

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3836636号  
(P3836636)

(45) 発行日 平成18年10月25日(2006.10.25)

(24) 登録日 平成18年8月4日(2006.8.4)

(51) Int. Cl. F I  
 H05H 1/46 (2006.01) H05H 1/46 L  
 H01L 21/3065 (2006.01) H01L 21/302 I O I C

請求項の数 5 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願平11-212238	(73) 特許権者	503360115
(22) 出願日	平成11年7月27日(1999.7.27)		独立行政法人科学技術振興機構
(65) 公開番号	特開2001-35697(P2001-35697A)		埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(43) 公開日	平成13年2月9日(2001.2.9)	(74) 代理人	100087147
審査請求日	平成14年7月24日(2002.7.24)		弁理士 長谷川 文廣
前置審査		(74) 代理人	100111822
			弁理士 渡部 章彦
		(72) 発明者	三宅 正司
			大阪府吹田市青葉丘南8番 P-505
		(72) 発明者	庄司 多津男
			愛知県名古屋市瑞穂区松月町2-45
			ゾーン松月 202
		(72) 発明者	節原 裕一
			大阪府箕面市小野原東3-11-15-2
			45
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ発生装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

高周波電力を印加して誘導電界を発生させるアンテナを真空容器の内部に設置した高周波放電による誘導結合方式のプラズマ発生装置であって、

前記アンテナは、真空容器の内壁面に沿って設けられた複数個の線状の導体からなり、該複数個の線状の導体のそれぞれは、コの字形または円弧形様の形状をなし、その長さが真空容器の内壁面の周長の2分の1よりも短く、さらに各線状の導体の電源側の端子の全てが並列接続されており、かつ接地側の端子の全てが対地に終端されていることを特徴とするプラズマ発生装置。

【請求項2】

請求項1に示されたプラズマ発生装置において、前記アンテナの複数個の線状の導体のそれぞれは、導体の方向が該内壁面の周長の方向に揃えて配置されていることを特徴とするプラズマ発生装置。

【請求項3】

請求項1または請求項2に示されたプラズマ発生装置において、前記真空容器の外側に、プラズマ密度を一様にする磁界発生手段を設けたことを特徴とするプラズマ発生装置。

【請求項4】

請求項1ないし請求項3のいずれかに示されたプラズマ発生装置において、前記複数個の線状の導体の各接地側の端子の接続点と接地との間に、電気容量が固定または可変のコンデンサを挿入したことを特徴とするプラズマ発生装置。

**【請求項 5】**

請求項 1 ないし請求項 4 のいずれかに示されたプラズマ発生装置において、前記真空容器内に導入される雰囲気ガスとしてアルゴンガスを用いることを特徴とするプラズマ発生装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、アンテナに高周波電流を供給して高周波電界を発生させ、その電界によりプラズマを発生して、基板面にエッチングや薄膜形成等の表面処理を行うプラズマ処理装置に有用なプラズマ発生装置に関わり、特に液晶用ガラス基板等の大面積基板を処理するの

10

**【0002】****【従来の技術】**

半導体デバイスや液晶ディスプレイの製造工程で使用されるドライエッチング装置やアッシング装置、プラズマ CVD 装置等のプラズマを用いた処理装置の分野においては、近年の処理基板の大型化に伴い、処理装置のプラズマ源も大口径化が要求されている。また、一方では、エッチングレートや成膜速度、スループットを確保するため、高真空下でのプラズマの高密度化が要求されている。

**【0003】**

このうち、プラズマの高密度化に関しては、プラズマの励起効率を促進するために、高周波を用いて誘導結合プラズマ (Inductively Coupled Plasma、以下 ICP と略称) を発生させる方法が採用されている。ICP は主としてアンテナ励起用コイルに高周波電流を流し、これによって真空中に誘導電磁界を発生させ、プラズマを生成するものであり、高真空下において高密度プラズマを均一に生成することができる。

20

**【0004】**

従来の ICP を用いたプラズマ処理装置の 1 例を図 10 に示す。図 10 において、21 は基板のエッチング処理等を行なう真空容器 (プロセスチャンバー)、22 は真空容器の一部に設けられた石英等の絶縁体隔壁、23 は絶縁体隔壁 22 の大気側の壁面に沿ってループ状あるいはスパイラル状に設けられた 1 ターン以上の巻数を有する周回形状の高周波アンテナ、24 は高周波アンテナに高周波電力を供給する高周波電源、25 は排気口、26 は放電プラズマが生成される放電室、27 は基板電極である。

30

**【0005】**

しかし、図 10 の従来方式では、放電室 26 の径を 400 mm 以上に大口径化しようとするれば、大気圧下にある外気と高真空下にある放電室内との圧力差に抗するのに必要となる機械的強度を得るために、絶縁体隔壁 22 の肉厚を 10 ~ 30 mm もの厚みにしなくてはならず、このため高周波アンテナ 23 から放射される誘導電界強度は、アンテナから遠くなるに従って指数関数的に減少して放電効率が悪くなり、アンテナ 23 のインダクタンスが大きくなってアンテナに発生する高周波電圧が高くなってしまふこと等の問題があった。

**【0006】**

一方、このように放電室の側面を周回させるようにアンテナを設ける代わりに、真空容器の放電室上面を絶縁体の天板にして、その外側にアンテナを設置する方式もあった。しかしこの方式では、現状での放電室径が 300 mm のものの天板の絶縁体の厚みが 20 mm 程度であるのに対し、放電室径を 400 mm 以上に大口径化しようとした場合には、機械的強度を確保するために 30 ~ 50 mm もの厚みが必要となるという問題があった。

40

**【0007】****【発明が解決しようとする課題】**

真空容器の絶縁体隔壁あるいは天板の大気側の壁面に高周波アンテナを設置する従来の誘導結合型プラズマ発生装置では、放電室の径が大きくなるにつれ絶縁体の厚みを大幅に

50

増大させなければならず、またアンテナから放射される誘導電界の内、真空容器の絶縁体隔壁あるいは天板に接する面の側に放射される誘導電界成分のみしか放電維持に利用されないため、投入される高周波電力の利用効率が悪いという問題があった。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】

上記の問題点を解決するために、本発明によるプラズマ発生装置においては、アンテナ自体を真空容器内部の任意の場所に設置し、つまり内部アンテナにしてアンテナの全表面が真空内にあるようにし、アンテナから放射される誘導電界の全てを有効利用できるようにするとともに絶縁体の隔壁や天板を用いる必要をなくしている。また同時に本発明では、内部アンテナの場合、アンテナに大きな電圧が印加されると異常放電を生じやすくなることから、アンテナのインダクタンスを極力小さくし、少なくともアンテナが真空容器の内壁面の周長の2分の1の長さよりも短い構造としている。以下に、本発明の原理について詳述する。

10

【 0 0 0 9 】

アンテナを真空チャンバー内に導入した場合、アンテナ自体がプラズマに曝される為、アンテナに印加される電圧に依存してイオンや電子がアンテナに流入する。この時プラズマ中のイオンと電子の高周波電磁界に対する移動速度が大きく異なることから、時間平均では実効的にプラズマ中の電子がアンテナへ過剰に流入してプラズマ電位が上昇する。その結果、投入高周波電力の増加によるプラズマの高密度化に伴いアンテナ導体との静電結合によるプラズマ電位の上昇が顕著となり、真空容器内に異常放電を引き起こす。この様に内部アンテナ型のICPプラズマでは安定した高密度プラズマが得にくいという問題がある。また、静電結合の増加は、アンテナからシースを介してプラズマに印加される高周波電圧の振幅を大きくする。高周波電圧の振幅の増大は、プラズマの乱れ（プラズマ電位の高周波変動の増大）を誘発する。その結果、エッチングや薄膜形成時におけるプラズマの揺らぎが大きくなり（例えばイオン入射エネルギーの増大）、プラズマダメージの影響が懸念される。よって、内部アンテナ型のICPプラズマ生成においては、印加する高周波電圧の低動作電圧化が重要であり、そのためには、アンテナのインダクタンス低減および静電結合の抑制が必要である。

20

【 0 0 1 0 】

このため本発明では、請求項1に記載するように、高周波電力を印加して誘導電界を発生させるアンテナを真空容器の内部に設置した高周波放電による誘導結合方式のプラズマ発生装置であって、前記アンテナは、真空容器の内壁面に沿って設けられた複数個の線状の導体からなり、該複数個の線状の導体のそれぞれは、コの字形または円弧形様の形状をなし、その長さが真空容器の内壁面の周長の2分の1よりも短く、さらに各線状の導体の電源側の端子の全てが並列接続されており、かつ接地側の端子の全てが対地に終端されていることを特徴とする。これによりアンテナの持つインダクタンスは大幅に低減され、高周波電力を増大させた場合のアンテナに生じる高周波電圧の振幅が低減されて、異常放電の発生を抑制できるため、放電室の形状や口径および長さに制限されることなく、大口径の高密度プラズマを生成することが容易となる。また、アンテナ自体を真空容器内の任意の場所に設置することが可能となり、またアンテナ自体の作製とその取り付けや支持が容易となる。

30

40

【 0 0 1 1 】

さらに本発明では、請求項2に記載するように、請求項1に示されたプラズマ発生装置において、前記アンテナの複数個の線状の導体のそれぞれは、導体の方向が該内壁面の周長の方向に揃えて配置されていることを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

さらに本発明では、請求項3に記載するように、請求項1または請求項2に示されたプラズマ発生装置において、前記真空容器の外側に、プラズマ密度を一様にする磁界発生手段を設けたことを特徴とする。これにより、一層均質な高密度プラズマの安定な生成が可能にされる。

50

## 【 0 0 1 3 】

さらに本発明では、請求項 4 に記載するように、請求項 1 ないし請求項 3 のいずれかに示されたプラズマ発生装置において、前記複数個の線状の導体の各接地側の端子の接続点と接地との間に、電気容量が固定または可変のコンデンサを挿入したことを特徴とする。これにより、アンテナの高電位側と接地との間のインピーダンスが低下するので、アンテナに発生する対地高周波電圧を大幅に低減することができ、大電力投入による安定した高密度プラズマの生成を容易にする。

## 【 0 0 1 4 】

さらに本発明では、請求項 5 に記載するように、請求項 1 ないし請求項 4 のいずれかに示されたプラズマ発生装置において、前記真空容器内に導入される雰囲気ガスとしてアルゴンガスを用いることを特徴とする。

10

## 【 0 0 1 5 】

本発明によるプラズマ発生装置の基本構成を、図 1 により説明する。なお、図 1 には、便宜上、本発明の 1 実施例装置の構成が示されているが、本発明はこれに限定されるものではない。

## 【 0 0 1 6 】

図 1 において、1 は真空容器（プロセスチャンバー）、2 は天板、3 は排気口、4 は基板電極、5 は本発明によるアンテナ導体、6 はアンテナ導体 5 の全表面を被覆する絶縁体チューブ、7 はアンテナ導体 5 を接地から浮遊（フローティング）させる容量が固定あるいは可変のブロッキングコンデンサ、8、9 はアンテナ導体 5 を支持するとともにアンテナ導体 5 に高周波電力を供給する導入端子である。

20

## 【 0 0 1 7 】

アンテナ導体 5 は、図では断面のみが示されているが、真空容器 1 の内壁面に沿って配置された 1 つ以上のコの字形あるいは円弧形等の種々の形状の線状導体で構成される。それらの線状導体は、いずれも真空容器 1 の内壁面を半周（2 分の 1 周）しないで終端する長さにつくられる。具体的には、例えば図 3、図 9 に示されているようなアンテナのパターンが適用できる。

## 【 0 0 1 8 】

プラズマ励起用のアンテナ全体が真空容器 1 内に収容されているため、真空容器の一部を厚い絶縁体材料で形成する必要がなく、装置の大口径化が容易であり、アンテナの形状変更も任意かつ容易に行うことができる。

30

## 【 0 0 1 9 】

図示のように、真空容器 1 内でアンテナ導体 5 の全表面を絶縁体チューブ 6 で覆った場合、図 2 の等価回路に示すように、プラズマのシース領域に印加される電圧（ $V_{sheath}$ ）は、アンテナに発生する電圧（ $V_{antenna}$ ）と絶縁体における電位降下分（ $V_{insulator}$ ）を用いて次式のように表すことができる。

$$V_{sheath} = V_{antenna} - V_{insulator}$$

$$= V_{antenna} Z_{sheath} / (Z_{insulator} + Z_{sheath}) \quad (1)$$

ここで  $Z_{insulator}$  及び  $Z_{sheath}$  は絶縁体及びシース領域のインピーダンスを示す。これらインピーダンスは主に抵抗成分と静電容量成分で構成されている。高周波電力を増大させプラズマの密度が増加した際、プラズマ中の等価抵抗（抵抗成分）の減少とシースの厚みの低下による静電容量の増加（注：シースの静電容量はシースの厚さに逆比例する。）のために  $Z_{sheath}$  は減少する。（注：インピーダンスの静電容量成分は静電容量の逆数比例するため、シースの静電容量増加はインピーダンスの減少に寄与する。）これに対し  $Z_{insulator}$  はプラズマ状態に関わらず一定であることにより、プラズマ密度が高くなるほど  $V_{sheath}$  の値は小さくなる。この様にアンテナ表面を絶縁体で被覆することにより、アンテナへの電子流入が遮断され、アンテナとプラズマとの静電結合成分が抑制される。その結果、プラズマの高密度化に伴うプラズマ電位の急増が抑制され、異常放電を起こすことなく安定した高密度プラズマ生成が可能になる。また、シース電位が小さくなることにより、プラズマによる真空容器内壁やアンテナへのスパッタリングが抑制され、基材表

40

50

面や薄膜中への不純物混入を低減できる。

【0020】

絶縁体の材質ならびに厚さの選択にあたっては、シースの等価インピーダンスよりも十分（例えば一桁以上）大きいインピーダンスを有する（ $Z_{insulator} \gg Z_{sheath}$ ）ことが必要であり、さらにはプラズマに直接曝されても問題を生じない耐熱性、化学的安定性、機械的強度、電気絶縁性等を有することを要件とする。このため、例えば高純度アルミナ、石英、ジルコニア等の高抵抗、高絶縁性、低誘電率を同時に満たすことが可能なセラミックス誘電体群の材質で、厚みは2～4mm程度であればよい。

【0021】

図3は、半周しないで終端させたアンテナ形状の1例を示す。図示されている高周波アンテナ10は、断面が矩形の真空容器1内で、線状導体を壁面に沿ってコの字に半周させたアンテナを2つ対向させ、並列接続して構成した矩形の枠を持つアンテナの例である。真空容器1が円筒状をなしている場合には、コの字のパターンの代わりに半円のパターンを2つ向き合わせて並列接続した円形状の枠を持つアンテナを用いることができる。なお、必要に応じて矩形あるいは円形を3つ以上のパターンに分割したアンテナを並列接続して、全体が矩形あるいは円形状の枠を持つアンテナを用いることも可能である。

10

【0022】

このような半周しない高周波アンテナ10は、従来のループやコイルなどの周回する形状のアンテナに比べ、アンテナの持つインダクタンスを大幅に低減できる。その結果、高周波電力増大に伴う高周波電圧の増大を抑制することが出来る。

20

【0023】

高周波アンテナ10の接地側端子と接地との間には、ブロッキングコンデンサ7が挿入され、駆動側端子へは、整合器11を介して高周波電力が供給される。図4(a)、(b)は、接地電位に直接接続された接地型アンテナと、コンデンサを介して接地電位に接続された浮遊型アンテナの等価回路を示す。ここでLはアンテナのインダクタンス、 $r_c$ はアンテナの内部抵抗、 $C_0$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ はマッチングコンデンサ、 $C_b$ はブロッキングコンデンサ、 $\omega$ は高周波電流の角周波数である。

【0024】

図4(a)、(b)の何れの場合においても、高周波アンテナの高電位側電圧 $|V_H|$ と低電位側電圧 $|V_L|$ との間に発生する高周波電圧は、アンテナ電流 $I_{rf}$ 、アンテナのインダクタンスL、アンテナの内部抵抗 $r_c$ を用いて、次の数1に示す式(2)で与えられる。

30

【0025】

【数1】

$$|V_H - V_L| = |j\omega L + r_c| I_{rf} \simeq \omega L I_{rf} \quad (2)$$

【0026】

ここで、また一般に使用される金属製アンテナにおいては、内部抵抗 $r_c$ は無視できる程度に小さい。したがって図4(b)に示すように、アンテナの終端にブロッキングコンデンサ $C_b$ を接続した浮遊型アンテナの場合のアンテナ両端の電位 $|V_L|$ 、 $|V_H|$ はそれぞれ次式(3)(4)で表せる。

40

【0027】

$$|V_L| = (1 / C_b) I_{rf} \quad (3)$$

$$|V_H| = |1 / j C_b + j \omega L| I_{rf} \quad (4)$$

図4(a)、(b)において共振条件が成立する時、Lと $C_0$ は

$$1 / \omega^2 = [C_0 C_1 / (C_0 + C_1)] L = C_1 L \text{となる。}$$

【0028】

また、一般に整合器11における入力インピーダンスは50オーム程度の低インピーダンスであるため、 $C_0 \gg C_1$ を満たす。さらに、アンテナとの整合時には $1 / C_1 = 1$

50

$1/C_2 + 1/C_b$  を満足する。その結果、図4(b)の浮遊型アンテナにおけるアンテナ両端の電圧比は次式(5)のように表せる。

【0029】

$$|V_H / V_L| = C_b / C_2 \quad (5)$$

図4(a)に示すアンテナの終端を接地電位に直接接続している接地型アンテナの場合における高電位側の高周波電圧の振幅は、低電位側が接地電位( $V_L = 0V$ )に固定されるので  $L I_{rf}$  となる。

【0030】

これに対し図4(b)の浮遊型アンテナのアンテナ両端の電圧は、式(2)、(5)から  $L I_{rf}$  より小さくなる。そして終端容量が平衡条件を満たして  $C_b$  と  $C_2$  の比が1となる時、最小値  $V_H = V_L = L I_{rf} / 2$  が得られる。ここで、プラズマへの高周波電流の漏洩が無視できる単純な場合を想定すると、図5(a)、(b)に示すように、アンテナ導体に沿って分布する高周波電圧は、 $V_L$  から  $V_H$  まで直線状に変化する。この場合、図5(b)に示すアンテナ終端にコンデンサ( $C_b$ )を接続した浮遊型アンテナでは、アンテナ自体( $L$ )と整合器内のマッチングコンデンサ( $C_2$ )及び接地電位の間に挿入したブロッキングコンデンサ( $C_b$ )の各インピーダンスが

$$L = 2 / C_b = 2 / C_2$$

を満足するとき、アンテナ高電位側の電圧  $V_H$  の振幅は、図5(a)に示すアンテナを直接接地電位に接続した接地型アンテナの場合の振幅( $L I_{rf}$ )の半分となる。

【0031】

そして、先に示したように、半周しない線状導体のアンテナへ高周波電流を供給することと、アンテナの終端にコンデンサを挿入してインピーダンスの整合を取ることを組み合わせることにより、アンテナにかかる高周波電圧の振幅を大きく低減できる。例えば、本発明による周回しないアンテナの1実施例である図9に示すようなリング状導体のアンテナ(ダブル・ハーフループアンテナ)の場合には、後述される様に、同径で従来方式の周回する1ターンのアンテナの場合に比べてインダクタンスは  $1/2$  となる。このため、周回する1ターンのアンテナを用いてその接地側電極を直接に接地電位に接続する従来方式に比べて、高周波電圧の対地振幅はその約  $1/4$  となる。これは、アンテナに発生する対地電圧振幅として、従来方式と同程度の電圧が許される場合、従来方式に比べて16倍もの高出力の高周波電力を供給可能であることを示している。

【0032】

【発明の実施の形態】

図1に示した本発明装置の1実施例を説明する。本装置は直径400mm、高さ200mmの円筒型真空容器1の内部に、アンテナ導体5として、図9に示される直径360mmのリング電極からなる高周波アンテナ14を容器側壁に設けた2つの導入端子8、9に固定して設置している。そして容器側壁の一方の導入端子8には、図9に示されている高周波電源(周波数: 13.56MHz)12が整合器11を介して接続されている。そしてこのリング電極の表面全てを、肉厚2mmの高純度アルミナセラミックス(99.6at%)の絶縁体チューブ6で被覆している。絶縁体の材質ならびに厚さの選択にあたっては、式(1)からも分かるように、シースの等価インピーダンスよりも十分に大きい(例えば一桁以上)インピーダンスを有する( $Z_{insulator} \gg Z_{sheath}$ )ことが必要であり、さらにはプラズマに直接曝されても問題を生じない耐熱性、化学的安定性、機械的強度、電気絶縁性等を有することを要件とする。このため、例えば高純度アルミナ、石英、ジルコニア等の高抵抗、高絶縁性、低誘電率を同時に満たすことが可能なセラミック誘電体群の材質で、厚みは2~4mm程度であればよい。また他方の導入端子9にはコンデンサ(静電容量: 400pF)が接続されており、このコンデンサを介して接地されている。

【0033】

図9に示すように導入端子8、9は、リング状電極に対して直径線上で向かい合うように配置され、リング状電極の直径線上の2つの接続点から高周波電力を供給するような構造(ダブル・ハーフループアンテナ)になっている。この様な電力の供給方式により、同

10

20

30

40

50

径で従来方式の周回形状を有する1ターンのアンテナの場合に比べて、アンテナのインダクタンスは半減される。本実施例に用いたリング電極(フルループ)のインダクタンスを計測した結果、約1200nHであった。そして、ダブル・ハーフループ構造にてインダクタンスを同様に計測した結果600nHが得られ、インダクタンスは半減した。

#### 【0034】

また、容器側壁の導入フランジを用いてプラズマ計測用のラングミュアプローブを導入し、このプローブによりプラズマ状態を計測した。

#### 【0035】

まず、真空ポンプにて真空容器内を $1 \times 10^{-4}$ Paまで排気した後、図示していないガス導入口よりアルゴンガス(Ar)を1.1Paまで導入し、高周波電力を120W~2400Wまで投入し、真空容器内にプラズマを発生させた。この時ラングミュアプローブにより真空容器中心部(アンテナ設置面より-65mm)のプラズマ密度を計測した。

#### 【0036】

また、アンテナの接地側に挿入したコンデンサの効果を検討するため、コンデンサを挿入した場合(浮遊型アンテナ)とアンテナ終端を直接接地電位に接続した場合(接地型アンテナ)について実験を行い比較した。

#### 【0037】

図6に、浮遊型アンテナと接地型アンテナそれぞれのアンテナ状態における高周波投入電力( $P_{rf}$ )とプラズマ密度( $n_p$ )との関係を示す。同図に見られるように、浮遊型アンテナ及び接地型アンテナ何れにおいても $P_{rf}$ の増加に伴い $n_p$ は増大し、 $P_{rf} = 2.4$  kWで荷電粒子密度が $5 \times 10^{11}$ ( $\text{cm}^3$ )の高密度プラズマが得られ、アンテナ接地状態の違いによる $n_p$ の違いは無いことがわかる。また、本実施例で得られるプラズマ密度は、従来方式による放電室径が300mm以下のプラズマ発生装置で得られているものと同程度かそれより高い値となっており、本発明のプラズマ発生方式によれば、従来方式のプラズマ発生装置に比べて大口径化した場合でも実用化レベルの高密度プラズマが容易に得られることを示している。

#### 【0038】

さらに図7には、同時にオシロスコープで計測した接地型アンテナと浮遊型アンテナそれぞれにおける高周波電圧( $V_{antenna}$ )の変化を示す。接地型アンテナの場合、 $n_p$ が $1 \times 10^{11}$ ( $\text{cm}^3$ )以上になる $P_{rf}$ 500W以上の領域では、 $P_{rf}$ の増加に依存して $V_{antenna}$ も増大する。これに対し高周波電圧平衡条件を満たす浮遊型アンテナの場合、接地型アンテナの場合の半分かそれ以下の $V_{antenna}$ 値を示す。そして、 $P_{rf} = 2.5$  kWの時、接地型アンテナでは $V_{antenna} =$ 約1800Vに対し、浮遊型アンテナでは、 $V_{antenna} = 600$  Vと、約1/3の電圧に抑えられている。これらの結果から、アンテナの接地側に高周波電圧平衡条件を満たすコンデンサを挿入することは、プラズマ密度を低下させることなくアンテナにかかる電圧値の低減を可能にし、大電力投入による安定した高密度プラズマの生成を容易にする。

#### 【0039】

図1の実施例と同様の装置を用いて、アルゴンガス(Ar)を1.1Paまで導入し、高周波電力を120W~2400Wまで投入し、真空容器内にプラズマを発生させた。この時アンテナの終端は直接接地電位に接続した。またこの時アンテナ表面の絶縁体被覆の効果を検討するため、アンテナ表面に絶縁体を被覆した場合としない場合について同様の実験を行って比較した。

#### 【0040】

図8に、それぞれのアンテナ状態における高周波投入電力( $P_{rf}$ )に対するプラズマ密度( $n_p$ )の変化を示す。絶縁体被覆無しのアンテナ状態の場合、 $P_{rf} = 500$  Wまでは $P_{rf}$ の増加に依存してプラズマ密度( $n_p$ )は増加する。しかし $P_{rf} = 500$  W以上になると真空容器内の至る所(例えば、導入端子部)で異常放電が多発し、安定したプラズマを得ることができなかった。これはプラズマ密度の増加に伴いプラズマ電位が急激に上昇し、その結果、真空容器内の各所で異常放電が生じたと考えられる。

10

20

30

40

50

## 【0041】

一方、絶縁体で被覆したアンテナでは  $P_{rf}$  の増加に対し異常放電を起こすことなく  $n_p$  は増加し、 $P_{rf} = 2.4 \text{ kW}$  で  $5 \times 10^{11} (\text{cm}^{-3})$  の高密度プラズマが安定して得られている。これは、アンテナ表面を絶縁体にて被覆したことにより、プラズマからアンテナに流入する電子が遮断され、その結果プラズマ電位の上昇が抑制されたことに起因すると考えられる。この様に、アンテナ表面を絶縁体で被覆することにより安定した高密度プラズマが得られることが明らかになった。

## 【0042】

図9は、リング状の導体を用いたアンテナの実施例を示す。図中、13は円筒状の真空容器で、断面を示したもので、14は真空容器13の内壁に沿って配置されたリング状導体からなる高周波アンテナである。リング状導体の任意の直径線についてその2つの端点に駆動側の接続点と接地側の接続点が設定される。高周波アンテナ14は、これら2つの接続点で2つの対称な半円形線状導体の棒を並列接続した構造を持つ。駆動側の接続点には、整合器11を介して高周波電源12から高周波電流が供給され、接地側の接続点と接地との間には、ブロッキングコンデンサ7が挿入されている。

10

## 【0043】

また図1、図3、図9などの実施例において、真空容器の外壁に沿いマルチカスプ型の永久磁石を取り付けるなど、適当な磁界発生手段を付加することによって、プラズマ密度の一様性をさらに向上させることができる。

## 【0044】

## 【発明の効果】

真空容器中に配置したアンテナを用いた高周波誘導電界によるプラズマ生成においては、アンテナに発生する高周波電圧を低減した状態で高密度プラズマを生成することが重要である。ここで、アンテナに発生する高周波電圧は、

周波数 × インダクタンス × 高周波電流 に比例することから、

- 1) アンテナ構造として、低インダクタンスのものであること
  - 2) 各アンテナに発生する対地電圧振幅が何れのアンテナにおいても低減されること
- が条件となる。

20

## 【0045】

本発明のプラズマ発生装置は、これらの条件を考慮して、

- [1] アンテナを内部アンテナとしたこと（真空容器の内壁に沿って設けたこと）
- [2] アンテナを低インダクタンス化したこと
- [3] 各アンテナの高圧側の端子は、直列にではなく、並列に電源に接続したこと
- [4] 各アンテナの接地側の端子は、対地に終端（直接終端、容量性終端）されていること

のいずれもが、同時に満たされている最適構造としたところに特徴をもつものである。

30

## 【0046】

具体的には、本発明では、プラズマ生成用のアンテナ自体が真空容器の内壁面に沿って設置して、アンテナから放射される誘導電界の全てを有効利用できるようにするとともに絶縁体の隔壁や天板を用いる必要をなくしている。また同時に真空容器の外側に高周波アンテナを設けている従来装置のように放電室の形状や口径および長さがアンテナの大きさによって制限されるのをなくしている。

40

## 【0047】

さらに本発明では、アンテナを複数個の線状の導体で構成して、該複数個の線状の導体のそれぞれはコの字形または円弧形様の形状にし、また真空容器の内壁面の周長の2分の1よりも短い長さとして、アンテナのインダクタンスを極力小さくしたことによって、内部アンテナの場合に、アンテナに大きな電圧が印加されると異常放電を生じやすくなるのを抑制している。

## 【0048】

50

さらに本発明では、アンテナの複数個の線状の導体の電源側の端子の全てを並列接続し、接地側の端子を全て接地に直接あるいは電気容量を介して終端しているため、高密度でプラズマ電位の低いプラズマを生成でき、ダメージの少ないプラズマ処理を実現可能にする。

【0049】

このように、本発明では、アンテナの大型化に伴うインダクタンスの増加を大幅に抑制することができ、異常放電を発生させることなく大電力の高周波電力を供給できるため、大口径かつ大容積の高密度プラズマを安定して生成することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の基本構成説明図である。

10

【図2】 アンテナ導体を絶縁体で被覆した場合の等価回路図である。

【図3】 周回しないアンテナ形状の1例の構成図である。

【図4】 接地型アンテナと浮遊型アンテナの等価回路図である。

【図5】 接地型アンテナと浮遊型アンテナの電圧分布説明図である。

【図6】 接地型アンテナと浮遊型アンテナにおける高周波投入電力とプラズマ密度の関係を示すグラフである。

【図7】 接地型アンテナと浮遊型アンテナにおける高周波電圧の変化を示すグラフである。

【図8】 アンテナ表面の絶縁体被覆の効果を示すグラフである。

【図9】 リング状の導体を用いたアンテナの実施例構成図である。

20

【図10】 従来のICPを用いたプラズマ処理装置の1例を示す構成図である。

【符号の説明】

1：真空容器

2：天板

3：排気口

4：基板電極

5：アンテナ導体

6：絶縁体チューブ

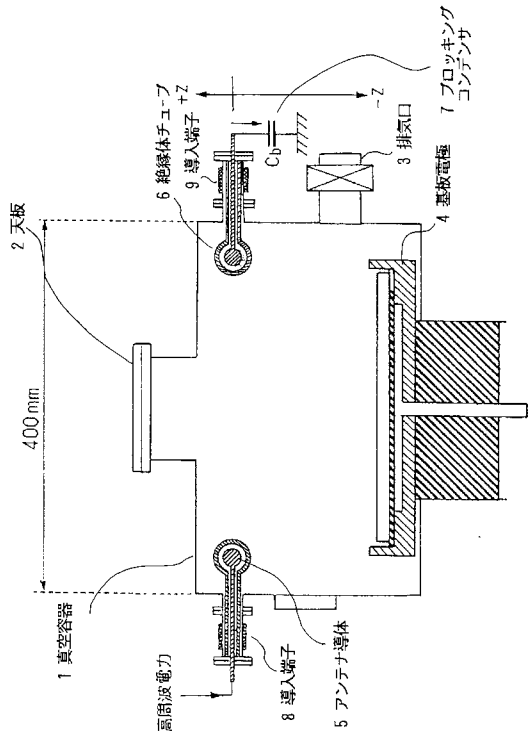
7：ブロッキングコンデンサ

8、9：導入端子

30

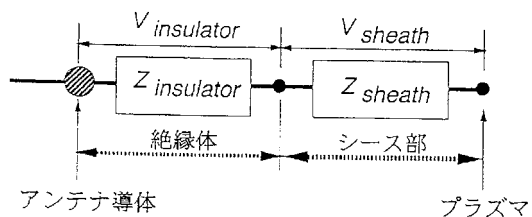
【 図 1 】

本発明によるプラズマ発生装置の基本構成



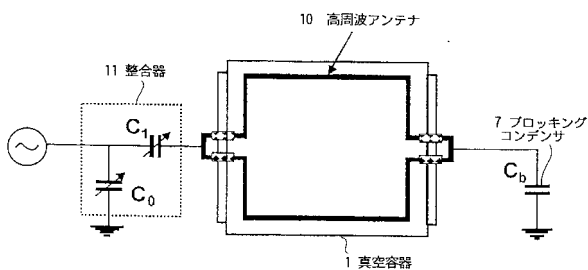
【 図 2 】

アンテナ導体を絶縁体で被覆した場合の等価回路



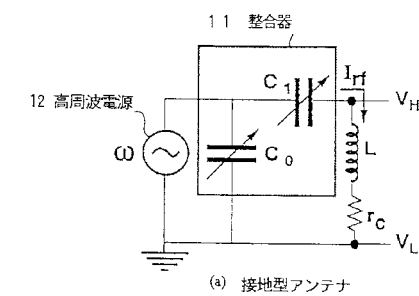
【 図 3 】

周回しないアンテナ形状の1例



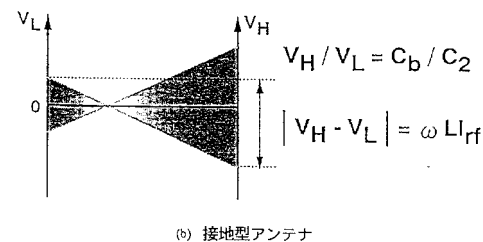
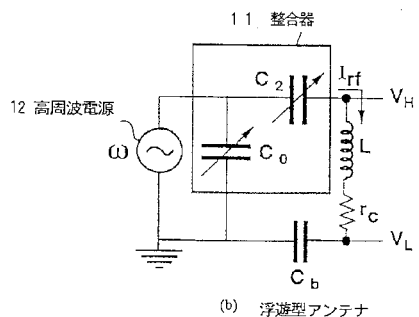
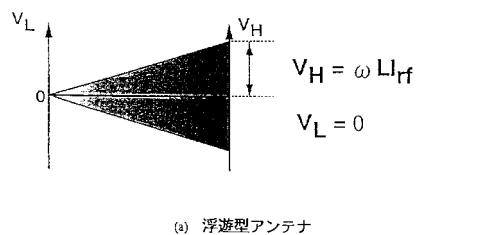
【 図 4 】

接地型アンテナと浮遊型アンテナの等価回路



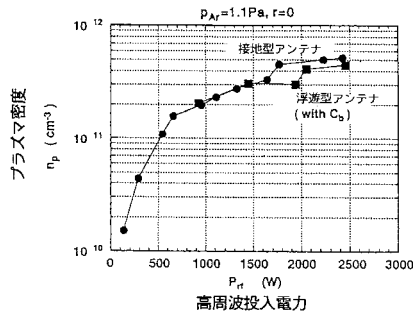
【 図 5 】

接地型アンテナと浮遊型アンテナの電圧分布



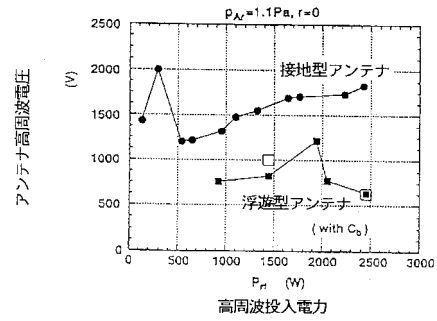
【 図 6 】

接地型アンテナと浮遊型アンテナにおける  
高周波投入電力とプラズマ密度の関係



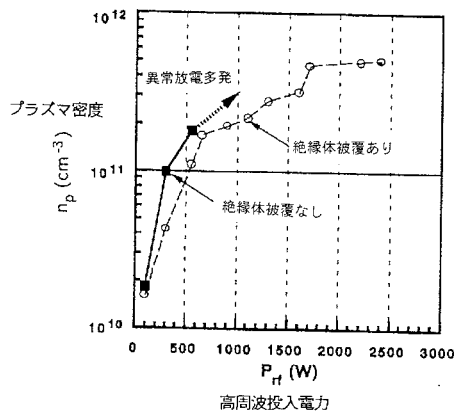
【 図 7 】

接地型アンテナと浮遊型アンテナにおける  
高周波電圧の変化



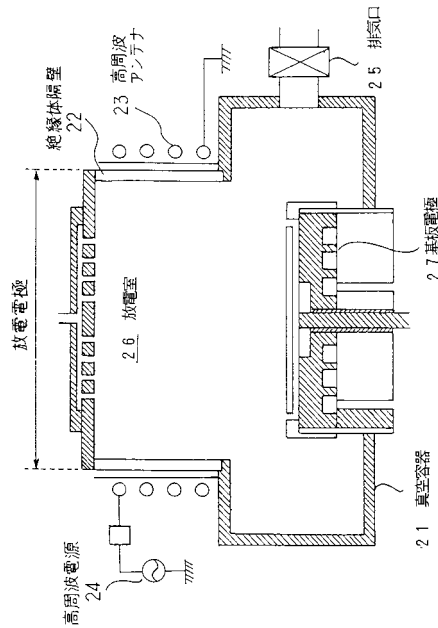
【 図 8 】

アンテナ表面の絶縁体被覆の効果



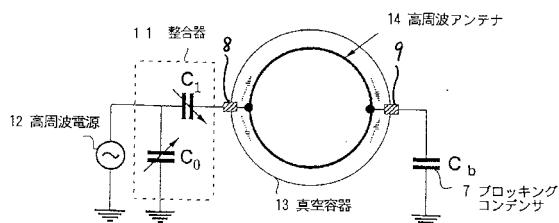
【 図 10 】

従来のICPを用いたプラズマ処理装置の1例



【 図 9 】

リング状の導体を用いたアンテナの実施例



---

フロントページの続き

審査官 村田 尚英

- (56)参考文献 特開平07 - 254500 (JP, A)  
特開平11 - 135438 (JP, A)  
特開平07 - 086191 (JP, A)  
特開平09 - 111460 (JP, A)  
特開平11 - 233289 (JP, A)  
特開平7 - 45598 (JP, A)  
特開平7 - 263188 (JP, A)  
特開平10 - 189293 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 1/46  
H01L 21/3065  
H01L 21/205  
C23C 16/50