

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-106358

(P2019-106358A)

(43) 公開日 令和1年6月27日(2019.6.27)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H05H 1/46 (2006.01)	H05H 1/46 B	2G084
H01L 21/3065 (2006.01)	H01L 21/302 I01D	4K030
H01L 21/31 (2006.01)	H01L 21/31 C	5F004
C23C 16/511 (2006.01)	C23C 16/511	5F045

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2018-198732 (P2018-198732)
 (22) 出願日 平成30年10月22日 (2018.10.22)
 (31) 優先権主張番号 特願2017-239892 (P2017-239892)
 (32) 優先日 平成29年12月14日 (2017.12.14)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(71) 出願人 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 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (72) 発明者 池田 太郎
 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エ
 レクトロン テクノロジーソリューション
 ズ株式会社内
 (72) 発明者 小松 智仁
 山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢650 東京エ
 レクトロン テクノロジーソリューション
 ズ株式会社内

最終頁に続く

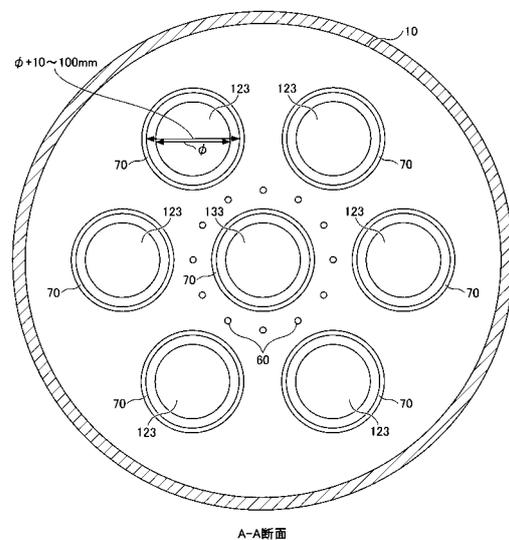
(54) 【発明の名称】 マイクロ波プラズマ処理装置

(57) 【要約】

【課題】プラズマ密度を増加させることが可能な構造を有するプラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】マイクロ波を供給するマイクロ波供給部と、処理容器の天壁の上に設けられ、前記マイクロ波供給部から供給されたマイクロ波を放射するマイクロ波放射部材と、前記天壁の開口を塞ぐように設けられ、前記マイクロ波放射部材を介してスロットアンテナに通されたマイクロ波を透過する誘電体からなるマイクロ波透過部材と、を有し、前記天壁には、前記マイクロ波透過部材を透過して前記天壁の開口から該天壁の表面を伝搬するマイクロ波の表面波の波長を s_p としたときに前記開口よりも外側に $s_p / 4 \pm s_p / 8$ の範囲の深さの凹部が形成される、マイクロ波プラズマ処理装置が提供される。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マイクロ波を供給するマイクロ波供給部と、

処理容器の天壁の上に設けられ、前記マイクロ波供給部から供給されたマイクロ波を放射するマイクロ波放射部材と、

前記天壁の開口を塞ぐように設けられ、前記マイクロ波放射部材を介してスロットアンテナに通されたマイクロ波を透過する誘電体のマイクロ波透過部材と、を有し、

前記天壁には、前記マイクロ波透過部材を透過して前記天壁の開口から該天壁の表面を伝搬するマイクロ波の表面波の波長を s_p としたときに前記開口よりも外側に $s_p / 4 \pm s_p / 8$ の範囲の深さの凹部が形成される、マイクロ波プラズマ処理装置。

10

【請求項 2】

前記凹部は、前記天壁の開口の端部から外側に 10 mm ~ 100 mm の範囲離れて 1 又は複数形成される、

請求項 1 に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記天壁の開口は、該天壁の円周方向に複数あり、複数の前記天壁の開口を塞ぐように複数の前記マイクロ波透過部材が設けられ、

前記凹部は、複数の前記マイクロ波透過部材が露出する複数の前記天壁の開口の全体を囲むようにリング状に形成される、

請求項 1 又は 2 に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

20

【請求項 4】

前記天壁の開口は、該天壁の円周方向に複数あり、複数の前記天壁の開口を塞ぐように複数の前記マイクロ波透過部材が設けられ、

前記凹部は、複数の前記マイクロ波透過部材が露出する複数の前記天壁の開口のそれぞれを囲むようにリング状に形成される、

請求項 1 又は 2 に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 5】

複数の前記マイクロ波透過部材のそれぞれに対応する前記凹部は、隣り合う前記マイクロ波透過部材の対向位置又はその近傍に応じた位置に凹みのない開口部を有する、

請求項 4 に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

30

【請求項 6】

前記凹部は、テーパ形状に形成される、

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 7】

前記凹部の内壁面は、イットリアによりコーティングされている、

請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 8】

前記開口よりも外側にマイクロ波の表面波の波長 s_p に対してプラズマの電子密度が指数関数的に変化するような、異なる深さの 2 以上の前記凹部が形成される、

請求項 1 ~ 7 のいずれか一項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

40

【請求項 9】

前記凹部は、前記開口よりも外側の前記天壁の側面又は裏面の少なくともいずれかに形成される、

請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロ波プラズマ処理装置に関する。

【背景技術】

【0002】

50

マイクロ波導入部から天壁の開口に設けられた透過窓を介して真空チャンバ内にマイクロ波を導入し、該マイクロ波のパワーによりガスから生成されたプラズマの作用によって基板にプラズマ処理を施すプラズマ処理装置が知られている（例えば、特許文献1を参照）。このプラズマ処理装置では、開口の周囲に、マイクロ波の伝搬を減衰させるチョーク溝が設けられている。チョーク溝は、プラズマの自由空間波長 λ に対して略 $\lambda/4$ の伝搬経路長を有し、マイクロ波の伝搬を抑制する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2003-45848号公報

10

【特許文献2】特開2004-319870号公報

【特許文献3】特開2005-32805号公報

【特許文献4】特開2009-99807号公報

【特許文献5】特開2010-232493号公報

【特許文献6】特開2016-225047号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、上記特許文献1では、真空チャンバ内に導入されたマイクロ波の伝搬経路長に対応して溝の位置が設計されており、溝の形状を最適化することによりプラズマ密度を増加させることは考慮されていない。

20

【0005】

プラズマ密度を増加させる方法の一つに、投入電力を大きくすることがあるが、この場合、最大出力電力が大きいプラズマ源を用意する必要がある。また、プラズマ処理時に電力をより多く使用するために生産時のコストが増大する。よって、投入電力を大きくすることなくプラズマ密度を増加させるためのプラズマ処理装置の構造が望まれる。

【0006】

上記課題に対して、一側面では、本発明は、プラズマ密度を増加させることが可能な構造を有するプラズマ処理装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

30

【0007】

上記課題を解決するために、一の態様によれば、マイクロ波を供給するマイクロ波供給部と、処理容器の天壁の上に設けられ、前記マイクロ波供給部から供給されたマイクロ波を放射するマイクロ波放射部材と、前記天壁の開口を塞ぐように設けられ、前記マイクロ波放射部材を介してスロットアンテナに通されたマイクロ波を透過する誘電体からなるマイクロ波透過部材と、を有し、前記天壁には、前記マイクロ波透過部材を透過して前記天壁の開口から該天壁の表面を伝搬するマイクロ波の表面波の波長を λ_p としたときに前記開口よりも外側に $\lambda_p/4 \pm \lambda_p/8$ の範囲の深さの凹部が形成される、マイクロ波プラズマ処理装置が提供される。

【発明の効果】

40

【0008】

一の側面によれば、プラズマ密度を増加させることが可能な構造を有するプラズマ処理装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】一実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置の一例を示す断面図。

【図2】一実施形態に係る天壁の一例を示す図（図1のA-A断面）。

【図3】一実施形態に係る凹部の一例を示す図。

【図4】一実施形態に係る凹部と比較例の電界遮断効率の一例を示す図。

【図5】一実施形態に係る凹部と比較例の電界遮断効率を説明するための図。

50

【図6】一実施形態に係る凹部と比較例の電界遮断効率の評価結果の一例を示す図。

【図7】一実施形態に係る凹部と比較例の電界遮断効率の評価結果の一例を示す図。

【図8】一実施形態の変形例1に係る天壁の一例を示す図(図1のA-A断面)。

【図9】一実施形態の変形例2に係る天壁の一例を示す図(図1のA-A断面)。

【図10】一実施形態の変形例3に係る天壁の凹部の一例を示す断面図。

【図11】一実施形態の変形例4に係る天壁の凹部の一例を示す断面図。

【図12】一実施形態の変形例4に係るのマイクロ波の表面波の波長 s_p とプラズマの電子密度との関係の一例を示す図。

【図13】マイクロ波の表面波の波長 s_p とプラズマの電子密度との関係を導く計算に使用する系を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明を実施するための形態について図面を参照して説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の構成については、同一の符号を付することにより重複した説明を省く。

【0011】

[マイクロ波プラズマ処理装置]

最初に、本発明の一実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置100について、図1を参照しながら説明する。図1は、本発明の一実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置100の一例を示す断面図である。マイクロ波プラズマ処理装置100は、ウェハWを収容する処理容器1を有する。処理容器1の上部は開口し、その開口は、蓋体10により開閉可能になっている。これにより、蓋体10は、処理容器1の天壁を構成する。

【0012】

マイクロ波プラズマ処理装置100は、天壁の表面を伝搬するマイクロ波の表面波プラズマにより、半導体ウェハW(以下、「ウェハW」と称呼する)に対して所定のプラズマ処理を行う。所定のプラズマ処理としては、例えばエッチング処理、成膜処理、アッシング処理等が挙げられる。

【0013】

処理容器1は、気密に構成されたアルミニウムまたはステンレス鋼等の金属材料からなる略円筒状の容器であり、接地されている。処理容器1と蓋体10との接触面には支持リング129が設けられ、これにより、処理容器1内は気密にシールされる。蓋体10は、アルミニウム等の金属から構成されている。

【0014】

マイクロ波プラズマ源2は、マイクロ波出力部30とマイクロ波伝送部40とマイクロ波放射部材50とを有する。マイクロ波出力部30は、複数経路に分配してマイクロ波を出力する。マイクロ波出力部30とマイクロ波伝送部40とは、マイクロ波を供給するマイクロ波供給部の一例である。

【0015】

マイクロ波伝送部40は、マイクロ波出力部30から出力されたマイクロ波を伝送する。マイクロ波伝送部40に設けられた周縁マイクロ波導入機構43aおよび中央マイクロ波導入機構43bは、アンプ部42から出力されたマイクロ波をマイクロ波放射部材50に導入する機能およびインピーダンスを整合する機能を有する。マイクロ波放射部材50は、処理容器1の蓋体10の上に設けられている。

【0016】

マイクロ波放射部材50の下方には、6つの周縁マイクロ波導入機構43aに対応する6つのマイクロ波透過部材123が、蓋体10の円周方向に等間隔に配置されている(図1のA-A面を示す図2参照)。また、中央マイクロ波導入機構43bに対応する1つのマイクロ波透過部材133が、蓋体10の中央に配置されている。マイクロ波透過部材123及びマイクロ波透過部材133は、蓋体10内に埋め込まれ、その下面が処理室内に円形に露出する。マイクロ波透過部材123, 133の下面は、天壁の表面よりスロット

10

20

30

40

50

1 2 2 , 1 3 2 側に位置する。

【 0 0 1 7 】

周縁マイクロ波導入機構 4 3 a および中央マイクロ波導入機構 4 3 b では、筒状の外側導体 5 2 およびその内側に設けられた棒状の内側導体 5 3 が同軸状に配置され、外側導体 5 2 と内側導体 5 3 との間はマイクロ波伝送路 4 4 となっている。

【 0 0 1 8 】

周縁マイクロ波導入機構 4 3 a および中央マイクロ波導入機構 4 3 b は、スラグ 5 4 と、その先端部に位置するインピーダンス調整部材 1 4 0 とを有する。スラグ 5 4 は誘電体で形成され、スラグ 5 4 を移動させることにより、処理容器 1 内の負荷（プラズマ）のインピーダンスをマイクロ波出力部 3 0 におけるマイクロ波電源の特性インピーダンスに整合させる機能を有する。インピーダンス調整部材 1 4 0 は誘電体で形成され、その比誘電率によりマイクロ波伝送路 4 4 のインピーダンスを調整する。

10

【 0 0 1 9 】

マイクロ波放射部材 5 0 は、マイクロ波を透過させる円盤状の部材から形成されている。マイクロ波放射部材 5 0 の下には、蓋体 1 0 に形成されたスロット 1 2 2 , 1 3 2 を介してマイクロ波透過部材 1 2 3 , 1 3 3 が蓋体 1 0 の開口を塞ぐように設けられている。

【 0 0 2 0 】

マイクロ波透過部材 1 2 3 , 1 3 3 は、誘電体から形成される。マイクロ波放射部材 5 0 は、中央に空間 1 2 1、1 3 1 を有し、空間 1 2 1、1 3 1 に繋がるスロット 1 2 2 , 1 3 2 を介してマイクロ波透過部材 1 2 3、1 3 3 にマイクロ波を放射する。マイクロ波透過部材 1 2 3、1 3 3 は、天壁の表面において均一にマイクロ波の表面波プラズマを形成するための誘電体窓としての機能を有する。

20

【 0 0 2 1 】

マイクロ波透過部材 1 2 3、1 3 3 は、マイクロ波放射部材 5 0 と同様、例えば、石英、アルミナ (Al_2O_3) 等のセラミックス、ポリテトラフルオロエチレン等のフッ素系樹脂やポリイミド系樹脂により形成されてもよい。

【 0 0 2 2 】

マイクロ波放射部材 5 0 は、真空よりも大きい比誘電率を有する誘電体であり、例えば、石英、アルミナ (Al_2O_3) 等のセラミックス、ポリテトラフルオロエチレン等のフッ素系樹脂やポリイミド系樹脂等により形成される。これにより、マイクロ波放射部材 5 0 内を透過するマイクロ波の波長を、真空中を伝搬するマイクロ波の波長よりも短くしてスロット 1 2 2 , 1 3 2 を含むアンテナ形状を小さくする機能を有する。

30

【 0 0 2 3 】

かかる構成により、マイクロ波出力部 3 0 から出力された伝送されたマイクロ波は、マイクロ波伝送路 4 4 を通ってマイクロ波放射部材 5 0 に伝搬され、マイクロ波放射部材 5 0 から処理容器 1 内に放射される。これにより、処理容器 1 内にマイクロ波の電力が供給される。

【 0 0 2 4 】

なお、周縁マイクロ波導入機構 4 3 a および中央マイクロ波導入機構 4 3 b の個数は、本実施形態に示す個数に限らない。例えば、1つの中央マイクロ波導入機構 4 3 b のみを設け、周縁マイクロ波導入機構 4 3 a を設けなくてもよい。つまり、周縁マイクロ波導入機構 4 3 a の個数は、0 であってもよいし、1 又は複数であってもよい。

40

【 0 0 2 5 】

蓋体 1 0 はアルミニウムなどの金属で形成され、内部にシャワー構造のガス導入部 6 2 が形成されている。ガス導入部 6 2 には、ガス供給配管 1 1 1 を介してガス供給源 2 2 が接続されている。ガスは、ガス供給源 2 2 から供給され、ガス供給配管 1 1 1 を介してガス導入部 6 2 の複数のガス供給孔 6 0 から処理容器 1 の内部に供給される。ガス導入部 6 2 は、処理容器 1 の天壁に形成された複数のガス供給孔 6 0 からガスを供給するガスシャワーヘッドの一例である。ガスの一例としては、例えば Ar ガスや、Ar ガスと N_2 ガスの混合ガスが挙げられる。

50

【 0 0 2 6 】

処理容器 1 内にはウェハ W を載置する載置台 1 1 が設けられている。載置台 1 1 は、処理容器 1 の底部中央に絶縁部材 1 2 a を介して立設された支持部材 1 2 により支持されている。載置台 1 1 および支持部材 1 2 を構成する材料としては、表面をアルマイト処理（陽極酸化処理）したアルミニウム等の金属や内部に高周波用の電極を有した絶縁部材（セラミックス等）が例示される。載置台 1 1 には、ウェハ W を静電吸着するための静電チャック、温度制御機構、ウェハ W の裏面に熱伝達用のガスを供給するガス流路等が設けられてもよい。

【 0 0 2 7 】

載置台 1 1 には、整合器 1 3 を介して高周波バイアス電源 1 4 が接続されている。高周波バイアス電源 1 4 から載置台 1 1 に高周波電力が供給されることにより、ウェハ W 側にプラズマ中のイオンが引き込まれる。なお、高周波バイアス電源 1 4 はプラズマ処理の特性によっては設けなくてもよい。

【 0 0 2 8 】

処理容器 1 の底部には排気管 1 5 が接続されており、この排気管 1 5 には、真空ポンプを含む排気装置 1 6 が接続されている。排気装置 1 6 を作動させると処理容器 1 内が排気され、これにより、処理容器 1 内が所定の真空度まで高速に減圧される。処理容器 1 の側壁には、ウェハ W の搬入出を行うための搬入出口 1 7 と、搬入出口 1 7 を開閉するゲートバルブ 1 8 とが設けられている。

【 0 0 2 9 】

マイクロ波プラズマ処理装置 1 0 0 の各部は、制御部 3 により制御される。制御部 3 は、マイクロプロセッサ 4、ROM (Read Only Memory) 5、RAM (Random Access Memory) 6 を有している。ROM 5 や RAM 6 にはマイクロ波プラズマ処理装置 1 0 0 のプロセスシーケンス及び制御パラメータであるプロセスレシピが記憶されている。マイクロプロセッサ 4 は、プロセスシーケンス及びプロセスレシピに基づき、マイクロ波プラズマ処理装置 1 0 0 の各部を制御する。また、制御部 3 は、タッチパネル 7 及びディスプレイ 8 を有し、プロセスシーケンス及びプロセスレシピに従って所定の制御を行う際の入力や結果の表示等が可能になっている。

【 0 0 3 0 】

かかる構成のマイクロ波プラズマ処理装置 1 0 0 においてプラズマ処理を行う際には、まず、ウェハ W が、搬送アーム上に保持された状態で、開口したゲートバルブ 1 8 から搬入出口 1 7 を通り処理容器 1 内の載置台 1 1 に載置される。処理容器 1 の内部の圧力は、排気装置 1 6 により所定の真空度に保持される。ガスがガス導入部 6 2 からシャワー状に処理容器 1 内に導入される。

【 0 0 3 1 】

マイクロ波放射部材 5 0、スロット 1 2 2、1 3 2、及びマイクロ波透過部材 1 2 3、1 3 3 を通って放射されたマイクロ波の表面波が天壁の表面を伝搬する。そうすると、その表面波の電界によりガスが電離及び解離等して天壁の表面近傍にマイクロ波の表面波プラズマが生成される。この表面波プラズマを使用して処理容器 1 の天壁と載置台 1 1 の間の処理空間 U にてウェハ W がプラズマ処理される。

【 0 0 3 2 】

〔 凹部 〕

かかる構成の本実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置 1 0 0 の蓋体 1 0 における天壁の表面（裏面）について、図 1 の A - A 面を示す図 2 を参照しながら説明を続ける。天壁の表面では、マイクロ波透過部材 1 2 3 が周辺側にて円周方向に等間隔に 6 つ設けられ、マイクロ波透過部材 1 3 3 が 1 つ設けられる。各マイクロ波透過部材 1 2 3 は周辺側の天壁の開口から露出し、マイクロ波透過部材 1 3 3 は中央の天壁の開口から露出している。天壁には、マイクロ波透過部材 1 2 3、1 3 3 が露出する天壁の開口のそれぞれを囲むように 7 つの凹部（溝）7 0 がリング状に形成されている。

【 0 0 3 3 】

各凹部 70 は、マイクロ波透過部材 123, 133 のそれぞれを透過し、天壁の開口から天壁の表面を伝搬するマイクロ波の表面波の波長を s_p とすると、 $s_p / 4$ の深さ、すなわち、概ね 5 mm ~ 7 mm に形成される。ただし、凹部 70 の深さは、 $s_p / 4$ に限られず、 $s_p / 4 \pm s_p / 8$ の範囲であってもよい。

【0034】

また、凹部 70 の内周側の直径は、図 2 に示すように、マイクロ波透過部材 123、133 が露出する天壁の開口の直径に対して +10 mm ~ 100 mm の範囲内になる。凹部 70 の内周側の直径が +10 mm ~ 100 mm の範囲内であれば、リング状の凹部 70 を同心円状に複数形成してもよい。

【0035】

10

[凹部の評価]

次に、凹部の評価結果の一例について、図 3 を参照しながら説明する。図 3 (a) 及び図 3 (b) は比較例の一例であり、マイクロ波透過部材 123, 133 が露出する天壁の開口のそれぞれを囲むように凸部 71 がリング状に形成されている。図 3 (a) の凸部 71 の天壁の表面からの高さは 5 mm であり、図 3 (b) の凸部 71 の表面からの高さは 10 mm である。

【0036】

図 3 (c) は本実施形態の一例であり、凹部 70 の一例である、深さが 5 mm の凹部 70 a、70 b がリング状に 2 重に形成されている。

【0037】

20

図 3 (d) は本実施形態の一例であり、深さが 5 mm の凹部 70 a、70 b の間に凸部が形成されている。凸部は、凹部 70 a、70 b の底部から 10 mm、つまり、天壁の表面から 5 mm 突出している。

【0038】

かかる構成において、次のプロセス条件でマイクロ波の表面波プラズマを生成した。

<プロセス条件>

ガス種 Ar ガス
 マイクロ波のパワー 400 W
 マイクロ波の周波数 860 MHz
 圧力 10 Pa

30

この結果を図 4 に示す。図 4 の (a) のグラフは、天壁の表面を伝搬する表面波プラズマの電界の状態の一例を示す。横軸は天壁の中央 (グラフの右端) からの距離 R (mm) を示し、縦軸は表面波プラズマの電界強度 Power (mW) を示す。横軸の -70 mm のラインは、凸部 71 又は凹部 70 が形成された位置である。これによれば、図 3 (a) の凸部 71 が形成された場合の「a」及び図 3 (b) の凸部 71 が形成された場合の「b」よりも、図 3 (c) の凹部 70 が形成された場合の「c」及び図 3 (d) の凹部 70 が形成された場合の「d」の方が、凸部 71 又は凹部 70 が形成された位置よりも外周側の表面波プラズマの電界強度が低くなっている。つまり、天壁の表面には凸部よりも凹部を設けることで、表面波プラズマの電界の遮断効率を高めることができる。また、図 3 (c) に示す 5 mm の深さの凹部 70 を設けることで、図 3 (d) に示す凹部 (中央が 10 mm の高さ) を設けるよりもさらに表面波プラズマの電界の遮断効率が高くなることがわかる。

40

【0039】

以上の評価結果から、マイクロ波透過部材 123, 133 が露出する天壁の開口のそれぞれを囲むように 5 mm 程度、すなわち、 $s_p / 4$ の深さの凹部を形成することが好ましいことがわかった。また、天壁の開口のそれぞれを囲むように凸部を設けたときの表面波プラズマの電界の遮断効率は、凹部を設けたときよりも低いことがわかった。なお、天壁の開口から天壁の表面を伝搬するマイクロ波の表面波の波長 s_p は、言い換えればプラズマの表面を流れるマイクロ波の表面波の波長であり、真空中のプラズマの自由空間波長の $1/10 \sim 1/20$ 程度になる。

【0040】

50

図4の(b)のグラフは、上記プロセス条件において生成されたプラズマの電子密度の一例を示す。なお、プラズマの電子密度は、プラズマ密度と同義である。

【0041】

図4の(b)のグラフの「c」、すなわち、図3(c)の凹部70が形成された場合のプラズマの電子密度は、横軸の-70mmのラインよりも内側の電子密度において、「a」(すなわち、図3(a)の凸部71が形成された場合)、「b」(すなわち、図3(b)の凸部71が形成された場合)及び「d」(すなわち、図3(d)の凹部70が形成された場合)よりも顕著に高いことがわかった。この結果、天壁の開口のそれぞれを囲むように5mmの深さの凹部を設けることで、凹部の内側における電力吸収効率を、図4の例では+200W相当分増加させることができることがわかった。

10

【0042】

凹部の深さを5mmに設計したときに表面波プラズマの電界の遮断効率が高い理由について、図5を参照しながら説明する。図5のマイクロ波透過部材123の中心軸Oから左側は、図3(c)の凹部70a、70bを形成した場合のモデルを示し、中心軸Oから右側は、図3(d)の凹部70a、70bを形成した場合のモデルを示す。

【0043】

中心軸Oから左側の領域Bを拡大した図5の左中央の図に、マイクロ波の表面波Sが伝搬する状態を模式的に示す。中心軸から右側の領域Cを拡大した図5の右中央の図に、マイクロ波の表面波Sが伝搬する状態を模式的に示す。

【0044】

領域Bの拡大図に示すマイクロ波の表面波には、天壁の表面を凹部70a、70bの内部に入り込まずに直進する表面波Saと、天壁の表面を凹部70a、70bの内部に入り込みながら進行する表面波Sbとがある。

20

【0045】

凹部70a、70bの内部に入り込みながら進行する表面波Sbは、凹部70a、70bの内部を伝搬し、底部で反射して往復し、表面波Saと合流する。合流点において、表面波Sbの位相は、凹部70a、70bの内部を往復したときの距離 $g/2 (= (g/4) \times 2)$ だけ表面波Saの位相からずれる。この結果、図5の左下の表面波Sa、Sbに示すように、合流した表面波Saと表面波Sbとは打ち消し合う。これにより、凹部70a、70bの深さを5mmに設計したときには表面波プラズマの電界の遮断効率が高くなり、凹部70a、70bの内側における電力吸収効率を向上させ、プラズマ密度を増加させることができる。

30

【0046】

一方、領域Cの拡大図に示すマイクロ波の表面波には、凹部70a、70bの内部に入り込んで進行する表面波Sbの位相は、図3(c)の場合の位相のずれ $+g/2$ だけ表面波Saの位相からずれる。図3(c)の場合の位相のずれは $g/2$ であるから、表面波Sbの位相は、 g だけ表面波Saの位相からずれる。この結果、図5の右下の表面波Sa、Sbに示すように、合流した表面波Saと表面波Sbとは強め合う。

【0047】

以上の理由から、図3(d)の凹部70a、70bによるマイクロ波の表面波プラズマの電界の遮断効率は、図3(c)の凹部70a、70bによるマイクロ波の表面波プラズマの電界の遮断効率よりも低くなった。この結果、図4(a)に示すように、横軸の-70mmのラインよりも外側の「d」の電界強度は「c」の電界強度よりも高くなっている。これにより、図4(b)の「c」に示す電力吸収効率は、図4(b)の「d」に示す電力吸収効率よりも顕著に高くなっている。この結果、図3(d)の凹部70a、70bでは、図3(c)の凹部70a、70bを天壁に形成した場合より凹部70a、70bの内側においてプラズマ密度を増加させることは難しいことがわかった。

40

【0048】

以上から、本実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置100の天壁の表面には、天壁の開口の直径 ϕ に対して外周側に直径 $\phi + 10\text{mm} \sim 100\text{mm}$ の範囲内の直径を有す

50

るように、リング状に5 mm (すなわち、 $g/4$) 程度の深さの凹部70が形成される。凹部70の個数は1つでもよいし、複数でもよい。ただし、凹部70の個数は、1つよりも複数の方が電界遮断効率をより高めることができるため好ましい。

【0049】

なお、本実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置100では、マイクロ波伝送部40、マイクロ波放射部材50、スロット122, 132、マイクロ波透過部材123, 133が7つずつ設けられたが、1つだけでもよい。この場合にも、1つのマイクロ波透過部材の外周を囲むように凹部70が1つ設けられる。

【0050】

[プロセス条件(圧力、ガス種)の変動と電界遮断効率]

10

次に、図6及び図7を参照して、本実施形態に係る凹部の電界遮断効率の評価結果の一例について、比較例と比較しながら説明する。図6は、圧力及びガス種のプロセス条件を変えたときの天壁の表面に伝搬するマイクロ波の表面波プラズマの電界強度の一例を示す。図7は、圧力及びガス種のプロセス条件を変えたときのプラズマの電子密度の一例を示す。

【0051】

図6によれば、天壁の表面に深さ5 mmの凹部70を設けた場合、Ref.で示される凹部を設けなかった場合と比較して、6 Pa, 10 Pa, 20 Paのいずれの場合にも凹部70が形成された-70 mmのラインよりも外側において電界強度が低く、凹部70による表面波の電界遮断効率があることがわかった。また、図7によれば、天壁の表面に深さ5 mmの凹部70を設けた場合、Ref.で示される凹部を設けなかった場合と比較して、6 Pa, 10 Pa, 20 Paのいずれの場合にも凹部70が形成された-70 mmのラインよりも内側の領域においてプラズマ密度が1.3倍~1.5倍程度増加していることがわかった。これは、深さ5 mmの凹部70を設けることで、マイクロ波の投入電力のプラズマへの吸収が良くなって、投入した電力に対してプラズマ密度が最大で1.5倍まで高まったと考えられる。これらの結果は、Arガスのプラズマ又はArガスとN₂ガスとのプラズマのいずれにおいても、同様であった。

20

【0052】

なお、処理容器内の圧力が5 Pa~50 Paの範囲では、マイクロ波の周波数で凹部70の深さの適正值が変わり、圧力とガス種で凹部70の位置の適正值が変わる。具体的には、Ar/N₂の混合ガスの場合、圧力を上げる程凹部70の位置の適正值は内側になる。また、Arガスの場合、圧力を下げる程、凹部70の位置の適正值は外側になる。

30

【0053】

[変形例]

最後に変形例に係る天壁の凹部70について、図8~図10を参照して説明する。図8は、本実施形態の変形例1に係る天壁の一例を示す図(図1のA-A断面の一例)である。図9は、本実施形態の変形例2に係る天壁の一例を示す図(図1のA-A断面の一例)である。図10は、本実施形態の変形例3に係る天壁の凹部の一例を示す断面図である。

【0054】

(変形例1)

40

図8に示す変形例1に係る凹部70には、円周方向に隣り合うマイクロ波透過部材123の位置に応じて凹部70の対向する位置に2つの開口部70dが形成されている。開口部70dは、天壁の表面と同じ高さであり、凹部70がない部分である。マイクロ波の表面波の一部は、開口部70dから凹部70よりも外周側に伝搬される。開口部70dの端部は、平行に形成されているが、これに限られず、概ね30°~60°の角度の範囲で開口していることが好ましい。

【0055】

このように、各凹部70に、円周方向に隣接するマイクロ波透過部材123側に開かれた2つの開口部70dを設けることで、開口部70dから、天壁を伝搬するマイクロ波の表面波プラズマの一部が凹部70の外側に洩れる。これにより、隣接するマイクロ波透過

50

部材 1 2 3 間のプラズマ密度が低下することを防止しながら、各凹部 7 0 よりも内側の領域においてプラズマ密度を増加させることができる。この結果、プロセス性能を向上させることができる。

【 0 0 5 6 】

(変形例 2)

図 9 に示す変形例 2 に係る凹部 7 0 は、複数のマイクロ波透過部材 1 2 3 , 1 3 3 が露出する天壁の開口の全体を囲むようにリング状に 1 つ形成される。これによっても、凹部 7 0 の内側において電力吸収効率を向上させ、プラズマ密度を増加させることができる。この結果、プロセス性能を向上させることができる。

【 0 0 5 7 】

(変形例 3)

図 1 0 (a) に示す変形例 3 に係る凹部 7 0 では、側壁 7 0 e が底部に向かって内側に傾斜するようにテーパ形状に形成される。さらに、図 1 0 (b) に示すように、凹部 7 0 の内壁面を溶射によりイットリア (Y_2O_3) の保護膜 7 0 f でコーティングしてもよい。イットリアの保護膜 7 0 f は、凹部 7 0 の側面がテーパ形状の場合に限られず、垂直形状の凹部 7 0 の側面及び底面をコーティングしてもよい。これにより、凹部 7 0 におけるプラズマ耐性を向上させ、パーティクルの発生を防止することができる。図 1 0 (a) 及び図 1 0 (b) のいずれの場合にも、凹部 7 0 の深さは、約 5 mm であることが好ましい。更に、本実施形態及び変形例 1 ~ 3 において形成する凹部 7 0 は、真円であってもよいし、楕円であってもよい。

【 0 0 5 8 】

以上に説明したように、本実施形態のマイクロ波プラズマ処理装置 1 0 0 では、天壁の開口 (マイクロ波の放射領域、マイクロ波透過部材 1 2 3 , 1 3 3 の位置) から所定距離外側において、天壁に $g/4$ 又は $g/4 \pm g/8$ の深さの凹部 7 0 が形成される。これにより、凹部 7 0 によって、マイクロ波の表面波プラズマの電界の遮断効率を高め、凹部 7 0 の内側における電力吸収効率を向上させ、プラズマ密度を増加させることができる。この結果、プロセス性能を向上させることができる。

【 0 0 5 9 】

(変形例 4)

次に、一実施形態の変形例 4 に係る天壁の凹部 7 0 について、図 1 1 を参照しながら説明する。変形例 4 では、マイクロ波透過部材 1 2 3 , 1 3 3 によって塞がれる蓋体 1 0 の開口よりも外側に、マイクロ波の表面波の波長 s_p に対してプラズマの電子密度が指数関数的に変化するような、異なる深さの 2 以上の凹部が形成される。

【 0 0 6 0 】

図 1 1 (a) では、波長 s_p に対してプラズマの電子密度が指数関数的に変化するような、異なる深さの 5 つの凹部 7 0 g、7 0 h、7 0 i、7 0 j、7 0 k が形成されている。図 1 1 (b) では、波長 s_p に対してプラズマの電子密度が指数関数的に変化するような、異なる深さの 2 つの凹部 7 0 m、7 0 n が形成されている。凹部 7 0 g、7 0 h、7 0 i、7 0 j、7 0 k 及び凹部 7 0 m、7 0 n を総称して凹部 7 0 ともいう。

【 0 0 6 1 】

図 1 1 (a) に示す凹部 7 0 g、7 0 h、7 0 i、7 0 j、7 0 k は、蓋体 1 0 の開口よりも外側の天壁の裏面に形成される。図 1 1 (b) に示す凹部 7 0 m、7 0 n は、開口よりも外側の天壁の側壁に形成される。図 1 1 (a) 及び (b) は、組み合わせてもよい。

【 0 0 6 2 】

2 以上の凹部 7 0 の深さは、蓋体 1 0 の開口から近い程浅く、開口から遠いほど深い方が好ましい。ただし、蓋体 1 0 の開口から近い程深く、開口から遠いほど浅くてもよい。また、凹部 7 0 の数はこれに限定されず、複数であれば、3 つ又は 4 つでもよいし、それ以上でもよい。また、凹部 7 0 の間隔は、略 $s_p/4$ であって等間隔であることが好ましいが、これに限られない。また、変形例 4 に示す 2 以上の凹部 7 0 は、変形例 1、変形

10

20

30

40

50

例 2 及び変形例 3 に示す凹部 70 の位置や形状と組み合わせて適用することができる。

【0063】

これにより、プラズマの電子密度を高い状態に保ちつつ、凹部 70 にてマイクロ波の表面波（電磁波）をカットすることができる。その理由について以下に説明する。

【0064】

図 12 は、一実施形態の変形例 4 に係るシース中のマイクロ波の表面波の波長 s_p とプラズマの電子密度との関係を示すグラフである。横軸 x はプラズマの電子密度を示し、縦軸 y はマイクロ波の表面波の波長 s_p の $1/4$ を示す。破線で示すプロセスガス領域では、プラズマ処理に使用するプロセスガスにおいて、波長 $s_p/4$ とプラズマの電子密度とは略直線になる。また、上記のプロセスガス領域からプラズマ処理に使用するアルゴンガスまでの領域においても $s_p/4$ とプラズマの電子密度とは概ね直線になる。

10

【0065】

本グラフでは、波長 $s_p/4$ に対してプラズマの電子密度は対数関数で表示されているから、プロセスガス領域において波長 $s_p/4$ に対してプラズマの電子密度は指数関数的に変化することがわかる。つまり、プロセスガス領域において波長 s_p は、プラズマの電子密度に依存して指数関数的に変化する。換言すれば、プラズマの電子密度によってマイクロ波の表面波の波長 $s_p/4$ は変わるため、凹部 70 は、ターゲットとするプラズマの電子密度に対応する波長 $s_p/4$ の深さに形成することが好ましい。

【0066】

以上のプラズマ特性を利用して、図 11 (a) 及び (b) に示すようにプラズマの電子密度に併せて指数関数的に変化させた、異なる深さの複数の凹部 70 を設ける。これにより、プロセス条件に対応した電子密度領域をターゲットとする複数の凹部 70 を形成することができる。この結果、プラズマの電子密度は高い状態を保ちつつ、凹部 70 にてマイクロ波の表面波をカットすることができる。

20

【0067】

図 12 のグラフに示すマイクロ波の表面波の波長 s_p とプラズマの電子密度との関係は、以下のようにして導かれる。図 13 は、マイクロ波の表面波の波長 s_p とプラズマの電子密度との関係を導くための計算に使用する系として、(y、z) 方向に設けられた蓋体 10 の下にシース及びプラズマが形成された状態を示す。シースの比誘電率を ϵ_r ($\epsilon_r = 1$) とし、プラズマの比誘電率を ϵ_p とすると、マクスウェル方程式と電子の運動方程式とから式 (1) が導かれる。

30

【0068】

$$\left(\frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} \right) \times \left(\frac{\omega}{c} \right) \tanh(\omega s) + 1 = 0 \cdots (1)$$

ω は、シース中の x 方向のマイクロ波の波数を示す。 ω_p は、プラズマ中の x 方向のマイクロ波の波数を示す。 s は、シースの厚さを示す。

【0069】

式 (2) により示され、式 (3) により示される。

【0070】

$$\omega^2 = k^2 - \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 \cdots (2)$$

$$\omega^2 = k^2 - \epsilon_p \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 \cdots (3)$$

式 (3) は次の式 (4) に変形できる。

【0071】

40

【数 1】

$$\beta^2 = k^2 - \left(\frac{\omega}{c}\right)^2 + \frac{1 - i\gamma}{1 + \gamma^2} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^2 \quad \dots(4)$$

【0072】

10

は、電子と中性粒子の衝突周波数であり、系の圧力により定まる。は、入力する周波数のマイクロ波の角速度であり、 c は光の速度である。 ω_p は、電子プラズマ周波数であり、プラズマの電子密度の関数である。

【0073】

式(2)の k は、 z 方向のシース中のマイクロ波の表面波の波数を示す。式(4)の k は、 z 方向のプラズマ中のマイクロ波の表面波の波数を示す。図13に示す z 方向のシースとプラズマとの界面において両者の波数は一致するため、式(2)及び式(4)の k の個数は同じである。

【0074】

式(2)及び式(4)で定義される β と ω を式(1)に代入することで、次の式(5)が導かれる。

20

【0075】

$$\beta_{sp} = 2 / \text{Re}(k) \dots (5)$$

式(4)からプラズマ中のマイクロ波の表面波の波数 k と電子密度 ω_p との関係が紐付けられるため、式(5)から導かれるマイクロ波の表面波の波長 λ_{sp} とマイクロ波の表面波の波数 k との関係式は、同表面波の波長 λ_{sp} と電子密度 ω_p との関係を示す。

【0076】

以上から、式(4)及び式(5)に基づき図12のグラフが導かれ、マイクロ波の表面波の波長 λ_{sp} は、プラズマの電子密度に依存し、プラズマの電子密度によって変化することがわかった。

30

【0077】

よって、プロセス条件領域の様々なプラズマの電子密度に応じて変化する様々な波長 λ_{sp} の表面波に対応して凹部70による表面波を遮断する効果が得られるように、プロセス条件に合致した電子密度の領域に対応する、深さが指数関数的に変化する複数の凹部70を形成する。これにより、複数の凹部70の少なくともいずれかが、プロセス条件に合致した電子密度の領域に対応する深さが略 $\lambda_{sp} / 4$ の溝となる確率を高めることができる。換言すれば、深さが指数関数的に変化する複数の凹部70を形成することによりマイクロ波の表面波プラズマの電界の遮断効率を高めるという凹部70の効果を最大限に発揮することができる。これにより、凹部70の内側における電力吸収効率を向上させ、プラズマ密度を増加させることができる。この結果、プロセス性能を向上させることができる。

40

【0078】

以上、マイクロ波プラズマ処理装置を上記実施形態及びその変形例により説明したが、本発明にかかるマイクロ波プラズマ処理装置は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の範囲内で種々の変形及び改良が可能である。上記複数の実施形態に記載された事項は、矛盾しない範囲で組み合わせることができる。

【0079】

本明細書では、ウェハWを挙げて説明したが、プラズマ処理対象である被処理体は、ウェハWに限られず、LCD(Liquid Crystal Display)、FPD(Flat Panel Display)に用いられる各種基板等であっても良い。

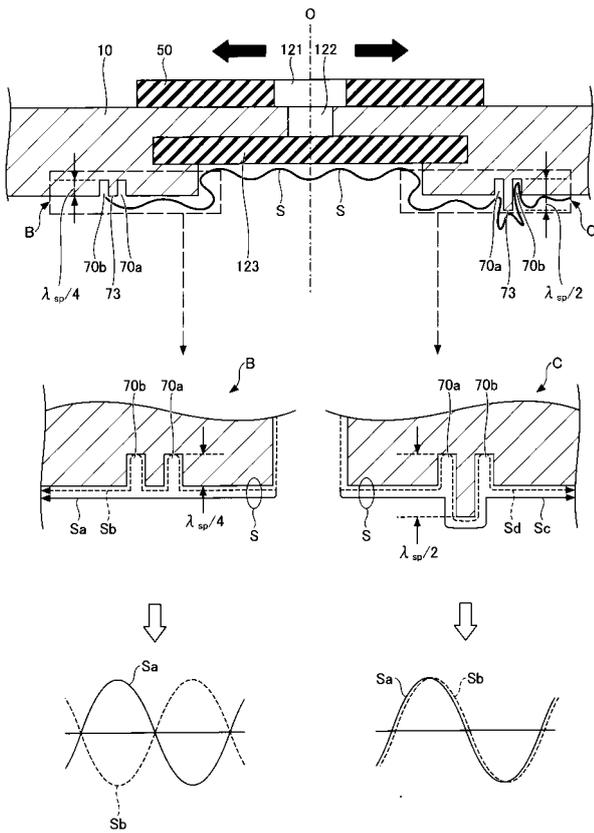
50

【符号の説明】

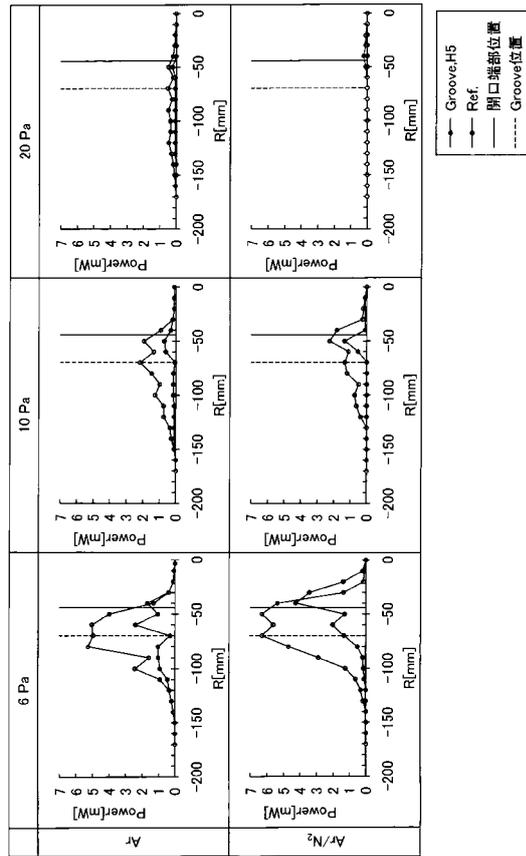
【0080】

1	処理容器	
2	マイクロ波プラズマ源	
3	制御部	
10	蓋体	
11	載置台	
14	高周波バイアス電源	
22	ガス供給源	
30	マイクロ波出力部	10
40	マイクロ波伝送部	
43 a	周縁マイクロ波導入機構	
43 b	中央マイクロ波導入機構	
44	マイクロ波伝送路	
50	マイクロ波放射部材	
52	外側導体	
53	内側導体	
54	スラゲ	
60	ガス供給孔	
62	ガス導入部	20
70、70 a、70 b	凹部	
70 d	開口部	
100	マイクロ波プラズマ処理装置	
122、132	スロット	
123、133	マイクロ波透過部材	
U	処理空間	

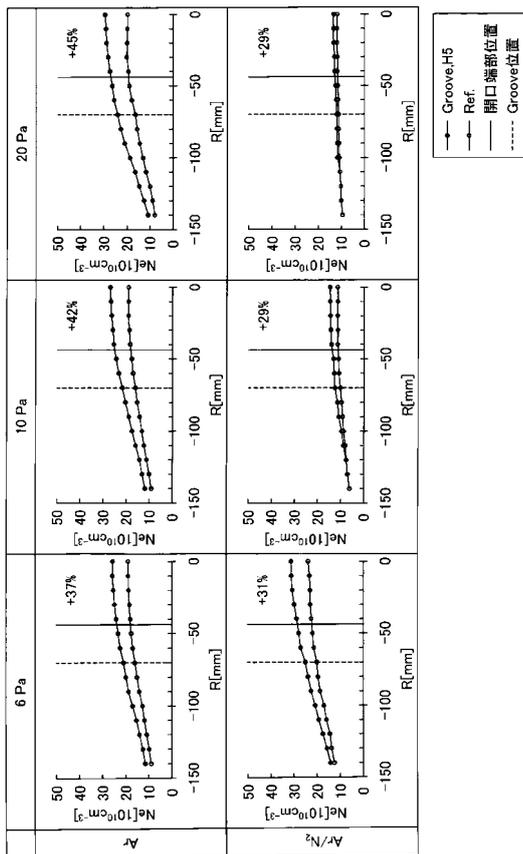
【 図 5 】



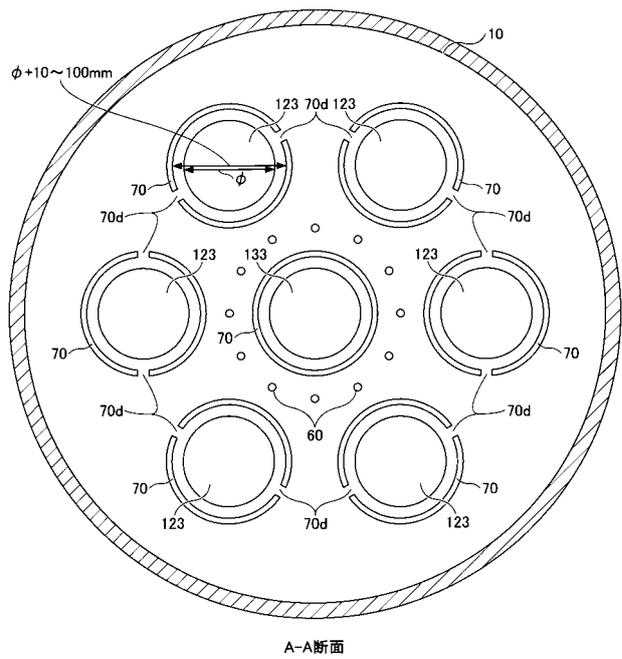
【 図 6 】



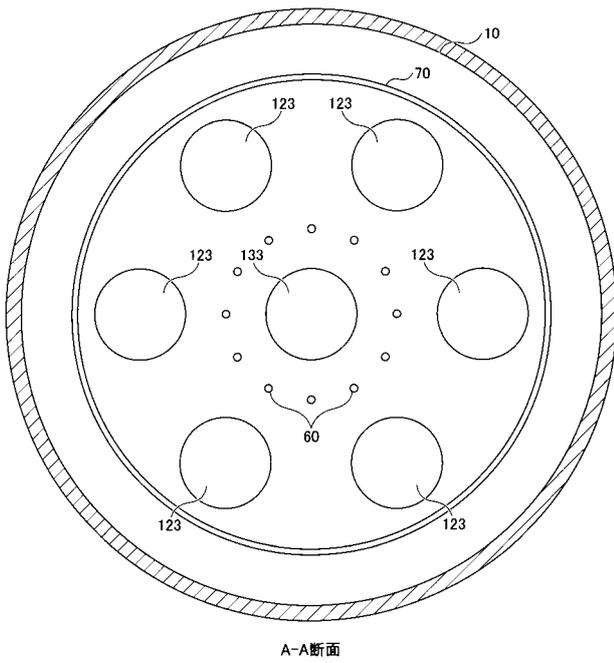
【 図 7 】



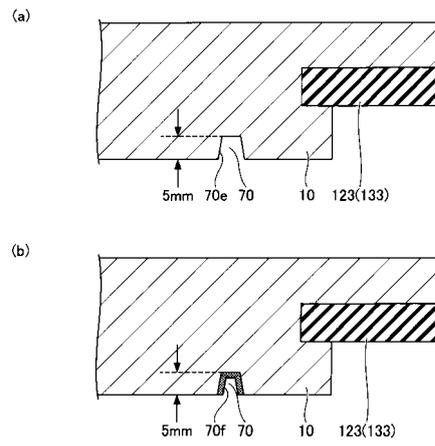
【 図 8 】



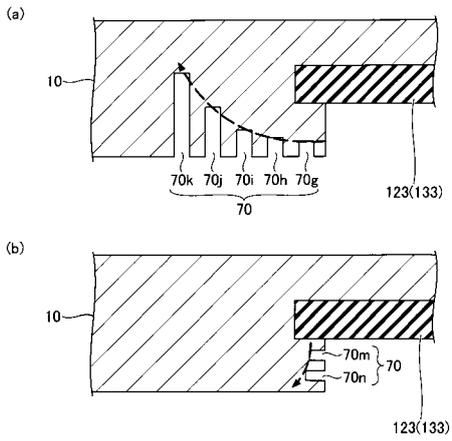
【 図 9 】



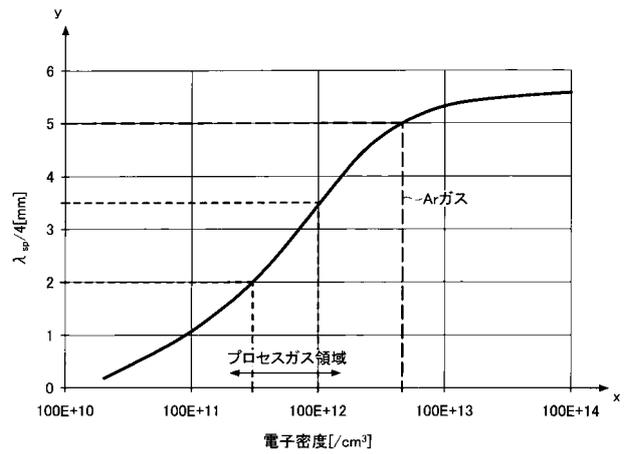
【 図 1 0 】



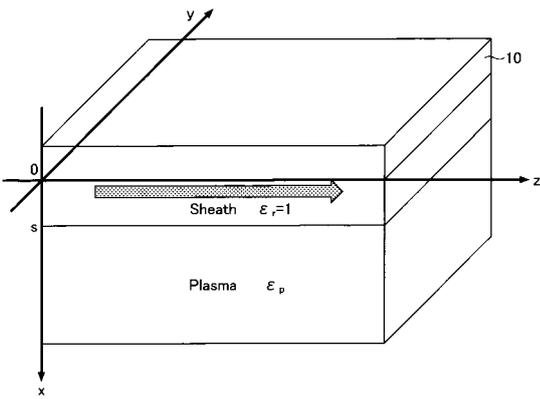
【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

(72)発明者 鎌田 英紀

山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ株式会社内

(72)発明者 佐藤 幹夫

山梨県韮崎市穂坂町三ツ沢 6 5 0 東京エレクトロン テクノロジーソリューションズ株式会社内

Fターム(参考) 2G084 AA02 AA03 AA05 BB02 BB05 CC06 CC16 CC33 DD19 DD38
DD48 DD55 DD61 DD62 FF04 FF15 FF39
4K030 CA04 CA12 FA01 GA02 KA30 KA45 LA15
5F004 BA06 BB14 BB22 BB25 BB29 BD01 BD04 CA06 DA23 DA25
5F045 AA09 AC15 AC16 DP03 EF05 EH02 EH05 EH08 EJ02 EM05