

(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
2024年10月10日(10.10.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/210104 A1

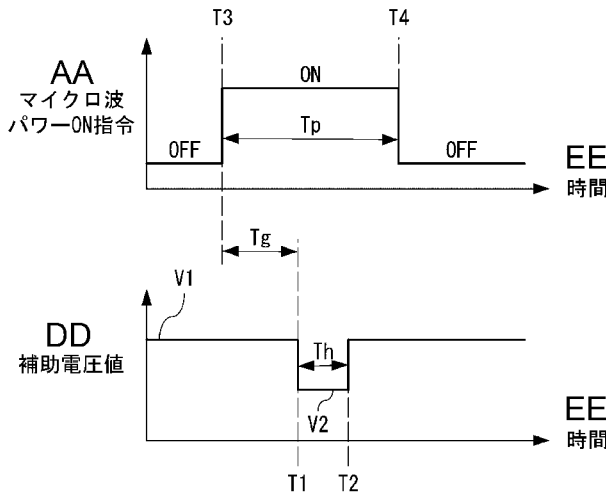
- (51) 国際特許分類:
H01J 27/18 (2006.01) H01J 37/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/013504
- (22) 国際出願日: 2024年4月1日(01.04.2024)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2023-060165 2023年4月3日(03.04.2023) JP
- (71) 出願人: 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 (NATIONAL INSTITUTES FOR QUANTUM SCIENCE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 Chiba (JP).
- (72) 発明者: 片桐 健 (KATAGIRI, Ken); 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 国

立研究開発法人量子科学技術研究開発機構内 Chiba (JP). 岩田 佳之 (IWATA, Yoshiyuki); 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構内 Chiba (JP). 白井 敏之 (SHIRAI, Toshiyuki); 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構内 Chiba (JP).

- (74) 代理人: 西原 広徳 (NISHIHARA, Hironori); 〒5320011 大阪府大阪市淀川区西中島6丁目5番3号 サムティフェイム新大阪1号館7階 西原国際特許事務所内 Osaka (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,

(54) Title: ION GENERATOR, ION BEAM IRRADIATION DEVICE, AND ION EXTRACTION METHOD

(54) 発明の名称: イオン発生装置、イオンビーム照射装置およびイオン取り出し方法



AA Microwave power ON command
DD Time
EE Auxiliary voltage value

(57) Abstract: The present invention makes it possible to increase the amount of ions generated. An ion generator 1 according to the present invention comprises: a microwave waveguide 13 whereby ionization energy for ionizing the atoms of a gas is supplied into a plasma chamber 11 for generating an ion beam 1b from a gas introduced into a vacuum; an auxiliary electrode 19 arranged in the plasma chamber 11; an auxiliary voltage application unit 20 that applies a negative auxiliary voltage to the auxiliary electrode 19; and an auxiliary voltage control unit 36 for controlling the voltage value of the auxiliary voltage applied from the auxiliary voltage application unit 20 to the auxiliary electrode 19. The auxiliary voltage control unit 36 changes the voltage value of the auxiliary voltage over time as a two-level pulse wave of a first voltage value V1 and a second voltage value V2 having a lower voltage value than the first voltage value V1.



WO 2024/210104 A1

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))

(57) 要約: イオンの生成量を増大させることができる。本発明のイオン発生装置1は、真空中に導入したガスからイオンビーム1bを生成するプラズマチャンバー11内のガスの原子をイオン化するための電離エネルギーをプラズマチャンバー11内に供給するマイクロ波導波管13と、プラズマチャンバー11内に配置された補助電極19と、補助電極19に負の補助電圧を印加する補助電圧印加部20と、補助電圧印加部20から補助電極19に印加される補助電圧の電圧値を制御する補助電圧制御部36とを備え、補助電圧制御部36は、補助電圧の電圧値を、第1の電圧値V1と第1の電圧値V1よりも電圧値が低い第2の電圧値V2との2レベルのパルス波として時間変化させる構成である。

明 細 書

発明の名称：

イオン発生装置、イオンビーム照射装置およびイオン取り出し方法

技術分野

[0001] この発明は、たとえば、イオンを発生させて取り出すための、イオン発生装置、イオンビーム照射装置およびイオン取り出し方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、がん細胞などの患部（照射対象）に荷電粒子（イオンビーム）を照射して治療を行う粒子線治療装置等に用いるイオン源が提供されている。このようなイオン源の一例としては、電子サイクロトロン共鳴（ECR）イオン源が提案されている（特許文献1参照）。

[0003] ECRイオン源に関する技術分野においては、照射対象への照射時間の短縮等を目的として、イオンの生成量を増大させる技術が望まれている。すなわち、ECRイオン源に関する技術分野においては、イオンをより効率よく生成する技術が望まれており、イオン生成量の効率化の観点で改善の余地がある。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2019-39702号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] この発明は、上述の問題に鑑みて、イオンの生成量を増大させることができる、イオン発生装置、イオンビーム照射装置およびイオン取り出し方法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

[0006] この発明は、真空中に導入したガスからイオンビームを生成するためのチ

ャンバーと、前記チャンバー内にガスを供給するガス供給部と、前記ガスの原子をイオン化するための電離エネルギーを前記チャンバー内に供給する電離エネルギー供給部と、前記チャンバー内に配置された補助電極と、前記補助電極に負の補助電圧を印加する電圧印加部と前記電圧印加部から前記補助電極に印加される前記補助電圧の電圧値を制御する電圧制御部とを備え、前記電圧制御部は、前記補助電圧の電圧値を、所定の電圧値である第1の電圧値と前記第1の電圧値よりも電圧値が低い第2の電圧値との2レベルのパルス波として時間変化させる構成である、イオン発生装置、およびイオン取り出し方法であることを特徴とする。

発明の効果

[0007] この発明により、イオンの生成量を増大させることができる、イオン発生装置、イオンビーム照射装置およびイオン取り出し方法を提供できる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]本発明のイオン発生装置の構成を示す構成図。

[図2]本発明の補助電圧印加部の構成の一例を示す構成図。

[図3]補助電圧値制御方法を説明するタイムチャート。

[図4]本発明の一実施例におけるイオン電流値の変化を示す説明図。

[図5]本発明の他の実施例と比較例のイオン電流値の変化を示す説明図。

[図6]本発明の複数の実施例と比較例におけるイオン電流値の変化を示す説明図。

[図7]本発明の複数の実施例と比較例における補助電圧値とイオン電流値の関係を示す説明図。

[図8]本発明のイオン照射装置の構成を示す構成図。

[図9]補助電圧値制御方法の変形例を説明するタイムチャート。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、この発明の一実施形態を図面と共に説明する。

<イオン発生装置の基本構成>

[0010] 図1は本発明のイオン発生装置1の構成を示す構成図である。イオン発生

装置 1 は、真空中に導入したガスに対して、プラズマ放電をさせることにより、導入したガスの原子から電子を取り除いてイオン化し、所定の方向に射出するイオンビームを生成する装置である。また、イオン発生装置 1 は、イオンビームとしてのイオンを取り出すための装置ともいえる。イオン発生装置 1 の方式としては、ガスの原子をイオン化するための電離エネルギーの供給方法の違いから、イオンビームの生成方式に幾つかの方式がある。

[0011] 本実施形態のイオン発生装置 1 では、ECR 放電方式によりガスの原子をイオン化する ECR イオン源 (ECR イオン発生装置) 10 を有している。ECR イオン源 10 は、真空中に導入されたガスに、マイクロ波を印加し、プラズマ放電のトリガーとなる電子を電離させ、さらに、その電離した電子を磁場によって閉じ込め、マイクロ波との共鳴を繰り返すことによりガスの原子をイオン化するという原理を用いている。

[0012] 図 1 に示すように、ECR イオン源 10 は、真空用素材で形成されたプラズマチャンバー 11 を備えている。プラズマチャンバー 11 は、全体として略円筒状に形成され、一方端部 (図示左側端部) に真空引き用開口部 (第 1 開口部) 11 a が設けられ、他方端部 (図示右側端部) にはプラズマチャンバー 11 の内部で生成されたイオンをプラズマチャンバー 11 の外部空間に射出するためのイオン射出用開口部 (第 2 開口部) 11 b が設けられる。本実施形態の ECR イオン源 10 では、イオン射出用開口部 11 b からイオンビームとしてイオンが射出される。したがって、真空引き用開口部 11 a は、イオンビームの進行方向から見て上流側 (後側) に配置されており、イオン射出用開口部 11 b はイオンビームの進行方向から見て下流側に配置されている。

[0013] 真空引き用開口部 11 a には、プラズマチャンバー 11 の内部 (プラズマチャンバー 11 の内部空間の中央部) にガスを導入するためのガスノズル 12 と、マイクロ波電源 13 a に接続されプラズマチャンバー 11 内にマイクロ波を伝送するマイクロ波導波管 13 (電離エネルギー供給部) とが挿入されている。

- [0014] ガスノズル12は、ECRイオン源10にガスを供給するガス供給部12aに接続されている。ガス供給部12aは、単一または複数種類のガスをECRイオン源10に供給する複数のガス供給系を有している。たとえば、ガス供給部12aは、酸素(O₂)ガス供給系、メタン(CH₄)ガス供給系、およびヘリウム(He)ガス供給系等のガス供給系を有している。
- [0015] また、真空引き用開口部11aは、真空フランジ14aで外側から完全に覆われており、真空フランジ14aには真空配管を介して真空ポンプ14が接続されている。真空ポンプ14が作動することにより、真空フランジ14aの内部およびプラズマチャンバー11の内部は真空引きされた状態となり、高真空状態に保持される。
- [0016] プラズマチャンバー11のイオン射出用開口部11b側(イオンビームの射出方向先端側)にはプラズマチャンバー11の内部で生成されたイオンを引き寄せてイオン射出用開口部11bから外部に引き出すための引き出し電極部15が設けられている。
- [0017] 引き出し電極部15は、全体として略円筒状に形成されている。また、引き出し電極部15は、イオンビームの射出方向に沿って延びる円柱状の引き出し空間を形成している。また、引き出し電極部15は、プラズマチャンバー11およびこれに取り付けられた各部材(後述する多極磁石16、軸方向磁場用磁石17、およびアノード18等)よりも低電圧(たとえばGND電位(0V))である。
- [0018] 引き出し電極部15および、これにより形成される引き出し空間は、プラズマチャンバー11の内部からイオン射出用開口部11bを通してプラズマチャンバー11の外部に至るように設けられている。すなわち、引き出し電極部15の後端部はプラズマチャンバー11の内部に位置し、引き出し電極部15の前端部はプラズマチャンバー11の外部に位置する。プラズマチャンバー11の内部で生成されたイオンは、引き出し電極部15およびこれにより形成される引き出し空間を通してプラズマチャンバー11の外部に導かれる。

- [0019] また、ECRイオン源10には、引き出し電極部15の外側（プラズマチャンバー11の外側）、すなわちイオンビーム1bの射出方向の外周を取り囲むようにして多極磁石16および軸方向磁場用磁石17が設けられている。本実施形態の多極磁石16および軸方向磁場用磁石17は、全体として円筒形状をなし、プラズマチャンバー11の外側に（プラズマチャンバー11の外周面に沿って）設けられている。
- [0020] たとえば、多極磁石16としては、六極磁石（Hexapole）を用いることができる。また、軸方向磁場用磁石17としては、リングマグネットやソレノイド電磁石を用いることができる。
- [0021] また、プラズマチャンバー11の内部にはアノード18が設けられている。アノード18は、イオンビームの射出方向から見てプラズマチャンバー11内の下流側に設けられており、引き出し電極部15の後端部から射出方向に所定の距離を隔てて配置されている。アノード18は円盤状に形成されており、円面内に貫通孔を有している。アノード18の貫通孔は、プラズマチャンバー11の中心軸線と略同軸上に配置されており、アノード18の貫通孔の内径は、プラズマチャンバー11から射出されるイオンビーム1bの外径よりも大きく設定されている。
- [0022] また、真空引き用開口部11aには、補助電圧用電源を含む補助電圧印加部20に接続され、プラズマチャンバー11内に配置された補助電極19が挿入されている。すなわち、補助電極19は、プラズマチャンバー11内の上流側（イオン射出用開口部11bの反対側）に配置されている。補助電極19としては、たとえばバイアスディスクを使用することができる。
- [0023] 図2は本発明の補助電圧印加部20の構成の一例を示す構成図である。補助電圧印加部20は、補助電極19に印加する負の電圧（以下、「補助電圧」という。）の電圧値（以下、「補助電圧値」という。） V_{BD} を時間変化させる（パルス電圧を生成する）ことができる構成である。たとえば、図2に示すように、補助電圧印加部20は、定常電圧を生成するための第1電圧生成部20aと、定常電圧とは異なる電圧を生成するための第2電圧生成部2

0 bと、第2電圧生成部20 bのON/OFFを切り替えるスイッチ部20 cとを有する電気回路21として構成していても良い。なお、補助電圧印加部20としては、補助電圧の電圧値を時間変化させることができる構成であれば特に限定されず、たとえば、図2に示すような電気回路21に代えて、補助電圧の電圧値を時間変化させることができるハイボルテージアンプを採用してもよい。

[0024] 図1に戻って、イオン発生装置1には、イオン発生装置1（ECRイオン源10）の各コンポーネント（構成要素）を制御するための制御装置30が接続されている。制御装置30は、演算部および記憶部等を含み、イオン発生装置1（ECRイオン源10）における各種演算および制御動作を実行する。演算部は、CPUまたはMPUなどを含む演算処理部である。記憶部は、RAM（DRAM）およびROMなどを含み、イオン発生装置1における各種演算および制御動作を実行するための各種プログラムや各種情報についてのデフォルト値等を記憶する。イオン発生装置1（ECRイオン源10）における一連の動作は、イオン発生装置1（ECRイオン源10）の各コンポーネントが制御装置30によって制御されることによって実現する。

[0025] 制御装置30は、記憶部に記憶された適宜のプログラムに従って動作することによって、ガス制御部31、マイクロ波制御部32、真空ポンプ制御部33、引き出し電圧制御部34、磁石電流制御部35、および補助電圧制御部36として機能する。

[0026] ガス制御部31は、ガス供給部12 aに設けられたガスバルブの動作を制御して、ガスバルブの開閉の切り替えやガスバルブを通過する（プラズマチャンバー11内に供給される）ガスの流量調整の制御を行う。

[0027] マイクロ波制御部32は、ECRイオン源10のマイクロ波電源13 aの動作を制御して、マイクロ波導波管13を通してプラズマチャンバー11内に入力するマイクロ波パワー（加速電場用入力パワー）を調整する。マイクロ波パワーを適切に制御することにより、プラズマチャンバー11内に生成されるプラズマ1 aを適切な密度にすることができる。

- [0028] 真空ポンプ制御部33は、真空ポンプ14のON/OFFおよび排気量の設定等の真空ポンプ14の動作を制御する。真空ポンプ14の動作を適切に制御することにより、プラズマチャンバー11の内部が高真空状態に保持される。
- [0029] 引き出し電圧制御部34は、ECRイオン源10において、プラズマチャンバー11内に生成されたプラズマ1aから、目的のイオンを所定のエネルギーで引き出すために、所定の電源から引き出し電極部15に印加される引き出し電圧の電圧値を設定する。
- [0030] 磁石電流制御部35は、ECRイオン源10において、多極磁石16および軸方向磁場用磁石17による磁場の回りを円運動する電子の周波数を、マイクロ波導波管13を通して印加するマイクロ波の周波数の近傍値に選定して、プラズマチャンバー11内に電子サイクロトロン共鳴（ECR）現象によるプラズマ1aが生成しやすいように、多極磁石16および軸方向磁場用磁石17に所定の電源から印加される電圧値（電圧値により定まる多極磁石16および軸方向磁場用磁石17に流れる電流値：閉じ込め磁場用電磁石電流値）を設定する。
- [0031] 補助電圧制御部36は、ECRイオン源10の補助電圧印加部20の動作を制御して、補助電圧値を調整する。具体的には、補助電圧制御部36は、補助電圧印加部20の動作を制御して、補助電圧値を時間変化させることができる。
- [0032] このような構成のECRイオン源10では、真空ポンプ14により真空が保持されたプラズマチャンバー11内にガスノズル12からガスを導入し、プラズマチャンバー11内に導入したガスにマイクロ波導波管13からマイクロ波電源（図示省略）由来のマイクロ波パワーを印加し、プラズマ放電のトリガーとなる電子を電離させ、さらに、その電離した電子をプラズマチャンバー11の側面部を取り囲む多極磁石16および軸方向磁場用磁石17の磁場によって閉じ込め、マイクロ波との共鳴を繰り返してプラズマ1aを発生させることで、ガスの原子をイオン化している。

[0033] そして、プラズマチャンバー11内で生成されたイオン（イオン群）は、アノード18と低電圧に置かれる引き出し電極部15との間に生じる電場により引き出し電極部15を通過してプラズマチャンバー11内から引き出され、所定のエネルギーが付与されることによりイオンビーム1bとなって所定の方向（射出方向）に射出される。引き出し電極部15から射出されたイオンビーム1bは、引き出し電極部15に接続されたビーム輸送系（イオンビーム輸送手段）に導入される。したがって、プラズマチャンバー11内から引き出されたイオンビーム1bは、イオンビーム輸送手段を経由して照射対象物に照射される。

[0034] また、本発明のECRイオン源10では、プラズマチャンバー11内に導入したガスにマイクロ波導波管13からマイクロ波パワーを印加する際に、補助電極19に負の補助電圧が印加されている。これにより、プラズマ1aから流出（流失）する電子をプラズマ1aに押し戻すことができ、イオンビーム1bの強度を増大させることができる。すなわち、補助電極19に負の補助電圧を印加することによって、イオンの生成量を増大させることができる。そして、本発明の補助電圧値制御方法を採用することによって補助電圧値を適切に制御することにより、プラズマチャンバー11内で生成される（引き出し電極部15から引き出される）イオンの生成量をさらに増大させることができる。以下、本発明において補助電極19に補助電圧を印加する際のECRイオン源10の動作および作用効果について説明する。

<本発明のECRイオン源の動作>

[0035] 図3は本発明の補助電圧値制御方法を説明するタイムチャートである。なお、以下に説明する補助電圧値 V_{BD} の変化は、補助電圧印加部20の動作を制御する補助電圧制御部36および補助電圧印加部20の動作によるものである。図3に示すタイムチャートは各動作のタイミングの前後関係を示すためのものであり、図示されている時間の幅は実際の時間に比例する訳ではない。

[0036] 図3に示すように、補助電圧値 V_{BD} は、所定の電圧値である第1の電圧値

V 1 と第 1 の電圧値 V 1 よりも電圧値が低い第 2 の電圧値 V 2 との 2 レベルのパルス波として時間変化される。ただし、第 1 の電圧値 V 1 および第 2 の電圧値 V 2 はともに負の電圧値であるため、第 2 の電圧値 V 2 は第 1 の電圧値 V 1 よりも絶対値が大きい。

[0037] 第 1 の電圧値 V 1 は、補助電圧値 V_{BD} のデフォルト値（初期設定値）である。また、第 1 の電圧値 V 1 は、少なくとも 0 V 未満であり、 -100 V 未満とすることができ、 -150 V 未満とすることが好ましく、 -160 V 未満とすることがより好ましい。

[0038] 第 2 の電圧値 V 2 は、少なくとも第 1 の電圧値 V 1 よりも低い電圧値であり、たとえば第 1 の電圧値 V 1 の 1.2 倍以上の電圧値とすることができる。第 2 の電圧値 V 2 の詳しい設定方法については後述する。

[0039] 本実施形態では、補助電圧値 V_{BD} は、第 1 の電圧値 V 1 と第 2 の電圧値 V 2 との 2 レベルの矩形波として時間変化する。ここで、補助電圧値 V_{BD} が第 1 の電圧値 V 1 から第 2 の電圧値 V 2 に変化する（電圧値が低下する）タイミングを補助電圧低下タイミング（第 1 のタイミング）T 1 とし、補助電圧値 V_{BD} が第 2 の電圧値 V 2 から第 1 の電圧値 V 1 に変化する（電圧値が上昇する）タイミングを補助電圧上昇タイミング（第 2 のタイミング）T 2 とし、補助電圧低下タイミング T 1 から補助電圧上昇タイミング T 2 までの期間（補助電圧値 V_{BD} が第 2 の電圧値 V 2 である期間）を高電圧期間（第 1 の期間）T h とする。上述したように補助電圧値 V_{BD} はパルス波として時間変化するため、高電圧期間 T h は、補助電圧値 V_{BD} の波形におけるパルス幅ということもできる。

[0040] また、図 3 に示すように、マイクロ波導波管 13 からの電離エネルギーの供給（マイクロ波パワーの出力）が開始されるタイミング（マイクロ波パワー出力開始タイミング）を電離エネルギー供給開始タイミング（第 3 のタイミング）T 3 とし、マイクロ波導波管 13 からの電離エネルギーの供給（マイクロ波パワーの出力）が終了するタイミング（マイクロ波パワー出力終了タイミング）を電離エネルギー供給終了タイミング（第 4 のタイミング）T

4とし、電離エネルギー供給開始タイミングT3から電離エネルギー供給終了タイミングT4までの期間（マイクロ波パワーの出力期間）を電離エネルギー供給期間T_pとする。

[0041] 補助電圧低下タイミングT1は、電離エネルギー供給期間T_pの期間内に設定される。すなわち、補助電圧低下タイミングT1は、電離エネルギー供給開始タイミングT3よりも後であって、電離エネルギー供給終了タイミングT4よりも前に設定される。したがって、補助電圧低下タイミングT1が電離エネルギー供給期間T_pの期間内に設定されることから、高電圧期間T_hと電離エネルギー供給期間T_pとは、少なくとも重なる期間がある。すなわち、本発明では、マイクロ波ON中にパルス電圧を印加する。

[0042] 補助電圧上昇タイミングT2は、電離エネルギー供給期間T_pの期間内に設定される。すなわち、補助電圧上昇タイミングT2は、電離エネルギー供給開始タイミングT3よりも後であって、電離エネルギー供給終了タイミングT4よりも前に設定される。したがって、補助電圧上昇タイミングT2が電離エネルギー供給期間T_pの期間内に設定されることから、高電圧期間T_hと電離エネルギー供給期間T_pとは、少なくとも重なる期間がある。

[0043] また、補助電圧低下タイミングT1も電離エネルギー供給期間T_pの期間内に設定された場合、高電圧期間T_hは、電離エネルギー供給期間T_pの期間内に設定される。すなわち、高電圧期間T_hは、その全期間が電離エネルギー供給期間T_pと重なる。

[0044] また、本実施形態では、補助電圧低下タイミングT1は、電離エネルギー供給開始タイミングT3から所定時間（所定期間）T_g経過後に設定されている。ここで、所定時間T_gは、イオン（特に多価イオン）の生成量の増大に必要な時間に合わせて設定されている。たとえば、多価イオンの生成量増大の観点で言えば、所定時間T_gは価数qとした場合のz価（z = 1, 2, …, q）のイオン生成に必要な平均時間 τ 以上の時間とすることができる。平均時間 τ は、電子密度 n_e 、電子の速度 v_e 、z - 1価からz価への電離断面積 $\sigma_{z-1 \rightarrow z}(v_e)$ を用いて以下の[数1]および[数2]から求

めることができる。

[0045] [数1]

$$\tau_{z-1 \rightarrow z} = [n_e \sigma_{z-1 \rightarrow z} (v_e) v_e]^{-1}$$

[0046] [数2]

$$\tau = \sum_{z=1}^q \tau_{z-1 \rightarrow z}$$

[0047] 平均時間 τ を基準に所定時間 T_g を設定することによって、価数 q の目的のイオンを効果的に増大させることができる。たとえば、所定時間 T_g は、平均時間 τ の 60% 以上の長さとすることができ、平均時間 τ の 80% 以上の長さとするのが好ましく、平均時間 τ の 90% 以上の長さとするのがより好ましく、平均時間 τ の 100% 以上の長さとするのが好適である。特に、所定時間 T_g を平均時間 τ の 100% 以上の長さとすることによって価数 q の目的のイオンをより効果的に増大させることができる。すなわち、電離エネルギー供給開始タイミング T_3 から平均時間 τ 以上の時間経過後に補助電圧低下タイミング T_1 を設定することが好ましい。

<本発明採用時のイオン電流値>

[0048] 以下、図 4 ~ 図 7 を参照して本発明の補助電圧値制御方法を採用した場合の作用効果（イオン電流値の増大効果）について説明する。以下、イオン電流値とは、ECR イオン源 10（イオン発生装置 1）の下流側（イオンビーム 1 b の進行方向から見て下流側）に電流測定部として分析電磁石およびファラデーカップを配置し、ECR イオン源 10 から射出されたイオンビーム 1 b を電流測定部で測定して得られた電流値のことをいう。このため、ECR イオン源 10 の下流側におけるイオンビーム 1 b に含まれるイオンが多いほど、すなわち ECR イオン源 10 におけるイオンの生成量が多いほど、イ

オン電流値が大きくなる。したがって、イオン電流値が増大していれば、ECRイオン源10におけるイオンの生成量が増大していると推定できる。

[0049] 図4は本発明の一実施例（実施例1）におけるイオン電流値の変化を示す説明図である。実施例1では、ECRイオン源10において O^{6+} イオンを生成した場合の O^{6+} イオンビームの電流値をイオン電流値とした。実施例1では、第1の電圧値V1を $-160V$ とし、第2の電圧値V2を $-1000V$ （ $-1kV$ ）とし、電離エネルギー供給期間Tpを $50msec$ とした。また、実施例1では、補助電圧低下タイミングT1を、電離エネルギー供給開始タイミングT3から $20msec$ 経過後に設定し、高電圧期間Thは $1msec$ とした。

[0050] 図4に示すように、実施例1では、第1の電圧値V1が印加されている期間では、イオン電流値は最大で $120\mu A$ 程度であり、第2の電圧値V2が印加されている期間（高電圧期間Th）ではイオン電流値は $210\mu A$ 程度に増大していた。ここで、補助電圧を全く印加しなかった場合（第1の電圧値V1および第2の電圧値V2の両方が $0V$ である場合）のイオン電流値は $20\mu A$ 程度である。したがって、第1の電圧値V1を印加することによってイオン電流値が増大することに加え、第2の電圧値V2印加時には第1の電圧値V1印加時よりもさらにイオン電流値が70%程度増大することがわかった。このように、実施例1では、イオンの生成量を飛躍的に増大させることができた。すなわち、補助電極19に印加される補助電圧の補助電圧値 V_{BD} を、第1の電圧値V1と第2の電圧値V2との2レベルのパルス波として時間変化させることによって、プラズマ1aから流失する電子をプラズマ1aに効果的に押し戻すことができている。

[0051] 図5は本発明の他の実施例（実施例2）と比較例（比較例1）のイオン電流値の変化を示す説明図である。実施例2および比較例1では、ECRイオン源10において O^{6+} イオンを生成した場合の O^{6+} イオンビームの電流値をイオン電流値とした。また、実施例2および比較例1では、電離エネルギー供給期間Tpを $50msec$ とし、補助電圧低下タイミングT1を、電離エ

エネルギー供給開始タイミングT₃から20 msec経過後に設定し、高電圧期間T_hは5 msecとした。また、実施例2では、第1の電圧値V₁を-160 Vとし、第2の電圧値V₂を-1000 V (-1 kV)とした(実施例1と同じ)。一方、比較例1では、第1の電圧値V₁を0 Vとし、第2の電圧値V₂を-1000 V (-1 kV)とした。

[0052] 図5に示すように、実施例2では、実施例1と同様に、第1の電圧値V₁が印加されている期間では、イオン電流値は最大で120 μA程度であり、第2の電圧値V₂が印加されている期間(高電圧期間T_h)ではイオン電流値は210 μA程度に増大していた。一方、比較例1では、第2の電圧値V₂が印加されていない期間(電離エネルギー供給のみ)ではイオン電流値は最大でも20 μA程度であり、第2の電圧値V₂が印加されている期間でもイオン電流値は120 μA程度までしか上昇しなかった。実施例2と比較例1との結果より、第1の電圧値V₁と第2の電圧値V₂との2レベルのパルス波として時間変化させることによって、イオンの生成量をより増大可能であることがわかった。

[0053] 図6は本発明の複数の実施例と比較例におけるイオン電流値の変化を示す説明図である。図7は本発明の複数の実施例と比較例における補助電圧値V_B_Dとイオン電流値の関係を示す説明図である。図6および図7では、第1の電圧値V₁を-160 Vで固定し、-200 V~-1800 Vの範囲内で互いに異なる第2の電圧値V₂を設定し、第2の電圧値V₂を印加し、補助電圧値V_B_Dをパルス波として時間変化させた実施例3~10と、第2の電圧値V₂を印加しなかった(-160 Vのままとし、補助電圧値V_B_Dをパルス波として時間変化させなかった)比較例2のイオン電流値の測定結果を示している。ただし、説明の便宜上、図6では実施例8~10のイオン電流値の表示を省略している。

[0054] 具体的には、実施例3では第2の電圧値V₂を-200 Vとし、実施例4では第2の電圧値V₂を-300 Vとし、実施例5では第2の電圧値V₂を-400 Vとし、実施例6では第2の電圧値V₂を-600 Vとし、実施例

7では第2の電圧値V2を-800Vとし、実施例8では第2の電圧値V2を-1000Vとし、実施例9では第2の電圧値V2を-1200Vとし、実施例10では第2の電圧値V2を-1400Vとした。

[0055] 図6および図7に示すように、比較例2では、イオン電流値の最大値は120 μ A程度であるのに対し、実施例3~10では、イオン電流値の最大値は少なくとも160 μ A以上であった。すなわち、実施例3~10の全てにおいて、イオン電流値が比較例2を上回った。実施例3~10と比較例2との結果より、第2の電圧値V2を印加せず、補助電圧値V_{BD}をパルス波として時間変化させなかった場合に比べて、第2の電圧値V2を印加し、補助電圧値V_{BD}をパルス波として時間変化させることによってイオンの生成量をより増大可能であることがわかった。

[0056] また、実施例3~10のうち、第2の電圧値V2の電圧値が最も低く、第1の電圧値の1.2倍を超えた程度の電圧値である実施例3（第2の電圧値V2が-200V）であっても、イオン電流値の最大値が増大している。このことから、第2の電圧値V2は、第1の電圧値の1.2倍以上の電圧値とすることができる。

[0057] さらに、実施例3~10を比較して分かるように、所定の電圧値までは第2の電圧値V2が高くなるにつれてイオン電流値の最大値が大きくなる。本実施形態では、実施例3~6から分かるように、-800Vまでは第2の電圧値V2が高くなるにつれてイオン電流値の最大値が大きくなる。このことから、第2の電圧値V2は、第1の電圧値の2倍以上の電圧値とすることが好ましく、第1の電圧値の3倍以上の電圧値とすることがより好ましく、第1の電圧値の4倍以上の電圧値とすることが好適であり、第1の電圧値の5倍以上の電圧値とすることがより好適である。

[0058] 一方、実施例6~10から分かるように、第2の電圧値V2は、第1の電圧値の6倍以上の電圧値にした（実施例7~10）としても、第1の電圧値の5倍の電圧値にした場合（実施例6）に対してイオン電流値が同程度か若干低下する。したがって、第2の電圧値V2は、第1の電圧値の6倍以下の

電圧値とすることが好ましい。このようにすれば、補助電極 19 へのダメージ（補助電極 19 の損傷）を抑制することができる。

[0059] 以上のように、本発明によれば、補助電極 19 に印加される補助電圧の補助電圧値 V_{BD} が、第 1 の電圧値 V_1 と第 1 の電圧値 V_1 よりも電圧値が低い第 2 の電圧値 V_2 との 2 レベルのパルス波として時間変化されることによって、プラズマ 1 a から流失する電子をプラズマ 1 a に効果的に押し戻すことができ、イオンの生成量を増大させることができる。また、本発明は、補助電極 19 に印加される補助電圧の補助電圧値 V_{BD} を、第 1 の電圧値 V_1 と第 1 の電圧値 V_1 よりも電圧値が低い第 2 の電圧値 V_2 との 2 レベルのパルス波として時間変化させるイオン取り出し方法として使用することもできる。

[0060] また、本発明では、補助電圧低下タイミング T_1 が、電離エネルギー供給期間 T_p の期間内に設定されることによって、高電圧期間 T_h と電離エネルギー供給期間 T_p とは、少なくとも重なる期間がある。このため、プラズマ 1 a を発生させている期間中に、プラズマ 1 a から流失する電子をプラズマ 1 a に効果的に押し戻すことができ、イオンの生成量を増大させることができる。

[0061] さらに、本発明によれば、補助電圧低下タイミング T_1 が、電離エネルギー供給開始タイミング T_3 から所定時間 T_g 経過後に設定されており、所定時間 T_g が、イオン（特に多価イオン）の生成量の増大に必要な時間に合わせて設定されている。このため、多価イオンの生成量を効果的に増大させることができる。

[0062] さらにまた、本発明によれば、補助電圧上昇タイミング T_2 が、電離エネルギー供給期間 T_p の期間内に設定されているため、高電圧期間 T_h が必要以上に長くなることが無く、補助電極 19 へのダメージ（補助電極 19 の損傷）を抑制することができる。

[0063] また、本発明によれば、第 2 の電圧値 V_2 が第 1 の電圧値の 1.2 倍以上の電圧値とすることができ、このようにすれば、イオンの生成量を確実に増大させることができる。

[0064] さらに、本発明によれば、補助電極 19 が、真空引き用開口部 11a に挿入されており、プラズマチャンバー 11 内の上流側（イオン射出用開口部 11b の反対側、またはイオンビームの進行方向から見て後側）に配置されているため、プラズマ 1a から流失する電子をプラズマ 1a（イオン射出用開口部 11b 側、すなわちイオンビーム 1b の進行方向）に効果的に押し戻すことができ、射出されるイオンの量を増大させることができる。

[0065] 本発明のイオン発生装置 1 は粒子線発生装置または粒子線照射装置（イオンビーム照射装置）に適用することもできる。たとえば、イオン発生装置 1 は、加速器として前段加速器（線形加速器）と主加速器を用いるシンクロトロンに適用することもできるし、円形加速器のみを用いるサイクロトロンに適用することもできる。これらの場合であっても、効率よくイオンビームを取り出すことによって、効率よく粒子線を発生ないし照射することができる。図 8 は、本発明のイオン発生装置 1 を適用したイオンビーム照射装置 100 の構成を示す構成図である。図 8 に示す実施形態のイオンビーム照射装置 100 は、イオン発生装置 1 で発生したイオンビームを加速する円形加速器 110 と、円形加速器 110 から送られるイオンビームを照射対象に照射する照射部 120 とを備える。

[0066] 図 9 は補助電圧値制御方法の変形例を説明するタイムチャートである。ここで、図 9 に示すように、イオン発生装置 1 の後段（下流側）に円形加速器 110 が設けられている場合、イオン発生装置 1 で発生したイオンビームが円形加速器 110 に入射開始されるタイミングをイオンビーム入射開始タイミング（第 5 のタイミング） T_5 とし、イオン発生装置 1 で発生したイオンビームが円形加速器 110 に入射終了するタイミングをイオンビーム入射終了タイミング（第 6 のタイミング） T_6 とし、イオンビーム入射開始タイミング T_5 からイオンビーム入射終了タイミング T_6 までの期間（イオンビーム入射期間）をイオンビーム入射期間 T_i とする。この場合、補助電圧低下タイミング T_1 は、イオンビーム入射開始タイミング T_5 よりも前に設定され、補助電圧上昇タイミング T_2 は、イオンビーム入射終了タイミング T_6

よりも後に設定されている。すなわち、補助電圧低下タイミング T_1 および補助電圧上昇タイミング T_2 のそれぞれは、イオンビーム入射期間 T_i を挟むように前後に設定されている。したがって、高電圧期間 T_h は、イオンビーム入射期間 T_i の全期間に重なるように設定されている。このようにすれば、イオン発生装置1の後段（下流側）の加速器に入射されるイオンビーム1bに含まれるイオンを増大させることができる。したがって、イオンビーム照射装置100として時間当たりのイオン照射量を増大させることができ、照射対象への照射時間を短縮できる。

[0067] この発明のイオン発生装置は上記実施形態のイオン発生装置1に対応し、以下同様に、チャンバーはプラズマチャンバー11に対応し、ガス供給部はガス供給部12aおよびガスノズル12に対応し、電離エネルギー供給部はマイクロ波電源13aおよびマイクロ波導波管13に対応し、補助電極は補助電極19に対応し、電圧印加部は補助電圧印加部20に対応し、電圧制御部は補助電圧制御部36に対応し、第1開口部は真空引き用開口部11aに対応し、第2開口部はイオン射出用開口部11bに対応し、加速器は円形加速器110に対応し、照射部は照射部120に対応するが、この発明は本実施形態に限られず他の様々な実施形態とすることができる。また、上述の実施形態で挙げた具体的な構成等は一例であり、実際の製品に応じて適宜変更することが可能である。

[0068] たとえば、本発明のイオン発生装置1は、基板等の電子部品の表面をイオンビームによって洗浄（異物の除去）やエッチングを行う表面処理装置に適用することもできる。この場合であっても、簡単な構成で効率よくイオンビームを取り出すことによって、簡単な構成で効率よく表面処理することができる。

[0069] 請求項1の発明を、真空中に導入したガスからイオンビームを生成するためのチャンバーと、前記チャンバー内にガスを供給するガス供給部と、前記ガスの原子をイオン化するための電離エネルギーを前記チャンバー内に供給する電離エネルギー供給部と、前記チャンバー内に配置された補助電極と、

前記補助電極に負の補助電圧を印加する電圧印加部と、前記電圧印加部から前記補助電極に印加される前記補助電圧の電圧値を制御する電圧制御部とを備え、前記電圧制御部は、前記補助電圧の電圧値を、所定の電圧値である第1の電圧値と前記第1の電圧値よりも電圧値が低い第2の電圧値との2レベルのパルス波として時間変化させる構成であるイオン発生装置とすることができる。

請求項2の発明を、前記電圧制御部は、前記電離エネルギー供給部により前記チャンバー内に前記電離エネルギーが供給される期間内に、前記補助電圧の電圧値を前記第1の電圧値から前記第2の電圧値に変化させる構成である請求項1記載のイオン発生装置とすることができる。

請求項3の発明を、前記電圧制御部は、前記電離エネルギー供給部により前記チャンバー内に前記電離エネルギーが供給開始されたときから所定時間経過後に、前記補助電圧の電圧値を前記第1の電圧値から前記第2の電圧値に変化させる構成である請求項1または2記載のイオン発生装置とすることができる。

請求項4の発明を、前記電圧制御部は、前記電離エネルギー供給部により前記チャンバー内に前記電離エネルギーが供給される期間内に、前記補助電圧の電圧値を前記第2の電圧値から前記第1の電圧値に変化させる構成である請求項1、2または3記載のイオン発生装置とすることができる。

請求項5の発明を、前記第2の電圧値は、前記第1の電圧値の1.2倍以上の電圧値である請求項1ないし4のいずれか1項に記載のイオン発生装置とすることができる。

請求項6の発明を、前記チャンバーは、一方端部に第1開口部が設けられ、他方端部にイオンを前記チャンバーの外部空間に射出するための第2開口部が設けられ、前記補助電極は、前記第1開口部から前記チャンバー内に挿入されている請求項1ないし5のいずれか1項に記載のイオン発生装置とすることができる。

請求項7の発明を、請求項1ないし6のいずれか1項に記載のイオン発生

装置と、前記イオン発生装置で発生したイオンビームを加速する加速器と、前記加速器から送られるイオンビームを照射対象に照射する照射部とを備えた、イオンビーム照射装置とすることができる。

産業上の利用可能性

[0070] この発明は、イオンビームを生成し、生成したイオンビームを照射対象に照射する産業に利用することができる。

符号の説明

- [0071] 1…イオン発生装置
10…ECRイオン源
11…プラズマチャンバー
12…ガスノズル
13…マイクロ波導波管
14…真空ポンプ
15…引き出し電極部
16…多極磁石
17…軸方向磁場用磁石
18…アノード
19…補助電極
20…補助電圧印加部
30…制御装置
36…補助電圧制御部
100…イオンビーム照射装置
110…円形加速器
120…照射部

請求の範囲

- [請求項1] 真空中に導入したガスからイオンビームを生成するためのチャンバーと、
前記チャンバー内にガスを供給するガス供給部と、
前記ガスの原子をイオン化するための電離エネルギーを前記チャンバー内に供給する電離エネルギー供給部と、
前記チャンバー内に配置された補助電極と、
前記補助電極に負の補助電圧を印加する電圧印加部と、
前記電圧印加部から前記補助電極に印加される前記補助電圧の電圧値を制御する電圧制御部とを備え、
前記電圧制御部は、前記補助電圧の電圧値を、所定の電圧値である第1の電圧値と前記第1の電圧値よりも電圧値が低い第2の電圧値との2レベルのパルス波として時間変化させる構成である
イオン発生装置。
- [請求項2] 前記電圧制御部は、前記電離エネルギー供給部により前記チャンバー内に前記電離エネルギーが供給される期間内に、前記補助電圧の電圧値を前記第1の電圧値から前記第2の電圧値に変化させる構成である
請求項1記載のイオン発生装置。
- [請求項3] 前記電圧制御部は、前記電離エネルギー供給部により前記チャンバー内に前記電離エネルギーが供給開始されたときから所定時間経過後に、前記補助電圧の電圧値を前記第1の電圧値から前記第2の電圧値に変化させる構成である
請求項1または2記載のイオン発生装置。
- [請求項4] 前記電圧制御部は、前記電離エネルギー供給部により前記チャンバー内に前記電離エネルギーが供給される期間内に、前記補助電圧の電圧値を前記第2の電圧値から前記第1の電圧値に変化させる構成である

請求項 1、2 または 3 記載のイオン発生装置。

[請求項5] 前記第 2 の電圧値は、前記第 1 の電圧値の 1.2 倍以上の電圧値である

請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載のイオン発生装置。

[請求項6] 前記チャンバーは、一方端部に第 1 開口部が設けられ、他方端部にイオンを前記チャンバーの外部空間に射出するための第 2 開口部が設けられ、

前記補助電極は、前記第 1 開口部から前記チャンバー内に挿入されている

請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載のイオン発生装置。

[請求項7] 請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載のイオン発生装置と、前記イオン発生装置で発生したイオンビームを加速する加速器と、前記加速器から送られるイオンビームを照射対象に照射する照射部とを備えた、

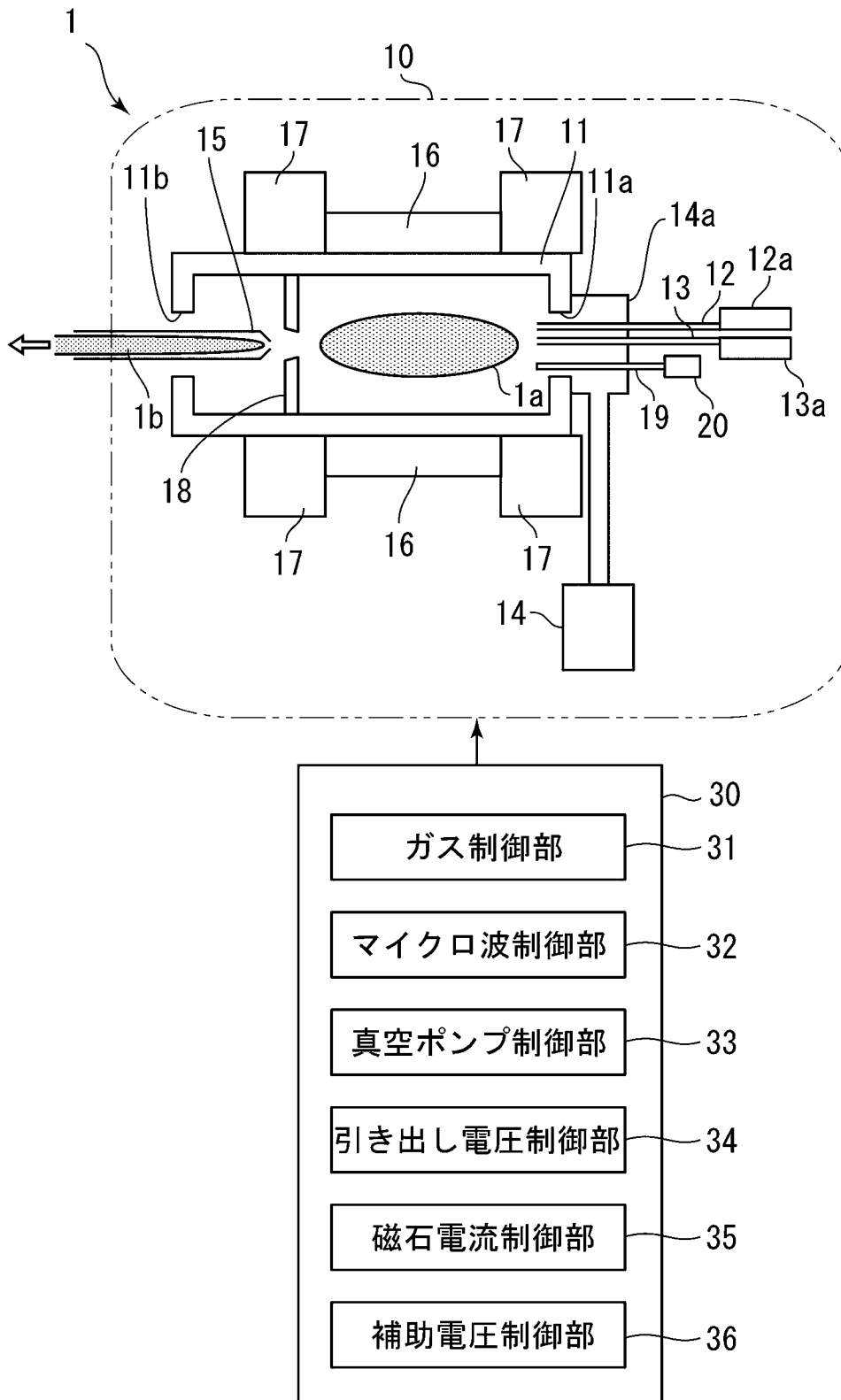
イオンビーム照射装置。

[請求項8] 真空中に導入したガスからイオンビームを生成するためのチャンバーと、前記チャンバー内にガスを供給するガス供給部と、前記ガスの原子をイオン化するための電離エネルギーを前記チャンバー内に供給する電離エネルギー供給部と、前記チャンバー内に配置された補助電極と、前記補助電極に負の補助電圧を印加する電圧印加部と、前記電圧印加部から前記補助電極に印加される前記補助電圧の電圧値を制御する電圧制御部とを備えたイオン発生装置からイオンビームを取り出すイオン取り出し方法であって、

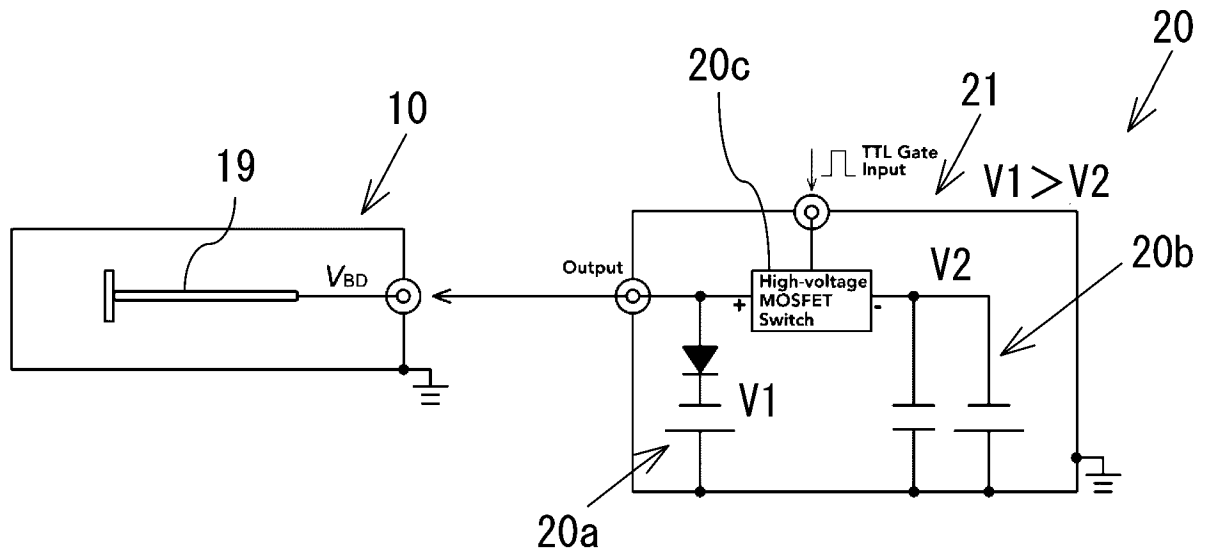
前記補助電圧の電圧値を、所定の電圧値である第 1 の電圧値と前記第 1 の電圧値よりも電圧値が低い第 2 の電圧値との 2 レベルのパルス波として時間変化させる

イオン取り出し方法。

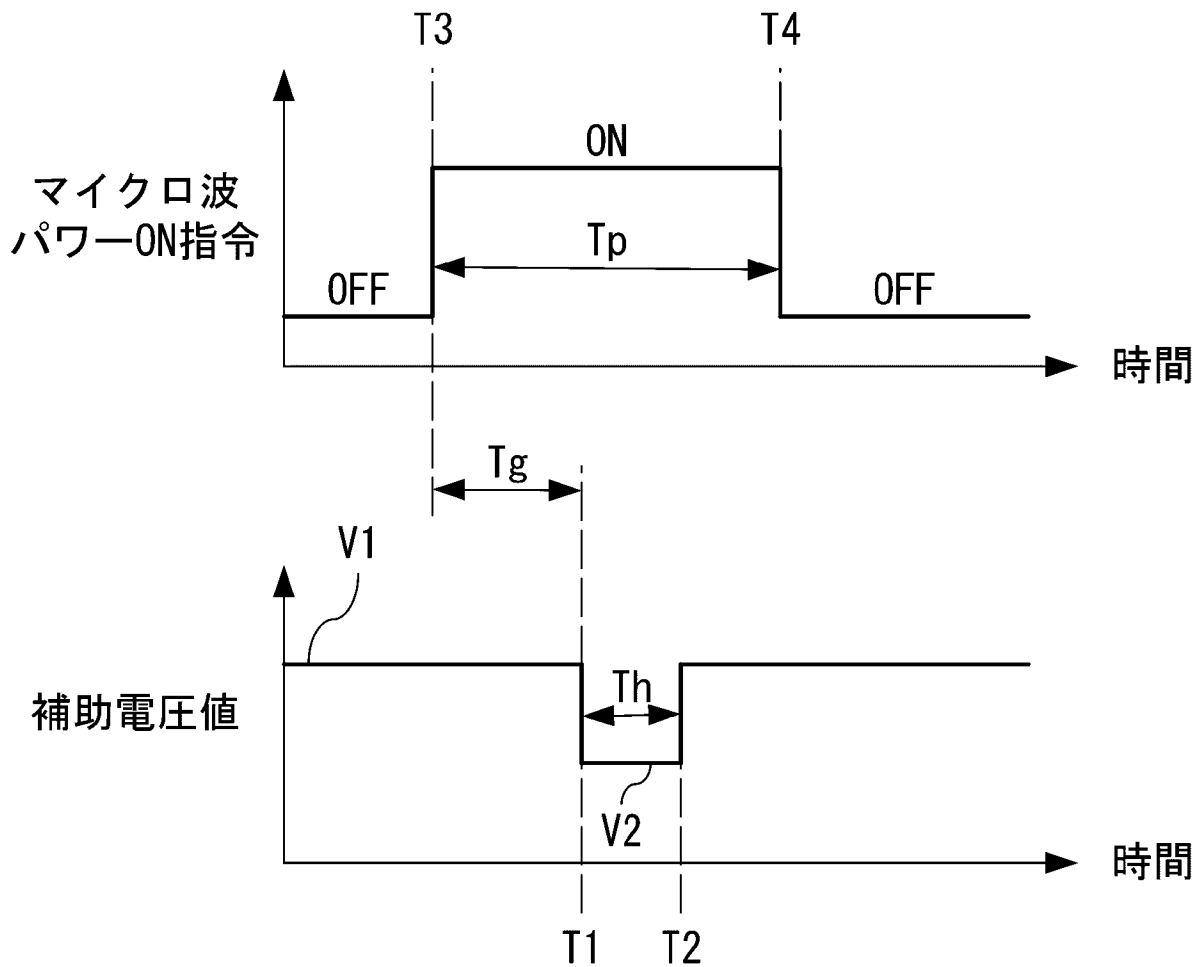
[図1]



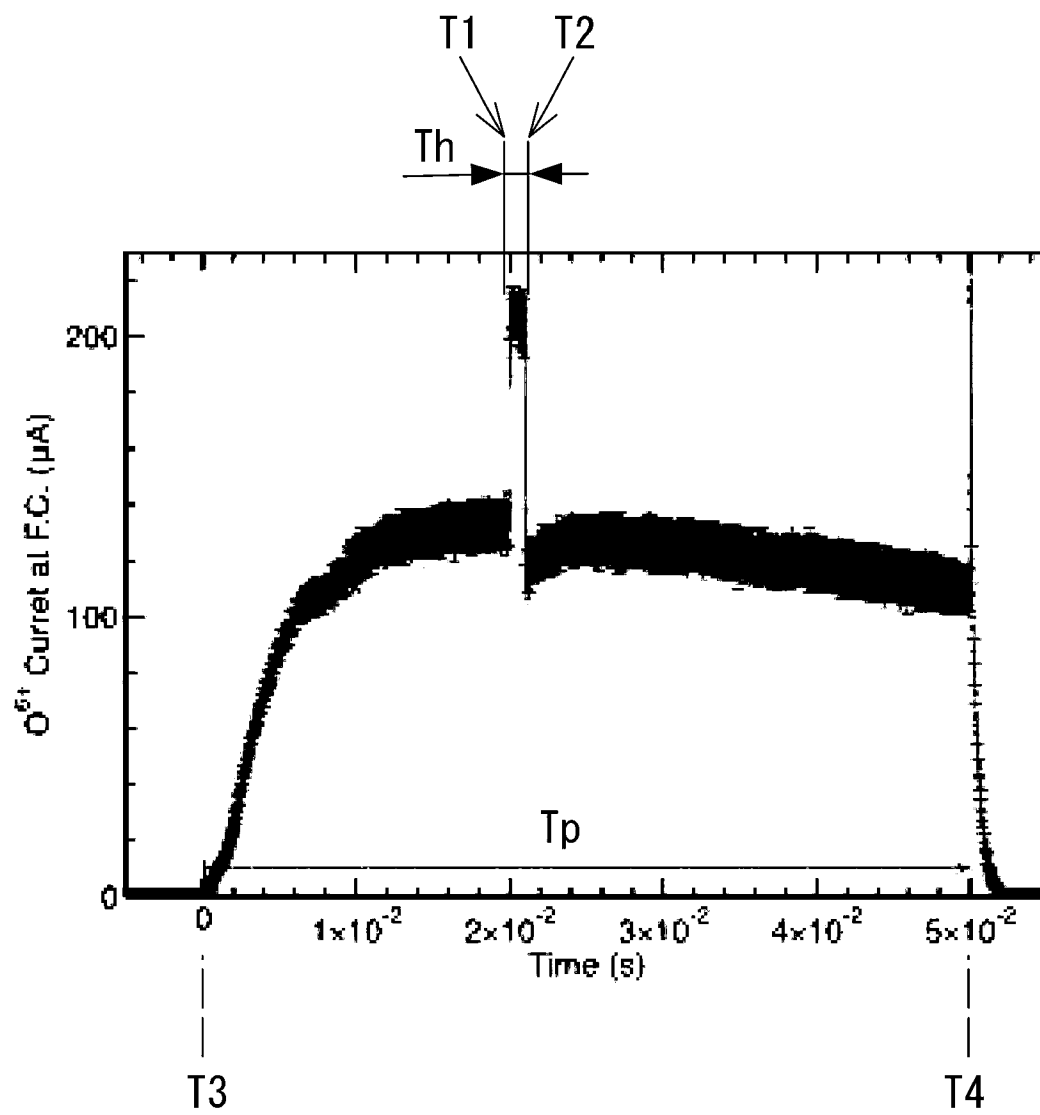
[図2]



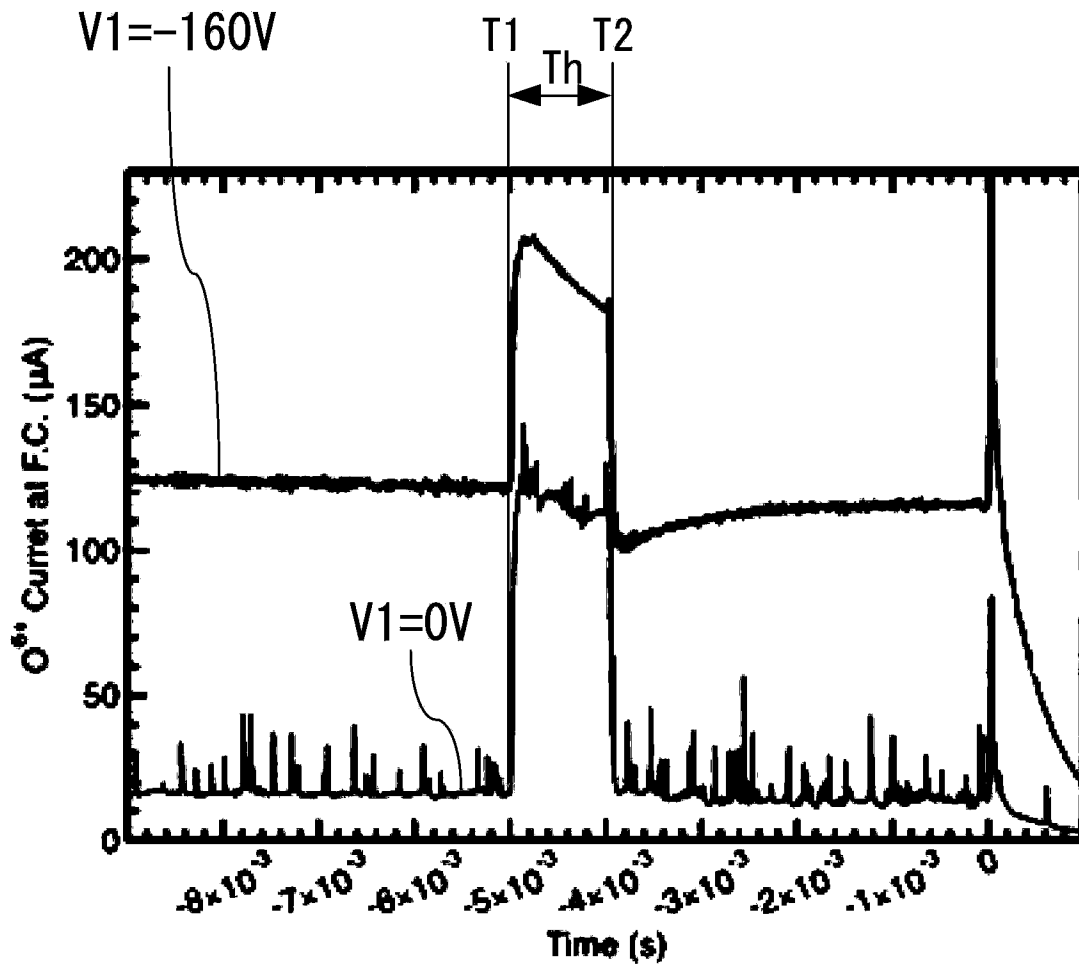
[図3]



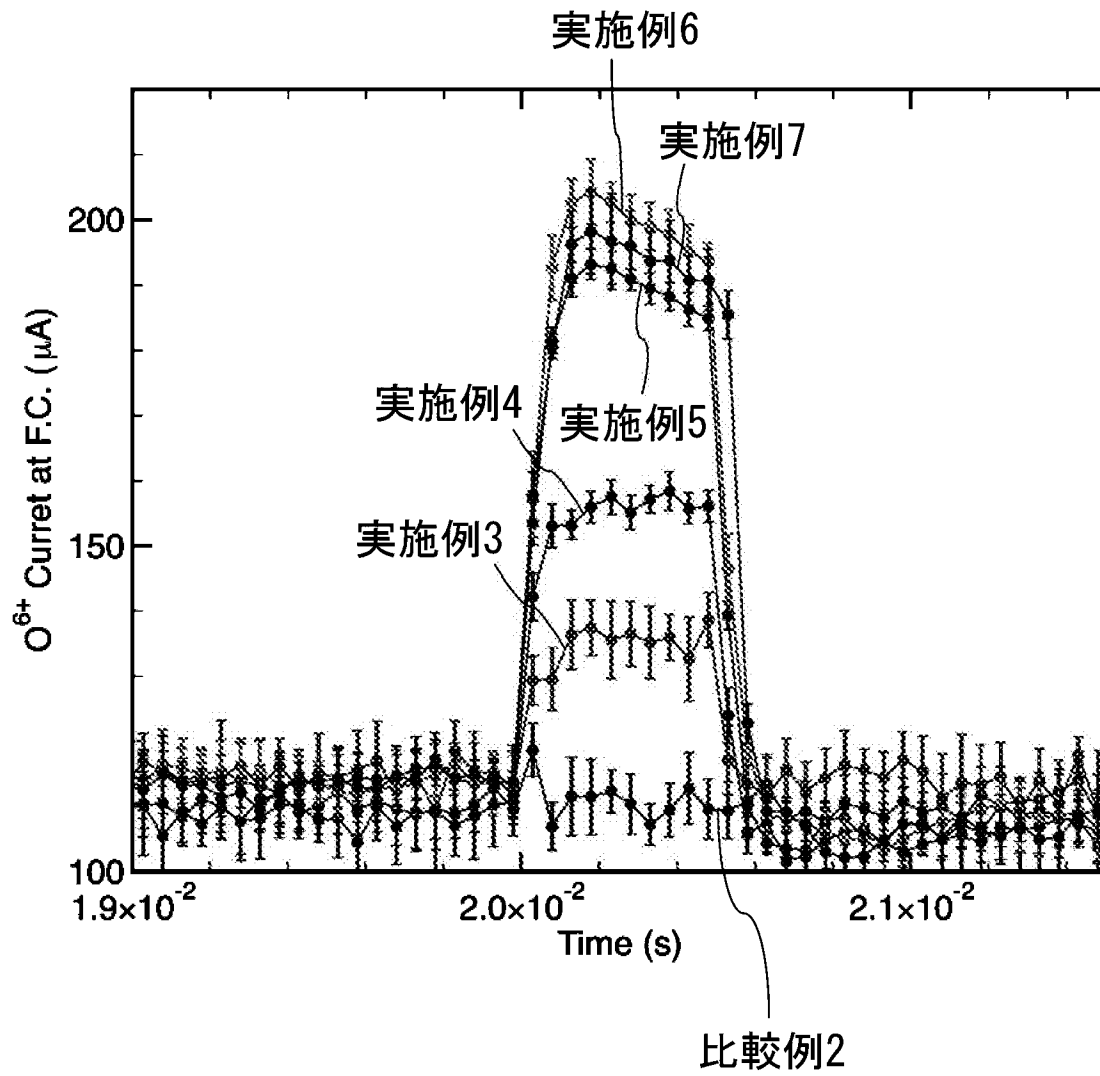
[図4]



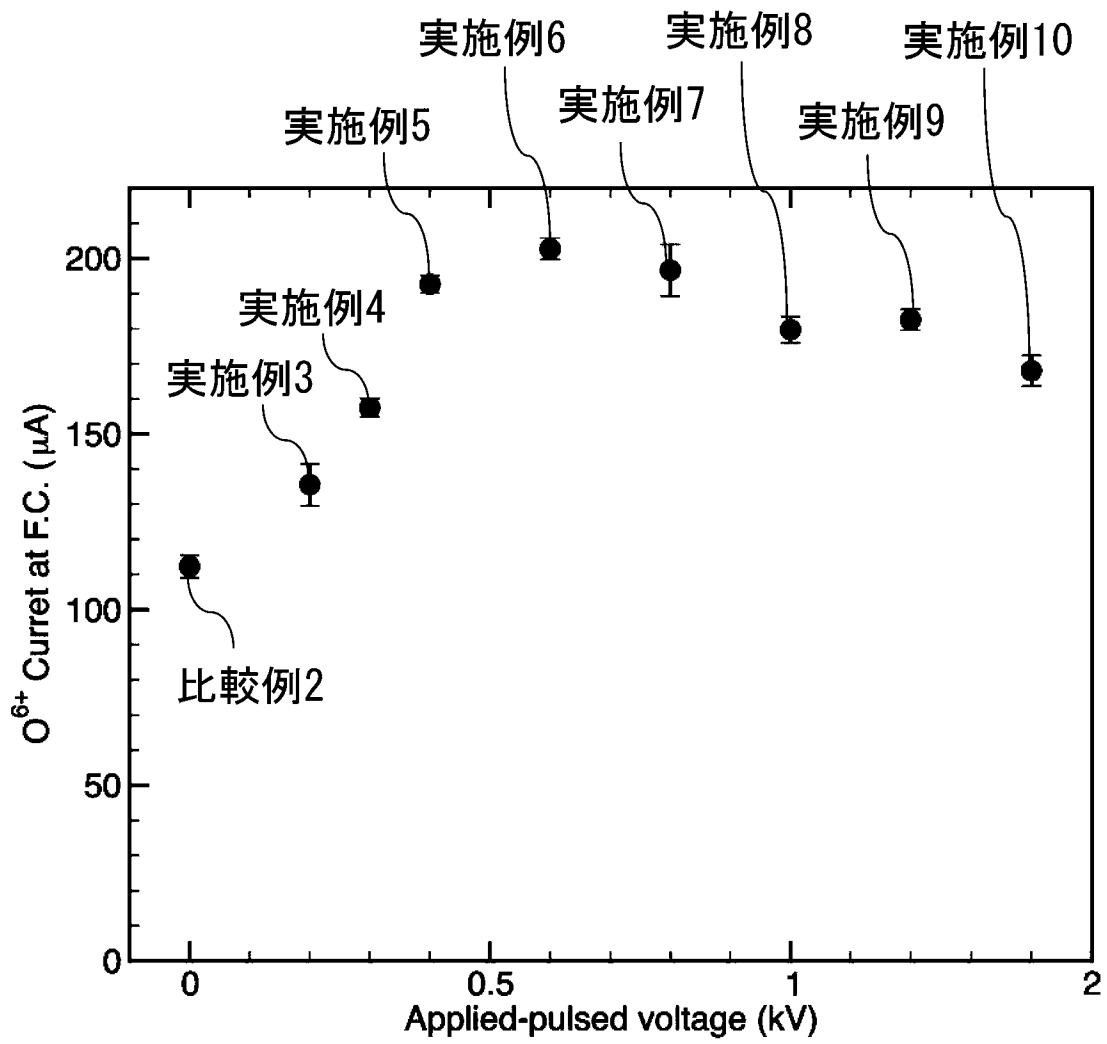
[図5]



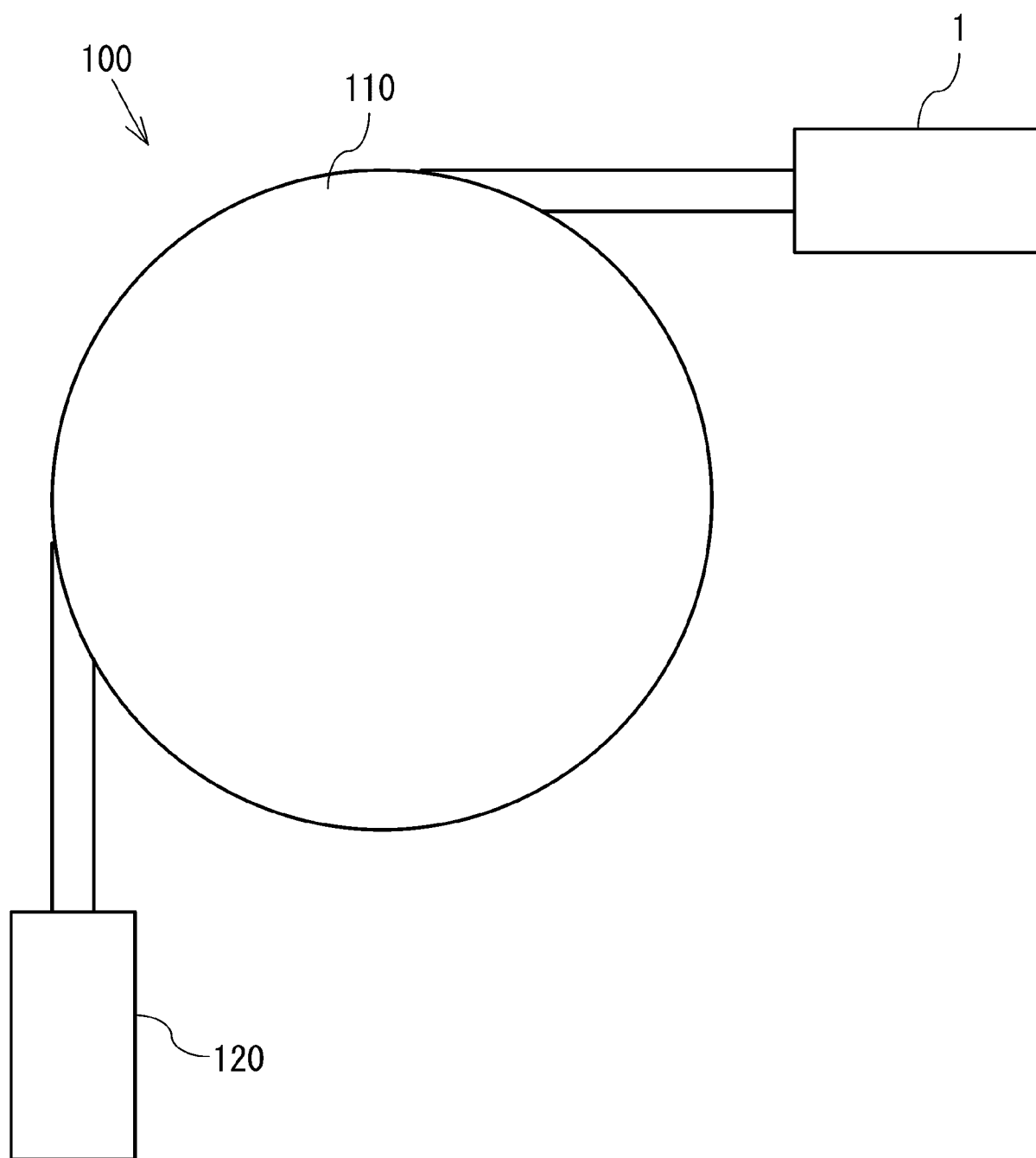
[図6]



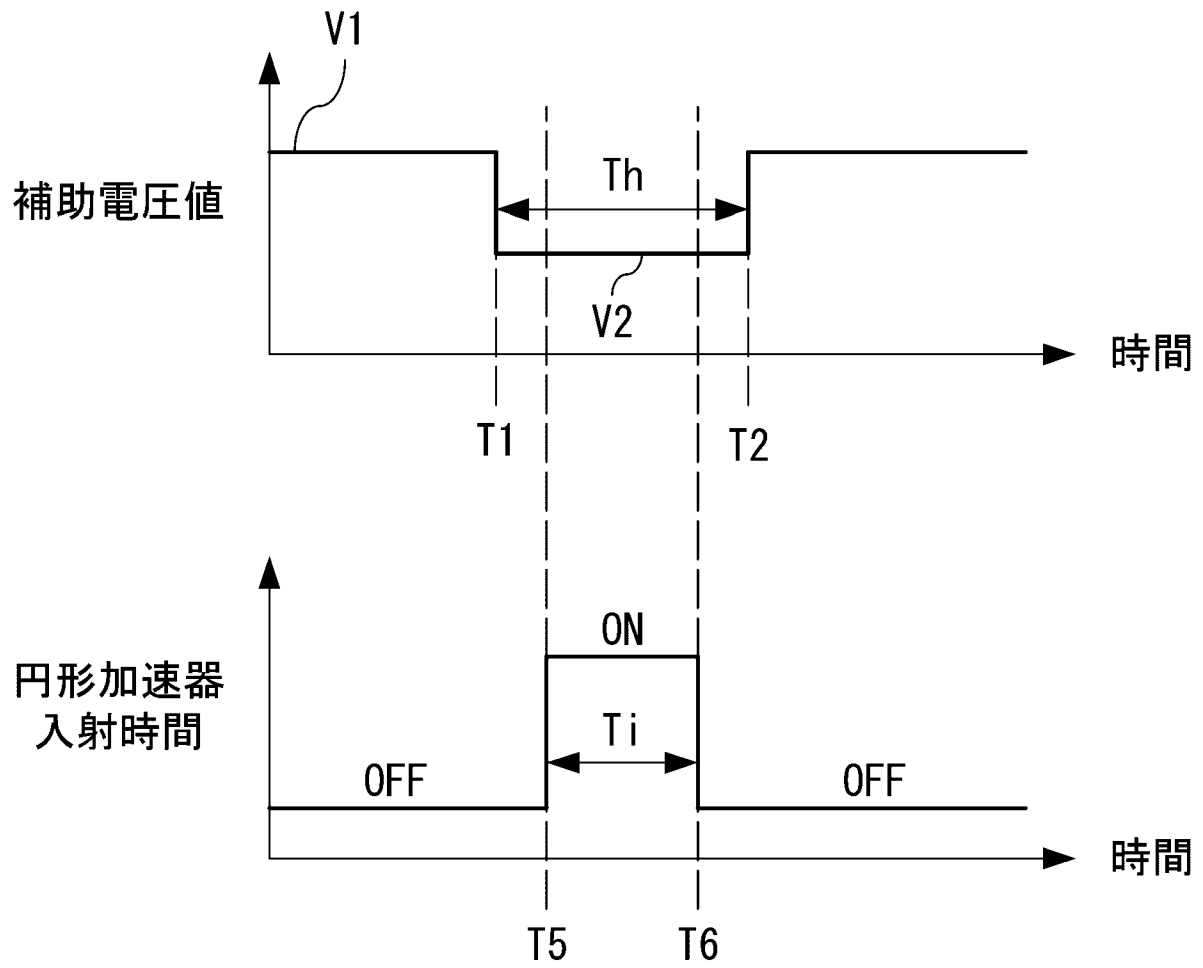
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/013504

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H01J 27/18</i> (2006.01)i; <i>H01J 37/08</i> (2006.01)i FI: H01J27/18; H01J37/08		
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) H01J27/00-27/26; H01J37/08		
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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) Google Scholar		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2014/0265853 A1 (VARIAN SEMICONDUCTOR EQUIPMENT ASSOCIATES, INC.) 18 September 2014 (2014-09-18) paragraphs [0034], [0039]-[0043], fig. 2	1-8
A	LEPORIS, Marek et al., Role of a biased electrode in the production of highly charged ions using the DECRIS 14-3 ion source, Nukleonika, 2003, vol. 48 (Supplement 2), pages S89-S92	1-8
A	RUNKEL, S. et al., Time resolved experiments at the Frankfurt 14 GHz electron cyclotron resonance ion source, Review of Scientific Instruments, 2000, vol. 71, pages 912-914	1-8
A	HILL, C. E. et al., Effect of a biased probe on the afterglow operation of an ECR4 ion source, Review of Scientific Instruments, 2000, vol. 71, pages 863-865	1-8
A	JP 2019-139943 A (NATIONAL INSTITUTES FOR QUANTUM & RADIOLOGICAL SCIENCE & TECHNOLOGY) 22 August 2019 (2019-08-22)	1-8
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 10 May 2024		Date of mailing of the international search report 28 May 2024
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/JP2024/013504

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	2014/0265853	A1	18 September 2014	WO	2014/159523	A1	
JP	2019-139943	A	22 August 2019	EP	3524320	A1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H01J 27/18(2006.01)i; H01J 37/08(2006.01)i FI: H01J27/18; H01J37/08		
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）） H01J27/00-27/26; H01J37/08 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2024年 日本国実用新案登録公報 1996-2024年 日本国登録実用新案公報 1994-2024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） Google Scholar		
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	US 2014/0265853 A1 (VARIAN SEMICONDUCTOR EQUIPMENT ASSOCIATES, INC.) 18.09.2014 (2014 - 09 - 18) 段落[0034], [0039]-[0043], 図2	1-8
A	Marek Leporis et al., Role of a biased electrode in the production of highly charged ions using the DECRIS 14-3 ion source, NUKLEONIKA, 2003, Vol. 48 (Supplement 2), p.S89-S92	1-8
A	S. Runkel et al., Time resolved experiments at the Frankfurt 14 GHz electron cyclotron resonance ion source, Review of Scientific Instruments, 2000, Vol. 71, p.912-914	1-8
A	C. E. Hill et al., Effect of a biased probe on the afterglow operation of an ECR4 ion source, Review of Scientific Instruments, 2000, Vol. 71, p.863-865	1-8
A	JP 2019-139943 A (国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構) 22.08.2019 (2019 - 08 - 22)	1-8
<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。		
* 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 “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “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 “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	10.05.2024	国際調査報告の発送日 28.05.2024
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 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） 小林 幹 2G 1132 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/JP2024/013504

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
US 2014/0265853 A1	18.09.2014	WO 2014/159523 A1	
JP 2019-139943 A	22.08.2019	EP 3524320 A1	