

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2006 年 4 月 20 日 (20.04.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/040850 A1

- (51) 国際特許分類⁷: H01J 27/20, 37/08, 37/30
(21) 国際出願番号: PCT/JP2005/007284
(22) 国際出願日: 2005 年 4 月 8 日 (08.04.2005)
(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2004-296890 2004 年 10 月 8 日 (08.10.2004) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 独立
行政法人科学技術振興機構 (JAPAN SCIENCE AND
TECHNOLOGY AGENCY) [JP/JP]; 〒3320012 埼玉県
川口市本町 4-1-8 Saitama (JP).
(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 櫻井 誠 (SAKU-
RAI, Makoto) [JP/JP]; 〒6570013 兵庫県神戸市灘区六

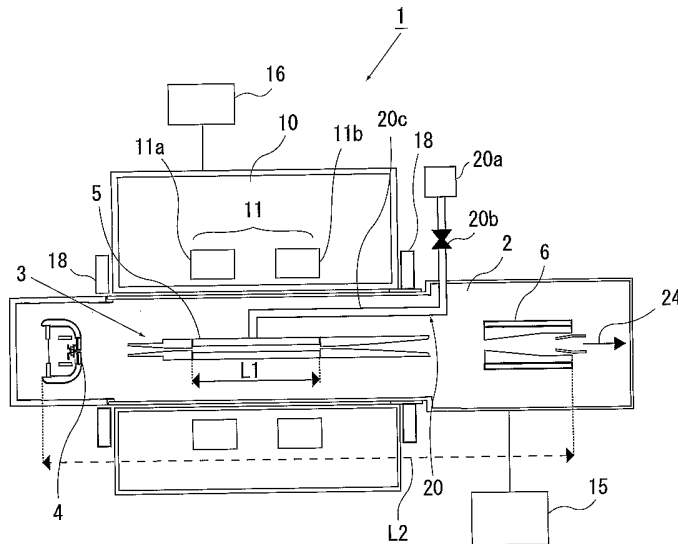
甲台町 9-1-603 Hyogo (JP). 中嶋 史晴 (NAKA-
JIMA, Fumiharu) [JP/JP]; 〒6580056 兵庫県神戸市東
灘区御影町御影字篠坪 1408-204 Hyogo (JP).
福本 卓典 (FUKUMOTO, Takunori) [JP/JP]; 〒6570012
兵庫県神戸市灘区一王山町 8-18-208 Hyogo
(JP). 中村 信行 (NAKAMURA, Nobuyuki) [JP/JP]; 〒
1820021 東京都調布市調布ヶ丘 3-61-9-102
Tokyo (JP). 大谷 俊介 (OHTANI, Shunsuke) [JP/JP]; 〒
2590124 神奈川県中郡二宮町山西 315-8 Kana-
gawa (JP). 益子 信郎 (MASHIKO, Shinro) [JP/JP]; 〒
6512111 兵庫県神戸市西区池上 5-3-6-3-
505 Hyogo (JP).

- (74) 代理人: 平山 一幸 (HIRAYAMA, Kazuyuki); 〒
1600022 東京都新宿区新宿 2-3-10 新宿御苑
ビル 6 階 Tokyo (JP).

/ 続葉有 /

(54) Title: MULTIVALENT ION GENERATION SOURCE AND CHARGED PARTICLE BEAM APPARATUS EMPLOYING SUCH GENERATION SOURCE

(54) 発明の名称: 多価イオン発生源およびこの発生源を用いた荷電粒子ビーム装置



(57) Abstract: An easy-to-manufacture multivalent ion generation source exhibiting excellent operability and maintainability while having a high degree of ionization and a high beam intensity, and a charged particle beam apparatus employing it. The multivalent ion generation source comprises an ion source electrode (3) consisting of an electron source (4), a drift tube (5) to be an ion trap region and a collector (6), a superconducting magnet (11) for trapping ions, ion introduction means (20, 22), a first vacuum container (2) containing the ion source electrode (3), a second vacuum container (10) containing the superconducting magnet (11), and vacuum exhausters (15, 16) respectively arranged for the first and second vacuum containers. The first and second vacuum containers (2, 10) are removable and can easily bake only the ion source electrode (3) requiring extremely high vacuum.

(57) 要約: 製造が容易で、操作性及び保守性に優れ、電離度が高く、ビーム強度の大きい多価イオン発生源とそれを用いた荷電粒子ビーム装置であって、多価イオン発生源は、電子源 (4) とイオン閉じ込め領域となるドリフトチューブ (5) とコレクタ (6) とからなるイオン源電極 (3) と、イオン閉じ込めのための超伝導磁石 (11) と、イオ

/ 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, LS, MW, MZ, NA, 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 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

規則4.17に規定する申立て:

— 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て (規則4.17(v))

添付公開書類:

— 国際調査報告書

— 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

ン導入手段 (20, 22) と、さらにイオン源電極 (3) を収容した第1の真空容器 (2) と、超伝導磁石 (11) を収容した第2の真空容器 (10) と、第1の真空容器及び第2の真空容器にそれぞれ配設した真空排気装置 (15, 16) とで成る。第1の真空容器 (2) と第2の真空容器 (10) は着脱可能であり、極高真空が必要なイオン源電極 (3) のみを容易にベーキングできる。

明 細 書

多価イオン発生源およびこの発生源を用いた荷電粒子ビーム装置

技術分野

本発明は、多価イオン発生源とこの多価イオン発生源を用いた荷電粒子ビーム装置に関する。

背景技術

原子から電子を取り除くと正のイオンができるが、例えば Xe^{44+} イオンのように、電子を2個以上取り去ったものを正の多価イオンと言う。多価イオンは極めて大きな内部エネルギーを持っており、多価イオンが固体表面と衝突すると、多数の二次電子が放出されたり、多価イオンの入射点まわりにナノメートルの大きさの構造変化が誘起されるなど、数多くの特異な現象が起こることが知られている（下記文献1及び2参照）。この多価イオンと物質の特異な相互作用は、単一イオンインプランテーションや量子ドット作製などのナノメートル領域のプロセス技術に応用できる可能性があり、注目を集めている（下記文献3参照）。このような多価イオンを生成するイオン源としては、電子サイクロトロン共鳴（ECR）型イオン源（ECRIS）と、電子ビーム型イオン源（EBIS）とが一般に知られている。後者は得られるイオンの電離度が高いという特徴がある。

従来例1のEBISとしては、原子物理学の研究用に開発された核融合研究所の装置が公知である（例えば、下記文献4参照）。この装置は、電子源（カソード）、ドリフトチューブ、コレクタ、ソレノイド磁石、イオン引き出し用レンズなどから構成されており、カソードから出射した電子は、磁場中に配置されたドリフトチューブを通り、コレクタに捕集される。電子は、ドリフトチューブに形成される強磁場で圧縮され大電流密度の電子ビームとなっている。一方、カソード付近から導入された気体はドリフトチューブ内でイオン化される。ドリフトチューブ電極は幾つかに分割されており、両端がイオンに対して障壁を有する井戸型ポテンシャルが形成されるように電位が与えられている。イオンは一定時間、

この井戸型ポテンシャル内に閉じ込められ、電子による衝突電離が進み、多価イオンとなる。この多価イオンのうち、電子の衝突により運動エネルギーが増加し障壁を越えたものが、イオン引き出し用レンズ側に導かれることにより、多価イオンがイオン源外部に取り出される。

さらに、1988年には、従来例1のEBISを改良した従来例2のEBIT（電子ビームイオントラップ）が開発された（下記文献5参照）。この従来例2のEBITの多価イオン発生原理はEBISと同じであるが、超伝導ヘルムホルツ型コイルを用い、ドリフトチューブを従来よりも短くして、ドリフトチューブ内のプラズマの不安定性を回避することによりイオンの閉じ込め時間を改善し、高価数の多価イオンを安定に保持できるようにしたものである。このため、EBITでは、ドリフトチューブでの電子ビームの絞込みを究極まで行い、高電離イオンを生成することを可能にした。

また、従来例3のEBITとして、ウラン（U）まで完全電離できるように、電子の加速電圧を最大300kVとした装置が、本発明者らにより開発されている（下記文献6参照。）。このEBITは、原子物理学の研究のために開発されたもので、生成可能な多価イオンの内部エネルギーとしては世界最高の性能を持っている。しかしながら、高ビーム強度を得るために装置が高価であることと、運転コストが高いという課題がある。

また、従来例4として、米国ローレンスバークレー研究所において、EBITの超伝導磁石を閉サイクル冷凍機で冷却する形式のREBITが開発されている（下記文献7参照）。

従来例5のEBITの市販品としては、ドイツのドレスデン工科大学がライボルト社と共同で永久磁石を使ったものを開発しているが、永久磁石は磁場が弱いため、超伝導磁石を用いたEBITなどよりもビーム強度が弱い（下記文献8参照）。

従来例6のEBISとして、米国ブルックヘブン研究所の装置は、超伝導磁石を、イオン生成に必要な電子源、ドリフトチューブ、コレクタ（ここでは、これらをまとめて、イオン源電極と呼ぶ）と、分離している（下記文献9参照）。しかし、この装置では、超伝導磁石をイオン源電極と分離する際には、イオン源電

極の真空を破る必要がある。このため、従来例 6 の E B I S では、超伝導磁石部分の耐熱性が弱いため、非常に長期間排気を続けないと十分な真空度が得られない。また、E B I S では、電子源、ドリフトチューブ及びコレクタ相互の中心軸を精度良く調整する必要があるが、超伝導磁石を組まない状態では、イオン源電極単体での軸合わせをすることができず、組立及び調整に多大の時間が必要であった。

文献 1 : J. W. McDonald, D. Schneider, M. W. Clark and D. DeWitt, Phys. Rev. Lett., Vol. 68, (1992), p. 2297

文献 2 : T. Meguro et al., Appl. Phys. Lett., Vol. 79, (2001), p. 3866

文献 3 : T. Schenkel et al., Appl. Phys., Vol. 94, (2003), p. 7017

文献 4 : 小林 信夫、大谷 俊介 他 7 名、名古屋大学プラズマ研究所資料・技術報告、IPPJ-DT-84、1981 年

文献 5 : M. A. Levin 他 7 名, Physica Scr., T22, 1988, p. 157

文献 6 : 大谷俊介、桜井誠、プラズマ・核融合学会誌、73、(1997)、p. 1063

文献 7 : フィジックス・アンド・テクノロジー社 (Physics & Technology)、「冷凍機冷却電子ビームイオントラップ／イオン源」(REBITS/S)、[online]、(掲載日不明)、[平成 16 年 10 月 5 日検索]、インターネット<URL:http://www.physicstechnology.com/pt_brochure.pdf>

文献 8 : G. Zschrnack, 「ドレスデンエビット」(The Dresden EBIT)、[online]、(掲載日不明)、ドレスデン工科大学原子物理グループ (atomic physics group, Technical University Dresden)、[平成 16 年 10 月 5 日検索]、インターネット<URL:http://www.physik.tu-dresden.de/apg/apubit1.htm>

文献 9 : N. Beebe et al., Rev. Sci. Instrum., Vol. 73, (2002), p. 699

従来例 1～5 の多価イオン発生源は、電子源とドリフトチューブとコレクタからなるイオン源電極及び超伝導磁石を同一真空室内に配置しており、さらに、ビーム強度が弱いことから、製作、調整、運転、保守に多大な時間とコストを要する。

さらに、従来例 6 の多価イオン発生源のように、超伝導磁石をイオン生成に必

要なイオン源電極から分離している例があるが、超伝導磁石をイオン源電極と分離する際、イオン源電極の真空を破る必要があった。このため、超伝導磁石を組み込まない状態では、イオン源電極単体での軸あわせをすることができず、組立及び調整に多大の時間を要する。

このように、従来例 1～6 の多価イオン発生源は何れも原子核物理の研究用であるために、操作性、保守性に欠点を有しており、さらに、ビーム強度が弱いため、例えば、ナノ構造体（ナノメートルオーダーの微細なデバイス）を形成するための加工に用いるための実用的な多価イオン発生源が実現されていない。

発明の開示

本発明は、上記課題に鑑み、製造が容易で、操作性及び保守性に優れ、電離度が高く、ビーム強度の大きい多価イオン発生源とそれを用いた荷電粒子ビーム装置を提供することを目的としている。

本発明者らは、上記課題を解決するために鋭意研究した結果、イオン源電極を同一真空容器内に配置し、超伝導磁石を異なる真空容器内に配置することで、製造、組立、調整が容易で、操作性・保守性に優れている多価イオン発生源を実現することを見出した。また、加速電圧を 40 kV 以下に低速化し、これに最適なイオン源電極形状と超伝導コイルとにより構成することで、多価イオンビームの高強度化、小型化を図り、本発明を完成させるに至った。

上記の課題を解決するため、本発明の多価イオン発生源は、電子源とイオン閉じ込め領域となるドリフトチューブとコレクタとからなるイオン源電極と、イオン閉じ込めのための超伝導磁石と、イオン導入手段と、を具備し、さらにこの多価イオン発生源は、上記イオン源電極を収容した第 1 の真空容器と、上記超伝導磁石を収容した第 2 の真空容器と、を備えると共に、第 1 の真空容器及び第 2 の真空容器に、それぞれ真空排気装置が配設されていることを特徴とするものである。

上記構成において、好ましくは、第 2 の真空容器は断面環状に形成され、第 1 の真空容器がこの第 2 の真空容器の環中を挿通して配置される。第 2 の真空容器は、好ましくは、第 1 の真空容器から両者の真空を破らずに脱着可能である。超

伝導磁石は、好ましくは、ヘルムホルツ型コイルを用いる超伝導磁石である。電子源の加速電圧を10～40 kVに設定すれば好ましい。

上記構成によれば、超伝導磁石を収容する第2の真空容器を、第1の真空容器から脱離させた状態で、第1の真空容器及び収容されているイオン源電極を十分に加熱して、脱ガスをすることができる。これにより、多価イオン発生のための第1の真空容器を、短時間で極高真空とすることができる。したがって、本発明の多価イオン発生源においては、イオン源電極の真空立ち上げが短時間で済むので、操作性、保守性に優れた、多価イオン発生源を実現することができる。

本発明の荷電粒子ビーム装置は、上記の多価イオン発生源を用い、試料表面に多価イオンを照射することを特徴とする。

本発明の荷電粒子ビーム装置の他の構成は、電子源とイオン閉じ込め領域となるドリフトチューブとコレクタとからなるイオン源電極と、イオン閉じ込めのための超伝導磁石と、イオン導入手段と、さらに、イオン源電極を収容した第1の真空容器と、上記超伝導磁石を収容した第2の真空容器と、第1の真空容器及び第2の真空容器にそれぞれ配設した真空排気系とを備える多価イオン発生源を具備すると共に、さらに、上記多価イオン発生源に接続された第3の真空容器及びその真空排気装置と、を備えていて、第3の真空容器内にイオン分離器と試料台とを配設し、試料台に試料を載置することにより、上記多価イオン発生源で発生した多価イオンから所望の多価イオンをイオン分離器により選択して試料表面に照射することを特徴とするものである。

上記構成において、好ましくは、荷電粒子ビーム装置は、さらに、試料の観察装置及び／又は試料の表面処理装置を備えている。

上記構成によれば、多価イオン発生源から発生した種々の多価イオンは、イオン分離器で所望の多価イオンが選択されて、試料に照射される。表面清浄化装置により、多価イオン照射前に試料表面を洗浄することができる。また、多価イオン照射時の試料形状やその結晶状態などが観察装置によりその場観察が可能である。本発明の多価イオン発生源を用いた荷電粒子ビーム装置によれば、多価イオン発生源が小型軽量であるので、ナノプロセスへ応用することができる。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明による多価イオン発生源の構成を模式的に示す断面図である。

図 2 は、図 1 に示す電子源の構成を模式的に示す拡大断面図である。

図 3 は、イオン源として固体のイオン源を有する多価イオン発生源の構成を模式的に示す断面図である。

図 4 は、本発明の多価イオン発生源に印加される電源を説明するための模式的なブロック図である。

図 5 は、本発明の多価イオン発生源を用いた荷電粒子ビーム装置の構成を模式的に示す図である。

図 6 は、実施例の多価イオン発生源に用いるヘルムホルツ型コイルを有する超伝導磁石による磁場を示す図である。

図 7 は、実施例の多価イオン発生源において、電子を 40 keV で加速したときの電子ビーム軌道の計算結果を示す図であり、(a) がカソード近傍、(b) がコレクタ近傍を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明は、以下の詳細な発明及び本発明の幾つかの実施の形態を示す添付図面に基づいて、より良く理解されるものとなろう。なお、添付図面に示す種々の実施例は本発明を特定または限定することを意図するものではなく、単に本発明の説明及び理解を容易とするためだけのものである。

図 1 は、本発明による多価イオン発生源の構成を模式的に示す断面図である。図 1 において、本発明の多価イオン発生源 1 は、第 1 の真空容器 2 内に配置されるイオン源電極 3 と、第 2 の真空容器 10 内に配置されるイオン閉じ込めのための超伝導磁石 11 と、気体イオン導入手段 20 とを具備して構成されている。イオン源電極 3 は、電子源 4 とイオン閉じ込め領域となるドリフトチューブ 5 とコレクタ 6 とから構成されている。

上記第 1、第 2 の真空装置 2、10 は独立構成であるが、第 1 の真空装置 2 は第 2 の真空装置 10 の内部を挿通するように配置されている。すなわち、本実施態様では、第 2 の真空容器 10 は断面環状で両端が開放した筒状に形成されてい

て、この筒状の第2の真空容器10の環内に第1の真空装置2が挿通して配置されている。筒状の第2の真空容器10の内部に超伝導磁石11が環状に配設されて構成されている。

第1の真空容器2及び第2の真空容器10は、それぞれ、真空排気装置15, 16により独立に排気されるようになっている。第1の真空容器2内は、多価イオン発生のためには、 1×10^{-5} Pa (パスカル) 以下、特に 1×10^{-9} Pa 以下の極高真空とする。例えば、 U^{92+} の生成には 10^{-10} Pa (10^{-12} Torr) の真空が必要である。このため、第1の真空容器2は、脱ガスのために、図示しないベーキング用ヒータなどを用いたベーキング手段を備えている。このベーキング手段を用いることで、第1の真空容器2は、 $250 \sim 300^\circ\text{C}$ 程度にまでベーキングすることができる。

ここで、第1及び第2の真空容器2, 10は、少なくともそれらの対向面が、超伝導磁石11からの磁場がドリフトチューブ5に印加されるように、非磁性材料から形成されている。非磁性材料としては、オーステナイト系ステンレス鋼（例えば、SUS-304, SUS-316）やアルミニウムを用いることができる。

第2の真空容器10には、外部と熱的に遮断するために超伝導磁石11が収容され、この超伝導磁石11は、例えば10 K (-263°C) の極低温に冷却されるようになっている。また、第2の真空容器10の真空度は、 10^{-4} Pa 程度の高真空にされる。このような高真空を得るためのベーキング手段は不要である。第2の真空容器10の第1真空容器2側の外周部には、磁気シールド18が設けられている。この磁気シールド18は、超伝導磁石11からの磁場が、イオン源電極3の電子源4及びコレクタ6側のドリフトチューブ5に漏れないようにするために配設するものである。この磁気シールド18には、軟鉄などの強磁性材料を用いればよい。

図2は図1に示す電子源4の構成を模式的に示す拡大断面図である。図示するように、電子源4は、第1の真空容器2の左側面の超高真空用フランジ2aに支持部2bを介して、第1の真空容器2の水平方向の中心軸上に配設されている。第2の真空容器10内に収容した超伝導磁石11の空隙（ボア）の直径はDで示

している。図中の矢印は排気経路を示している。電子源 4 は、左から右方向に、フィラメント（カソード）電極 4 a、フォーカス電極 4 b、アノード電極 4 c、スノート電極 4 d の順に配置され、それぞれが、絶縁碍子 4 e、4 e により絶縁されている。電子源 4 は、カソード近傍の磁場を 0（零）とするためのバックリングコイル（Buckling coil）7 を備え、磁気シールド部 8 に収容されている。

ここで、電子源 4 から発生される電子ビームを、ドリフトチューブ 5 に当てることなくコレクタ 6 に導く必要がある。このため、上記のカソード電極 4 a、アノード電極 4 c 及びスノート電極 4 d の各電極と絶縁碍子 4 e、4 e とは、嵌め合いにより組み立てることで、相互の軸を高い精度で一致させている。一例として、300 mA の電流をカソード電極 4 a から引き出す際は、フィラメント電位を基準にして、アノード電極 4 c には +10 kV、スノート電極 4 d には +15 kV の電位を与える。このように、各電極とバックリングコイル 7 及び磁気シールド部 8 には最大 +15 kV の高電圧がかかるが、各部品を小型化することで相互の絶縁を確保しながら、磁気シールド部 8 の直径を 100 mm に抑えることができる。この場合には、外径が 162 mm で内径が 102 mm の超高真空フランジ 2 a に電子源 4 を収容することができ、第 2 の真空容器 10 の電子源 4 側の直径を 152 mm に抑えることができる。

超高真空フランジ 2 a の内径は、磁気シールド部 8 及びドリフトチューブ 5 の直径よりも十分大きいので、電子源 4 領域からの放出ガスを効率良く排気することができる。このように、電子源 4 の寸法を小さくすることで、超伝導磁石 11 を収容する第 2 の真空容器 10 の環状の空隙、即ち超伝導磁石のボア径を小さくすることができる。これにより、多価イオン発生源 1 の装置の小型化が実現できる。小型化できることにより、装置の製造コスト及び運転コストの低減化が図れる。

ドリフトチューブ 5 は、幾つかに分割された円筒形電極から構成されていて、その両端が、イオンに対して、障壁（井戸型ポテンシャル）を形成するような電場配置となっている。イオンとなる気体は、気体イオン導入手段 20 により、ドリフトチューブ 5 側面から、その内部に導入される。ここで、気体イオン導入手

段 20 は、気体源 20a, 流量調整部 20b, 第 1 の真空容器 2 内への配管部 20c などから構成されている。

一方、固体をイオンとする場合には、ソースとして固体イオン源を用いればよい。図 3 は、固体のイオン源を有する多価イオン発生源の構成を模式的に示す断面図である。図 3 に示す多価イオン発生源が、図 1 に示す多価イオン発生源と異なるのは、気体イオン導入手段 20 の代わりに、コレクタ 6 の右側に固体イオン導入手段 22 を備えていることである。このような固体イオン導入手段 22 は、所望のイオンを発生させる針状の固体材料を真空アーク放電させ、イオン化（1 価）させる真空アーク型イオン源などを用いることができる。固体イオン導入手段 22 から発生したイオンは、第 1 の真空容器 2 中で、コレクタ 6 を通過して、ドリフトチューブ 5 に注入される。

上記の気体イオン導入手段 20 又は固体イオン導入手段 22 からなるイオン導入手段によりドリフトチューブ 5 に注入されるイオンは、一定時間、井戸型ポテンシャルに閉じ込められ、電子による衝突電離が進み、多価イオンとなる。この多価イオンのうち、電子の衝突により運動エネルギーが増加して障壁を越えたものが、多価イオン発生源 1 の外部に取り出される。イオンの電離度が究極、即ち、これ以上電子を当て続けても電離が進まない状態に達したときに、電場配置を変えて多価イオンが外に飛び出すようにして、多価イオンビーム 24 を生成させる。

コレクタ 6 は、ドリフトチューブ 5 を通過する電子を捕集するための電極であり、例えば、サプレッサ電極、コレクタ電極、エクストラクター電極などの電極から構成されている。カソード及びコレクタ 6 には、アースに対して、最大数十 kV から -300 kV 程度の電圧が印加されている。この加速電圧は、所望の多価イオンが得られるための電圧であればよい。電子は、ドリフトチューブ 5 の入射直前に最大加速電圧が印加され、ドリフトチューブ 5 を通過した電子は、コレクタ 6 の手前で 2 ~ 3 kV 程度に減速されてコレクタ 6 に捕集される。このため、コレクタ 6 には、この電圧と電子ビーム電流との積の電力が捕集される。この電力は、上記コレクタ 6 手前の電圧が 3 kV で電子ビーム電流が 300 mA の場合には、900 W となり、絞られた状態でコレクタ 6 に当たると、当たった場

所が溶ける。したがって、コレクタ 6 は、冷媒で冷却した電極構造として、電子ビームを広げながら電子を捕集するようになっている。

次に、超伝導磁石について説明する。図 1 及び図 3 に示すように、超伝導磁石 11 は第 1 のコイル 11 a 及び第 2 のコイル 11 b からなる、所謂ヘルムホルツ型コイルを用いている。第 1 のコイル 11 a 及び第 2 のコイル 11 b の半径を a とし、これらのコイルの間隔を半径 a と同じ a としたときに、対向するコイルの中央部分の磁場を一様にすることができる。ここで、超伝導磁石 11 は、図示しない He を冷媒とするクライオスタットや閉サイクル冷凍機により冷却されて、超伝導状態に保持される。

本発明の多価イオン発生源 1 の特徴は、第 2 の真空容器 10 内にイオン閉じ込めのための超伝導磁石 11 が配置され、第 2 の真空容器 10 の環状の空隙に第 1 の真空容器 2 が挿入されていることである。つまり、超伝導磁石 11 の空隙（ボア）内に、第 1 の真空容器 2 が挿入されていることである。上記のように、この第 1 の真空容器 2 内には、電子源 4、ドリフトチューブ 5 及びコレクタ 6 からなるイオン源 3 が配置されている。

超伝導磁石 11 を収容する第 2 の真空容器 10 は、第 1 の真空容器 2 から、両者の真空を破らずに脱着が可能である。本発明では、イオン源電極 3 を第 1 の真空容器 2 に収納したものを作ればよく、超伝導磁石 11 は、市販品を用いることができるので製作が容易である。このため、本発明の多価イオン発生源 1 においては、従来の多価イオン発生源のように、超伝導磁石 11 とイオン源電極 3 とを一体化した構造を精度良く製作する必要がない。

本発明の多価イオン発生源は以上のように構成されており、次にその動作について説明する。

図 4 は、本発明の多価イオン発生源 1 に印加される電源を説明するための模式的なブロック図である。電子の加速電圧が 40 kV の一例を示している。図示するように、電子源 4 のフィラメントには 15 V、2 A、フォーカス電極には 50 V、1 mA、アノード電極には 10 kV、スノート電極には 15 kV、1 mA の電源がー 30 kV の電源に上乗せされて供給されている。また、ドリフトチューブ 5 の各電極には、10 kV の電源上に、第 1 電極 500 V、第 2 電極 500 V

、第3電極500Vが、それぞれ上乘せされて供給されている。さらに、コレクタ6のサプレッサ電極、コレクタ電極、エクストラクター電極には、それぞれ、2kV、3kV、500mA、-3kVの電源が、-30kVの電源に上乘せされて供給されている。

電子源4から発生された電子は、超伝導磁石11の磁場中に配置されたドリフトチューブ5を通る。図4に示す電源を用いた場合には、電子源4とドリフトチューブ5の間で、電子が最大40kVまで加速される。この加速されてドリフトチューブ5に入射した電子は、超伝導磁石11によりドリフトチューブ5に形成される強磁場で圧縮され、大電流密度($\sim 1000\text{ A/cm}^2$)の電子ビームとなり、コレクタ6に捕集される。図4に示す電源を用いた場合には、コレクタ6には、2~3kV位まで減速されて捕集される。電子は、ドリフトチューブ5の直前で最大加速電圧が印加されるようになっている。原子を電離するためには、束縛電子の電離エネルギー以上のエネルギーを持った電子と衝突させなければならないので、重元素(例えば、キセノン(Xe)など)を完全に電離させるには1s軌道の電離エネルギー(Xeでは35keV)より高いエネルギーが必要で、加速電圧35kV以上が必要である。

一方、気体イオン導入手段20から導入されるイオンとなる気体は、ドリフトチューブ5内でイオン化される。ドリフトチューブ5の電極は幾つかに分割されており、両端がイオンに対して障壁(井戸型ポテンシャル)が形成されるように電位が与えられている。イオンは一定時間、この井戸型ポテンシャルに閉じ込められ、気体の原子は、電子ビームに繰り返し衝突させることにより電離が進む。電子による衝突電離が進み、多価イオンとなる。この多価イオンのうち、電子の衝突により運動エネルギーが増加し障壁を越えたものが、イオン源外部に取り出される。

このように、イオンの電離度が究極、即ち、これ以上電子を当て続けても電離が進まない状態に達したときに、電場配置を変えて多価イオンが外に飛び出すようにして、多価イオンビーム24を生成させる。

このドリフトチューブ5で生成した多価イオンが、ドリフトチューブ5から引き出される際には、図4のドリフトチューブ5とコレクタ6間で40kVで一旦

加速され、第1の真空容器2を出る際は、この真空容器2はアース電位であるので、10 kVまで減速されて出射する。

得られる多価イオンビーム24の強度は、イオンがトラップされているドリフトチューブ5の長さL1（図1参照）及びエミッション電流に比例し、電離度が究極に至るまでの時間は電子の電流密度に比例する。なお、ドリフトチューブ5の長さが長すぎる場合にはプラズマの不安定性が出現し、高電離の多価イオンができなくなる。

また、電子ビーム電流密度は、超伝導磁石11によりドリフトチューブ5に印加される磁場強度が高いほど高くなる（但し、比例ではない）。このため、単位時間あたりに得られる多価イオンビーム24の強度は、電子ビーム電流密度が高くトラップ領域が長いほど高くすることができる。

上記の多価イオン発生機構は、従来の多価イオン発生源と同様である。

本発明の特徴は、イオン源電極3を収納する第1の真空容器2のための真空排気装置15と、超伝導磁石11を収容する第2の真空容器10のための真空排気装置16とを、着脱して、分離することができる点にある。このため、超伝導磁石11を収容する第2の真空容器10を、第1の真空容器2から分離した状態で、第1の真空容器2及び収容されているイオン源電極3を十分に加熱して、脱ガスをすることができる。

したがって、多価イオン発生のための第1の真空容器2を、短時間で、極高真空とすることができる。例えば、誤って電子ビームをドリフトチューブ5に当たったときには、本発明の多価イオン発生源1では、イオン源電極3を収納した第1の真空容器2のみ修理すればよい。これにより、本発明の多価イオン発生源1においては、イオン源電極3の真空立ち上げが短時間で済むので、操作性、保守性に優れた、多価イオン発生源1を実現することができる。

次に、本発明の多価イオン発生源を用いた荷電粒子ビーム装置について説明する。図5は、本発明の多価イオン発生源1を用いた荷電粒子ビーム装置30の構成を模式的に示す図である。本発明の多価イオン発生源1を用いた荷電粒子ビーム装置30は、多価イオン発生源1に第3の真空容器31が接続され、第3の真空容器31内に、イオン分離器32と試料33を載置する試料台34とを収納し

ている。第3の真空容器31は、真空排気装置35により、多価イオン発生源1の真空排気装置15、16とは独立に真空排気される。

イオン分離器32は、多価イオン発生源1から発生した種々の多価イオン中から所望の多価イオンを選択するために設けられている。イオン分離器32としては、分析磁石（偏向磁石）や磁場及び電場によるウィーンフィルターなどを用いることができる。試料台34は、その位置が制御できるようにXYZステージなどを用いることができる。

荷電粒子ビーム装置30は試料表面の観察装置36を備えていてもよい。このような観察装置としては、電子線回折装置、走査型電子顕微鏡（SEM）、走査トンネル顕微鏡（STM）、二次イオン質量分析装置（SIMS）などが挙げられる。試料の表面処理装置37を備えていてもよい。このような表面処理装置としては、表面清浄化装置や蒸着装置などが挙げられる。

次に、本発明の多価イオン発生源1を用いた荷電粒子ビーム装置30の動作について説明する。

多価イオン発生源1から発生した種々の多価イオンは、イオン分離器32で所望の多価イオンが選択されて、試料に照射される。この際、表面清浄化装置37により、多価イオン照射前に試料表面の洗浄ができる。また、多価イオン照射時の試料形状やその結晶状態などが観察装置36により、その場観察ができる。本発明の多価イオン発生源1を用いた荷電粒子ビーム装置30によれば、多価イオン発生源1が小型軽量であるので、ナノプロセスへ応用することができる。

実施例

実施例として、加速電圧10～40 kV、電子ビーム電流300 mA、イオン閉じ込め磁場3 T、超伝導コイルとして市販の超伝導磁石11を電子ビーム、イオンビームとは別の第2の真空容器10内に配置した多価イオン発生源1を製作した（図1及び図2参照）。超伝導コイルとしてヘルムホルツコイル型を採用し、長さが200 mmのドリフトチューブ5を用いてイオン閉じ込め領域を広げることにより、多価イオンビーム24の高強度化を達成した。

次に、実施例の多価イオン発生源1の超伝導磁石による磁場と電子ビーム軌道

について説明する。

図6は、実施例の多価イオン発生源1に用いるヘルムホルツ型コイルを有する超伝導磁石11による磁場を示す図である。図において、横軸はカソードからコレクタ6への水平軸方向距離(mm)を示し、縦軸は第1の真空容器2内に形成される磁場(テスラ(T))を示している。図から明らかなように、最大磁場は3Tであり、最大磁場から5%の範囲の均一磁場範囲は100mmであることが分かる。このため、ドリフトチューブ5の長さが100~200mmであれば、その中央部にはほぼ均一の磁場を形成することができた。

図7は、実施例の多価イオン発生源1において、電子を40keVで加速したときの電子ビーム軌道の計算結果を示す図であり、(a)がカソード近傍、(b)がコレクタ近傍を示す図である。図において、横軸は(a)がカソードから、(b)がコレクタ左端から、のそれぞれ、水平軸方向距離(mm)を示し、縦軸は何れも水平軸(X)から垂直方向(Y)への距離(mm)を示している。この電子ビーム軌道の計算は、TriComp 2D(Field Precision社製)ソフトウェアを用いて行った。

図7(a)から、カソードから出射した電子は、アノードを通過すると、直径が0.1mm以下の電子ビームとなっていることが分かる。図7(b)から、コレクタ6に入射した電子は、徐々に広がってコレクタ電極に捕集されることが分かる。

(表1)

項目	実施例	従来例3
最大加速電圧(kV)	40	300
最大電子ビーム電流(mA)	300	300
磁場強度(T)	3	4.5
超伝導磁石の冷却方法	閉サイクル冷凍機	液体Heタンク
寸法(高さ(m)×幅(m))	0.6×1	3×2
ビーム方向	水平	垂直

表1は、実施例の多価イオン発生源1と従来例3のEBITとを比較したものである。実施例の多価イオン発生源1の最大加速電圧はキセノンをイオン化するために必要な40kV、最大電子ビーム電流は300mA、超伝導磁石11の冷却は閉サイクル冷凍機で行い、その磁場強度は3Tであり、多価イオンのビームは水平方向に出射させることができる。

一方、従来例3のEBIT（文献6）では、最大加速電圧はウランをイオン化するために300kV、最大電子ビーム電流は300mA、超伝導磁石の冷却は液体Heタンクで行い、その磁場強度は4.5Tであり、多価イオンのビームは垂直方向に出射させることができる。

本発明の多価イオン発生源1と、従来例3のEBITとの大きな違いは、そのサイズ（高さ×幅L2）であり、それぞれ、本発明では0.6m×1m、従来例3では3m×2mである。このように、本発明の多価イオン発生源1は、従来例3のEBITに対して小型の構造にすることができた。上記実施例から、従来例3の多価イオン発生源が3m×2m（縦型）という大型の装置であったものが、実施例においては、0.6m×1m（横型）のコンパクトな装置で、ナノプロセスへの応用という観点で、同等以上の性能を有する多価イオン発生源1を実現できることが分かる。

超伝導磁石11を電子ビーム及びイオンビームが収容される第1の真空容器2とは別の第2の真空容器10に収容することで装置製作が容易となった。このため、極高真空が必要なイオン源電極3のみを容易にベーキングすることが可能になり、装置コスト、性能維持に必要な保守コストを大幅に低減できた。

本発明の多価イオン発生源及びそれを用いた荷電粒子ビーム装置によれば、多価イオンを用いたナノプロセスを実施することができる。

本発明は、上記実施例に限定されることなく、特許請求の範囲に記載した発明の範囲内で種々の変形が可能であり、それらも本発明の範囲内に含まれることはいうまでもない。例えば、上記実施の形態において、電子源とイオン閉じ込め領域となるドリフトチューブとコレクタとからなるイオン源電極の構成や超伝導磁石の磁場強度は、加速電圧や電子ビーム電流に合わせて適宜変更できる。

産業上の利用可能性

本発明の多価イオン発生源によれば、多価イオン発生のための第1の真空容器を、短時間で、極高真空とすることができ、イオン源電極の真空立ち上げが短時間で済むので、操作性、保守性に優れた多価イオン発生源を実現できる。また、本装置は小型軽量であり、低コストで製造することができる。

また、本発明の荷電粒子ビーム装置によれば、上記多価イオン発生源を用いるので、小型で軽量の荷電粒子ビーム装置を提供することができることに加え、真空立ち上げが短時間で済み、操作性、保守性に優れている。従って、ナノプロセスに好適に使用することができる。

請 求 の 範 囲

1. 電子源とイオン閉じ込め領域となるドリフトチューブとコレクタとからなるイオン源電極と、
イオン閉じ込めのための超伝導磁石と、
イオン導入手段と、を含んで構成される多価イオン発生源であって、
さらに、上記イオン源電極を収容した第1の真空容器と、
上記超伝導磁石を収容した第2の真空容器と、を備え、
上記第1の真空容器及び第2の真空容器に、それぞれ、真空排気装置が配設されていることを特徴とする、多価イオン発生源。

2. 前記第2の真空容器が断面環状に形成され、前記第1の真空容器が該第2の真空容器の環中を挿通して配置されていることを特徴とする、請求項1記載の多価イオン発生源。

3. 前記超伝導磁石が、前記環状の第2の真空容器内に環状に配設されていることを特徴とする、請求項2記載の多価イオン発生源。

4. 前記第2の真空容器は、前記第1の真空容器から両者の真空を破らずに脱着可能であることを特徴とする、請求項1又は2に記載の多価イオン発生源。

5. 前記超伝導磁石は、ヘルムホルツ型コイルを用いる超伝導磁石であることを特徴とする、請求項1乃至3の何れかに記載の多価イオン発生源。

6. 前記電子源の加速電圧は、10～40 kVであることを特徴とする、請求項1に記載の多価イオン発生源。

7. 電子源とイオン閉じ込め領域となるドリフトチューブとコレクタとからなるイオン源電極と、イオン閉じ込めのための超伝導磁石と、イオン導入手段と、を含み、さらに、上記イオン源電極を収容した第1の真空容器と、上記超伝導磁石を収容した第2の真空容器と、を備え、上記第1の真空容器及び第2の真空容器に、それぞれ、真空排気装置が配設されている多価イオン発生源を用い、試料表面に多価イオンを照射することを特徴とする、荷電粒子ビーム装置。

8. 電子源とイオン閉じ込め領域となるドリフトチューブとコレクタとからなるイオン源電極と、イオン閉じ込めのための超伝導磁石と、イオン導入手段と、を含み、さらに、上記イオン源電極を収容した第1の真空容器と、上記超伝導磁石を収容した第2の真空容器と、を備え、上記第1の真空容器及び第2の真空容器に、それぞれ、真空排気装置が配設されている多価イオン発生源を用い、試料表面に多価イオンを照射することを特徴とする、荷電粒子ビーム装置。

らなるイオン源電極と、イオン閉じ込めのための超伝導磁石と、イオン導入手段と、さらに、上記イオン源電極を収容した第1の真空容器と、上記超伝導磁石を収容した第2の真空容器と、上記第1の真空容器及び第2の真空容器にそれぞれ配設した真空排気系と、を備える多価イオン発生源と、

上記多価イオン発生源に接続された第3の真空容器及びその真空排気装置と、を備えていて、

上記第3の真空容器内にイオン分離器と試料台とを配設し、

上記試料台に試料を載置することにより、上記多価イオン発生源で発生した多価イオンから所望の多価イオンをイオン分離器により選択して試料表面に照射することを特徴とする、荷電粒子ビーム装置。

9. 前記荷電粒子ビーム装置が、さらに、前記試料の観察装置を備えていることを特徴とする、請求項7又は8に記載の荷電粒子ビーム装置。

10. 前記荷電粒子ビーム装置が、さらに、前記試料の表面処理装置を備えていることを特徴とする、請求項7又は8に記載の荷電粒子ビーム装置。

図 1

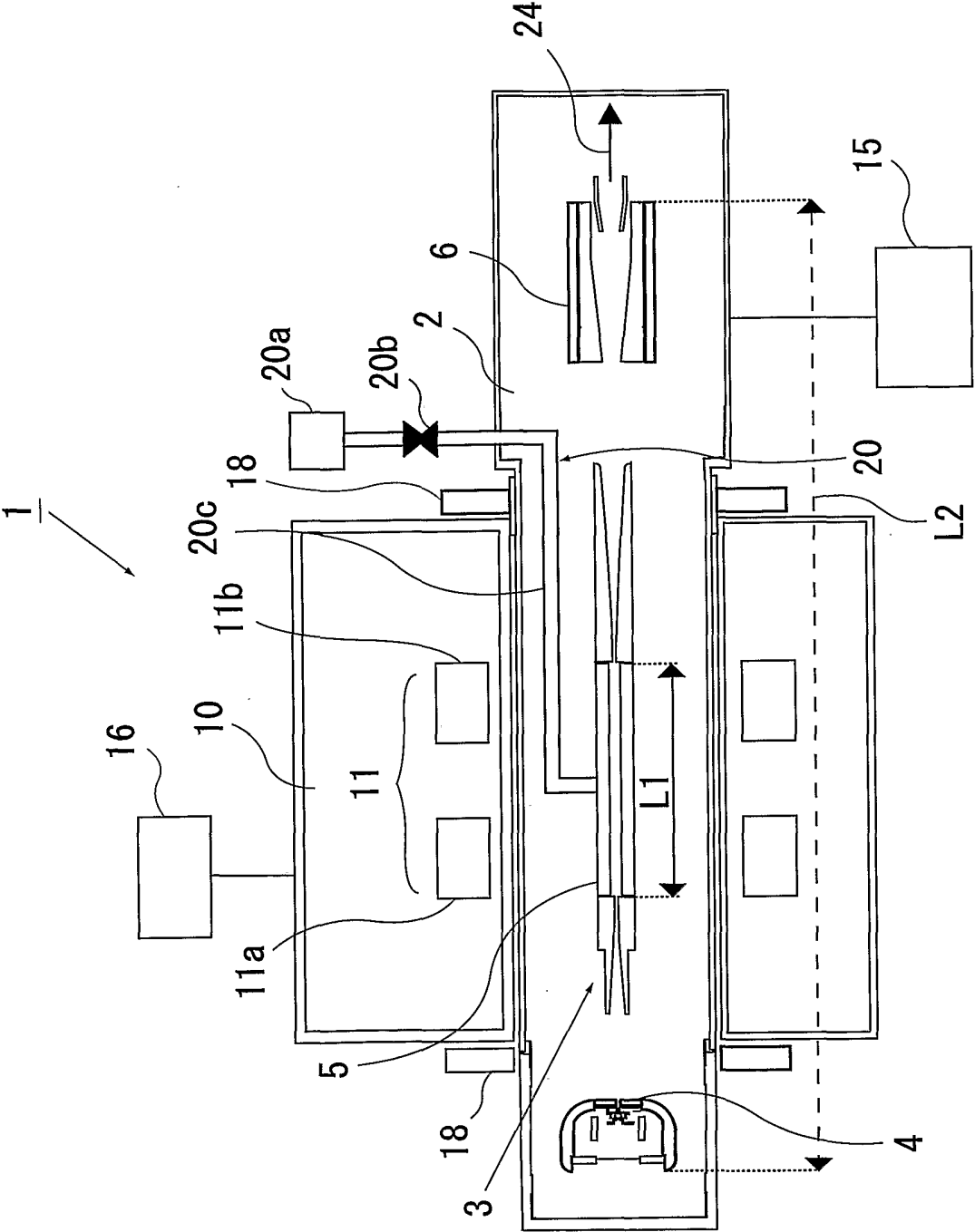


图 2

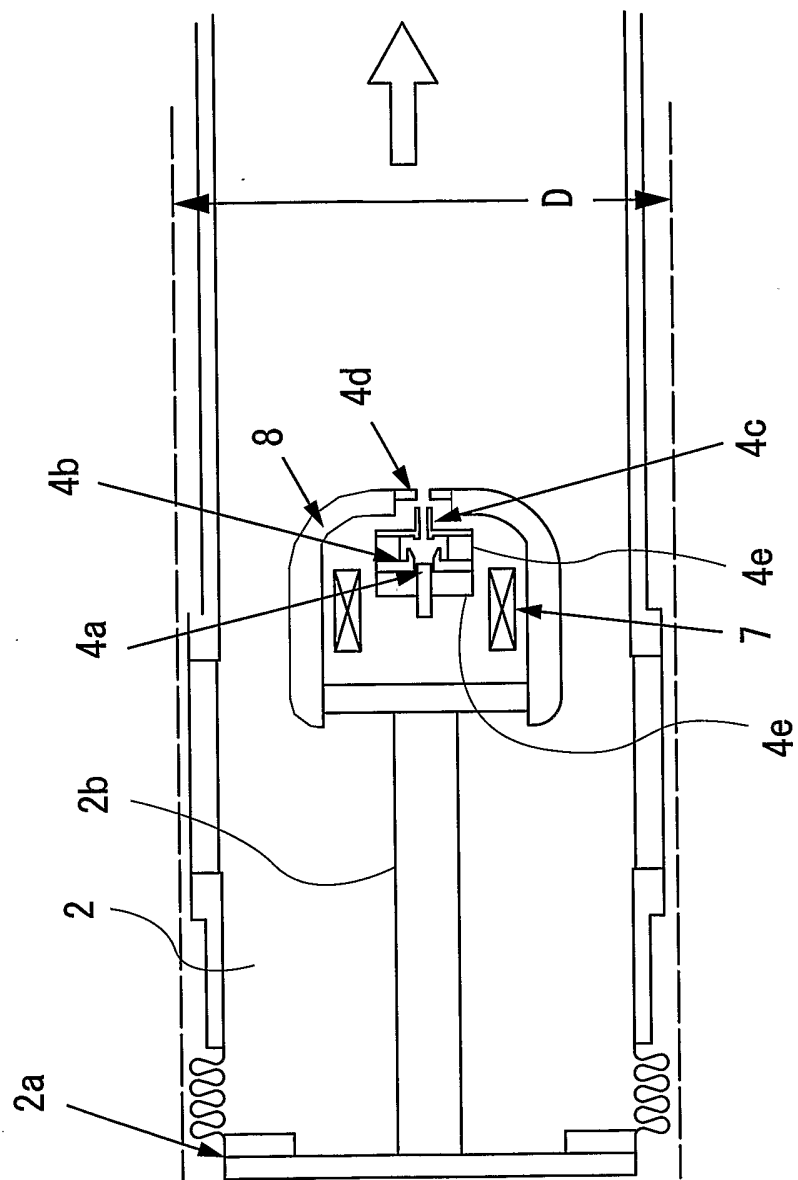


図 3

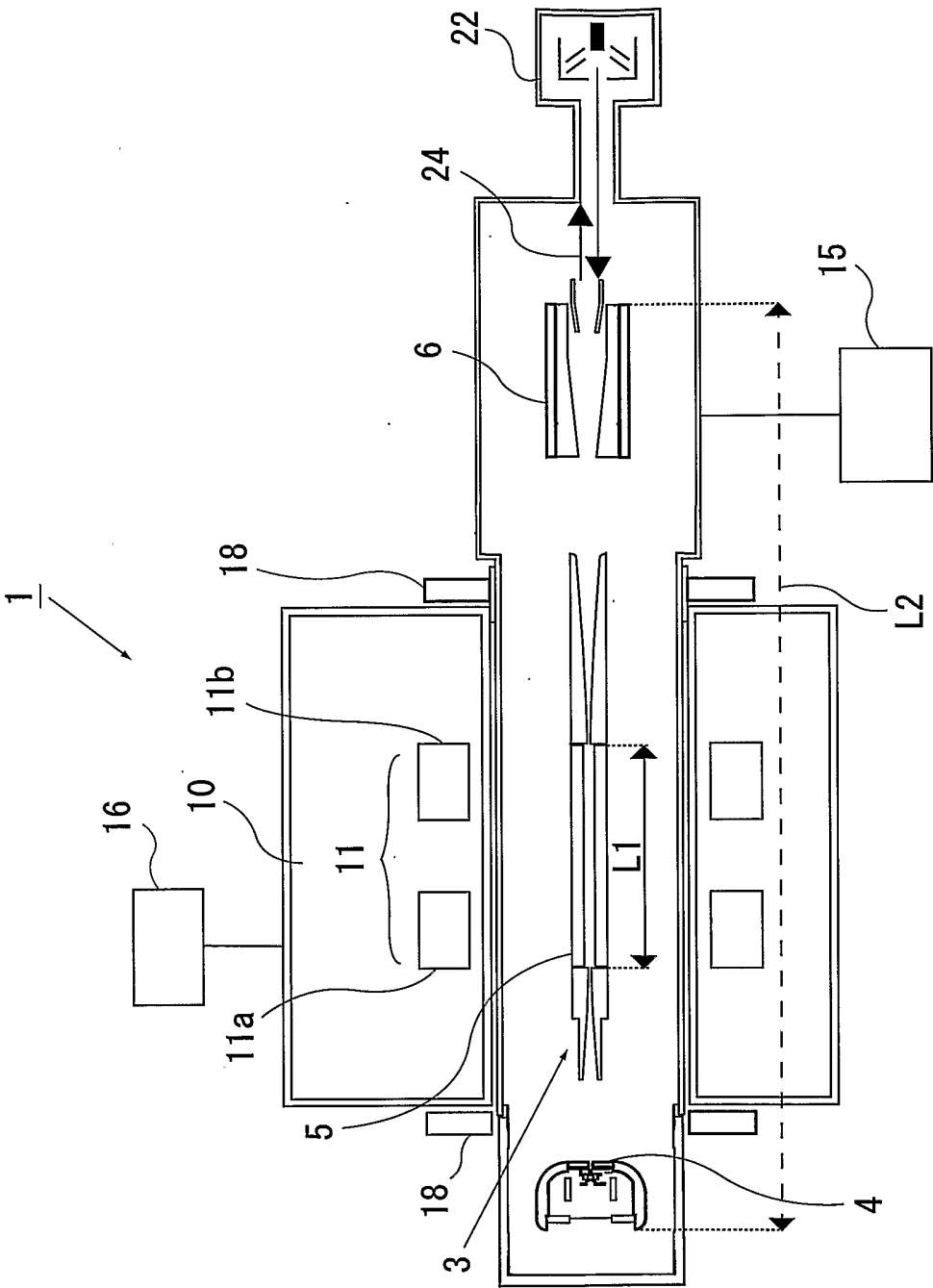
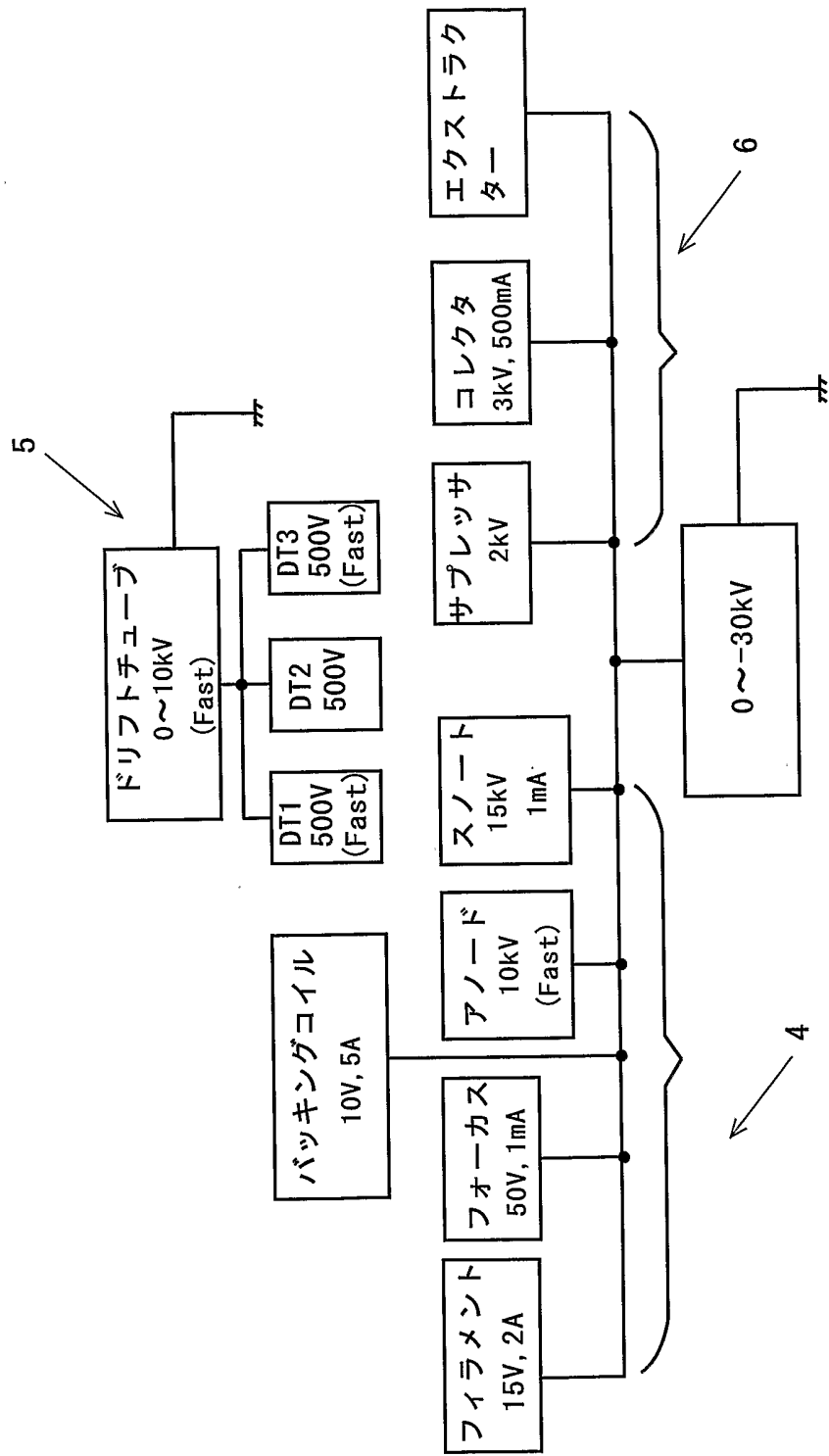


図 4



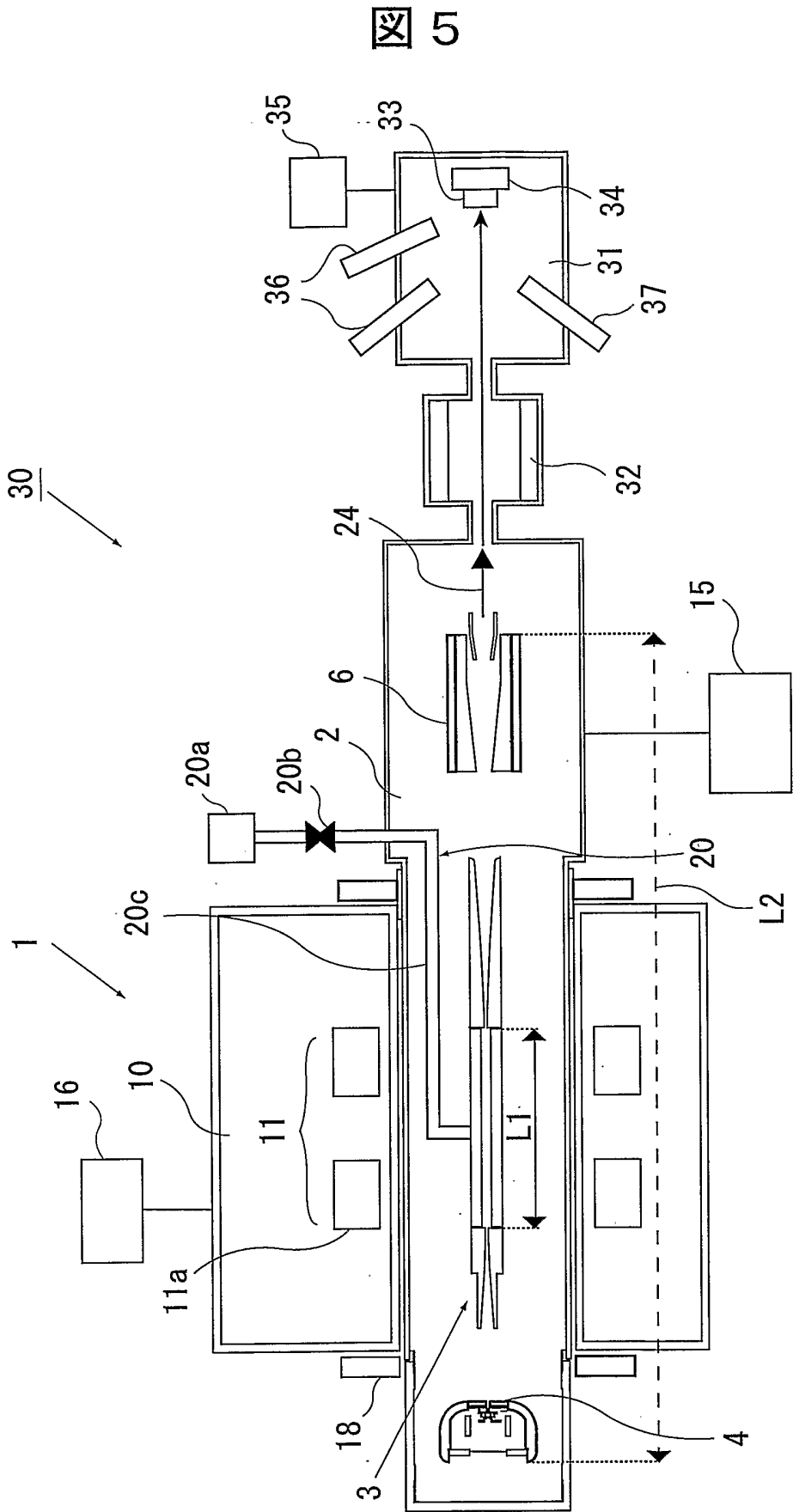


図 6

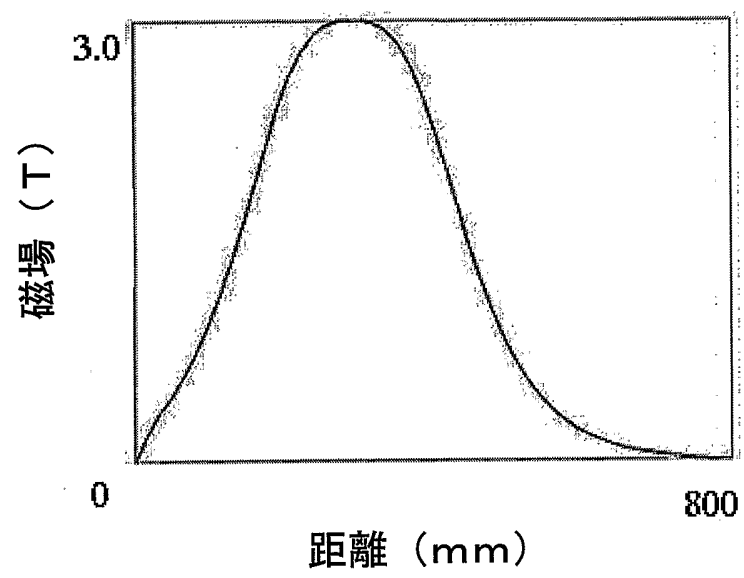
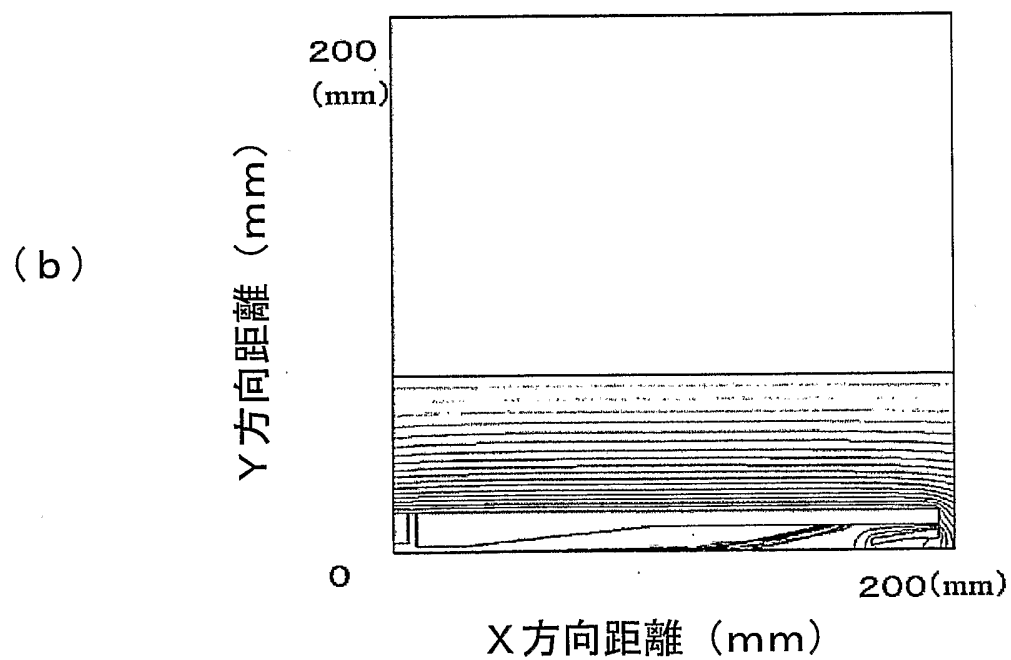
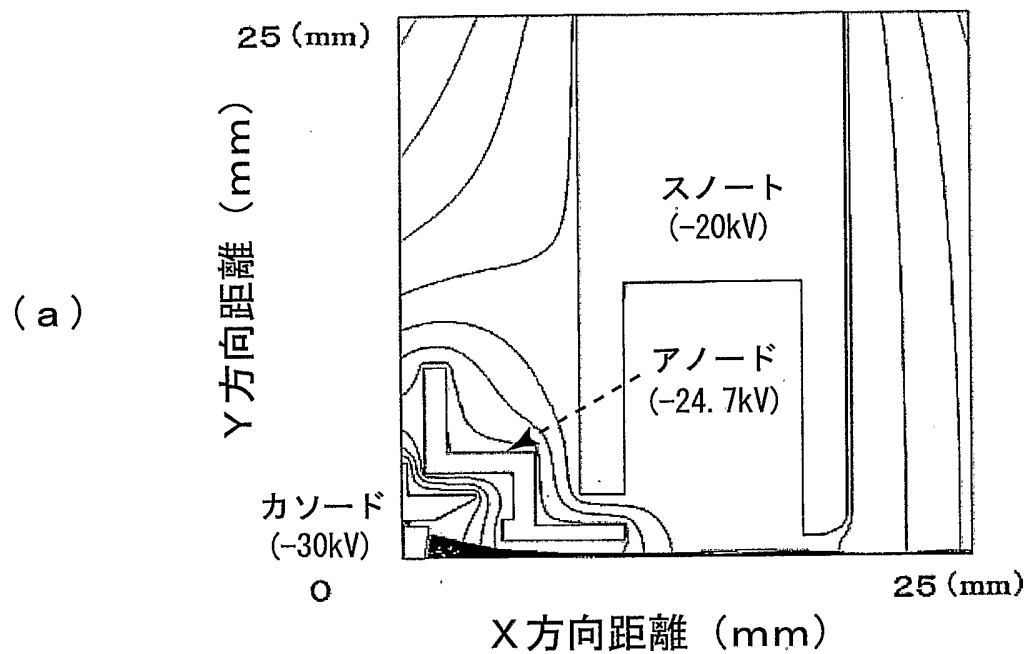


図 7



特許協力条約に基づく国際出願願書

原本(出願用)

VIII-5-1	不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て(規則4.17(v)及び51の2.1(a)(v)) 氏名(姓名)	本国際出願 に関し、 独立行政法人科学技術振興機構 は、本国際出願の請求項に記載された対象が以下のよう に開示されたことを申し立てる。
VIII-5-1(i)	開示の種類:	刊行物
VIII-5-1(ii)	開示の日付:	2004年 04月 09日 (09.04.2004)
VIII-5-1(iii)	開示の名称:	9th International Symposium on Electron Beam Ion sources and Traps and Their Applications: Abstracts: DESIGN OF EBIS FOR NANOPROCESSES USING HCI
VIII-5-1(iv)	開示の場所:	日本国
VIII-5-1(i)	開示の種類:	刊行物
VIII-5-1(ii)	開示の日付:	2004年 04月 14日 (14.04.2004)
VIII-5-1(iii)	開示の名称:	9th International Symposium on Electron Beam Ion sources and Traps and Their Applications: Abstracts: DESIGN OF EBIS FOR NANOPROCESSES USING HCI
VIII-5-1(iv)	開示の場所:	日本国
VIII-5-1(i)	開示の種類:	刊行物
VIII-5-1(ii)	開示の日付:	2004年 08月 27日 (27.08.2004)
VIII-5-1(iii)	開示の名称:	The Proceedings of the 9th International Symposium on Electron Beam Ion sources and Traps and Their Applications: DESIGN OF EBIS FOR NANOPROCESSES USING HCI
VIII-5-1(iv)	開示の場所:	日本国
VIII-5-1(i)	開示の種類:	刊行物
VIII-5-1(ii)	開示の日付:	2004年 09月 06日 (06.09.2004)
VIII-5-1(iii)	開示の名称:	12th International Conference on the Physics of Highly Charged Ions: DEVELOPMENT OF ELECTRON BEAM ION SOURCE FOR NANOPROCESS USING HIGHLY CHARGED IONS
VIII-5-1(iv)	開示の場所:	リトアニア
VIII-5-1(v)	本申立ては、次の指定国のためになされたものである。:	すべての指定国

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/007284

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ H01J27/20, 37/08, 37/30

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)

Int.Cl.⁷ H01J27/00-27/26, 37/08, 37/30-37/317

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	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

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.
Y	Nobuyuki NAKAMURA (et al.), "Electron Beam Ion Trap (EBIT) no Kaihatsu to Taka Ion no Kenkyu", Nippon Butsuri Gakkaishi, 1997, Vol.52, No.12, pages 919 to 923	1-10
Y	JP 59-121735 A (Tokyo Shibaura Electric Co., Ltd.), 13 July, 1984 (13.07.84), Page 2, upper left column, line 8 to upper right column, line 14; Fig. 1 (Family: none)	1-10
Y	JP 8-106872 A (Nissin Electric Co., Ltd.), 23 April, 1996 (23.04.96), Par. No. [0009]; Fig. 5 (Family: none)	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
12 July, 2005 (12.07.05)Date of mailing of the international search report
09 August, 2005 (09.08.05)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/007284

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-233335 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 27 August, 1999 (27.08.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-10
Y	JP 2004-87542 A (Sumitomo Heavy Industries, Ltd.), 18 March, 2004 (18.03.04), Par. Nos. [0002], [0005]; Figs. 5, 6 (Family: none)	1-10
Y	JP 2003-208869 A (ULVAC, INC.), 25 July, 2003 (25.07.03), Claim 2; Par. No. [0005] & US 2002/66872 A1 & EP 1213744 A2 & TW 544712 B	7-10
Y	JP 5-275048 A (Japan Fine Ceramics Center), 22 October, 1993 (22.10.93), Par. No. [0007]; Fig. 1 (Family: none)	7-10
A	Shunsuke OTANI, "Electron Beam Ion Trap o Mochiita Taka Ion no Kenkyu", Journal of Plasma and Fusion Research, 1997, Vol.73, No.10, pages 1063 to 1079	1-10
A	JP 2004-111330 A (Aisin Seiki Co., Ltd.), 08 April, 2004 (08.04.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 7-262946 A (Mitsubishi Electric Corp.), 13 October, 1995 (13.10.95), Full text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 2004-202245 A (General Electric Co.), 22 July, 2004 (22.07.04), Full text; all drawings & US 2004/119472 A1 & US 2005/1621 A1 & GB 2397654 A & DE 10357889 A & NL 1025110 A	1-10
A	JP 1-251541 A (Shingijutsu Kaihatsu Jigyodan), 06 October, 1989 (06.10.89), Full text; all drawings (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. ⁷ H01J27/20, 37/08, 37/30															
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. ⁷ H01J27/00-27/26, 37/08, 37/30-37/317															
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 <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>1971-2005年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2005年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2005年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2005年	日本国実用新案登録公報	1996-2005年	日本国登録実用新案公報	1994-2005年				
日本国実用新案公報	1922-1996年														
日本国公開実用新案公報	1971-2005年														
日本国実用新案登録公報	1996-2005年														
日本国登録実用新案公報	1994-2005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)															
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 請求の範囲の番号													
Y	中村 信行 (外1名), 電子ビームイオントラップ (EBIT) の 開発と多価イオンの研究, 日本物理学会誌, 1997, Vol. 52, No. 12, p. 919-923	1-10													
Y	JP 59-121735 A (東京芝浦電気株式会社) 1984. 07. 13, 第2頁左上欄8行-右上欄14行, 第1図 (ファミリーなし)	1-10													
Y	JP 8-106872 A (日新電機株式会社) 1996. 04. 23, 段落【0009】, 図5 (ファミリーなし)	1-10													
☒ 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。															
<table border="0"> <tr> <td>* 参考文献のカテゴリー</td> <td>の日の後に公表された文献</td> </tr> <tr> <td>「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</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</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>「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>「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>「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>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td>「&」同一パテントファミリー文献</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</td> <td></td> </tr> </table>				* 参考文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献	「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	「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	「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	「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	「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)	「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	「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献	「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	
* 参考文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献														
「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	「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														
「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	「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														
「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)	「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														
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献														
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願															
国際調査を完了した日 12. 07. 2005		国際調査報告の発送日 09.08.2005													
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 堀部 修平	2G 9215												
		電話番号 03-3581-1101 内線 3226													

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 請求の範囲の番号
Y	JP 11-233335 A (三菱重工業株式会社) 1999. 08. 27, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 2004-87542 A (住友重機械工業株式会社) 2004. 03. 18, 段落【0002】, 【0005】, 図5, 6 (ファミリーなし)	1-10
Y	JP 2003-208869 A (株式会社アルバック) 2003. 07. 25, 【請求項2】, 段落【0005】 & US 2002/66872 A1 & EP 1213744 A2 & TW 544712 B	7-10
Y	JP 5-275048 A (財団法人ファインセラミックスセンター) 1993. 10. 22, 段落【0007】, 図1 (ファミリーなし)	7-10
A	大谷 俊介, 電子ビームイオントラップを用いた多価イオンの研 究, プラズマ・核融合学会誌, 1997, 第73巻, 第10号, p. 1063-1079	1-10
A	JP 2004-111330 A (アイシン精機株式会社) 2004. 04. 08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 7-262946 A (三菱電機株式会社) 1995. 10. 13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2004-202245 A (ゼネラル・エレクトリック・カンパニー) 2004. 07. 22, 全文, 全図 & US 2004/119472 A1 & US 2005/1621 A1 & GB 2397654 A & DE 10357889 A & NL 1025110 A	1-10
A	JP 1-251541 A (新技術開発事業団) 1989. 10. 06, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10