

(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12月19日(19.12.2024)



(10) 国際公開番号

WO 2024/257787 A1

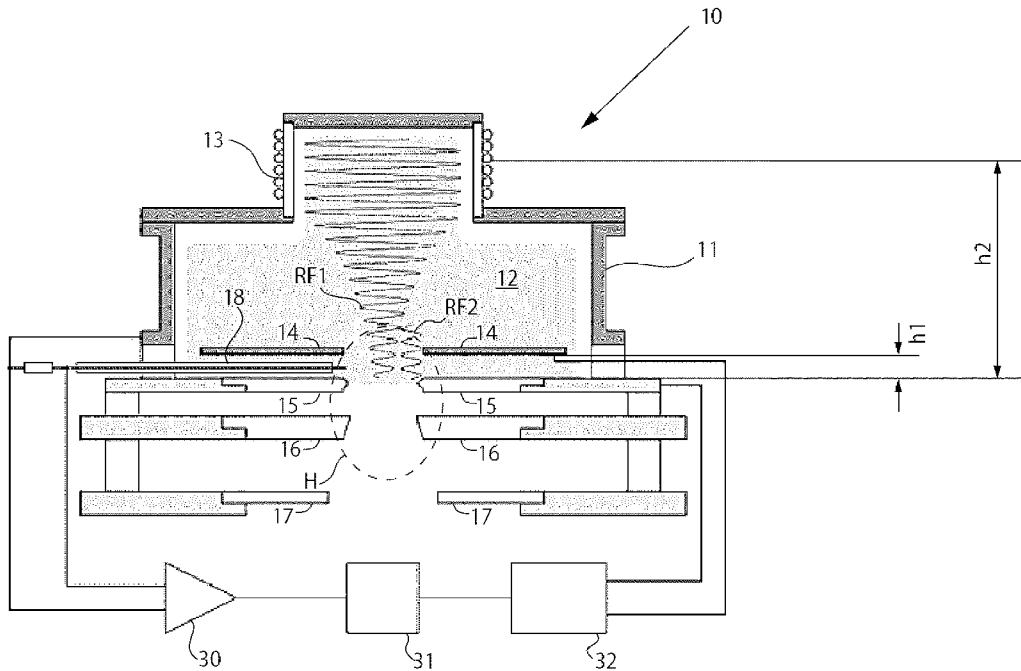
- (51) 国際特許分類:
H01J 27/16 (2006.01) H01J 37/08 (2006.01)
G21K 5/04 (2006.01) H05H 1/24 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/021303
- (22) 国際出願日: 2024年6月12日(12.06.2024)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2023-098912 2023年6月16日(16.06.2023) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東北大学 (TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP). 大学共同利用機関法人自然科学研究

機構(INTER-UNIVERSITY RESEARCH INSTITUTE CORPORATION, NATIONAL INSTITUTES OF NATURAL SCIENCES) [JP/JP]; 〒1818588 東京都三鷹市大沢二丁目21番1号 Tokyo (JP).

- (72) 発明者: ▲高▼橋 和貴(TAKAHASHI Kazunori); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 津守 克嘉(TSUMORI Katsuyoshi); 〒5095292 岐阜県土岐市下石町322-6 大学共同利用機関法人自然科学研究機構 核融合科学研究所内 Gifu (JP). 永岡 賢一(NAGAOKA Kenichi); 〒5095292 岐阜県土岐市下石町322-6 大学共同利用機関法人自然科学研究機構 核融合科学研究所内 Gifu (JP). 中野 治久(NAKANO

(54) Title: ION BEAM IRRADIATION DEVICE

(54) 発明の名称: イオンビーム照射装置



(57) Abstract: [Problem] To control a divergence angle of an ion beam when generating plasma and irradiating the ion beam. [Solution] An ion beam irradiation device 10 has a plasma generation unit 11 that generates a plasma using a high frequency antenna 13 and further comprises, in an opening thereof, boundary electrodes 15 and extraction electrodes 16 for irradiating the ion beam from an irradiation hole H. Moreover, control electrodes 14 are provided further to the inner side of the plasma generation unit 11 than the boundary electrodes 15, and space potential probes 17 for detecting

Haruhisa); 〒5095292 岐阜県土岐市下石町 3 2
2 - 6 大学共同利用機関法人自然科学研究
機構 核融合科学研究所内 Gifu (JP).

(74) 代理人:加藤 光宏(KATO Mitsuhiro); 〒4640002
愛知県名古屋市中区丸の内 3 - 9 - 1 6
丸の内 Y S ビル 5 B Aichi (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,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, 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))

an electric field in the vicinity of the plasma interface are provided between the boundary electrodes 15 and the extraction electrodes 16. The detection result of the space potential probes 17 is amplified by an amplifier 20, the phase is adjusted by a phase adjustment circuit 21, and a high frequency transmitter 22 energizes the control electrodes 14 according to the signal. A high-frequency electric field RF2 generated by the energizing of the control electrodes 14 interferes with a plasma generation electric field RF1, and thereby vibration at the plasma interface changes, and the divergence angle of the ion beam can be changed.

(57) 要約: 【課題】 プラズマを生成させ、イオンビームを照射する際に、イオンビームの発散角を制御する。 【解決手段】 イオンビーム照射装置 10 は、高周波アンテナ 13 でプラズマ 12 を生成するプラズマ生成部 11 を有し、その開口部には照射孔 H からイオンビームを照射するための境界電極 15、引出電極 16 を有する。また、境界電極 15 よりプラズマ生成部 11 の内側には制御用電極 14 が設けられ、境界電極 15 と引出電極 16 との間にプラズマ界面近傍の電場を検出する空間電位プローブ 17 が設けられている。空間電位プローブ 17 の検出結果が増幅器 20 で増幅され、位相調整回路 21 で位相を調整され、この信号に応じて高周波発信器 22 が制御用電極 14 に通電する。制御用電極 14 に通電して生じる高周波電場 RF 2 が、プラズマ生成電場 RF 1 と干渉することで、プラズマ界面の振動が変化し、イオンビームの発散角を変化させることができる。

明 細 書

発明の名称：イオンビーム照射装置

技術分野

[0001] 本発明は、プラズマを生成させ、イオンビームを照射するイオンビーム照射装置に関し、詳しくは、イオンビームの発散角を制御する技術に関する。

背景技術

[0002] プラズマを生成させて照射されるイオンビームは、核融合や加速器の分野、半導体プロセス、エッチング、成膜、金属材料の表面改質など、種々の分野で利用されている。

例えば、特許文献1は、高周波電源によりプラズマを生成させ、3枚または4枚のイオンビーム引出電極でイオンビームを引き出す際に、プラズマ成膜とイオンビーム照射を併用した場合に生じる異常放電を回避する技術を開示している。特許文献2は、液晶の製造工程で大きな面積の大型平行イオンビームを照射する際に、引出電極の径や密度をビームの中心部と外縁部で変えることにより拡散するイオンビームを基板全面に均一に照射する技術を開示している。

イオンビーム照射に利用するプラズマを生成させる方法としては、フィラメントアーク方式と高周波（RF）方式が知られている。高周波（RF）方式は、フィラメントアーク方式に比べて、フィラメントの損耗による連続運転時間の制約などが無い点、フィラメント材料を不純物としてプラズマ中に持ち込まない点、で利点があると言われている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開平11-286781号公報

特許文献2：特開平11-329335号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] イオンビームは、半導体製造、エッチング、成膜などに利用する場合には、発散角を大きくし、ビームが拡散するように広く照射し、均一性を得ることが好ましい。また、加速器などの分野で利用する場合には、逆に発散角を小さくし、ビームを収束させることで、ビーム損失を抑えることが好ましい。しかし、高周波（RF）方式のイオン源からのビームでは、一般にフィラメントアーク方式の場合と比較して、発散角が大きくなる傾向にあり、発散角を小さく、ビームを収束させる技術が望まれていた。このように発散角を制御する技術は、高周波（RF）方式に限ったものではなく、フィラメントアーク方式においても同様であった。

本発明は、かかる課題に鑑み、プラズマを利用して照射されるイオンビームの発散角を調整可能とすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0005] 本発明は、
イオンビームを照射するイオンビーム照射装置であって、
所定のガスからプラズマを生成するプラズマ生成部と、
前記プラズマ生成部の開口部に、前記イオンビームの極性と逆の極性の電極として設けられた境界電極と、
前記境界電極の外側に、前記イオンビームの極性と同じ極性の電極として設けられ、前記イオンビームを照射するための引出電極と、
所定の周波数で変化する電界を生じさせるための制御用電極を前記プラズマ生成部の開口部に備えるイオンビーム照射装置とすることができる。

[0006] 本発明は、プラズマを境界電極、引出電極で引き出すことによりイオンビームを照射する際に、境界電極近傍のプラズマ中に設置した制御用電極へ所定周波数の電界（以下、「制御用電界」という）を生じさせ、境界電極開口部付近のプラズマ・ビーム界面を電界で振動させることにより、発散角を変動させるものである。従って、本発明によれば、イオンビームの発散角を調整することが可能となる。

制御用電界の位相、周波数および強さは、要求される発散角に応じて調整

すればよい。予め設定した所定の位相、周波数、強さで電界を生じさせる構成としてもよいし、これらの一部または全部を適宜、調整可能としたり、動的に変化させてもよい。

所定周波数は、400kHz以上の高周波、これより低い周波数など任意に選択することができる。

くわえて、本発明において、プラズマの生成は、フィラメントアーク方式、高周波（RF）方式のいずれであってもよい。

[0007] 本発明においては、

前記プラズマ生成部は、高周波（RF）方式によりプラズマを生成してもよい。

[0008] 一般に、高周波（RF）方式は、フィラメントアーク方式よりもイオンビームが拡散する傾向にあるため、特に本発明の有用性が高い。RF方式でプラズマ生成のために用いる周波数も任意に決めることができるが、一般的に400kHz以上とされることが多い。

高周波（RF）方式において、イオンビームが拡散するのは、プラズマを生成するための高周波電場（以下、「プラズマ生成電場」という）の伝播によって、プラズマ・ビーム界面が振動することが原因であろうと推測される。本発明では、プラズマ・ビーム界面付近に、高周波電極により制御用電場を生じさせるため、プラズマ生成電場による影響を調整することができ、イオンビームの発散角を制御することが可能となるのである。

上記態様において制御用電場の位相、周波数および強さは、プラズマ生成電場よりも低い周波数も含めて任意に決めることができるが、プラズマ生成電場の高周波を基準として設定することが好ましい。かかる観点から、制御用電極の周波数は、400kHz以上の高周波とすることが好ましく、さらにはプラズマ生成電場と同程度の周波数とすることが好ましい。

また、発散角は、プラズマ生成電場と、制御用電場の干渉により制御されるため、両者の位相を相対的に調整可能とすることが好ましい。

[0009] 高周波（RF）方式によりプラズマを生成する場合、

前記プラズマ生成部における前記高周波による電場を検出する検出部と、
前記検出された電場に応じて、前記制御用電極に通電する制御部とを備えてもよい。

[0010] こうすることにより、プラズマ生成電場の変動などに応じて、制御用電極に通電することができ、効果的に発散角を制御することが可能となる。

制御部の制御対象は、制御用電場の周波数、電流、位相の全部とすることが好ましいが、いずれか一部であってもよい。

なお、検出結果に応じた制御は、例えば、フィードバック制御とすることができ、種々の制御則を適用することができる。制御部は、コンピュータを用いてソフトウェア的に構成してもよいし、制御回路としてハードウェア的に構成してもよい。

[0011] 上記態様においては、

前記制御部は、前記検出した電場を相殺するように通電してもよい。

こうすることにより、プラズマ界面の振動を抑制することができ、イオンビームの発散角を抑制することができる。

[0012] 上記態様においては、

前記制御部は、前記検出した電場に同期するように通電してもよい。

こうすることにより、プラズマ界面の振動を増幅することができ、イオンビームの発散角を拡大することができる。

[0013] 上記態様においては、

前記検出部は、前記境界電極と前記引出電極との間に設置してもよい。

検出部は、種々の部位に設置可能であるが、上記態様によれば、プラズマ・ビーム界面に影響を与える電場を効果的に検出することができる。

[0014] 本発明においては、

前記境界電極および前記引出電極は、前記イオンビームの照射孔となる複数の孔が配列された形状としてもよい。

[0015] こうすることにより、複数のイオンビームを並列的に照射することができる。

かかる状態で、イオンビームを拡散させるようにすれば、広い面積に対してイオンビームを照射すること、あるいは大ビーム電流を得ることができる利点もある。

[0016] 上記形状の場合、

前記制御用電極は、前記孔と孔の間に配置されていてもよい。

[0017] こうすることにより、孔からのイオンビームの照射に干渉することなく制御用電極を配置することができる。制御用電極は、孔と孔の間に分割して配置してもよいし、全体を一体化した状態で配置してもよい。

[0018] 上記態様においては、

前記プラズマ生成部は、前記孔に対向する位置にアンテナが設置されており、該アンテナに前記高周波を通電することによりプラズマを生成してもよい。

[0019] かかる態様では、プラズマを生成するためのアンテナが、孔に対向して配置されているため、プラズマ生成電場がプラズマ・ビーム界面に影響を与えやすい。従って、本発明の有用性が非常に高い。

また、孔に対向して配置されているため、その電場は孔に直交するように伝播してくると考えられる。従って、制御用電場を均一に干渉させやすくなる利点もある。

[0020] 本発明は、上述した種々の特徴を全て備えている必要はなく、適宜、その一部を省略したり組み合わせたりして構成してもよい。

また、本発明は、上述したイオンビーム照射装置としての構成だけでなく、かかるイオンビーム照射装置を用いてイオンビームを照射するイオンビーム照射方法など、種々の態様をとることもできる。

図面の簡単な説明

[0021] [図1]実施例としてのイオンビーム照射装置の全体構成を示す説明図である。

[図2]境界電極、高周波電極の構成を示す説明図である。

[図3]高周波電界による発散角への影響を示す説明図である。

[図4]制御用電界による発散角の制御例を示す説明図である。

[図5]変形例としてのイオンビーム照射装置の全体構成を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下、本発明の実施例について説明する。

図1は、実施例としてのイオンビーム照射装置の全体構成を示す説明図である。

イオンビーム照射装置10は、いわゆる高周波(RF)方式でプラズマを生成する装置であり、プラズマ生成部11は、プラズマ12を生成させ、保持する容器である。プラズマ生成部11の上方には、プラズマを生成するためのコイル、即ち高周波アンテナ13が取り付けられている。高周波アンテナ13に高周波を通電し、高周波電場、即ちプラズマ生成電場を生じさせると、プラズマ生成部11の内部のガスがプラズマ12となる。

[0023] プラズマ生成部11は、図の下方が開口部となっている。ここにはプラズマからイオンビームを照射するための境界電極15、引出電極16、接地電極17が設けられている。

プラスのイオンビームを照射する場合、境界電極15は正極となり、引出電極16は負極となるよう電源に接続される。マイナスのイオンビームを照射する場合には、逆に境界電極15を負極、引出電極16を正極とする。

境界電極15、引出電極16の作用によって、プラズマは、イオンビームとして照射孔Hから照射される。

[0024] 照射したイオンビームが拡散する角度（以下、「発散角」という）は、平行なビームが照射される状態（発散角0度）を基準として、イオンビームの半頂角で表す。拡散するときはプラスの値となり、収束するときはマイナスの値となる。

高周波アンテナ13で生じたプラズマ生成電場RF1は、図示するように開口部に向かって伝播し、プラズマ生成部11の境界のプラズマ12と外気の界面（以下、「プラズマ界面」という）を振動させる。この結果、実施例のような高周波(RF)方式のイオンビーム照射装置10では、イオンビームの発散角はプラスとなり、イオンビームが拡散する傾向にある。

[0025] 本実施例のイオンビーム照射装置 10 は、発散角を制御するための機構として、境界電極 15 の上方、即ちプラズマ生成部 11 の内側に制御用電極 14 が設けられている。制御用電極 14 の役割は次の通りである。

制御用電極 14 に通電すると、高周波電場、即ち制御用電場 RF 2 が生じる。この制御用電場 RF 2 は、プラズマ生成電場 RF 1 と干渉し、プラズマ生成電場 RF 1 によるプラズマ界面への影響を変化させる。この結果、プラズマ・ビーム界面の振動が変化し、イオンビームの発散角を変化させることができるのである。

[0026] 制御用電極 14 は、任意の位置に設けることができるが、本実施例では、境界電極 15 を基準として、高周波アンテナ 13 の中央までの高さ h_2 を 350 mm とし、制御用電極 14 までの高さ h_1 を 10 mm とした。高周波アンテナ 13 から遠方では、プラズマ生成電場 RF 1 は減衰するため、このように制御用電極 14 を高周波アンテナ 13 から遠方、かつ境界電極 15 の近傍に設けることにより、制御用電場の強さを抑えながら効果的な制御を実現することができる。

これらの寸法は一例であり、図示したものに限定する趣旨ではない。

[0027] 発散角を制御するため、イオンビーム照射装置 10 は、以下の構成を備える。

空間電位プローブ 18 は、プラズマ界面近傍の電場を検出するセンサである。空間電位プローブ 18 は、任意の場所に設けることができるが、本実施例では、境界電極 15 と引出電極 16 との間に設けた。こうすることにより、プラズマ生成電場 RF 1 に制御用電場 RF 2 が干渉した結果を検知できるため、検出結果を発散角の制御に効果的に利用することができる。

空間電位プローブ 18 の検出結果は、電気信号として出力され、増幅器 30 で増幅され、位相調整回路 31 で位相を調整されて、高周波発信器 32 に入力される。高周波発信器 32 は、この信号に応じて制御用電極 14 に通電する。

こうすることで、空間電位プローブ 18 の検出結果に応じて制御用電場を

発生させることができる。

[0028] 図2は、境界電極、高周波電極の構成を示す説明図である。図2（a）に斜視図を示し、図2（b）に側面図を示した。

境界電極15は、図示するように、複数の照射孔15hが2次元的に配列された形状となっている。図の例では、縦4×横4の16個の照射孔15hが示されているが、数および配列は任意に決めることができる。この一つの照射孔15hに対向して、図1に示したように高周波アンテナ13が設けられている。かかる配置にすることで、プラズマ生成電場が照射孔15hに直交して入射することとなり、制御用電場と偏り無く干渉できる利点がある。もっとも、複数の照射孔15hに対して、高周波アンテナ13を設けたり、照射孔15hの位置に関係なく高周波アンテナ13を設ける態様を排除するものではない。

[0029] 制御用電極14は、図示するように、照射孔15hに対向する位置に貫通孔14hを設けた平板状の電極である。即ち、制御用電極14は、複数の照射孔15hの隙間に対向する位置に設置されていることになる。こうすることで、照射孔15hからのイオンビームの照射への干渉を回避することができる。

制御用電極14と境界電極15の間には絶縁体19が挟まれており、両者の絶縁を確保しながら一体化している。

図の例では、制御用電極14を1枚の板で構成しているが、複数の部材に分けてもよい。

[0030] 境界電極15と制御用電極14の間には、空間電位プローブ18が挿入されている。空間電位プローブ18も、照射孔15hの位置を回避して挿入することが好ましい。

[0031] イオンビーム照射装置10は、以上の構造により、イオンビームの発散角を制御しながらイオンビームを照射することができる。以下、その作用について説明する。

[0032] 図3は、高周波電界による発散角への影響を示す説明図である。図3（a

）には実験に用いたイオンビーム照射装置の構造を示し、図3（b）には実験結果を示した。

図3（a）に示すイオンビーム照射装置は、フィラメントアーク方式でプラズマを生成し、イオンビームを照射する装置である。プラズマ生成部11Aには、フィラメント13Aが取り付けられており、フィラメント13Aから放出される電子によってプラズマ12Aを生成する。プラズマ生成部11Aの下方は開口部となっており、境界電極15A、引出電極16A、接地電極17Aが取り付けられている。また、境界電極15Aよりプラズマ生成部11Aの内側には、制御用電極14Aが設けられている。

[0033] フィラメントアーク方式でプラズマを生成する場合は、高周波（RF）方式とは異なり、プラズマ生成電界が存在しないから、プラズマ界面の変動はなく、イオンビームはさほど拡散せずに照射される（図3（a）の破線で示したビームB2の状態）。

この状態で、制御用電極14Aに高周波を通電したところ、図3（a）の実線で示したビームB1のように収束した状態（発散角がマイナスの状態）からビームB2を経て、一点鎖線で示したビームB3のように拡散した状態（発散角がプラスの状態）まで周期的に変動した。

[0034] 図3（b）に計測結果を示した。縦軸は、イオンビームの照射幅 W を、その平均値 W_0 で正規化した値である。図示する通り、正規化した照射幅は、0.9～1.1の範囲で周期的に変動していることが分かる。この周期は、制御用電極14Aに通電した高周波の周期と同期していた。

このことから、制御用電極14Aへの通電によって生じる制御用電場が、プラズマ界面を図3（a）中の面S1から面S2まで矢印Sのように変動させることによって、ビームB1～B3の変化が生じるということが確認された。従って、プラズマ界面に作用する電場を制御すれば、イオンビームの発散角が制御できることになる。

なお、上記実験は、同時に、高周波電極による発散角の制御は、高周波（RF）方式だけでなく、プラズマアーク方式でも適用可能であることを示し

ている。

[0035] 図4は、制御用電界による発散角の制御例を示す説明図である。

図4(a)は、プラズマ生成電界RF1と、制御用電界RF2の位相が反転している状態を示している。こうすることにより、両者の干渉によって、プラズマ界面SSに作用する電界は抑制されることになる。従って、イオンビームBは、ほぼ平行または収束する状態となる。かかる状態では、イオンビームのエネルギーが集約されることになるから、核融合や加速器などエネルギーを効果的に与える分野で有用である。

[0036] 図4(b)は、プラズマ生成電界RF1と制御用電界RF2の位相が同期している状態を示している。こうすることにより、プラズマ界面SSは、両者の増幅作用によって電界の影響が増大し、図中の矢印で示すように大きく振動する。この結果、イオンビームBは、拡散するようになる。

かかる状態は、半導体基板への照射、成膜、エッチングなど広範囲にイオンビームを照射する場合に有用である。

[0037] 図4で示した状態は、一例に過ぎず、制御用電極14への通電を制御することにより、プラズマ生成電界と制御用電界の干渉状態を種々変化させることができるため、それに応じてイオンビームの発散角を制御することができる。

実際に使用する際には、空間電位プローブ18で検出された電場が目標の状態となるようにフィードバック制御によって制御用電場を制御してもよい。

また、フィードバック制御によらず、所望の発散角が得られるように位相調整回路31で位相を調整した状態で運用してもよい。

[0038] 以上で説明した実施例のイオンビーム照射装置によれば、制御用電極への通電を制御することによりイオンビームの発散角を制御することが可能となる。

実施例では、高周波(RF)方式によりプラズマを生成させるものを例示したが、本発明は、フィラメントアーク方式にも適用可能である。

[0039] 図5は、変形例としてのイオンビーム照射装置の全体構成を示す説明図である。フィラメントアーク方式によるイオンビーム照射装置に適用した例を示した。図5（a）に装置の概要を示した。

変形例の装置では、図示しないフィラメント（図3参照）から放出される電子によってプラズマ12Bを生成する。装置の下方は開口部となっており、境界電極15B、引出電極16B、接地電極17Bが取り付けられている。これらの電極には、引出電源20、加速電源21が接続されている。また、境界電極15Bより内側には、制御用電極14Bが設けられている。制御用電極14Bには、高周波発信器32が接続されている。

[0040] 変形例の装置において、高周波発信器32から高周波を通電すると、高周波電界によって、プラズマ12Bの界面が振動し、ビーム幅が狭いイオンビーム B_n から、広いイオンビーム B_w まで変化しながら照射される。変形例の装置では、実施例と異なり、プラズマを発生させるための高周波は存在しないから、収束幅は、制御用電極14による電界の影響をそのまま受けることになる。

[0041] こうして照射されたイオンビームを、試料台22に載置した試料23に照射することで、イオンビームの分布を制御することが可能となる。

図5（b）は、試料23の平面図であり、イオンビームの分布を示している。イオンビームの収束幅が狭いスポット S_n と、広いスポット S_w が、それぞれのイオンビームの照射に対して生じることになる。この図では、広いスポット S_w は、試料全面に対して照射されており、狭いスポット S_n は分散した状態で照射されている。

[0042] スポットの範囲は、試料台22を図5（a）中の矢印 M_v に示すように上下方向に移動することで調整することができる。また、試料台22を矢印 M_h のように水平方向に1次元的または2次元的に移動可能としておけば、試料23に対して照射の偏りを緩和し、均一性を向上させることが可能となる。

なお、試料台22を移動可能とする構成は、フィラメントアーク方式に限

られるものではなく、高周波によってプラズマを生成するタイプでも適用可能である。

[0043] 以上で説明した通り、高周波によるイオンビームの発散角の制御は、フィラメントアーク方式にも有用に適用することができる。

[0044] 以上で実施例および変形例の装置を説明したが、イオンビームの発散角の制御は、他にも種々の態様で調整または制御することができる。

例えば、位相調整回路 3 1 で制御用電極 1 4 の高周波の位相を種々に変化させることで、予め位相と発散角との相関を把握しておいても良い。こうすることで、所望の発散角に応じた位相を速やかに設定することができる。また、相関をデータ化し制御装置に記憶しておくことで、自動的に位相を決定するようにしてもよい。

制御用電極 1 4 の制御対象は位相だけではない。周波数および電流（電場の強さ）を制御対象としてもよい。

また、制御用電極 1 4 と高周波発信器 3 2 との間にダイオードを介在させるなどして、プラス側またはマイナス側の電流のみが流れるようにしてもよい。こうすることで、プラズマ生成電界のうちプラス側またはマイナス側のみを相殺または増幅させることができ、ビームを平行状態から拡散状態の間、または平衡状態から収束状態の間などで変化させることも可能となる。

制御用電極 1 4 には、高周波に限らず、低い周波数の電流を通電してもよい。

これらの制御は、コンピュータを用いた制御装置にプログラムを組み込むことで、ソフトウェア的に実現してもよいし、ハードウェア的に実現してもよい。

産業上の利用可能性

[0045] 本発明は、プラズマを生成させ、イオンビームを照射する際に、イオンビームの発散角を制御するために利用することができる。

符号の説明

[0046] 1 0 イオンビーム照射装置

- 1 1、1 1 A プラズマ生成部
- 1 2、1 2 A プラズマ
- 1 3 高周波アンテナ
- 1 3 A フィラメント
- 1 4、1 4 A、1 4 B 高周波電極
- 1 4 h 貫通孔
- 1 5、1 5 A、1 5 B 境界電極
- 1 5 h 照射孔
- 1 6、1 6 A、1 6 B 引出電極
- 1 7、1 7 A、1 7 B 接地電極
- 1 8 空間電位プローブ
- 1 9 絶縁体
- 2 0 引出電源
- 2 1 加速電源
- 2 2 試料台
- 2 3 試料
- 3 0 増幅器
- 3 1 位相調整回路
- 3 2 高周波発信器

請求の範囲

- [請求項1] イオンビームを照射するイオンビーム照射装置であって、
 所定のガスからプラズマを生成するプラズマ生成部と、
 前記プラズマ生成部の開口部に、前記イオンビームの極性と逆の極性の電極として設けられた境界電極と、
 前記境界電極の外側に、前記イオンビームの極性と同一極性の電極として設けられ、前記イオンビームを照射するための引出電極と、
 所定の周波数で変化する電界を生じさせるための制御用電極を前記プラズマ生成部の開口部に備えるイオンビーム照射装置。
- [請求項2] 請求項1記載のイオンビーム照射装置であって、
 前記プラズマ生成部は、高周波（R F）方式によりプラズマを生成するイオンビーム照射装置。
- [請求項3] 請求項2記載のイオンビーム照射装置であって、
 前記プラズマ生成部における前記高周波による電場を検出する検出部と、
 前記検出された電場に応じて、前記制御用電極に通電する制御部とを備えるイオンビーム照射装置。
- [請求項4] 請求項3記載のイオンビーム照射装置であって、
 前記制御部は、前記検出した電場を相殺するように通電するイオンビーム照射装置。
- [請求項5] 請求項3記載のイオンビーム照射装置であって、
 前記制御部は、前記検出した電場に同期するように通電するイオンビーム照射装置。
- [請求項6] 請求項3記載のイオンビーム照射装置であって、
 前記検出部は、前記境界電極と前記引出電極との間に設置されているイオンビーム照射装置。
- [請求項7] 請求項1記載のイオンビーム照射装置であって、
 前記境界電極および前記引出電極は、前記イオンビームの照射孔と

なる複数の孔が配列された形状であるイオンビーム照射装置。

[請求項8]

請求項7記載のイオンビーム照射装置であって、

前記制御用電極は、前記孔と孔の間に配置されているイオンビーム照射装置。

[請求項9]

請求項6記載のイオンビーム照射装置であって、

前記プラズマ生成部は、前記孔に対向する位置にアンテナが設置されており、該アンテナに前記高周波を通電することによりプラズマを生成するイオンビーム照射装置。

[請求項10]

プラズマ生成部および前記プラズマ生成部の開口部に設けられた境界電極、引出電極を備えるイオンビーム照射装置によってイオンビームを照射するイオンビーム照射方法であって、

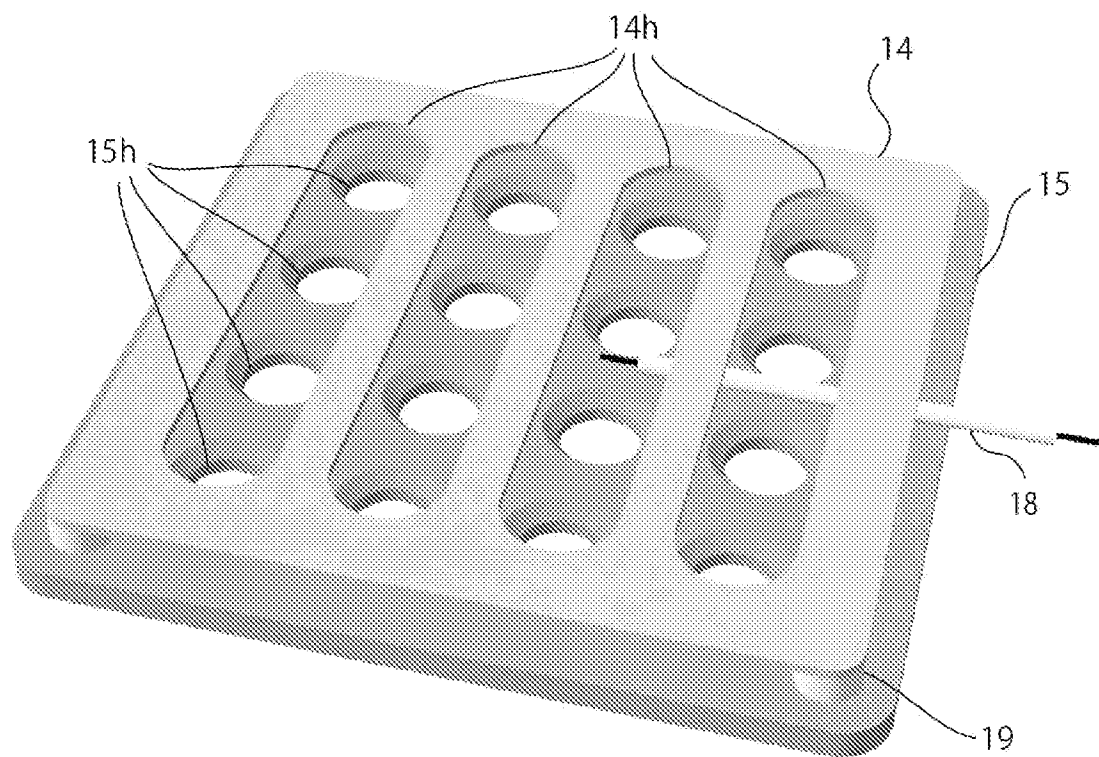
前記プラズマ生成部で所定のガスからプラズマを生成するステップと、

前記境界電極および前記引出電極を所定の電位にすることによって、イオンビームを照射するステップと、

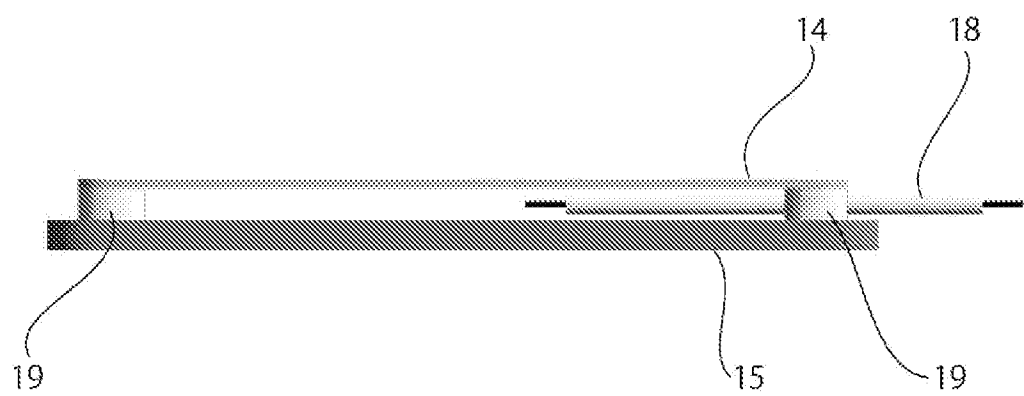
前記イオンビームを照射する際に、前記境界電極および引出電極とは別に設けた高周波電極に通電することにより、所定の周波数で変化する電界を生じさせるステップを備えるイオンビーム照射方法。

[図2]

(a)

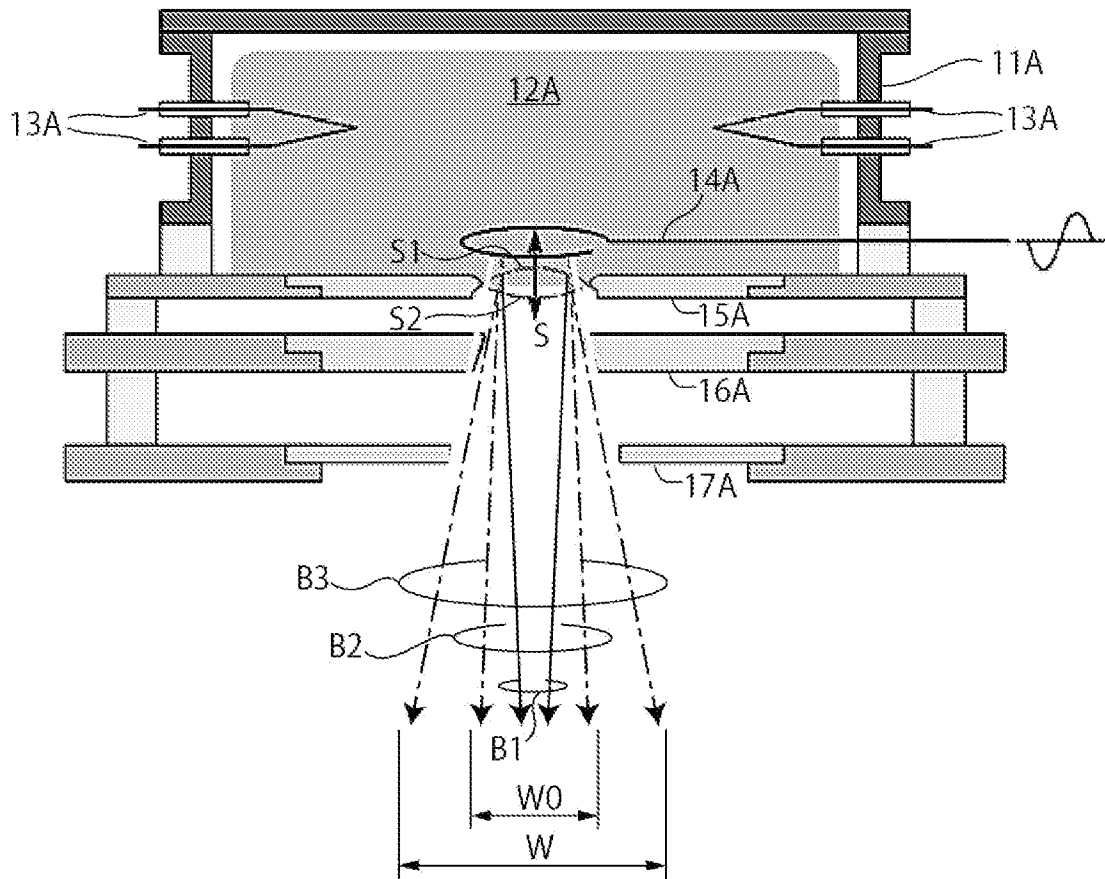


(b)

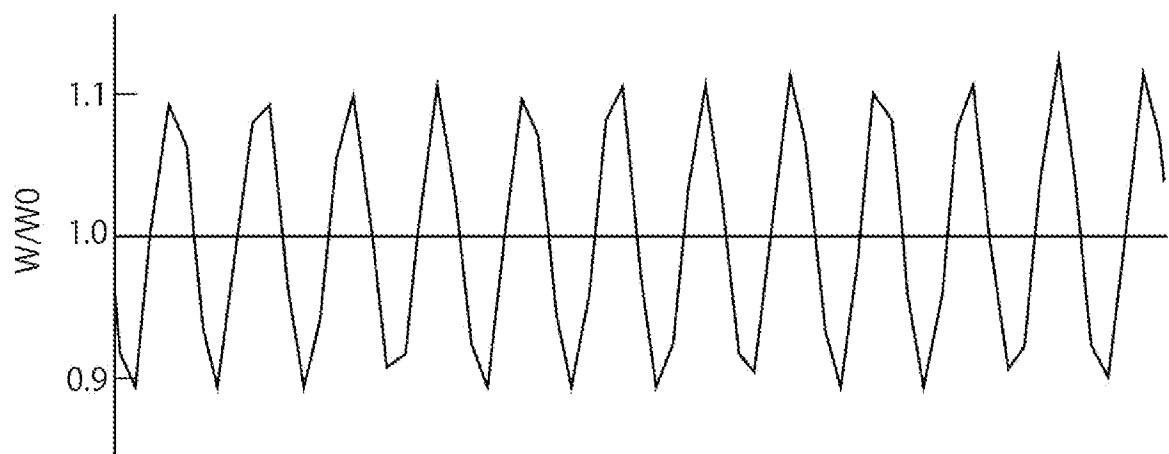


[図3]

(a)

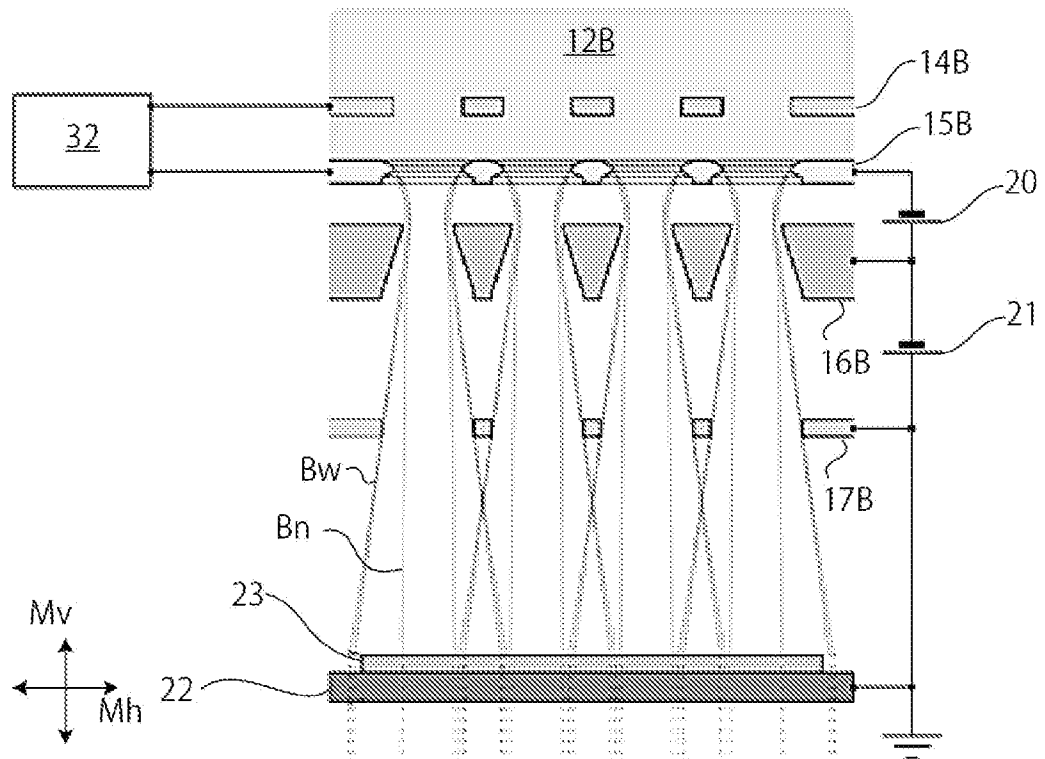


(b)

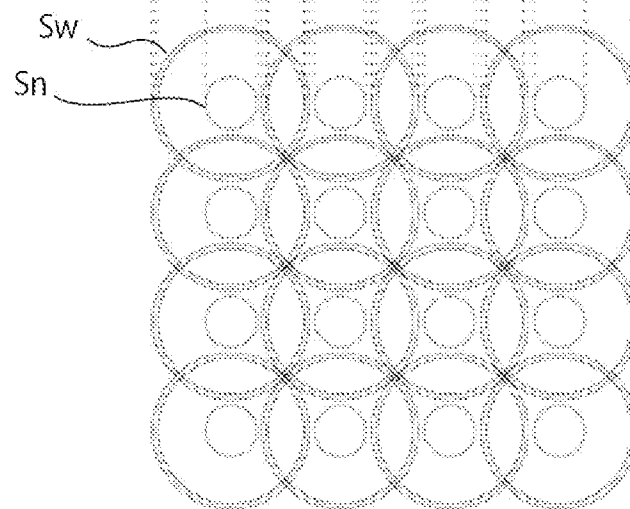


[図5]

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/021303

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01J 27/16 (2006.01)i; G21K 5/04 (2006.01)i; H01J 37/08 (2006.01)i; H05H 1/24 (2006.01)i FI: H01J27/16; H01J37/08; G21K5/04 A; H05H1/24 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) H01J27/16; G21K5/04; H01J37/08; H05H1/24 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)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 10-208651 A (NISSIN ELECTRIC CO., LTD.) 07 August 1998 (1998-08-07) paragraphs [0006]-[0010], [0045], fig. 1	1-2, 7, 10 3-6, 8-9
Y A	JP 11-286781 A (NISSIN ELECTRIC CO., LTD.) 19 October 1999 (1999-10-19) paragraph [0026], fig. 1	1-2, 7, 10 3-6, 8-9
A	JP 2007-052941 A (ULVAC, INC.) 01 March 2007 (2007-03-01) paragraphs [0041]-[0045], fig. 6	1-10
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“D” document cited by the applicant in the international application</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 12 July 2024		Date of mailing of the international search report 06 August 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/JP2024/021303

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	10-208651	A	07 August 1998	(Family: none)	
JP	11-286781	A	19 October 1999	US 6124003 A column 10, lines 25-67, fig. 1 EP 947603 A2 KR 1999-0082851 A	
JP	2007-052941	A	01 March 2007	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

H01J 27/16(2006.01)i; G21K 5/04(2006.01)i; H01J 37/08(2006.01)i; H05H 1/24(2006.01)i
FI: H01J27/16; H01J37/08; G21K5/04 A; H05H1/24

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））

H01J27/16; G21K5/04; H01J37/08; H05H1/24

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）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 10-208651 A（日新電機株式会社）07.08.1998（1998 - 08 - 07） [0006]-[0010], [0045], 図1	1-2, 7, 10
A		3-6, 8-9
Y	JP 11-286781 A（日新電機株式会社）19.10.1999（1999 - 10 - 19） [0026], 図1	1-2, 7, 10
A		3-6, 8-9
A	JP 2007-052941 A（株式会社アルバック）01.03.2007（2007 - 03 - 01） [0041]-[0045], 図6	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。

* 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの
“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12.07.2024

国際調査報告の発送日06.08.2024

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）

中尾 太郎 2G 1765

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/JP2024/021303

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	10-208651	A	07.08.1998	(ファミリーなし)	
JP	11-286781	A	19.10.1999	US 6124003 A	
				第10欄第25-67行目，図1	
				EP 947603 A2	
				KR 1999-0082851 A	
JP	2007-052941	A	01.03.2007	(ファミリーなし)	