

(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2015-162267
(P2015-162267A)

(43) 公開日 平成27年9月7日(2015.9.7)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
H05H	1/24	(2006.01)	H05H	1/24		2G020		
G01J	3/10	(2006.01)	G01J	3/10		4K030		
H01L	21/3065	(2006.01)	H01L	21/302	101C	5F004		
H01L	21/205	(2006.01)	H01L	21/205		5F045		
C23C	16/507	(2006.01)	C23C	16/507				

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2014-34796 (P2014-34796)
(22) 出願日 平成26年2月26日 (2014.2.26)

(71) 出願人 592032636
学校法人トヨタ学園
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
フォニアみなみが丘F-402
Fターム(参考) 2G020 CB34 CB53
4K030 FA04 KA14 KA30
5F004 BA11 BD04
5F045 EH04 EH11 EH20

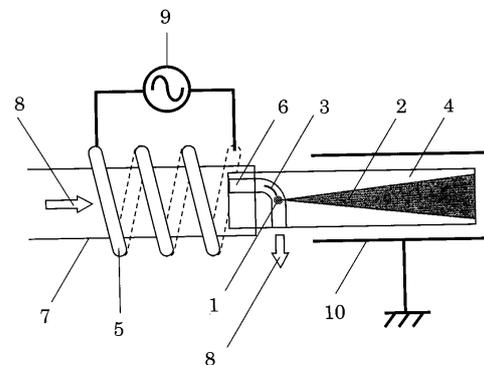
(54) 【発明の名称】 浮遊電極がシールドされた誘導結合型マイクロプラズマ源

(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を発生できるが、プラズマ点火が難しい問題があり、プラズマ点火を促進し、より低パワーで点火を可能とする、効果的な方法が求められていた。

【解決手段】 本発明は、浮遊電極の一部を、電位を一定に保つシールド電極で覆うことで、浮遊電極を通して外部に電磁氣的に放射していた高周波パワーの損失を減少させ、ガス流路内部に配置された浮遊電極先端に効率よく高周波パワーを伝える小型で高密度な誘導結合型マイクロプラズマ源を実現したものである。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

浮遊電極の一部が、電位を一定に保つ電極で覆われてい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】

浮遊電極の一部が、接地された電極で覆われてい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】

浮遊電極全長の半分以上が、電位を一定に保つ電極で覆われてい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、又は分光システム、又は表面処理装置、又はドーピング装置、又は膜堆積装置、又はエッチング装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、小型化・マイクロデバイス化した誘導結合型マイクロプラズマ源の低電力での点火および点灯を促進し、プラズマ源と関係装置の省電力化に関する。

20

【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。大気圧をはじめとする高圧力で動作するため、小さなサイズでもプラズマ生成に有利となる。

大気圧プラズマは、真空排気系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望である。しかし、大気圧プラズマでは、プラズマ点火や点灯が困難となり易い問題がある。

30

【0003】

この問題を解決するために、通常はイグナイター機構を追加する対策が取られる。容量結合型のプラズマ源においても、プラズマ点火の始動を良好にする目的で、例えば特許文献 1 では、ガス放電を発生させる反応容器に、交流電界を印加する一対のプラズマ生成用電極に加えて、高電圧パルス電圧を放電ガスに印加して点灯させるための電極を別途設ける構成を開示している。

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追加する技術は、例えば特許文献 2 から 5、非特許文献 1 に開示されている。

【0004】

特許文献 2 および 3 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灯することが開示されている。

40

特許文献 4 では、誘導結合型マイクロプラズマ点灯のために、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。

【0005】

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。

特許文献 6 では、放電ガスが通る反応管と、高周波が印加されるコイル電極を基本構成と

50

する大気圧プラズマ発生装置の点火方法について開示している。反応管の一端側と他端側に一对の電極を配置し、両者の間に所定時間高電圧を印加して、プラズマ発生部を縦貫して点火放電が生じるようにする方法を開示している。

【0006】

非特許文献1の著者の一人は、特許文献1および2の発明者に含まれる。本質的には同じであるが、タングステン線が通常グランド電位に接続されていること、熱電子の発生を促すこと、プラズマ点火には約15kVの直流電圧を0.5秒加えることを説明している。点火用の電極構造には結線と、点火用の高電圧電源が必要である。ここでは、放電維持電力が5Wであると説明している。点火電力は放電維持電力よりも高い値が必要となる。高周波パワー25Wでプラズマ点灯している様子の記述がある。点火には、高電圧源のパワーも合わせると、瞬間的ではあるが大きなパワーが必要と判断される。

上記の方法ではいずれも、別途高電圧電源の用意、追加の電極製作、電極と電源間の結線を必要とすることになり、プラズマ源の小型化・マイクロデバイス化を阻害する。

【0007】

特許文献7は、発明者が申請した浮遊電極を利用するものである。平面基板に形成した溝やガラス毛细管からなるガス流路内部に、浮遊電極を配置する方法を開示している。浮遊電極をガス流路内部に配置することで、点火用の電源を追加することなく、点火を容易にする。電位を一定に保つ電極で覆う、シールド電極に関する内容は示していない。

非特許文献2は、発明者らの学術論文であり、浮遊電極をガス流路内に配置したU字形の平板型コイルによって励起する誘導結合型マイクロプラズマ源である。

通常の機械加工で製作した幅2mm、長さ40mm、深さ1.2mmの溝に、アルミやタングステンなどの金属線を配置している。シールド電極に関する内容は示していない。

非特許文献3は、発明者らの学術論文であり、微細加工によって製作したマイクロデバイス内部の構造について述べている。シールド電極に関する内容は示していない。シールド電極は、微細加工によって製作する必要が必ずしも無い。微細加工によって製作したマイクロデバイスと組み合わせることは容易である。

【0008】

【特許文献1】「プラズマ処理装置及びプラズマ点灯方法」公表番号：特許公開2001-126898公開日：2001年5月11日出願人：松下電工株式会社

【特許文献2】「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」公表番号：特許公開2005-262111公開日：2005年9月29日出願人：独立行政法人 産業技術総合研究所

【特許文献3】「微小なラインを備えた基板」公表番号：特許公開2008-306209公開日：2008年12月18日出願人：独立行政法人 産業技術総合研究所

【特許文献4】「プラズマ発生装置」公表番号：特許公開2008-198583公開日：2008年8月28日出願人：寺嶋和夫

【特許文献5】「プラズマ発生装置及びプラズマ生成方法」公表番号：特許公開2009-289432、公開日：2009年12月10日出願人：国立大学法人 東京工業大学

【特許文献6】「大気圧プラズマ発生装置及び点火方法」公表番号：特許公開2008-204870公開日：2008年9月4日出願人：松下電器産業株式会社

【特許文献7】「浮遊電極を持つ誘導結合型マイクロプラズマ源」公表番号：特許公開2011-249289公開日：2011年12月8日出願人：学校法人トヨタ学園

【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】"Novel Atmospheric PressureInductively Coupled Micro Plasma Source Using Floating WireElectrode", S. Kumagai, H. Matsuyama, Y. Yokoyama, M. Hori, M.Sasaki, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 50 (2011) 08JA02.

【非特許文献3】"A MICROPLAMA CHIP FOR VUVLIGHT SOURCE", R. Sato, D. Yasumatsu, S. Kumagai, M. Hori, M. Sasaki, The 26th International Conference on MicroElectro

10

20

30

40

50

Mechanical Systems (2013.1.20-24, Taipei, Taiwan), Poster113-Mo, pp.705-708.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

誘導結合型マイクロプラズマは、大気圧をはじめとする高圧力で動作し、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。イグナイター機構を追加す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、追加の電極製作、電極と電源間の結線を必要とする。これらは、プラズマ源の小型化・マイクロデバイス化を阻害する。この問題を解決するために、発明者は浮遊電極をガス流路内部に配置することで、点火用の電源を追加することなく、点火を容易にする方法（特許文献7）を先に特許申請した。しかし、プラズマ源の小型化・マイクロデバイス化を進めると、浮遊電極を配置しても点火パワーが大きくなる傾向を示すため、更にプラズマ点火を促進し、より低パワーで点火を可能とする、効果的な方法が求められていた。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明によれば、浮遊電極の一部を、電位を一定に保つ電極で覆うことで、誘導結合型マイクロプラズマをより低電力にて得ることができる。プラズマ点火および点灯する領域は、電極配置および放電ガスの流路によってデザインできる。

プラズマの励起に誘導結合を利用しているため、浮遊電極は外部との特別の結線が必要無い。シールド電極によって、浮遊電極を介して外部に電磁氣的に放射していた高周波パワーの損失を減少させ、プラズマ点灯の条件が揃う、ガス流路内部に配置された浮遊電極先端に効率よく高周波パワーを伝える。シールド電極は一定の電位に接続する必要性が生じるが、この結線は、デバイス中の浮遊電極とは異なり、覆うように形成したシールド電極のいずれかの領域と外部電位とを結べば良いため、結線は容易である。以上により、小型で高密度な誘導結合型プラズマ源の省電力化を実現する。

20

【0011】

本発明によれば、浮遊電極の一部を、接地された電極で覆うことで、誘導結合型マイクロプラズマをより低電力にて得ることができる。プラズマ点火および点灯する領域は、電極配置および放電ガスの流路によってデザインできる。プラズマの励起に誘導結合を利用しているため、浮遊電極は外部との特別の結線が必要無い。シールド電極によって、浮遊電極を介して外部に電磁氣的に放射していた高周波パワーの損失を減少させ、プラズマ点灯の条件が揃う、ガス流路内部に配置された浮遊電極先端に効率よく高周波パワーを伝える。シールド電極は接地する必要性が生じるが、この結線は、デバイス中の浮遊電極とは異なり、覆うように形成したシールド電極のいずれかの領域と外部電位とを結べば良いため、結線は容易である。以上により、小型で高密度な誘導結合型プラズマ源の省電力化を実現する。

30

【0012】

また本発明によれば、浮遊電極全長の半分以上が、電位を一定に保つ電極で覆うことで、誘導結合型マイクロプラズマをより低電力にて得ることができる。プラズマ点火および点灯する領域は、電極配置および放電ガスの流路によってデザインできる。プラズマの励起に誘導結合を利用しているため、浮遊電極は外部との特別の結線が必要無い。シールド電極によって、浮遊電極を介して外部に電磁氣的に放射していた高周波パワーの損失を減少させ、プラズマ点灯の条件が揃う、ガス流路内部に配置された浮遊電極先端に効率よく高周波パワーを伝える。シールド電極は一定の電位に接続する必要性が生じるが、この結線は、デバイス中の浮遊電極とは異なり、覆うように形成したシールド電極のいずれかの領域と外部電位とを結べば良いため、結線は容易である。以上により、小型で高密度な誘導結合型プラズマ源の省電力化を実現する。

40

また本発明によれば、浮遊電極の一部を、電位を一定に保つ電極で覆われたことを特徴とする、誘導結合型マイクロプラズマ源を利用した、光源、又は分光システム、又は表面処

50

理装置、又はドーピング装置、又は膜堆積装置、又はエッチング装置が実現できる。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、小型で点火が容易な、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できるほど、更にパワーを上げた際にも、より低パワーで明るいプラズマが形成される。エネルギー効率向上や、プラズマの高密度化促進につながる。プラズマ点火や点灯が低電力で可能になるほど、プラズマ源の冷却が不要になるといった装置の簡素化、使用している部材が耐えるべき条件が過酷でなくなることによる信頼性向上、放熱が容易になることからプラズマ源をアレイ化しても問題が少なくなることによる高機能化、につながる。

誘導結合型マイクロプラズマ源を利用した装置においても、小型化、省エネルギー化、信頼性向上、高機能化の効果が得られる。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

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。高周波電源の周波数については100MHzを代表とするVHF帯が利用されることが多いが、周波数の値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、浮遊電極の一部が、接地された電極で覆われていることを特徴とする、ガス吹き流し型での誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。1はプラズマ領域である。2は浮遊電極（主電極）である。鋭角を持つ三角形形状をしている。点火はこの電極のガス流路6に面した端部の周辺で発生する。この主電極2と組み合わせる形で、サイズの小さな浮遊電極（補助電極）3を配置している。これは点火電力を下げる効果があるデザインの一つである。この電極を加えるかは、目的により、必須ではない。

20

4はプラズマ源の基板であり、浮遊電極を微細加工で形成する際の基板であるか、マイクロ流路を形成する際の基板である。5はパイプから製作したプラズマ発生用スパイラルコイル電極である。プラズマ点火の際には、電磁誘導を介して、2や3の浮遊電極にエネルギーを供給する。6はマイクロ流路であり、ガス供給する配管7によって、ガス流れ8を形成する。9は高周波電源（明示していないが、マッチング回路を含む）である。10はシールド電極であり、浮遊電極2の一部を覆うように配置され、電氣的に接地される。

30

【0015】

図2は本発明の実施の形態による、浮遊電極の一部が、接地された電極で覆われていることを特徴とする、ガス封じ切り型での誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。1はプラズマ領域である。2は浮遊電極（主電極）である。金属線が利用できる。先端に近い領域が放電ガスに接するように、放電ガスを封じた容器12の内部に配置されている。プラズマ発生用スパイラルコイル電極5と浮遊電極2が接触しないように絶縁管11が配置されている。プラズマ領域1はコイル電極5および絶縁管11の内部又は周辺となる。9は高周波電源（明示していないが、マッチング回路を含む）である。10はシールド電極であり、浮遊電極2の一部を覆っており、電氣的に接地される。

40

【0016】

図2は、本発明の実施の形態による、浮遊電極の一部が、接地された電極で覆われていることを特徴とする、ガス封じ切り型での誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。プラズマ源は市販品などのバルク材料を加工して製作できる。ランプを製作するガラス加工技術と組み合わせることもできる。1はプラズマ領域である。2は浮遊電極（主電極）である。

金属線（例えば、銅、タングステン）が利用でき、先端に近い領域が放電ガスに接するように、放電ガス（例えばヘリウム）を封じた容器12の内部に配置されている。スパイラ

50

ルコイル電極 5 と浮遊電極 2 が接触して短絡しないように絶縁管 1 1 (例えば石英管) が配置されている。

5 はプラズマ発生用スパイラルコイル電極である。放電ガスを封じた容器 1 2 の中にコイル電極 5 が入った構成を例示しているが、容器 1 2 が小さくできる場合は、コイル電極 5 の中に容器 1 2 が入った構成でも良い。プラズマ点火の際には、電磁誘導を介して、2 の浮遊電極にエネルギーを供給する。プラズマ領域はコイル電極 5 の内部から周囲となる。9 は高周波電源である。10 はシールド電極である。2 の浮遊電極と芯線をつなげた同軸ケーブルが利用でき、周囲導電体を接地させることで効果が得られる。

【0017】

図3は、図1で示した本発明の実施の形態による、ガス吹き流し型誘導結合型マイクロプラズマ源での浮遊電極をシールドする効果を検証した比較結果である。

放電ガスであるヘリウム流量は0.5 L / 分、ガス流路および鋭角三角形(先端角度10°、長さ16 mm)の浮遊電極(主電極)とガス流路上流側に配置した補助電極を内部構造に持つマイクロプラズマ源は同一である。ガス流路用の溝を形成したSi基板は表面を酸化してある。スパイラルコイルは100 MHz 電源と、インピーダンスマッチングボックスを介して接続した。自動的にマッチングを得ながら、徐々に入力パワーを増加させた。浮遊電極のみの条件では、24 Wで点火した。浮遊したカバー電極を配置した条件では、29 Wで点火し、むしろ点火に必要な電力が増加した。

【0018】

カバー電極は電位の変動が許されるために、高周波電源に追従して変動し、浮遊電極とカバー電極を通して外部に電磁氣的に放射するパワーの損失が増加したと考えられる。接地したカバー電極の条件では、5 Wで点火した。反射波0 Wであり、マッチングも得られた。カバー電極の電位が一定となるため、浮遊電極を通して外部に電磁氣的に放射していた高周波パワーの損失が減少し、プラズマ点灯の条件が揃う、ガス流路内部に配置された浮遊電極先端に効率よく高周波パワーが集中して伝わったと判断できる。放電維持電力は4.5 Wであった。カバー電極には厚さ50 μmの銅箔を使用した。カバー電極の内側には、マイクロプラズマ源デバイスとの短絡を防ぐためにポリイミドテープを用いた。接地のための配線には、はんだ付けと導線を利用した。微細加工によって小型化されていると同時に、得られた点火電力5 Wは、非特許文献1をはじめとする文献値と比べて小さい。

【0019】

図4は、図2で示した本発明の実施の形態による、ガス封じ切り型誘導結合型マイクロプラズマ源での浮遊電極をシールドする効果を検証した比較結果である。

放電ガスはヘリウム、浮遊電極は直径0.1 mm、全長500 mmの銅線である。スパイラルコイルへの電力供給には車載無線用の144 MHz 電源を利用した。この電源の出力値は50 W、15 W、5 Wを選択できるが、連続的には変化できない。

この出力を、試作したインピーダンスマッチングボックスを介してプラズマ源に接続した。反射パワーが生じたので、その値も合わせて示す。浮遊電極のみの条件では、正味31 W(入力50 W、反射19 W)で点灯した。入力パワー15 W、5 Wではプラズマ点灯しなかった。同軸ケーブル(浮遊電極周囲電極を接地した)の条件では、正味40 W(入力50 W、反射10 W)で点灯した。全体として500 mmである点は両者で同じとし、中心の銅線のみ長さは150 mmとした。

プラズマ点灯の写真から分かるように、明るさが増した。プラズマ領域は半径方向において、スパイラルコイル電極に近い領域まで膨らんでいる。浮遊電極の導線は、数分間のプラズマ点灯で焼き切れた。これは浮遊電極のみの条件では見られなかった現象である。直径0.3 mm、長さ150 mmのタングステン線に交換すれば、焼き切れることは無くなった。また、直径0.3 mmの銅線に交換すると、正味15 W(入力15 W、反射0 W)、正味3 W(入力5 W、反射2 W)でも安定にプラズマ点灯した。

【産業上の利用可能性】

10

20

30

40

50

【 0 0 2 0 】

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。圧力に応じた、高密度なプラズマを形成できる。中でも大気圧プラズマは、低圧プラズマで必須であった真空排気系が不要になることから装置が簡単で安価になり、真空引きが要らないことからプロセス時間が短くできる。

光源応用は点状のプラズマ形成で良いことが多く、光源、又は分光システムに利用できる。プラズマ源をアレイ化すれば、線状や面状にプラズマ形成できる。プラズマ源の走査機構と組み合わせることで、表面処理、ドーピング、膜堆積、エッチングなどに応用できる。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など様々な材料に、高密度プラズマ処理ができる。様々なプラズマ発生方式の中でも、誘導結合型プラズマは、高密度化に有利である。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、追加電力によってより明るいプラズマ領域が低電力で得られる。低コスト、省エネルギーものづくりに適する性質を持つこととなり、応用可能性を高めることになる。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 1 】

【 図 1 】本発明の実施の形態による、浮遊電極の一部が、接地された電極で覆われていることを特徴とする、ガス吹き流し型での誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。

20

【 図 2 】本発明の実施の形態による、浮遊電極の一部が、接地された電極で覆われていることを特徴とする、ガス封じ切り型での誘導結合型マイクロプラズマ源の概略図である。

【 図 3 】図 1 で示した本発明の実施の形態による、ガス吹き流し型誘導結合型マイクロプラズマ源での浮遊電極をシールドする効果を検証した比較結果である。

【 図 4 】図 2 で示した本発明の実施の形態による、ガス封じ切り型誘導結合型マイクロプラズマ源での浮遊電極をシールドする効果を検証した比較結果である。

【 符号の説明 】

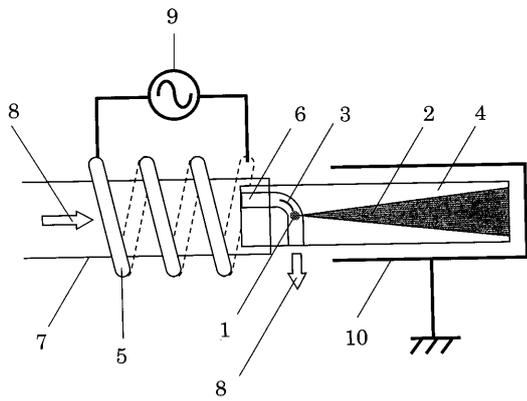
【 0 0 2 2 】

- 1・・・プラズマ領域（例示）
- 2・・・浮遊電極（主電極）
- 3・・・別の浮遊電極（補助電極）
- 4・・・プラズマ源の基板
- 5・・・プラズマ発生用スパイラルコイル電極
- 6・・・プラズマ源に形成したガス流路（微細加工によって製作した溝構造）
- 7・・・プラズマ源にガスを供給する配管
- 8・・・放電ガスの流れ（例示）
- 9・・・高周波電源（明示していなが、マッチング回路を含む）
- 10・・・シールド電極
- 11・・・スパイラルコイル電極 5 と浮遊電極 2 の接触を避ける絶縁管
- 12・・・放電ガスを封じた容器

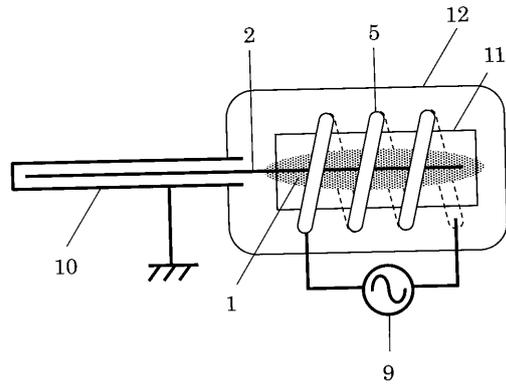
30

40

【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】

構成の 模式図		点火 パワー
浮遊電極のみ		2.4 W
浮遊したカバー電極		2.9 W
接地したカバー電極		5 W

【 図 4 】

構成の 模式図		点灯 パワー
浮遊電極のみ		正味 3.1 W (入力 5.0 W、反射 1.9 W)
同軸ケーブル (浮遊電極同電極の接地)		正味 4.0 W (入力 5.0 W、反射 1.0 W)