

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-249289

(P2011-249289A)

(43) 公開日 平成23年12月8日(2011.12.8)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H05H 1/24 (2006.01)	H05H 1/24	4K030
H01L 21/3065 (2006.01)	H01L 21/302 101C	5F004
H01L 21/31 (2006.01)	H01L 21/31 C	5F045
C23C 16/513 (2006.01)	C23C 16/513	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2010-124388 (P2010-124388)
 (22) 出願日 平成22年5月31日 (2010.5.31)

(出願人による申告)平成21年度、文部科学省知的クラスター創成事業、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 506356209
 学校法人 トヨタ学園 豊田工業大学
 愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1
 (74) 代理人 100066924
 弁理士 小沢 信助
 (72) 発明者 佐々木実
 愛知県名古屋市緑区有松南501番地シンフォニアみなみか丘F-402
 Fターム(参考) 4K030 CA07 FA04 KA14 KA30
 5F004 AA16 BA03 BA20 BB13 DA22
 DA23
 5F045 AA08 AC16 AC17 BB08 EH04
 EH11 EH18

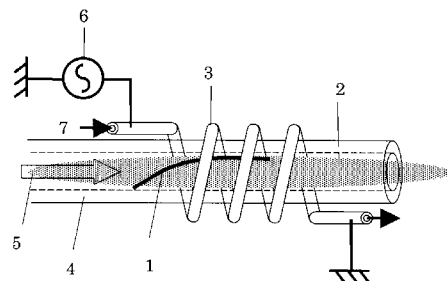
(54) 【発明の名称】 浮遊電極を持つ誘導結合型マイクロプラズマ源

(57) 【要約】

【課題】 誘導結合型マイクロプラズマは、高密度プラズマが得られるが点灯が難しい問題があった。電離開始に必要な初期電子を発生させる、内部にイグナイター機構を加える方法が知られているが、専用電源を新たに用意すること、電極製作、電極と電源間の結線を必要とするため、小型化をも阻害する。

【解決手段】 誘導結合型マイクロプラズマ源のガス流路内部に、浮遊電極を用意する。マイクロプラズマの励起に誘導結合を利用しているため、特別の結線を施すことなく、浮遊電極にエネルギーを供給することができる。この電極から、電離開始に必要な初期電子を発生させることができる。浮遊電極周辺からガスの電離が促進され、点灯が容易になると同時に、より省電力でプラズマを発生させることができる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ガス流路内部に、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源。

【請求項 2】

ガス流路内部に、金属や半導体や有機物からなる導電性材料の浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源。

【請求項 3】

ガス流路内部に、直線状、折れ線状、渦巻き状、ループ状、鋭角コーナを持つ閉曲線形状の、いずれか又は組み合わせ形状を持つ、金属や半導体や有機物からなる浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源。

10

【請求項 4】

請求項 1 から 3 に記載されたマイクロプラズマ源を利用した、光源、分光システム、表面処理、ドーピング、膜堆積、エッチングなどの装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、誘導結合型マイクロプラズマ源の、小型化、点灯し易さ、省電力化に関する。

【背景技術】

20

【0002】

プラズマ領域サイズの一部もしくは全てが cm を下回る、マイクロプラズマ源には、多くの種類が報告されている。圧力が高くなるため、小さなサイズでもプラズマ生成に有利となる。中でも大気圧プラズマは、真空チャンバーが不要になることから、省エネルギーや低コストものづくりに適する。容量結合型に比べて、誘導結合型プラズマは、プラズマ密度がより高くできるため有力である。しかし、微細化が進むほど、プラズマ点灯や安定維持が困難になる問題があった。内部に、イグナイター機構を加えることは、専用電源を新たに用意すること、電極製作、電極と電源間の結線を必要とする。プラズマ源の小型化をも阻害する。

誘導結合型マイクロプラズマ点灯のために、誘導結合型プラズマ発生用コイル電極以外の電極と付随する機構をプラズマ源に含める技術は、例えば特許文献 1 から 5、非特許文献 1 に開示されている。

30

特許文献 1 および 2 では、微小サイズ金属ドットの材料供給源のために金属ワイヤー（タングステンと鉄を例示）がキャピラリー内に導入されている。この金属ワイヤーを高周波誘導加熱した上で、接続しておいたイグナイターを一瞬差動することで、ワイヤー先端と誘導結合型プラズマ発生用コイル電極間に高電圧を印加して放電させ、誘導結合型マイクロプラズマを点灯および安定発生する技術が開示されている。

【0003】

特許文献 3 では、誘導結合型マイクロプラズマの安定発生と維持のために、絶縁体チューブ内外に誘電体バリア放電発生用の電極を追加して具備することを開示している。

40

特許文献 4 では、図示は無いものの、装置制御部に、ガス供給手段、高周波電源、及びプラズマ点灯手段があることを、言及している。少なくとも出願人が手がけた一部の装置では、圧電素子を利用したガスコンロ点灯装置と同等の機構が組み合わされている。

特許文献 5 では、プラズマを維持する低電圧大電流を加える電極に加えて、プラズマを始動する高電圧小電流を加える電極（ワイヤー形状ではなく、円筒形状）を利用するプラズマ生成方法を開示している。

非特許文献 1 の著者の一人は、特許文献 1 および 2 の発明者に含まれている。

本質的には同じであるが、タングステン線は通常グランド電位に接続していること、熱電子の発生を促すこと、プラズマ点灯には ~ 15 kV の直流電圧を 0.5 秒加えることを説明している。

50

以上のいずれも、追加した電極構造には結線と、点灯用の高電圧電源が必要である。

【0004】

【特許文献1】特許公開2005-262111 「微小なドット又はラインを備えた低融点基板、マイクロプラズマによる堆積方法及び同装置」

【特許文献2】特許公開2008-306209 「微小なラインを備えた基板」

【特許文献3】特許公開2008-198583 「プラズマ発生装置」

【特許文献4】特許公開2007-213821 「マイクロプラズマジェット制御方法及び装置」

【特許文献5】特許公開2009-289432 「プラズマ発生装置及びプラズマ生成方法」

10

【非特許文献1】"Thermoelectron-enhancedmicrometer-scale plasma generation", T. Ito, K. Terashima, Applied Physics Letters, Vol. 80, No. 15 (2002) 2648-2650.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

誘導結合型マイクロプラズマは、高密度プラズマを発生できる。しかし、プラズマ点灯が難しい問題があった。電離開始に必要な初期電子を発生させる、イグナイター機構を加える方法が知られている。内部に、イグナイター機構を加えることは、専用電源を新たに用意すること、電極製作、電極と電源間の結線を必要とする。

プラズマ源の小型化をも阻害する。プラズマ源の外部で、イグナイター機構を組み合わせることは、プラズマ源とイグナイター機構との位置調節が必要となるため、機器組み込みの上で問題となる。

20

本発明は、プラズマ源の小型化を阻害することなく、また点灯用の電源を追加することなく、点灯を容易にすることを実現する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明によれば、ガス流路内部に、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源が得られる。マイクロプラズマの励起に誘導結合を利用しているため、特別の結線を施すことなく、浮遊電極にエネルギーを供給することができる。

この電極から、電離開始に必要な初期電子を発生させることができる。

30

また本発明によれば、ガス流路内部に、金属や半導体や有機物からなる導電性材料の浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源が得られる。浮遊電極には、加熱や電界集中が発生する。熱や電界の効果によって、導電性材料から初期電子を発生させることができる。

【0007】

また本発明によれば、ガス流路内部に、直線状、折れ線状、渦巻き状、ループ状、鋭角コーナを持つ閉曲線形状の、いずれか又は組み合わせ形状を持つ、金属や半導体や有機物からなる浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源が得られる。浮遊電極の形状により、加熱や電界集中を効果的に高めることができる。

また本発明によれば、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源を利用した、光源、分光システム、表面処理、ドーピング、膜堆積、エッチングなどの装置が実現できる。

40

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、小型かつ点灯が容易な、誘導結合型マイクロプラズマ源が実現できる。より低パワーでプラズマ点灯が開始すると、更にパワーを上げた際にも、プラズマが成長してより低パワーで高密度化が促進される。高いエネルギー効率が得られる。

装置内でプラズマ源を利用する際には、点灯用の機構を用意する必要がなくなる。誘導結合型マイクロプラズマ源を利用した装置の、小型化、高信頼性、省エネルギーの効果が得られる。

50

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。図は例示であり、プラズマ源を構成する、電極やガス流路の材料、形状、配置などは限定されるものではない。図1は本発明の実施の形態による、ガス流路内部に、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。誘導結合型プラズマ発生用コイル電極は、らせん状のパイプ、ガス流路は円筒ガラス管の例である。

1は浮遊電極である。外部との電気的な結線はなく、孤立している。点灯はこの電極周辺から発生する。2は形成されたプラズマ領域である。3はらせん状のパイプからなる誘導結合型プラズマ発生用コイル電極である。プラズマ点灯の際には、電磁誘導を介して、1の浮遊電極にエネルギーを供給する。4はガス5が流れるための流路である、円筒ガラス管である。6は高周波電源である。大気圧プラズマでは、ガス衝突によるエネルギーのロスが少なくなるよう、100MHzを代表とするVHF帯の周波数が利用されることが多い。7は3のコイル電極を冷却する冷却水である。

【0010】

図2は図1で示した本発明の実施の形態による、誘導結合型マイクロプラズマ源の実際のプラズマジェットが形成される一般的な様子である。(a)、(b)、(c)の順に、誘導結合型プラズマ発生用コイル電極3への入力電力を増加している傾向を示しており、全て異なるコイル電極である。(a)では、浮遊電極の端部のみでプラズマが発生している。ヘリウムガスを流した方が、点灯し易い。

点灯した後は、ガスをアルゴンに切り替えても消えること無く、より明るい発光が得られる。(b)は、浮遊電極の端部から、プラズマ領域が伸びている途中の様子である。(c)は、両端のプラズマ領域がつながると共に、ガス上流と下流の両方にプラズマ領域が伸びた様子である。この例は、浮遊電極は長さ22mm、直径0.1mmのチタン線、ガラス管外径は1.5mm、内径は1.0mm、アルゴン流量は0.5リットル/分、入力電力は38Wである。

1が浮遊電極である。(c)で示した、白く伸びている領域2がプラズマ領域である。4は円筒ガラス管である。5はガスの流れである。

【0011】

図3は本発明の実施の形態による、ガス流路内部に、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。誘導結合型プラズマ発生用コイル電極は、U字形金属パターン、ガス流路を平板と溝付き平板のサンドイッチ構造で形成した例である。

平板型のプラズマ源であるため、水冷は平板下部と面接触するプレートを通じて行うことができる。

1は浮遊電極である。外部との電気的な結線はなく、孤立している。点灯はこの電極周辺から発生する。

2は形成されたプラズマ領域である。3はU字形金属パターンからなる誘導結合型プラズマ発生用コイル電極である。4aは上部ガラス板、4bは溝構造付き下部ガラスエポキシ板である。この二つを張り合わせて、ガス流路を形成する。6は高周波電源である。

なお、平板型のプラズマ源であるため、水冷は下部平板4bと面接触するプレート(図示はしていない)を通じて行うことができる。

【0012】

図4は図3で示した本発明の実施の形態による、誘導結合型マイクロプラズマ源の実際のプラズマ領域が形成される一般的な様子である。(a)、(b)、(c)の順に、誘導結合型プラズマ発生用コイル3への入力電力を増加している。(c)と(d)では、入力電力は同じであるが、ガスをヘリウムからアルゴンに切り替えている。

(a)では、浮遊電極の端部でプラズマが発生している。(b)は、浮遊電極の周辺でプラズマが発生している。(c)および(d)では、トレンチ全体(~18mm)にプラズマ領域が伸びている。トレンチ内部の浮遊電極は、全長80mmのタンゲステン線であり

、折り曲げて長さ10mmにしている。厚さ～35μmの銅膜が付いたガラスエポキシ基板(FR-4)に幅～2mm、深さ1.2mmの溝を加工し、カバーガラスを貼り付けてガス流路を形成した。U字形電極の幅は9mmである。アルゴン流量は0.5リットル/分、入力パワーは35Wである。

1が浮遊電極である(トレンチ長よりも長い針金を複数回折り曲げたり、ねじったりしている)。(c)、(d)で示した、白く伸びている領域2がプラズマ領域である。3はU字形金属パターンからなる誘導結合型プラズマ発生用コイル電極である。4aは上部ガラス板、4bは溝構造付き下部ガラスエポキシ板である。この二つを張り合わせて、ガス流路を形成する。5はガスの流れである。

【産業上の利用可能性】

【0013】

プラズマ領域の一部もしくは全てがcmを下回る、マイクロプラズマ源には、多くの種類が報告されている。圧力が高くなると、小さなサイズでもプラズマ生成に有利となるが、中でも大気圧プラズマは、低圧プラズマの場合に必須であった真空チャンバーが不要になることから、装置が簡単で安価になる上、真空引きが要らなくなり、プロセス時間が短くできる。アレイにするなど、広いプラズマ領域を形成できれば、ロール・ツー・ロール方式の製作工程にも入り得る。

活性種は多くあるが、ガス温度が高くなっていない非平衡プラズマが得られるため、プラスチックやフィルム材にも、高密度プラズマ処理ができる。実験結果から、プラズマ点灯が、低電力において開始できると、プラズマ領域が広がる条件に到達するまでの電力も小さくできる。低コスト、省エネルギーものづくりに適する性質を持つ。様々な産業において利用される可能性がある。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の実施の形態による、ガス流路内部に、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。誘導結合型プラズマ発生用コイル電極は、らせん状のパイプ、ガス流路は円筒ガラス管の例である。

【図2】図1で示した本発明の実施の形態による、誘導結合型マイクロプラズマ源を利用して実際のプラズマジェットが形成される一般的な様子である。

【図3】本発明の実施の形態による、ガス流路内部に、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。

【図4】図3で示した本発明の実施の形態による、誘導結合型マイクロプラズマ源を利用して実際のプラズマ領域が形成される一般的な様子である。

【符号の説明】

【0015】

- 1・・・浮遊電極
- 2・・・プラズマ領域
- 3・・・誘導結合型プラズマ発生用コイル電極
- 4・・・流路を形成するガラス管
- 4a・・・流路を形成する上部ガラス板
- 4b・・・流路を形成する溝構造付き下部ガラスエポキシ板
- 5　　ガスの流れ
- 6・・・高周波電源
- 7・・・コイル電極3を冷却する冷却水

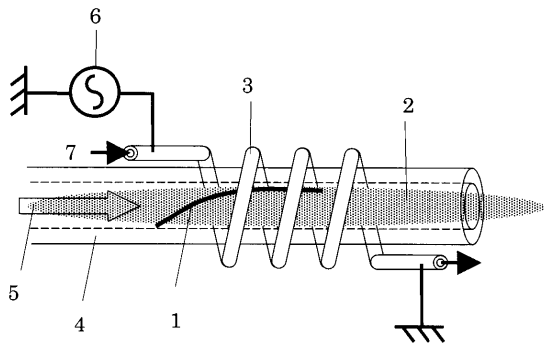
10

20

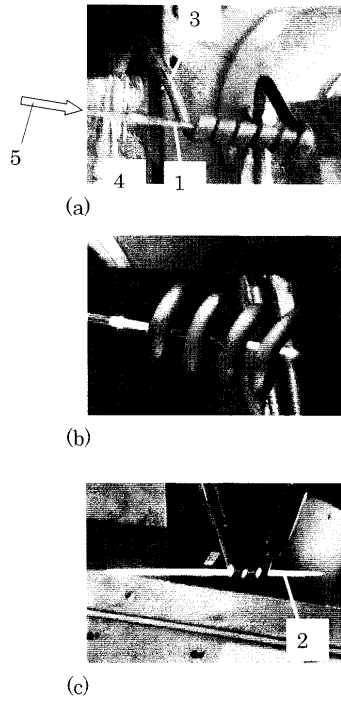
30

40

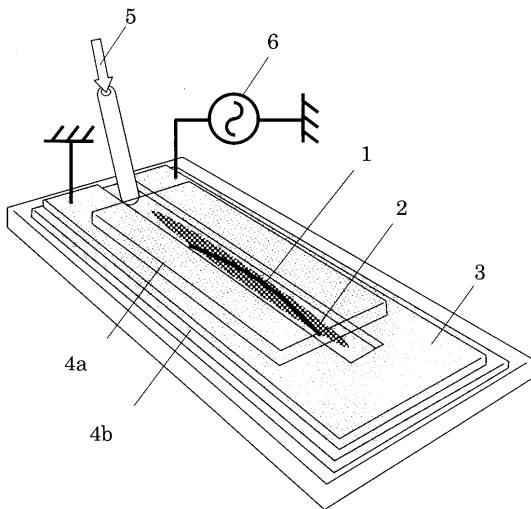
【 図 1 】



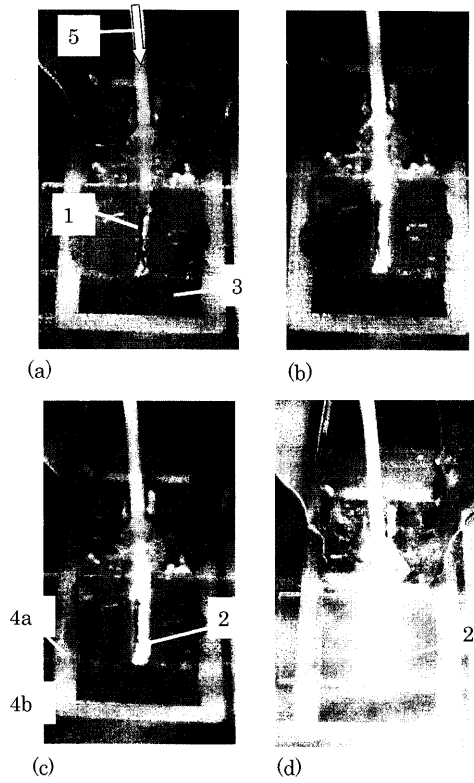
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



【手続補正書】

【提出日】平成23年9月1日(2011.9.1)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、誘導結合型マイクロプラズマ源の、小型化、点火し易さ、省電力化に関する。

【背景技術】

【0002】

プラズマ領域サイズの一部もしくは全てがcmを下回る、マイクロプラズマ源には、多くの種類が報告されている。圧力が高くなるため、小さなサイズでもプラズマ生成に有利となる。中でも大気圧プラズマは、真空チャンバーが不要になることから、省エネルギーや低コストものづくりに適する。容量結合型に比べて、誘導結合型プラズマは、プラズマ密度がより高くできるため有力である。しかし、微細化が進むほど、プラズマ点火や安定維持が困難になる問題があった。内部に、イグナイター機構を加えることは、専用電源を新たに用意すること、電極製作、電極と電源間の結線を必要とする。プラズマ源の小型化をも阻害する。

誘導結合型マイクロプラズマ点火のために、誘導結合型プラズマ発生用コイル電極以外の電極と付随する機構をプラズマ源に含める技術は、例えば特許文献1から5、非特許文献1に開示されている。

特許文献1および2では、微小サイズ金属ドットの材料供給源のために金属ワイヤー(タングステンと鉄を例示)がキャピラリー内に導入されている。この金属ワイヤーを高周波誘導加熱した上で、接続しておいたイグナイターを一瞬作動することで、ワイヤー先端と誘導結合型プラズマ発生用コイル電極間に高電圧を印加して放電させ、誘導結合型マイクロプラズマを点火および安定発生する技術が開示されている。

【0003】

特許文献3では、誘導結合型マイクロプラズマの安定発生と維持のために、絶縁体チューブ内外に誘電体バリア放電発生用の電極を追加して具備することを開示している。

特許文献4では、図示は無いものの、装置制御部に、ガス供給手段、高周波電源、及びプラズマ点火手段があることを、言及している。少なくともこの特許の出願人が手がけた一部の装置では、圧電素子を利用したガスコンロ点火装置と同等の機構が組み合わされている。

特許文献5では、プラズマを維持する低電圧大電流を加える電極に加えて、プラズマを始動する高電圧小電流を加える電極(ワイヤー形状ではなく、円筒形状)を利用するプラズマ生成方法を開示している。

非特許文献1の著者の一人は、特許文献1および2の発明者に含まれている。本質的には同じであるが、タングステン線は通常グランド電位に接続していること、熱電子の発生を促すこと、プラズマ点火には ~ 15 kVの直流電圧を0.5秒加えることを説明している。

以上のいずれも、追加した電極構造には結線と、点火用の高電圧電源が必要である。

非特許文献2では、2つのタングステン針をギャップ2.5 mmを介して向かい合わせ、片方を浮遊電極とするマイクロプラズマ用の電極構造を示している。48 kHzで4 kV程度の電圧を加えている。

非特許文献3では、サイズ数100 μ m程度のシリコンデバイスによるマイクロプラズ

マを示している。基板平面には、7.5 kHzで260 V程度のプラス・マイナス両極性のパルス電圧が印加される、口の字形ニッケル電極の中心部に、100 μm角または50 μm角の浮遊電極を用意することで、ネオンガスの放電が促進されることを言及している。

非特許文献2と3のいずれも、誘導結合型マイクロプラズマ源ではない。磁場が関係した、プラズマ点火や安定維持の効果は期待されない。

【0004】

【特許文献1】特許公開2005-262111「微小なドット又はラインを備えた低融点基板、マイクロプラズマによる堆積方法及び同装置」

【特許文献2】特許公開2008-306209「微小なラインを備えた基板」

【特許文献3】特許公開2008-198583「プラズマ発生装置」

【特許文献4】特許公開2007-213821「マイクロプラズマジェット制御方法及び装置」

【特許文献5】特許公開2009-289432「プラズマ発生装置及びプラズマ生成方法」

【非特許文献1】"Thermoelectron-enhancedmicrometer-scale plasma generation", T. Ito, K. Terashima, Applied Physics Letters, Vol. 80, No. 15 (2002) 2648-2650.

【非特許文献2】"A simple cold Ar plasma jet generated with a floating electrode at atmospheric pressure", Q.-Y. Nie, C.-S. Ren, D.-Z. Wang, J.-L. Zhang, Applied Physics Letters, Vol. 93 (2008) 011503.

【非特許文献3】"Mode Change Observed on Spatial Distribution of Microplasma Emission in a Microdischarge Cell with a Floating Electrode", D.-S. Lee, O. Sakai, K. Tachibana, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 48 (2009) 106002.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

誘導結合型マイクロプラズマは、高密度プラズマを発生できる。しかし、プラズマ点火が難しい問題があった。プラズマ点火に必要な初期電子を発生させる、イグナイター機構を加える方法が知られている。内部に、イグナイター機構を加えることは、専用電源を新たに用意すること、電極製作、電極と電源間の結線を必要とする。プラズマ源の小型化をも阻害する。プラズマ源の外部で、イグナイター機構を組み合わせることは、プラズマ源とイグナイター機構との位置調節が必要となるため、機器組み込みの上で問題となる。本発明は、プラズマ源の小型化を阻害することなく、また点火用の電源を追加することなく、点火を容易にすることを実現する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明によれば、ガス流路内部に、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源が得られる。マイクロプラズマの励起に誘導結合を利用しているため、特別の結線を施すことなく、浮遊電極にエネルギーを供給することができる。この電極により、プラズマ点火に必要な高電界を発生させることができる。

また本発明によれば、ガス流路内部に、金属や半導体や有機物からなる導電性材料の浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源が得られる。浮遊電極により電界を高める効果が得られる。

【0007】

また本発明によれば、ガス流路内部に、直線状、折れ線状、渦巻き状、ループ状、鋭角コーナを持つ閉曲線形状の、いずれか又は組み合わせ形状を持つ、金属や半導体や有機物からなる浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源が得られる。浮遊電極の形状により、電界集中を効果的に高めることができる。

また本発明によれば、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源を利用した、光源、分光システム、表面処理、ドーピング、膜堆積、エッチングなどの装

置が実現できる。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、小型かつ点火が容易な、誘導結合型マイクロプラズマ源が実現できる。より低パワーでプラズマ点火が開始すると、更にパワーを上げた際にも、プラズマが成長してより低パワーで高密度化が促進される。高いエネルギー効率が得られる。装置内でプラズマ源を利用する際には、点火用の機構を用意する必要がなくなる。誘導結合型マイクロプラズマ源を利用した装置の、小型化、高信頼性、省エネルギーの効果が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。図は例示であり、プラズマ源を構成する、電極やガス流路の材料、形状、配置などは限定されるものではない。図1は本発明の実施の形態による、ガス流路内部に、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。誘導結合型プラズマ発生用コイル電極は

、らせん状のパイプ、ガス流路は円筒ガラス管の例である。1は浮遊電極である。外部との電気的な結線はなく、孤立している。点火はこの電極周辺から発生する。2は形成されたプラズマ領域である。3はらせん状のパイプからなる誘導結合型プラズマ発生用コイル電極である。プラズマ点火の際には、電磁誘導を介して、1の浮遊電極にエネルギーを供給する。4はガス5が流れるための流路である、円筒ガラス管である。6は高周波電源である。大気圧プラズマでは、ガス衝突によるエネルギーのロスが少なくなるよう、100MHzを代表とするVHF帯の周波数が利用されることが多い。7は3のコイル電極を冷却する冷却水である。

【0010】

図2は図1で示した本発明の実施の形態による、誘導結合型マイクロプラズマ源の実際のプラズマジェットが形成される一般的な様子である。らせん状のパイプからなる誘導結合型プラズマ発生用コイル電極3も若干異なるが、(a)、(b)、(c)の順に、入力電力が大

きい。20から50W程度で動作する。1が浮遊電極である。実際に利用したのは、長さ22mm、直径0.1mmのチタン線である。浮遊電極が無い場合には、入力パワーを200Wまで上げて点火しなかった。同じサイズのニクロム線、鉄線、アルミ線、タングステン線、または同程度の長さで直径40μm程度の導電性カーボン糸を10本程度束ねた浮遊電極でも、省電力でプラズマ点火する効果が観られた。(c)で図示した、領域2が

プラズマ領域である。4は円筒ガラス管である。5はガスの流れである。

【0011】

図3は本発明の実施の形態による、ガス流路内部に、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。誘導結合型プラズマ発生用コイル電極は

、U字形金属パターン、ガス流路を平板と溝付き平板のサンドイッチ構造で形成した例である。1は浮遊電極である。外部との電気的な結線はなく、孤立している。点火はこの電極周辺から発生する。2は形成されたプラズマ領域である。3はU字形金属パターンからなる誘導結合型プラズマ発生用コイル電極である。4aは上部ガラス板、4bは溝構造付き下部ガラスエポキシ板である。この二つを張り合わせて、ガス流路を形成する。6は高周波電源である。なお、平板型のプラズマ源であるため、水冷は下部平板4bと面接触するプレート(図示はしていない)を介して行うことができる。

【0012】

図4は、図3で示した本発明の実施の形態による、誘導結合型マイクロプラズマ源の実際のプラズマ領域が形成される典型的な様子である。(a)18W、(b)25W、(c)

Wの順に、誘導結合型プラズマ発生コイル3への入力電力を増加している。(c)と(d)

では、入力電力は35Wと同じであるが、ガスをヘリウムからアルゴンに切り替えている。

1が浮遊電極である。浮遊電極はタングステン線である。直径0.1mm、全長80mmの線を折り曲げて、全長約10mmの束とした。浮遊電極が無い場合には、入力パワーを200Wまで上げてても点火しなかった。直径0.5mmの鉛線、直径0.1mmのアルミ線、直径0.5mmの垂鉛線、直径0.1mmの鉄線、直径0.01mmのタングステン線、直径0.1mmのニッケル線でも同様に、省電力でプラズマ点火する効果が観られた。

(c)、(d)で示した、領域2がプラズマ領域である。3はU字形金属パターンからなる

誘導結合型プラズマ発生用コイル電極である。4aは上部ガラス板、4bは溝構造付き下部ガラスエポキシ板である。この二つを貼り合わせて、ガス流路を形成する。5はガスの流れである。

【産業上の利用可能性】

【0013】

プラズマ領域の一部もしくは全てがcmを下回る、マイクロプラズマ源には、多くの種類が報告されている。圧力が高くなると、小さなサイズでもプラズマ生成に有利となるが、中でも大気圧プラズマは、低圧プラズマの場合に必須であった真空チャンバーが不要になることから、装置が簡単で安価になる上、真空引きが要らなくなり、プロセス時間が短くできる。アレイにするなど、広いプラズマ領域を形成できれば、ロール・ツー・ロール方式の製作工程にも入り得る。活性種の密度は高いが、ガス温度が高くなっていない非平衡プラズマが得られるため、プラスチックやフィルム材にも、高密度プラズマ処理ができる。

実験結果から、プラズマ点火が、低電力において開始できると、プラズマ領域が広がる条件に到達するまでの電力も小さくできる。低コスト、省エネルギーものづくりに適する性質を持つ。様々な産業において利用される可能性がある。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の実施の形態による、ガス流路内部に、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。誘導結合型プラズマ発生用コイル電極は、らせん状のパイプ、ガス流路は円筒ガラス管の例である。

【図2】図1で示した本発明の実施の形態による、誘導結合型マイクロプラズマ源を利用して実際のプラズマジェットが形成される一般的な様子である。(a)、(b)、(c)の順に、誘導結合型プラズマ発生用コイル電極への入力電力を増加している(傾向を示しており、全て異なるコイル電極である)。(a)では、浮遊電極の端部のみでプラズマが発生している。ヘリウムガスを流した方が、点火し易い。点火した後は、ガスをアルゴンに切り替えても消えること無く、より明るい発光が得られる。(b)は、浮遊電極の2つの端部から、プラズマ領域が伸びている途中の様子である。(c)は、両端のプラズマ領域がつながると共に、ガス上流と下流の両方にプラズマ領域が伸びた様子である。この例は、浮遊電極は長さ22mm、直径0.1mmのチタン線、ガラス管外径は1.5mm、内径は1.0mm、アルゴン流量は0.5リットル/分、入力電力は38Wである。

【図3】本発明の実施の形態による、ガス流路内部に、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。誘導結合型プラズマ発生用コイル電極は、U字形金属パターン、ガス流路を平板と溝付き平板のサンドイッチ構造で形成した例である。平板型のプラズマ源であるため、水冷は平板下部と面接触するプレートを介して行うことができる。

【図4】図3で示した本発明の実施の形態による、誘導結合型マイクロプラズマ源を利用して実際のプラズマ領域が形成される一般的な様子である。(a)18W、(b)25W

、(c) 35 Wの順に、誘導結合型プラズマ発生コイルへの入力電力を増加している。(c)と(d)では、入力電力は35 Wと同じであるが、ガスをヘリウムからアルゴンに切り替えている。(a)では、浮遊電極の端部でプラズマが発生している。(b)は、浮遊電極の周辺でプラズマが発生している。(c)および(d)では、トレンチ全体(～18 mm)にプラズマ領域が伸びている。トレンチ内部の浮遊電極は、全長80 mmのタンゲステン線であり、折り曲げて長さ10 mmにしている。厚さ～35 μmの銅膜が付いたガラスエポキシ基板(FR-4)に幅～2 mm、深さ1.2 mmの溝を加工し、カバーガラスを貼り付けてガス流路を形成した。U字形電極の幅は9 mmである。アルゴン流量は0.5リットル/分である。

【符号の説明】

【0015】

- 1・・・浮遊電極
- 2・・・プラズマ領域
- 3・・・誘導結合型プラズマ発生用コイル電極
- 4・・・流路を形成するガラス管
- 4a・・・流路を形成する上部ガラス板
- 4b・・・流路を形成する溝構造付き下部ガラスエポキシ板
- 5・・・ガスの流れ
- 6・・・高周波電源
- 7・・・コイル電極3を冷却する冷却水

【手続補正2】

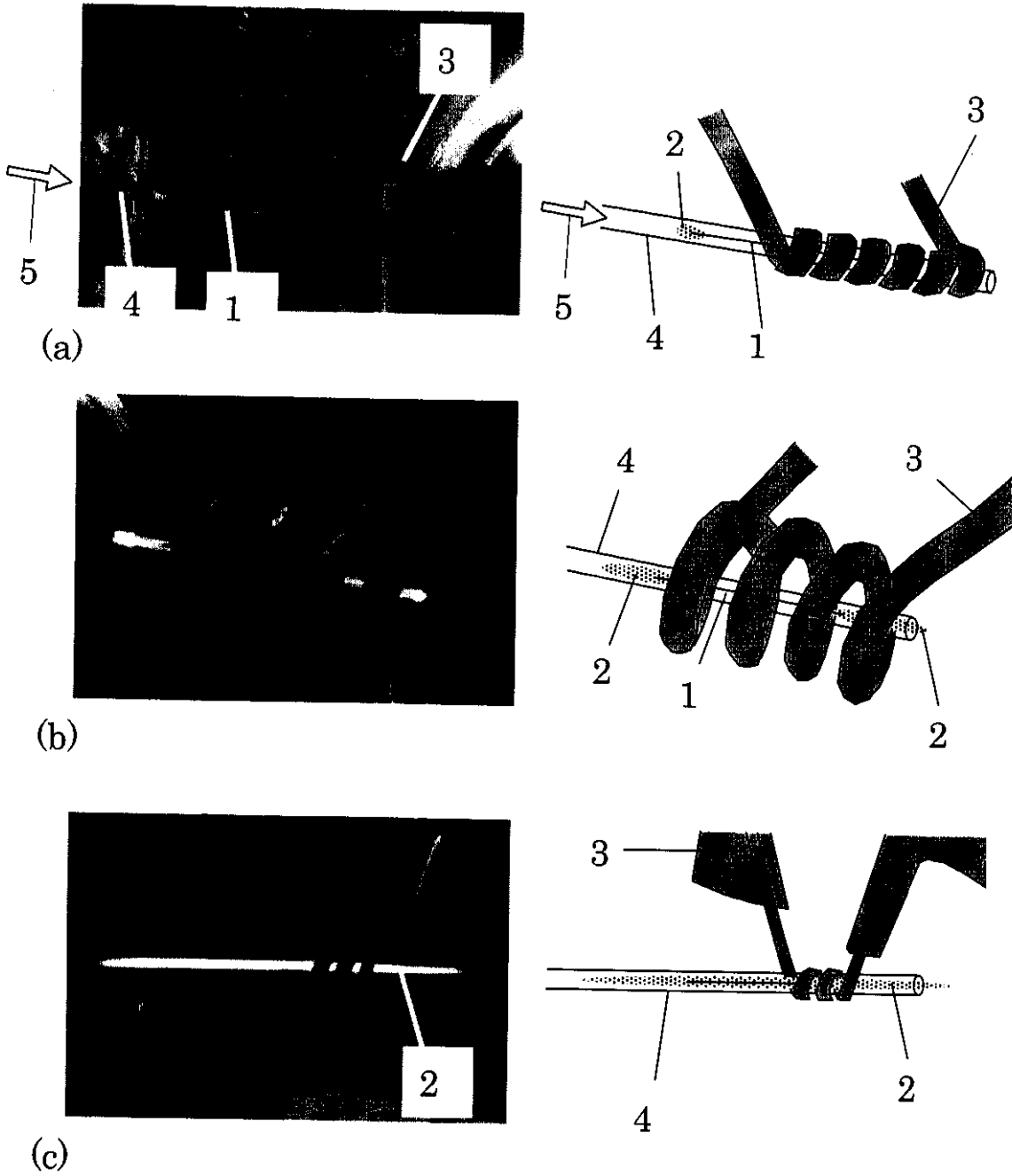
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図2

【補正方法】変更

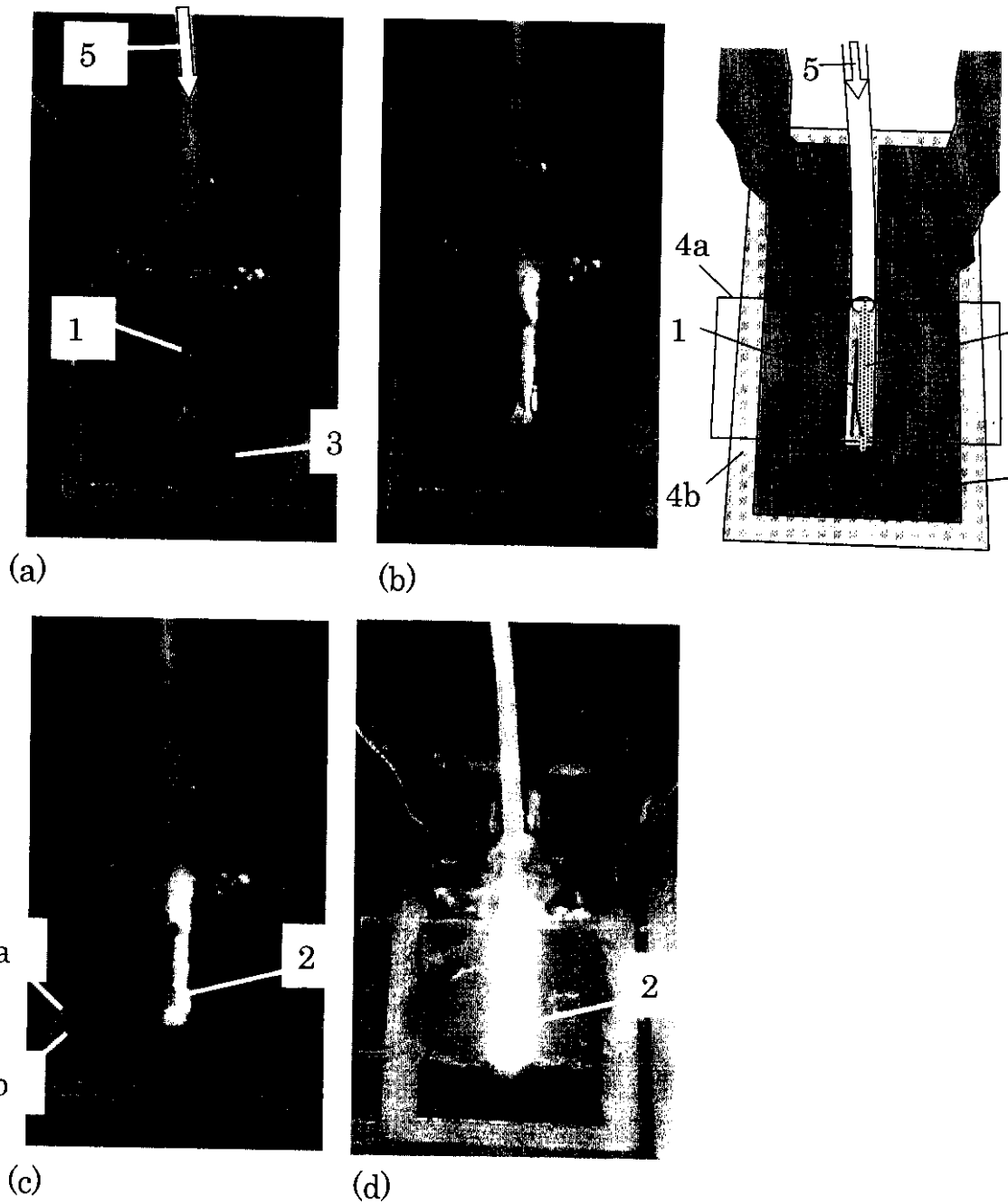
【補正の内容】

【 図 2 】



【 手続補正 3 】
【 補正対象書類名 】 図面
【 補正対象項目名 】 図 4
【 補正方法 】 変更
【 補正の内容 】

【 図 4 】



【 手続補正書 】
【 提出日 】平成23年9月12日(2011.9.12)
【 手続補正 1 】
【 補正対象書類名 】明細書
【 補正対象項目名 】0 0 1 2
【 補正方法 】変更
【 補正の内容 】
【 0 0 1 2 】

図 4 は、図 3 で示した本発明の実施の形態による、誘導結合型マイクロプラズマ源の実際

のプラズマ領域が形成される典型的な様子である。(a) 18 W、(b) 25 W、(c) 35 Wの順に、誘導結合型プラズマ発生コイル3への入力電力を増加している。(c)と(d)では、入力電力は35 Wと同じであるが、ガスをヘリウムからアルゴンに切り替えている。1が浮遊電極である。浮遊電極はタングステン線である。直径0.1 mm、全長80 mmの線を折り曲げて、全長約10 mmの束とした。浮遊電極が無い場合には、入力パワーを200 Wまで上げて点火しなかった。直径0.5 mmの鉛線、直径0.1 mmのアルミ線、直径0.5 mmの亜鉛線、直径0.1 mmの鉄線、直径0.01 mmのタングステン線、直径0.1 mmのニッケル線でも同様に、省電力でプラズマ点火する効果が観られた。(c)、(d)で示した、領域2がプラズマ領域である。3はU字形金属パターンからなる誘導結合型プラズマ発生用コイル電極である。4aは上部ガラス板、4bは溝構造付き下部ガラスエポキシ板である。この二つを貼り合わせて、ガス流路を形成する。5はガスの流れである。

図5は、浮遊電極の働きを等価回路モデルによって表したものである。誘導結合型プラズマ発生用コイル電極3から発生する高周波の磁場を受け、浮遊電極1中に起電力が発生する。この作用は、コイル電極3と浮遊電極1との間に存在する相互インダクタンスMによって表すことができる。浮遊電極には様々な導電性材料が利用できる。直線状の浮遊電極の両端aおよびbにおいて周囲のグランド電位とそれぞれ結合していると考えることができる。これはキャパシタンスC_aおよびC_bで表すことができる。従って、浮遊電極は、グランド電位 - キャパシタンスC_a - 浮遊電極自体のインダクタンスL₂ - 浮遊電極自体の内部抵抗R₂ - キャパシタンスC_b - グランド電位、からなる直列回路を形成する。これに起電力が働き、回路中に電流が流れる。電流が、上記直列回路を通りながら、各素子のインピーダンスに応じた電圧を発生する。各素子のインピーダンス絶対値を図4の場合を想定して見積もる。周波数100 MHz、全長80 mmのタングステン線を折り曲げて10 mmの束にした条件で見積もると、内部抵抗R₂が9 m Ω 、インダクタンスL₂によるインピーダンスが3 Ω 、キャパシタンスC_aおよびC_bによるインピーダンスが各々70 k Ω となる。浮遊電極端aおよびbは束全体として曲率半径200 μ mを持つと近似した。グランド電位領域とのギャップ長があるため、キャパシタンスは小さくなる。従って、周波数が100 MHzであってもインピーダンス絶対値は大きい。直列回路を形成しているため、各素子に流れる電流は同じであり、上記インピーダンスの大きな値を持つ素子の間で、電位差および電界が大きくなる。上記インピーダンス値の精度は、オーダの見積もり程度であるが、インダクタンスとキャパシタンスによるインピーダンスで大きさが4桁異なる。キャパシタンスによるインピーダンスが支配的となる条件は広く成立する。これはaまたはb点の電位が周辺電位と比べて大きく異なることを意味し、これによる電界によって浮遊電極の端から点火することと符合する。キャパシタンスC_aおよびC_bの値は、形状やレイアウトによって、その値を調節でき、線状の浮遊電極端の片方に、より電界を集中させることも可能である。以上の結果として、浮遊電極によって、ガス流路内に効率的に電界を集中させることができる。この電界がプラズマ点火を促進する。なお、浮遊電極1とキャパシタンスを介して結合しえるのは、グランド電位のみではなく、別の電位を持つコイル電極3も考えられる。この場合には、電圧は結合部分との中間の値を取るため、その領域の電圧勾配である電界が抑えられる形となり、必ずしも点火に有利とはならない。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0014

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0014】

【図1】本発明の実施の形態による、ガス流路内部に、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。誘導結合型プラズマ発生用コイル電極は、らせん状のパイプ、ガス流路は円筒ガラス管の例である。

【図2】図1で示した本発明の実施の形態による、誘導結合型マイクロプラズマ源を利用して実際のプラズマジェットが形成される一般的な様子である。(a)、(b)、(c)の順に、誘導結合型プラズマ発生用コイル電極への入力電力を増加している(傾向を示しており、全て異なるコイル電極である)。(a)では、浮遊電極の端部のみでプラズマが発生している。ヘリウムガスを流した方が、点火し易い。点火した後は、ガスをアルゴンに切り替えても消えること無く、より明るい発光が得られる。(b)は、浮遊電極の端部から、プラズマ領域が伸びている途中の様子である。(c)は、両端のプラズマ領域がつながると共に、ガス上流と下流の両方にプラズマ領域が伸びた様子である。この例は、浮遊電極は長さ22mm、直径0.1mmのチタン線、ガラス管外径は1.5mm、内径は1.0mm、アルゴン流量は0.5リットル/分、入力電力は38Wである。

【図3】本発明の実施の形態による、ガス流路内部に、浮遊電極があることを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。誘導結合型プラズマ発生用コイル電極は、U字形金属パターン、ガス流路を平板と溝付き平板のサンドイッチ構造で形成した例である。平板型のプラズマ源であるため、水冷は平板下部と面接触するプレートを経由して行うことができる。

【図4】図3で示した本発明の実施の形態による、誘導結合型マイクロプラズマ源を利用して実際のプラズマ領域が形成される一般的な様子である。(a)18W、(b)25W、(c)35Wの順に、誘導結合型プラズマ発生用コイルへの入力電力を増加している。(c)と(d)では、入力電力は35Wと同じであるが、ガスをヘリウムからアルゴンに切り替えている。(a)では、浮遊電極の端部でプラズマが発生している。(b)は、浮遊電極の周辺でプラズマが発生している。(c)および(d)では、トレンチ全体(~18mm)にプラズマ領域が伸びている。トレンチ内部の浮遊電極は、全長80mmのタンゲステン線であり、折り曲げて長さ10mmにしている。厚さ~35 μ mの銅膜が付いたガラスエポキシ基板(FR-4)に幅~2mm、深さ1.2mmの溝を加工し、カバーガラスを貼り付けてガス流路を形成した。U字形電極の幅は9mmである。アルゴン流量は0.5リットル/分である。

【図5】浮遊電極の働きを等価回路モデルによって表したものである。誘導結合型プラズマ発生用コイル電極3は、インダクタンスL1、内部抵抗R1を持つ。直線状の浮遊電極1は、インダクタンスL2、内部抵抗R2を持つ。加えて、両端aおよびbにおいて周囲のグランド電位とそれぞれ結合していると考えることができる。それらのキャパシタンスがCaおよびCbである。誘導結合型プラズマ発生用コイル電極3から発生する高周波の磁場を受け、浮遊電極1中に起電力が発生する作用は、コイル電極3と浮遊電極1との間に存在する相互インダクタンスMによって表すことができる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図5

【補正方法】追加

【補正の内容】

【 図 5 】

