

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5399151号
(P5399151)

(45) 発行日 平成26年1月29日(2014.1.29)

(24) 登録日 平成25年11月1日(2013.11.1)

(51) Int.Cl.

F 1

H05H 1/46 (2006.01)

H05H 1/46

L

H01L 21/3065 (2006.01)

H05H 1/46

R

C23C 16/507 (2006.01)

H01L 21/302 101C

C23C 16/507

請求項の数 8 (全 26 頁)

(21) 出願番号

特願2009-165598 (P2009-165598)

(22) 出願日

平成21年7月14日 (2009.7.14)

(65) 公開番号

特開2010-135298 (P2010-135298A)

(43) 公開日

平成22年6月17日 (2010.6.17)

審査請求日

平成24年5月10日 (2012.5.10)

(31) 優先権主張番号

特願2008-275580 (P2008-275580)

(32) 優先日

平成20年10月27日 (2008.10.27)

(33) 優先権主張国

日本国 (JP)

(73) 特許権者 000219967

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂五丁目3番1号

(74) 代理人 10009944

弁理士 高山 宏志

(72) 発明者 佐々木 和男

東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内

(72) 発明者 齊藤 均

東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内

(72) 発明者 佐藤 亮

東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂Bizタワー 東京エレクトロン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】誘導結合プラズマ処理装置、プラズマ処理方法及び記憶媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被処理基板を収容してプラズマ処理を施す処理室と、
前記処理室内で被処理基板が載置される載置台と、
前記処理室内に処理ガスを供給する処理ガス供給系と、
前記処理室内を排気する排気系と、
前記処理室の外部に誘電体部材を介して配置され、高周波電力が供給されることにより前記処理室内に誘導電界を形成するアンテナ回路と、
前記アンテナ回路に並列に接続された並列回路と、を具備し、

前記アンテナ回路のインピーダンスと前記並列回路のインピーダンスとを逆位相にして
、前記処理室内に誘導結合プラズマを生成するように構成され、
前記並列回路が可変コンデンサを含み、該可変コンデンサが整合回路の一部をなし、

前記処理室内に前記誘導結合プラズマを生成するに当たり、前記可変コンデンサの容量の値が、前記アンテナ回路と前記並列回路とが並列共振とならないような値に制御されることを特徴とする誘導結合プラズマ処理装置。

【請求項 2】

前記アンテナ回路と前記並列回路とが並列共振とならないような値は、前記アンテナ回路と前記並列回路との並列共振点から前記アンテナ回路および前記並列回路のインピーダンスが容量性領域において最大値となる値まで、及び前記並列共振点から前記アンテナ回路および前記並列回路のインピーダンスが誘導性領域において最大値となる値までを除い

た値であることを特徴とする請求項1に記載の誘導結合プラズマ処理装置。

【請求項3】

前記可変コンデンサを含む前記整合回路は、前記誘導結合プラズマ処理装置を動作させている際に、前記整合回路に含まれた前記可変コンデンサと前記アンテナ回路との間に循環電流が流れるように、インピーダンス整合を行うことを特徴とする請求項2に記載の誘導結合プラズマ処理装置。

【請求項4】

被処理基板を収容してプラズマ処理を施す処理室と、
前記処理室内で被処理基板が載置される載置台と、
前記処理室内に処理ガスを供給する処理ガス供給系と、
前記処理室内を排気する排気系と、

10

前記処理室の外部に誘電体部材を介して配置され、高周波電力が供給されることにより前記処理室内に誘導電界を形成するアンテナ回路と、前記アンテナ回路に並列に接続された並列回路と、を具備し、前記並列回路が可変コンデンサを含み、該可変コンデンサが整合回路の一部をなす誘導結合プラズマ処理装置を用いたプラズマ処理方法であって、

前記アンテナ回路のインピーダンスと前記並列回路のインピーダンスとを逆位相とし、かつ、前記アンテナ回路と前記並列回路とが並列共振する並列共振点を用いずに、前記処理室内に誘導結合プラズマを生成することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項5】

さらに、前記並列共振点から容量性領域における前記アンテナ回路および前記並列回路のインピーダンスの最大値までの領域、及び前記並列共振点から誘導性領域における前記アンテナ回路および前記並列回路のインピーダンスの最大値までの領域を用いずに、前記処理室内に前記誘導結合プラズマを生成することを特徴とする請求項4に記載のプラズマ処理方法。

20

【請求項6】

前記可変コンデンサを含む前記整合回路は、前記誘導結合プラズマ処理装置を動作させている際に、前記整合回路に含まれた前記可変コンデンサと前記アンテナ回路との間に循環電流が流れるように、インピーダンス整合を行うことを特徴とする請求項5に記載のプラズマ処理方法。

【請求項7】

30

前記可変コンデンサの容量の値を制御して、前記並列回路の電流値を制御し、前記処理室内に形成される誘導結合プラズマのプラズマ電子密度分布を制御することを特徴とする請求項4から請求項6のいずれか一項に記載のプラズマ処理方法。

【請求項8】

コンピュータ上で動作する制御プログラムが記憶されたコンピュータ読取可能な記憶媒体であって、

前記制御プログラムが、実行時に、請求項4から請求項7のいずれか一項に記載のプラズマ処理方法が行われるように誘導結合プラズマ処理装置を制御させることを特徴とするコンピュータ読取可能な記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【0001】

この発明は、液晶表示装置（LCD）等のフラットパネルディスプレイ（FPD）製造用のガラス基板等の基板にプラズマ処理を施す誘導結合プラズマ処理装置、プラズマ処理方法及びプラズマ処理方法を誘導結合プラズマ処理装置に実行させるプログラムが格納されたコンピュータ読み取り可能な記憶媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

液晶表示装置（LCD）等の製造工程においては、ガラス基板に所定の処理を施すために、プラズマエッチング装置やプラズマCVD成膜装置等の種々のプラズマ処理装置が用

50

いられる。このようなプラズマ処理装置としては従来、容量結合プラズマ処理装置が多用されていたが、近時、高真密度で高密度のプラズマを得ることができるという大きな利点を有する誘導結合プラズマ(Inductively Coupled Plasma: ICP)処理装置が注目されている。

【0003】

誘導結合プラズマ処理装置は、被処理基板を収容する処理容器の誘電体窓の外側に高周波アンテナを配置し、処理容器内に処理ガスを供給するとともにこの高周波アンテナに高周波電力を供給することにより、処理容器内に誘導結合プラズマを生じさせ、この誘導結合プラズマによって被処理基板に所定のプラズマ処理を施すものである。誘導結合プラズマ処理装置の高周波アンテナとしては、平面状の所定パターンをなす平面アンテナが多用されている。10

【0004】

このような、平面アンテナを用いた誘導結合プラズマ処理装置では、処理容器内の平面アンテナ直下の空間にプラズマが生成されるが、その際に、アンテナ直下の各位置での電界強度に比例して高プラズマ密度領域と低プラズマ領域の分布を持つことから、平面アンテナのパターン形状がプラズマ密度分布を決める重要なファクターとなっている。

【0005】

ところで、一台の誘導結合プラズマ処理装置が対応すべきアプリケーションは一つとは限らず、複数のアプリケーションに対応する必要がある。その場合には、それぞれのアプリケーションにおいて均一な処理を行うためにプラズマ密度分布を変化させる必要があり、そのために高密度領域および低密度領域の位置を異ならせるように異なる形状のアンテナを複数準備してアプリケーションに応じてアンテナを取り替えることが行われている。20

【0006】

しかしながら、複数のアプリケーションに対応して複数のアンテナを準備し、異なるアプリケーションごとに交換することは非常に多くの労力を要し、また、近時、LCD用のガラス基板が著しく大型化していることからアンテナ製造費用も高価なものとなっている。

【0007】

また、このように複数のアンテナを用意したとしても、与えられたアプリケーションにおいて必ずしも最適条件とは限らず、プロセス条件の調整により対応せざるを得ない。30

【0008】

これに対して、特許文献1には、渦巻き形アンテナを内側部分と外側部分の2つに分割して、各々に独立した高周波電流を流すようにしたプラズマ処理装置が開示されている。このような構成によれば、内側部分へ供給するパワーと外側部分へ供給するパワーとを調整することにより、プラズマ密度分布を制御することができる。

【0009】

しかしながら、特許文献1に記載された技術では、渦巻き形アンテナの内側部分用の高周波電源と外側部分用の高周波電源の2つの高周波電源を設けるか、または電力分配回路を設ける必要があり、装置が大がかりなものとなり、装置コストが高いものとなる。また、この場合は電力ロスが大きく電力コストが高くなり、かつ高精度のプラズマ密度分布制御を行うことが困難である。40

【0010】

そこで、特許文献2には、処理室内の主に外側部分に誘導電界を形成する外側アンテナ部と、主に内側部分に誘導電界を形成する内側アンテナ部とを有する高周波アンテナを配置し、外側アンテナ部と内側アンテナ部の一方に可変コンデンサを接続し、この可変コンデンサの容量を調節することにより、外側アンテナ部および内側アンテナ部の電流値を制御し、処理室内に形成される誘導結合プラズマのプラズマ電子密度分布を制御する誘導結合プラズマ処理装置が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

20

30

40

50

【0011】

【特許文献1】特許第3077009号公報

【特許文献2】特開2007-311182号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

特許文献2に記載された誘導結合プラズマ処理装置によれば、外側アンテナ部および内側アンテナ部の電流値を制御することで、アンテナを交換することなく、処理室内に形成される誘導結合プラズマのプラズマ電子密度分布を制御することができる。

【0013】

10

しかし、特許文献2においては、プラズマ電子密度分布を制御することはできるものの、パワー効率は、例えば、特許文献1に記載された誘導結合プラズマとほとんど変わらない。このため、より高密度のプラズマを得ようとする場合には、従来通り、外側アンテナ部と内側アンテナ部とに供給する高周波電力の電力量を上げなければならなかった。

【0014】

この発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、よりパワー効率が良い誘導結合プラズマ処理装置、プラズマ処理方法及びこのプラズマ処理方法を誘導結合プラズマ処理装置に実行させるプログラムが格納されたコンピュータ読み取り可能な記憶媒体を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0015】

上記課題を解決するため、この発明の第1の態様に係る誘導結合プラズマ処理装置は、被処理基板を収容してプラズマ処理を施す処理室と、前記処理室内で被処理基板が載置される載置台と、前記処理室内に処理ガスを供給する処理ガス供給系と、前記処理室内を排気する排気系と、前記処理室の外部に誘電体部材を介して配置され、高周波電力が供給されることにより前記処理室内に誘導電界を形成するアンテナ回路と、前記アンテナ回路に並列に接続された並列回路と、を具備し、前記アンテナ回路のインピーダンスと前記並列回路のインピーダンスとを逆位相にして、前記処理室内に誘導結合プラズマを生成するように構成され、前記並列回路が可変コンデンサを含み、該可変コンデンサが整合回路の一部をなし、前記処理室内に前記誘導結合プラズマを生成するに当たり、前記可変コンデンサの容量の値が、前記アンテナ回路と前記並列回路とが並列共振とならないような値に制御される。

30

【0016】

また、この発明の第2の態様に係るプラズマ処理方法は、被処理基板を収容してプラズマ処理を施す処理室と、前記処理室内で被処理基板が載置される載置台と、前記処理室内に処理ガスを供給する処理ガス供給系と、前記処理室内を排気する排気系と、前記処理室の外部に誘電体部材を介して配置され、高周波電力が供給されることにより前記処理室内に誘導電界を形成するアンテナ回路と、前記アンテナ回路に並列に接続された並列回路と、を具備し、前記並列回路が可変コンデンサを含み、該可変コンデンサが整合回路の一部をなす誘導結合プラズマ処理装置を用いたプラズマ処理方法であって、前記アンテナ回路のインピーダンスと前記並列回路のインピーダンスとを逆位相とし、かつ、前記アンテナ回路と前記並列回路とが並列共振する並列共振点を用いずに、前記処理室内に誘導結合プラズマを生成する。

40

【0017】

また、この発明の第3の態様に係る記憶媒体は、コンピュータ上で動作する制御プログラムが記憶されたコンピュータ読み取り可能な記憶媒体であって、前記制御プログラムが、実行時に、上記第2の態様に係るプラズマ処理方法が行われるように誘導結合プラズマ処理装置を制御させる。

【発明の効果】**【0018】**

50

この発明によれば、よりパワー効率が良い誘導結合プラズマ処理装置、プラズマ処理方法及びこのプラズマ処理方法を誘導結合プラズマ処理装置に実行させるプログラムが格納されたコンピュータ読み取り可能な記憶媒体を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】この発明の第1の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置を示す断面図

【図2】第1の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置に用いられる高周波アンテナを示す平面図

【図3】第1の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置が備える高周波アンテナへの給電回路の一例を示す図

10

【図4】給電回路の一回路例を示す回路図

【図5】インピーダンスのコンデンサCの容量依存性を示す図

【図6】外側電流及び内側電流のコンデンサCの容量依存性を示す図

【図7】外側電流及び内側電流のコンデンサCの容量依存性（絶対値表示）を示す図

【図8】第1の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置が備える高周波アンテナに流れれる電流を示す図

【図9】参考例に係る誘導結合プラズマ処理装置が備える高周波アンテナに流れれる電流を示す図

【図10】処理室内に載置した被処理基板上のプラズマ電子密度の分布を示す図

【図11】給電回路の他の回路例を示す回路図

20

【図12】インピーダンスのコンデンサCの容量依存性を示す図

【図13】図13A乃至図13Dは高周波アンテナ13の第1の回路例乃至第4の回路例を示す回路図

【図14】外側電流及び内側電流の向きと外側磁場及び内側磁場との関係を示す斜視図

【図15】外側電流及び内側電流の向きと外側磁場及び内側磁場との関係を示す斜視図

【図16】第2の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置に用いられる高周波アンテナへの給電回路の一例を示す回路図

【図17】第2の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置に用いられる高周波アンテナの一例を概略的に示す斜視図

【図18】第2の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置が備える高周波アンテナに流れれる電流を示す図

30

【図19】図16に示した高周波アンテナへの給電回路の一回路例を示す回路図

【図20】図19に示した並列可変コンデンサのVCポジションとインピーダンスとの関係を示す図

【図21】図19に示した並列可変コンデンサのVCポジションとマッチング用可変コンデンサに流れれる電流、チューニング用可変コンデンサに流れれる電流、並列可変コンデンサに流れれる電流、及び終端コンデンサに流れれる電流との関係を示す図

【図22】処理室内に載置した被処理基板上のプラズマ電子密度の分布を示す図

【図23】第2の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置によるアッシングレートを示す図

40

【図24】第3の実施形態を説明する回路図

【図25】第3の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置に用いられる高周波アンテナへの給電回路の一例を示す回路図

【図26】処理室内に載置した被処理基板上のプラズマ電子密度の分布を示す図

【図27】第3の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置によるアッシングレートを示す図

【発明を実施するための形態】

【0020】

以下、添付図面を参照してこの発明の実施の形態について説明する。

【0021】

50

(第1の実施形態)

図1はこの発明の第1の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置を示す断面図、図2はこの誘導結合プラズマ処理装置に用いられる高周波アンテナを示す平面図である。この装置は、例えばF P D用ガラス基板上に薄膜トランジスターを形成する際のメタル膜、I T O膜、酸化膜等のエッティングや、レジスト膜のアッシング処理に用いられる。ここで、F P Dとしては、液晶ディスプレイ(L C D)、エレクトロルミネセンス(Electro Luminescence; E L)ディスプレイ、プラズマディスプレイパネル(P D P)等が例示される。

【0022】

このプラズマ処理装置は、導電性材料、例えば、内壁面が陽極酸化処理されたアルミニウムからなる角筒形状の気密な本体容器1を有する。この本体容器1は分解可能に組み立てられており、接地線1aにより接地されている。本体容器1は、誘電体壁2により上下にアンテナ室3および処理室4に区画されている。したがって、誘電体壁2は処理室4の天井壁を構成している。誘電体壁2は、 Al_2O_3 等のセラミックス、石英等で構成されている。

【0023】

誘電体壁2の下側部分には、処理ガス供給用のシャワー筐体11が嵌め込まれている。シャワー筐体11は十字状に設けられており、誘電体壁2を下から支持する構造となっている。なお、上記誘電体壁2を支持するシャワー筐体11は、複数本のサスペンダ(図示せず)により本体容器1の天井に吊された状態となっている。

【0024】

このシャワー筐体11は導電性材料、望ましくは金属、例えば汚染物が発生しないようその内面が陽極酸化処理されたアルミニウムで構成されている。このシャワー筐体11には水平に伸びるガス流路12が形成されており、このガス流路12には、下方に向かって延びる複数のガス吐出孔12aが連通している。一方、誘電体壁2の上面中央には、このガス流路12に連通するようにガス供給管20aが設けられている。ガス供給管20aは、本体容器1の天井からその外側へ貫通し、処理ガス供給源およびバルブシステム等を含む処理ガス供給系20に接続されている。したがって、プラズマ処理においては、処理ガス供給系20から供給された処理ガスがガス供給管20aを介してシャワー筐体11内に供給され、その下面のガス吐出孔12aから処理室4内へ吐出される。

【0025】

本体容器1におけるアンテナ室3の側壁3aと処理室4の側壁4aとの間には内側に突出する支持棚5が設けられており、この支持棚5の上に誘電体壁2が載置される。

【0026】

アンテナ室3内には誘電体壁2の上に誘電体壁2に面するように高周波(R F)アンテナ13が配設されている。この高周波アンテナ13は絶縁部材からなるスペーサ17により誘電体壁2から離間している。高周波アンテナ13は、外側部分においてアンテナ線を密に配置してなる外側アンテナ部13aと、内側部分においてアンテナ線を密に配置してなる内側アンテナ部13bとを有している。これら外側アンテナ部13aおよび内側アンテナ部13bは、図2に示すように渦巻状の多重(四重)アンテナを構成している。なお、多重アンテナの構成は、内側外側とも二重の構成、あるいは内側二重外側四重の構成でもよい。

【0027】

外側アンテナ部13aは4つのアンテナ線を90°ずつ位置をずらして全体が略矩形状になるように配置してなり、その中央部は空間となっている。また、各アンテナ線へは中央の4つの端子22aを介して給電されるようになっている。また、各アンテナ線の外端部はアンテナ線の電圧分布を変化させるためにコンデンサ18aを介してアンテナ室3の側壁に接続されて接地されている。ただし、コンデンサ18aを介さず直接接地することも可能であり、さらには端子22aの部分やアンテナ線の途中、例えば屈曲部100aにコンデンサを挿入してもよい。

10

20

30

40

50

【0028】

また、内側アンテナ部13bは外側アンテナ部13aの中央部の空間に4つのアンテナ線を90°ずつ位置をずらして全体が略矩形状になるように配置してなっている。また、各アンテナ線へは中央の4つの端子22bを介して給電されるようになっている。さらに、各アンテナ線の外端部はアンテナ線の電圧分布を変化させるためにコンデンサ18bを介してアンテナ室3の上壁に接続されて接地されている。ただし、コンデンサ18bを介さず直接接地することも可能であり、さらには端子22bの部分やアンテナ線の途中、例えば屈曲部100bにコンデンサを挿入してもよい。そして、内側アンテナ部13bの最外側のアンテナ線と外側アンテナ部13aの最内側のアンテナ線との間には大きな空間が形成されている。

10

【0029】

アンテナ室3の中央部付近には、外側アンテナ部13aに給電する4本の第1給電部材16aおよび内側アンテナ部13bに給電する4本の第2給電部材16b（図1ではいずれも1本のみ図示）が設けられており、各第1給電部材16aの下端は外側アンテナ部13aの端子22aに接続され、各第2給電部材16bの下端は内側アンテナ部13bの端子22bに接続されている。これら第1および第2給電部材16aおよび16bには整合器14を介して高周波電源15が接続されている。高周波電源15および整合器14は給電線19に接続されており、給電線19は整合器14の下流側で給電線19aと19bに分岐し、給電線19aが4本の第1給電部材16aに接続され、給電線19bが4本の第2給電部材16bに接続されている。給電線19aには可変コンデンサVCが介装されている。したがって、この可変コンデンサVCと外側アンテナ部13aによって外側アンテナ回路が構成される。一方、内側アンテナ回路は内側アンテナ部13bのみで構成される。そして、可変コンデンサVCの容量を調節することにより、後述するように、外側アンテナ回路のインピーダンスが制御され、外側アンテナ回路と内側アンテナ回路に流れる電流の大小関係を調整することができる。

20

【0030】

プラズマ処理中、高周波電源15からは、誘導電界形成用の例えは周波数が13.56MHzの高周波電力が高周波アンテナ13へ供給され、このように高周波電力が供給された高周波アンテナ13により、処理室4内に誘導電界が形成され、この誘導電界によりシャワー筐体11から供給された処理ガスがプラズマ化される。この際のプラズマの密度分布は、可変コンデンサVCによる外側アンテナ部13aと内側アンテナ部13bのインピーダンスを制御することにより制御される。

30

【0031】

処理室4内の下方には、誘電体壁2を挟んで高周波アンテナ13と対向するように、LCDガラス基板Gを載置するための載置台23が設けられている。載置台23は、導電性材料、例えは表面が陽極酸化処理されたアルミニウムで構成されている。載置台23に載置されたLCDガラス基板Gは、静電チャック（図示せず）により吸着保持される。

【0032】

載置台23は絶縁体枠24内に収納され、さらに、中空の支柱25に支持される。支柱25は本体容器1の底部を気密状態を維持しつつ貫通し、本体容器1外に配設された昇降機構（図示せず）に支持され、基板Gの搬入出時に昇降機構により載置台23が上下方向に駆動される。なお、載置台23を収納する絶縁体枠24と本体容器1の底部との間には、支柱25を気密に包囲するベローズ26が配設されており、これにより、載置台23の上下動によても処理容器4内の気密性が保証される。また処理室4の側壁4aには、基板Gを搬入出するための搬入出口27aおよびそれを開閉するゲートバルブ27が設けられている。

40

【0033】

載置台23には、中空の支柱25内に設けられた給電線25aにより、整合器28を介して高周波電源29が接続されている。この高周波電源29は、プラズマ処理中に、バイアス用の高周波電力、例えは周波数が6MHzの高周波電力を載置台23に印加する。こ

50

のバイアス用の高周波電力により、処理室4内に生成されたプラズマ中のイオンが効果的に基板Gに引き込まれる。

【0034】

さらに、載置台23内には、基板Gの温度を制御するため、セラミックヒータ等の加熱手段や冷媒流路等からなる温度制御機構と、温度センサーとが設けられている（いずれも図示せず）。これらの機構や部材に対する配管や配線は、いずれも中空の支柱25を通して本体容器1外に導出される。

【0035】

処理室4の底部には、排気管31を介して真空ポンプ等を含む排気装置30が接続される、この排気装置30により、処理室4が排気され、プラズマ処理中、処理室4内が所定の真空雰囲気（例えば1.33Pa）に設定、維持される。10

【0036】

載置台23に載置された基板Gの裏面側には冷却空間（図示せず）が形成されており、一定の圧力の熱伝達用ガスとしてHeガスを供給するためのHeガス流路41が設けられている。このように基板Gの裏面側に熱伝達用ガスを供給することにより、真空下において基板Gの温度上昇や温度変化を回避することができるようになっている。

【0037】

Heガス流路41にはHeガスライン42が接続されており、このHeガスライン42には図示しないHe源が接続されている。このHeガスライン42には圧力制御バルブ44が設けられており、その下流側にHeガスのタンク47に繋がる配管43が設けられている。Heガスライン42の配管43接続部の下流側には開閉バルブ45が設けられ、さらにその下流側には開放ライン48が接続されており、この開放ライン48にはリリーフバルブ49が設けられている。タンク47には、基板Gの裏面側の冷却空間を設定圧力で満たした時と同等の圧力になるように、タンク47の容量に対して最適な圧力のHeガスが充填されており、このタンク47から速やかに冷却空間に熱伝達用のHeガスが供給可能となっている。なお、熱伝達用ガスはHeガスに限らず他方のガスであってもよい。20

【0038】

このプラズマ処理装置の各構成部は、コンピュータからなる制御部50に接続されて制御される構成となっている。また、制御部50には、工程管理者がプラズマ処理装置を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードや、プラズマ処理装置の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等からなるユーザーインターフェース51が接続されている。さらに、制御部50には、プラズマ処理装置で実行される各種処理を制御部50の制御にて実現するための制御プログラムや、処理条件に応じてプラズマ処理装置の各構成部に処理を実行させるためのプログラムすなわちレシピが格納された記憶部52が接続されている。レシピはハードディスクや半導体メモリーに記憶されていてもよいし、CD-ROM、DVD等の可搬性の記憶媒体に収容された状態で記憶部52の所定位置にセットするようになっていてもよい。さらに、他方の装置から、例えば専用回線を介してレシピを適宜伝送せるようにしてもよい。そして、必要に応じて、ユーザーインターフェース51からの指示等にて任意のレシピを記憶部52から呼び出して制御部50に実行させることで、制御部50の制御下で、プラズマ処理装置での所望の処理が行われる。30

【0039】

図3は、第1の実施形態に係るプラズマ処理装置が備える高周波アンテナ13への給電回路の一例を示す図である。

【0040】

図3に示すように、高周波電源15からの高周波電力は整合器14を経て高周波アンテナ13に供給される。高周波アンテナ13が、互いに並列接続されたアンテナ回路を有する並列アンテナ部を含む。本例の並列アンテナ部は、外側アンテナ回路13aと、この外側アンテナ回路13aに並列に接続された内側アンテナ回路13bとを有する。

【0041】

さらに、本例では、外側アンテナ回路13aのインピーダンスと、内側アンテナ回路140

50

3 b のインピーダンスとが、互いに逆位相となるように設定されている。例えば、本例では、外側アンテナ回路 13 a のインピーダンスが容量性に設定され、内側アンテナ回路 13 b のインピーダンスが誘導性に設定されている。もちろん、これは逆でも良く、外側アンテナ回路 13 a のインピーダンスを誘導性に、内側アンテナ回路 13 b のインピーダンスを容量性に設定しても良い。

【0042】

外側アンテナ回路 13 a のインピーダンスと、内側アンテナ回路 13 b のインピーダンスとが、互いに逆位相となるように設定するには、例えば、外側アンテナ回路 13 a に接続される容量と、内側アンテナ回路 13 b に接続される容量とを変えれば良い。このよう 10 回路の一例を図 4 に示す。

【0043】

図 4 に示す一例においては、外側アンテナ回路 13 a 及び内側アンテナ回路 13 b の双方がコイル L a、L b を備えている。さらに、外側アンテナ回路 13 a には、内側アンテナ回路 13 b よりもコンデンサ C が一つ多く接続されている。図 5 に、インピーダンスのコンデンサ C 容量依存性を示す。

【0044】

図 5 に示すように、内側アンテナ回路 13 b のインピーダンスは、コンデンサ C を変化させても変化しない。本例では、内側アンテナ回路 13 b のインピーダンスは誘導性のままである。

【0045】

対して、外側アンテナ回路 13 a のインピーダンスは、コンデンサ C を変化させると変化する。具体的には、コンデンサ C の容量が大きい場合には、外側アンテナ回路 13 a のインピーダンスは内側アンテナ回路 13 b と同じ誘導性を示すが（内側と外側のインピーダンスが同位相）、コンデンサ C の値を小さくしていくと、インピーダンスが“0”となる点 A を境にして外側アンテナ回路 13 a のインピーダンスが誘導性から容量性に変化する（内側と外側のインピーダンスが逆位相）。

【0046】

このように、外側アンテナ回路 13 a のインピーダンスと内側アンテナ回路 13 b のインピーダンスとを逆位相にすると、外側アンテナ回路 13 a に流れる電流（外側電流 I_{out} ）と、内側アンテナ回路 13 b に流れる電流（内側電流 I_{in} ）とが逆位相となる。図 6 に外側電流 I_{out} 及び内側電流 I_{in} のコンデンサ C 容量依存性を示す。

【0047】

図 6 に示すように、コンデンサ C の容量を小さくしていくと、外側電流 I_{out} は増える傾向を示すが、内側電流 I_{in} は減る傾向を示す。内側電流 I_{in} は、図 5 にも示したインピーダンスが“0”となる点 A、即ち、外側アンテナ回路 13 a のインピーダンスと内側アンテナ回路 13 b のインピーダンスが逆位相となる点を境にして極性が反対になる。即ち、外側電流 I_{out} の位相と内側電流 I_{in} の位相とが互いに逆位相となる。

【0048】

外側電流 I_{out} は、外側アンテナ回路 13 a のインピーダンスと内側アンテナ回路 13 b のインピーダンスとが逆位相となった後、並列共振点 B に向かってその量を急激に増大させる。コンデンサ C がさらに小さくなり、並列共振点 B を過ぎると外側電流 I_{out} は極性が逆となった上で、その量を急激に減少させる。

【0049】

内側電流 I_{in} は、外側電流 I_{out} と全く逆の挙動を示し、外側アンテナ回路 13 a のインピーダンスと内側アンテナ回路 13 b のインピーダンスとが逆位相となった後、並列共振点 B に向かって、外側電流 I_{out} とは逆極性であるが、その量を急激に増大させる。コンデンサ C がさらに小さくなり、並列共振点 B を過ぎると内側電流 I_{in} は極性が逆となった上で、その量を急激に減少させる。また、図 7 に、図 6 に示した外側電流 I_{out} の絶対値、及び内側電流 I_{in} の絶対値を示しておく。

【0050】

10

20

30

40

50

外側電流 I_{out} の位相と内側電流 I_{in} の位相とが逆位相になる、ということは、図 8 A、又は図 8 B に示すように、外側電流 I_{out} の向きと内側電流 I_{in} の向きとが反対になり、互いに並列接続された外側アンテナ回路 13 a と内側アンテナ回路 13 b との間に循環電流が発生する、ということである。このような状態は、図 5 に示した内側と外側のインピーダンスが逆位相である領域、及び図 6 に示した内側と外側の電流が逆位相である領域において発生する。

【0051】

ちなみに、外側電流 I_{out} の位相と内側電流 I_{in} の位相とが同位相の場合には、図 9 A、又は図 9 B に示すように、外側電流 I_{out} の向きと内側電流 I_{in} の向きとが同じであるから、循環電流は発生しない。このような図 9 A、又は図 9 B に示す状態は、図 5 に示した内側と外側のインピーダンスが同位相である領域、及び図 6 に示した内側と外側の電流が同位相である領域において発生する。10

【0052】

このように、第 1 の実施形態に係るプラズマ処理装置は、処理室 4 内に誘導結合プラズマを生成する際に、並列接続されたアンテナ回路のうち、一方のアンテナ回路のインピーダンスと、他方のアンテナ回路のインピーダンスとを逆位相として、処理室 4 内に誘導結合プラズマを生成する。本例にあっては、内側アンテナ回路 13 b のインピーダンスを誘導性とし、外側アンテナ回路 13 a のインピーダンスを容量性として、処理室 4 内に誘導結合プラズマを生成する。20

【0053】

次に、外側電流 I_{out} の位相と内側電流 I_{in} の位相とが逆位相になった場合の利点を説明する。

【0054】

図 10 は、処理室内に載置した被処理基板上のプラズマ電子密度の分布を示す図である。20

【0055】

図 10 は、外側電流 I_{out} の位相と内側電流 I_{in} の位相とを逆位相した場合のプラズマ電子密度の分布を、黒丸（均一ポジション）、黒四角（内密ポジション）、黒三角（外密ポジション）で示している。また、図 10 中には、参考例とし、外側電流 I_{out} の位相と内側電流 I_{in} の位相とを同位相した場合のプラズマ電子密度の分布を、白丸（均一ポジション）で示している。30

【0056】

図 10 に示すように、外側電流 I_{out} の位相と内側電流 I_{in} の位相とを逆位相した場合には、同位相とする場合に比較してプラズマ電子密度が高まる、という結果が得られた。

【0057】

つまり、高周波アンテナ 13 を、互いに並列接続されたアンテナ回路を有する並列アンテナ部を含む高周波アンテナとし、かつ、並列接続されたアンテナ回路のうち、一方のアンテナ回路のインピーダンスと、他方のアンテナ回路のインピーダンスとを逆位相にして、並列接続されたアンテナ回路に循環電流を発生させた状態で処理室内に誘導結合プラズマを生成する。これにより、循環電流を発生させない場合、即ち、一方のアンテナ回路のインピーダンスと、他方のアンテナ回路のインピーダンスとを同位相とする場合に比較して、パワー効率が高まり、より高密度のプラズマ電子を得ることができる。よって、第 1 の実施形態に係るプラズマ処理装置によれば、高周波電力の電力量を上げなくても、より高密度のプラズマを得ることが可能となる。40

【0058】

また、図 10 に示すように、第 1 の実施形態に係るプラズマ処理装置によれば、プラズマ電子密度の分布を制御することもできる。

【0059】

例えば、図 10 中の黒四角で示されるように、プラズマ電子密度を、被処理基板内側（50

センター付近)で高めたい場合(内密)には、内側電流 I_{in} と外側電流 I_{out} とが互いに逆位相、かつ、内側電流 I_{in} の絶対値を外側電流 I_{out} の絶対値よりも大きくした状態($I_{in} > I_{out}$)で、処理室内に誘導結合プラズマを生成すれば良い。

【0060】

“ $I_{in} > I_{out}$ ”となる状態は、例えば、図5においては、内側と外側のインピーダンスが逆位相の領域、かつ、コンデンサCを小さくして並列共振点Bを通過した後の領域で見ることができる。領域は、内側アンテナ回路13bのインピーダンス(内側Z)が、外側アンテナ回路13aのインピーダンス(外側Z)よりも小さい領域である。

【0061】

図10中の黒三角で示されるように、プラズマ電子密度を、反対に、被処理基板外側(エッジ付近)で高めたい場合(外密)には、内側電流 I_{in} と外側電流 I_{out} とが互いに逆位相、かつ、外側電流 I_{out} の絶対値を内側電流 I_{in} の絶対値よりも大きくした状態($I_{out} > I_{in}$)で、処理室内に誘導結合プラズマを生成すれば良い。10

【0062】

“ $I_{out} > I_{in}$ ”となる状態は、例えば、図5においては、内側と外側のインピーダンスが逆位相の領域、かつ、コンデンサCを小さくして並列共振点Bまで領域で見ることができる。この領域は、外側アンテナ回路13aのインピーダンス(外側Z)が内側アンテナ回路13bのインピーダンス(内側Z)よりも小さい領域である。

【0063】

また、図10中の黒丸で示されるように、プラズマ電子密度を、被処理基板内側(センター付近)から被処理基板外側(エッジ付近)にかけて均一にしたい場合(均一)には、内側電流 I_{in} と外側電流 I_{out} とが互いに逆位相、かつ、外側電流 I_{out} の絶対値と内側電流 I_{in} の絶対値とがほぼ等しい状態($I_{out} = I_{in}$)で、処理室内に誘導結合プラズマを生成すれば良い。20

【0064】

“ $I_{out} = I_{in}$ ”となる状態は、例えば、図5においては、内側と外側のインピーダンスが逆位相の領域、かつ、並列共振点B近傍、例えば、参照符号Cに示す領域に見ることができる。また、この領域Cにおいては、外側アンテナ回路13aのインピーダンス(外側Z)と内側アンテナ回路13bのインピーダンス(内側Z)とがほぼ等しくなる。30

【0065】

このように、第1の実施形態に係るプラズマ処理装置によれば、内側と外側のインピーダンスが逆位相の領域において、外側アンテナ回路13aのインピーダンスと内側アンテナ回路13bのインピーダンスを制御することによって、処理室内のプラズマ電子密度の分布を制御することもできる。

【0066】

さらに、例えば、コンデンサCを、図11に示すように、可変コンデンサVCとすれば、高周波アンテナ13を交換しなくても、一つの誘導結合プラズマ処理装置において、プラズマ電子密度の分布を、内密、外密、均一それに制御することができる。

【0067】

また、処理に際しては、アプリケーションごとに最適なプラズマ密度分布が得られるよう、インピーダンス調節手段、例えば、可変コンデンサVCの容量を調節する調節パラメータを予め設定しておき、所定のアプリケーションが選択された際に、そのアプリケーションに対応させて、調節パラメータを予め設定した最適な値になるように、可変コンデンサVCの容量を制御する制御手段を、さらに設けることも可能である。40

【0068】

さらに、処理が、例えば、CVDのような成膜処理の場合には、成膜される膜の膜厚が均一となるように、成膜処理中に可変コンデンサVCの容量をスキャン、例えば、内密から外密へ、さらに、外密から均一へ、というように可変コンデンサVCの容量をスキャン制御することも可能である。

【0069】

なお、並列共振点B及びその近傍の領域は、非常にインピーダンスが高くなる。このため、整合器14を用いたインピーダンス整合が困難となる。

【0070】

そこで、外側アンテナ回路13aと内側アンテナ回路13bとが並列共振する並列共振点Bを用いずに、処理室内に誘導結合プラズマを生成するようにしても良い。

【0071】

さらに、並列共振点Bに加え、並列共振点Bの近傍の領域を用いずに、処理室内に誘導結合プラズマを生成するようにしても良い。

【0072】

並列共振点Bの近傍の領域の一例は、図12に示すように、並列共振点Bから容量性領域における高周波アンテナ13のインピーダンス（アンテナ合計：図中白四角）の最大値D1までの領域、及び並列共振点Bから誘導性領域における高周波アンテナ13のインピーダンスの最大値D2までの領域である。容量性領域における最大値D1から誘導性領域における最大値D2までの区間Dは、高周波アンテナ13のインピーダンスが非常に高くなる区間である。10

【0073】

このため、例えば、可変コンデンサVCの容量を制御する場合には、可変コンデンサVCの容量を、高周波アンテナ13のインピーダンス（アンテナ合計）が区間Dの範囲になるように制御しない。

【0074】

また、例えば、可変コンデンサVCの容量をスキャン制御する場合においては、スキャン中に区間Dはスキップするようにする。20

【0075】

このように、並列共振点Bを含むその近傍の領域Dにおいて、誘導結合プラズマを生成しない、又は処理をしないことで、整合器14を用いたインピーダンス整合を容易にでき、よりパワー効率の高い処理が可能となる。

【0076】

なお、並列共振点Bを含むその近傍の領域Dにおいては誘導結合プラズマを生成しない、又は処理をしないことは、可変コンデンサVCに限らず、容量が固定されたコンデンサCを用いた場合にも適用できる。つまり、容量が固定されたコンデンサCを用いる場合には、コンデンサCの値を、高周波アンテナ13のインピーダンス（アンテナ合計）が、上記領域Dの範囲にならないように設定すれば良い。30

【0077】

次に、以上のように構成される誘導結合プラズマエッティング装置を用いてLCDガラス基板Gに対してプラズマエッティング処理を施す際の処理動作について説明する。

【0078】

まず、ゲートバルブ27を開にした状態でそこから搬送機構（図示せず）により基板Gを処理室4内に搬入し、載置台23の載置面に載置した後、静電チャック（図示せず）により基板Gを載置台23上に固定する。次に、処理室4内に処理ガス供給系20から処理ガスをシャワー筐体11のガス吐出孔12aから処理室4内に吐出させるとともに、排気装置30により排気管31を介して処理室4内を真空排気することにより、処理室内を例えば0.66～26.6Pa程度の圧力雰囲気に維持する。40

【0079】

また、このとき基板Gの裏面側の冷却空間には、基板Gの温度上昇や温度変化を回避するために、Heガスライン42、Heガス流路41を介して、熱伝達用ガスとしてHeガスを供給する。この場合に、従来は、ガスボンベから直接Heガスライン42にHeガスを供給し、圧力制御バルブにて圧力を制御していたが、基板の大型化にともなう装置の大型化によりガスラインの距離が長くなり、ガスで満たす空間容量が大きくなることで、ガス供給から調圧が完了するまでの時間が長くなってしまっていたが、ここでは圧力制御バルブ44の下流側にHeガスのタンク47を設け、そこに予めHeガスを充填しておくの50

で、極めて短時間で調圧を行うことができる。即ち、基板Gの裏面に熱伝達用ガスであるHeガスを供給する際には、まず、タンク47からHeガスを供給し、不足分を従来のガスボンベからのラインから補填することにより瞬時に設定圧力に近い圧力を得ることができ、また圧力制御バルブを介して補填されるガス量も微量であるので、極めて短時間のうちに調圧を完了することが可能となる。この場合に、タンク47に充填するガスの圧力は、冷却空間を設定圧力で満たした時と同等となるように、タンク47の容量に対して最適な圧力とすることが好ましい。なお、タンク47にガスを充填させる動作は基板Gの搬送時等、基板処理時間に影響を与えない時に行うことが好ましい。

【0080】

次いで、高周波電源15から例えば13.56MHzの高周波を高周波アンテナ13に印加し、これにより誘電体壁2を介して処理室4内に均一な誘導電界を形成する。このようにして形成された誘導電界により、処理室4内で処理ガスがプラズマ化し、高密度の誘導結合プラズマが生成される。

【0081】

この場合に、高周波アンテナ13は、上述のように、外側部分においてアンテナ線を密に配置してなる外側アンテナ回路13aと、内側部分においてアンテナ線を密に配置してなる内側アンテナ回路13bとを有する構造とし、外側アンテナ回路13aに、例えば、図1に示すように、可変コンデンサVCを接続して、外側アンテナ回路13aのインピーダンスの調節を可能にする。可変コンデンサVCの調節は、上述した通りである。

【0082】

この場合に、アプリケーションごとに最適なプラズマ密度分布を把握し、予めそのプラズマ密度分布が得られる可変コンデンサVCのポジションを記憶部52に設定しておくことにより、制御部50によりアプリケーションごとに最適な可変コンデンサVCのポジションを選択してプラズマ処理を行えるようにすることができる。

【0083】

このようにして可変コンデンサVCによるインピーダンス制御によりプラズマ密度分布を制御することができるので、アンテナを交換する必要がなく、アンテナ交換の労力やアプリケーションごとにアンテナを準備しておくコストが不要となる。

【0084】

また、可変コンデンサVCのポジション調節によりきめ細かな電流制御を行うとともに、外側アンテナ回路13aのインピーダンスと内側アンテナ回路13bのインピーダンスとを互いに逆位相とする。これにより、アプリケーションに応じて最適なプラズマ電子密度分布を得ることができるとともに、外側アンテナ回路13aのインピーダンスと内側アンテナ回路13bのインピーダンスとを同位相とする場合に比較して、プラズマ電子を、より高密度にすることができます。

【0085】

さらに、複数の高周波電源を用いたり、高周波電力のパワーを分配するものではなく、単に可変コンデンサVCによりインピーダンス調整を行って外側アンテナ回路13aと内側アンテナ回路13bの電流制御、及び位相制御を行うだけであるから、装置が大がかりで高コストのものとなったり、電力コストが高くなる等の不都合は存在しないし、制御の精度も複数の高周波電源を用いたりパワーを分配する場合よりも高くすることができる。

【0086】

次に、高周波アンテナ13の回路例のいくつかを説明する。

【0087】

図13A乃至図13Dは、高周波アンテナ13の第1の回路例乃至第4の回路例を示す回路図である。

【0088】

図13Aに示すように、第1の回路例に係る高周波アンテナ13-1は、互いに並列接続された外側アンテナ回路13a及び内側アンテナ回路13bの双方において、整合器14と平面コイルL_a及びL_bの一端との間に、可変コンデンサVC_a及びVC_bを接続し

10

20

30

40

50

たものである。平面コイル L a 及び L b の他端は共通に接続され、共通接地点 GND に接続される。

【 0 0 8 9 】

第 1 の回路例においては、可変コンデンサ VCA 及び VCB の容量を調節し、外側アンテナ回路 13a のインピーダンスと内側アンテナ回路 13b のインピーダンスとを互いに逆位相とする。これにより、パワー効率を上げることができる。

【 0 0 9 0 】

また、可変コンデンサ VCA 及び VCB が調節可能であるので、可変コンデンサ VCA 及び VCB の容量をアプリケーションに対応させて最適な値、例えば、内密、外密、均一 10 というように、最適なプラズマ電子密度分布になるように、パワー効率良く制御することも可能である。さらに、処理が、例えば、CVD のような成膜処理の場合には、成膜処理中に可変コンデンサ VCA 又は VCB 、例えば、外側アンテナ回路 13a に設けられた可変コンデンサ VCA の容量を成膜処理中にスキャンし、成膜される膜の膜厚が均一となるように、成膜処理中にプラズマ電子密度分布を内密、外密、均一の間でスキャン制御することも可能である。この場合も、外側アンテナ回路 13a のインピーダンスと内側アンテナ回路 13b のインピーダンスとを互いに逆位相としておくことで、パワー効率良く、プラズマ電子密度分布を内密、外密、均一の間でスキャン制御することができる。

【 0 0 9 1 】

図 13B に示すように、第 2 の回路例に係る高周波アンテナ 13-2 は、第 1 の回路例 20 に係る高周波アンテナ 13-1 と比較して、可変コンデンサ VCA 、又は VCB を、共通接地点 GND と平面コイル L a 及び L b の他端との間に接続し、平面コイル L a 及び L b の一端を整合器 14 に共通に接続したことが異なる。

【 0 0 9 2 】

第 2 の回路例においても、可変コンデンサ VCA 及び VCB の容量を調節し、外側アンテナ回路 13a のインピーダンスと内側アンテナ回路 13b のインピーダンスとを互いに逆位相とする。

【 0 0 9 3 】

このような第 2 の回路例においても、第 1 の回路例と同様の利点を得ることができる。

【 0 0 9 4 】

図 13C に示すように、第 3 の回路例に係る高周波アンテナ 13-3 は、第 1 の回路例 30 に係る高周波アンテナ 13-1 と比較して、可変コンデンサ VCA を外側アンテナ回路 13a のみに設けるようにしたものである。第 3 の回路例は、図 11 に示した高周波アンテナと同様の回路である。

【 0 0 9 5 】

第 3 の回路例においては、可変コンデンサ VCA の容量を調節することで、外側アンテナ回路 13a のインピーダンスと内側アンテナ回路 13b のインピーダンスとを互いに逆位相とする。

【 0 0 9 6 】

このような第 3 の回路例においても、第 1 及び第 2 の回路例と同様の利点を得ることができる。

【 0 0 9 7 】

図 13D に示すように、第 4 の回路例に係る高周波アンテナ 13-4 は、第 3 の回路例 40 に係る高周波アンテナ 13-3 と比較して、可変コンデンサ VCA を、共通接地点 GND と平面コイル L a の他端との間に接続し、平面コイル L a 及び平面コイル L b の一端を整合器 14 に共通に接続したことが異なる。

【 0 0 9 8 】

第 4 の回路例においても、可変コンデンサ VCA の容量を調節することで、外側アンテナ回路 13a のインピーダンスと内側アンテナ回路 13b のインピーダンスとを互いに逆位相とする。

【 0 0 9 9 】

10

20

30

40

50

このような第4の回路例においても、第1乃至第3の回路例と同様の利点を得ることができる。

【0100】

また、第1乃至第4の回路例では、外側アンテナ回路13a及び/又は内側アンテナ回路13bに設けられるコンデンサを、容量を調節できる可変コンデンサとしたがが、容量が固定されているコンデンサとすることも可能である。この場合のコンデンサの容量は、外側アンテナ回路13aのインピーダンスと内側アンテナ回路13bのインピーダンスとが互いに逆位相となるように設定されれば良い。

【0101】

このように容量が固定されたコンデンサを用いた場合においても、外側アンテナ回路13aのインピーダンスと内側アンテナ回路13bのインピーダンスとを逆位相としない高周波アンテナに比較すれば、処理室内に生成されるプラズマ電子密度を向上させることができ、よりパワー効率の良い高周波アンテナを備えた誘導結合プラズマ処理装置を得ることができる。10

【0102】

また、ここまで説明してきたように、この発明の第1の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置は、外側アンテナ回路13aのインピーダンスと内側アンテナ回路13bのインピーダンスとを逆位相とする。このため、誘導結合プラズマを発生させている間、外側アンテナ回路13aに流れる電流の位相と内側アンテナ回路13bに流れる電流の位相とが互いに逆位相となる。20

【0103】

電流の位相が互いに逆位相となると、外側アンテナ回路13a及び内側アンテナ回路13bの双方に平面コイルL_a、L_bを用いた場合、図14に示すように、平面コイルL_aを流れる外側電流I_{out}の向きと、平面コイルL_bを流れる内側電流I_{in}の向きとが反対になる。このため、外側電流I_{out}によって作られる外側磁場の向きと、内側電流I_{in}によって作られる内側磁場の向きとが逆向きとなり、外側磁場と内側磁場とが互いに打ち消し合って、処理室内に導入される磁場が弱まってしまう。

【0104】

このような外側磁場及び内側磁場の打ち消し合いを防ぐためには、図15に示すように、外側アンテナ回路13aの平面コイルL_aと、内側アンテナ回路13bの平面コイルL_bとを互いに逆巻きとする良い。平面コイルL_aとL_bとを互いに逆巻きとすると、回路上は外側電流I_{out}の向きと内側電流I_{in}の向きとが反対ではあるが、見掛け上は外側電流I_{out}の向きと内側電流I_{in}の向きとを同じ方向に揃えることができる。よって、外側磁場の向きと内側磁場の向きとが同じになり、外側磁場及び内側磁場の打ち消し合いを防ぐことができる。30

【0105】

(第2の実施形態)

第1の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置では、互いに並列接続された外側アンテナ回路13aと内側アンテナ回路13bにおいて、一方のアンテナ回路のインピーダンスと、他方のアンテナ回路のインピーダンスとを逆位相にして、並列接続された二つのアンテナ回路に循環電流を発生させる構成であった。つまり、誘導性の内側アンテナ回路13bに対し、容量性の外側アンテナ回路13aを並列回路として接続する構成であり、少なくとも二つのアンテナ回路が必要であった。しかし、アンテナ回路が一つの場合であっても、アンテナ回路に循環電流を発生させることは可能である。40

【0106】

図16はこの発明の第2の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置に用いられる高周波アンテナへの給電回路の一例を示す回路図である。

【0107】

図16に示すように、第2の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置が、第1の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置と異なるところは、一つの誘導性アンテナ回路に対50

して並列接続される回路に、アンテナが具備されていない点である。高周波アンテナ 13 は、整合器 14 と接地点との間に接続されたアンテナ回路 13c と、アンテナ回路 13c に並列に接続された並列可変コンデンサ 70 により構成されている。

【0108】

図 17 は第 2 の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置に用いられる高周波アンテナの一例を概略的に示す斜視図である。

【0109】

第 2 の実施形態は、第 1 の実施形態のような外側アンテナ回路 13a、及び内側アンテナ回路 13b がないので、一つのアンテナ回路 13c のみで構成することができる。このため、高周波アンテナ 13 は、図 17 に示すように、例えば、一つの平面コイル Lc で構成することができる。図 17 には、平面コイル Lc の一例として、一本の導電部材で構成した例を示しているが、平面コイル Lc は、分岐した複数本の導電部材で構成しても良い。

【0110】

第 2 の実施形態によれば、例えば、並列可変コンデンサ 70 のインピーダンスがアンテナ回路 13c のインピーダンスと逆位相になるように、並列可変コンデンサ 70 の容量を調節する。これにより、図 18A、又は図 18B に示すように、アンテナ回路 13c に流れるアンテナ電流 Ia の向きと並列可変コンデンサ 70 に流れるキャパシタ電流 Ic の向きとを反対にすることができ、第 1 の実施形態と同様な循環電流を発生させることができる。従って、第 1 の実施形態と同様の利点を得ることができる。

【0111】

図 19A は、整合器 14 に逆 L 型整合回路を使う場合の基本構成を示す図、図 19B は、逆 L 型整合回路を使用したときの図 16 に示した高周波アンテナへの給電回路の一回路例を示す回路図である。

【0112】

図 19A に示すように、逆 L 型整合回路は、一端を高周波電源に接続し、他端を負荷に接続したマッチング用可変リアクタンス素子 (X_{Match}) 80 と、一端をマッチング用可変リアクタンス素子 (X_{Match}) 80 と高周波電源 15 との相互接続点に接続し、他端を接地したチューニング用可変リアクタンス素子 (X_{Tune}) 81 とで構成される。ここでリアクタンス素子とは、コイルまたはコンデンサ、あるいは、これらが複合した素子である。

【0113】

図 19B では、図 19A における負荷 13 が高周波アンテナとなり、この高周波アンテナが、一端をマッチング用可変リアクタンス素子 (X_{Match}) 80 に接続したコイル Lc と、一方の電極をコイル Lc の他端に接続し、他方の電極を接地した終端コンデンサ C とを含むアンテナ回路 13c と、一方の電極をマッチング用可変リアクタンス素子 (X_{Match}) 80 とコイル Lc の一端との相互接続点に接続し、他方の電極を接地した並列可変コンデンサ 70 とにより構成されている。

【0114】

図 20 に、図 19 に示した並列可変コンデンサ 70 の VC ポジションとインピーダンスとの関係を、同じく図 21 に並列可変コンデンサ 70 の VC ポジションとマッチング用可変リアクタンス素子 (X_{Match}) 80 に流れる電流 (Match 電流)、チューニング用可変リアクタンス素子 (X_{Tune}) 81 に流れる電流 (Tune 電流)、並列可変コンデンサ 70 に流れる電流 (並列 VC 電流)、及び終端コンデンサ C に流れる電流 (終端 C 電流) との関係を示す。

【0115】

図 20 に示すように、図 19 に示した一回路例においては、可変コンデンサ 70 の VC ポジションが約 60 % のときに並列共振を起こすことが分かる。また、図 21 に示すように、並列共振点、及び並列共振点近傍においては、マッチング用可変リアクタンス素子 (X_{Match}) 80 に流れる電流 (Match 電流)、及びチューニング用可変リアクタ

10

20

30

40

50

ンス素子(X_{T u n e}) 81 に流れる電流(T u n e 電流) はほぼゼロとなる。

【 0 1 1 6 】

図 2 2 に第 2 の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置の処理室内に載置した被処理基板上のプラズマ電子密度の分布を、図 2 3 に第 2 の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置によるアッシングレートを示す。図 2 2 、及び図 2 3 には、参考例として並列可変コンデンサ 70 を持たないタイプの誘導結合プラズマ処理装置の場合を併記する。

【 0 1 1 7 】

図 2 2 に示すように、第 2 の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置によれば、高周波電力 R F を同じとした場合、参考例に係る誘導結合プラズマ処理装置に比較して、より高いプラズマ電子密度を得ることができる。

10

【 0 1 1 8 】

また、図 2 3 に示すように、第 2 の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置によれば、高周波電力 R F を同じとした場合、参考例に係る誘導結合プラズマ処理装置に比較して、アッシングレート、及びアッシングの面内均一性も向上する。

【 0 1 1 9 】

ところで、高周波電力 R F が同じとした場合に、より高いプラズマ電子密度が得られる、ということは、第 2 の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置は、参考例に比較してエネルギー効率が向上する、ということである。エネルギー効率の向上は、例えば、次のような利点が得られる。

【 0 1 2 0 】

近時、処理の効率化等のために、基板、例えば、F P D 用のガラス基板が著しく大型化し、一片が 1 m を超えるものが生産されている。このため、ガラス基板に処理を施すための誘導結合プラズマ処理装置も大型化し、アンテナ室と処理室とを区切る誘電体壁も大型化している。誘電体壁が大型化すると、処理室の内外の圧力差や自重等に耐えるだけの十分な強度を有するように、その厚さも厚くせざるを得ないが、誘電体壁が厚くなると、高周波アンテナが処理室から遠ざかることとなり、エネルギー効率が悪くなる。

20

【 0 1 2 1 】

これに対して、例えば、特開 2 0 0 1 - 2 8 2 9 9 号公報には、シャワー ヘッドを構成する金属製のシャワー筐体に支持梁の機能を持たせ、この支持梁によって誘電体壁を支持することにより誘電体壁の撓みを防止し、これにより誘電体壁を薄くしてエネルギー効率を向上させること、及びシャワー筐体と高周波アンテナとが直交するようにして高周波アンテナからの誘導電界が支持梁によって妨げられることを極力防止してエネルギー効率の低下を防止することが開示されている。

30

【 0 1 2 2 】

しかしながら、誘導結合プラズマ処理装置がさらに大型化すると、上記特開 2 0 0 1 - 2 8 2 9 9 号公報に記載された技術のように、支持梁によって誘電体壁を支持することにより誘電体壁を薄くすることにも限界があり、さらなるエネルギー効率の向上が必要となってくる。

【 0 1 2 3 】

このような事情に対し、第 2 の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置は、図 2 2 に示したようにエネルギー効率が向上するので、誘導結合プラズマ処理装置のさらなる大型化にも有利である。

40

【 0 1 2 4 】

なお、第 2 の実施形態においても、第 1 の実施形態において説明したように、並列共振する並列共振点、又は並列共振点に加え、並列共振点の近傍の領域を用いずに、処理室内に誘導結合プラズマを生成するようにしても良い。並列共振点の近傍の領域の定義については、第 1 の実施形態で説明した通りである。

【 0 1 2 5 】

(第 3 の実施形態)

上記第 2 の実施形態において、図 2 1 を参照して説明したように、並列共振点、及び並

50

列共振点近傍においては、逆L型整合回路のチューニング用可変リアクタンス素子(X_{Tune})81に流れる電流(Tune電流)はほぼゼロである。このため、並列共振点、及び並列共振点近傍を用いて誘導結合プラズマ処理装置を動作させる場合には、図24Aに示すようにチューニング用可変リアクタンス素子(X_{Tune})81は必要ない。

【0126】

ここで、チューニング用可変リアクタンス素子(X_{Tune})81を除いた図24Aの回路は、コイルLcと終端コンデンサCの部分を負荷と考えると、図24Bに示すように、並列可変コンデンサ70をチューニング用可変リアクタンス素子(X_{Tune})81としたT型整合回路を使う場合の基本構成図と同じになる。

【0127】

T型整合回路は、一方を高周波電源に接続したマッチング用可変リアクタンス素子(X_{Match})80と、一方をマッチング用可変リアクタンス素子(X_{Match})80の他方に接続し、他方を接地したチューニング用可変リアクタンス素子(X_{Tune})81とで構成される。

【0128】

図25は第3の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置に用いられる高周波アンテナへの給電回路の一例を示す回路図である。

【0129】

図25に示すように、第3の実施形態に係る給電回路が、第2の実施形態に係る給電回路と異なるところは、整合器14を逆L型整合回路からT型整合回路に置き換え、かつ、誘導結合プラズマ処理装置を動作させている際に、チューニング用可変リアクタンス素子(X_{Tune})81と、アンテナ回路13cとの間に循環電流が流れるように、インピーダンス整合を行うようにしたことである。

【0130】

高周波アンテナ13は、一端をマッチング用可変リアクタンス素子(X_{Match})80とチューニング用可変リアクタンス素子(X_{Tune})81との相互接続点に接続したコイルLcと、一方の電極をコイルLcの他端に接続し、他方の電極を接地した終端コンデンサCとを含むアンテナ回路13cから構成されている。

【0131】

プラズマ処理をする際には、チューニング用可変リアクタンス素子(X_{Tune})81とアンテナ回路13cとの間に、循環電流が生じるように動作させる。具体的な一例は、チューニング用可変リアクタンス素子(X_{Tune})81のインピーダンスが、アンテナ回路13cのインピーダンスと逆位相となるように、チューニング用可変リアクタンス素子(X_{Tune})81を調節する。

【0132】

図26に第3の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置の処理室内に載置した被処理基板上のプラズマ電子密度の分布を、図27に第3の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置によるアッシングレートを示す。図26、及び図27には、参考例として並列可変コンデンサ70を有しないタイプの誘導結合プラズマ処理装置と第2の実施形態の場合とを併記する。

【0133】

図26に示すように、第3の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置においても、高周波電力RFを同じとした場合、参考例に係る誘導結合プラズマ処理装置に比較して、より高く、かつ、第2の実施形態と同等以上のプラズマ電子密度を得ることができる。

【0134】

また、図27に示すように、第3の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置によれば、高周波電力RFを同じとした場合、参考例に係る誘導結合プラズマ処理装置に比較して、アッシングレート、及びアッシングの面内均一性も向上する。しかも、アッシングレートは第2の実施形態とほぼ同等のレートが、また、面内均一性は、第2の実施形態と同等以上の均一性を得ることができる。

10

20

30

40

50

【 0 1 3 5 】

なお、第3の実施形態においても、第1の実施形態において説明したように、並列共振する並列共振点、又は並列共振点に加え、並列共振点の近傍の領域を用いずに、処理室内に誘導結合プラズマを生成するようにしても良い。並列共振点の近傍の領域の定義については、第1の実施形態で説明した通りである。

【 0 1 3 6 】

以上、この発明の実施形態に係る誘導結合プラズマ処理装置によれば、よりパワー効率が良い誘導結合プラズマ処理装置および誘導結合プラズマ処理方法を提供できる。

【 0 1 3 7 】

なお、この発明は上記実施形態に限定されることなく種々変形可能である。

10

【 0 1 3 8 】

例えば高周波アンテナの構造は上記構造に限るものではなく、同様の機能を持つ構造であれば、種々の構造を採用することができる。

【 0 1 3 9 】

また、上記実施形態では、高周波アンテナを外側にプラズマを形成する外側アンテナ部と内側にプラズマを形成する内側アンテナ部に分けたが、必ずしも外側と内側に分ける必要はなく、種々の分け方を採用することが可能である。

【 0 1 4 0 】

さらに、プラズマを形成する位置が異なるアンテナ部に分ける場合に限らず、プラズマ分布特性の異なるアンテナ部に分けるようにしてもよい。

20

【 0 1 4 1 】

さらにまた、上記実施形態では、高周波アンテナを外側と内側の2つに分けた場合について示したが、3つ以上に分けるようにしてもよい。例えば、外側部分と中央部分とこれらの中間部分の3つに分けることを挙げることができる。

【 0 1 4 2 】

さらに、インピーダンスを調整するための手段として、コンデンサ、及び可変コンデンサを設けたが、コイル、可変コイル等他のインピーダンス調整手段を用いても良い。

【 0 1 4 3 】

さらにまた、上記実施系では誘導結合プラズマ処理装置の一例としてアッシング装置を例示したが、アッシング装置に限らず、エッチングや、CVD成膜等の他方のプラズマ処理装置に適用することができる。

30

【 0 1 4 4 】

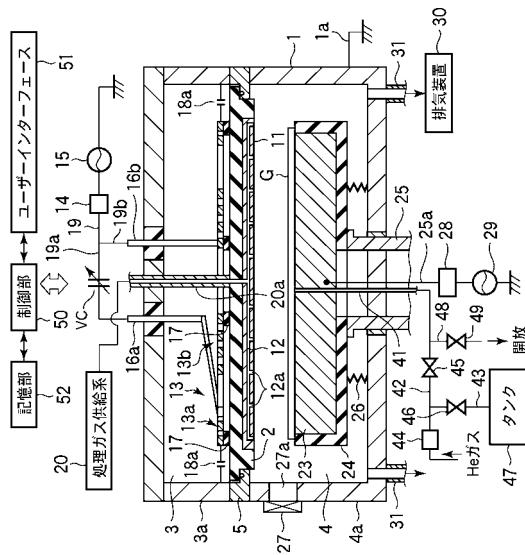
さらにまた、被処理基板としてFPD基板を用いたが、この発明はこれに限らず半導体ウエハ等他方の基板を処理する場合にも適用可能である。

【 符号の説明 】**【 0 1 4 5 】**

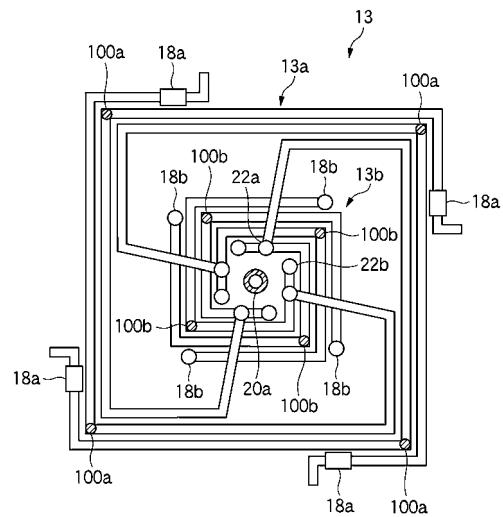
1；本体容器、2；誘電体壁（誘電体部材）、3；アンテナ室、4；処理室、13；高周波アンテナ、13a；外側アンテナ回路、13b；内側アンテナ回路、14；整合器、15；高周波電源、16a, 16b；給電部材、20；処理ガス供給系、C；コンデンサ、VC、VCa、VCb；可変コンデンサ、23；載置台、30；排気装置、50；制御部、51；ユーザーインターフェース、52；記憶部、61a；外側アンテナ回路、61b；内側アンテナ回路、G；基板、70；並列可変コンデンサ、80；マッチング用可変リアクタンス素子、81；チューニング用可変リアクタンス素子(X_{Tune})

40

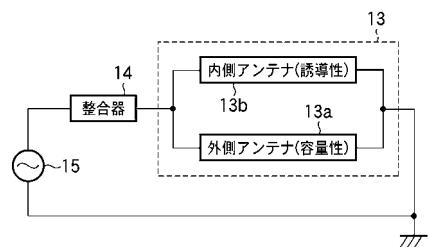
【図1】



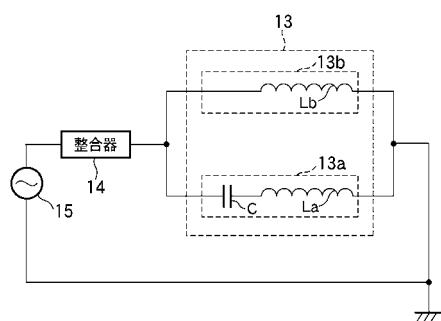
【 図 2 】



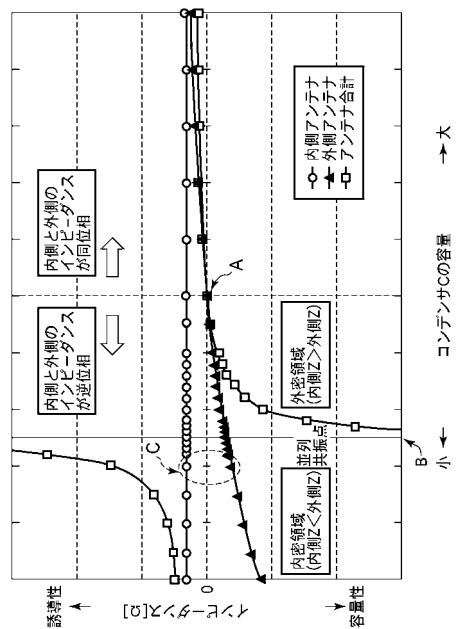
【 図 3 】



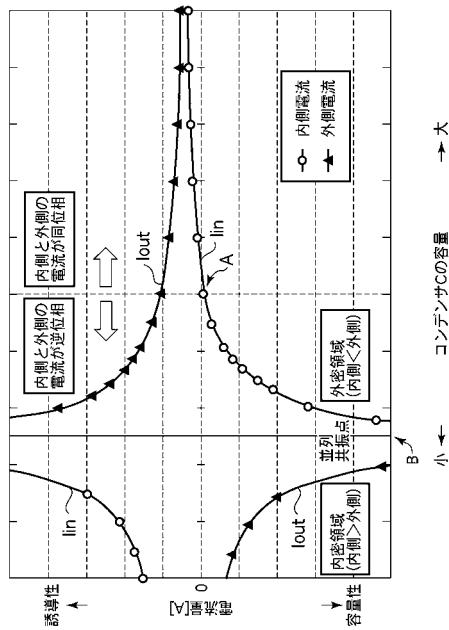
【 図 4 】



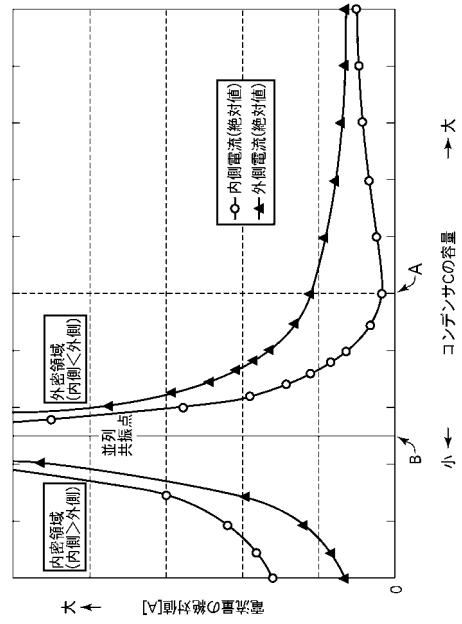
【 义 5 】



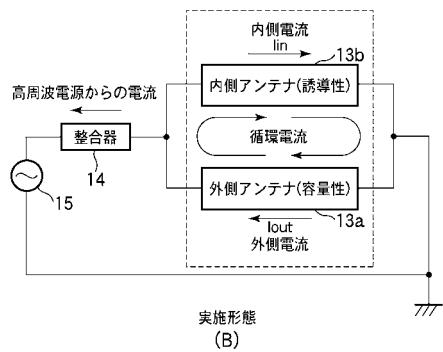
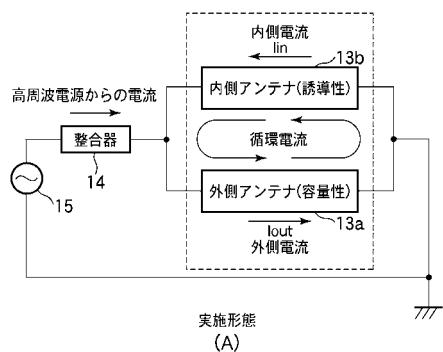
【図6】



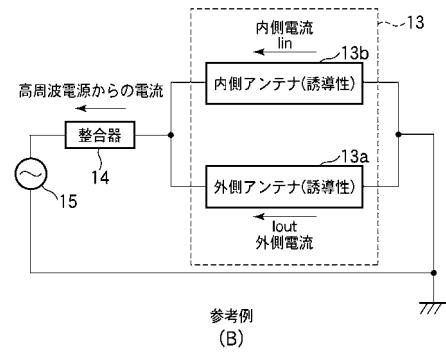
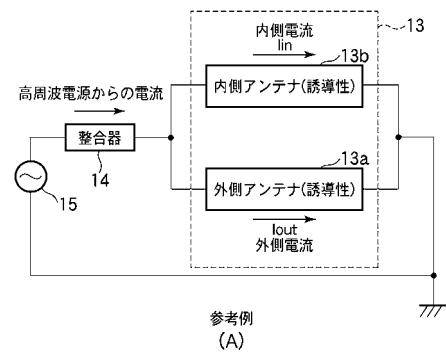
【図7】



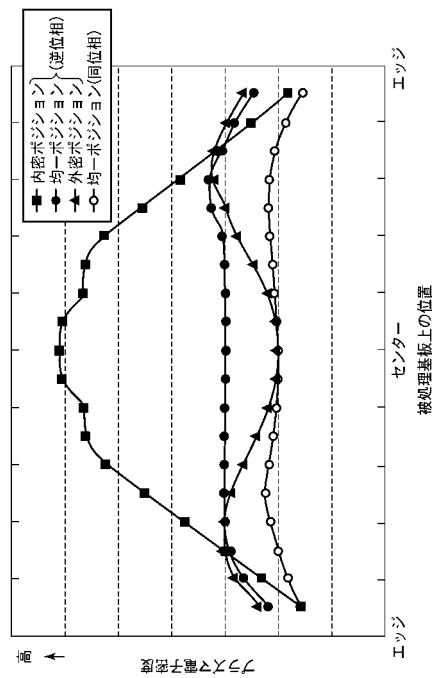
【図8】



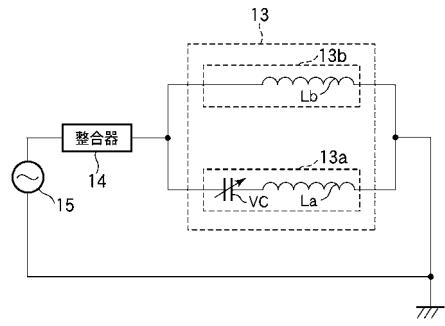
【図9】



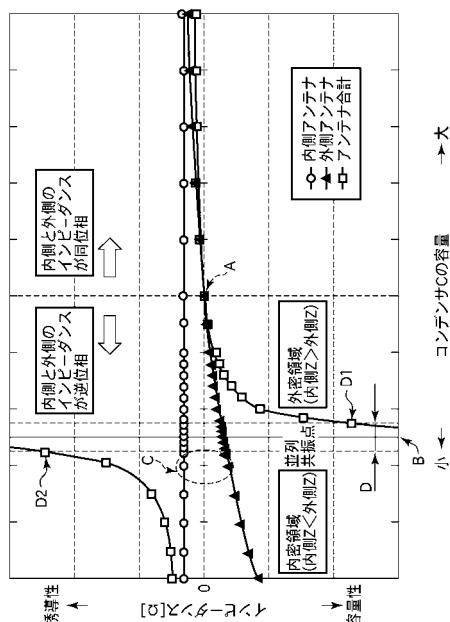
【図10】



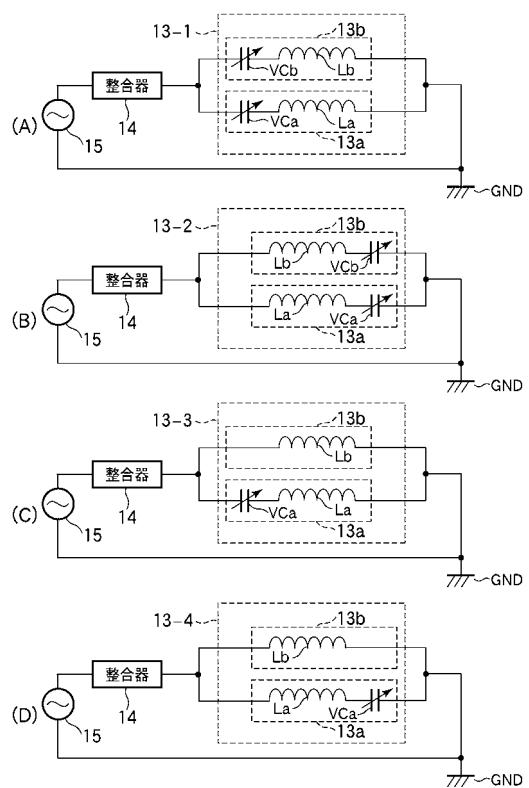
【図11】



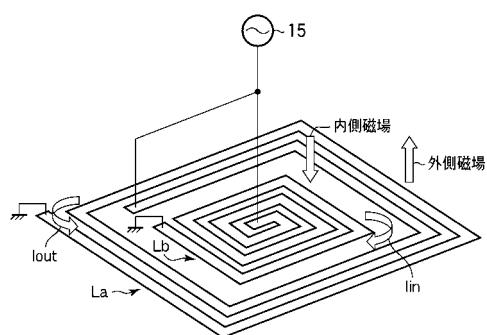
【図12】



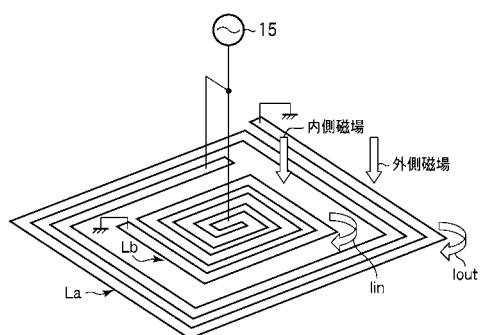
【図13】



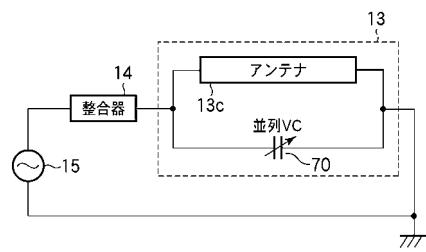
【図14】



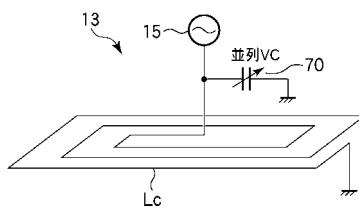
【図15】



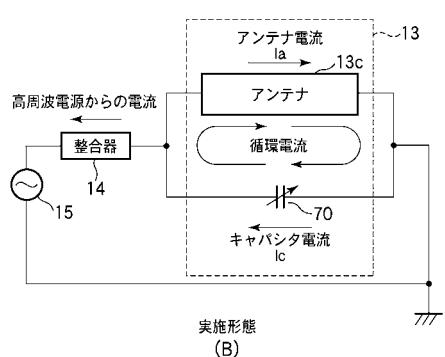
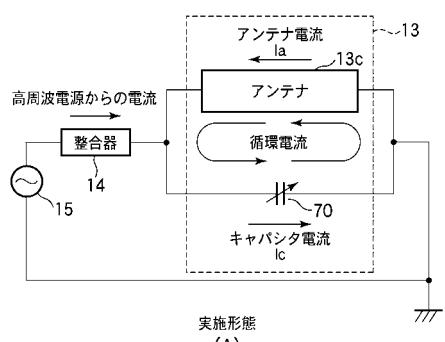
【図16】



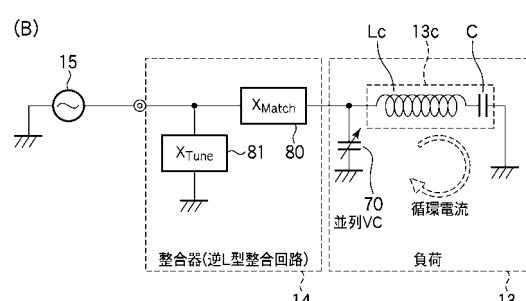
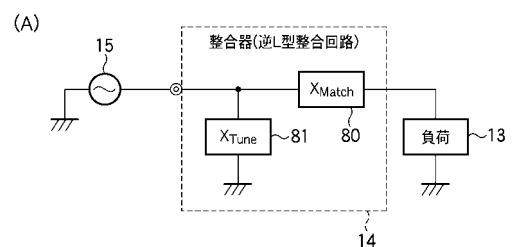
【図17】



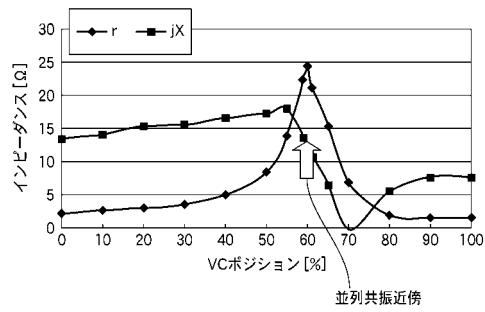
【図18】



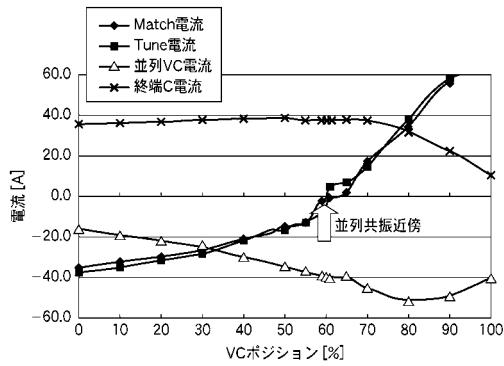
【図19】



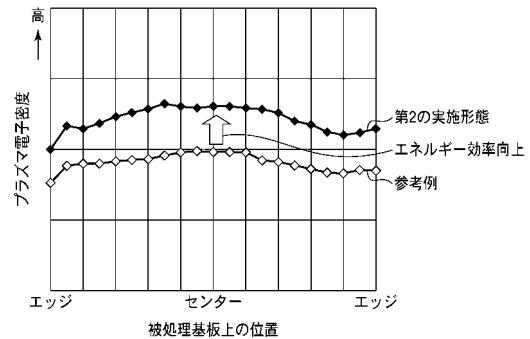
【図20】



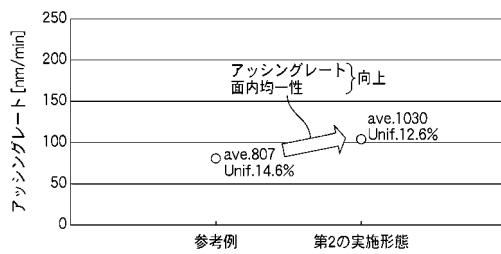
【図21】



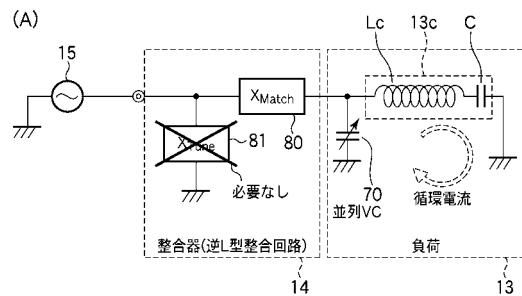
【図22】



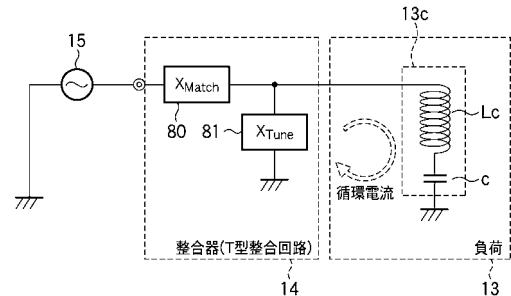
【図23】



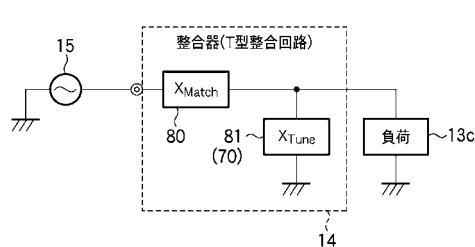
【図24】



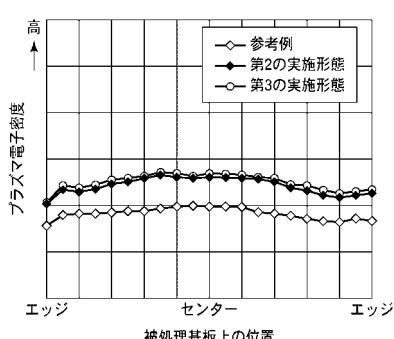
【図25】



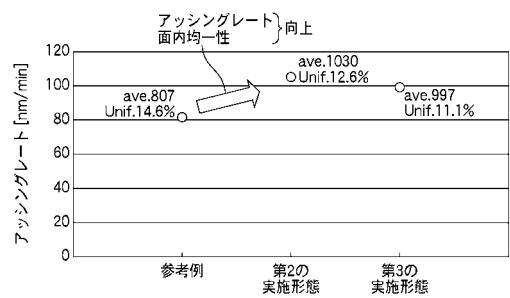
(B)



【図26】



【図27】



フロントページの続き

審査官 藤本 加代子

(56)参考文献 特開2001-085196(JP,A)

特開2000-323298(JP,A)

特開平09-082495(JP,A)

特開平11-152576(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 1/46

H01L 21/3065

H01L 21/205

C23C 16/507