] ヒーター２１２に対して、NEGユニット２０９及びその内部のNEG材２０１は異なる高さに配置され、ヒーター２１２が上方に、NEGユニット２０９及びNEG材２０１が下方に、配置される。別の言い方をすれば、電子線１０１が進む軸の方向を前方、その反対の方向を後方とすると、ヒーター２１２に対して、NEGユニット２０９、及び、NEG材２０１は軸方向に離間した位置に配置され、NEGユニット２０９及びNEG材２０１が前

方に、ヒーター２１２が後方に、配置される。

[0032] このとき、ヒーター２１２とNEGユニット２０９及びNEG材２０１とを異なる高さに配置し、両者の横方向の位置を重ねることで引出電極２０３が横方向に大きくなることを防ぐ。この結果、NEGユニット２０９を備えても引出電極２０３を小型化できる。引出電極２０３が小型化されることで電子銃真空容器１２１と電子銃１２２が小型化され、電子銃１２２の機械振動に対する耐性が向上し、荷電粒子線装置の分解能が向上する。また、荷電粒子線装置を設置する床面積が低減し、コストが低減する。その他に、ヒーター２１２に対して、NEGユニット２０９とNEG材２０１とが異なる高さに配置されることで、ヒーター２１２を高さ方向に長くでき、ヒーター２１２の接触面積が増えることで熱を伝える効率が向上する。

[0033] 熱吸収板２５０は、ヒーター２１２に対向し、かつ、ヒーター２１２を直接見込む位置に配置される。熱吸収板２５０とヒーター２１２とは非接触である。熱吸収板２５０は、NEGユニット２０９に接続される。熱吸収板２５０は、ヒーター２１２から放出する輻射熱を吸収して高温になり、この熱をNEGユニット２０９に伝えることでNEG材２０１の加熱効率を向上する。この作用を図３で説明する。

[0034] 図３を用いて熱吸収板２５０がNEG材２０１の加熱効率を向上する作用の一例について説明する。熱伝導経路３０１で示したように、ヒーター２１２で発生した熱は引出電極側壁２１０を介してNEGユニット２０９に伝わる。ここで５００℃以上に加熱したヒーター２１２からは輻射熱３０２が放出される。熱吸収板２５０をヒーター２１２を直接見込む対向した位置に配置することで、輻射熱３０２は熱吸収板２５０に吸収され、熱吸収板２５０が高温に加熱される。輻射熱３０２の熱量は、シュテファンボルツマンの式に従い、ヒーター２１２の温度の四乗と熱吸収板２５０の温度の四乗の差に比例する。熱吸収板２５０の温度が上がることで輻射熱３０２が減少し、ヒーター２１２はより少ない電力で温度が上がる。熱吸収板２５０はNEGユニット２０９に接続されることから、熱伝導経路３０３で示したように、熱

吸収板 250 から NEG ユニット 209 に熱が伝わる。

[0035] この結果、NEG ユニット 209 には熱伝導経路 301 と熱伝導経路 303 の二つの経路からヒーター 212 の熱が伝わり、効率的に加熱される。別の言い方をすれば、ヒーター 212 から NEG ユニット 209 への熱伝導の熱抵抗が小さくなり、ヒーター 212 と NEG ユニット 209 の温度差が小さくなる。または、熱抵抗が小さくなることで少ない電力でヒーター 212 と NEG ユニット 209 を高温に加熱できる。熱吸収板 250 は NEG ユニット 209 と別の部品で組み立てて接続してもよく、または、同一の材料から一体で製作してもよい。

[0036] NEG ユニット 209 から内部の NEG 材 201 には、熱輻射経路 304 や熱伝導経路 305 で示した経路で熱が伝わる。この結果、NEG 材 201 が高温に加熱されて活性化され、排気能力が発現する。NEG 材 201 は NEG ユニット 209 に全体が囲まれて内包され、NEG ユニット 209 の外部に突出して配置されることはない。従って、NEG 材 201 全体が均一に加熱され、温度に偏りが生じて活性化が不足する箇所は発生しない。この結果、排気速度が最大化される。より好適には、全ての NEG 材 201 は NEG ユニット 209 と熱的に接触させ、NEG 材 201 と NEG ユニット 209 との温度差を最小化する。

[0037] NEG ユニット 209 の内部には熱伝導板 251 を配置してもよい。熱伝導板 251 を用いることで NEG 材 201 の加熱効率が向上し、複数の NEG 材 201 の温度が均一になる。熱伝導板 251 は、複数の NEG 材 201 を接触させて配置する。従って、NEG 材 201 の間で熱が移動して温度の偏りがなくなり、活性化不足の箇所なく、排気速度が最大化される。熱伝導板 251 は、NEG ユニット 209 と接触させてもよい。この場合、熱伝導経路 306 と 307 で示したように、NEG ユニット 209 から NEG 材 201 へと効率的に熱が伝わり、両者の温度差がさらに小さくなる。

[0038] なお、本構成において、各部品の加熱時の温度は高い順に、ヒーター 212、熱吸収板 250、NEG ユニット 209、NEG 材 201 となる。加熱

時の熱は、温度が高いものから低いものへと熱伝導または熱輻射で伝わる。

[0039] NEG材201は、ヒーター212の下方に配置することでより温度が高くなる。熱伝導経路308と熱輻射経路309, 310, 311で示したように、加熱時の引出電極203からは外部に向かって熱が逃げる。引出電極側壁210は、碍子252を介して電子銃真空容器121に接続される。ここで、電子銃真空容器121は室温の外気にさらされるために温度が低い。従って、電子銃真空容器121とヒーター212との間には大きな温度差が生じ、熱伝導経路308の熱量は、熱輻射経路309, 310, 311と比べて大きくなる。

[0040] NEG材201をヒーター212よりも上方、すなわちヒーター212と電子銃真空容器121との間に配置した場合、電子銃真空容器121に多くの熱が奪われるため、ヒーター212と比べてNEG材201の温度は急激に低下し、活性化できない場合がある。一方、NEG材201をヒーター212の下方に配置すると、この位置から奪われる熱は熱輻射経路309, 311で示した輻射熱のみとなり、その熱量は熱伝導経路308と比べて少ない。この結果、NEG材201はヒーター212と同程度の高い温度が維持される。

[0041] その他に、NEG材201をヒーター212の下方に配置することで、チップ204のまわりの圧力をより低減できる。チップ204のまわりの圧力は、チップ204とNEG材201との間の排気経路を短くしてコンダクタンスを大きくし、実効排気速度を高めるほど低減される。チップ204は引出電極下部211に対向した位置に配置され、引出電極203全体では下方に配置される。そこで、NEG材201も引出電極203の下方に配置することでチップ204までの排気経路の距離が短くなる。そこで、NEGユニット209は引出電極下部211に接続し、NEGユニット209の上方にヒーター212を配置することで実効排気速度を向上できる。

[0042] また、NEG材201の位置をそのままに、ヒーター212をNEG材201の下方に配置した場合、チップ204と引出電極下部211の下辺との

距離が長くなる。このとき、引出電極下部 2 1 1 と加速電極 1 1 3 が向かい合う空間に形成される静電レンズとチップ 2 0 4 との距離が長くなり、収差が増加することで分解能が悪化する。このため、NEG 材 2 0 1 の上方にヒーター 2 1 2 を配置することでチップ 2 0 4 と引出電極下部 2 1 1 の下辺との距離を短くすることで、静電レンズの収差を最小限にできる。

[0043] さらに、NEG 材 2 0 1 をヒーター 2 1 2 の下方に配置することで、ヒーター 2 1 2 の配線 3 1 2 の実装が容易になる。ヒーター 2 1 2 は通電加熱をするために配線 3 1 2 をもつ。配線 3 1 2 は、電子銃真空容器 1 2 1 の上面に設けられた図示していないフィードスルーに接続され、外部電源から電力が供給される。この配線 3 1 2 は、他の電極と接触してショートさせないようにする必要がある。また、単純な構成にして電子銃を小型化するためには、配線 3 1 2 の長さは短くする必要がある。NEG 材 2 0 1 をヒーター 2 1 2 の下方に配置することで、フィードスルーとの距離が短くなり、配線の 3 1 2 の長さを短くできる。また、ヒーター 2 1 2 の上方に配線 3 1 2 を置く自由な空間ができることから、配線 3 1 2 の構成を単純にでき、ショートを防ぐことが容易となる。

[0044] 以上のヒーター 2 1 2 と NEG 材 2 0 1 との配置をまとめると、ヒーター 2 1 2 を上方、NEG 材 2 0 1 を下方に配置することで、電子銃 1 2 2 の小型化に加えて、NEG 材 2 0 1 の加熱温度向上と実効排気速度の向上、静電レンズの収差低減、ヒーター 2 1 2 の配線 3 1 2 の簡易化といった効果が実現する。別の言い方をすれば、電子線 1 0 1 が放出される進行方向に対して、最初にヒーター 2 1 2、次に NEG 材 2 0 1 の順番に配置されることで、上記の効果が実現する。

[0045] 熱吸収板 2 5 0 とヒーター 2 1 2 とを非接触にすることで、少ない電力でヒーター 2 1 2 と NEG 材 2 0 1 を高温にできる。熱輻射経路 3 1 0 で示したように、熱吸収板 2 5 0 からは外部へ輻射熱が逃げる。熱吸収板 2 5 0 をヒーター 2 1 2 と接触させ、同じ高い温度にすると、熱輻射経路 3 1 0 の輻射熱が大きくなり、加熱に必要な電力が大きくなる。

[0046] しかしながら、熱吸収板 250 とヒーター 212 とを非接触にすることで、熱吸収板 250 の温度はヒーター 212 よりもわずかに低くなり、その四乗に比例して熱輻射経路 310 の輻射熱が小さくなる。この結果、外部に逃げる熱量が減り、少ない電力で高温に加熱できる。その他に、ヒーター 212 はセラミックヒーターであり、その寸法精度は良くない。このため、ヒーター 212 の内外両面を他の電極と接触させて組み立てることは難しい。熱吸収板 250 とヒーター 212 とを非接触にすることで組み立てが容易になる。

[0047] 熱吸収板 250 のその他の作用として、ヒーター 212 の帯電防止がある。図 2 に示したように、電子線 101 が絞り 215 や加速電極 113 に衝突すると、ここから反射電子が放出され、第二真空室 106 の内部を散乱する。ヒーター 212 はセラミック製であり、反射電子が衝突すると帯電する。帯電したヒーター 212 は意図しない電位分布を形成し、電子線 101 の軌道を曲げる。この結果、軸外収差による分解能低下や、軌道のずれで電子線 101 が試料 102 まで届かない場合がある。その他に、ヒーター 212 の帯電が進むと、周囲の電極との間で放電が起こる。この結果、電圧変動が生じてチップ 204 の溶損や電極の破壊などの不具合が生じる。

[0048] しかしながら、本発明のようにヒーター 212 と対向させた位置に金属製の熱吸収板 250 を配置することで、ヒーター 212 に反射電子が衝突することが防がれ、帯電が防止される。熱吸収板 250 は金属製であるため、それ自身は帯電しない。また、表面で反射電子をさらに反射させることで、ヒーター 212 から反射電子を遠ざけることで衝突の機会を低減する。熱吸収板 250 の上端は、ヒーター 212 の上端よりも高くし、反射電子がヒーター 212 まで回り込むことを防ぐ。これらの結果、ヒーター 212 の帯電が防がれ、電子線の軌道のズレや放電が防がれる。

[0049] 図 8 を用いて、NEG ユニット 209 の内部の NEG 材 201 の構成の一例を説明する。図 8 は、NEG 材 201 の一部を拡大した斜視図である。NEG 材 201 は、より好適には焼結した多孔質のバルク材を用い、NEG ユ

ニット209の内部に複数個を並べる。NEG材201を複数個用いることで、総体積が同じ単一のNEG材を配置した場合と比べて、真空に面するNEG材の表面積が増える。このため、ガスを吸着する表面が増え、排気速度が向上する。また、焼結したNEG材は、表面にマイクロメートルオーダの凹凸をもつため実効的な表面積が大きい。従って、表面が平滑なNEG材と比べて排気速度が高く、圧力をより低減できる。

[0050] NEG材201は円柱構造とし、その側面を互いに接触させて密に並べることでNEGユニット209内の実装個数を増やす。NEG材201同士が接触する箇所は真空に露出せず、真空排気に寄与しないが、NEG材201に円柱構造をもたせ、円と円とを接触させることで接触面積は最小限になる。この結果、NEG材201が真空に露出する総面積が増え、排気速度が最大化される。NEG材201は、個数を増やすほど総排気速度が向上する。NEG材201は、高さ方向に二段以上積み重ねてもよく、半径方向に二列以上並べてもよい。なお、図8で説明する半径方向とは、図2での横方向に相当する。NEG材201の構造は、球構造や側面が曲面である立体構造でもよい。この場合も、NEG材201同士が接触する面積が最小化される。

[0051] NEG材201に多孔質の焼結体を用いた場合、その熱伝導率は悪いために複数のNEG材201の個体間や、単一のNEG材201の内部において温度差ができ、活性化できない部分が生じる場合がある。しかし、熱伝導板251を用いることで温度差が均一化され、全体が活性化されやすくなる。熱伝導板251を用いる場合、上段のNEG材802と下段のNEG材803とで示したように、熱伝導板251の上下にNEG材201を配置してもよい。熱伝導板251の幅はNEG材201の直径よりも狭くし、上段のNEG材802の下面や下段のNEG材803の上面の一部を真空に露出させる。この結果、排気に寄与する表面積が増えて排気速度が向上する。

[0052] 上段のNEG材802と下段のNEG材803とが同一の熱伝導板251に接触されることで、NEG材201を高さ方向に複数段配置した場合であっても段によってNEG材201の温度に差ができることが防がれる。この

結果、NEG材201全体が均一に加熱されて活性化される。熱伝導板251には、上段のNEG材802と下段のNEG材803に加えて、円周方向のNEG材804またはNEG材805を接触させ、少なくとも3個以上を接触させる。この結果、高さ方向と円周方向の二方向の温度が均一化される。

[0053] 熱伝導板251は円周方向に周期的に複数個配置し、より好適には全てのNEG材201をいずれかの熱伝導板251に接触させる。この結果、NEGユニット209内の全てのNEG材201の温度が均一化される。なお、NEG材201を半径方向に複数列並べる場合であっても、列の間に熱伝導板251を設け、異なる列のNEG材201を同一の熱伝導板251に接触させることで、列による温度の偏りが防がれる。

[0054] 熱伝導板251には、開口801を設けてもよい。開口801を設けることで、NEG材201のうち熱伝導板251と接触せずに真空中に露出した面が増える。この結果、排気速度が向上する。熱伝導板251を用いることで、NEG材201の加熱温度の均一化と露出面積増加による排気速度向上とが両立される。

[0055] NEG材は一般的に大気暴露と活性化を繰り返すと、吸着物が内部に拡散して貯まり、排気速度が低下して寿命となる。しかし、立体構造をもつバルクのNEG材は十分な体積をもつことから、吸着物が内部に拡散できる容量が大きい。このため、活性化の繰り返しに対する寿命が長い。NEG材201に焼結したバルク材を用いることで排気速度の向上だけでなく、長寿命化も実現する。

[0056] 図4を用いて、引出電極203の外側表面401の輻射率がNEG材201の加熱効率を向上する作用の一例を説明する。熱輻射経路309, 310, 311で示したように、引出電極203からは外部に向けて熱が逃げる。このとき、引出電極203の外側表面の輻射率を低くすることで輻射熱が低減し、より低い電力でヒーター212とNEG材201を高温に加熱できる。そこで、熱吸収板250とNEGユニット209と引出電極下部211の

外側表面 401 は、電解複合研磨などを用いて表面粗さを  $R_a = 1 \mu m$  以下にし、輻射率を 0.3 以下、より好適には 0.1 以下にする。また、外側表面 401 に電極の母材とは異なる輻射率の低い金属、例えば金、銀、銅、アルミニウム、窒化チタンなどを成膜してもよい。

[0057] その他に、熱吸収板 250 の内側表面 402 は、輻射率が高いほどヒーター 212 から放出する輻射熱 302 を吸収する。この結果、熱吸収板 250 の温度が高くなり、NEG 材 201 の温度も高くなる。そこで、内側表面 402 の表面粗さは  $R_a = 1 \mu m$  よりも大きくし、輻射率を 0.3 以上にする。また、内側表面 402 に電極の母材と異なる輻射率の高い材料、例えば炭素やその化合物、金属酸化物を成膜してもよい。

[0058] 図 4 で説明した構成を別の言い方でまとめると、熱吸収板 250 は内側表面よりも外側表面の輻射率を低くすることで、NEG 材 201 の加熱効率が向上される。また、別の言い方をすれば、熱吸収板 250 のヒーター 212 と向き合う内側の輻射率を反対の外側の輻射率よりも高くすることで、少ない電力で NEG 材 201 を高温に加熱できる。また、その他の言い方では、熱吸収板 250 の内側の表面粗さを反対の外側の表面粗さよりも大きくすることで、少ない電力で NEG 材 201 を高温に加熱できる。また、その他の言い方では、熱吸収板 250 の内側と外側の表面に異なる材料を露出させ、内側の輻射率を外側の輻射率よりも高くすることで、少ない電力で NEG 材 201 を高温に加熱できる。

[0059] 本発明のように NEG 材 201 を引出電極 203 の内部に配置することで第一真空室 105 と電子源（荷電粒子源）まわりの圧力を効率的に低減する構成では、NEG 材 201 のまわりに空間を設けてコンダクタンスを向上し、実効排気速度を高くする必要がある。一方、NEG 材 201 のまわりに空間を設けると、NEG 材 201 への熱伝導の経路が狭くなり、熱が伝わりにくいことで NEG 材 201 の加熱温度が低くなり、活性化されずに排気速度が低下する場合がある。すなわち、引出電極 203 内に NEG 材 201 を配置する構成では NEG の実効排気速度向上と活性化温度向上とがトレードオ

フの関係になる。特に、NEG材201が立体構造をもつバルク材である場合、NEG材201の立体構造内で温度分布が生じ、一部の温度が上がらずに活性化されず、排気能力が低減する場合がある。

[0060] しかしながら、本発明のように熱吸収板250を用いて輻射熱を利用することでNEG材201の加熱効率が向上され、NEG材201の加熱温度が十分に高くなって活性化される。別の言い方では、ヒーター212とNEG材201との間の熱抵抗が低減されて両者の温度差が小さくなり、加熱効率が向上する。また別の言い方をすれば、ヒーター212の電力を少なくしてもNEG材201を高温に加熱できる。その他に、NEGユニット209や熱伝導板251を用いてNEG材201を取り囲み、均一に熱を伝えることで、NEG材201の内部に温度の偏りがなくなり、全体が一様に活性化されることで排気速度が最大化される。

[0061] またその他に、ヒーター212とNEG材201とを異なる高さに配置し、ヒーター212を上方、NEG材201を下方に配置することで、電子銃122が小型化され、かつ、NEG材201の加熱温度と実効排気速度が向上する。別の言い方をすれば、電子線101が放出される進行方向に対して、最初にヒーター212、次にNEG材201の順番に配置することで、電子銃122が小型化され、かつ、NEG材201の加熱温度と実効排気速度が向上する。以上の構成の結果、NEG材201が十分高温で活性化されることで電子源（荷電粒子源）まわりの圧力が効率的に低減され、安定した電子線を提供し、かつ、小型な電子銃及び荷電粒子線装置が提供される。

[0062] 図5を用いて、熱吸収板250がNEG材201の加熱効率を向上する効果の一例について説明する。図5は、ヒーター212の入力電力に対するNEG材201の温度を示す。なお、電力は、熱吸収板250がある場合にNEG材201が500℃になる電力を1として正規化した。熱吸収板250を設けることで、ヒーター212からNEG材201へと熱が伝わりやすくなり、さらに引出電極203から外部へと逃げる熱が低減する。この結果、熱吸収板250がない場合と比べて、同じ電力であってもNEG材201の

温度が高くなる。従って、NEG材201の活性化が十分に行われて排気速度が向上し、第一真空室105の圧力が低減される。

[0063] なお、熱吸収板250がない場合であっても、ヒーターの電力を高くすることでNEG材201を500℃まで加熱できる。しかしながら、この場合、ヒーター212や引出電極203の温度が過剰に高くなり、電極の歪みや低融点材料の蒸発が起こる。この結果、電極の歪みによって引出電極203を取り外して組み直すことができず、CFE電子源202やNEGユニット209の交換ができなくなる。また、低融点材料の蒸発によって蒸発した金属が碍子などに蒸着されることで放電が生じ、電子銃122が使用できなくなる。このため、本発明のように少ない電力でヒーター212や引出電極203を過剰に高温にすることなくNEG材201を高温に加熱することで、これらの不具合を防止できる。

[0064] 図6を用いて、熱吸収板250が電子線の電流を安定化する効果の一例について説明する。図6は、第二真空室106の圧力に対する電子線の安定時間を示す。なお、安定時間は、熱吸収板250がない場合において、第二真空室106の圧力が $1 \times 10^{-9}$  Paであるときの安定時間を1として正規化した。NEGの活性化は、NEG表面の吸着物質が内部に拡散して清浄表面が作られることで行われる。吸着物質の拡散速度は温度の指数乗で増え、加熱温度が数%上がると拡散速度は数倍向上する。このため、NEGの加熱温度がわずかに増えることで排気速度は大きく変わる。

[0065] 本発明では、熱吸収板250を設けてNEG材201の加熱温度を向上し、十分な活性化を行うことでNEG材201の排気速度を向上させる。この結果、第二真空室106の圧力が同じであっても、熱吸収板250がない場合と比べて第一真空室105の圧力が低減され、CFE電子源202から放出する電子線の安定時間が向上する。その他に、熱吸収板250を設けたことで、同じ安定時間を得るために必要な第二真空室106の圧力を高くできる。このため、補助NEGポンプ112やイオンポンプ111を小型化または省力することが可能になり、荷電粒子線装置の小型化とコスト低減ができ

る。

## 実施例 2

[0066] 実施例 1 では、熱吸収板 250 を用いて NEG 材 201 の加熱効率を向上し、活性化する構成を説明した。実施例 2 では、熱反射板 701 を備えた構成について説明する。なお実施例 2 には、実施例 1 で説明した構成や機能の一部を適用できるので、同様の構成、機能については同じ符号を用いて説明を省略する。

[0067] 図 7 を用いて、熱反射板 701 が NEG 材 201 の加熱効率を向上することの一例について説明する。本実施例では、引出電極 203 を囲むように第二真空室 106 内に熱反射板 701 が配置される。熱反射板 701 は、ステンレススチール、チタン、パーマロイ等で作られ、碍子 252 を介して電子銃真空容器 121 に接続される。熱反射板 701 は中央の下部に開口 704 を備え、CFE 電子源 202 から放出する電子線 101 はこの開口 704 を通過して下方の加速電極 113 や絞り 215 に進む。熱反射板 701 は引出電源 109 と電氣的に接続され、引出電圧が印加される。なお、熱反射板 701 に印加される電圧は、その他の電圧であってもよい。

[0068] 熱輻射経路 309, 310, 311 で示したように、加熱時の引出電極 203 からは外部に向かって輻射熱が逃げる。熱反射板 701 がない場合、引出電極 203 は室温の外気にさらされた温度の低い電子銃真空容器 121 と向き合う。ここで、輻射熱は向かい合う物体の温度の四乗の差に比例することから、熱輻射経路 310, 311 の輻射熱は比較的大きくなり、引出電極 203 から多くの熱量が奪われる。一方、本実施例のように引出電極 203 を囲む位置に熱反射板 701 を設けることで、引出電極 203 と熱反射板 701 とが向き合う。熱反射板 701 の温度は、引出電極 203 と電子銃真空容器 121 の温度の間になり、熱輻射経路 310, 311 で示した輻射熱が低減される。この結果、引出電極 203 から逃げる熱量が減り、ヒーター 212 の入力電力を少なくしても NEG 材 201 を高温に加熱できる。

[0069] 熱反射板 701 の表面は、電解複合研磨などを用いて表面粗さを  $R_a = 1$

$\mu\text{m}$ 以下にし、輻射率を0.3以下、より好適には0.1以下にする。また、熱反射板の母材と異なる輻射率の低い金属、例えば金、銀、銅、アルミニウム、窒化チタンなどを成膜してもよい。熱反射板701の内側表面の輻射率を低減することで、引出電極203から放出する輻射熱が熱反射板701に吸収されにくくなり、熱輻射経路310、311の熱量が低減される。この結果、少ない電力でNEG材201を高温に加熱できる。その他に、熱反射板701の外側の輻射率を低減することで、熱輻射経路703で示した熱反射板701から電子銃真空容器121に伝わる輻射熱が低減する。この結果、熱反射板701の温度が上がり、熱輻射経路310、311で示した輻射熱がさらに低減される。この結果、ヒーター212の入力電力をさらに少なくしてもNEG材201を高温に加熱できる。

[0070] 引出電極203の下面は、加速電極113と向き合うことから、引出電極203から熱輻射経路309で示した熱が逃げる。そこで、加速電極113には第二のヒーター702を設けてもよい。第二のヒーター702はセラミックヒーターであり、加速電極113に接触させて配置する。また、第二のヒーター702は第三真空室107に配置し、定常的な脱ガスがある場合でも、第二真空室106の圧力を悪化させることはない。第二のヒーター702は、ヒーター212を加熱するのと同じ時期に加熱させ、加速電極113と絞り215を500℃程度にする。この結果、引出電極203と加速電極113との温度差が小さくなり、熱輻射経路309の輻射熱が低減される。従って、引出電極203から逃げる熱量が減り、ヒーター212の入力電力をさらに少なくしてもNEG材201を高温に加熱できる。その他に、加速電極113と絞り215を加熱することで、これらに電子線101が衝突した際に放出する電子衝撃脱離ガスが低減する。この結果、第二真空室106の圧力の悪化が防がれる。

[0071] 以上、本発明の複数の実施例について説明した。本発明は、上記実施例に限定されるものではなく、発明の要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる。例えば、チップ204として、タングステン単結晶の代わ

りに、C e B 6 や L a B 6 などの低仕事関数材料や、炭素被服材料のような表面が不活性な材料が用いられてもよい。また、先端の曲率半径を数十 nm や数原子から一原子程度までに先鋭化したナノワイヤ電子源や、単原子電子源が用いられてもよい。また、本発明が適用できる荷電粒子源は、C F E 電子源に限らずショットキー電子源やイオン源にも適用できる。特にイオン源としてガス電界電離イオン源が挙げられ、チップ 2 0 4 に < 1 1 1 > 結晶方位のタングステン単結晶を用い、引出電極 2 0 3 に対してチップ 2 0 4 に正の電圧を印加することで、その他はほぼ同じ装置構成であってもチップ 2 0 4 から荷電粒子線としてイオンを放出することができる。その他に、ショットキー電子源から安定な放出電流を得るためには、 $1 \times 10^{-7}$  Pa 以下の超高真空が必要である。本発明を適用することで、電子源（荷電粒子源）まわりの効率的な真空排気を実現でき、効率的な真空排気と荷電粒子線装置の小型化を両立できる。また、第二真空室の圧力上昇の影響が低減され、安定な放出電流を維持しやすくなる。

## 符号の説明

[0072] 1 0 1 … 電子線、1 0 2 … 試料、1 0 3 … 鏡体、1 0 4 … 試料室、1 0 5 … 第一真空室、1 0 6 … 第二真空室、1 0 7 … 第三真空室、1 0 8 … 第四真空室、1 0 9 … 引出電源、1 1 0 … フラッシング電源、1 1 1 … イオンポンプ、1 1 2 … 補助 N E G ポンプ、1 1 3 … 加速電極、1 1 4 … 加速電源、1 1 5 … イオンポンプ、1 1 6 … コンデンサレンズ、1 1 7 … 検出器、1 1 8 … ターボ分子ポンプ、1 1 9 … 対物レンズ、1 2 0 … 配管、1 2 1 … 電子銃真空容器、1 2 2 … 電子銃、1 2 3 … サプレッサ、1 2 4 … サプレッサ電源、2 0 1 … N E G 材、2 0 2 … C F E 電子源、2 0 3 … 引出電極、2 0 4 … チップ、2 0 5 … フィラメント、2 0 6 … ピン、2 0 7 … 碍子、2 0 8 … 保持部、2 0 9 … N E G ユニット、2 1 0 … 引出電極側壁、2 1 1 … 引出電極下部、2 1 2 … ヒーター、2 1 3 … 差動排気口、2 1 4 … 絞り、2 1 5 … 絞り、2 1 6 … 開口、2 5 0 … 熱吸収板、2 5 1 … 熱伝導板、2 5 2 … 碍子、3 0 1 … 熱伝導経路、3 0 2 … 輻射熱、3 0 3 … 熱伝導経路、3 0 4 … 熱輻射

経路、305…熱伝導経路、306…熱伝導経路、307…熱伝導経路、308…熱伝導経路、309…熱輻射経路、310…熱輻射経路、311…熱輻射経路、312…配線、401…外側表面、402…内側表面、701…熱反射板、702…第二のヒーター、703…熱輻射経路、704…開口、801…開口、802…上段のNEG材、803…下段のNEG材、804…円周方向のNEG材、805…円周方向のNEG材。

## 請求の範囲

- [請求項1] 単結晶針と該単結晶針と接続したフィラメントと該フィラメントを保持する碍子とを備えた荷電粒子源と、  
非蒸発ゲッター材と、  
引出電極と、  
前記荷電粒子源と前記非蒸発ゲッター材とを配置し、前記引出電極の内部にある第一の真空室と、  
前記非蒸発ゲッター材を加熱するヒーターと、  
前記ヒーターと前記引出電極とを配置し、前記第一の真空室より圧力が高い第二の真空室と、  
前記引出電極に接続し、前記ヒーターと対向させて配置した熱吸収板と、を備える荷電粒子線装置であって、  
前記荷電粒子源から荷電粒子線が放出される方向に対して前記ヒーター、前記非蒸発ゲッター材が順番に配置され、且つ、前記非蒸発ゲッター材は前記第一の真空室に配置され、前記ヒーターは第二の真空室に配置されることを特徴とする荷電粒子線装置。
- [請求項2] 前記引出電極は前記第一の真空室側に開口を備えた熱伝導容器を備え、  
該熱伝導容器はその内部に複数の前記非蒸発ゲッター材を備えることを特徴とする請求項1に記載の荷電粒子線装置。
- [請求項3] 前記熱吸収板が前記熱伝導容器に接続されることを特徴とする請求項2に記載の荷電粒子線装置。
- [請求項4] 前記ヒーターの加熱時において前記熱吸収板の温度は前記非蒸発ゲッター材の温度よりも高いことを特徴とする請求項3に記載の荷電粒子線装置。
- [請求項5] 前記非蒸発ゲッター材は立体構造をもつ焼結体であることを特徴とする請求項3に記載の荷電粒子線装置。
- [請求項6] 前記非蒸発ゲッター材は曲線形状の側面もち、

複数の前記非蒸発ゲッター材が前記側面で接触されることを特徴とする請求項 5 に記載の荷電粒子線装置。

[請求項7] 前記熱伝導容器は内部に熱伝導板を備え、  
該熱伝導板は少なくとも 3 つ以上の前記非蒸発ゲッター材と接触されることを特徴とする請求項 2 に記載の荷電粒子線装置。

[請求項8] 前記熱伝導板は開口を備えることを特徴とする請求項 7 に記載の荷電粒子線装置。

[請求項9] 前記ヒーターはセラミック製であり、  
前記熱吸収板は前記荷電粒子線が生成する反射粒子が前記ヒーターに衝突することを防ぐ部材であることを特徴とする請求項 1 に記載の荷電粒子線装置。

[請求項10] 前記熱吸収板の前記ヒーターと向き合う内側の面の輻射率は外側の輻射率よりも高いことを特徴とする請求項 1 に記載の荷電粒子線装置。

[請求項11] 前記熱吸収板の内側の面の表面粗さは外側の表面粗さよりも大きいことを特徴とする請求項 10 に記載の荷電粒子線装置。

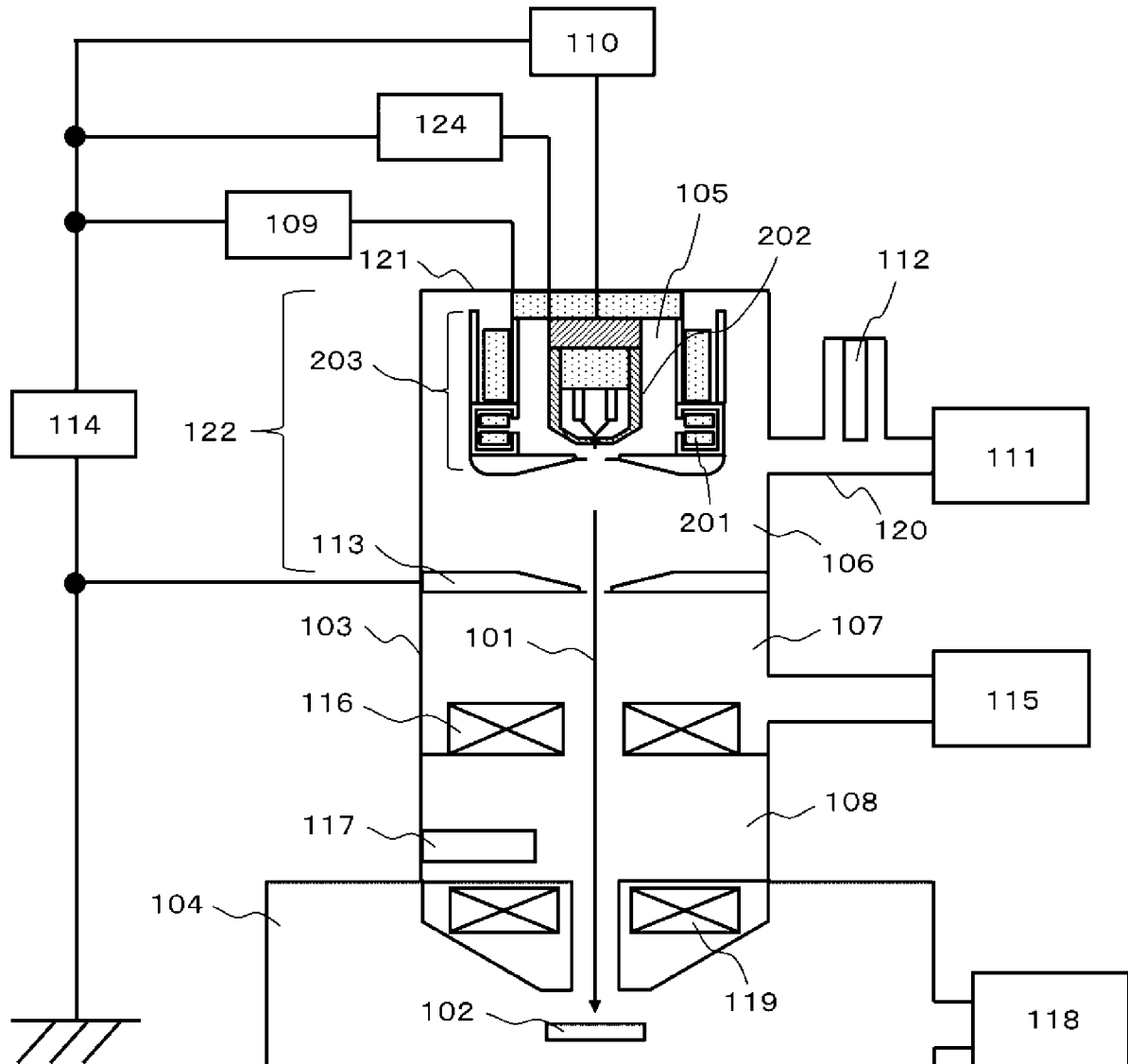
[請求項12] 前記熱吸収板の内側と外側の表面の材料が異なることを特徴とする請求項 11 に記載の荷電粒子線装置。

[請求項13] 前記第二の真空室に熱反射板を備え、  
該熱反射板は前記引出電極を囲むように配置されることを特徴とする請求項 1 に記載の荷電粒子線装置。

[請求項14] 前記引出電極と向き合う位置に加速電極を備え、  
前記加速電極は第二のヒーターを備えることを特徴とする請求項 1 に記載の荷電粒子線装置。

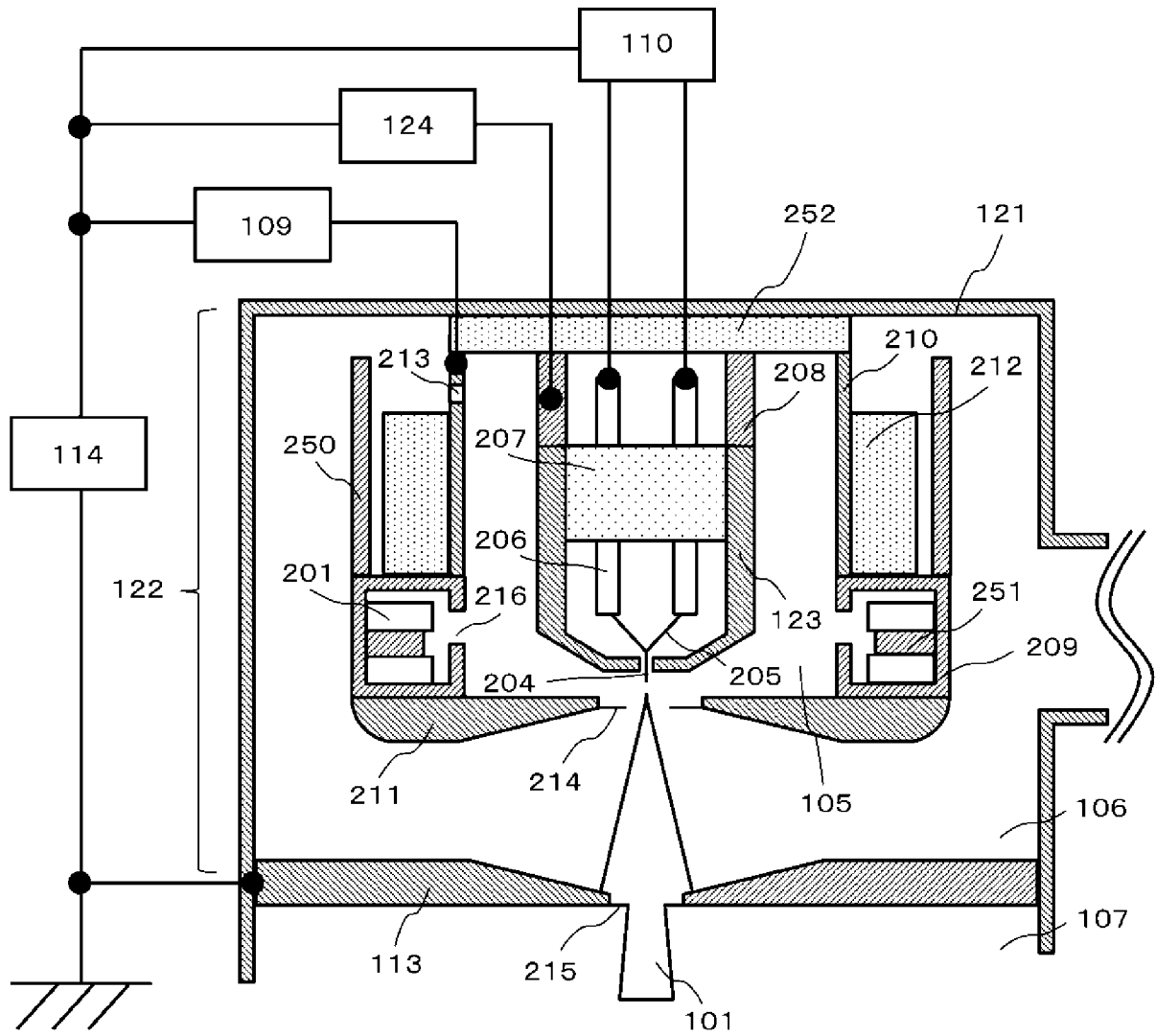
[図1]

図1



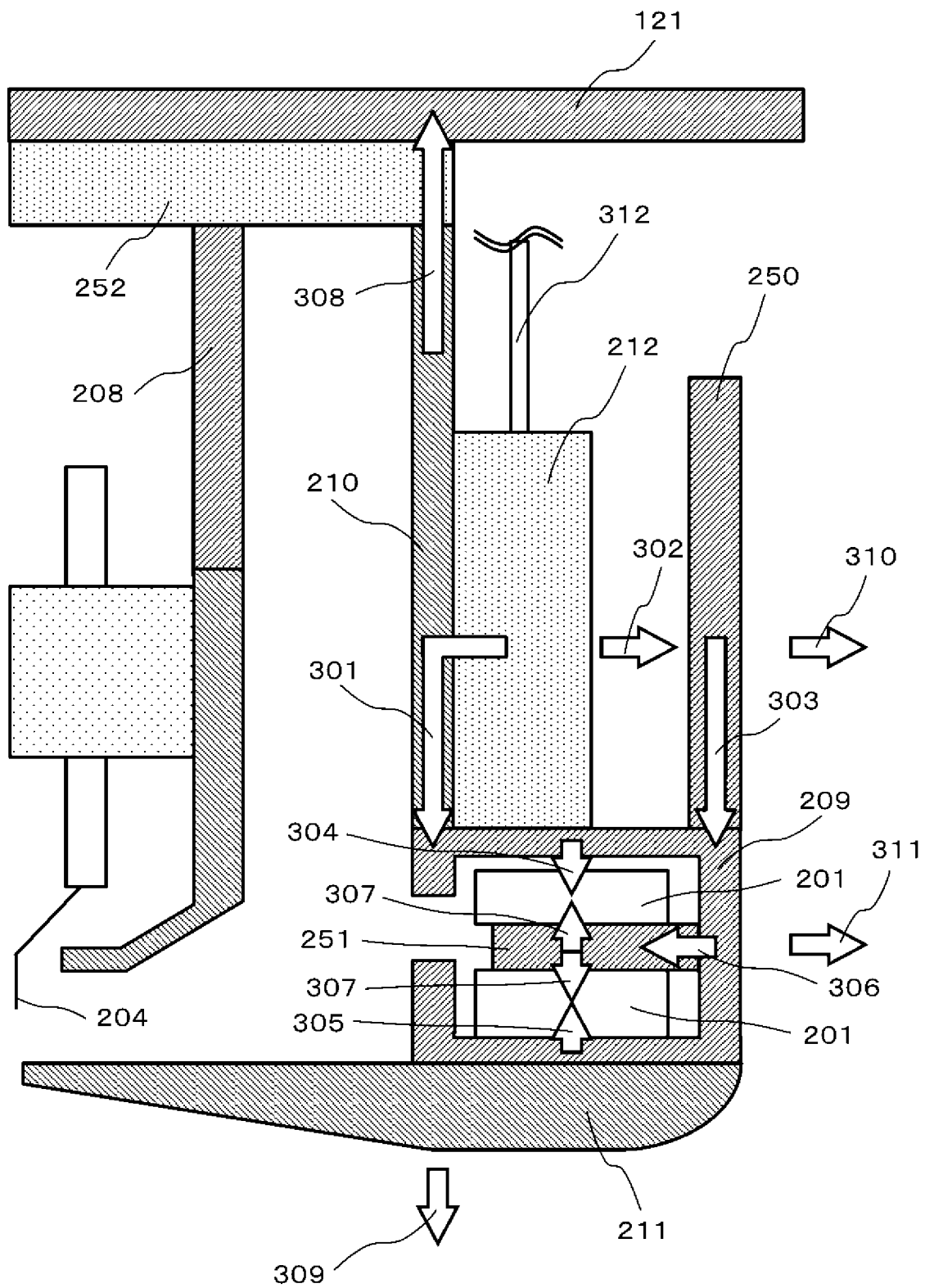
[図2]

図2



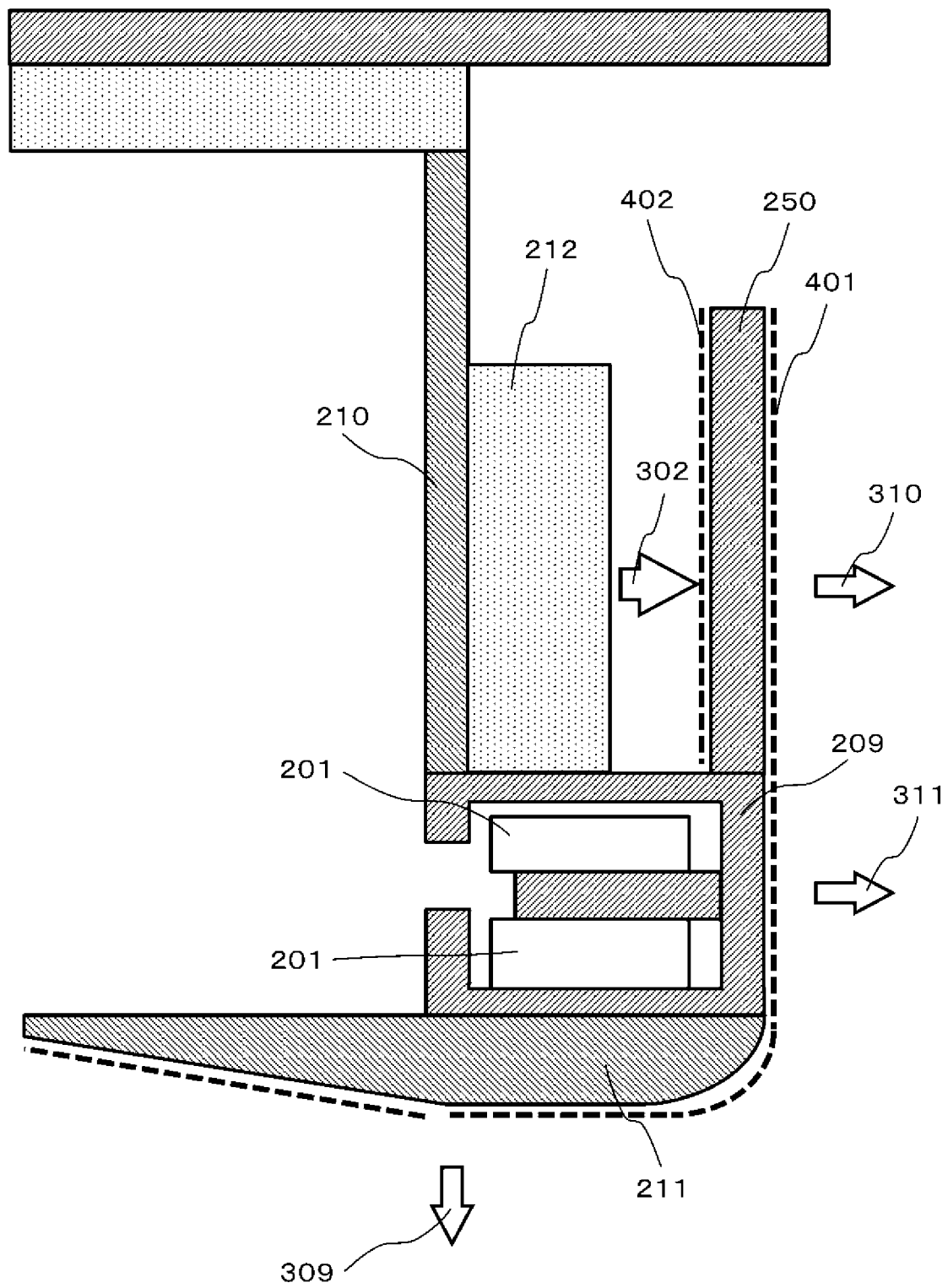
[図3]

図3



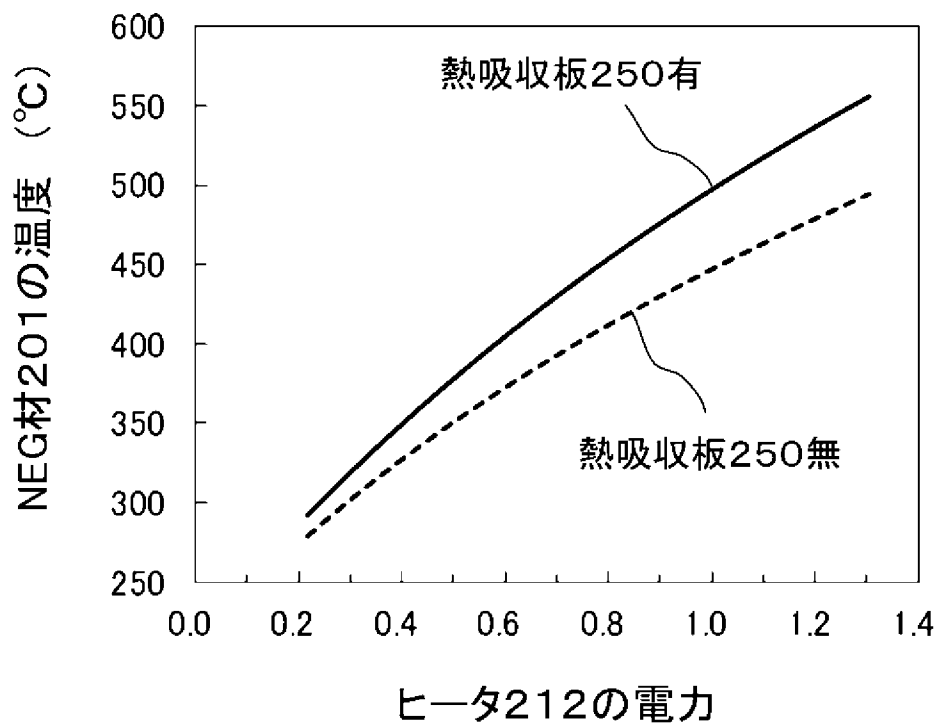
[図4]

図4



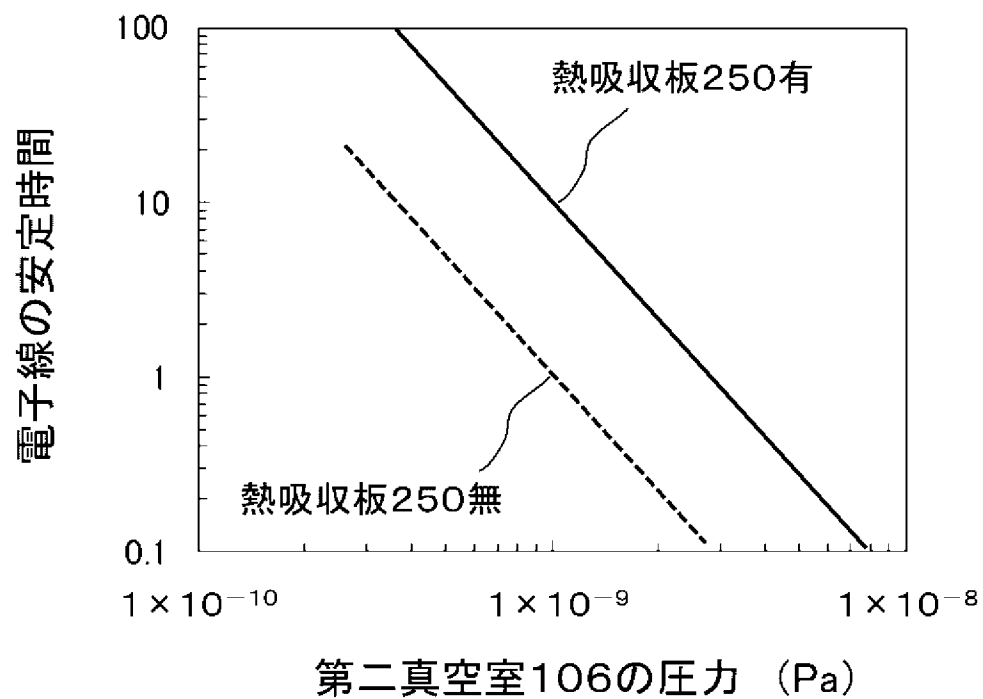
[図5]

図5



[図6]

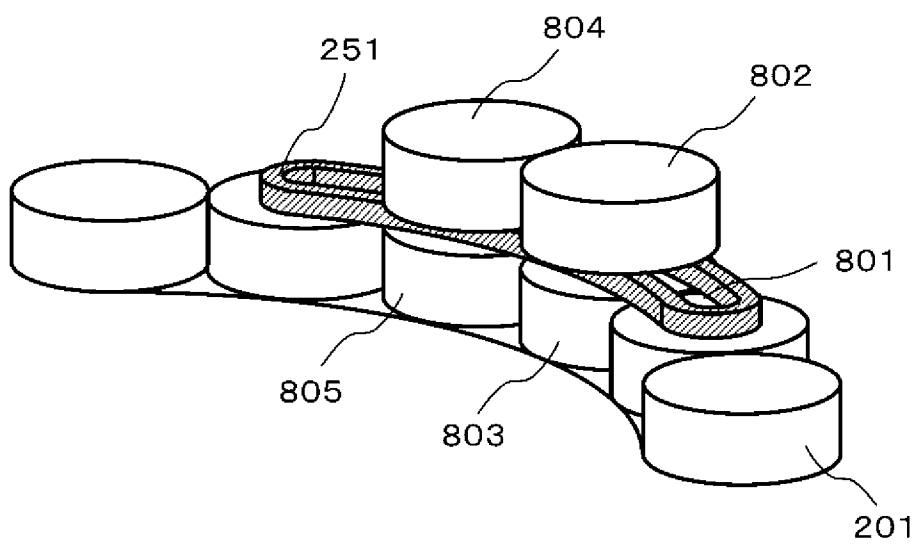
図6





[図8]

図8



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/025337

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****H01J 37/16**(2006.01)i

FI: H01J37/16

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)

H01J37/00-37/36, H01J7/18, H01J29/94

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023

Registered utility model specifications of Japan 1996-2023

Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                             | Relevant to claim No. |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP 63-202832 A (FUJITSU LIMITED) 22 August 1988 (1988-08-22)<br>entire text, all drawings                                      | 1-14                  |
| A         | JP 2010-10125 A (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) 14 January 2010<br>(2010-01-14)<br>paragraphs [0028]-[0045], fig. 1-5  | 1-14                  |
| A         | JP 2006-294481 A (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) 26 October 2006<br>(2006-10-26)<br>paragraphs [0013]-[0032], fig. 1-4 | 1-14                  |
| A         | JP 2007-157682 A (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) 21 June 2007<br>(2007-06-21)<br>paragraphs [0034]-[0059], fig. 1-6    | 1-14                  |

☐ 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

“&amp;” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

**03 August 2023**

Date of mailing of the international search report

**15 August 2023**

Name and mailing address of the ISA/JP

**Japan Patent Office (ISA/JP)****3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915****Japan**

Authorized officer

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/JP2023/025337**

| Patent document<br>cited in search report |             |   | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s)                                     | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|-------------|---|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| JP                                        | 63-202832   | A | 22 August 1988                       | (Family: none)                                              |                                      |
| JP                                        | 2010-10125  | A | 14 January 2010                      | US 2009/0294697 A1<br>paragraphs [0038]-[0055], fig.<br>1-5 |                                      |
| JP                                        | 2006-294481 | A | 26 October 2006                      | US 2006/0231773 A1<br>paragraphs [0042]-[0063], fig.<br>1-4 |                                      |
| JP                                        | 2007-157682 | A | 21 June 2007                         | US 2007/0102650 A1<br>paragraphs [0050]-[0076], fig.<br>1-6 |                                      |

| A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））<br>H01J 37/16(2006.01)i<br>FI: H01J37/16                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                              |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------|--|------------------------------------------|--|
| B. 調査を行った分野<br>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））<br>H01J37/00-37/36, H01J7/18, H01J29/94<br>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<br><table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table> 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）                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                              |                | 日本国実用新案公報     | 1922 - 1996年                                                    | 日本国公開実用新案公報                    | 1971 - 2023年                                    | 日本国実用新案登録公報                            | 1996 - 2023年                                                        | 日本国登録実用新案公報                                                   | 1994 - 2023年      |                           |  |                                          |  |
| 日本国実用新案公報                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 1922 - 1996年                                                                                 |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| 日本国公開実用新案公報                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1971 - 2023年                                                                                 |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| 日本国実用新案登録公報                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1996 - 2023年                                                                                 |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| 日本国登録実用新案公報                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1994 - 2023年                                                                                 |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| C. 関連すると認められる文献                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                              |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| 引用文献の<br>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<br>請求項の番号 |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | JP 63-202832 A（富士通株式会社）22.08.1988（1988 - 08 - 22）<br>全文および全図                                 | 1-14           |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | JP 2010-10125 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）14.01.2010（2010 - 01 - 14）<br>第[0028] - [0045] 段落および第1 - 5図  | 1-14           |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | JP 2006-294481 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）26.10.2006（2006 - 10 - 26）<br>第[0013] - [0032] 段落および第1 - 4図 | 1-14           |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | JP 2007-157682 A（株式会社日立ハイテクノロジーズ）21.06.2007（2007 - 06 - 21）<br>第[0034] - [0059] 段落および第1 - 6図 | 1-14           |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| <input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                              |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| <table border="0"> <tr> <td>*  引用文献のカテゴリー</td> <td>“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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td>“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</td> </tr> <tr> <td>“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）</td> <td>“&amp;” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“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</td> <td></td> </tr> </table> |                                                                                              |                | *  引用文献のカテゴリー | “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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの | “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの | “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 | “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 | “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 | “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） | “&” 同一パテントファミリー文献 | “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 |  |
| *  引用文献のカテゴリー                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | “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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの                              |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | “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                                              |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| “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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | “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                          |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| “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）                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | “&” 同一パテントファミリー文献                                                                            |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| “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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                              |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| 国際調査を完了した日<br>03.08.2023                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 国際調査報告の発送日<br>15.08.2023                                                                     |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |
| 名称及びあて先<br>日本国特許庁(ISA/JP)<br>〒100-8915<br>日本国<br>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 権限のある職員（特許庁審査官）<br><br>藤本 加代子 2G 4458<br><br>電話番号 03-3581-1101 内線 3226                       |                |               |                                                                 |                                |                                                 |                                        |                                                                     |                                                               |                   |                           |  |                                          |  |

国際調査報告  
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/025337

| 引用文献 |             |   | 公表日        | パテントファミリー文献             | 公表日 |
|------|-------------|---|------------|-------------------------|-----|
| JP   | 63-202832   | A | 22.08.1988 | (ファミリーなし)               |     |
| JP   | 2010-10125  | A | 14.01.2010 | US 2009/0294697 A1      |     |
|      |             |   |            | 第 [ 0 0 3 8 ] - [ 0 0 5 |     |
|      |             |   |            | 5 ] 段落および第 1 - 5 図      |     |
| JP   | 2006-294481 | A | 26.10.2006 | US 2006/0231773 A1      |     |
|      |             |   |            | 第 [ 0 0 4 2 ] - [ 0 0 6 |     |
|      |             |   |            | 3 ] 段落および第 1 - 4 図      |     |
| JP   | 2007-157682 | A | 21.06.2007 | US 2007/0102650 A1      |     |
|      |             |   |            | 第 [ 0 0 5 0 ] - [ 0 0 7 |     |
|      |             |   |            | 6 ] 段落および第 1 - 6 図      |     |