

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B1)

(11) 特許番号

特許第4528870号  
(P4528870)

(45) 発行日 平成22年8月25日(2010.8.25)

(24) 登録日 平成22年6月11日(2010.6.11)

(51) Int.Cl.		F I	
<b>H03B</b>	<b>9/10</b>	<b>(2006.01)</b>	H03B 9/10
<b>H05H</b>	<b>1/46</b>	<b>(2006.01)</b>	H05H 1/46 R
<b>H01J</b>	<b>23/34</b>	<b>(2006.01)</b>	H05H 1/46 B
			H01J 23/34 B

請求項の数 9 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2009-136496 (P2009-136496)	(73) 特許権者	391020986
(22) 出願日	平成21年6月5日(2009.6.5)		日本高周波株式会社
審査請求日	平成21年6月5日(2009.6.5)		神奈川県横浜市緑区中山町1119
早期審査対象出願		(74) 代理人	100064621
			弁理士 山川 政樹
		(74) 代理人	100098394
			弁理士 山川 茂樹
		(72) 発明者	篠原 己拔
			神奈川県横浜市緑区中山町1119 日本高周波株式会社内
		(72) 発明者	米通 哲
			神奈川県横浜市緑区中山町1119 日本高周波株式会社内
		審査官	崎間 伸洋
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マグネトロン発振装置およびプラズマ処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

マグネトロンと、  
このマグネトロンの出力電力を取り出すランチャーと、  
このランチャーに入力端が接続されて、前記マグネトロンの負荷サセプタンスを調整するインピーダンス発生器と、  
このインピーダンス発生器に入力端が接続されて、通過電力の一部を取り出す周波数結合器と、  
入力端が周波数結合器の第1の出力端に接続され、前記マグネトロンの発振周波数と所定の周波数とのずれに応じたずれ信号を出力する周波数検出部と、  
この周波数検出部に入力端が接続され、前記インピーダンス発生器に出力端が接続されて、前記ずれ信号に基づいて、前記マグネトロンの発振周波数を前記所定の周波数にするための駆動電圧を生成して前記インピーダンス発生器に出力する駆動電圧生成部と  
を備えたことを特徴とするマグネトロン発振装置。

【請求項2】

入力端が前記周波数結合器の第2の出力端に接続され、前記マグネトロンの出力電力を負荷の方向へ導く非可逆部材をさらに備える  
ことを特徴とする請求項1記載のマグネトロン発振装置。

【請求項3】

前記インピーダンス発生器は、

矩形導波管と、この矩形導波管の対向する広面の内壁面にそれぞれ配設されたフェライトと、このフェライトと対応する位置で前記矩形導波管の外周に巻回されたコイルとからなる移相器と、

この移相器の一端に接続された短絡板と、  
前記移相器の他端に接続された分岐導波管と  
を少なくとも1組備える

ことを特徴とする請求項1または2記載のマグネトロン発振装置。

【請求項4】

前記周波数結合器の第2の出力端に一端が接続されて、前記マグネトロンの出力よりも低電力かつ周波数が安定した基準信号を前記マグネトロンに供給する基準信号供給部をさらに備える

10

ことを特徴とする請求項1 - 3の何れか1項に記載のマグネトロン発振装置。

【請求項5】

前記基準信号供給部は、  
前記基準信号を発振する基準信号発振器と、  
一端が前記基準信号発振器の出力端に接続された非可逆部材と、  
一端が前記非可逆部材の他端に接続されて、前記基準信号発振器からの前記基準信号を前記周波数結合器を通して前記マグネトロンへ導くとともに、前記周波数結合器からの前記マグネトロンの出力電力を負荷の方向へ導くサーキュレータと

を備えることを特徴とする請求項4記載のマグネトロン発振装置。

20

【請求項6】

前記周波数検出部は、  
入力端が前記周波数結合器の前記第1の出力端に接続された分割回路と、  
第1の入力端が前記分割回路の第1の出力端に接続された位相検波回路と、  
入力端が前記分割回路の第2の出力端に接続され、出力端が前記位相検波回路の第2の入力端に接続された移相回路と

を備えることを特徴とする請求項1 - 5の何れか1項に記載のマグネトロン発振装置。

【請求項7】

前記周波数検出部は、  
入力端が前記周波数結合器の前記第1の出力端に接続された分割回路と、  
入力端が前記分割回路の第1の出力端に接続された第1の共振回路と、  
入力端が前記第1の共振回路に接続された第1の検波回路と、  
入力端が前記分割回路の第2の出力端に接続された第2の共振回路と、  
入力端が前記第2の共振回路に接続された第2の検波回路と、  
第1の入力端が前記第1の検波回路に接続され、第2の入力端が前記第2の検波回路に接続された加算回路と

を備えることを特徴とする請求項1 - 5の何れか1項に記載のマグネトロン発振装置。

30

【請求項8】

前記マグネトロンは、  
加熱により電子を放出するカソードと、  
このカソードを加熱するヒータと、  
前記カソードとの間に電界を形成するアノードと  
を少なくとも備え、  
前記アノードに流れる電流が大きくなるにしたがって前記ヒータに印加する電圧を小さくするヒータ電源をさらに備える

ことを特徴とする請求項1 - 7の何れか1項に記載のマグネトロン発振装置。

40

【請求項9】

マイクロ波により生成されたプラズマを用いて、被処理体に対して所定の処理を行うプラズマ処理装置であって、

前記マイクロ波の供給源として請求項1 - 8の何れか1項に記載のマグネトロン発振装

50

置を備える

ことを特徴とするプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マグネトロンを発振管とするマグネトロン発振装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

マイクロ波帯の発振装置の1つに、トランジスタを増幅器として使用する半導体発振装置がある。この半導体発振装置は、1000MHz程度までの周波数帯に用いられる。しかし、プラズマ生成に必要な2450MHzの周波数帯においては、使用可能な半導体素子の種類が少なくかつ高価であるので、半導体発振装置は大変高コストとなる。

10

【0003】

2450MHz帯の発振器としては、クライストロン発振装置およびマグネトロン発振装置がある。クライストロン発振装置は、周波数安定度および振幅制御性等に優れているが、クライストロンが高価であり、クライストロンの駆動用電源の価格も比較的高いので、これらを含めると装置全体が非常に高コストになる。

これに対し、マグネトロン発振装置は、プラズマ生成に必要な出力電力10kW程度までのマグネトロンが量産されていて、安価に入手できる。また、マグネトロンの駆動用電源は、構成が簡単で、安価に製作できる。したがって、マグネトロン発振装置は、プラズマ生成用の電源として多用されている。

20

【0004】

ところが、マグネトロンは、負荷インピーダンスまたは出力電力の変動により、発振周波数が変化してしまう。

負荷インピーダンスによって発振周波数が変化する現象を「プリング現象」と言う。

【0005】

また、マグネトロンは、アノード電流に対し、アノード電圧がほぼ一定で、かつ、出力電力がほぼ比例して変化する。また、発振周波数も規格値内ではあるが、アノード電流に応じて変化してしまう。

30

【0006】

さらに、マグネトロンは、アノード電流により出力電力を可変できるが、その出力電力が所定の値以下になると、発振モードがジャンプして異なった周波数で発振してしまう。この発振状態が不安定になる現象を「モーディング」と言う。モーディングは、ヒータ電圧または負荷インピーダンスの変化によっても起こり、モーディングが起こると、間歇発振になり、発振周波数も一定しないので、負荷側に接続した整合回路等が正常に動作しなくなるなどの不具合が生じる。

【0007】

このような問題を解決すべく、従来よりマグネトロン発振装置について様々な提案がなされている。

40

【0008】

例えば、特許文献1には、基準信号をマグネトロンに注入することにより、マグネトロンの発振周波数を基準信号の周波数に固定(同期)し、マグネトロン発振装置の周波数の安定化を図る、いわゆるインジェクションロック方式のマグネトロン発振装置が開示されている。

【0009】

また、特許文献2には、基準信号をマグネトロンに注入するとともに、インピーダンス発生器を用いてマグネトロンの負荷インピーダンスを変化させる、改良型インジェクションロック方式のマグネトロン発振装置が開示されている。この装置によれば、マグネトロンの負荷インピーダンスを変化させると、プリング現象に基づいてマグネトロンの発

50

振周波数が変化するので、インピーダンス発生器を用いて負荷インピーダンスを調整することにより、発振周波数と基準信号の周波数とのずれを小さくし、インジェクションロッキング動作を容易にしている。したがって、マグネトロン出力電力を変化させても発振周波数を基準信号の周波数に固定し、発振周波数が安定した出力電力範囲を広くすることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開2004-265611号公報

【特許文献2】特開2006-094214号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかしながら、上述したインジェクションロッキング方式のマグネトロン発振装置では、マグネトロンの負荷Qおよび基準信号発生器の注入電力が一定であると、マグネトロンのアノード電流を増加して出力電力を大きくすると、インジェクションロッキングが外れてしまい、周波数の安定させるのが困難であった。

【0012】

また、上述した改良型インジェクションロッキング方式のマグネトロン発振装置では、インピーダンス発生器または基準信号発振器を適切に作動させるために、まず、予めマグネトロンの特性データ、インジェクションロッキングの条件式を記憶させておき、アノード電流または出力電流の検出値に対して同期可能な負荷インピーダンスおよび注入電力を算出し、インピーダンス発生器または基準信号発振器の制御信号を出力することが必要である。また、予めマグネトロンのアノード電流および出力電力と制御信号との対応表を記憶させておき、検出値に対応した制御信号を出力することも必要である。このため、処理や装置構成が複雑であった。

20

【0013】

さらに、何れのマグネトロン発振装置においても、低コスト化を実現することが困難であった。すなわち、容易にインジェクションロッキングを行うためには、マグネトロンの出力電力の少なくとも1/100の注入電力が必要であり、例えば、10kWのマグネトロン発振装置では100Wの注入電力が必要なる。このため、基準信号発振器は、発振器とともに増幅器も必要となり、製造コストの上昇を招いていた。

30

【0014】

そこで、本願発明は、発振周波数をより安定させることができるマグネトロン発振装置およびプラズマ処理装置を提供することを第1の目的とする。

【0015】

また、本願発明は、より簡易な構成で発振周波数を安定させることができるマグネトロン発振装置およびプラズマ処理装置を提供することを第2の目的とする。

【0016】

さらに、本願発明は、低コストで発振周波数を安定させることができるマグネトロン発振装置およびプラズマ処理装置を提供することを第3の目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0017】

上述したような課題を解決するために、本発明に係るマグネトロン発振装置は、マグネトロンと、このマグネトロンの出力電力を取り出すランチャーと、このランチャーに入力端が接続されて、マグネトロンの負荷サセプタンスを調整するインピーダンス発生器と、このインピーダンス発生器に入力端が接続されて、通過電力の一部を取り出す周波数結合器と、入力端が周波数結合器の第1の出力端に接続され、マグネトロンの発振周波数と所定の周波数とのずれに応じたずれ信号を出力する周波数検出部と、この周波数検出部に入力端が接続され、インピーダンス発生器に出力端が接続されて、ずれ信号に基づいて、マ

50

マグネトロンが発振周波数を所定の周波数にするための駆動電圧を生成してインピーダンス発生器に出力する駆動電圧生成部とを備えたことを特徴とするものである。

【0018】

上記マグネトロン発振装置において、入力端が周波数結合器の第2の出力端に接続され、マグネトロンの出力電力を負荷の方向へ導く非可逆部材をさらに備えるようにしてもよい。ここで、非可逆部材は、インピーダンス発生器と周波数結合器との間に配設するようにしてもよい。また、非可逆部材としては、アイソレータ、サーキュレータ等を適用することができる。

【0019】

上記マグネトロン発振装置において、インピーダンス発生器は、矩形導波管と、この矩形導波管の対向する広面の内壁面にそれぞれ配設されたフェライトと、このフェライトと対応する位置で矩形導波管の外周に巻回されたコイルとからなるフェライト移相器と、このフェライト移相器の一端に接続された短絡板と、移相器の他端に接続された分岐導波管とを少なくとも1組備えるようにしてもよい。

【0020】

上記マグネトロン発振装置において、周波数結合器の第2の出力端に一端が接続されて、マグネトロンの出力よりも低電力かつ周波数が安定した基準信号をマグネトロンに供給する基準信号供給部をさらに備えるようにしてもよい。

ここで、基準信号供給部は、基準信号を発振する基準信号発振器と、一端が基準信号発振器の出力端に接続された非可逆部材と、一端が非可逆部材の他端に接続されて、基準信号発振器からの基準信号を周波数結合器を通してマグネトロンへ導くとともに、周波数結合器からのマグネトロンの出力電力を負荷の方向へ導くサーキュレータとを備えるようにしてもよい。ここで、非可逆部材は用いないようにしてもよい。

【0021】

上記マグネトロン発振装置において、周波数検出部は、入力端が周波数結合器の第1の出力端に接続された分割回路と、第1の入力端が分割回路の第1の出力端に接続された位相検波回路と、入力端が分割回路の第2の出力端に接続され、出力端が位相検波回路の第2の入力端に接続された移相回路とを備えるようにしてもよい。ここで、分割回路としては、電力分配器、3dBハイブリッド等を適用することができる。位相検波回路としては、バランスミキサ等を適用することができる。移相回路としては、ディレイライン、ラインストレッチャー、共振器等を適用することができる。

【0022】

また、上記マグネトロン発振装置において、周波数検出部は、入力端が周波数結合器の第1の出力端に接続された分割回路と、入力端が分割回路の第1の出力端に接続された第1の共振回路と、入力端が第1の共振回路に接続された第1の検波回路と、入力端が分割回路の第2の出力端に接続された第2の共振回路と、入力端が第2の共振回路に接続された第2の検波回路と、第1の入力端が第1の検波回路に接続され、第2の入力端が第2の検波回路に接続された加算回路とを備えるようにしてもよい。ここで、共振回路としては、LC並列共振器、キャピティエー等を適用することができる。検波回路としては、エンベロープ検波器等を適用することができる。

【0023】

上記マグネトロン発振装置において、マグネトロンは、加熱により電子を放出するカソードと、このカソードを加熱するヒータと、カソードとの間に電界を形成するアノードとを少なくとも備え、アノードに流れる電流が大きくなるにしたがってヒータに印加する電圧を小さくするヒータ電源をさらに備えるようにしてもよい。

【0024】

また、本発明に係るプラズマ処理装置は、マイクロ波により生成されたプラズマを用いて、被処理体に対して所定の処理を行うプラズマ処理装置であって、マイクロ波の供給源として上記マグネトロン発振装置を備えることを特徴とするものである。

【発明の効果】

## 【 0 0 2 5 】

本発明によれば、周波数検出部により、所望する発振周波数からのずれを検出してずれ信号を生成し、駆動電圧生成部により、そのずれ信号に基づいてマグネトロンの発振周波数が所望する周波数となる駆動電圧を生成して当該インピーダンス発生器に出力することにより、マグネトロンの発振を制御することができるので、広範囲な出力電力において発振周波数の安定化を実現することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 2 6 】

【 図 1 】 図 1 は、本発明の第 1 の実施の形態に係るマグネトロン発振装置の構成を模式的に示す図である。

10

【 図 2 A 】 図 2 A は、リアクタンススタブ方式のインピーダンス発生器の一構成例を示す断面図である。

【 図 2 B 】 図 2 B は、導波管分岐形のインピーダンス発生器の一構成例を示す断面図である。

【 図 3 A 】 図 3 A は、本発明の第 2 の実施の形態に係るマグネトロン発振装置におけるインピーダンス発生器の構成を模式的に示す図である。

【 図 3 B 】 図 3 B は、本発明の第 2 の実施の形態に係るマグネトロン発振装置におけるインピーダンス発生器の構成を模式的に示す図である。

【 図 4 】 図 4 は、本発明の第 3 の実施の形態に係るマグネトロン発振装置の構成を模式的に示す図である。

20

【 図 5 】 図 5 は、本発明の第 4 の実施の形態に係るマグネトロン発振装置における周波数検出部の構成を模式的に示す図である。

【 図 6 】 図 6 は、図 5 のバランスドミキサにおける入力端のマイクロ波の位相差と出力電圧との関係を示す図である。

【 図 7 】 図 7 は、本発明の第 5 の実施の形態に係るマグネトロン発振装置における周波数検出部の構成を模式的に示す図である。

【 図 8 】 図 8 は、図 7 に示す周波数検出部における検波出力と出力電圧との関係を示す図である。

【 図 9 】 図 9 は、本発明の第 6 の実施の形態に係るマグネトロン発振装置におけるマグネトロンおよびマグネトロン電源の構成を模式的に示す図である。

30

【 図 1 0 】 図 1 0 は、アノード電流とヒータ電圧との関係を示す図である。

【 図 1 1 】 図 1 1 は、本発明の第 7 の実施の形態に係るプラズマ処理装置の構成を模式的に示す図である。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 2 7 】

以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

## 【 0 0 2 8 】

## [ 第 1 の実施の形態 ]

図 1 に示すように、本発明に係る第 1 の実施の形態のマグネトロン発振装置 1 は、マグネトロン 2 と、マグネトロン電源 3 と、ランチャー 4 と、インピーダンス発生器 5 と、周波数結合器 6 と、周波数検出部 7 と、駆動電圧生成部 8 と、アイソレータ 9 とから構成される。

40

## 【 0 0 2 9 】

マグネトロン 2 は、マグネトロン発振装置 1 の発振管であり、マグネトロン電源 3 から電力の供給を受けて発振し、マイクロ波を出力する。マグネトロン発振装置 1 がプラズマ生成用のマイクロ波源として用いられる場合には、例えば発振周波数が 2 4 5 0 M H z 、出力電力が数 k W ~ 1 0 k W のマグネトロン 2 を用いることができる。

## 【 0 0 3 0 】

マグネトロン電源 3 は、マグネトロン 2 のヒータおよびカソードに電圧および電流を供給する電源である。マグネトロン電源 3 としては、安定度のよいスイッチングレギュレー

50

ター方式を用いた電源を使用して、電源変動による周波数変動を極力抑制することが望ましい。

【0031】

ランチャー4は、発振したマグネトロン2から効率よく出力電力を取り出す高周波結合器であり、一端がショートされた矩形導波管からなる。マグネトロン2は、ランチャー4に隣接して設けられ、アンテナがランチャー4の内部に突出しており、そのアンテナからマイクロ波を放射する。

【0032】

インピーダンス発生器5は、マグネトロン2の負荷サセプタンスを任意の値に設定する機能を有するものであり、定在波発生器としても作用する。マグネトロン2の負荷を変化させる方式は多種類ある。また、使用される伝送線路の種類により、導波管系、同軸系等に分類される。インピーダンス発生器5は、その一端がランチャー4の出力端に接続され、マグネトロン2の負荷サセプタンスの調整に用いられる。図2に、導波管系のインピーダンス発生器5の構成例を示す。

10

【0033】

図2Aに示すように、リアクタンススタブ方式のインピーダンス発生器5aは、矩形導波管50の管壁から管内へ3本のスタブ51a, 51b, 51cが突出する構造を有する。これらのスタブ51a~51cは、矩形導波管50の軸線Z方向に  $g/8$ ,  $g/4$  等の間隔で配設される。「g」は矩形導波管50の管内波長である。スタブ51a~51cには、入力される駆動信号に応じて、矩形導波管50の管内に突出する長さを調整するアクチュエータ(図示せず)が取り付けられている。スタブ51a~51cは断面が円形の金属棒からなり、矩形導波管50の管内に突出する長さによりスタブ51a~51cのリアクタンスが変化し、それに応じて矩形導波管50内のインピーダンスが変化する。なお、スタブの数は、1本以上であればよいが、3本の場合が主である。また、スタブは通常、矩形導波管50のH面に配設されるが、E面に配設されてもよい。

20

【0034】

図2Bは、導波管分岐形のインピーダンス発生器の一構成例を示す断面図である。このインピーダンス発生器5bは、矩形導波管50の管壁に対して垂直に3本の分岐導波管52a, 52b, 52cが接続された構造を有する。これらの分岐導波管52a~52cは、矩形導波管50の軸線Z方向に  $g/8$ ,  $g/4$  等の間隔で配設される。分岐導波管52a~52cのそれぞれは、一端が矩形導波管50内に開口し、他端がショート板53a~53cにより電気機能的にショートされている。ショート板53a~53cには、入力される駆動信号に応じて、分岐導波管52a~52c内部における位置を調整するアクチュエータ(図示せず)が取り付けられている。これにより、分岐導波管52a~52cのそれぞれの一端から他端までの長さを変化させることによって、直列リアクタンスが変化し、矩形導波管50内のインピーダンスが変化する。

30

【0035】

この他に、移相器とスタブチューナとを組み合わせたもの、3dB結合器と可変短絡器との組み合わせによるインピーダンス発生器、導波管4分岐形チューナ、スラグチューナ等をインピーダンス発生器5として用いることができる。また、同軸系のインピーダンス発生器5は、上述した導波管系の矩形導波管を同軸管に置き換えたものである。

40

【0036】

周波数結合器6は、通過電力の一部を取り出す機能を有するものであり、例えば、方向性結合器や電力分配器などからなる。周波数結合器6は、その一端がインピーダンス発生器5の出力端に接続され、第1の他端が周波数検出部7に、第2の他端がアイソレータ9に接続されている。これにより、マグネトロン2の出力電力の概ね  $1/1000000$  以下の電力を取り出して周波数検出部7に出力するとともに、これ以外の出力電力をアイソレータ9に出力する。

【0037】

周波数検出部7は、マグネトロン2の発振周波数と所定の周波数との「ずれ」に相当す

50

る直流電圧を出力する機能を有するものである。周波数検出部 7 は、出力端が駆動電圧生成部 8 に接続され、検出した「ずれ」に相当する直流電圧をずれ信号として駆動電圧生成部 8 に出力する。

【 0 0 3 8 】

駆動電圧生成部 8 は、ずれ信号を処理してインピーダンス発生器 5 の駆動信号を生成する機能を有するものであり、例えば増幅器などから構成される。駆動電圧生成部 8 は、出力端がインピーダンス発生器 5 に接続され、生成した駆動信号をインピーダンス発生器 5 に出力する。

【 0 0 3 9 】

アイソレータ 9 は、マイクロ波を負荷の方向に送出するとともに、負荷で反射されたマイクロ波（反射電力）を吸収する機能を有するものである。

10

【 0 0 4 0 】

このような構成のマグネトロン発振装置 1 において、マグネトロン 2 からランチャー 4 に放射されたマイクロ波は、インピーダンス発生器 5 を経由して、周波数結合器 6 を通過してアイソレータ 9 から負荷へ送られる。このとき、周波数検出部 7 は、マグネトロン 2 の発振周波数と所望する周波数とのずれを検出している。マグネトロン 2 の発振周波数が所望する周波数からずれると、周波数検出部 7 によりずれ信号が生成され、このずれ信号に基づき駆動電圧生成部 8 によりインピーダンス発生器 5 の駆動信号が生成され、この駆動信号に基づきインピーダンス発生器 5 によりマグネトロン 2 の負荷サセプタンスが調整される。これにより、マグネトロン 2 から出力されるマイクロ波の発振周波数を所定の周波数に近づける。このように、マグネトロン 2 の発振周波数と、ユーザが所望する所定の周波数とのずれの程度に応じて、インピーダンス発生器 5 でマグネトロン 2 の負荷サセプタンスを調整するように構成されたフィードバック回路を備えることにより、常に、マグネトロン 2 の発振周波数を所望する周波数に近づけようとする周波数制御機能が働く。これにより、マグネトロン 2 の発振周波数は所望する周波数となる。

20

【 0 0 4 1 】

このように、本実施の形態によれば、周波数検出部 7 により、マグネトロン 2 から出力されたマイクロ波の周波数と、ユーザが所定の所望する発振周波数からの「ずれ」を検出してずれ信号を生成し、駆動電圧生成部 8 により、そのずれ信号に基づいてマイクロ波の発振周波数が所望する周波数となるようインピーダンス発生器 5 の駆動電圧を生成して出力することにより、マグネトロン 2 の発振を制御することができるので、広範囲な出力電力において発振周波数の安定化を実現することができる。

30

【 0 0 4 2 】

また、周波数検出部 7 は、安価な mW クラスの部材で構成することができるので、従来のように基準信号発振器を用いた場合よりも低コスト化を実現することができる。

【 0 0 4 3 】

また、周波数検出部 7 は、受動部材で構成するために電力を必要としないので、ランニングコストを抑えることができる。

【 0 0 4 4 】

また、アイソレータ 9 を設けることにより、負荷からの反射電力を吸収でき、上記フィードバック回路の誤動作を防ぐことができる。

40

【 0 0 4 5 】

[ 第 2 の実施の形態 ]

次に、本発明に係る第 2 の実施の形態について説明する。なお、本実施の形態は、第 1 の実施の形態とインピーダンス発生器の構成を変えたものである。したがって、本実施の形態において、第 1 の実施の形態と同等の構成要素については、同じ名称および符号を付し、適宜説明を省略する。

【 0 0 4 6 】

インピーダンス発生器がスタブ等をモータで動かす機械的駆動方式の場合、その駆動に一定の作動時間を要するので、マグネトロンの発信周波数を所望する周波数に合致させる

50

のにも一定の時間が必要となる。そこで、本実施の形態では、インピーダンス発生器として、機械的駆動方式の装置の代わりにフェライト移相器を用いている。

【 0 0 4 7 】

フェライト移相器とは、導波管と、この導波管の内壁面に配置されたフェライトと、この導波管の外周に巻回されているコイルとから構成され、このコイルに電流を流して磁界を発生させ、またはコイルに流れる電流を変化させて磁界を変化させることにより、フェライトの磁気特性、主に透磁率を変化させて高周波の導波管内波長を変化させ、伝搬する高周波の位相を変化させるものである。したがって、本実施の形態において、駆動電圧生成部 8 は、周波数検出部 7 から入力されるずれ信号に基づいて、フェライト移相器のコイルに出力する電流を、駆動信号として生成する。

10

【 0 0 4 8 】

図 3 A に示すように、インピーダンス発生器 5 c は、複数の分岐導波管 5 4 を連結して導波管路を構成すると共に、導波管路を構成する分岐導波管 5 4 の側部に、フェライト移相器 5 5 の一端を連結し、各フェライト移相器 5 5 の他端を短絡板 5 6 によりそれぞれ短絡している。

第 1 の例のインピーダンス発生器 5 c は、導波管路にマグネトロン 2 から負荷に向かって導波管路内に高周波 H F を流し、この導波管路内の各フェライト移相器 5 5 の他端にそれぞれ対応する点 P において位相を変化させ、インピーダンスを変化させるものである。

【 0 0 4 9 】

なお、インピーダンス発生器は、図 3 B に示す構成としてもよい。この図 3 B に示すインピーダンス発生器 5 d は、分岐導波管 5 4 とフェライト移相器 5 5 を連結して導波管路を構成すると共に、導波管路を構成するフェライト移相器 5 5 の前に連結されている分岐導波管 5 4 の側部に、フェライト移相器 5 5 の一端を連結して接続し、このフェライト移相器 5 5 の他端に短絡板 5 6 を設けている。

20

第 2 例のインピーダンス発生器 5 d は、導波管路にマグネトロン 2 から負荷に向かって導波管路に高周波 H F を流し、この導波管路内のフェライト移相器 5 5 に対応する点 P と、導波管路を構成するフェライト移相器 5 5 とで位相を変化させ、インピーダンスを変化させるものである。

【 0 0 5 0 】

図 3 B に示すインピーダンス発生器 5 d では、導波管路を構成する分岐導波管 5 4 の側部に接続するフェライト移相器 5 5 の位置を、導波管路を構成するフェライト移相器 5 5 よりもマグネトロン 2 側としているが、その位置を、導波管路を構成するフェライト移相器 5 5 よりも負荷側としてもよい。

30

【 0 0 5 1 】

上記インピーダンス発生器 5 c , 5 b は、第 1 の実施の形態におけるインピーダンス発生器 5 が機械的駆動であるのに対し、電気（電子）的駆動とすることができる。したがって、作動速度を短縮することができ、1 ~ 2 sec であった作動時間を 1 0 ~ 2 0 msec にすることができる。さらに、故障しにくいことから、メンテナンスフリーとすることができる。

【 0 0 5 2 】

[ 第 3 の実施の形態 ]

次に、本発明に係る第 3 の実施の形態について説明する。なお、本実施の形態は、第 1 の実施の形態とアイソレータに対応する構成を変えたものである。したがって、本実施の形態において、第 1 の実施の形態と同等の構成要素については、同じ名称および符号を付し、適宜説明を省略する。

40

【 0 0 5 3 】

図 4 に示すように、本実施の形態に係るマグネトロン発振装置 1 0 は、マグネトロン 2 と、マグネトロン電源 3 と、ランチャー 4 と、インピーダンス発生器 5 と、周波数結合器 6 と、周波数検出部 7 と、駆動電圧生成部 8 と、基準信号供給部 1 1 とから構成される。

【 0 0 5 4 】

50

ここで、基準信号供給部 11 は、基準信号をマグネトロン 2 に供給するものであり、少なくとも、基準信号発振器 12 と、非可逆部材 13 と、サーキュレータ 14 とを有する。

【0055】

基準信号発振器 12 は、基準信号を発振する発振器であり、マグネトロン 2 よりも出力電力が低くかつ発振周波数が安定した発振器が用いられる。例えば、水晶発振器または誘電体共振器を使用した DRO 等を原振とし、増幅、逡倍を行い、数 W ~ 数 10 W の出力電力を得る。基準信号発振器 12 の発振周波数、すなわち基準信号の周波数は、マグネトロン 2 の発振周波数を固定する所望の周波数に設定される。例えば、マグネトロン 2 の発振周波数を 2450 MHz に固定する場合には、その 2450 MHz の基準信号が用いられる。

10

【0056】

非可逆部材 13 は、一端が基準信号発振器 12 の出力端に、他端がサーキュレータ 14 の一方の入力端に接続されて、基準信号発振器 12 からの基準信号をサーキュレータ 14 に伝送する一方、その逆方向へは伝送させないものである。

【0057】

サーキュレータ 14 は、非可逆部材 13 の出力端に一端が接続され、基準信号発振器 12 からの基準信号を、周波数結合器 6 を通してマグネトロン 2 に導くとともに、周波数結合器 6 からのマグネトロン 2 の出力電力を負荷の方向へ導く機能を有する。

【0058】

本実施の形態では、周波数結合器 6 によりマグネトロン 2 からのマイクロ波の一部を抽出し、周波数検出部 7 により抽出したマイクロ波の周波数と所定の周波数とのずれを検出してずれ信号を生成し、駆動電圧生成部 8 によりそのずれ信号に基づいてインピーダンス発生器 5 の駆動信号を生成し、インピーダンス発生器 5 によりその駆動信号に基づいてマグネトロン 2 の負荷サセプタンスを調整することにより、マグネトロン 2 の発振周波数を所望する周波数に近づけようとする周波数制御機能が機能している。このような状態において、基準信号供給部 11 により所望する周波数の基準信号を注入することにより、マグネトロン 2 の発振周波数は、周波数制御機能によって常に基準振動の周波数に近づけられ、インジェクションロック機能が働く範囲内に入ると同時に、所望する周波数に固定される。これにより、周波数制御機能の動作途中でインジェクションロック機能が働き、所望する周波数に固定されるので、マグネトロン 2 の発振周波数が所望する周波数に合致するまで時間をさらに短縮することができる。

20

30

【0059】

なお、本実施の形態において、インピーダンス発生器 5 を第 2 の実施に示したインピーダンス発生器 5c、5b にしてもよいことは言うまでもない。

また、本実施の形態において、非可逆部材 13 は設けないようにしてもよい。

また、本実施の形態において、基本信号供給部 11 の入力端が周波数結合器 6 の出力端に接続されているが、基準信号供給部 11 の入力端をインピーダンス発生器 5 の出力端に、基準信号供給部 11 の出力端を周波数結合器 6 の入力端に接続するようにしてもよい。

【0060】

[第 4 の実施の形態]

次に、本発明に係る第 4 の実施の形態について説明する。なお、本実施の形態は、第 1 の実施の形態と周波数検出部の構成を変えたものである。したがって、本実施の形態において、第 1 の実施の形態と同等の構成要素については、同じ名称および符号を付して、適宜説明を省略する。

40

【0061】

図 5 に示すように、周波数検出部 7a は、電力分配器 71 と、バランスドミキサー 72 と、ディレイライン 73 とを備えている。

【0062】

電力分配器 71 は、分割回路として機能するものであり、周波数結合器 6 の一方の出力端が接続されている。また、電力分配器 71 は、2 つの出力端を有しており、一方がバラ

50

ンスドミキサー 72 に、他方がディレーライン 73 に接続されている。

【0063】

バランスドミキサー 72 は、位相検波器として機能するものである。このバランスドミキサーは、2つの入力端を有しており、その第1の入力端が電力分配器 71 に、第2の入力端がディレーライン 73 に接続されている。また、バランスドミキサー 72 の出力端は、駆動電圧生成部 8 に接続されている。

【0064】

ディレーライン 73 は、移相回路として機能するものである。

【0065】

このような周波数検出部 7a において、周波数結合器 6 から入力されたマイクロ波（周波数  $f$ ）は、電力分配器 71 により二分割され、その一方（第1の経路）がバランスドミキサー 72 の第1の入力端に、他方（第2の経路）がディレーライン 73 を経てバランスドミキサー 72 の第2の入力端に入力される。

10

【0066】

ここで、ディレーライン 73 の電気長  $L$ 、マイクロ波が経路を伝搬するときの速度  $C$ 、および、マイクロ波が第1の経路および第2の経路をそれぞれ通過するのに有する時間の差  $T$  は、下式（1）に示す関係を有する。

【0067】

$$T = L / C \quad \dots (1)$$

【0068】

上式（1）から、バランスドミキサー 72 の第1の入力端と第2の入力端におけるマイクロ波の位相差は、下式（2）で表される。

20

【0069】

$$= 2 \pi f T = 2 \pi f (L / C) \quad \dots (2)$$

【0070】

入力端での位相差が  $\theta$  であるマイクロ波が入力したとき、バランスドミキサー 72 の出力電圧は、下式（3）で表される。なお、下式（3）において、 $k$  はバランスドミキサー 72 の感度等により決まる定数、 $P$  はマイクロ波の入力電力である。

【0071】

$$V_{OUT} = k P \cos \theta \quad \dots (3)$$

30

【0072】

上式（3）により、位相差  $\theta$  が  $\pi / 2$  の奇数倍、すなわち  $\theta = \pi / 2, 3\pi / 2, 5\pi / 2, \dots$  のとき、 $V_{OUT} = 0$  となり、 $V_{OUT}$  と  $\theta$  の関係は、図 6 の符号 a で示すような  $\cos$  曲線となる。

【0073】

所望する周波数（ $f_0$ ）のマイクロ波が入力されたとき、周波数検出部 7a（バランスドミキサー 72）の出力電圧が 0 V となるように、ディレーライン 73 の電気長（ $L$ ）を設定すると、周波数検出部 7a に入力されるマイクロ波の周波数  $f$  とその位相差  $\theta$  の関係は、上式（2）により下式（4）で表されるように、比例関係となることがわかる。したがって、 $f$  と  $V_{OUT}$  との関係は、上式（3）の  $\theta$  を  $f / K$  で置き換えたものとなり、図 6 で横軸を  $f$  に置換えた  $\cos$  曲線となる。

40

【0074】

$$f = (1 / 2 \pi) \times (C / L) \times \theta = K \theta \quad \dots (4)$$

（ $K = (1 / 2 \pi) \times (C / L)$ ：定数）

【0075】

すなわち、周波数検出部 7a は、所望する周波数よりずれた周波数のマイクロ波が入力されると、その「ずれ」に相当する電圧（ずれ信号）を生成してこれを駆動電圧生成部 8 に入力する。このずれ信号に基づいて、駆動電圧生成部 8 は駆動信号を生成する。この駆動信号に基づきインピーダンス発生器 5 によりサセプタンスが所定の値に設定されることにより、マグネトロン 2 の発振周波数を所望する周波数に近づけようとする周波数制御機

50

能が働くこととなる。

【 0 0 7 6 】

なお、第 3 の実施の形態における周波数検出部 7 を、本実施の形態に係る周波数検出部 7 a にしてもよいことは言うまでもない。

【 0 0 7 7 】

[ 第 5 の実施の形態 ]

次に、本発明に係る第 5 の実施の形態について説明する。なお、本実施の形態は、上述した第 4 の実施の形態と同様、第 1 の実施の形態と周波数検出部の構成を変えたものである。したがって、本実施の形態において、第 1 の実施の形態と同等の構成要素については、同じ名称および符号を付して、適宜説明を省略する。

10

【 0 0 7 8 】

図 7 に示すように、周波数検出部 7 b は、分割回路 7 4 と、第 1 の共振回路 7 5 と、第 2 の共振回路 7 6 と、第 1 の検波回路 7 7 と、第 2 の検波回路 7 8 と、加算回路 7 9 とを備えている。

【 0 0 7 9 】

分割回路 7 4 は、入力されたマイクロ波を分割するものであり、1つの入力端と2つの出力端を備えている。その入力端には、周波数結合器 6 の一方の出力端が接続され、2つの出力端の一方は第 1 の共振回路 7 5 に、他方は第 2 の共振回路 7 6 に接続されている。

【 0 0 8 0 】

第 1 の共振回路 7 5 は、所望の周波数  $f_0$  より  $f$  だけ大きい所定の周波数 ( $f_0 + f$ ) に対して共振するものである。第 1 の共振回路 7 5 の出力端は、第 1 の検波回路 7 7 に接続されている。

20

【 0 0 8 1 】

第 2 の共振回路 7 6 は、所望の周波数  $f_0$  より  $f$  だけ小さい所定の周波数 ( $f_0 - f$ ) に対して共振するものである。第 2 の共振回路 7 6 の出力端は、第 2 の検波回路 7 8 に接続されている。

【 0 0 8 2 】

第 1 の検波回路 7 7 は、入力されたマイクロ波に対応する検波出力を生成するものである。第 1 の検波回路 7 7 の出力端は、加算回路 7 9 に接続されている。

【 0 0 8 3 】

第 2 の検波回路 7 8 は、入力されたマイクロ波に対応する検波出力を生成するものである。第 2 の検波回路 7 8 の出力端は、加算回路 7 9 に接続されている。

30

【 0 0 8 4 】

加算回路 7 9 は、2つの入力端から入力された検波出力を加算するものである。加算回路 7 9 の出力端は、駆動電圧生成部 8 に接続されている。

【 0 0 8 5 】

このような周波数検出部 7 b において、周波数結合器 6 から入力されたマイクロ波 (周波数  $f$ ) は、分割回路 7 4 により二分割され、その一方は周波数 ( $f_0 + f$ ) に共振する第 1 の共振回路 7 5 を経て第 1 の検波回路 7 7 に入力され、他方は周波数 ( $f_0 - f$ ) に共振する第 2 の共振回路 7 6 を経て第 2 の検波回路 7 8 に入力される。第 1 の検波回路 7 7 の検波出力を正の電圧出力  $V_+$ 、第 2 の検波回路 7 8 の検波出力を負の電圧出力  $V_-$  とすると、それぞれは図 8 に示すような検波特性を示す。

40

【 0 0 8 6 】

第 1 の検波回路 7 7 と第 2 の検波回路 7 8 の検波出力は、加算回路 7 9 により加算され、駆動電圧生成部 8 に入力される。加算回路 7 9 の出力電力  $V_{OUT}$  は、図 8 に示すような  $f_0$  からのずれに比例する特性を示す。

【 0 0 8 7 】

したがって、周波数検出部 7 b への入力周波数 ( $f$ ) を所望する周波数 ( $f_0$ ) に設定すると、上述したように、マグネトロン 2 の発振周波数が所望する周波数のときは、加算回路 7 9 の出力電圧  $V_{OUT} = 0 V$  となる。一方、マグネトロン 2 の発振周波数が所望する

50

周波数からずれた場合は、加算回路 79 の出力電圧  $V_{OUT}$  にはその「ずれ」に相当した電圧（ずれ信号）が発生する。このずれ信号が駆動電圧生成部 8 に入力されると、駆動電圧生成部 8 は、そのずれ信号に基づく駆動信号を生成する。この駆動信号に基づきインピーダンス発生器 5 によりマグネトロン 2 の負荷サセプタンスが所定の値に設定されることにより、マグネトロン 2 の発振周波数を所望する周波数に近づけようとする周波数制御機能が働くこととなる。

【0088】

なお、第 3 の実施の形態における周波数検出部 7 を、本実施の形態に係る周波数検出部 7b にしてもよいことは言うまでもない。

【0089】

[第 6 の実施の形態]

次に、本発明に係る第 6 の実施の形態について説明する。なお、本実施の形態は、第 1 の実施の形態とマグネトロンおよびマグネトロン電源の構成を変えたものである。したがって、本実施の形態において、第 1 の実施の形態と同等の構成要素については、同じ名称および符号を付して、適宜説明を省略する。

【0090】

図 9 に示すように、マグネトロン 2a は、カソードとヒータとが一体となったヒータ/カソード H/K と、アノード A とを有している。図示しないが、アノード A は複数に分割され、これらが共振回路（共振回路）により接続されている。また、アノード A と同心的にヒータ/カソード H/K が設けられている。

【0091】

ヒータ/カソード H/K の両端には、マグネトロン電源 3a のヒータ電源 31 が接続されている。ヒータ電源 31 でヒータ/カソード H/K にヒータ電源を印加することにより、ヒータ/カソード H/K が加熱され、ヒータ/カソード H/K から電子が放出される。

ヒータ/カソード H/K の一端にはさらに、マグネトロン電源 3a のアノード電源 32 が接続されている。アースに接続されたアノード A に対し、負の電圧をアノード電源 32 からヒータ/カソード H/K に印加することにより、ヒータ/カソード H/K とアノード A との間に電界が形成され、ヒータ/カソード H/K からアノード A に向けて電子が放出される。

この状態で、ヒータ/カソード H/K と平行（電界と直角方向）に磁界を印加すると、マイクロ波 M が発振する。

【0092】

このようにしてマグネトロン 2a を動作させると、ヒータ/カソード H/K からアノード A に向けて放出された電子のうち、ヒータ/カソード H/K に戻ってきた電子が衝突することにより、ヒータ/カソード H/K が異常に加熱される現象が起きる。この現象を「バックヒーティング」と言う。発振を強くすればするほど、すなわち出力電力 P を大きくすればするほど、バックヒーティングが激しく起こり、ヒータ/カソード H/K の温度が必要以上に高くなる。

【0093】

マグネトロン 2a の出力電力 P に応じてアノード電流が大きくなるので、本実施の形態では、ヒータ電源 31 を用いてアノード電流に逆比例してヒータ電圧を下げ、ヒータ/カソード H/K への加熱を抑制する。

図 10 は、アノード電流とヒータ電圧との関係を示すグラフである。「Max」はアノード電流に対するヒータ電圧の上限、「Min」は下限をそれぞれ表している。このグラフにしたがい、ヒータ電源 31 を用いてヒータ電圧を制御することにより、バックヒーティングを防止することができる。

【0094】

なお、本実施の形態に係るマグネトロン 2a およびマグネトロン電源 3a は、上述した第 2 - 5 の形態にも適用してよいことは言うまでもない。

【0095】

10

20

30

40

50

[ 第 7 の実施の形態 ]

次に、本発明に係る第 7 の実施の形態について説明する。

上述したマグネトロン発振装置 1, 10 は、プラズマ処理装置のマイクロ波電源として用いることができる。マグネトロン発振装置 1, 10 が用いられたプラズマ処理装置の一構成例を図 11 に示す。

【 0 0 9 6 】

図 11 に示すプラズマ処理装置は、上部が開口した有底円筒形の処理容器 81 を有している。処理容器 81 の底面中央部には、絶縁板 82 を介して載置台 83 が固定されている。載置台 83 の上面に、処理対象の基板 84 が配置される。

処理容器 81 の底面周縁部には、真空排気用の排気口 85 が設けられている。処理容器 81 の側壁には、処理容器 81 内にガスを導入するガス導入用ノズル 86 が設けられている。例えばプラズマ処理装置がエッチング装置として用いられる場合には、ノズル 86 から Ar 等のプラズマガスと、CF<sub>4</sub>等のエッチングガスとが導入される。

【 0 0 9 7 】

処理容器 81 の上部開口は、誘電体板 87 で閉塞されている。なお、処理容器 81 の側壁上面と誘電体板 87 との間に Oリングなどのシール部材 88 を介在させ、処理容器 81 内の気密性を確保している。

誘電体板 87 の上には、処理容器 81 内にマイクロ波 M を供給するマイクロ波供給装置 90 のアンテナであるラジアルラインスロットアンテナ ( R L S A ) 99 が配設されている。R L S A 99 および誘電体板 87 の外周は、処理容器 81 の側壁上に環状に配置されたシールド材 89 によって覆われ、R L S A 99 から処理容器 81 内に供給されるマイクロ波が外部に漏れない構造になっている。

【 0 0 9 8 】

マイクロ波供給装置 90 は、マイクロ波電源としてのマグネトロン発振装置 1, 10 と、伝送モードが TE<sub>10</sub> の矩形導波管 91 と、伝送モードを TE<sub>10</sub> から TE<sub>11</sub> または TM<sub>01</sub> に変換する矩形円筒変換器 92 と、伝送モードが TE<sub>11</sub> または TM<sub>01</sub> の円筒導波管 93 と、円筒導波管 93 に設けられた負荷整合器 94 と、円筒導波管 93 に接続されるラジアル導波路 95 と、ラジアル導波路 95 の下面に形成される R L S A 99 とを有している。

ここで、ラジアル導波路 95 は、互いに平行な 2 枚の円形導体板 96, 97 と、これら 2 枚の導体板 96, 97 の外周部を接続してシールドする導体リング 98 とを有する。ラジアル導波路 95 の上面となる導体板 96 の中心部には、円筒導波管 93 が接続される。また、ラジアル導波路 95 の下面となる導体板 97 には、複数のスロットが形成され、これらのスロットから R L S A 99 が構成される。

【 0 0 9 9 】

このような構成のプラズマ処理装置において、マグネトロン発振装置 1, 10 がマイクロ波 M を発振すると、このマイクロ波 M は矩形導波管 91、矩形円筒変換器 92 および円筒導波管 93 を介して、ラジアル導波路 95 に導入される。そして、ラジアル導波路 95 に導入されたマイクロ波 M は、ラジアル導波路 95 の中心部から周縁部へ向かって放射状に伝搬しつつ、ラジアル導波路 95 下面の R L S A 99 から徐々に処理容器 81 内に供給される。処理容器 81 内では、供給されたマイクロ波 M により、ノズル 86 から導入されたプラズマガスが電離してプラズマ P が生成され、基板 84 に対する処理が行われる。

【 0 1 0 0 】

マグネトロン発振装置 1, 10 は、マグネトロン 2, 2a を発振管とするため、半導体発振装置やクライストロン発振装置と比較して、はるかに安価で製造することができる。このため、このマグネトロン発振装置 1, 10 をプラズマ処理装置のマイクロ波電源として用いることにより、プラズマ処理装置の製造コストを抑制することができる。

しかも、マグネトロン発振装置 1, 10 は、半導体発振装置やクライストロン発振装置と同じく周波数安定度がよく、モーディングも起きない。このため、周波数依存性のある要素を多く含むプラズマ処理装置の動作を安定化し、かつ、一定化することができる。また、帯域特性を考慮しなくてもよいので、プラズマ処理装置の放電電極 ( 本実施の形態に

10

20

30

40

50

おいては、ラジアル導波路 9 5 および R L S A 9 9 ) 等の設計が容易になる。

【 0 1 0 1 】

なお、マグネトロン発振装置 1 , 1 0 は、他方式のプラズマ処理装置にも用いることができる。例えば、電子サイクロトロン共鳴 ( electron-cyclotron-resonance : E C R ) プラズマ処理装置にも用いることができる。

【 0 1 0 2 】

また、本実施の形態において、第 2 - 6 の実施の形態を適用してもよいことは言うまでもない。

【産業上の利用可能性】

【 0 1 0 3 】

本発明は、例えば、プロセス処理装置、医用加速器、通信装置など、マイクロ波を用いる各種装置に適用することができる。

【符号の説明】

【 0 1 0 4 】

1 , 1 0 ... マグネトロン発振装置、 2 , 2 a ... マグネトロン、 3 , 3 a ... マグネトロン電源、 4 ... ランチャー、 5 , 5 a ~ 5 d ... インピーダンス発生器、 6 ... 周波数結合器、 7 , 7 a , 7 b ... 周波数検出部、 8 ... 駆動電圧生成部、 9 ... アイソレータ、 1 1 ... 基準信号供給部、 1 2 ... 基準信号発振器、 1 3 ... 非可逆部材、 1 4 ... サーキュレータ、 5 0 ... 矩形導波管、 5 1 a ~ 5 1 c ... スタブ、 5 2 a ~ 5 2 c ... 分岐導波管、 5 3 a ~ 5 3 c ... ショート板、 5 4 ... 分岐導波管、 5 5 ... フェライト移相器、 5 6 ... 短絡板、 7 1 ... 電力分配器、 7 2 ... バランスドミキサー、 7 3 ... ディレーライン、 7 4 ... 分割回路、 7 5 ... 第 1 の共振回路、 7 6 ... 第 2 の共振回路、 7 7 ... 第 1 の検波回路、 7 8 ... 第 2 の検波回路、 7 9 ... 加算回路、 8 1 ... 処理容器、 8 2 ... 絶縁板、 8 3 ... 載置台、 8 4 ... 基板、 8 5 ... 排気口、 8 6 ... ガス導入用ノズル、 8 7 ... 誘電体板、 8 8 ... シール部材、 8 9 ... シールド材、 9 0 ... マイクロ波供給装置、 9 1 ... 矩形導波管、 9 2 ... 矩形円筒変換器、 9 3 ... 円筒導波管、 9 4 ... 負荷整合器、 9 5 ... ラジアル導波路、 9 6 , 9 7 ... 円形導体板、 9 8 ... リング部材、 9 9 ... ラジアルラインスロットアンテナ ( R L S A ) 、 A ... アノード、 H / K ... ヒータ / カソード、 M ... マイクロ波。

【要約】

【課題】発信周波数をより安定させることができるマグネトロン発振装置およびプラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】周波数検出部 7 は、マグネトロン 2 から出力されたマイクロ波の周波数と、ユーザが所定の所望する発信周波数からの「ずれ」を検出してずれ信号を生成する。駆動電圧生成部 8 は、そのずれ信号に基づいてマイクロ波の発振周波数が所望する周波数となるようインピーダンス発生器 5 の駆動電圧を生成して出力する。これにより、マグネトロン 2 の発振を制御することができるので、広範囲な出力電力において発振周波数の安定化を実現することができる。

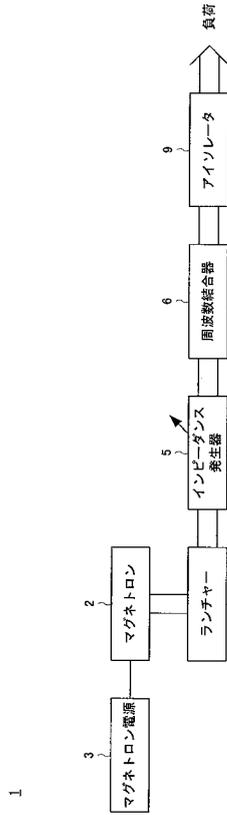
【選択図】 図 1

10

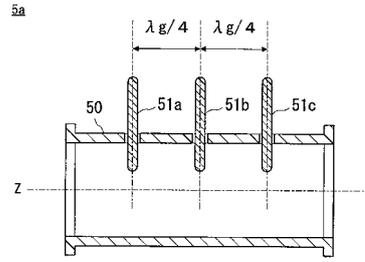
20

30

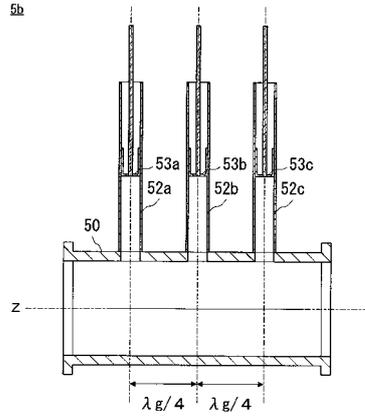
【図1】



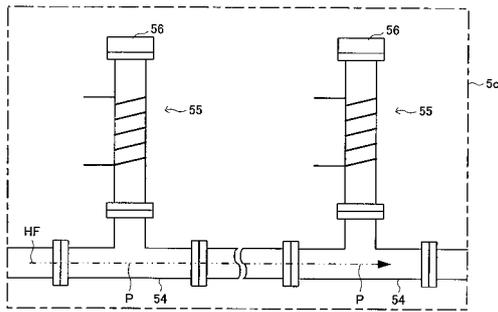
【図2A】



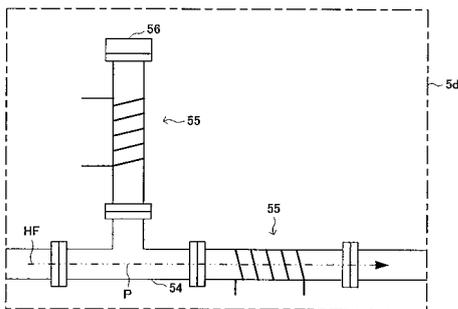
【図2B】



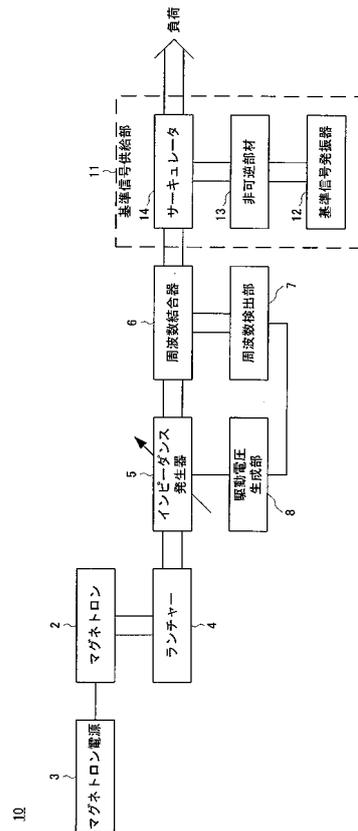
【図3A】



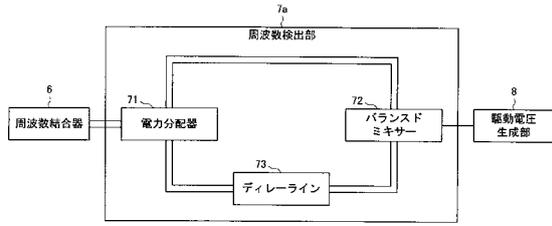
【図3B】



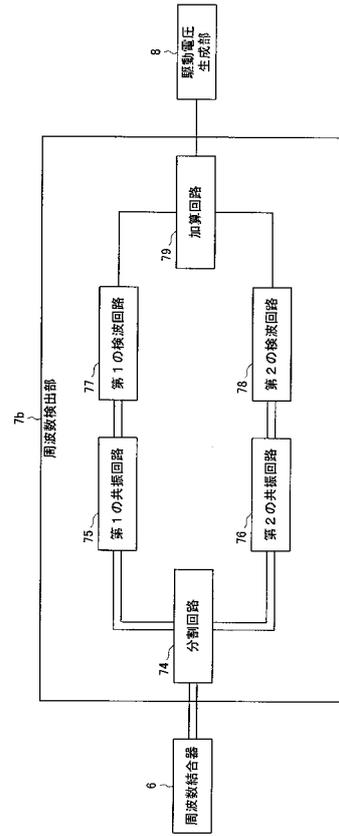
【図4】



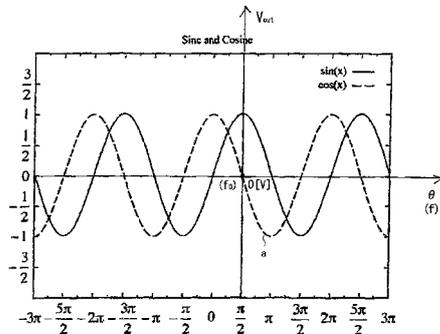
【図5】



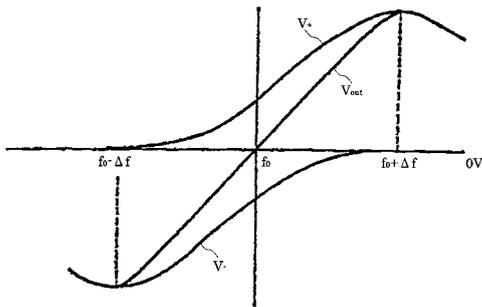
【図7】



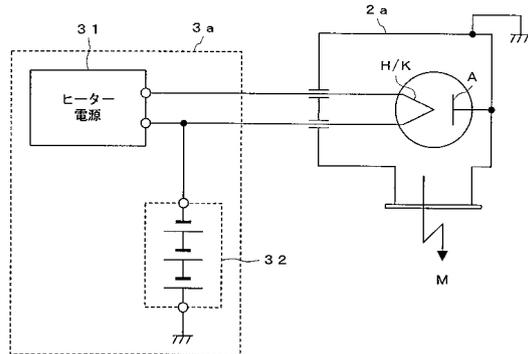
【図6】



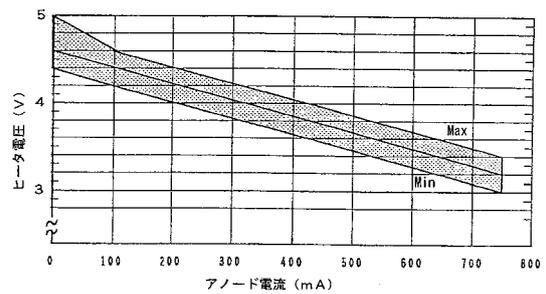
【図8】



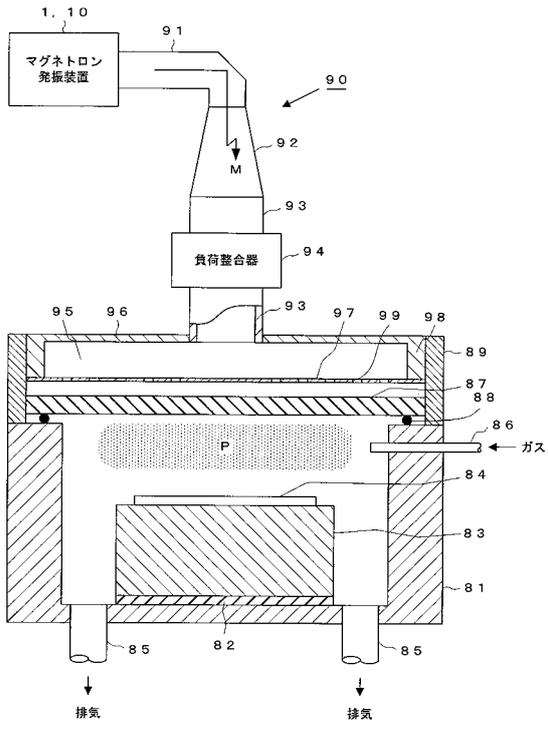
【図9】



【図10】



【図11】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-094214(JP,A)  
特開昭60-123110(JP,A)  
特開2002-043848(JP,A)  
特開2009-124628(JP,A)  
特開昭58-103236(JP,A)  
特開平03-140030(JP,A)  
特開昭55-071327(JP,A)  
特開昭61-228708(JP,A)  
特開2004-312566(JP,A)  
特開2005-117451(JP,A)  
特開2007-082171(JP,A)  
特開2007-082172(JP,A)  
特開平08-195277(JP,A)  
特開昭61-001101(JP,A)