

(19)日本国特許庁 ( J P )

# (12)特 許 公 報 ( B 1 )

(11)特許番号

## 特許第3069700号

( P 3 0 6 9 7 0 0 )

(45)発行日 平成12年 7月24日(2000.7.24)

(24)登録日 平成12年 5月26日(2000.5.26)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

H05H 1/24

H05H 1/24

1/46

1/46

A

L

請求項の数 5 (全 9 頁)

(21)出願番号

特願平11 - 207851

(22)出願日

平成11年 7月22日(1999.7.22)

審査請求日

平成11年 7月22日(1999.7.22)

(73)特許権者

391012246

静岡大学長

静岡県静岡市大谷836

(72)発明者

畑中 義式

静岡県浜松市和合町936 - 537

(72)発明者

コルツェック・ダリウス

ドイツ国 ヴッパータル 42119 イム

・ヨハンニスタール 11

(72)発明者

エンゲマン・ジュルゲン

ドイツ国 ヴッパータル 42119 フル

ロットシュトラッセ 48

(74)代理人

100058479

弁理士 鈴江 武彦 (外 5 名)

審査官

村田 尚英

最終頁に続く

(54)【発明の名称】放電容器及びその放電容器を備えたプラズマラジカル生成装置

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】原料ガスからプラズマラジカルを生成するための筒状の放電容器であって、

前記原料ガスの入り口付近に配置され、前記放電容器の外側に前記放電容器を取り囲むように配置されたカソード電極を有し、前記原料ガスに前記カソード電極から高周波の電力を供給することによってプラズマを生成するためのカソード部と、

前記カソード部の後段に配置され、前記放電容器の外側に前記放電容器を取り囲むように配置されたアノード電極を有するアノード部と、

前記カソード部と前記アノード部との間に配置されて前記カソード部と前記アノード部とを結合する部分であって、くびれた構造を有し、前記くびれた構造によって前記生成されたプラズマを高密度にすることによって高密

2

度ラジカルを生成するジェット部とを備えたことを特徴とする放電容器。

【請求項 2】請求項 1 記載の放電容器において、前記アノード部の前記原料ガスの入り口の部分のガスが流れる方向と垂直な断面積を、前記ジェット部のくびれ部のガスが流れる方向と垂直な断面積よりも小さくし、細管を束ねたキャピラリー構造とすることを特徴とする放電容器。

【請求項 3】請求項 1 記載の放電容器において、前記放電容器は電氣的に絶縁物であって、石英、アルミナ、10 パイレックスガラス、テフロン、窒化珪素のいずれかを含むような材料からなり、前記放電容器のジェット部は空冷又は水冷のできる構造であることを特徴とする放電容器。

【請求項 4】前記原料ガスの入り口付近に配置され、

前記放電容器の外側に前記放電容器を取り囲むように配置されたカソード電極を有し、前記原料ガスに前記カソード電極から高周波の電力を供給することによってプラズマを生成するためのカソード部と、前記カソード部の後段に配置され、前記放電容器の外側に前記放電容器を取り囲むように配置されたアノード電極を有するアノード部と、前記カソード部と前記アノード部との間に配置されて前記カソード部と前記アノード部とを結合する部分であって、くびれた構造を有し、前記くびれた構造によって前記生成されたプラズマを高密度にすることによって高密度ラジカルを生成するジェット部とを備えた筒状の放電容器と、前記カソード電極と、前記アノード電極を挟み込むようにして近接して配置され、放電を発生するための電力を供給する整合回路とを具備することを特徴とするプラズマラジカル生成装置。

【請求項 5】 列状又は面的に配列された複数の請求項 1 記載の放電容器と、少なくとも 2 つの前記放電容器のアノード電極及びカソード電極に共通に給電する手段とを備えたことを特徴とするプラズマラジカル生成装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】本発明は、高周波放電によって励起されたガスのラジカル又は励起種を効率よく発生させるプラズマラジカル生成装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】例えば、半導体基板の表面に薄膜を堆積する場合に、真空蒸着法、スパッタリング法、化学気相堆積法、分子線エピタキシー法などが用いられる。この場合において、いずれの方法においても、例えば原料ガス（以下、単に「原料」と称する）を分子状ないしは原子状にして目的とする表面に堆積している。このとき、原料を分子状ないしは原子状とするために、熱、光、イオン、励起種（ラジカル）等のエネルギーにより原料を分解して用いる。

【 0 0 0 3 】上記のように原料を分子状ないしは原子状に分解する場合に、プラズマにより原料を分解する方法が知られている。この場合において、プラズマ源は、薄膜等のプロセッシング部と離れたところにあり、これをリモートプラズマ法と呼んでいる。図 1 2 にリモートプラズマ法に関する概略構成を示す。リモートプラズマ法では、図 1 2 ( a ) に示すように高周波の電力 6 2 により原料ガス 1 2 を励起するが、プラズマ発生部（プラズマ源）4 3 とプロセッシング部（プロセス容器）1 7 とが離れることによりイオン、電子の衝突によるプロセッシング部 1 7 の損傷がない。なお、プロセッシング部 1 7 ではプロセス用ガスが導入され、プラズマ発生部 4 3 で生成されたラジカル 1 3 と反応させて反応物質 2 0 を出す。このリモートプラズマ法は、場合によっては光ト

ラップを利用することにより紫外線の損傷も防ぐことができる方法でもある。これは図 1 2 ( b ) に示すようにラジカル輸送管 8 を折り曲げる方法によって行われている。

【 0 0 0 4 】リモートプラズマ法については、畑中他による多くの報告があり(Bulletin of the Research Institute of Electronics Shizuoka University, Vol. 29, pp.87-94, 1994)、プラズマ源として様々のものについて研究がなされている。例えば、高周波誘導結合型のもの、及び S. Wickramanayaka 他によるこれらの装置に数 kW の大電力を投入し、高励起状態のラジカルを生成しようとしたもの(Jpn. J. Appl. Phys, Vol. 30, pp. 28 97-2900, 1991)等がある。また、野村他によって、電子サイクロトロン共鳴を使ったプラズマ源によって、低い圧力領域でのリモートプラズマによる薄膜堆積がなされている(J. Appl. Phys. 69, pp. 990-993, 1991)。また、Horowitz (J. Vac. Sci. Tech. A6 (3), pp. 1837-1844 (1988))はホロカソード法によって高密度プラズマを得ることを報告している。なお、多数のホロカソードを用いたものは Vacuum 36, pp. 837-840 (1986) に報告されている。Bardos らは単一ジェットプラズマを CVD (Chemical Vapor Deposition) 法に用いている(Thin Solid Films 158, pp. 265-270 (1988))。しかし、Bardos らでは小さいオリフィスを持つカソードとアノードの導電体容器の間で放電させ基板上に膜を堆積させているものの、小さい面積しか膜を堆積させることができない。

【 0 0 0 5 】Korzec らは、1 個又は 1 個以上のジェット領域の穴を持つカソードとそれを囲むアノード部とからできているホロカソード形の放電プラズマ源(Surface and Coatings Technology 93, pp. 128-133 (1997))を報告している。この主要な部分はすべて導電性の金属でできており、広い面積をカバーできるプラズマ源であるが、ジェット部がプラズマ電位を通して電気的に結合することもあり、上記のジェット領域の穴によりプラズマの強度が不均一となる。また金属による汚染の問題も解決していない。さらに入力ガスが必ずしもジェットの穴部を通らないで流出するロス部分が生ずる等の欠点を有している。

【 0 0 0 6 】

【発明が解決しようとする課題】上記のように、従来のプラズマ源によるラジカル（励起種を含む。以下、単に「ラジカル」と称する）の発生においては、高収率のラジカル生成ができないという問題点を有している。

【 0 0 0 7 】本発明は、上記の事情を考慮してなされたもので、ラジカルを放電プラズマの状態から高効率に得るプラズマラジカル生成装置を提供することを目的とする。本発明において、ラジカルは CVD のみでなく、固体表面のクリーニング又はエッチング、又は改質等にも同様に用いることができる。なお、本発明のプラズマ発生部は高周波ホロカソードプラズマ源に種別されるもの

である。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の課題を解決するために次のような手段を講じた。

【 0 0 0 9 】本発明は、単純ホロカソード形高周波プラズマ放電にジェット部を導入する工夫をすることにより極めて大きな効果を導き出したものである。すなわち、本発明の放電容器は、原料ガスからプラズマラジカルを生成するための筒状の放電容器であって、前記原料ガスの入り口付近に配置され、前記放電容器の外側に前記放電容器を取り囲むように配置されたカソード電極を有し、前記原料ガスに前記カソード電極から高周波の電力を供給することによってプラズマを生成するためのカソード部と、前記カソード部の後段に配置され、前記放電容器の外側に前記放電容器を取り囲むように配置されたアノード電極を有するアノード部と、前記カソード部と前記アノード部との間に配置されて前記カソード部と前記アノード部とを結合する部分であって、くびれた構造を有し、前記くびれた構造によって前記生成されたプラズマを高密度にすることによって高密度ラジカルを生成するジェット部とを備えたことを特徴とする。ここにおいて、高周波放電は容量的に結合された電極間で発生し、略 1 MHz から 1 0 0 MHz の高周波放電を対象としており、この高周波放電により励起されたガスのラジカルを効率よく生成している。

【 0 0 1 0 】この放電容器及びこの放電容器を備えたプラズマラジカル生成装置において、好ましい実施態様は以下の通りである。

【 0 0 1 1 】( 1 ) 放電容器はラジカルの再結合の小さい絶縁物でできていること。この放電容器は、上記のように、電力の供給される電極の付けられたカソード部と、アノード部とその両者を結合するジェット部とからなっている。ここで、ジェット部はカソードとアノードとの大きさと特定の関係を有しており、数 mm から数 cm の長さとし、このときカソードとアノードは数 cm ~ 数十 cm である。

【 0 0 1 2 】( 2 ) 前記カソード部に配置されたカソード電極と、前記アノード部に配置されたアノード電極を挟み込むようにして近接して配置され、放電を発生するための電力を供給する整合回路を更に具備すること。また、放電部にはシールド箱が設けられ、そのシールド箱はアノードと同電位となり全体を囲むように配置されていること。更に、ガスの入力部と出力部はシールド箱の筐体に穴が明けられて結合されていること。

【 0 0 1 3 】( 3 ) 前記原料ガスの入り口の部分の断面積が、前記ジェット部の断面積よりも小さいこと。このようにすることにより、入り口のガス流速が速くなり、プラズマがガスの入口側に流出することを防ぐことができる。また、単に、入り口の断面積を小さくするのではなく、細い管を束ねるなどのキャピラリー構造とし

ても良い。このキャピラリーの材質は絶縁物であることが好ましい。また、キャピラリーは管であってもビーズ状のものであってもよい。

【 0 0 1 4 】( 4 ) 放電容器は電氣的に絶縁物であって石英、アルミナ、パイレックスガラス、テフロン、窒化珪素、窒化アルミニウム等のようなものであること。

【 0 0 1 5 】( 5 ) 放電容器のジェット部は空冷又は水冷のできる構造であること。

【 0 0 1 6 】( 6 ) 放電容器は円筒形であること。

10 【 0 0 1 7 】( 7 ) 2 個以上の放電容器におけるアノード及びカソードが、共通のアノード、及びカソードとして給電できること。この時に、1 列に整列して多数の放電容器を同一の電源で給電できること。さらに、放電容器を平面的に配列して、それらのアノード部とカソード部に共通に給電できる構造の配置とすること。

20 【 0 0 1 8 】本発明の放電容器及びこの放電容器を備えたプラズマラジカル生成装置によれば、マイクロ波による励起より安価で簡単、また、誘導結合高周波励起よりも構成が簡単、安価であり、複数放電容器を配置或いは配列するなどの拡張性が高いという利点を有する。また、ヘリコンプラズマ、電子サイクロトロン共鳴プラズマ励起装置よりも、磁界を用いることなく、軽量、構造が単純であり安価でもある。更に、単純な従来のホロカソードプラズマ源と比較して、本発明では、ジェット部から高密度ラジカルが得られるという効果を有する。

30 【 0 0 1 9 】本発明によれば、すべてのガスはジェット部の狭い領域を通過するので、この狭い領域が高密度プラズマとなり、高効率で、励起状態の高いラジカルが得られ、かつ消費電力が小さい。ジェット部の無いものと比較すると、5 0 W の電力での本発明のプラズマラジカル生成装置は、2 0 0 W 以上の電力での他のプラズマラジカル生成装置と同等である。

40 【 0 0 2 0 】本発明によるアノード領域すなわち、プラズマ源の出口のプラズマ電位は低い値とすることができ、かつ出口の口径を大きくすることもできるので、均一なラジカル源の面積を大きくできる。本発明による絶縁物容器は、ラジカルの再結合係数が小さいものを使用することで、高い高密度のラジカルを遠方まで取り出し輸送することができる。

【 0 0 2 1 】さらに、高い準位に励起されたラジカルは寿命時間も長く取ることができ、CVD 等、特に、高密度薄膜、高品質薄膜、堆積速度の向上等に特別の効果も期待できる。

【 0 0 2 2 】また、ジェット部分の存在により、アノード部の圧力とカソード部の圧力に差を持たせることができるので、より高真空で処理を必要とする場合のラジカル源としては好都合な構造となっている。

50 【 0 0 2 3 】なお、同筒型の電極で一对の電極を考えると、その筒の長さは電界が筒の端部より内部に浸入でき

ない程度の長さを持つものであり、表皮効果により、電極とプラズマとの間に電界が集中してかかり、電力の消費は主としてここで消費される。電子は電極側とプラズマ側を往復運動することにより効率よくイオン化を行い密度の高いプラズマを生成する。しかし、本発明は、この一般的なホロカソード効果に関するものではなく、径の小さいジェット領域を付け加えることにより、この領域ではプラズマの密度が高くなり、かつすべてのガスはこの領域を通過することにより効率よくラジカルを生成できるようにしている。これにより上記のような効果が得られる。

【 0 0 2 4 】

【発明の実施の形態】図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

【 0 0 2 5 】図 1 は、本発明の一実施形態に係るプラズマラジカル生成装置の概略構成を示す図である。なお、本発明装置と従来の装置との違いを明確にするために、図 2 に従来のプラズマラジカル生成装置の概略構成を示す。図 1 及び図 2 から明らかなように、本発明に係るプラズマラジカル生成装置は、従来装置と比べ、ジェット部とアノード部が追加された構成となっている。以下詳細に説明する。

【 0 0 2 6 】図 1 において、放電容器 3 1 は、ガス入力部 9 と、カソード部 6 と、ジェット部 5 と、アノード部 7 からなり、この放電容器 3 1 で生成したラジカルは輸送管部 8 を介して図示しないプロセス部（詳細は後述する）に導かれる。なお、この放電容器 3 1 の壁材は表面再結合の小さい材料で作られていることが好ましい。ガス入り口部 9 は、放電容器 3 1 と同じ材料で構成されており、原料ガス 1 2 の逆流を防ぐために、カソード部 6 よりも小さい断面積を有している。なお、ガス入り口部 9 についても、詳細は後述する。また、カソード部 6 とアノード部 7 では、放電容器 3 1 の周囲にそれぞれカソード電極 1 0 とアノード電極 1 1 が設けられている。また、カソード電極 1 0 には高周波電圧が高周波電源 1 4 によって供給され、アノード電極 1 1 は接地電位 1 5 に接続されている。なお、実施形態においては、アノード電極 1 1 は接地されているが、特に接地されていなくても良く、固定された電位であって、カソード電極 1 0 とアノード電極 1 1 が効率よくカップリングするような電位に固定されていれば良い。このように、アノード部 7 を設けることにより、強いジェット放電を発生させることができる。なお、高周波電源 1 4 から供給された高周波電圧によってホロカソードプラズマを発生させるので、その周波数は、ほぼ 1 MHz から 1 0 0 MHz であることが好ましい。

【 0 0 2 7 】上記のように構成されたプラズマラジカル生成装置の動作を以下に詳細に説明する。

【 0 0 2 8 】ガス入力部 9 に導かれた原料ガス 1 2 はカソード部 6 を通り、ジェット部 5、アノード部 7 と輸送

管部 8 を通ってプロセス部に結合される。

【 0 0 2 9 】カソード部 6 でホロカソードプラズマが生成されるが、カソード部 6 における圧力はホロカソードの放電開始電圧によって決められる。高周波電源 1 4 によって給電されたカソード電極 1 0 とカソード壁 6 a との容量結合により高密度なホロカソードプラズマ 2 に電力が供給される。容量結合により生じた電子電流 3 2 はジェット部 5 を通りアノードプラズマ部 3 及びアノード壁 7 a に達する。本発明においては、このジェット部 5 を設けて、このジェット部 5 でのラジカル発生効率を従来よりも高くしている。この理由は、次の通りである。ジェット部 5 では、電子温度（すなわち、電子の速度）が大きく、（電子の加速電界が強い）衝突励起の場合の励起エネルギーが大きいので、高い励起状態に励起することができるものと考えられる。また、アノードプラズマ部 3 内のプラズマはリモートプラズマ部 4 を通過してプロセス部に導入され、所定の処理が行われる。

【 0 0 3 0 】上記のように構成された本発明のプラズマラジカル生成装置の等価回路を図 3 に示す。

【 0 0 3 1 】図 3 によれば、すべての電力は容量 3 5（すなわち、カソード壁 6 a）を介して給電され、ジェット部 5 を通って流れなければならない。そして、アノード電極 1 1 のインピーダンス 4 0 が小さいと、高い密度のジェットプラズマが発生される。アノードプラズマ部 3 からの電流は主として、アノード壁 7 a の容量を通してアノード電極 7 から接地される。アノード部 7 の容量が大きいときは、インピーダンス 4 0 は低くなり、アノード部 7 側のプラズマ電位は低くすることができる。もし、この電極容量 3 6 が小さければ、プラズマポテンシャルが大きくなり、図示しないプロセス容器に電流が流れ込み、直接、プラズマとしての働きをするようになる。輸送管部のプラズマ抵抗 3 8 に比較して、アノードプラズマ部 3 の容量インピーダンス 4 0 は、輸送管部 8 のインピーダンス 3 8 が高いときか、又はアノード容量 3 6 が大きいときに実現できる。十分な容量を持たせるために、例えばアノード電極 1 1 はカソード電極の長さと同じかそれ以上でなければならない。アノード壁 7 a の厚さは、カソード壁 6 a よりも等しいか、より薄いものでなければならない。しかし、壁の厚さの限界は機械的強度によって制限される。

【 0 0 3 2 】本発明において、全体のインピーダンスの主要な部分がジェット部のインピーダンス 3 7 によって代表されるとき、最も効率的な変換効率を得られる。このことは、カソードプラズマ部 2 のインピーダンス 3 9 とアノードプラズマ部 3 のインピーダンス 4 0 が充分小さいものでなければならないことを意味する。このとき、図 4 に示すカソード部 6 の長さ $l$ と直径 $d$ の比（ $l/d$ ）が充分小さくなり、すなわち、典型的な一例では 2 より小さい。アノード部 7 における圧力はいつもカソード部 6 よりも小さくなり、その部分での電子の平均自

由行程は長くなる。従って、アノード部 7 の長さと同径の比 ( $L_a / d_a$ ) は、カソード部 6 のそれより大きくなり、その最適値は略 2 ~ 4 である。

【 0 0 3 3 】ジェット部のプラズマインピーダンスを増加させる方法として、ジェット部 5 の長さと同径の比 ( $L_j / d_j$ ) を増加させる方法がある。しかし、ジェット部 5 は細かく長いとき、放電開始が困難となるので、所定以上の比とすることはできない。この理由は、径が小さくなると、電子は再結合に関わるために電子の加速が制限され、電流が流れにくくなるためである。また、径が小さくなりすぎると、カソード領域の圧力が上昇して、電子の平均自由行程が小さくなり、ホロカソード効果が期待できなくなる。その結果として、カソード部 6 の径を減少させる必要があるが、このときにはカソード電極 1 0 の径が小さくなって、プラズマ生成の全体としての効率が小さくなる。経験的にジェット部 5 の径は、カソードとアノードの圧力差において 3 程度とすることが望ましい。カソード部 6 の最適の径はホロカソード効果の得られる条件から決められるが、それはガスの種類と圧力によって異なってくる。水素、窒素、酸素のような分子状のガスの場合には、カソード部 6 が例えば約 1 Torr の場合には、カソード径は 2 ~ 4 cm であり、約 0.1 Torr の場合には、約 8 ~ 10 cm である。放電容器 3 1 の圧力が 0.1 Torr、1 Torr、10 Torr の場合における各部のサイズの例を図 5 に示す。ここで、放電容器 3 1 の壁圧は 2.5 mm としている。図 5 に示すように、ジェット部はカソードとアノードとの大きさで特定の関係を有しており、数 mm から数 cm の長さと同径を持ち、このときカソードとアノードは数 cm ~ 数十 cm であることが好ましい。

【 0 0 3 4 】次に、放電容器 3 1 に原料ガス 1 2 が導入される入り口部 9 について記載する。原料ガス 1 2 の入力部 9 において、図 6 ( a ) に示す接続管 2 9 の中に部分放電が発生することがある。入力ガスライン 4 7 は通常ステンレススチール管などの導体であり、通常接地されている。ここで、接続管 2 9 がカソードプラズマ 2 によって励起され、このガスライン 4 7 との間に放電が生ずる。ここで生ずる放電がガスライン 4 7 に拡大して、事故が発生する可能性もあるので、この放電を防ぐ方策が不可欠の問題である。

【 0 0 3 5 】このガス入力部 9 での放電を避ける方法は、入力部 9 の口径 (すなわち断面積) をジェット部の径より充分小さくすることである。一例としては 1 mm 以下にすることが効果的である。このように、入力部 9 の口径を小さくするとガス流量が制限され、プラズマの入力方向への逆流を防ぐので、放電がガスラインに達することはない。従って、図 6 ( b ) に示すように細管を束ねたキャピラリーを挿入してガスが通過する断面積を減少させることにより目的を達することができる。ここで、キャピラリー 4 9 は接続管 2 9 の中に絶縁物 3 0

内の保護管 5 0 の中に固定される。また、キャピラリー 4 9 は、ビーズ状のものを用いて作製しても良い。

【 0 0 3 6 】なお、放電容器 3 1 は、電氣的に絶縁物であって石英、アルミナ、パイレックスガラス、テフロン、窒化珪素、窒化アルミニウム等のようなものであることが好ましく、円筒形又はそれに近い形であれば良い。また、放電容器 3 1 のジェット部 5 は高温になる可能性が高いので、空冷又は水冷のできる構造であることが好ましい。

10 【 0 0 3 7 】以下、本発明に係るプラズマラジカル生成装置の上記の放電容器 3 1 を適用した例を示す。

【 0 0 3 8 】(適用例 1) 本発明のプラズマラジカル生成装置の放電容器 3 1 を適用したプロセス装置の構成を図 7 に示す。上記の実施形態では、特に放電容器 3 1 に重点をおいて説明したが、図 7 では、その周辺機器 (例えば、電源、シールド箱、プロセス部など) も併せて示されている。

20 【 0 0 3 9 】図 7 において、供給される高周波電力は、カソード電極 1 0 の最も近くに接地されるとき、電力効率は最も良くなる。整合回路 4 2 の容量 2 2、負荷容量 2 3、及びコイル 2 4 からなる整合回路 4 2 は放電容器 3 1 のジェット部 5、カソード部 6 及びアノード部 7 の周囲に配置されている。高周波電力は接栓 2 1 から加えられる。可変容量 2 2、2 3 のチューニングはそれぞれ回転軸 2 2 a、2 3 a によってなされる。コイルは図示のように 2 つの部分に分割され、空間的配置のバランスのよいようにされる。これは、極めてコンパクトな形にでき、しかも効率の良い配置である。

30 【 0 0 4 0 】プラズマラジカル輸送管 8 は、プラズマ源 4 3 とプロセス容器 1 7 とを結ぶものである。プロセス容器 1 7 は基板 1 9 の付いた基板支持台 1 8 の近くに置かれる。プロセスガス 4 4 を分散させる分配システム 4 5 を通してプロセスガス 4 4 が導入されることによって、ラジカルの科学的エネルギー、物理的エネルギーは、プロセスガスの分解のためのエネルギーとして消費されることとなる。反応生成物 2 0 は真空ポンプ 4 6 で引き取られる。このプラズマ装置からの水素ラジカルの測定結果を図 8 に示す。図 8 は通常ホロカソードプラズマ装置を使ったときのラジカルの濃度と本発明にかかる装置を使ったときのラジカルの濃度の比較を示す図である。この測定は  $\text{NO}_2$  ガスを滴定ガスとしてホロカソード出力端からガラス管中をラジカルを輸送し、その途中で数カ所で滴定ガスを注入して測定したものである。図 8 によれば、本発明にかかるラジカルは、減衰が少なく、寿命が長いことが示されている。このことは、より高い励起状態にすることができる結果であると解釈される。また、このラジカル源では、近くで使用するときパワー効率が 1.6 倍、遠方で使用するとき 4 倍のパワー効率が得られている。この結果は、ラジカル源としては、有用な結果である。

【0041】(適用例2)本発明に係る放電容器31を1つ用いてプロセスに使用した適用例を上記の適用例1に示したが、複数個の放電容器31をライン状に並べて使用することもできる。図9に、放電容器31(31a-31e)を複数個一列に整列させた場合を示す。図9において、図7と同じ部分には、同じ符号を付し、詳細な説明は省略する。図9においては、各放電容器31a-31eのアノード部とカソード部の電極を共有する形で連結し、アノード電極52とカソード電極51を共通としてカソード電極51のみに高周波を一つの電源14から給電している。このようにすることにより、図示しないインピーダンス整合回路も一つの整合回路によって調整することができる。また、すべての放電容器31は同一のプロセス容器17に結合され、プロセス容器17内の基板固定台18を移動させることにより大面積の薄膜堆積、又はプラズマプロセス装置を作ることができる。

【0042】図10は、図9のA-A矢視図であって、帯状のストライプ電極を用いてカソード及びアノードを連続して構成する方法を示したものである。例えば、帯状の銅等で放電容器を挟み込むようにして、構成することにより、簡単に電極を共有することができる。例えば、図10に示すように、上部電極帯56と下部電極帯55とで放電容器を挟み込むようにして、この上部及び下部電極帯55及び56を複数の放電容器に共通接続されるように構成している。ここで、すべてのカソード壁57a-57eの径、アノード壁58a-58cの径、及び容器の厚さは同じ寸法であることが好ましい。また、ジェット壁59a-59cの径も同じ寸法であることが好ましい。また、ジェット部59a-59cも同じ寸法でなければならない。

【0043】図10の複数個の放電容器31の電極を共有化して、カソード電極などに同時に給電する方法は2次元平面的に拡張することができる。その配置例を図11(a)と図11(b)に示す。これは帯状電極を切断することなく連結できるようにするための配置例である。

【0044】本発明は、上記の発明の実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を変更しない範囲で種々変形して実施できるのは勿論である。

#### 【0045】

【発明の効果】本発明によれば次のような効果が得られる。

【0046】上記のように、本発明の放電容器及びこの放電容器を備えたプラズマラジカル生成装置によれば、簡単な構成で、高効率及び高密度のラジカルを生成できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に係るプラズマラジカル生成装置の概略構成を示す図。

【図2】従来のプラズマラジカル生成装置の概略構成を示す図。

【図3】本発明のプラズマラジカル生成装置の等価回路を示す図。

【図4】本発明のプラズマラジカル生成装置のサイズに関する記号を示す図。

【図5】放電容器の圧力に従う各部のサイズの例を示す図。

【図6】ガス入力部の構成例を示す図。

10 【図7】本発明のプラズマラジカル生成装置の放電容器を適用したプロセス装置の構成を示す図。

【図8】通常ホローカソード型と本発明のプラズマラジカル生成装置とのラジカルの寿命の比較を示す図。

【図9】複数の放電容器を一列に並べた例を示す図。

【図10】図9のA-A矢視図であって、帯状のストライプ電極を用いてカソード及びアノードを連続して構成する方法を示した図。

【図11】カソード電極などに同時に給電する方法を2次元平面的に拡張した例を示す図。

20 【図12】リモートプラズマ法に関する概略構成を示す図。

#### 【符号の説明】

- 1...ジェットプラズマ部
- 2...カソードプラズマ部
- 3...アノードプラズマ部
- 4...リモートプラズマ部
- 5...ジェット部
- 6...カソード部
- 6a...カソード壁
- 7...アノード部
- 7a...アノード壁
- 8...輸送管部
- 9...ガス入力部
- 10...カソード電極
- 11...アノード電極
- 12...原料ガス
- 13...ラジカルと励起種の流れ
- 14...高周波電源
- 15...接地電位
- 40 15a...プロセス容器を通しての接地
- 16...放電容器を支持する筐体
- 17...プロセス容器
- 18...基板支持台
- 19...基板
- 20...反応物質
- 21...電源結合接栓
- 22...調整用容量
- 22a...容量調節用軸
- 23...負荷容量
- 50 23a...負荷容量調節用軸

- 2 4 ... コイル
- 2 5 ... 調節用容量の接地結合
- 2 6 ... 高周波電源供給結合
- 2 7 ... 負荷容量のカソード電極結合
- 2 8 ... アノード電極の筐体への接続
- 2 9 ... 接続管
- 3 0 ... 絶縁物
- 3 1 ( 3 1 a - 3 1 e ) ... 放電容器
- 3 2 ... 電子流
- 3 3 ... ジェット部の容器壁
- 3 4 ... 高周波に対するプラズマの電氣的等価回路
- 3 5 ... カソード電極とカソードプラズマの間の容量 ( キャパシタンス )
- 3 6 ... アノード電極とアノードプラズマ部の間の容量 ( キャパシタンス )
- 3 7 ... ジェット部のインピーダンス
- 3 8 ... 輸送部分のプラズマインピーダンス
- 3 9 ... カソードプラズマのインピーダンス
- 4 0 ... アノードプラズマのインピーダンス
- 4 1 ... 冷却用ファン
- 4 2 ... 整合回路
- 4 0 ... プラズマ源
- 4 4 ... プロセス用ガス
- 4 5 ... 分配システム
- 4 6 ... 真空ポンプ
- 4 7 ... ガスライン
- 4 8 ... 部分放電
- 4 9 ... 絶縁用キャピラリー細管
- 5 0 ... 絶縁物支持管
- 5 1 ... 共通カソード電極
- 5 2 ... 共通アノード電極
- 5 5 ... 下部アノード電極帯
- 5 6 ... 上部アノード電極帯
- 5 7 ( 5 7 a - 5 7 e ) ... 一列に連結したプラズマソースのカソード部の容器壁
- 5 8 ( 5 8 a - 5 8 e ) ... 一列に連結したプラズマソ

- スのアノード部の容器壁
- 5 9 ( 5 9 a - 5 9 e ) ... 一列に連結したプラズマソースのジェット部の容器壁
- 6 0 ( 6 0 a - 6 0 e ) ... 一列に連結したジェットプラズマ
- 6 1 ... 高周波電源の結合の最適値
- 6 2 ... 電磁氣的エネルギー
- 6 3 ... ガス入口口
- 6 4 ... ラジカル輸送管部
- 10 L r ... ラジカル輸送管部の長さ
- L a ... アノード部の長さ
- L c ... カソード部の長さ
- L j ... ジェット部の長さ
- A r ... ラジカル輸送部の断面積
- A a ... アノード部の断面積
- A c ... カソード部の断面積
- A j ... ジェット部の断面積
- A g ... ガス入力部の断面積
- d r ... ラジカル輸送部の直径
- 20 d a ... アノード部の直径
- d c ... カソード部あ直径
- d j ... ジェット部の直径
- d g ... ガス入力口の直径
- t a ... アノード部の容器壁の厚さ
- t C ... カソード部の容器壁の厚さ

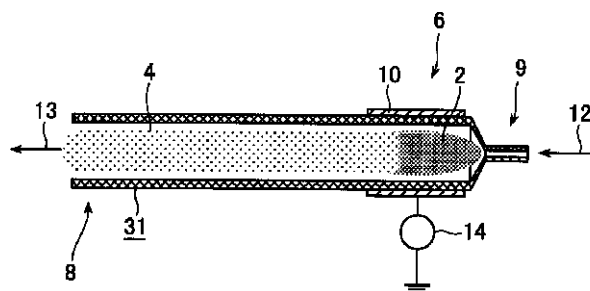
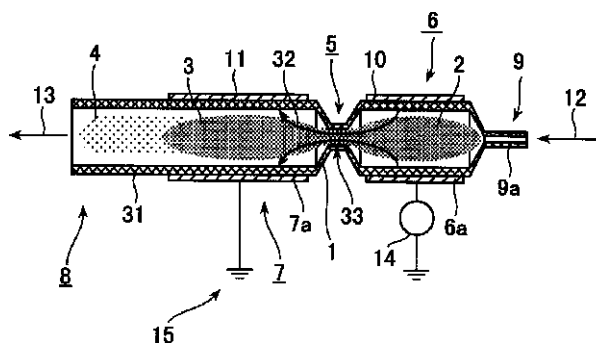
【要約】

【課題】 ラジカルを放電プラズマの状態から高効率に得るプラズマラジカル生成装置を提供すること。

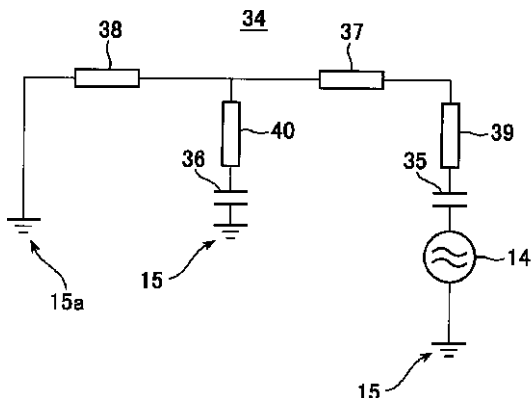
【解決手段】 高周波放電によってラジカルを生成する放電容器 3 1 を備えたプラズマラジカル生成装置において、前記放電容器 3 1 が、原料ガスの入り口付近に位置し前記原料ガスに高周波の電力が供給されるカソード部 6 と、前記カソード部の次段に位置し前記カソード部よりも小さい断面積を有するジェット部 5 と、前記ジェット部の次段に位置し前記ジェット部よりも大きい断面積を有するアノード部 7 とを備えた。

【図 1】

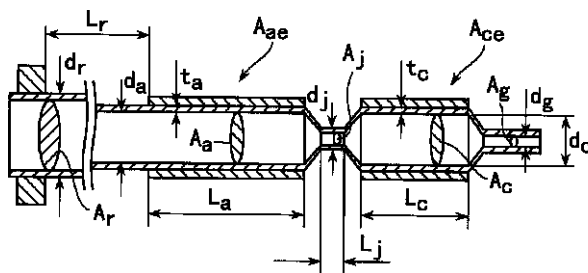
【図 2】



【 図 3 】



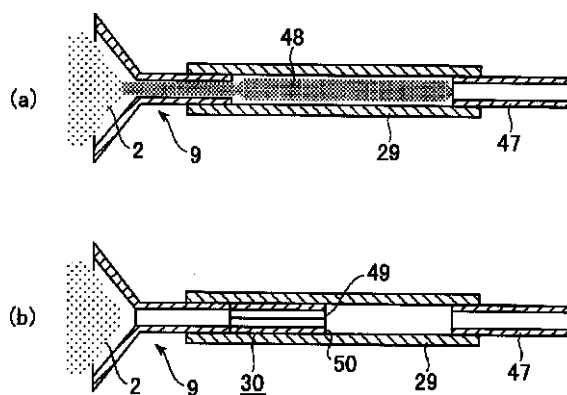
【 図 4 】



【 図 6 】

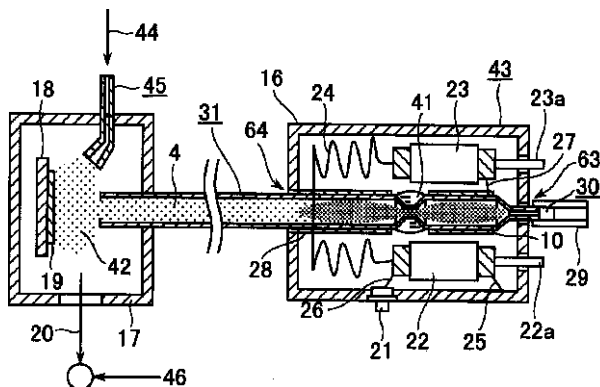
【 図 5 】

pressure [Torr]	d <sub>j</sub> [mm]	L <sub>j</sub> [mm]	d <sub>c</sub> [mm]	L <sub>c</sub> [mm]	d <sub>a</sub> [mm]	L <sub>a</sub> [mm]	d <sub>r</sub> [mm]	L <sub>r</sub> [cm]
0.1	25	38	95	250	100	440	100	95
1	8	12	30	80	33	140	33	30
10	2.5	4	10	25	10	44	10	9.5

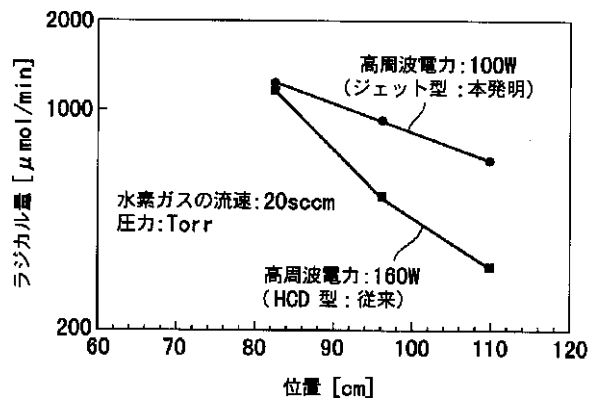
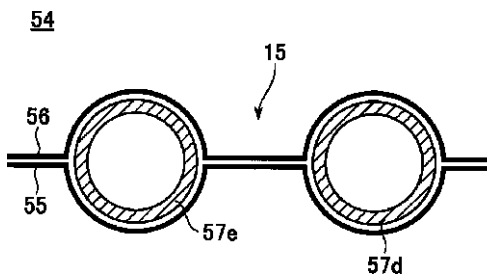


【 図 8 】

【 図 7 】

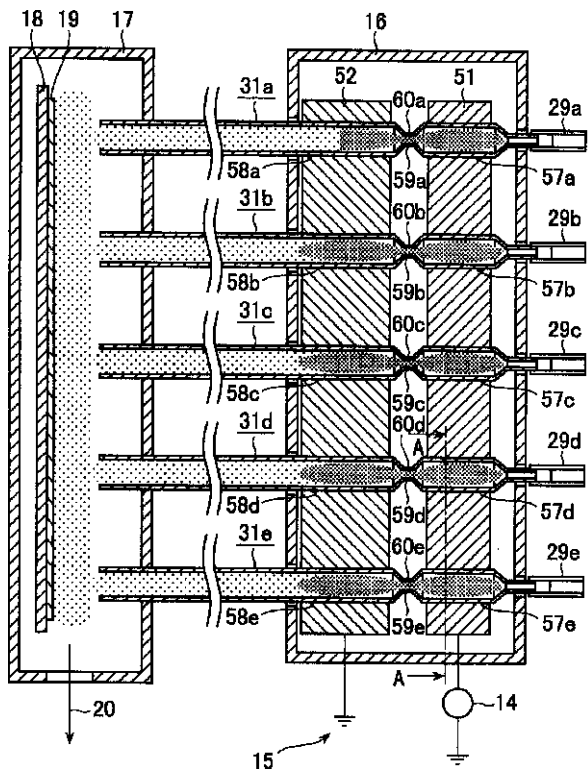


【 図 1 0 】

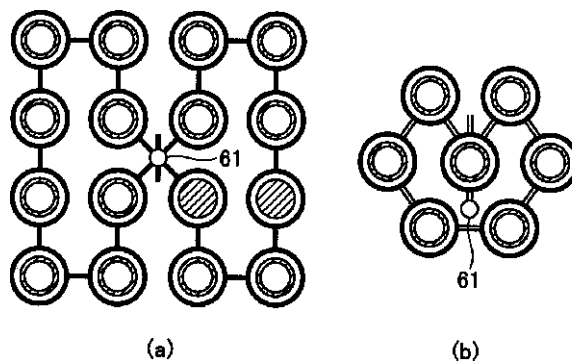




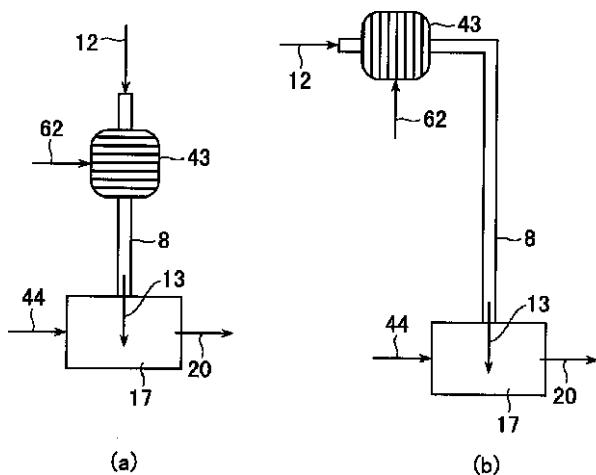
【図9】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

H05H 1/24

H05H 1/46