

(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
2015年1月8日(08.01.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/002131 A1

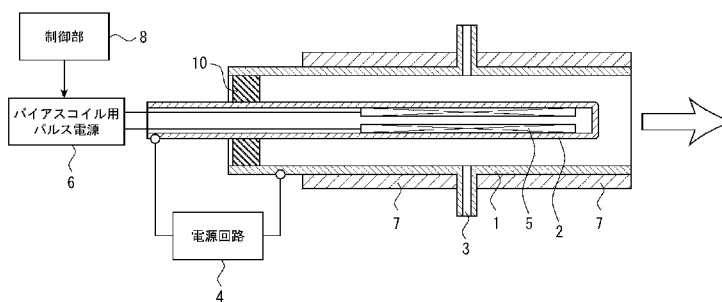
- (51) 国際特許分類:
H05H 1/24 (2006.01) H05H 1/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/067337
- (22) 国際出願日: 2014年6月30日(30.06.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-138533 2013年7月2日(02.07.2013) JP
- (71) 出願人: 学校法人日本大学(NIHON UNIVERSITY)
[JP/JP]; 〒1028275 東京都千代田区九段南四丁目
8番24号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 浅井 朋彦(ASAI, Tomohiko); 〒1028275
東京都千代田区九段南四丁目8番24号 学校
法人日本大学内 Tokyo (JP). 関口 純一(SEKIGU-
CHI, Jun'ichi); 〒1028275 東京都千代田区九段南四
丁目8番24号 学校法人日本大学内 Tokyo
(JP). 松本 匡史(MATSUMOTO, Tadafumi); 〒
1028275 東京都千代田区九段南四丁目8番24
号 学校法人日本大学内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 生井 和平(NAMAI, Kazuhira); 〒1070062
東京都港区南青山2-22-14 フォンテ青
山612 なまい国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, 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, 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).

[続葉有]

(54) Title: MAGNETIZED COAXIAL PLASMA GENERATION DEVICE

(54) 発明の名称: 磁化同軸プラズマ生成装置

[図1]



- 4... POWER SUPPLY CIRCUIT
- 6... PULSE POWER SUPPLY FOR BYPASS COIL
- 8... CONTROL UNIT

(57) Abstract: Provided is a magnetized coaxial plasma generation device having increased magnetization efficiency and capable of improving power conservation and reducing the thermal load on a coil. The magnetized coaxial plasma generation device generating spheromak plasma comprises: an external electrode (1); an internal electrode (2); a plasma generation gas supply unit (3); a power supply circuit (4); a bypass coil (5); a pulse power supply (6) for the bypass coil; a magnetic flux holding unit (7); and a control unit (8). The bypass coil (5) is arranged inside the internal electrode and generates a bypass magnetic field between the external electrode and the internal electrode. The pulse power source (6) for the bypass coil pulse-drives the bypass coil. The magnetic flux holding unit (7) is arranged on the outside of the external electrode. The control unit controls the pulse power supply for the bypass coil such that the bypass coil is pulse-driven for a time sufficient for a bypass magnetic field required to generate the spheromak plasma to be applied between the external electrode and the internal electrode, said time being a shorter time than the time in which the bypass magnetic field penetrates the magnetic flux holding unit.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2015/002131 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

磁化効率を高め、省電力化やコイルへの熱負荷を軽減可能な磁化同軸プラズマ生成装置を提供する。スフェロマックプラズマを生成する磁化同軸プラズマ生成装置は、外部電極 1 と内部電極 2 とプラズマ生成ガス供給部 3 と電源回路 4 とバイアスコイル 5 とバイアスコイル用パルス電源 6 と磁束保持部 7 と制御部 8 とからなる。バイアスコイル 5 は、内部電極の内部に配置され、外部電極と内部電極との間にバイアス磁場を発生する。そして、バイアスコイル用パルス電源 6 は、バイアスコイルをパルス駆動する。磁束保持部 7 は、外部電極の外側に配置される。制御部 8 は、スフェロマックプラズマが生成されるのに必要なバイアス磁場が外部電極と内部電極との間に与えられるのに十分な時間、且つ磁束保持部へのバイアス磁場の磁束の染み込み時間よりも短い時間でバイアスコイルをパルス駆動するようにバイアスコイル用パルス電源を制御する。

明 細 書

発明の名称 : 磁化同軸プラズマ生成装置

技術分野

[0001] 本発明は磁化同軸プラズマ生成装置に関し、特に、スフェロマックプラズマを生成可能な磁化同軸プラズマ生成装置に関する。

背景技術

[0002] スフェロマックプラズマを生成する装置として、磁化同軸プラズマ生成装置が知られている。磁化同軸プラズマ生成装置とは、同軸状に配置された外部電極と内部電極との間に電圧を印加し、両電極間に放電を起こさせることでプラズマを生成させるものである。この際、このプラズマにバイアス磁場を印加すると、放電電流による磁場と共に、バイアス磁場を含んだ状態で放出され、スフェロマックプラズマとなる。ここで、スフェロマックプラズマとは、自分自身に流れる電流によってポロイダルとトロイダルの両閉じ込め磁場が発生し、その磁場構造の持つ磁気ヘリシティを保存するように配位を自己組織化するものである。

[0003] 例えば、特許文献1には、外部電極と内部電極の間にコンデンサの直流放電を印加し、バイアス磁場を外部電極の外側から直流的に印加することで、スフェロマックプラズマを生成させる磁化同軸プラズマ生成装置が開示されている。また、本願発明者の1人が発明者の1人になっている特許文献2には、外部電極と内部電極との間に連続パルス信号を印加し、バイアス磁場を外部電極の外側から直流的に印加する磁化同軸プラズマ生成装置が開示されている。

[0004] また、特許文献3には、外部電極と内部電極の間にパルス電圧を印加し、バイアス磁場を内部電極の内側から直流的に印加することで、スフェロマックプラズマを生成させる磁化同軸プラズマ生成装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2006-310101号公報

特許文献2：特開2010-050090号公報

特許文献3：特開平6-151093号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、上述の従来技術では、何れもバイアスコイルにより発生するバイアス磁場が外部へ磁束漏れを起こし、大部分がプラズマの生成領域外に分散してしまい、磁化効率が低いという問題があった。また、例えば特許文献1や特許文献2のように外部電極の外側からバイアス磁場を印加するためにバイアスコイルを配置する例もある。しかしながら、吸着ガスの除去を行って超高真空を得るために必須である真空容器のベーキングが、バイアスコイルが外部に存在するとできないという問題があった。即ち、コイルの被覆膜等が熱の影響を受けてしまうため、一旦バイアスコイルを外した状態でベーキングするといった非効率な過程を経なければいけなかった。また、特許文献3のように内部電極の内側にバイアスコイルを配置した際には、ベーキングの問題は無くなるものの、磁束漏れの問題を解決できるものではないため、磁化効率が低いままであった。

[0007] 本発明は、斯かる実情に鑑み、磁化効率を高め、省電力化やコイルへの熱負荷を軽減可能な磁化同軸プラズマ生成装置を提供しようとするものである。

課題を解決するための手段

[0008] 上述した本発明の目的を達成するために、本発明による磁化同軸プラズマ生成装置は、外部電極と、外部電極と同軸状に配置される内部電極と、外部電極と内部電極との間にプラズマ生成ガスを供給するプラズマ生成ガス供給部と、内部電極の内部に配置され、外部電極と内部電極との間にバイアス磁場を発生するバイアスコイルと、外部電極と内部電極との間に負荷信号を印加する電源回路と、バイアスコイルをパルス駆動するバイアスコイル用パルス電源と、外部電極の外側に配置され、高導電率且つ低透磁率の材料からな

る磁束保持部と、スフェロマックプラズマが生成されるのに必要なバイアス磁場が外部電極と内部電極との間に与えられるのに十分な時間、且つ磁束保持部へのバイアス磁場の磁束の染み込み時間よりも短い時間でバイアスコイルをパルス駆動するようにバイアスコイル用パルス電源を制御する制御部と、を具備するものである。

- [0009] ここで、磁束保持部は、外部電極に対して着脱可能であっても良い。
- [0010] また、磁束保持部は、外部電極と一体形成されても良い。
- [0011] さらに、外部電極の外部に配置され、外部電極と内部電極との間にバイアス磁場を発生する外部バイアスコイルと、外部バイアスコイルを駆動する外部バイアスコイル用電源と、を具備するものであっても良い。
- [0012] また、磁束保持部の厚さ、長さ、配置位置の何れか少なくとも1つにより、生成されるプラズマの速度、形状、温度、密度、磁束の何れか少なくとも1つを制御するものであっても良い。
- [0013] また、磁束保持部の厚さ、長さ、位置の何れか少なくとも1つにより、生成されるプラズマの放電開始位置を制御するものであっても良い。
- [0014] また、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置を合金薄膜生成装置に用いる場合、生成されるプラズマの放電開始位置を制御することで、内部電極のプラズマにより溶発される位置を制御するものであっても良い。

発明の効果

- [0015] 本発明の磁化同軸プラズマ生成装置には、磁化効率を高め、省電力化やコイルへの熱負荷を軽減可能であるという利点もある。

図面の簡単な説明

- [0016] [図1]図1は、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置の構成を説明するための長手方向の概略断面図である。
- [図2]図2は、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置のバイアス磁場の磁束の空間分布のシミュレーション結果である。
- [図3]図3は、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置のバイアス磁場の軸方向の磁束密度の実測結果である。

[図4]図4は、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置の磁束保持部の違いによるバイアス磁場の磁束の空間分布の実測結果である。

[図5]図5は、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置から放出されたプラズマの反磁性信号の変化グラフである。

[図6]図6は、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置の他の構成を説明するための長手方向の概略断面図である。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、本発明を実施するための最良の形態を図示例と共に説明する。図1は、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置の構成を説明するための長手方向の概略断面図である。図示の通り、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置は、外部電極1と、内部電極2と、プラズマ生成ガス供給部3と、電源回路4と、バイアスコイル5と、バイアスコイル用パルス電源6と、磁束保持部7と、制御部8とから主に構成されている。

[0018] 外部電極1は、例えば円筒形状の導体からなるものである。また、内部電極2は、外部電極1と同軸状に配置されている。そして、プラズマ生成ガス供給部3は、外部電極1と内部電極2との間にプラズマ生成ガスを供給するように構成されている。また、バイアスコイル5は、外部電極1と内部電極2との間にバイアス磁場を発生するものである。また、電源回路4は、外部電極1と内部電極2との間に負荷信号を印加するものである。なお、負荷信号とは、外部電極1と内部電極2間に印加した負荷電圧、又はそのとき流れた負荷電流を意味する。また、バイアスコイル用パルス電源6は、バイアスコイル5をパルス駆動するものである。そして、磁束保持部7は、外部電極1の外側に配置されるものである。また、制御部8は、バイアスコイル5をパルス駆動するようにバイアスコイル用パルス電源を制御するものである。以下、各部についてより詳細に説明する。

[0019] 図示例の磁化同軸プラズマ生成装置では、外部電極1と内部電極2は、一端が絶縁部材10により絶縁されながらそれらの配置位置が固定されており、他端がここからプラズマが放出されるように開放端となっている。外部電

極 1 及び内部電極 2 は、磁化せず融点が高く、加工が容易なものであることが好ましい。例えば、ステンレス等で構成されれば良い。また、外部電極 1 とプラズマ生成ガス供給部 3 が一体的な構成となっており、プラズマ生成ガス供給部 3 から外部電極 1 と内部電極 2 との間の空間に、プラズマ生成ガス、例えばヘリウムガスやアルゴンガス等が供給される。なお、図示例ではプラズマ生成ガス供給部 3 が外部電極 1 に設けられる例を示したが、本発明はこれに限定されない。外部電極 1 と内部電極 2 の間にプラズマ生成ガスが供給可能であれば、例えば内部電極 2 にプラズマ生成ガス供給部が設けられても良い。また、図示のようにバイアスコイル 5 の中央付近にプラズマ生成ガスが供給された場合が、プラズモイドに含まれる磁束を増やすための効率がいちばん良くなる。この場合、図示例のように磁束保持部 7 の一部を貫通するようにプラズマ生成ガス供給部 3 が設けられれば良い。

[0020] また、電源回路 4 は、外部電極 1 と内部電極 2 との間に負荷信号を印加するものである。電源回路 4 は、例えば直流的に負荷信号を印加するものであっても良いし、特許文献 2 のように連続パルス信号を印加するものであっても良い。

[0021] 本発明の磁化同軸プラズマ生成装置は、基本的な磁化同軸プラズマ生成装置の構造については図示例の構成に特に限定されるものではなく、スフェロマックプラズマを生成可能な構造である磁化同軸プラズマ生成装置であれば、如何なる構造であっても構わない。

[0022] また、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置のバイアスコイル 5 は、内部電極 2 の内部に配置されるものである。これにより、超高真空を得るために必須である真空容器のベーキングが、バイアスコイルの影響を受けることなく可能となる。このため、吸着ガスの除去が可能となる。バイアスコイル 5 は、外部電極 1 と内部電極 2 間に発生したプラズマに対して、バイアス磁場を印加するものである。これにより、プラズマが放電電流による磁場とバイアス磁場を含んだ状態で放出されるので、スフェロマックプラズマが生成されることになる。

[0023] 次に、本発明の最も特徴的な構成要素について説明していく。バイアスコイル用パルス電源6は、上述のようにバイアスコイル5をパルス駆動するものである。バイアスコイル用パルス電源6は、例えば所定の周波数のサイン波電流をバイアスコイル5に印加可能に構成されている。また、例えばトランジスタを用いて電源（コンデンサ）をインバータ制御して、矩形波の連続パルス信号をバイアスコイル5に印加するようにしても良い。

[0024] また、磁束保持部7は、外部電極1の外側に配置されるものである。そして、磁束保持部7は、高導電率且つ低透磁率の材料からなるものである。例えば、銅や銅合金等であれば良い。磁束保持部7は、バイアスコイル5により印加されるバイアス磁場の磁束を外部に漏らさないようにするために用いられる。また、磁束保持部7は、外部電極1の外形状に合わせて形成される。例えば外部電極1が円筒形状であれば、それに合わせて外部電極1も円筒形状となる。そして、磁束保持部7は、ジャケット状、又はシェル状に、概ね外部電極1を覆うように構成されれば良い。磁束保持部7の長さについては、バイアスコイル5の長さと同様以上の長さを有していれば、バイアスコイル5から発生するバイアス磁場の磁束を効率良く閉じ込めることが可能となる。なお、磁束保持部7の厚みについては後述する。

[0025] そして、制御部8は、スフェロマックプラズマが生成されるのに必要なバイアス磁場が外部電極1と内部電極2との間に与えられるのに十分な時間、且つ磁束保持部7へのバイアス磁場の磁束の染み込み時間よりも短い時間でバイアスコイル5をパルス駆動するようにバイアスコイル用パルス電源6を制御するものである。即ち、磁束保持部7に磁束が染み込まないような時間間隔でバイアス磁場の磁束の空間分布を制御し、外部電極1と内部電極2の間に効率良く、必要なバイアス磁場を発生させるように制御すれば良い。

[0026] ここで、磁束保持部7の厚みについては、スフェロマックプラズマが生成されるのに必要なバイアス磁場が外部電極1と内部電極2との間に与えられるのに十分な時間だけバイアスコイル5を駆動しても、磁束保持部7に磁束が染み込んで通り抜けられないような厚みを有していれば良い。磁束保持部7に

磁束が長い時間加わると、磁束保持部 7 に染み込んで通り抜けてしまうため、バイアス磁場に必要時間よりも長く、且つ磁束が染み込む時間と磁束保持部 7 の厚みとを考慮して、パルス駆動時間を設定すれば良い。

[0027] また、磁束保持部 7 は、外部電極 1 に対して着脱可能に構成されても良い。これにより、プラズマ生成条件等に応じて磁束保持部 7 の厚みを変える等、より汎用性を持たせることも可能である。また、磁束保持部 7 を外部電極 1 と一体形成しても良い。即ち、外部電極 1 を銅等、高導電率且つ低透磁率の材料で構成すると共に、その外部電極 1 の厚みを、バイアス磁場に必要時間よりも長く、且つ磁束が磁束保持部に染み込む時間よりも短い時間となるのに足りる厚みとなるように、適宜設計することも可能である。

[0028] 本発明の磁化同軸プラズマ生成装置のより具体的な設計例を挙げると、例えば外部導体の外径が 92 mm、内径が 86 mm であり、内部導体の外径が 54 mm、内径が 48 mm であり、バイアスコイルの内径が 45 mm で 50 巻のものでコイル長が約 20 cm である。そして、磁束保持部を銅で構成し、この内径が 92 mm、厚みを 3 mm である。バイアスコイルに対しては、バイアスコイル用パルス電源を用いて周波数 1 kHz のサイン波電流を流した。このような条件で、磁束保持部への磁束の染み込み時間よりも短い時間でありながら、スフェロマックプラズマが生成されるのに十分なバイアス磁場を与えることが可能となる。

[0029] 図 2 に、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置のバイアス磁場の磁束の空間分布のシミュレーション結果を示す。図 2 (a) が磁束保持部を設けた場合であり、図 2 (b) が磁束保持部を設けていない従来技術の場合である。なお、シミュレーションは、磁束保持部を銅で作成した場合の結果である。図示の通り、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置では、磁束保持部によりバイアス磁場の磁束が外部導体と内部導体の間に封じ込められていることが分かる。即ち、磁化効率が高まっていることが分かる。

[0030] 上述のように構成された本発明の磁化同軸プラズマ生成装置では、以下のようにプラズマが生成される。まず、プラズマ生成ガス供給部 3 からプラズ

マ生成ガスが供給される。外部電極 1 と内部電極 2 との間の空間に電源回路 4 により負荷信号を印加すると、外部電極 1 と内部電極 2 との間に放電が発生し、放電電流が流れてプラズマが生成される。そして、バイアスコイル 5 によるバイアス磁場が、バイアスコイル用パルス電源 6、磁束保持部 7、制御部 8 により空間分布制御され、磁束がプラズマ生成領域に分散する。生成されたプラズマは、放電電流による磁場と共に、バイアスコイル 5 によるバイアス磁場により、ポロイダル方向とトロイダル方向の磁場が生じ、スフェロマックプラズマとして外部電極 1 と内部電極 2 の開放端から放出される。放出されたスフェロマックプラズマは、すぐには拡散することなく、プラズマ塊の状態のまま高速で放出される。

[0031] そして、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置では、外部に漏れる磁束を減らすことが可能となる為、磁化効率が高まる。即ち、同じ磁束を生成するために必要な電力を軽減できるので、省電力化が図れる。さらに、磁化効率が高まることから、バイアスコイルのサイズを小さくすることが可能となる為、装置の大きさや重量を低減できる。さらに、パルス駆動するため、バイアスコイルの熱負荷も軽減可能となる。

[0032] さて、このように構成された本発明の磁化同軸プラズマ生成装置の実測結果について説明する。図 3 は、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置のバイアス磁場の軸方向の磁束密度の実測結果である。図中、横軸が時間であり、左縦軸が軸方向の磁束密度である。また、細かい点線がバイアスコイル用パルス電源の電流変化（右縦軸）を表し、実線が本発明の磁化同軸プラズマ生成装置の磁束密度変化を表す。また、比較例として磁束保持部を用いない場合の磁束密度変化を点線で示す。

[0033] 図示の通り、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置は、バイアスコイル用パルス電源の電流に対応して軸方向の磁束密度が変動していることが分かり、そのピークの大きさも大きいことが分かる。一方、磁束保持部を用いない例では、本発明の例と比べて磁束密度が 70%程度しかないことが分かる。したがって、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置の磁束保持部が機能し、十分

に磁束が保持できていることが分かる。

[0034] さらに、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置の磁束保持部には、以下の効果がある。磁束保持部の有無によって、外部電極と内部電極間の放電条件に違いが出る。即ち、外部電極と内部電極との間の空間に電源回路により電流を印加することで電極間に放電を発生させプラズマを生成させるが、磁束保持部の設置により、より低い印加電圧により放電を発生させることが可能となる。例えば、磁束保持部を設けない場合には、260V以上の電圧を電極間に印加しなければプラズマが生成されなかったが、磁束保持部を設けた場合には、200V以上の電圧の印加でプラズマが生成された。したがって、例えばより低い電圧でプラズマを生成させることが可能となる。

[0035] 次に、バイアス磁場の磁束の空間分布の実測結果について説明する。図4は、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置の磁束保持部の違いによるバイアス磁場の磁束の空間分布の実測結果であり、図4(a)が磁束保持部をプラズマが放出される開放端付近まで設けた場合であり、図4(b)が磁束保持部をプラズマが放出される開放端付近までは設けていない場合である。なお、縦軸が内部電極の中心からの距離である。即ち、0が内部電極の中心である。また、横軸が軸方向の距離であり、0が軸方向の中心である。より具体的には、磁束保持部としては3mmのものを用い、図4(a)では開放端付近の磁束保持部として1mmのものを用いた。即ち、図4(a)と図4(b)の違いは、開放端付近に1mmの磁束保持部を設けたか否かである。また、図5は、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置から放出されたプラズマの反磁性信号の変化グラフであり、図5(a)が図4(a)の磁束保持部の状態のもの、図5(b)が図4(b)の磁束保持部の状態のものである。図中、横軸が時間であり、縦軸が反磁性信号強度である。また、「Upstream」がプラズマが放出される開放端に近い位置の測定結果を表し、「Downstream」が開放端から遠い位置の測定結果を表し、「Middle」がその間の位置の測定結果を表す。

[0036] 図4から分かる通り、開放端付近の磁束保持部の有無により、磁束の空間

分布に差が表れていることが分かる。即ち、3 mmの磁束保持部からは外部への磁束漏れは認められない。一方、1 mmの磁束保持部からは、一部が漏れ出していることが分かる。そして、図5から分かる通り、放出されたプラズマの特性に違いが表れていることが分かる。即ち、磁束保持部の厚みや位置によって、放出されたプラズマが塊となって一気に通過するように制御したり、長い塊でゆっくり通過するように制御したりすることが可能となる。このように、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置では、生成されるプラズマの特性を積極的に制御することも可能である。具体的には、磁束保持部の厚さ、長さ、配置位置等を変えることで、生成されるプラズマの速度、形状、温度、密度、磁束等を制御することが可能となる。本発明の磁化同軸プラズマ生成装置では、磁束保持部は簡単に着脱が可能であるため、生成されるプラズマの用途に応じて磁束保持部を適宜選択するのも容易である。また、動的に磁束保持部の配置位置や長さ等を任意に変えることも可能であるため、プラズマ制御を動的に行うことも可能である。

[0037] さらに、磁束保持部の位置等を変えることにより、生成されるプラズマの放電開始位置を制御することも可能である。放電開始位置を任意に制御することができるので、以下に説明するように、合金薄膜生成装置に応用も可能である。合金薄膜生成装置の場合、内部電極を、生成すべき合金薄膜の原料となる各種金属からそれぞれ形成される複数の金属片を選択可能に組み合わせて棒状に構成する。より具体的には、例えば本願発明者と同一の発明者が含まれる特開2014-051699に開示の装置のように構成すれば良い。そして、内部導体の軸方向に垂直に、合金薄膜を生成する基板を対向させる。このとき、放電開始位置を変化させることで内部電極のプラズマにより溶発される位置を制御することで、生成すべき合金薄膜の各種金属の混合割合を制御することが可能となる。したがって、所望の合金薄膜が得られるように、磁束保持部の厚さ、長さ、配置位置等を変化させれば良い。

[0038] また、図示例の磁化同軸プラズマ生成装置では、バイアス磁場を発生するバイアスコイルは内部電極の内部に配置されるものを示したが、本発明はこ

れだけに限定されるものではない。図6は、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置の他の構成を説明するための長手方向の概略断面図である。図中、図1と同一の符号を付した部分は概ね同一物を表しているため、詳細な説明は省略する。なお、図示例ではプラズマ生成ガス供給部3を内部電極側に設けた例を示した。図示の通り、さらに外部電極1の外部に外部バイアスコイル15を配置し、外部電極1と内部電極2との間にバイアス磁場を発生するようにしても良い。そして、外部バイアスコイル用電源16により外部バイアスコイル15を駆動するように構成する。このとき、制御部8は、外部バイアスコイル用電源16も制御する。外部バイアスコイル用電源16は、磁束保持部7を通過して外部電極1と内部電極2の間にバイアス磁場を効率良く発生させるように制御すれば良い。即ち、磁束保持部7に磁束が染み込んで通過する時間間隔でバイアス磁場の磁束の空間分布を制御すれば良い。これにより、内部電極2の内部のバイアスコイル5と、外部電極1の外部の外部バイアスコイル15の2つを用いてバイアス磁場を発生させることが可能となり、より大きな磁束を与えることが可能となる。

[0039] なお、本発明の磁化同軸プラズマ生成装置は、上述の図示例にのみ限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得ることは勿論である。

符号の説明

- [0040]
- | | |
|----|---------------|
| 1 | 外部電極 |
| 2 | 内部電極 |
| 3 | プラズマ生成ガス供給部 |
| 4 | 電源回路 |
| 5 | バイアスコイル |
| 6 | バイアスコイル用パルス電源 |
| 7 | 磁束保持部 |
| 8 | 制御部 |
| 10 | 絶縁部材 |

1 5 外部バイアスコイル

1 6 外部バイアスコイル用パルス電源

請求の範囲

- [請求項1] スフェロマックプラズマを生成する磁化同軸プラズマ生成装置であって、該磁化同軸プラズマ生成装置は、
- 外部電極と、
 - 前記外部電極と同軸状に配置される内部電極と、
 - 前記外部電極と内部電極との間にプラズマ生成ガスを供給するプラズマ生成ガス供給部と、
 - 前記内部電極の内部に配置され、外部電極と内部電極との間にバイアス磁場を発生するバイアスコイルと、
 - 前記外部電極と内部電極との間に負荷信号を印加する電源回路と、
 - 前記バイアスコイルをパルス駆動するバイアスコイル用パルス電源と、
 - 前記外部電極の外側に配置され、高導電率且つ低透磁率の材料からなる磁束保持部と、
- スフェロマックプラズマが生成されるのに必要なバイアス磁場が外部電極と内部電極との間に与えられるのに十分な時間、且つ磁束保持部へのバイアス磁場の磁束の染み込み時間よりも短い時間でバイアスコイルをパルス駆動するようにバイアスコイル用パルス電源を制御する制御部と、
- を具備することを特徴とする磁化同軸プラズマ生成装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の磁化同軸プラズマ生成装置において、前記磁束保持部は、外部電極に対して着脱可能であることを特徴とする磁化同軸プラズマ生成装置。
- [請求項3] 請求項1に記載の磁化同軸プラズマ生成装置において、前記磁束保持部は、外部電極と一体形成されることを特徴とする磁化同軸プラズマ生成装置。
- [請求項4] 請求項1乃至請求項3の何れかに記載の磁化同軸プラズマ生成装置であって、さらに、外部電極の外側に配置され、外部電極と内部電極

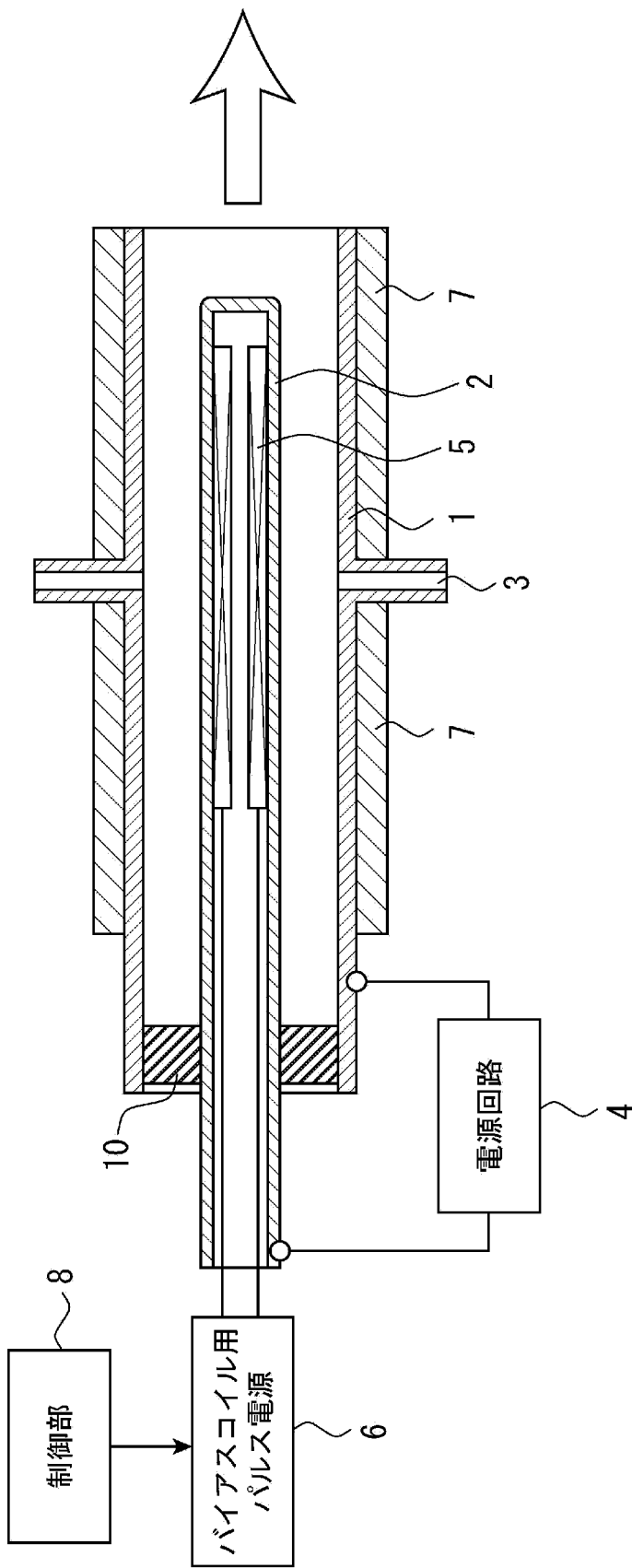
との間にバイアス磁場を発生する外部バイアスコイルと、
前記外部バイアスコイルを駆動する外部バイアスコイル用電源と、
を具備することを特徴とする磁化同軸プラズマ生成装置。

[請求項5] 請求項1乃至請求項4の何れかに記載の磁化同軸プラズマ生成装置において、前記磁束保持部の厚さ、長さ、配置位置の何れか少なくとも1つにより、生成されるプラズマの速度、形状、温度、密度、磁束の何れか少なくとも1つを制御することを特徴とする磁化同軸プラズマ生成装置。

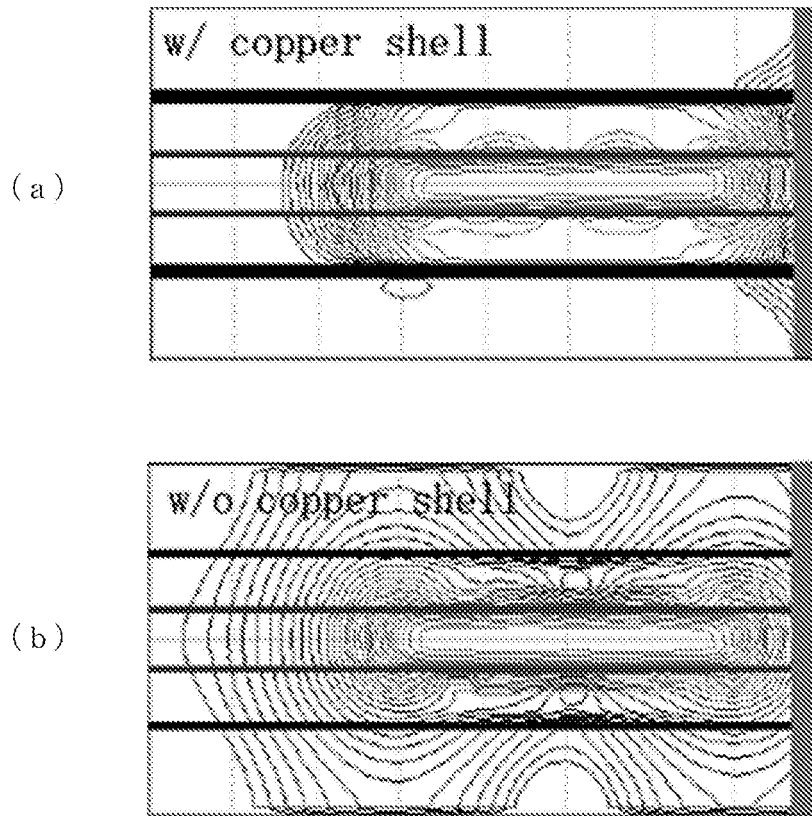
[請求項6] 請求項1乃至請求項4の何れかに記載の磁化同軸プラズマ生成装置において、前記磁束保持部の厚さ、長さ、位置の何れか少なくとも1つにより、生成されるプラズマの放電開始位置を制御することを特徴とする磁化同軸プラズマ生成装置。

[請求項7] 請求項6に記載の磁化同軸プラズマ生成装置を合金薄膜生成装置に用いる場合、生成されるプラズマの放電開始位置を制御することで、内部電極のプラズマにより溶発される位置を制御することを特徴とする磁化同軸プラズマ生成装置。

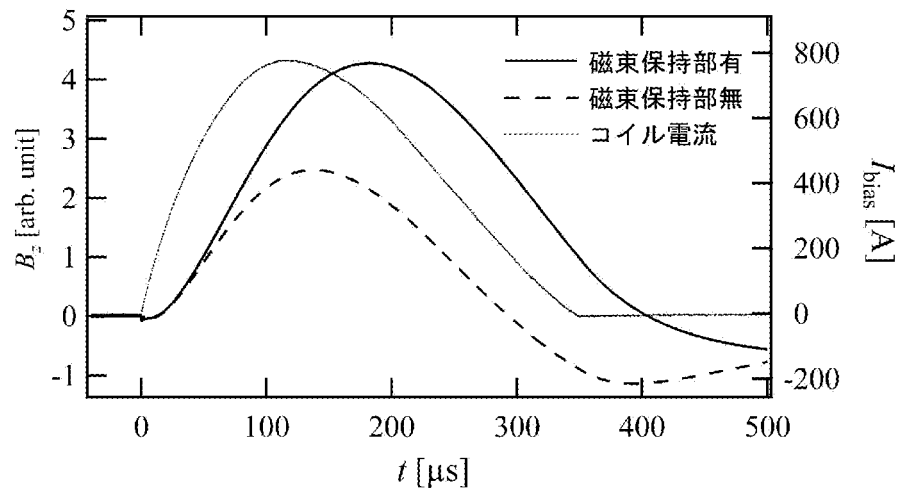
[図1]



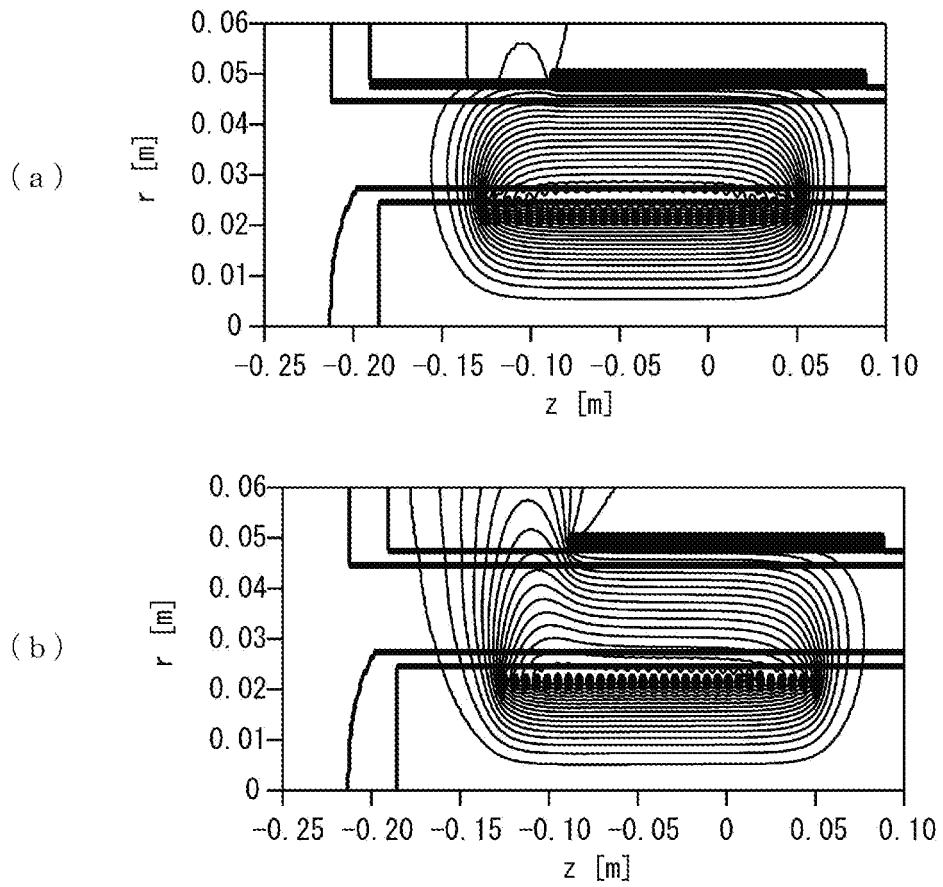
[図2]



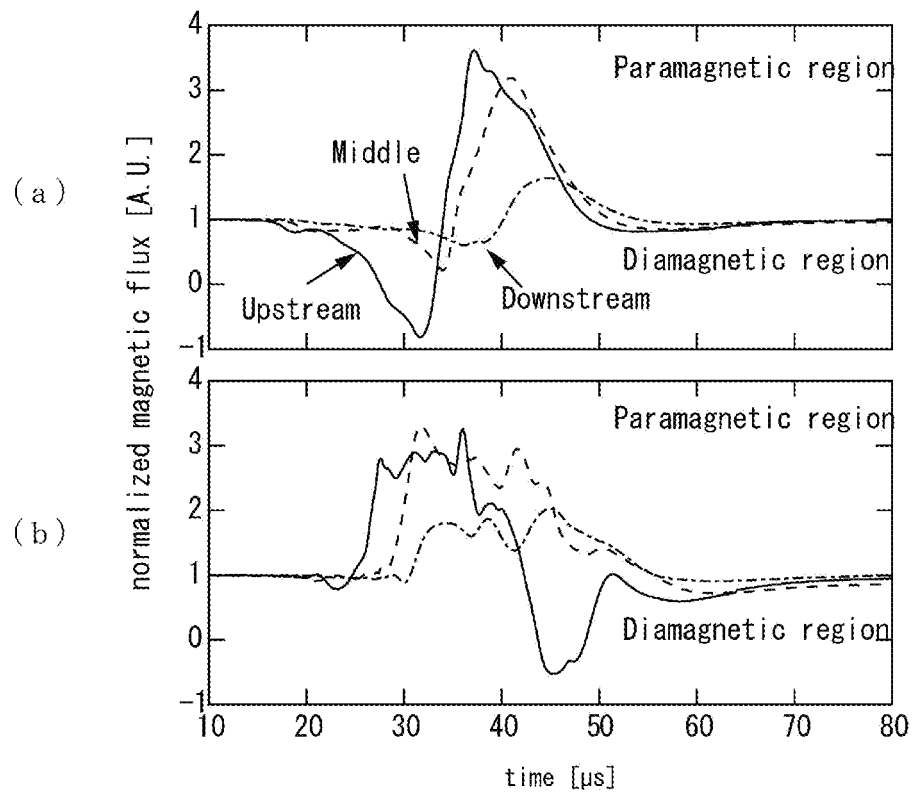
[図3]



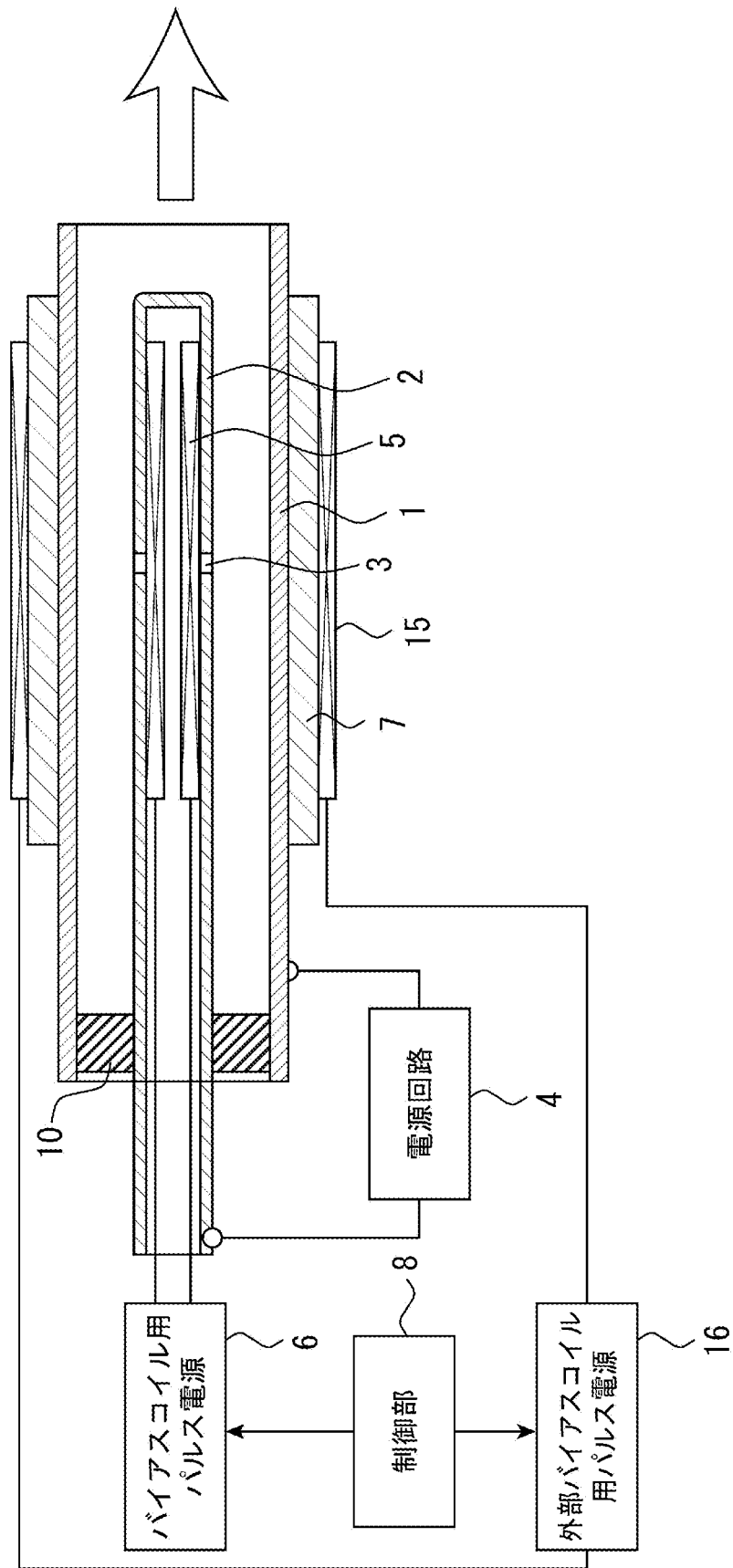
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/067337

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H05H1/24(2006.01) i, H05H1/02(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 H05H1/24, H05H1/02

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 1996-2014
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014

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 63-91999 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 22 April 1988 (22.04.1988), entire text; all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 5-240143 A (Boris A Arkhipov), 17 September 1993 (17.09.1993), entire text; all drawings & US 5359258 A & EP 541309 A1 & DE 69207720 C & DE 69207720 D & CA 2081005 A & CA 2081005 A1	1-7

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
 25 July, 2014 (25.07.14)

Date of mailing of the international search report
 05 August, 2014 (05.08.14)

Name and mailing address of the ISA/
 Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. H05H1/24(2006.01)i, H05H1/02(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. H05H1/24, H05H1/02

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 1971-2014年
 日本国実用新案登録公報 1996-2014年
 日本国登録実用新案公報 1994-2014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
A	JP 63-91999 A (石川島播磨重工業株式会社) 1988.04.22, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 5-240143 A (ボリス・エイ・アルヒポフ) 1993.09.17, 全文、全図 & US 5359258 A & EP 541309 A1 & DE 69207720 C & DE 69207720 D & CA 2081005 A & CA 2081005 A1	1-7

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	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 25.07.2014	国際調査報告の発送日 05.08.2014
--------------------------	--------------------------

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)	21	3489
	林 靖		
電話番号 03-3581-1101 内線		3273	