

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 2 月 17 日 (17.02.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/015963 A1

(51) 国際特許分類: **H05H 1/24**, 1/46, H01L
21/205, 21/3065, 21/304, C23C 16/505

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/011151

(22) 国際出願日: 2004 年 8 月 4 日 (04.08.2004)

(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2003-290623 2003 年 8 月 8 日 (08.08.2003) JP
特願2004-080168 2004 年 3 月 19 日 (19.03.2004) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 積水化学工業株式会社 (SEKISUI CHEMICAL CO., LTD.)
[JP/JP]; 〒5308565 大阪府大阪市北区西天満 2 丁目 4 番 4 号 Osaka (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 高妻 誠

(KOUZUMA, Makoto) [JP/JP]; 〒8892403 宮崎県南那珂郡北郷町北河内 4 2 2 6-3 Miyazaki (JP). 小宮 広実 (KOMIYA, Hiromi) [JP/JP]; 〒3004247 茨城県つくば市和台 3 2 番地 積水化学工業株式会社内 Ibaraki (JP).

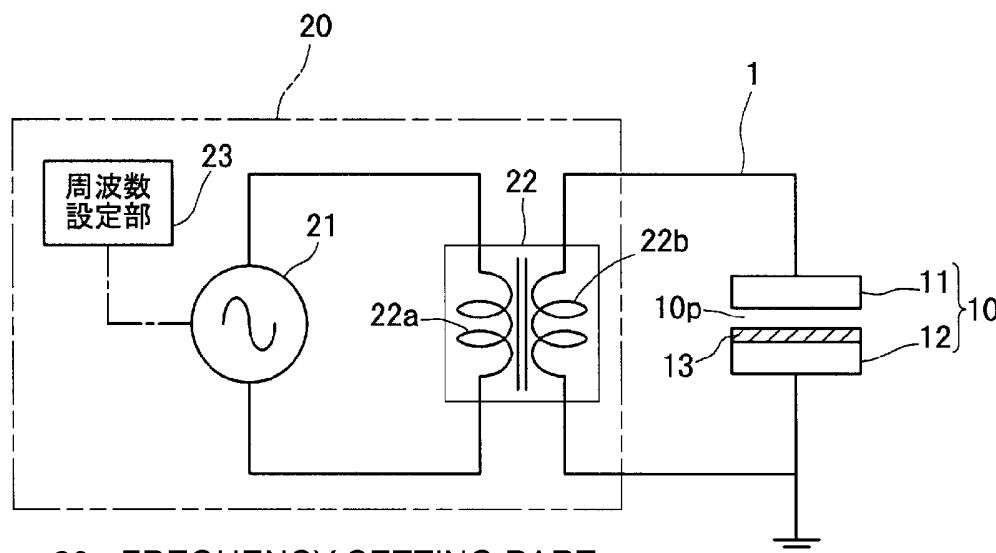
(74) 代理人: 渡辺 昇, 外 (WATANABE, Noboru et al.); 〒1020074 東京都千代田区九段南 3 丁目 7 番 7 号、九段南グリーンビル 3 階 Tokyo (JP).

(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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

/ 続葉有 /

(54) Title: PLASMA PROCESSING METHOD AND APPARATUS

(54) 発明の名称: プラズマ処理方法及び装置



23...FREQUENCY SETTING PART

(57) Abstract: [PROBLEMS] In a plasma processing, the range of a supply frequency to between electrodes is set such that a stable discharge and a high output efficiency can be achieved. [MEANS FOR SOLVING PROBLEMS] In a plasma processing apparatus, there are provided a secondary coil (22b) of a transformer (22) that boosts a power supply voltage; and an electrode circuit (1) comprising a pair of electrodes (11,12) opposed to each other. There is also provided a solid dielectric (13) on the opposing surface of at least one of the electrodes (11,12). The electrode circuit (1) constitutes an LC series resonant circuit comprising a leakage inductance of the secondary coil and a capacitance of the electrodes. The supply frequency to the electrode circuit (1) is set between the resonant frequency during non-discharging and the resonant frequency during a period when the spacing (10p) between the electrodes can be regarded as a conductor.

/ 続葉有 /

WO 2005/015963 A1



(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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約: 【課題】 プラズマ処理において、電極間への給電周波数の範囲を、安定した放電と高い出力効率を得られるように設定する。【解決手段】 プラズマ処理装置には、電源電圧を昇圧するトランス22の二次コイル22bと、互いに対向する一対の電極11, 12からなる電極回路1が設けられている。電極11, 12の少なくとも一方の対向面には固体誘電体13が設けられている。電極回路1は、二次コイルの漏れインダクタンスと電極のキャパシタンスによってLC直列共振回路を構成している。電極回路1への給電周波数を、非放電時における共振周波数と、電極間空間10pを導体と見做せる時における共振周波数との間に設定する。

明 細 書

プラズマ処理方法及び装置

技術分野

- [0001] この発明は、例えば大気圧近傍の圧力(略常圧)環境でグロー放電等によってプラズマを形成し、半導体基板などの被処理物を表面処理する方法及び装置に関する。

背景技術

- [0002] 大気圧近傍の圧力の処理雰囲気においてプラズマ処理する方法は、種々提案されている。この種の方法では、一對の電極間に電界を印加し大気圧グロー放電を起こさせ、処理ガスをプラズマ化する。このプラズマ化した処理ガスを半導体基板などの被処理物に当て、成膜やエッチング等の表面処理を行なう。

例えば、特許文献;特開平10-36537号公報に記載のものは、一對の電極を対向配置し、少なくとも一方の電極の対向面に固体誘電体を設置してある。そして、大気圧近傍の圧力下で、電極間にパルス電界を印加し、グロー放電プラズマを形成する。安定したプラズマ処理のための好ましいパルスの周波数は、0.5kHz〜100kHzの範囲としている。

特許文献;特開2001-284099号公報では、雰囲気ガス種に依らずにグロー放電できる条件として、電極に被膜された誘電体の静電容量と給電周波数との比を $1400 \text{ pF} / (\text{m}^2 \cdot \text{kHz})$ 以下にしている。

特許文献;特開平10-154598号公報では、電極間の電界強度を0.1〜10kV/mm、周波数を0.5〜100kHz等と定めているが、これら数値は印加電界をパルス波にした場合に限られ、正弦波等の連続波には適用されない。

- [0003] 電極間への電界印加用の電源は、一般に、一次電圧をトランスで昇圧し、昇圧後の二次電圧を電極に供給するようになっている。例えば、電極間距離を1mmとしたときのピーク間電圧 V_{pp} が5kV程度の場合、希ガス雰囲気ではグロー放電せず、出力の大きさ自体も十分でない。電極間距離を1mmとしたときのピーク間電圧 V_{pp} を10〜20kVにすると、空気や窒素等の希ガス以外の雰囲気でもグロー放電を起こすことができる。周波数は、出力の安定が確保される数値(例えば10kHz)に固定してい

る。しかし、電力の供給効率が低く、十分な出力を得られていない。なお、ピーク間電圧 V_{pp} が20kVを超えるとアーク放電になってしまう。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0004] 上掲の従来方法では、略常圧環境でグロー放電を起こすための周波数等の具体的な数値条件が種々提案されているが、それら数値は、電界の波形や処理ガスの種類等が所定の場合に限り意味をなすものであり、汎用的でない。また、電源装置の出力効率が考慮されておらず、ロスが大きくなる場合がある。電源からの電力供給効率と、出力の安定性、さらには被処理物に対する高い処理能力を確保でき、しかも汎用的に適用できる条件は未だ確立されていない。

課題を解決するための手段

- [0005] 発明者は、上記事情に鑑み、鋭意研究、考察を行なった。すなわち、一對の対向電極からなる電極構造は、電極間空間のインピーダンスと、少なくとも一方の電極の対向面に設けられた固体誘電体のキャパシタンスとの直列接続と考えることができる。また、一般に、電極構造と電源との間にはトランスが介在され、このトランスの二次コイルにホット側の電極が接続されている。トランスには漏れインダクタンスがあるので、これと電極構造によって、LC直列共振回路が構成されていると見ることができる。周知の通り、LC直列共振回路においては、共振周波数で電源を駆動したとき、出力を最大にできる。一方、前記電極構造において、固体誘電体のキャパシタンスは容易に求めることができるが、電極間空間のインピーダンスはプラズマの状態等によって変動し、これを直接的に解析するのは容易でない。
- [0006] ところで、放電していない状態であれば電極間空間のインピーダンスも一定している。このときの共振周波数は、処理ガスの誘電率等の物性が分かれば計算で求めることができ、勿論、実測でも容易に求めることができる。

放電し出すと電極間空間のインピーダンスが低下すると考えられ、共振周波数が非放電時よりも小さくなる。

更に、グロー放電を乗り越えてアーク放電の状態になると、電極間空間を導体と見做すことができるため、電極構造全体のインピーダンスが、固体誘電体のキャパシタ

ンス分だけになると考えられる。このときの共振周波数は、計算で求めることができる。また、電極間空間を導体に置換した等価回路を用いることによって、測定も可能である。

[0007] このような研究考察の結果、以下の知見を得た。すなわち、電極への通電周波数を、非放電時の共振周波数と、電極間空間を導体と見做したときの共振周波数との間の範囲内にすると、安定的なグロー放電を得ることができる。そして、この範囲内に、高出力が可能な周波数が必ず存在し得る。

[0008] 本発明の第1特徴は、かかる知見の下になしたものであり、

互いに対向する一対の電極11, 12とインダクタ22bを含む電極回路1を備え、少なくとも一方の電極の対向面には固体誘電体13が設けられたプラズマ処理装置を用い、前記電極どうし間の空間10pに処理ガスを導入するとともに前記電極回路1に給電してプラズマ処理を行なう方法であって、

当該処理時における電極回路1への給電周波数 f_s を、非放電時における共振周波数 f_{r1} （以下、適宜「第1共振周波数」という。）と、前記電極間空間を導体と見做せる時における共振周波数 f_{r2} （以下、適宜「第2共振周波数」という。）との間に設定することにある。

また、

電源21からの給電により処理ガスをプラズマ化しプラズマ処理を行なう装置であって、

互いに対向して間に処理ガスの導入される空間10pを形成するとともに少なくとも一方の対向面には固体誘電体13が設けられた一対の電極11, 12と、インダクタ22bを含み、前記電源21から給電される電極回路1と、

前記電源21から前記電極回路1への給電周波数 f_s を、前記電極間空間10pの非放電時における共振周波数 f_{r1} と、前記電極間空間10pを導体と見做せる時における共振周波数 f_{r2} との間に設定する周波数設定部23と、

を備えたことにある。

これによって、安定した放電状態を得ることができ、しかも高出力効率となるピーク周波数の存在する周波数範囲を、汎用的に設定することができる。

[0009] ここで、前記電極間空間10pで放電を起こしながら、電極回路1への給電周波数 f_s を前記第1共振周波数 f_{r1} と第2共振周波数 f_{r2} との間で調節し、電流がピークとなる周波数 f_{PEAK} を求め、このピーク周波数 f_{PEAK} またはその近傍に給電周波数 f_s を設定して処理を実行することが望ましい。これによって、高出力効率を確実に得ることができる。

[0010] 前記一对の電極11, 12を、処理ガスで満たされた非放電時の電極間空間10pのキャパシタンス成分 C_p と固体誘電体13のキャパシタンス成分 C_d の直列接続として、前記第1共振周波数 f_{r1} を算出してもよい。また、前記一对の電極11, 12を、固体誘電体13のキャパシタンス成分 C_d のみとして、前記第2共振周波数 f_{r2} を算出してもよい。

[0011] 前記算出に代えて、前記電極回路1への給電によって、放電の起きるしきい値未満の振幅の電界を電極間に印加するとともにこの給電周波数を調節し、電流がピークとなる周波数を、前記第1共振周波数 f_{r1} としてもよい。また、前記一对の電極11, 12どうしを固体誘電体13を挟んで当接させて電極間空間10pを無くした状態(図3の右側の回路図)で給電周波数を調節し、電流がピークとなる周波数を、前記第2共振周波数 f_{r2} としてもよい。

[0012] 前記プラズマ処理装置が、電源21からの電圧をトランス22で昇圧して前記電極回路1に給電するようになっており、前記トランス22の漏れインダクタンス L により前記インダクタを構成するのが望ましい。

前記漏れインダクタンス L からなるインダクタおよび前記一对の電極11, 12からなるキャパシタに、実物のインダクタ L_x , L_y またはコンデンサ C_x , C_y を加えることにより、前記電極回路1を構成してもよい。これにより、第1、第2共振周波数 f_{r1} , f_{r2} を調節でき、ひいては、処理時における給電周波数 f_s の設定範囲を調節することができる。

[0013] また、発明者らは鋭意研究の結果、放電時の固有振動周波数に対する給電周波数のずれ量と、電力効率および出力の安定性との間に一定の関係があることが判明した。

すなわち、図12の実線に示すように、放電時における(推定の)固有振動周波数 f_0 に対する給電周波数 f_s のずれがプラス・マイナス両方向に極めて大きい領域R3では

、電力供給効率が、非常に低く、しかも給電周波数 f_s の値に対して殆ど変化せずフラットになる。ここで、電力供給効率の指標として、入力電圧 V とホット電極11のピーク・トゥ・ピーク電圧 V_{pp} の比 V_{pp}/V を用いている。フラット領域R3よりも固有振動周波数 f_0 に近い側の一定領域R2では、固有振動周波数 f_0 に近づくにしたがって V_{pp}/V が大きくなるようにスロープを描く。領域R2, R3では、給電周波数 f_s に対して V_{pp}/V がほぼ一義的に定まる。すなわち、 V_{pp}/V が時間的に変動することはなく、安定している。

[0014] スロープ領域R2よりも固有振動周波数 f_0 に近い側の一定範囲の領域R1になると、 V_{pp}/V が時間の経過とともに上昇していく。ただし、その上昇度は比較的緩慢であり、制御可能である。更に固有振動周波数 f_0 に近づき、固有振動周波数 f_0 を含む一定範囲の領域R0になると、 V_{pp}/V が瞬間的に跳ね上がり、制御不能になる。図12の破線は、緩慢変動領域R1と瞬間変動領域R0における放電開始直後の V_{pp}/V を示したものである。この V_{pp}/V は、固有振動周波数 f_0 においてピークになっている。

[0015] 固有振動周波数 f_0 は、放電の状態によって変動し、特定が困難であるが、基本的には電極11, 12どうし間の印加電圧に依存するものと考えられることから、同じ印加電圧での実験等により推定することが可能である。

[0016] 本発明の第2特徴は、上記知見に基づいてなされたものであり、

一対の電極11, 12とインダクタ22bを含むLC回路を構成する電極回路1に給電することにより、前記電極どうし間の略常圧の空間10pに電界を印加して放電を起こしプラズマ処理を行なう方法であって、

前記電極どうし間の略常圧空間10pでの放電時における前記電極回路1すなわちLC回路の固有振動周波数 f_0 を予め推定する工程と、

前記LC回路1への給電周波数 f_s を、前記推定固有振動周波数 f_0 からずらして設定する設定工程と、

設定した周波数 f_s で給電することによりプラズマ処理を行なう本処理工程と、
を実行することにある。

これによって、電力効率を上げつつ安定性を確保可能な給電周波数 f_s の範囲の汎

用的な設定方法を提供できる。

- [0017] この第2特徴において、雰囲気ガスは、ヘリウムやアルゴン等の希ガスでもよく、空気や窒素等の希ガス以外のガスでもよい。LC回路1への給電波形は、正弦波や方形波等の連続波でもよく、パルス波等の間欠波でもよい。

ここで、略常圧(大気圧近傍の圧力)とは、 $1.013 \times 10^4 \sim 50.663 \times 10^4 \text{Pa}$ の範囲を言い、圧力調整の容易化や装置構成の簡便化を考慮すると、好ましくは、 $1.333 \times 10^4 \sim 10.664 \times 10^4 \text{Pa}$ であり、より好ましくは、 $9.331 \times 10^4 \sim 10.397 \times 10^4 \text{Pa}$ である。

- [0018] 前記固有振動周波数 f_0 の推定工程では、前記LC回路1に一時的に給電を行なった後、該給電の切断により前記LC回路1に減衰振動を生じさせ、しかもこの減衰振動の初期における電極11, 12間への印加電圧が本処理工程における設定印加電圧と略等しくなるようにし、この減衰振動の初期の周波数を測定し、この測定値を前記推定固有振動周波数 f_0 としてもよい(図11参照)。これにより、放電時の固有振動周波数を確実に推定できる。前記一時的給電は、間欠波であってもよく、連続波であってもよい。間欠波給電の場合、間欠波の各波要素のオフによって、前記給電切断がなされることになる。したがって、間欠波の1つの波要素と次の波要素の間の休止期間中に前記LC回路に生じる減衰振動の初期周波数を測定するとよい。休止期間は、減衰が十分に収束する長さであるのが好ましい。連続波給電の場合、この連続波をオフし、その後の減衰振動の初期周波数を測定するとよい。前記間欠波の各波要素または連続波の波形は、種々選択でき、例えば方形波でもよく、正弦波でもよく、三角波でもよい。間欠波は、パルス波であってもよい。

また、前記推定工程において、前記電極間への印加電圧が本処理工程における設定印加電圧と略等しくなるようにしながら給電周波数を掃引し、入出力比が極大になる点における周波数を求め、これを前記推定固有振動周波数 f_0 とすることにしてもよい。

- [0019] 前記設定工程において、給電周波数 f_s は、少なくとも、前記推定固有振動周波数 f_0 の周辺における入出力比が瞬間的に変動する領域 R_0 からずらして設定するのが望ましい。これによって、出力が暴走するのを防止できる。出力の安定性の面からは、

前記推定固有振動周波数 f_0 の周辺における入出力比が時間的に変動する領域すなわち前記瞬間変動領域R0だけでなく緩慢な変動領域R1からもずらして設定するのが望ましい。すなわち、入出力比が時間的に安定な領域R2, R3に設定するのが望ましい。ただし、短時間の処理の場合には、前記緩慢変動領域R1に設定することができる。

[0020] より望ましくは、前記本処理工程において、給電周波数 f_s を、入出力比が時間的に安定でかつ給電周波数 f_s に応じて増減するスロープ領域R2に設定する。更に望ましくは、給電周波数 f_s を、入出力比が時間的に安定な領域R2, R3における時間的に変動する領域R0, R1との境、すなわちスロープ領域R2と緩慢変動領域R1の境に設定する。これによって、出力の安定を確保できるとともに電力効率を高くすることができる。

[0021] 前記LC回路1への給電が、インバータ21aの出力電圧をトランス22で昇圧することによりなされるようになっており、前記トランス22が、前記LC回路1のインダクタ成分22bを構成していることが望ましい。

また、直流をインバータ21aで交流に変換し、更にトランス22で昇圧することにより、前記LC回路1へ給電されるようになっている場合には、

前記電極11, 12間のピーク間電圧 V_{pp} と、前記直流入力電圧 V との比(V_{pp}/V)をもって前記「入出力比」とし、これを前記推定工程又は設定工程を実行する際のパラメータとして用いるとよい。

[0022] 図12に示すように、発明者らの実験によれば、給電周波数 f_s のずれが推定固有振動周波数 f_0 の±約25%内の範囲($f_s = 0.75f_0 \sim 1.25f_0$)が、瞬間的変動領域R0であり、±約25%～±約50%の範囲($f_s = 0.5f_0 \sim 0.75f_0, 1.25f_0 \sim 1.5f_0$)が、緩慢変動領域R1であり、±約50%～±約80%の範囲($f_s = 0.2f_0 \sim 0.5f_0, 1.5f_0 \sim 1.8f_0$)が、入出力比が安定なスロープ領域R2であり、±約80%以上の範囲($f_s \leq 0.2f_0, f_s \geq 1.8f_0$)が、フラット領域R3であった。したがって、前記本処理工程で少なくとも出力の暴走を防止するには、設定工程において、給電周波数 f_s を推定固有振動周波数 f_0 の±約25%以上ずらして設定する。安定性を確実に確保するには、推定固有振動周波数 f_0 の±約50%以上ずらして設定するのが望ましい。安定で、

かつ電力効率も良好にするには、推定固有振動周波数 f_0 の±約50% ($f_s = 0.5f_0$ 、 $1.5f_0$)に設定するのが望ましい。

[0023] 推定固有振動周波数 f_0 に代えて入出力比(例えば V_{pp}/V)を基準にして、処理時における給電周波数 f_s を設定することにしてもよい。例えば、前記電極11, 12間への印加電圧を略常圧下での処理時における設定印加電圧と等しくしたうえで給電周波数 f_s を掃引し、給電周波数 f_s と入出力比との関係を予め求めておく予備工程と、処理時における給電周波数 f_s を、前記入出力比がその極大値に対し所定%(例えば約70%)以下になる範囲で設定する設定工程と、設定した周波数 f_s で給電することによりプラズマ処理を行う本処理工程とを実行することにしてもよい。これによって、少なくとも瞬間変動領域R0を避けることができる。

[0024] 本発明は、コロナ放電等ではなく、グロー放電によるプラズマ処理を行なうものである。電極は、平等電界を形成する形状になっているのが好ましい。電極(または誘電体)の放電する部分は、面状であることが好ましい(以下、この面状部分を「放電面」という。)。また、一对の電極間の距離は、略一定(一对の電極の放電面どうしが平行)であるのが好ましい。これにより、電界集中によるアーク放電を防止できるとともに、均一なグロー放電を発生させることができる。放電面どうし間の距離は、0.5mm以上、20mm以下が好ましく、1mm以上7mm以下がより好ましい。放電面は、曲面であっても良いが、曲率半径は大きい方が好ましく($R=5\text{mm}$ 以上)、平面がより好ましい。また、放電面は、平滑(つるつる)であることが好ましい。凸凹や突起があると、火花が目立つので、好ましくない。これら条件を満たす電極構造としては、一对の平板状電極を平行に対向させた平行平板電極型、ロール状(円筒状)電極とその周面に沿う円筒凹面を有する凹面電極とからなるローラー凹面電極型、同軸をなす内外一对の円筒状電極とからなる同軸円筒電極型などが挙げられる。

発明を実施するための最良の形態

[0025] 以下、本発明の実施形態を、図面を参照して説明する。

[上記第1特徴に係る実施形態]

図1に模式的に示すように、常圧プラズマ処理装置は、電極構造10と電界印加装置(電源装置)20とを備えている。電極構造10は、互いに対向する一对の電極11、

12にて構成されている。一对の電極11, 12のうち少なくとも一方の対向面には、固体誘電体13が設けられている。ここでは、アース電極12にのみ設けられているが、ホット電極11に設けてもよく、両方の電極11, 12に設けてもよい。これら電極11, 12間の空間10p(ホット電極11とアース電極12の固体誘電体13との間)には、図示しない処理ガス導入部によって処理ガスが導入されるようになっている。

[0026] 電界印加装置20は、交番電源21とトランス22とを有している。交番電源21は、例えば、商用交流を整流して直流電圧にする整流部と、この直流電圧をスイッチングして所望周波数の交番電圧を出力するインバータ(図10の符号21a参照)とを有している。交番電源21のインバータには、周波数設定部23が接続されており、この周波数設定部23によって交番電圧の出力周波数すなわち電極回路1への給電周波数 f_s を設定・調節できるようになっている。なお、出力は、正弦波等の連続波でもよく、パルス波等の間欠波でもよい。

[0027] トランス22は、交番電源21のインバータに接続された一次コイル22aと、電極11に接続された二次コイル22bとを有し、交番電源21の出力電圧を昇圧して電極11に供給するようになっている。

これによって、電極間空間10pに交番電界が印加されてグロー放電が起き、前記処理ガス導入部からの処理ガスがプラズマ化(活性化、イオン化等を含む)される。このプラズマ化された処理ガスが半導体基板などの被処理物に当てられることにより、被処理物の表面処理がなされるようになっている。なお、この処理は大気圧近傍の圧力(略常圧)下で行なわれる。

[0028] トランス22の二次コイル22bと電極構造10によって、電極回路1が構成されている。トランス22には、漏れインダクタンス L がある。また、電極構造10は、キャパシタと見做せる。したがって、電極回路1は、LC直列共振回路と考えることができる。その共振周波数 f_r は、次式で表される。

[数1]

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{式1})$$

ここで、 L は、コイル22bの漏れインダクタンスであり、 C は、電極構造10のキャパシ

タンスである。

[0029] 図2は、電極回路1の等価回路である。電極構造10は、電極間空間10pでのインピーダンス成分 Z_p と、固体誘電体13でのキャパシタンス成分 C_d の直列接続になっている。電極間空間10pでのインピーダンス成分 Z_p は、当該電極間空間10pのキャパシタンス C_p と抵抗 R の並列接続で表される。固体誘電体13のキャパシタンス C_d は、該固体誘電体13の厚さおよび断面積などの寸法形状や誘電率によって決まり、容易に算出することができる。

[0030] 電極間空間10pで放電が起きていない時(非放電時)は、等価回路において、 $R = \infty$ になる。したがって、電極構造10のキャパシタンス $C (= C_1)$ は、次のようになる。

[数2]

$$\frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_d} \quad (\text{式 2})$$

非放電時の電極間空間10pのキャパシタンス C_p は、該空間10pの厚さおよび断面積などの寸法形状、並びに該空間10p内に満たされた処理ガスの誘電率などの物性に基づいて、容易に算出することができる。ひいては、式(2)により、非放電時のキャパシタンス C_1 を容易に算出することができる。

また、非放電時の電極回路1の共振周波数 $f (= f_{r1})$ は、次式で表される。

[数1(a)]

$$f_{r1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}} \quad (\text{式 1 a})$$

これら式(1a)、(2)により、非放電時の電極回路1の共振周波数 f_{r1} を容易に算出することができる。以下、非放電時の共振周波数 f_{r1} を、適宜「第1共振周波数 f_{r1} 」という。

[0031] 一方、電極間空間10pでアーク放電が起きている時は、電極間空間10pを導体と見做すことができる。この時、図2の等価回路において、 $R = 0$ になる。したがって、電極構造10のキャパシタンス $C (= C_2)$ は、

$$C_2 = C_d \quad (\text{式3})$$

となる。また、アーク放電時の電極回路1の共振周波数 $f (= f_{r2})$ は、次式で表される

。

[数1(b)]

$$f_{r2} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_2}} \quad (\text{式 1 b})$$

これら式(1b)、(3)により、アーク放電時の電極回路1の共振周波数 f_{r2} を容易に算出することができる。以下、アーク放電時(電極間空間10pを導体と見做せる時)の共振周波数 f_{r2} を、適宜「第2共振周波数 f_{r2} 」という。第2共振周波数 f_{r2} は、第1共振周波数 f_{r1} より小さい。すなわち、

$$f_{r2} < f_{r1} \quad (\text{式4})$$

である。

[0032] なお、第1、第2共振周波数 f_{r1} 、 f_{r2} は、実測でも求めることができる。すなわち、電極11、12間に、放電が発生するしきい値未満の振幅の電界が印加されるように、交番電源21の出力電圧を設定する。そして、出力周波数をスキャンし、トランス22の一次側(または二次側)の電流を測定する。この電流測定値がピークとなった周波数が、第1共振周波数 f_{r1} である(図6参照)。

[0033] また、図3に示すように、一対の電極11、12どうしを電極間空間10pの厚さ分だけ近付けることにより、固体誘電体13を挟んで当接させて電極間空間10pを無くした電極構造10Xを作る。これによって、アーク放電状態(電極間空間10pを導体と見做せる状態)と回路的に等価にすることができる。そして、上記と同様に出力周波数をスキャンし、電流測定を行なう。この電流測定値がピークとなった周波数が、第2共振周波数 f_{r2} である(図6参照)。

[0034] プラズマ処理装置によってプラズマ表面処理を実行する際は、周波数設定部23によって、交番電源21の出力周波数すなわち電極回路1への給電周波数 f_s の大きさが、上記の計算または測定により得られた第1、第2共振周波数 f_{r1} 、 f_{r2} の間に入るように調節する。すなわち、次式の範囲内になるように調節する。

$$f_{r2} < f_s < f_{r1} \quad (\text{式5})$$

これによって、電極間空間10pにおいて、安定したグロー放電を起こすことができ、良好なプラズマ表面処理を行なうことができる。

- [0035] また、式(5)を満たす範囲内に、出力効率がピークとなる周波数 f_{PEAK} が必ず存在する(図6参照)。すなわち、次式の関係が成立する。

$$f_{r2} < f_{\text{PEAK}} < f_{r1} \quad (\text{式6})$$

給電周波数 f_s をこのピーク値 f_{PEAK} に設定することによって、極めて良好な出力効率を得ることができる。なお、電極間空間10pで反応が進行し過ぎると被処理物の表面での反応が減退することもあるので、そのような場合には、給電周波数 f_s をピークからずらして設定すると良い。

- [0036] 給電周波数 f_s の上限と下限、すなわち第1、第2共振周波数 f_{r1} 、 f_{r2} の値は、任意に変更することができる。例えば、図4に示すように、電極回路1の電極構造10の前段または後段に、実物のインダクタ L_x や実物のキャパシタ C_x を直列に介在させたり、図5に示すように、実物のインダクタ L_y や実物のキャパシタ C_y を電極構造10と並列に設けたりする。これによって、第1、第2共振周波数 f_{r1} 、 f_{r2} をずらすことができ、ひいては周波数設定範囲を変更することができる。勿論、電極回路1の変形例は、図4、図5に記載のものに限られず、多様な回路構成を採ることができる。

- [0037] 上記式(5)で示された周波数設定範囲は、出力波形や処理ガスの種類や処理内容や装置構成などに依らず、汎用的に適用することができる。すなわち、出力波形は、パルスでも正弦波でも方形波でもよい。また、成膜、エッチング、洗浄、アッシング、表面改質などの種々のプラズマ表面処理に遍く適用でき、処理ガスの種類や装置構成が限定されることもない。被処理物を電極間空間10pの外部に配置する所謂リモート式と、電極間空間10pの内部に配置する所謂ダイレクト式の何れの方式にも適用できる。さらには、大気圧近傍での常圧プラズマ処理に限らず、減圧プラズマ処理にも適用可能である。

- [0038] [実施例1]

発明者は、図1と同様のプラズマ処理装置において、第1、第2共振周波数 f_{r1} 、 f_{r2} を上記実施形態の手法で実測した。すなわち、電源21の出力電圧を50Vとし、電極11、12間の電界が放電のしきい値を下回るようにした。そのうえで周波数をスキャンし、トランス22の一次側の電流を測定したところ、図6の一点鎖線に示すように、ほぼ65kHz($=f_{r1}$)で電流のピークが現れた。

また、2つの電極11, 12を図3に示すように当接させ、電流測定したところ、図6の二点鎖線に示すように、ほぼ $20\text{kHz}(=f_{r2})$ で電流のピークが現れた。

なお、図6の電流値は、各測定における最大値を100として規格化して示してある(後記図7も同様)。また、共振周波数 f_{r1} , f_{r2} を求める段階での電流値は、ピークにおいても微弱であり、後記のグロー放電処理時のものと比べると相当に小さい。

[0039] その後、電極間空間10pに処理ガスとして窒素ガス100%を導入しながら、電源21の電圧を250Vにし、電極11, 12間に交番電界を印加した。そして、周波数と電流の関係を測定した。その結果、図6の実線に示すように、 $55\text{kHz}(=f_{\text{PEAK}})$ において、電流のピークが現れた。これによって、上記式(6)に示す関係式 $f_{r2} < f_{\text{PEAK}} < f_{r1}$ が成り立つことが確認された。なお、 $f_s = 55\text{kHz}$ のときの一次側電流は、9.2Aであり、投入電力すなわち出力は2300Wであった。電極の単位面積あたりに換算すると、 $12\text{W}/\text{cm}^2$ であった。

[0040] また、図7に示すように、出力に比例して放電の発光強度が大きくなり、 $f_{\text{PEAK}} = 55\text{kHz}$ のとき、最大となり、極めて良好で安定したグロー放電が確認された。

式(5)に示す関係式 $f_{r2} < f_s < f_{r1}$ が成り立つ $20\text{kHz} \sim 65\text{kHz}$ の範囲では、電極間空間10pの全域で安定した放電を得ることができた。 $65\text{kHz}(=f_1)$ 以上および $20\text{kHz}(=f_2)$ 以下では、所望の放電を得るのが困難であった。

[0041] さらに、出力2500W、周波数55kHzの条件(A)と、その約1/2の出力1200Wで周波数30kHzの条件(B)とで、ガラスの洗浄能力(接触角と搬送速度)を比較した。ガラスの搬送速度は、 $1\text{m}/\text{min}$ と $2\text{m}/\text{min}$ の2通りとした。なお、条件(A)では、直流から変換した交番電界を印加したのに対し、条件(B)では、パルス電界を印加した。その結果、図8に示すように、条件(A)は、条件(B)に対して2倍の搬送速度で同等の接触角となり、処理能力が出力とほぼ比例することが確認された。

[0042] [実施例2]

上記実施例1と同じ装置を用い、処理ガスをアルゴンガスに代えて、周波数と電流の関係を測定したところ、図6とほぼ同じ結果が得られた。式(5)に示す関係式 $f_{r2} < f_s < f_{r1}$ が成り立つ $20\text{kHz} \sim 65\text{kHz}$ の範囲では、電極間空間10pの全域で安定した放電を得ることができた。 20kHz 以下では出力を上げると火花放電へ移行した。 65kHz

Hz以上では瞬時にアーク放電に移行し、安定放電できなかった。

[0043] [実施例3]

第1共振周波数 $f_{r1} = 190\text{kHz}$ 、第2共振周波数 $f_{r2} = 75\text{kHz}$ の装置において、処理ガスとして窒素ガスを用い、上記実施例1と同様に周波数 f_{PEAK} を測定した。その結果、 $f_{\text{PEAK}} = 150\text{kHz}$ であり、上記式(6)に示す関係式 $f_{r2} < f_{\text{PEAK}} < f_{r1}$ が成り立つことが確認された。190kHz以上では針放電となった。75kHz以下では放電が起きなかった。

[0044] さらに、出力2000W、周波数150kHz、直流から変換した交番電界の条件(C)と、その約1/2の出力1200W、周波数30kHz、パルス電界の条件(D)とで、ガラスの洗浄能力(接触角と搬送速度)を比較した。その結果、図9に示すように、条件(C)は、条件(D)に対して2倍の搬送速度で同等の接触角となり、処理能力が出力とほぼ比例することが確認された。

[0045] [上記第2特徴に係る実施形態]

次に、第2特徴に係る実施形態を説明する。上記第1実施形態と重複する構成に関しては、同一符号を付し、説明を適宜省略する。

図10に示すように、この実施形態の常圧プラズマ処理装置の電極11, 12は、大気圧の空気雰囲気中に配置されている。雰囲気ガスは、空気に代えて、窒素でもよく、ヘリウムやアルゴン等の希ガスでもよい。電極11, 12間の空間10pには、図示しない処理ガス導入部によって処理ガスが導入されるようになっている。電極間空間10pの厚さは、例えば1mmである。一対の電極11, 12のうち少なくとも一方の対向面には、固体誘電体13が設けられているが、その図示は省略する。

[0046] 電源装置(電界印加装置)20は、インバータ21aとトランス22を有している。インバータ21aは、直流電圧Vをスイッチングして交流に変換するようになっている。

[0047] トランス22は、インバータ21aに接続された一次コイル22aと、電極11に接続された二次コイル22bとを有し、インバータ21aの出力電圧を昇圧してホット電極11に供給する。これによって、厚さ1mmの電極間空間10pに、例えば $V_{pp} = 10\text{kV}$ 、給電周波数 f_s の交流電圧が印加され、大気圧グロー放電が起き、処理ガス導入部からの処理ガスがプラズマ化され、被処理物の常圧プラズマ表面処理がなされるようになっている。

る。

- [0048] 上記第1実施形態で説明したように、トランス22の二次コイル22b(漏れインダクタンス L)と電極11, 12(キャパシタ)からなる電極回路1は、LC直列共振回路を構成している。

電極間空間10pのコンダクタンスは、非放電時にはゼロであるが、放電時にはゼロ以外の、しかも放電状態によって変動する値を示す。したがって、電極回路1すなわちLC回路の放電時の固有振動周波数は、放電状態によって異なることになる。

一方、放電状態は、基本的には電極間への印加電圧によって変わる。したがって、放電時の固有振動周波数は、印加電圧に依存するものと考えられる。

- [0049] 上記構成の常圧プラズマ処理装置において、処理時の電極回路1への給電周波数 f_s を設定する手順について説明する。

〔固有振動周波数の推定工程〕

実際のプラズマ処理(以下「本処理」という。)に先立ち、予め、電極回路1の本処理時(放電時)における固有振動周波数 f_0 を推定しておく。推定方法として、例えば次の掃引式、減衰波式等がある。

- [0050] (掃引式の推定方法)

電極11への印加電圧が本処理時の大きさ($V_{pp}=10\text{kV}$)に維持されるようにインバータ21aの入力電圧 V を調節しながら、給電周波数 f_s を0〜数百kHzの範囲で掃引する。そして、電圧 V の調節値から入出力比 V_{pp}/V を算出する。これによって、図12に示すようなデータを得ることができる。そして、入出力比 V_{pp}/V が極大になった時の周波数 f_0 を電極回路1の固有振動周波数と推定する。この掃引式では、 V_{pp}/V がピークになるあたりすなわち瞬間変動領域R0での出力暴走に注意する。

- [0051] (減衰波式の推定方法)

図11に示すように、インバータ21aからトランス22に周波数 f_1 の間欠波状の電圧 V_1 を入力する。この間欠波 V_1 の各波要素は、短周期($1/f_{1A}$)の方形波になっている。各波要素の振幅は、インバータ21aの入力電圧 V によって決まる。この間欠波電圧 V_1 の給電によって電極回路1の電極11に振動電圧 V_2 が生じる。この電圧 V_2 は、上記間欠波電圧 V_1 の各波要素が出力されている期間中は、該波要素と同じ周波数で振

動する。一方、波要素がオフになった瞬間から、電圧 V_2 は、電極回路1に固有の振動数で振動しながら減衰していく。この減衰振動の初期のピーク間電圧 V_{2pp} が、上記本処理時のピーク間電圧 $V_{pp}(=10kV)$ と等しくなるように、上記間欠波 V_1 の各波要素の振幅すなわちインバータ21aの入力電圧 V を設定しておく。

[0052] これによって、減衰振動の少なくとも初期においては、電極間空間10pを本処理時と同様の放電状態にすることができ、本処理時と同じ固有振動数にすることができる。この減衰振動の初期の、特に第1波の周波数 f_0 を測定する。すなわち、間欠波 V_1 の波要素がオフになった瞬間からの電圧 V_2 の1サイクル分の時間(周期: $1/f_0$)を測定する。これを本処理時における固有振動周波数 f_0 と推定する。

[0053] 上記の測定は、間欠波 V_1 の波要素がオフになる度に繰返し行ない、その平均を取るのが好ましい。これによって、推定精度を高めることができる。間欠波 V_1 の1つの波要素と次の波要素の間の休止期間 $t_1(=(1/f_1)-(1/f_{1A}))$ は、減衰が十分に収束し得る程度に設定するのが好ましい。これにより、次の減衰波との重畳を避けることができる。

推定固有振動周波数 f_0 は、例えば100kHz乃至120kHzとなる。

[0054] [設定工程]

次に、上記推定固有振動周波数 f_0 に基づいて本処理時における給電周波数 f_s を設定する。最も望ましくは、上記の推定固有振動周波数 f_0 の $\pm 50\%$ の大きさになるように設定する。すなわち、

$$f_s = f_0 \times (1 - 0.5) = 0.5f_0 \quad \cdots (式7)$$

$$\text{又は } f_s = f_0 \times (1 + 0.5) = 1.5f_0 \quad \cdots (式8)$$

に設定する。これは、安定スロープ領域R2における変動領域R1との境界となる周波数である。例えば $f_0 = 120kHz$ の場合、 $f_s = 60kHz$ となる。

そして、本処理工程において、設定周波数 f_s で給電しながら常圧プラズマ処理を実行する。これによって、出力を安定化でき、しかも電力効率を高めることができる。

[0055] なお、図12に示すように、出力の安定性の観点からは、給電周波数 f_s は、推定固有振動周波数 f_0 のちょうど $\pm 50\%$ に限られず、それ以上ずらして設定してもよい。すなわち、次式9、10で示される安定領域R2、R3内であればよい。

$$f_s \leq f_0 \times (1 - 0.5) = 0.5f_0 \quad \cdots (\text{式9})$$

$$\text{又は } f_s \geq f_0 \times (1 + 0.5) = 1.5f_0 \quad \cdots (\text{式10})$$

- [0056] ただし、ずらす範囲は、±80%程度でとどめるのが好ましい。これ以上ずらすと電力効率が低くなり過ぎ、所望の出力を得るのが困難になってしまう。すなわち、次式11, 12で示すように、安定領域のうちフラット領域R3を除く。

$$f_s \geq f_0 \times (1 - 0.8) = 0.2f_0 \quad \cdots (\text{式11})$$

$$\text{又は } f_s \leq f_0 \times (1 + 0.8) = 1.8f_0 \quad \cdots (\text{式12})$$

- [0057] 式9～12をまとめると、出力の安定性を確保でき、かつ、電力効率も稼ぐことのできる給電周波数 f_s の設定範囲は、次式13, 14で示される安定スロープ領域R2となる。

$$0.2f_0 \leq f_s \leq 0.5f_0 \quad \cdots (\text{式13})$$

$$\text{又は } 1.5f_0 \leq f_s \leq 1.8f_0 \quad \cdots (\text{式14})$$

- [0058] また、処理時間が短い(例えば数分～10分程度の場合)には、給電周波数 f_s を推定固有振動周波数 f_0 に対し少なくとも±25%以上ずらせばよく、±50%より推定固有振動周波数 f_0 の側に設定してもよい。すなわち、次式15, 16で示される緩慢変動領域R1内に設定してもよい。

$$0.5f_0 < f_s \leq 0.75f_0 (=f_0 \times (1 - 0.25)) \quad \cdots (\text{式15})$$

$$\text{又は } 1.5f_0 > f_s \geq 1.25f_0 (=f_0 \times (1 + 0.25)) \quad \cdots (\text{式16})$$

この緩慢変動領域R1では、電力効率が非常に高くなり、大出力を得ることができる。入出力比は経時的に上昇していくが、その程度は緩慢であり、瞬時に上昇することはない。したがって、処理を短時間で終えてオフにすれば、インバータ21aや電極11, 12が破壊に至ることはない。

- [0059] 給電周波数 f_s を推定固有振動周波数 f_0 に対し少なくとも±25%以上ずらすことによって、入出力が瞬間的に変動する領域R0($0.75f_0 < f_s < 1.25f_0$)を避けることができ、大電流によってインバータ21aの素子や電極11, 12が破壊されるのを防止することができる。

- [0060] 上記では、推定固有振動周波数 f_0 を基準にしていたが、それに代えて、入出力比 V_{pp}/V を基準にして給電周波数 f_s を設定することにしてもよい。

詳述すると、まず、予備工程として、給電周波数 f_s と入出力比 V_{pp}/V との関係を

求めておく。その方法は、前述した「掃引式」と実質的に同じである。すなわち、電極11への印加電圧が本処理時の大きさ($V_{pp}=10kV$)に維持されるようにインバータ21aの一次側電圧 V を調節しながら、給電周波数 f_s を0〜数百kHzの範囲で掃引する。そして、電圧 V を測定し、給電周波数 f_s に対する入出力比 V_{pp}/V を算出してデータ化する。

- [0061] 次に、設定工程として、本処理時における給電周波数 f_s を、前記入出力比 V_{pp}/V がその極大値に対し例えば70%以下になる範囲内で設定する。これによって、少なくとも瞬間変動領域 R_0 を避けることができ、電極11, 12やインバータ21aの破壊を防止することができる。

産業上の利用可能性

- [0062] この発明は、例えば、半導体の製造工程において、半導体基板の洗浄、成膜(CVD)、エッチング等の表面処理技術に利用可能である。

図面の簡単な説明

- [0063] [図1]本発明の第1特徴に係る実施形態を示し、常圧プラズマ処理装置の概略回路図である。
- [図2]前記装置の電極回路の等価回路図である。
- [図3]前記装置において第2共振周波数を測定する方法の解説図である。
- [図4]前記装置の電極回路の変形例を示す回路図である。
- [図5]前記装置の電極回路の他の変形例を示す回路図である。
- [図6]実施例1による周波数と電流の関係の測定結果を示すグラフである。
- [図7]実施例1による出力とプラズマの発光強度の関係の測定結果を示すグラフである。
- [図8]実施例1による処理条件と処理能力(搬送速度ごとの接触角)の関係の測定結果を示すグラフである。
- [図9]実施例3による処理条件と処理能力(搬送速度ごとの接触角)の関係の測定結果を示すグラフである。
- [図10]本発明の第2特徴に係る実施形態を示し、常圧プラズマ処理装置の概略回路図である。

[図11]図10の装置において固有振動周波数を減衰波式で推定するためのインバータ出力電圧V1と電極電圧V2の波形グラフである。

[図12]放電時の給電周波数に対する入出力比の関係を示すグラフである。

符号の説明

- [0064] 1 電極回路(LC回路)
- 10 電極構造
 - 10p 電極間空間
 - 11 ホット電極
 - 12 アース電極
 - 13 固体誘電体
 - 20 電界印加装置(電源装置)
 - 21 交番電源
 - 21a インバータ
 - 22 トランス
 - 22a 一次コイル
 - 22b 二次コイル(インダクタ)
 - 23 周波数設定部
 - L_x, L_y 実物のインダクタ
 - C_x, C_y 実物のキャパシタ
 - f_s 給電周波数
 - f_{PEAK} ピーク周波数
 - f_{r1} 第1共振周波数
 - f_{r2} 第2共振周波数
 - f_0 推定固有周波数
 - R0 瞬間変動領域
 - R1 緩慢変動領域
 - R2 安定スロープ領域
 - R3 安定フラット領域

請求の範囲

- [1] 互いに対向する一対の電極とインダクタを含む電極回路を備え、少なくとも一方の電極の対向面には固体誘電体が設けられたプラズマ処理装置を用い、前記電極どうし間の空間に処理ガスを導入するとともに前記電極回路に給電してプラズマ処理を行なう方法であって、
- 当該処理時における電極回路への給電周波数を、非放電時における共振周波数(以下、「第1共振周波数」という。)と、前記電極間空間を導体と見做せる時における共振周波数(以下、「第2共振周波数」という。)との間に設定することを特徴とするプラズマ処理方法。
- [2] 前記電極間空間で放電を起こしながら、電極回路への給電周波数を前記第1共振周波数と第2共振周波数との間で調節し、電流がピークとなる周波数を求め、このピーク周波数またはその近傍に給電周波数を設定して処理を実行することを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理方法。
- [3] 前記一対の電極を、処理ガスで満たされた非放電時の電極間空間のキャパシタンス成分と固体誘電体のキャパシタンス成分の直列接続として、前記第1共振周波数を算出することを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理方法。
- [4] 前記一対の電極を、固体誘電体のキャパシタンス成分のみとして、前記第2共振周波数を算出することを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理方法。
- [5] 放電の起きるしきい値未満の振幅の電界を前記電極間に印加するとともにその周波数を調節し、電流がピークとなる周波数を、前記第1共振周波数とすることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理方法。
- [6] 前記一対の電極どうしを固体誘電体を挟んで当接させた状態で給電周波数を調節し、電流がピークとなる周波数を、前記第2共振周波数とすることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理方法。
- [7] 前記プラズマ処理装置が、電源からの電圧をトランスで昇圧して前記電極回路に給電するようになっており、前記トランスの漏れインダクタンスにより前記インダクタを構成したことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理方法。
- [8] 前記漏れインダクタンスからなるインダクタおよび前記一対の電極からなるキャパシ

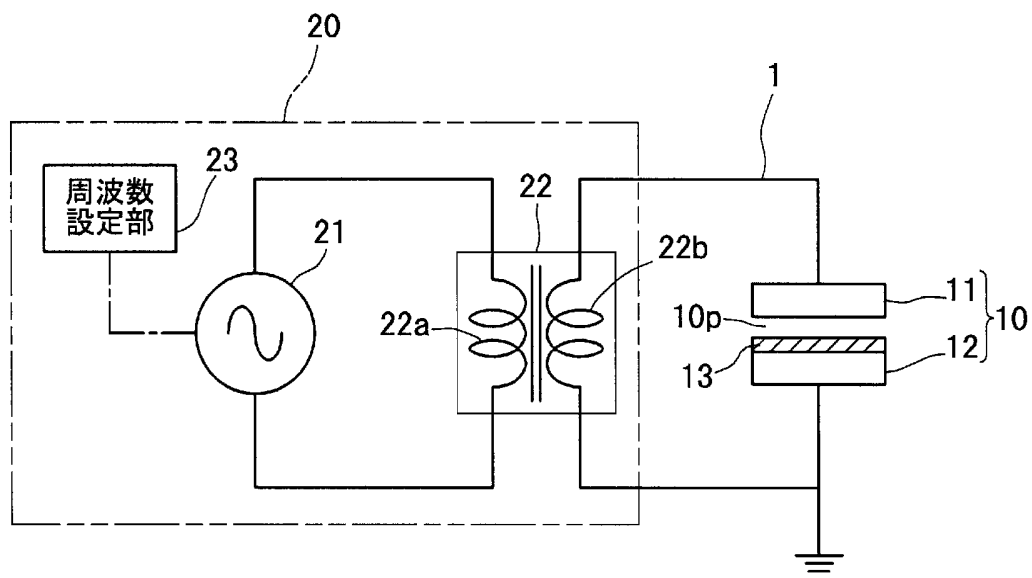
タに、実物のインダクタまたはコンデンサを加えることにより、前記電極回路を構成し、これにより、第1、第2共振周波数を調節することを特徴とする請求項7に記載のプラズマ処理方法。

- [9] 電源からの給電により処理ガスをプラズマ化しプラズマ処理を行なう装置であって、互いに対向して間に処理ガスの導入される空間を形成するとともに少なくとも一方の対向面には固体誘電体が設けられた一对の電極と、インダクタを含み、前記電源から給電される電極回路と、
- 前記電源から前記電極回路への給電周波数を、前記電極間空間の非放電時における共振周波数と、前記電極間空間を導体と見做せる時における共振周波数との間に設定する周波数設定部と、
- を備えたことを特徴とするプラズマ処理装置。
- [10] 一对の電極とインダクタを含むLC回路に給電することにより、前記電極どうし間の略常圧の空間に電界を印加して放電を起こしプラズマ処理を行なう方法であって、
- 前記電極どうし間の略常圧空間での放電時における前記LC回路の固有振動周波数を予め推定する工程と、
- 前記LC回路への給電周波数を、前記推定固有振動周波数からずらして設定する設定工程と、
- 設定した周波数で給電することによりプラズマ処理を行なう本処理工程と、
- を実行することを特徴とするプラズマ処理方法。
- [11] 前記推定工程において、前記LC回路に一時的に給電を行なった後、該給電の切断により前記LC回路に減衰振動を生じさせ、しかもこの減衰振動の初期における電極間への印加電圧が本処理工程における設定印加電圧と略等しくなるようにし、この減衰振動の初期の周波数を測定し、この測定値を前記推定固有振動周波数とすることを特徴とする請求項10に記載のプラズマ処理方法。
- [12] 前記推定工程において、前記電極間への印加電圧が本処理工程における設定印加電圧と略等しくなるようにしながら給電周波数を掃引し、入出力比が極大になる点における周波数を求め、これを前記推定固有振動周波数とすることを特徴とする請求項10に記載のプラズマ処理方法。

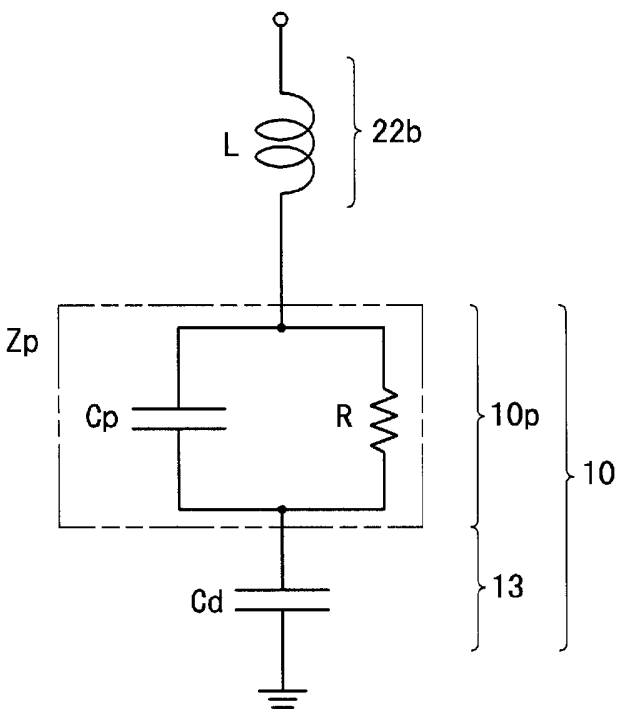
- [13] 前記設定工程において、給電周波数を、前記推定固有振動周波数の周辺における入出力比が瞬間的に変動する領域からずらして設定することを特徴とする請求項10に記載のプラズマ処理方法。
- [14] 前記設定工程において、給電周波数を、前記推定固有振動周波数の周辺における入出力比が時間的に変動する領域からずらして設定することを特徴とする請求項10に記載のプラズマ処理方法。
- [15] 前記設定工程において、給電周波数を、入出力比が時間的に安定でかつ給電周波数に応じて増減する領域に設定することを特徴とする請求項10に記載のプラズマ処理方法。
- [16] 前記設定工程において、給電周波数を、入出力比が時間的に安定な領域における時間的に変動する領域との境に設定することを特徴とする請求項10に記載のプラズマ処理方法。
- [17] 前記設定工程において、給電周波数を、前記推定固有振動周波数の±約25%以上ずらして設定することを特徴とする請求項10に記載のプラズマ処理方法。
- [18] 前記設定工程において、給電周波数を、前記推定固有振動周波数の±約50%以上ずらして設定することを特徴とする請求項10に記載のプラズマ処理方法。
- [19] 前記設定工程において、給電周波数を、前記推定固有振動周波数の±約50%に設定することを特徴とする請求項10に記載のプラズマ処理方法。
- [20] 前記LC回路への給電が、インバータの出力電圧をトランスで昇圧することによりなされるようになっており、前記トランスが、前記LC回路のインダクタ成分を構成していることを特徴とする請求項10に記載のプラズマ処理方法。
- [21] 前記LC回路への給電が、直流をインバータで交流に変換し、更にトランスで昇圧することによりなされるようになっており、
前記電極間のピーク間電圧 V_{pp} と、前記直流入力電圧 V との入出力比(V_{pp}/V)を、前記推定工程又は設定工程を実行する際のパラメータとすることを特徴とする請求項10に記載のプラズマ処理方法。
- [22] 一対の電極とインダクタを含むLC回路に給電することにより、前記電極どうし間の

略常圧の空間に電界を印加して放電を起こしプラズマ処理を行なう方法であって、
前記電極間への印加電圧を処理時における設定印加電圧と等しくしたうえで給電周波数を掃引し、給電周波数と入出力比との関係を予め求めておく予備工程と、
前記LC回路への給電周波数を、前記入出力比がその極大値に対し所定%以下になる範囲で設定する設定工程と、
設定した周波数で給電することによりプラズマ処理を行なう本処理工程と、
を実行することを特徴とするプラズマ処理方法。

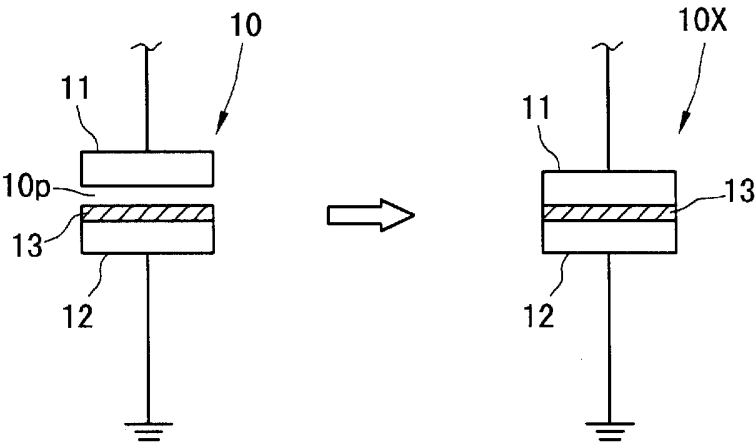
[図1]



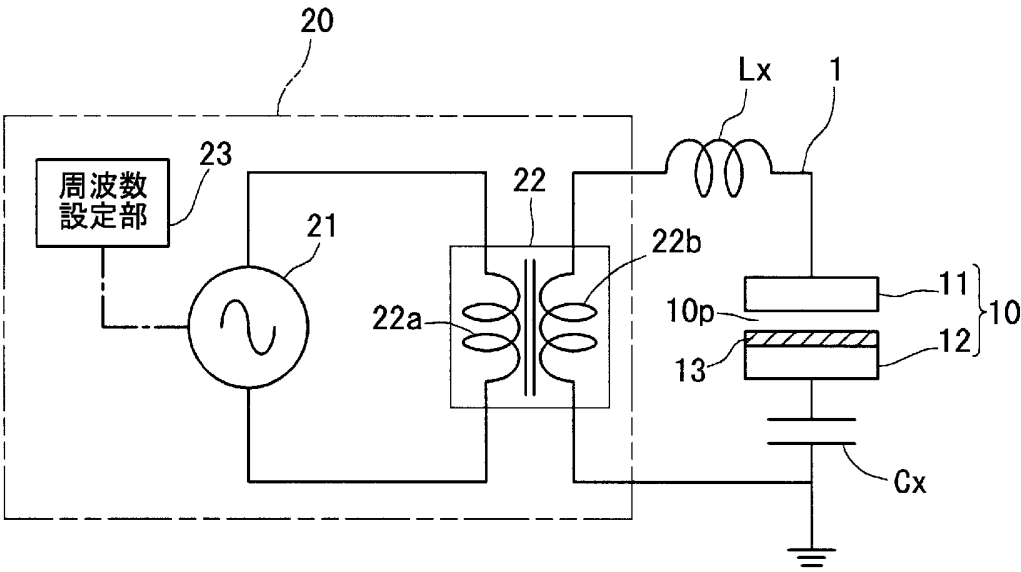
[図2]



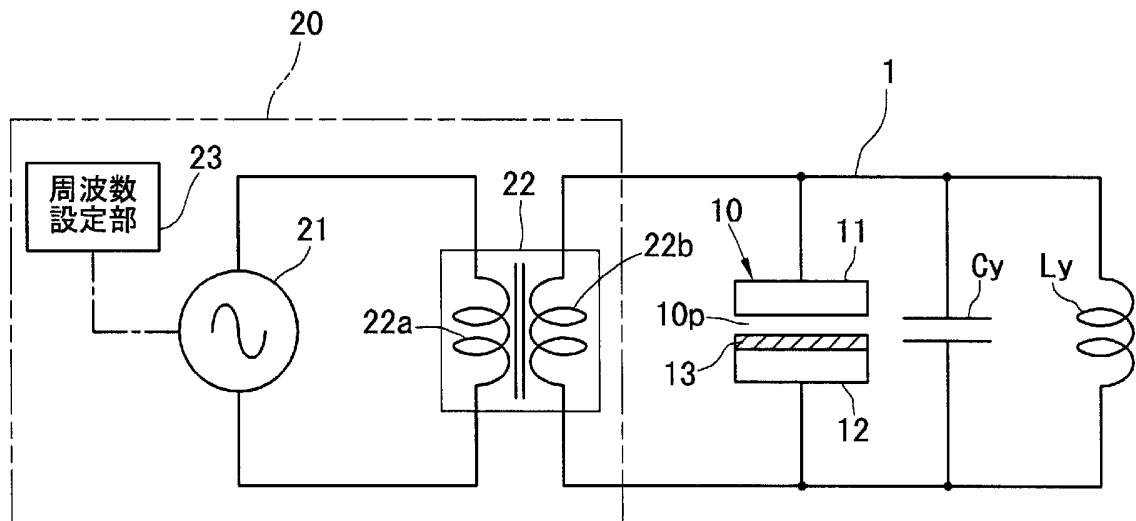
[図3]



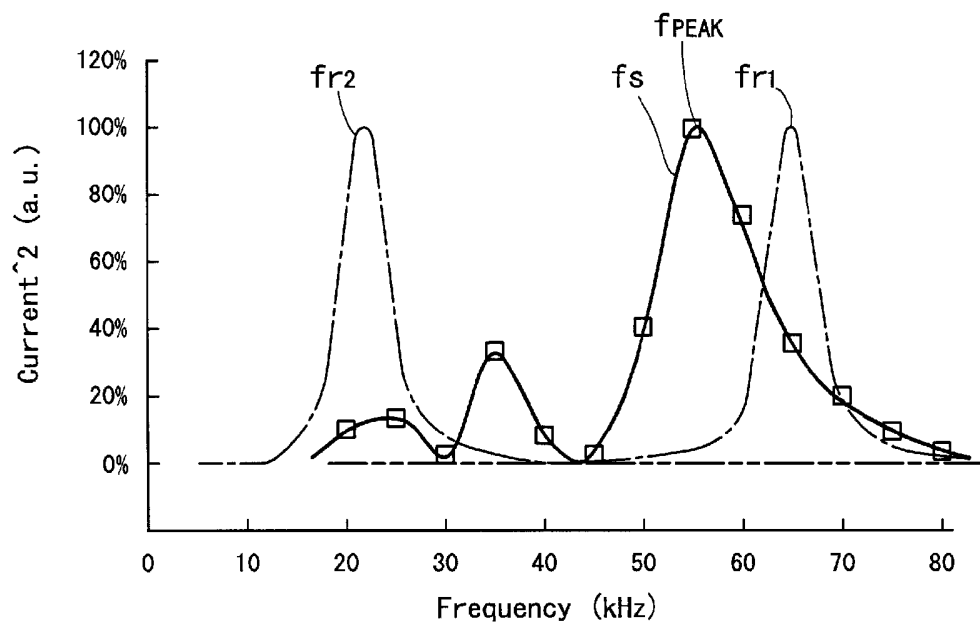
[図4]



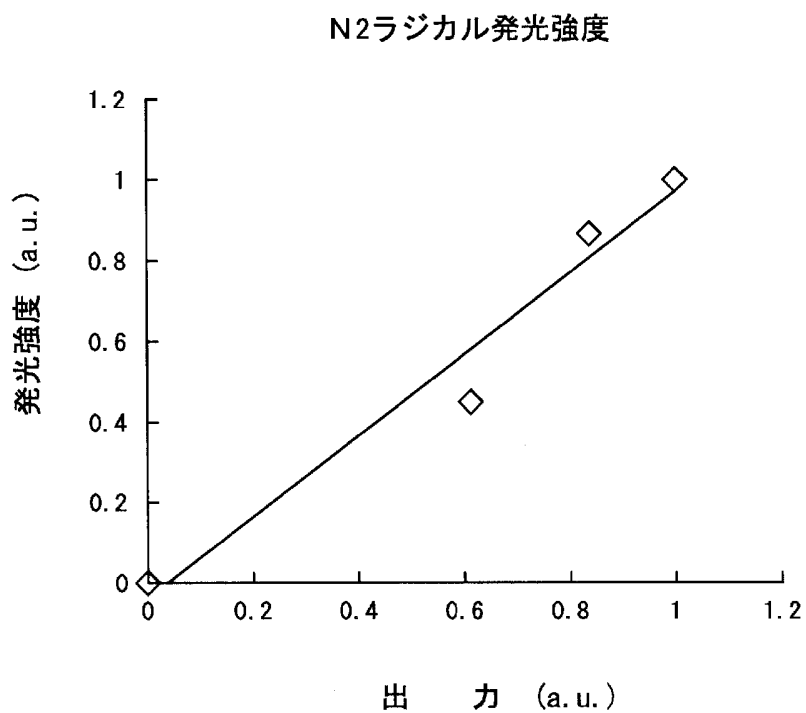
[図5]



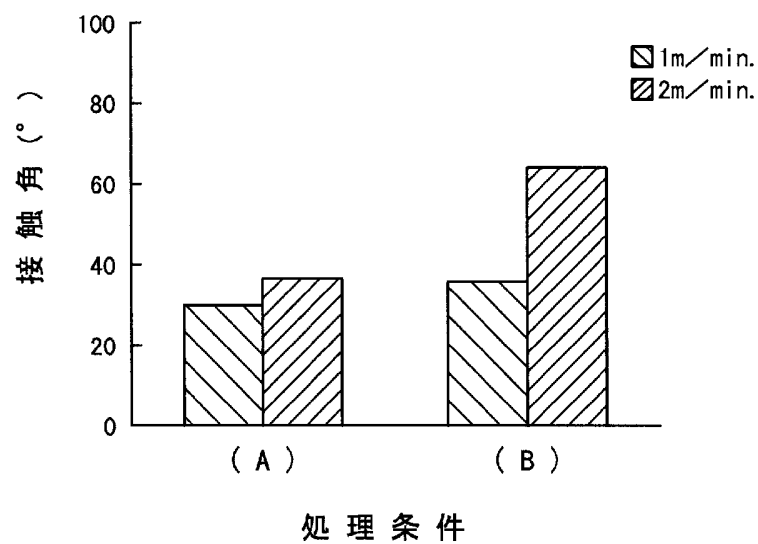
[図6]



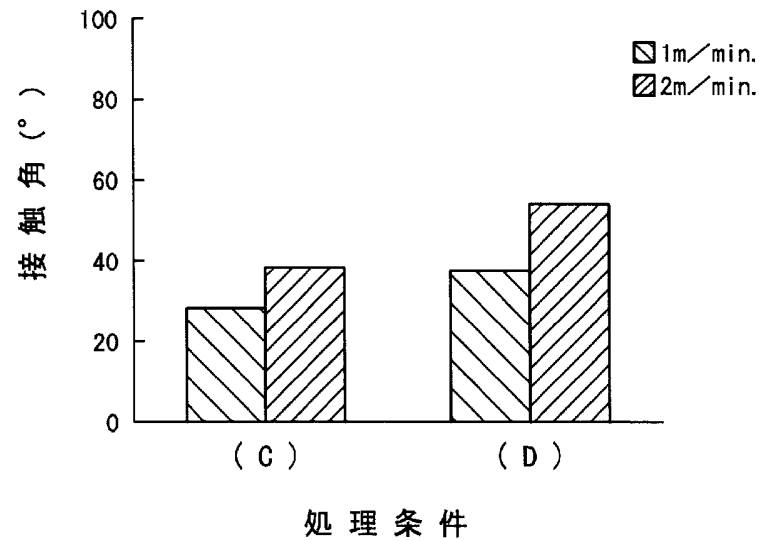
[図7]



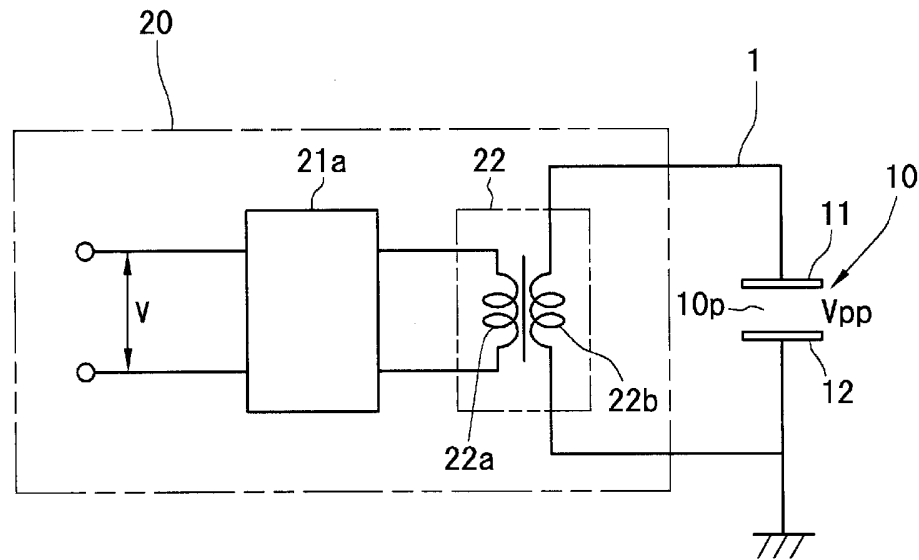
[図8]



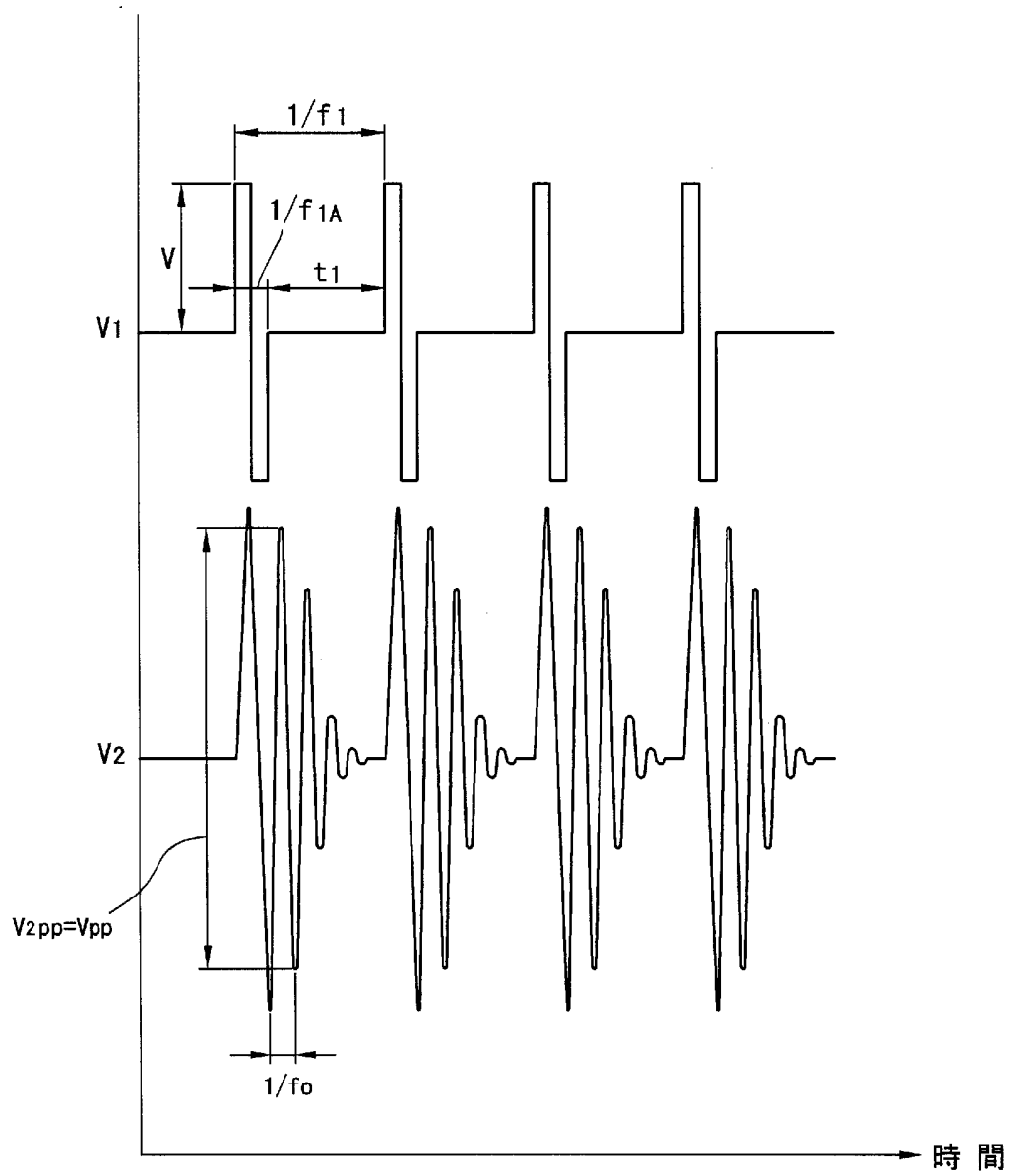
[図9]



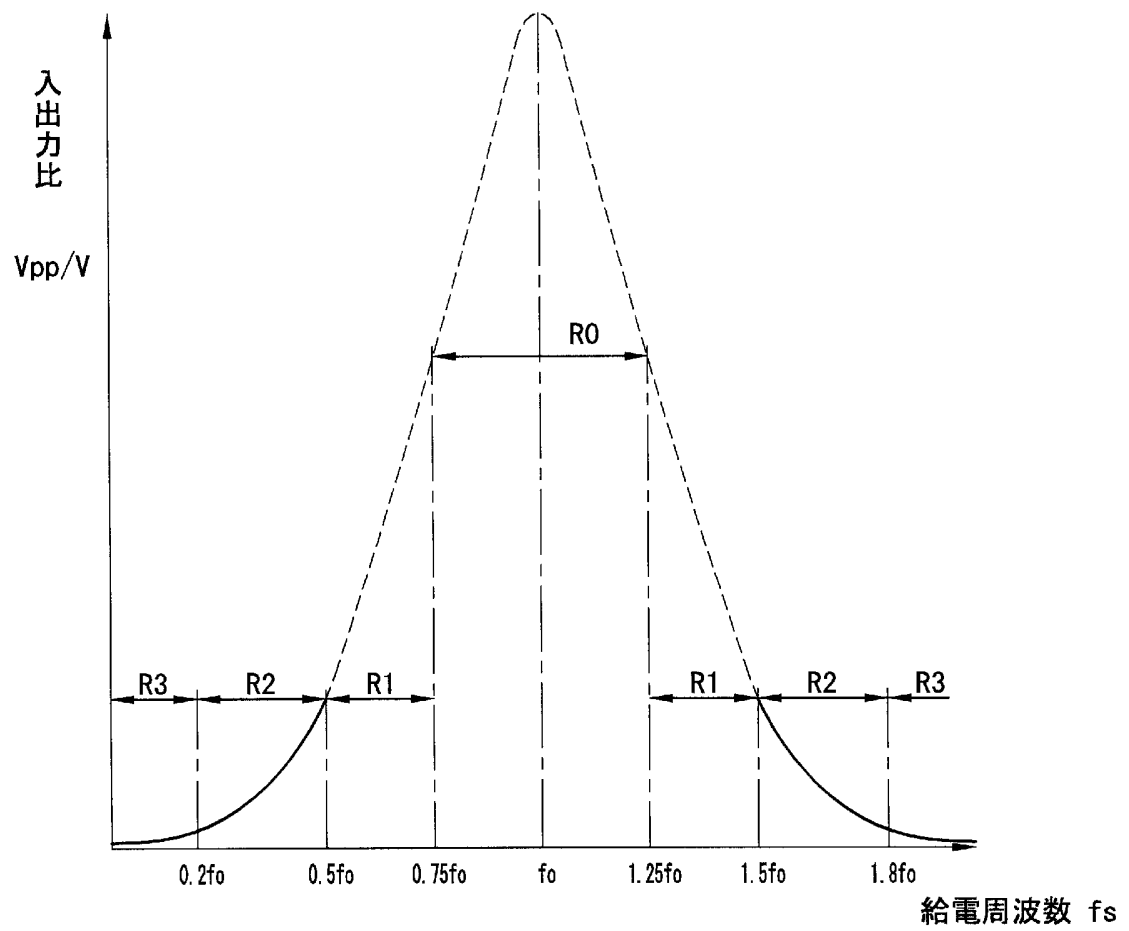
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011151

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ H05H1/24, 1/46, H01L21/205, H01L21/3065, H01L21/304, 645,
C23C16/505

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)

Int.Cl.⁷ H05H1/24, 1/46, H01L21/205, H01L21/3065, H01L21/304, 645,
C23C16/505

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1940-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

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.
Y	JP 2001-35693 A (Mitsubishi Electric Corp.), 09 February, 2001 (09.02.01), Full text; all drawings (Family: none)	1-9, 10, 12-22
Y	JP 2000-164394 A (Hitachi, Ltd.), 16 June, 2000 (16.06.00), Par. Nos. [0012] to [0026], [0030] to [0035]; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-9, 10, 12-22
Y	JP 10-064696 A (Hitachi, Ltd.), 06 March, 1998 (06.03.98), Par. Nos. [0005], [0034] to [0041]; Figs. 1 to 4 & US 5997687 A1	1-9, 10, 12-22

☒ 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
09 November, 2004 (09.11.04)

Date of mailing of the international search report
22 November, 2004 (22.11.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011151

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-77893 A (KEM Kabushiki Kaisha), 14 March, 2003 (14.03.03), Par. Nos. [0035] to [0047]; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-9,10,12-22
Y	JP 10-116826 A (Applied Materials, Inc.), 06 May, 1998 (06.05.98), Par. Nos. [0023] to [0024] & EP 819780 A2 & US 6170428 B1 & US 6182602 B1	10,12-22
P,Y	JP 2003-234200 A (Applied Films GmbH. & Co., KG.), 22 August, 2003 (22.08.03), Par. No. [0025]; Fig. 2 & EP 1310979 A2 & US 2003-87044 A1	1-9,10,12-22
P,Y	JP 2003-282542 A (Mitsubishi Electric Corp.), 03 October, 2003 (03.10.03), Full text; all drawings & US 2003-178140 A1	1-9,10,12-22
E,A	JP 2004-228460 A (Mitsubishi Electric Corp.), 12 August, 2004 (12.08.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-22

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl ⁷ H05H1/24, 1/46, H01L21/205, H01L21/3065, H01L21/304, C23C16/505			
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 ⁷ H05H1/24, 1/46, H01L21/205, H01L21/3065, H01L21/304, C23C16/505			
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 1940-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2004年 日本国登録実用新案公報 1994-2004年 日本国実用新案登録公報 1996-2004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 請求の範囲の番号	
Y	JP 2001-35693 A (三菱電機株式会社) 2001.02.09 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-9, 10, 12-22	
Y	JP 2000-164394 A (株式会社日立製作所) 2000.06.16 段落0012-0026, 0030-0035, 図1-4 (ファミリーなし)	1-9, 10, 12-22	
Y	JP 10-064696 A (東京エレクトロン株式会社) 1998.03.06 段落0005, 0034-0041, 図1-4 & US 5997687 A1	1-9, 10, 12-22	
☒ 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 「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 「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 「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) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願			
の日の後に公表された文献 「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 「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 「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 「&」 同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 09.11.2004		国際調査報告の発送日 22.11.2004	
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) 山口 敦司 電話番号 03-3581-1101 内線 6989	

C (続き) . 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 請求の範囲の番号
Y	J P 2003-77893 A (ケーイーエム株式会社) 2003.03.14 段落0035-0047, 図1-4 (ファミリーなし)	1-9, 10, 12-22
Y	J P 10-116826 A (アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド) 1998.05.06 段落0023-0024 &EP 819780 A2 &US 6170428 B1 &US 6182602 B1	10, 12-22
P, Y	J P 2003-234200 A (アプライド フィルムズ ゲーエムベーパー アンド コンパニー カーゲー) 2003.08.22 段落0025, 図2 &EP 1310979 A2 &US 2003-87044 A1	1-9, 10, 12-22
P, Y	J P 2003-282542 A (三菱電機株式会社) 2003.10.03 全文, 全図 &US 2003-178140 A1	1-9, 10, 12-22
E, A	J P 2004-228460 A (三菱電機株式会社) 2004.08.12 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-22