

(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2009-224455

(P2009-224455A)

(43) 公開日 平成21年10月1日(2009.10.1)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H01L 21/31 (2006.01)	H01L 21/31 C	4K030
H01L 21/3065 (2006.01)	H01L 21/302 I01D	5F004
H05H 1/46 (2006.01)	H05H 1/46 B	5F045
C23C 16/505 (2006.01)	C23C 16/505	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2008-65635 (P2008-65635)  
 (22) 出願日 平成20年3月14日 (2008.3.14)

(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 100115118  
 弁理士 渡邊 和浩  
 (74) 代理人 100107559  
 弁理士 星宮 勝美  
 (72) 発明者 植田 篤  
 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i  
 zタワー 東京エレクトロン株式会社内  
 (72) 発明者 足立 光  
 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i  
 zタワー 東京エレクトロン株式会社内

最終頁に続く

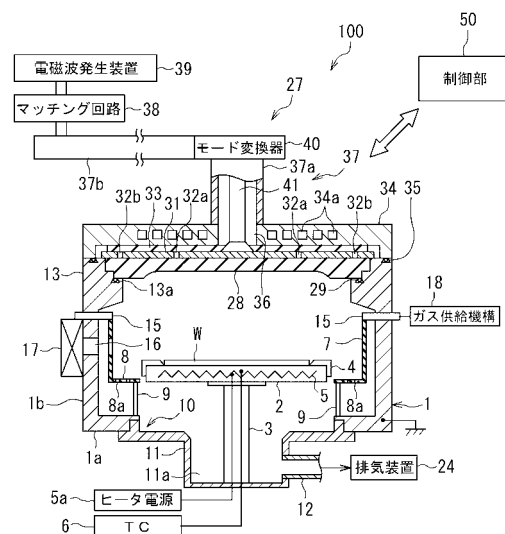
(54) 【発明の名称】 平面アンテナ部材およびこれを備えたプラズマ処理装置

## (57) 【要約】

【課題】プラズマの制御性が高く、チャンバー内で安定的に表面波プラズマを形成することができるプラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】プラズマ処理装置100は、同心円状に配列された第1のスロット32aおよび第2のスロット32bを有する平面アンテナ板31を備えている。平面アンテナ板31の中心から第1のスロット32aの中心までの距離と、平面アンテナ板31の半径との比を0.35~0.5とし、かつ基材31aの中心から第2のスロット32bの中心までの距離と、基材31aの半径との比を0.7~0.85としたことにより、電磁波発生装置39で発生した915MHzの電磁波を効率良くチャンバー1内に導入できる。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

プラズマ処理装置の処理室内に電磁波発生源で発生した電磁波を導入する平面アンテナ部材であって、

導電性材料からなる平板状基材と、

前記平板状基材に形成された、電磁波を放射する複数の貫通開口と、  
を備え、

前記貫通開口は、前記平面アンテナ部材の中心にその中心が重なる円周上に配列された複数の第 1 の貫通開口と、

前記第 1 の貫通開口の外側に同心円状に配列された複数の第 2 の貫通開口と、  
を含んでおり、

前記平面アンテナ部材の中心から前記第 1 の貫通開口の中心までの距離  $L_1$  と、前記平面アンテナ部材の半径  $r$  との比  $L_1 / r$  が  $0.35 \sim 0.5$  の範囲内であり、

前記平面アンテナ部材の中心から前記第 2 の貫通開口の中心までの距離  $L_2$  と、前記平面アンテナ部材の半径  $r$  と比  $L_2 / r$  が  $0.7 \sim 0.85$  の範囲内であることを特徴とする平面アンテナ部材。

## 【請求項 2】

前記距離  $L_1$  を半径とし、前記第 1 の貫通開口の中心を結ぶ第 1 の円および前記距離  $L_2$  を半径とし、前記第 2 の貫通開口の中心を結ぶ第 2 の円に対して同心円状に形成され、前記第 1 の円の円周と前記第 2 の円の円周との径方向の中間点を結ぶ第 3 の円は、その半径  $L_3$  と前記半径  $r$  との比  $L_3 / r$  が、 $0.5 \sim 0.7$  の範囲内であることを特徴とする請求項 1 に記載の平面アンテナ部材。

## 【請求項 3】

前記距離  $L_2$  と前記距離  $L_1$  との差分  $(L_2 - L_1)$  と、前記平面アンテナ部材の半径  $r$  と比  $(L_2 - L_1) / r$  が  $0.2 \sim 0.5$  の範囲内であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の平面アンテナ部材。

## 【請求項 4】

前記第 1 の貫通開口および前記第 2 の貫通開口は、ともに細長形状をなしており、前記第 1 の貫通開口の長手方向に対して、前記第 2 の貫通開口の長手方向のなす角度が  $85^\circ \sim 95^\circ$  の範囲内であることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の平面アンテナ部材。

## 【請求項 5】

前記平面アンテナ部材の中心と前記第 1 の貫通開口の中心とを結ぶ直線に対して、該第 1 の貫通開口の長手方向がなす角度が  $30^\circ \sim 50^\circ$  の範囲内であることを特徴とする請求項 4 に記載の平面アンテナ部材。

## 【請求項 6】

前記平面アンテナ部材の中心と前記第 2 の貫通開口の中心とを結ぶ直線に対して、該第 2 の貫通開口の長手方向がなす角度が  $130^\circ \sim 150^\circ$  の範囲内であることを特徴とする請求項 4 または請求項 5 に記載の平面アンテナ部材。

## 【請求項 7】

前記平面アンテナ部材の中心から前記第 1 の貫通開口の中心までを結ぶ直線と、前記平面アンテナ部材の中心から前記第 2 の貫通開口の中心までを結ぶ直線とのなす角度が、 $8 \sim 15^\circ$  の範囲内であることを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の平面アンテナ部材。

## 【請求項 8】

前記電磁波発生源で発生した電磁波の周波数が、 $800 \sim 1000 \text{ MHz}$  の範囲内であることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の平面アンテナ部材。

## 【請求項 9】

被処理体を収容する真空引き可能な処理容器と、

前記処理容器内にガスを供給するガス供給機構と、

10

20

30

40

50

前記処理容器内を減圧排気する排気機構と、  
前記処理容器の上部の開口に気密に装着され、プラズマ発生用の電磁波を透過させる透過板と、

前記透過板の上に配置され、前記電磁波を前記処理容器内に導入する平面アンテナ部材と、

前記平面アンテナ部材を上方から覆うカバー部材と、

前記カバー部材を貫通して設けられ、電磁波発生源で発生した  $800 \sim 1000 \text{ MHz}$  の範囲内の電磁波を前記平面アンテナ部材へ供給する導波管と、  
を備え、

前記平面アンテナ部材は、

導電性材料からなる平板状基材と、

前記平板状基材に形成された、電磁波を放射する複数の貫通開口と、  
を備え、

前記貫通開口は、環状に配列された複数の第1の貫通開口と、

前記第1の貫通開口の外側に同心円状に配列された複数の第2の貫通開口と、  
を含んでおり、

前記平面アンテナ部材の中心から前記第1の貫通開口の中心までの距離  $L_1$  と、前記平面アンテナ部材の半径  $r$  との比  $L_1 / r$  が  $0.35 \sim 0.5$  の範囲内であり、

前記平面アンテナ部材の中心から前記第2の貫通開口の中心までの距離  $L_2$  と、前記平面アンテナ部材の半径  $r$  との比  $L_2 / r$  が  $0.7 \sim 0.85$  の範囲内であることを特徴とするプラズマ処理装置。

#### 【請求項10】

前記距離  $L_1$  を半径とし、前記第1の貫通開口の中心を結ぶ第1の円および前記距離  $L_2$  を半径とし、前記第2の貫通開口の中心を結ぶ第2の円に対して同心円状に形成され、前記第1の円の円周と前記第2の円の円周との径方向の中間点を結ぶ第3の円は、その半径  $L_3$  と前記半径  $r$  との比  $L_3 / r$  が  $0.5 \sim 0.7$  の範囲内であることを特徴とする請求項9に記載のプラズマ処理装置。

#### 【請求項11】

前記距離  $L_2$  と前記距離  $L_1$  との差分  $(L_2 - L_1)$  と、前記平面アンテナ部材の半径  $r$  との比  $(L_2 - L_1) / r$  が  $0.2 \sim 0.5$  の範囲内であることを特徴とする請求項9または請求項10に記載のプラズマ処理装置。

#### 【請求項12】

前記第1の貫通開口および前記第2の貫通開口は、ともに細長形状をなしており、前記第1の貫通開口の長手方向に対して、前記第2の貫通開口の長手方向のなす角度が  $85^\circ \sim 95^\circ$  の範囲内であることを特徴とする請求項9から請求項11のいずれか1項に記載のプラズマ処理装置。

#### 【請求項13】

前記平面アンテナ部材の中心と前記第1の貫通開口の中心とを結ぶ直線に対して、該第1の貫通開口の長手方向がなす角度が  $30^\circ \sim 50^\circ$  の範囲内であることを特徴とする請求項12に記載のプラズマ処理装置。

#### 【請求項14】

前記平面アンテナ部材の中心と前記第2の貫通開口の中心とを結ぶ直線に対して、該第2の貫通開口の長手方向がなす角度が  $130^\circ \sim 150^\circ$  の範囲内であることを特徴とする請求項12または請求項13に記載のプラズマ処理装置。

#### 【請求項15】

前記平面アンテナ部材の中心から前記第1の貫通開口の中心までを結ぶ直線と、前記平面アンテナ部材の中心から前記第2の貫通開口の中心までを結ぶ直線とのなす角度が、 $8 \sim 15^\circ$  の範囲内であることを特徴とする請求項9から請求項14のいずれか1項に記載のプラズマ処理装置。

#### 【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、被処理体をプラズマ処理する処理室へ所定周波数の電磁波を導くために用いられる平面アンテナ部材およびこの平面アンテナ部材を備えたプラズマ処理装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

半導体ウエハなどの被処理体に対し、酸化処理や窒化処理などのプラズマ処理を行うプラズマ処理装置として、複数のスロットを有する平面アンテナを用いて処理室内に例えば周波数2.45GHzのマイクロ波を導入してプラズマを生成させる方式のプラズマ処理装置が知られている（例えば、特許文献1、特許文献2）。このようなマイクロ波プラズマ処理装置では、高いプラズマ密度を持つプラズマを生成させることにより、チャンバー内で表面波プラズマを形成することが可能である。

10

## 【0003】

上記の方式のプラズマ処理装置では、チャンバー内の圧力を高くしていくとプラズマ密度が低下する傾向がある。プラズマ密度が低くなると、2.45GHzのマイクロ波の角周波数よりもプラズマの角周波数の方が小さくなってしまい、表面波プラズマを安定的に維持することができなくなってしまう。例えば、チャンバー内圧力が133.3Pa以上の条件でプラズマ処理を行う場合、プラズマ密度が十分に上昇せず、表面波プラズマがカットオフして表面波プラズマではない通常のパルクプラズマになってしまう場合がある。

20

## 【0004】

【特許文献1】特開平11-260594号公報

【特許文献2】特開2001-223171号公報

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

次世代以降のデバイス開発に向けて、例えば3次元デバイス加工や微細化への対応を図るためには、精密な処理が可能な比較的高い圧力条件で処理レートの向上やウエハ面内における処理の均一性を実現していく必要がある。そのためには、プラズマの制御性を向上させ、プラズマ密度が低くなる比較的高い圧力条件でも、表面波プラズマを安定的に維持できるようにする必要がある。表面波プラズマを安定的に維持できるようにするための一つの方策として、電磁波の周波数を下げることが考えられる。例えば、周波数が2.45GHzよりも低い周波数の電磁波を用いることにより、比較的高い圧力条件でも安定的に表面波プラズマを維持できる可能性がある。

30

## 【0006】

しかし、電磁波を効率よくチャンバー内に導くための平面アンテナの構造は、電磁波の周波数により異なる。従来技術の平面アンテナは、周波数2.45GHzのマイクロ波をチャンバー内に導入する目的に適したものであり、従来のマイクロ波の周波数よりも低い例えば1GHz程度の周波数の電磁波に適した平面アンテナに関する構造面の検討は、十分になされていない。そもそも、1GHz以下の比較的低い周波数の電磁波を使用するプラズマ処理装置には、平面アンテナ自体が使用されてこなかった。

40

## 【0007】

一般に、電磁波の周波数を下げるとその波長が長くなることから、2.45GHzの周波数のマイクロ波を導く場合に比べて、1GHz程度の周波数の電磁波を導く場合には、平面アンテナのスロットの長さやスロットの間隔を大きくすることが考えられる。しかし、理論的に計算されたスロットの長さや配置に基づいて作製された平面アンテナを用いてプラズマ形成を行っても、安定的に表面波プラズマを形成できるとは限らない。例えば近年では300mmウエハの処理に対応できるようにプラズマ処理装置が大型化しており、さらに、450mmウエハへの対応も要求されるようになってきている。これに伴い平面アンテナも大径化しつつある。300mmウエハを処理するための平面アンテナは、直径

50

が 500 mm 近くにも達する。450 mm ウエハの場合には、平面アンテナがさらに大型化して直径が 600 ~ 700 mm 程度にも達する。このように大型の平面アンテナでは、スロットの長さや配置を計算上得られる最適値に設定しても、安定的に表面波プラズマを維持することは困難となる。

【0008】

本発明は、上記実情に鑑みてなされたものであり、その第1の目的は、従来のマイクロ波の周波数よりも低い周波数の電磁波をチャンバー内に効率良く導入できる平面アンテナを提供することである。また、本発明の第2の目的は、従来のマイクロ波の周波数よりも低い周波数の電磁波を用い、かつ大型の基板を処理する場合でも、プラズマの制御性が高く、チャンバー内で安定的に表面波プラズマを形成することができるプラズマ処理装置を提供することである。

10

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明に係る平面アンテナ部材は、プラズマ処理装置の処理室内に電磁波発生源で発生した電磁波を導入する平面アンテナ部材であって、

導電性材料からなる平板状基材と、

前記平板状基材に形成された、電磁波を放射する複数の貫通開口と、

を備え、

前記貫通開口は、前記平面アンテナ部材の中心にその中心が重なる円周上に配列された複数の第1の貫通開口と、

20

前記第1の貫通開口の外側に同心円状に配列された複数の第2の貫通開口と、

を含んでおり、

前記平面アンテナ部材の中心から前記第1の貫通開口の中心までの距離  $L_1$  と、前記平面アンテナ部材の半径  $r$  との比  $L_1 / r$  が 0.35 ~ 0.5 の範囲内であり、

前記平面アンテナ部材の中心から前記第2の貫通開口の中心までの距離  $L_2$  と、前記平面アンテナ部材の半径  $r$  と比  $L_2 / r$  が 0.7 ~ 0.85 の範囲内である。

【0010】

本発明に係る平面アンテナ部材において、前記距離  $L_1$  を半径とし、前記第1の貫通開口の中心を結ぶ第1の円および前記距離  $L_2$  を半径とし、前記第2の貫通開口の中心を結ぶ第2の円に対して同心円状に形成され、前記第1の円の円周と前記第2の円の円周との径方向の中間点を結ぶ第3の円は、その半径  $L_3$  と前記半径  $r$  との比  $L_3 / r$  が、0.5 ~ 0.7 の範囲内であることが好ましい。

30

【0011】

また、本発明に係る平面アンテナ部材において、前記距離  $L_2$  と前記距離  $L_1$  との差分 ( $L_2 - L_1$ ) と、前記平面アンテナ部材の半径  $r$  と比 ( $L_2 - L_1$ ) /  $r$  が 0.2 ~ 0.5 の範囲内であることが好ましい。

【0012】

また、本発明に係る平面アンテナ部材において、前記第1の貫通開口および前記第2の貫通開口は、ともに細長形状をなしており、前記第1の貫通開口の長手方向に対して、前記第2の貫通開口の長手方向のなす角度が 85° ~ 95° の範囲内であることが好ましい。この場合、前記平面アンテナ部材の中心と前記第1の貫通開口の中心とを結ぶ直線に対して、該第1の貫通開口の長手方向がなす角度が 30° ~ 50° の範囲内であることが好ましく、さらに、前記平面アンテナ部材の中心と前記第2の貫通開口の中心とを結ぶ直線に対して、該第2の貫通開口の長手方向がなす角度が 130° ~ 150° の範囲内であることが好ましい。

40

【0013】

また、本発明に係る平面アンテナ部材において、前記平面アンテナ部材の中心から前記第1の貫通開口の中心までを結ぶ直線と、前記平面アンテナ部材の中心から前記第2の貫通開口の中心までを結ぶ直線とのなす角度が、8 ~ 15° の範囲内であることが好ましい。

50

## 【 0 0 1 4 】

また、本発明に係る平面アンテナ部材において、前記電磁波発生源で発生した電磁波の周波数が、 $800 \sim 1000 \text{ MHz}$ の範囲内であることが好ましい。

## 【 0 0 1 5 】

本発明に係るプラズマ処理装置は、被処理体を収容する真空引き可能な処理容器と、  
前記処理容器内にガスを供給するガス供給機構と、  
前記処理容器内を減圧排気する排気機構と、  
前記処理容器の上部の開口に気密に装着され、プラズマ発生用の電磁波を透過させる透過板と、

前記透過板の上に配置され、前記電磁波を前記処理容器内に導入する平面アンテナ部材と、

前記平面アンテナ部材を上方から覆うカバー部材と、

前記カバー部材を貫通して設けられ、電磁波発生源で発生した $800 \sim 1000 \text{ MHz}$ の範囲内の電磁波を前記平面アンテナ部材へ供給する導波管と、  
を備え、

前記平面アンテナ部材は、

導電性材料からなる平板状基材と、

前記平板状基材に形成された、電磁波を放射する複数の貫通開口と、  
を備え、

前記貫通開口は、環状に配列された複数の第1の貫通開口と、

前記第1の貫通開口の外側に同心円状に配列された複数の第2の貫通開口と、  
を含んでおり、

前記平面アンテナ部材の中心から前記第1の貫通開口の中心までの距離 $L_1$ と、前記平面アンテナ部材の半径 $r$ との比 $L_1 / r$ が $0.35 \sim 0.5$ の範囲内であり、

前記平面アンテナ部材の中心から前記第2の貫通開口の中心までの距離 $L_2$ と、前記平面アンテナ部材の半径 $r$ と比 $L_2 / r$ が $0.7 \sim 0.85$ の範囲内である。

## 【 0 0 1 6 】

本発明に係るプラズマ処理装置において、前記距離 $L_1$ を半径とし、前記第1の貫通開口の中心を結ぶ第1の円および前記距離 $L_2$ を半径とし、前記第2の貫通開口の中心を結ぶ第2の円に対して同心円状に形成され、前記第1の円の円周と前記第2の円の円周との径方向の中間点を結ぶ第3の円は、その半径 $L_3$ と前記半径 $r$ との比 $L_3 / r$ が $0.5 \sim 0.7$ の範囲内であることが好ましい。

## 【 0 0 1 7 】

また、本発明に係るプラズマ処理装置において、前記距離 $L_2$ と前記距離 $L_1$ との差分 $(L_2 - L_1)$ と、前記平面アンテナ部材の半径 $r$ と比 $(L_2 - L_1) / r$ が $0.2 \sim 0.5$ の範囲内であることが好ましい。

## 【 0 0 1 8 】

また、本発明に係るプラズマ処理装置において、前記第1の貫通開口および前記第2の貫通開口は、ともに細長形状をなしており、前記第1の貫通開口の長手方向に対して、前記第2の貫通開口の長手方向のなす角度が $85^\circ \sim 95^\circ$ の範囲内であることが好ましい。この場合、前記平面アンテナ部材の中心と前記第1の貫通開口の中心とを結ぶ直線に対して、該第1の貫通開口の長手方向がなす角度が $30^\circ \sim 50^\circ$ の範囲内であることが好ましく、さらに、前記平面アンテナ部材の中心と前記第2の貫通開口の中心とを結ぶ直線に対して、該第2の貫通開口の長手方向がなす角度が $130^\circ \sim 150^\circ$ の範囲内であることが好ましい。

## 【 0 0 1 9 】

また、本発明に係るプラズマ処理装置において、前記平面アンテナ部材の中心から前記第1の貫通開口の中心までを結ぶ直線と、前記平面アンテナ部材の中心から前記第2の貫通開口の中心までを結ぶ直線とのなす角度が、 $8 \sim 15^\circ$ の範囲内であることが好ましい。

## 【発明の効果】

## 【0020】

本発明によれば、平面アンテナ部材の中心から第1の貫通開口の中心までの距離 $L_1$ と平面アンテナ部材の半径 $r$ との比 $L_1/r$ を $0.35 \sim 0.5$ の範囲内とし、かつ平面アンテナ部材の中心から第2の貫通開口の中心までの距離 $L_2$ と平面アンテナ部材の半径 $r$ と比 $L_2/r$ を $0.7 \sim 0.85$ の範囲内としたことにより、電磁波発生装置39で発生させる電磁波の周波数を、従来のマイクロ波の周波数より低い $800\text{MHz} \sim 1000\text{MHz}$ にした場合でも、反射波の発生を抑え、チャンバー内へ効率良く電磁波を導入できる。従って、チャンバー内で表面波プラズマを安定的に維持することができるとともに、基板の大型化への対応も可能になる、という効果を奏する。

10

## 【0021】

また、上記平面アンテナ部材を備えた本発明に係るプラズマ処理装置は、電磁波発生源で発生させる電磁波の周波数を、従来のマイクロ波の周波数より低い $800\text{MHz} \sim 1000\text{MHz}$ の範囲内に設定したので、例えば $2.45\text{GHz}$ のマイクロ波を使用する場合に比べて、高い圧力範囲までカットオフ密度以上のプラズマ密度を維持することができる。従って、本発明のプラズマ処理装置によれば、比較的高い圧力条件でも十分な処理レートやウエハ面内における処理の均一性を確保することが可能であり、高い精度が必要な3次元デバイスの加工や微細加工への対応も図ることができる、という効果を奏する。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0022】

20

## [第1の実施の形態]

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。図1は、本発明の第1の実施の形態に係るプラズマ処理装置100の概略構成を模式的に示す断面図である。また、図2は、図1のプラズマ処理装置100に用いられる本発明の第1の実施の形態に係る平面アンテナを示す要部平面図であり、図3は、該平面アンテナにおける貫通開口としてのスロットの拡大図である。さらに、図4は、図1のプラズマ処理装置100における制御系統の概略構成例を示す図面である。

## 【0023】

プラズマ処理装置100は、複数のスロット状の孔を有する平面アンテナ、特にRLSA (Radial Line Slot Antenna; ラジアルラインスロットアンテナ) にて処理室内に電磁波を導入してプラズマを発生させることにより、高密度かつ低電子温度のプラズマを発生させ得るプラズマ処理装置として構成されている。プラズマ処理装置100では、 $10^9/\text{cm}^3 \sim 10^{13}/\text{cm}^3$ のプラズマ密度で、かつ $2\text{eV}$ 以下の低電子温度を有するプラズマによる処理が可能である。従って、プラズマ処理装置100は、各種半導体装置の製造過程において好適に利用できるものである。

30

## 【0024】

プラズマ処理装置100は、主要な構成として、気密に構成されたチャンバー(処理室)1と、チャンバー1内にガスを供給するガス供給機構18と、チャンバー1内を減圧排気するための排気機構としての排気装置24と、チャンバー1の上部に設けられ、チャンバー1内に電磁波を導入する電磁波導入機構27と、これらプラズマ処理装置100の各構成部を制御する制御手段としての制御部50と、を備えている。なお、ガス供給機構18、排気装置24および電磁波導入機構27は、チャンバー1内でプラズマを生成させるプラズマ生成手段を構成している。

40

## 【0025】

チャンバー1は、接地された略円筒状の容器により形成されている。なお、チャンバー1は角筒形状の容器により形成してもよい。チャンバー1は、アルミニウム等の材質からなる底壁1aと側壁1bとを有している。

## 【0026】

チャンバー1の内部は、被処理体であるシリコンウエハ(以下、単に「ウエハ」と記す)Wを水平に支持するための載置台2が設けられている。載置台2は、熱伝導性の高い材

50

質例えばA1N等のセラミックスにより構成されている。この載置台2は、排気室11の底部中央から上方に延びる円筒状の支持部材3により支持されている。支持部材3は、例えばA1N等のセラミックスにより構成されている。

【0027】

また、載置台2には、その外縁部をカバーし、ウエハWをガイドするためのカバーリング4が設けられている。このカバーリング4は、例えば石英、A1N、 $Al_2O_3$ 、SiN等の材質で構成された環状部材である。

【0028】

また、載置台2には、温度調節機構としての抵抗加熱型のヒータ5が埋め込まれている。このヒータ5は、ヒータ電源5aから給電されることにより載置台2を加熱して、その熱で被処理基板であるウエハWを均一に加熱する。

10

【0029】

また、載置台2には、熱電対(TC)6が配備されている。この熱電対6によって温度計測を行うことにより、ウエハWの加熱温度を例えば室温から900 までの範囲で制御可能となっている。

【0030】

また、載置台2には、ウエハWを支持して昇降させるためのウエハ支持ピン(図示せず)が設けられている。各ウエハ支持ピンは、載置台2の表面に対して突没可能に設けられている。

【0031】

チャンバー1の内周には、石英からなる円筒状のライナー7が設けられている。また、載置台2の外周側には、チャンバー1内を均一排気するため、多数の排気孔8aを有する石英製のバッフルプレート8が環状に設けられている。このバッフルプレート8は、複数の支柱9により支持されている。なお、プラズマ処理装置100をプラズマCVD装置として使用する場合には、ライナー7およびバッフルプレート8は配備しなくてもよい。

20

【0032】

チャンバー1の底壁1aの略中央部には、円形の開口部10が形成されている。底壁1aにはこの開口部10と連通し、下方に向けて突出する排気室11が設けられている。この排気室11には、排気管12が接続されており、この排気管12を介して排気装置24に接続されている。

30

【0033】

チャンバー1の上端には、チャンバー1を開閉させる環状の蓋枠(リッド)13が配置されている。蓋枠13の内周部は、内側(チャンバー内空間)へ向けて突出し、透過板28を支持する環状の支持部13aを形成している。

【0034】

チャンバー1の側壁1bには、環状をなすガス導入部15が設けられている。このガス導入部15は、酸素含有ガスやプラズマ励起用ガスを供給するガス供給機構18に接続されている。なお、ガス導入部15は、チャンバー1内に突出するノズル状、または複数のガス孔を有するシャワー状に設けてもよい。

【0035】

また、チャンバー1の側壁1bには、プラズマ処理装置100と、これに隣接する搬送室(図示せず)との間でウエハWの搬入出を行うための搬入出口16と、この搬入出口16を開閉するゲートバルブ17とが設けられている。

40

【0036】

ガス供給機構18は、例えば、プラズマ形成用のAr、Kr、Xe、He等の希ガスや、酸化処理における酸素ガス等の酸化性ガス、窒化処理における窒化ガスなどの処理ガス等を供給するガス供給源(図示せず)を有している。また、CVD処理の場合には、原料ガス、チャンバー内雰囲気置換の際に用いる $N_2$ 、Ar等のバージガス、チャンバー1内をクリーニングする際に用いる $ClF_3$ 、 $NF_3$ 等のクリーニングガス等を供給するガス供給源を設けることもできる。各ガス供給源は、図示しないマスフローコントローラ

50



および開閉バルブを備え、供給されるガスの切替えや流量等の制御が出来るようになっている。

#### 【0037】

排気機構としての排気装置24は、例えばターボ分子ポンプなどの高速真空ポンプを備えている。前記のように、排気装置24は、排気管12を介してチャンバー1の排気室11に接続されている。排気装置24を作動させることにより、チャンバー1内のガスは、排気室11の空間11a内へ均一に流れ、さらに空間11aから排気管12を介して外部へ排気される。これにより、チャンバー1内を例えば0.133Paまで高速に減圧することが可能となっている。

#### 【0038】

次に、電磁波導入機構27の構成について説明する。電磁波導入機構27は、主要な構成として、透過板28、平面アンテナ板31、遅波板33、カバー部材34、導波管37、マッチング回路38および電磁波発生装置39を備えている。

#### 【0039】

電磁波を透過させる透過板28は、蓋枠13において内周側に張り出した支持部13a上に配備されている。透過板28は、誘電体、例えば石英や $Al_2O_3$ 、AlN等のセラミックスから構成されている。この透過板28と支持部13aとの間は、シール部材29を介して気密にシールされている。したがって、チャンバー1内は気密に保持される。

#### 【0040】

平面アンテナ板31は、透過板28の上方において、載置台2と対向するように設けられている。平面アンテナ板31は、円板状をなしている。なお、平面アンテナ板31の形状は、円板状に限らず、例えば四角板状でもよい。この平面アンテナ板31は、蓋枠13の上端に係止されている。

#### 【0041】

平面アンテナ板31は、例えば図2および図3にも示したように、円板状の基材31aと、この基材31aにおいて所定のパターンで貫通して形成された多数のスロット32(32a, 32b)とを有している。基材31aは、例えば表面が金または銀メッキされた銅板、アルミニウム板、またはニッケル板等の導体板により構成されている。電磁波放射孔として機能する個々のスロット32は、細長い形状をなしている。スロット32の角部に電界が集中し、異常放電を引き起こしやすくなるため、細長のスロット32の両端の角部は、丸みを帯びた形状に加工されている。また、スロット32は、平面アンテナ板31の中心 $O_A$ 側の位置に、中心 $O_A$ と重なる中心を持つ円周上に周方向に配列された複数の第1のスロット32aと、これら第1のスロット32aを囲むように外側に配列された複数の第2のスロット32bとを含んでいる。第1のスロット32aと第2のスロット32bとは同心円状に配列されている。平面アンテナ板31におけるスロット32の配置については、後で詳述する。

#### 【0042】

平面アンテナ板31の上には、真空よりも大きい誘電率を有する材料からなる遅波板33が設けられている。遅波板33は平面アンテナ板31を覆うように配置されている。遅波板33の材料としては、例えば、石英、ポリテトラフルオロエチレン樹脂、ポリイミド樹脂などを挙げることができる。この遅波板33は、真空中では電磁波の波長が長くなることから、電磁波の波長を短くしてプラズマを調整する機能を有している。

#### 【0043】

なお、平面アンテナ板31と透過板28との間、また、遅波板33と平面アンテナ板31との間は、それぞれ接触させても離間させてもよいが、定在波の発生を抑制する観点からは、接触させることが好ましい。

#### 【0044】

チャンバー1の上部には、これら平面アンテナ板31および遅波板33を覆うように、導波路を形成する機能も有するカバー部材34が設けられている。カバー部材34は、例えばアルミニウムやステンレス鋼、銅等の金属材料によって形成されている。蓋枠13の

10

20

30

40

50

上端とカバー部材 3 4 とは、電磁波が外部へ漏えいしないように導電性を有するスパイラルシールドリングなどのシールド部材 3 5 によりシールドされている。また、カバー部材 3 4 には、冷却水流路 3 4 a が形成されている。この冷却水流路 3 4 a に冷却水を通流させることにより、カバー部材 3 4、遅波板 3 3、平面アンテナ板 3 1 および透過板 2 8 を冷却できるようになっている。この冷却機構により、カバー部材 3 4、遅波板 3 3、平面アンテナ板 3 1、透過板 2 8 および蓋枠 1 3 がプラズマの熱により変形・破損することが防止される。なお、蓋枠 1 3、平面アンテナ板 3 1 およびカバー部材 3 4 は接地されている。

#### 【0045】

カバー部材 3 4 の上壁（天井部）の中央には、開口部 3 6 が形成されており、この開口部 3 6 には導波管 3 7 の下端が接続されている。導波管 3 7 の他端側には、マッチング回路 3 8 を介して電磁波を発生する電磁波発生装置 3 9 が接続されている。電磁波発生装置 3 9 で発生させる電磁波の周波数としては、後述する理由により、従来のマイクロ波の周波数より低い周波数例えば 800 MHz ~ 1000 MHz の範囲内が好ましく用いられ、特に 915 MHz が好ましい。

#### 【0046】

導波管 3 7 は、上記カバー部材 3 4 の開口部 3 6 から上方へ延出する断面円形状の同軸導波管 3 7 a と、この同軸導波管 3 7 a の上端部にモード変換器 4 0 を介して接続された水平方向に延びる矩形導波管 3 7 b とを有している。モード変換器 4 0 は、矩形導波管 3 7 b 内を TE モードで伝播する電磁波を TEM モードに変換する機能を有している。

#### 【0047】

同軸導波管 3 7 a の中心には内導体 4 1 が延在している。この内導体 4 1 は、その下端部において平面アンテナ板 3 1 の中心に接続固定されている。このような構造により、電磁波は、同軸導波管 3 7 a の内導体 4 1 を介して平面アンテナ板 3 1 へ放射状に効率よく均一に伝播される。

#### 【0048】

以上のような構成の電磁波導入機構 2 7 により、電磁波発生装置 3 9 で発生した電磁波が導波管 3 7 を介して平面アンテナ板 3 1 へ伝搬され、さらに透過板 2 8 を介してチャンバー 1 内に導入されるようになっている。

#### 【0049】

プラズマ処理装置 100 の各構成部は、制御部 50 に接続されて制御される構成となっている。制御部 50 は、図 4 に示したように、CPU を備えたプロセスコントローラ 51 と、このプロセスコントローラ 51 に接続されたユーザーインターフェース 52 および記憶部 53 を備えている。プロセスコントローラ 51 は、プラズマ処理装置 100 において、例えば温度、ガス流量、圧力、電磁波出力などのプロセス条件に係る各構成部（例えば、ヒータ電源 5 a、ガス供給機構 18、排気装置 24、電磁波発生装置 39 など）を統括して制御する制御手段である。

#### 【0050】

ユーザーインターフェース 52 は、工程管理者がプラズマ処理装置 100 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 100 の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等を有している。また、記憶部 53 には、プラズマ処理装置 100 で実行される各種処理をプロセスコントローラ 51 の制御にて実現するための制御プログラム（ソフトウェア）や処理条件データ等が記録されたレシピが保存されている。

#### 【0051】

そして、必要に応じて、ユーザーインターフェース 52 からの指示等にて任意のレシピを記憶部 53 から呼び出してプロセスコントローラ 51 に実行させることで、プロセスコントローラ 51 の制御下、プラズマ処理装置 100 のチャンバー 1 内で所望の処理が行われる。また、前記制御プログラムや処理条件データ等のレシピは、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体、例えば CD-ROM、ハードディスク、フレキシブルディスク、フラッシュメモリ、DVD、ブルーレイディスクなどに格納された状態のものを利用したり、あ

10

20

30

40

50

るいは、他の装置から、例えば専用回線を介して随時伝送させてオンラインで利用したりすることも可能である。

【0052】

このように構成されたプラズマ処理装置100では、800以下の低温で下地膜等へのダメージフリーなプラズマ処理を行うことができる。また、プラズマ処理装置100は、プラズマの均一性に優れていることから、プロセスの均一性を実現できる。

【0053】

ここで、再び図2および図3を参照しながら、平面アンテナ板31におけるスロット32の配置について説明する。プラズマ処理装置100では、電磁波発生装置39で発生した例えば915GHzの電磁波が、同軸導波管37aを介して平面アンテナ板31の中央部に供給され、平面アンテナ板31とカバー部材34とによって構成される偏平導波路を放射状に伝搬していく。この途中にスロット32を配置することにより、スロット32の開口から電磁波を均一に効率良く下方のチャンバー1内空間へ向けて放射させることが可能になる。本実施の形態では、例えば16個の第1のスロット32aが、平面アンテナ板31の円周方向に均等に配置されている。第1のスロット32aと対をなす第2のスロット32bも、同様に16個が平面アンテナ板31の円周方向に均等に配置されている。

【0054】

また、反射波の発生を抑制してチャンバー1内への電磁波の導入効率を向上させる目的で、平面アンテナ板31の中心 $O_A$ （基材31aの中心に同じ）から第1のスロット32aの中心 $O_{32a}$ までの距離 $L_1$ と、平面アンテナ板31の半径 $r$ との比 $L_1/r$ は0.35~0.5の範囲内である。この比 $L_1/r$ が0.35未満あるいは0.5超では、各スロットからの電磁波の放射効率が悪くなる。

【0055】

また、平面アンテナ板31の中心 $O_A$ から第2のスロット32bの中心 $O_{32b}$ までの距離 $L_2$ と、平面アンテナ板31の半径 $r$ との比 $L_2/r$ は0.7~0.85の範囲内である。この比 $L_2/r$ が0.7未満あるいは0.85超では、各スロットからの電磁波の放射効率が悪くなる。

【0056】

距離 $L_1$ と半径 $r$ との比 $L_1/r$ および距離 $L_2$ と半径 $r$ との比 $L_2/r$ は、遅波板33により調整された電磁波の波長 $g$ に応じてある程度決定できるが、計算値と現実に有効な範囲とは必ずしも一致しない。そこで、本発明者らは、比 $L_1/r$ および比 $L_2/r$ を上記範囲とすることが有効であることを見出した。

【0057】

また、第1のスロット32aの中心 $O_{32a}$ を結ぶ半径が距離 $L_1$ の円を $C_1$ とし、第2のスロット32bの中心 $O_{32b}$ を結ぶ半径が距離 $L_2$ の円を $C_2$ とした場合に、平面アンテナ板31の中心 $O_A$ から、円 $C_1$ と円 $C_2$ の円周の径方向の中間点Mまでの距離 $L_3$ を半径とする円 $C_3$ は、距離 $L_3$ と平面アンテナ板31の半径 $r$ と比 $L_3/r$ が、0.5~0.7の範囲内であることがチャンバー1内への電磁波の導入効率を向上させる観点から好ましい。比 $L_3/r$ を上記範囲内に規定することによって、反射波の発生を抑制し、電磁波を効率良くチャンバー1内に供給することができ、安定したプラズマを形成できる。

【0058】

また、距離 $L_2$ と距離 $L_1$ との差分 $(L_2 - L_1)$ と、平面アンテナ板31の半径 $r$ と比 $(L_2 - L_1)/r$ は0.2~0.5の範囲内であることがチャンバー1内への電磁波の導入効率を向上させる観点から好ましい。比 $(L_2 - L_1)/r$ を上記範囲内に規定することによって、反射波の発生を抑制し、電磁波を効率良くチャンバー1内に供給することができ、安定したプラズマを形成できる。

【0059】

なお、本発明において、「平面アンテナ板31の半径 $r$ 」は、基材31a上で平面アンテナとして有効に機能する円形の領域の半径を意味する。例えば平面アンテナ板31を蓋

10

20

30

40

50

枠 13 の上端に螺子等の固定手段で固定した場合には、基材 31a の周縁部に螺子孔などが形成された係合領域（図示せず。周縁端から 3 ~ 20 mm 程度）が必要になる。しかし、固定の目的で設けられたこの係合領域は、アンテナとしての機能を奏さない部分であるため、このような係合領域を含まないように平面アンテナ板 31 の半径  $r$  が規定される。

#### 【0060】

次に、平面アンテナ板 31 におけるスロット 32 の配置角度について説明する。同軸導波管 37a から平面アンテナ板 31 の中心に伝搬された電磁波により、導体からなる平面アンテナ板 31 の基材 31a 上には表面電流が生じる。この表面電流は平面アンテナ板 31 の径外方向へ向かって放射状に流れるが、途中でスロット 32 により遮られるため、スロット 32 の縁に電荷が誘起される。このように誘起された電荷は電磁波を発生させる。この電磁波がスロット 32 および透過板 28 を介して下方のチャンバー 1 内空間へ向けて放射される。そのため、スロット 32 の長手方向が表面電流の方向（平面アンテナ板 31 の径外方向）と一致する場合には、チャンバー 1 内への電磁波の放射は起こりにくくなる。

10

#### 【0061】

以上のことから、チャンバー 1 内へ効率良く電磁波を導入するためには、スロット 32 の配置角度も重要な要素となる。本実施の形態では、平面アンテナ板 31 の中心  $O_A$  と第 1 のスロット 32a の中心  $O_{32a}$  とを結ぶ直線に対して、該第 1 のスロット 32a の長手方向がなす角度  $\theta_1$  が  $30^\circ \sim 50^\circ$  の範囲内であることが好ましい。角度  $\theta_1$  を  $30^\circ \sim 50^\circ$  の範囲内に規定することによって、反射波の発生を抑制し、電磁波を効率良くチャンバー 1 内に供給することができ、安定したプラズマを形成できる。この角度  $\theta_1$  が  $30^\circ$  未満では、平面アンテナ板 31 の径方向に伝播する波の効率が低下し、 $50^\circ$  を超えると、平面アンテナ板 31 の周方向に伝播する波の効率が低下する。

20

#### 【0062】

上記と同様の理由から、平面アンテナ板 31 の中心  $O_A$  と第 2 のスロット 32b の中心  $O_{32b}$  とを結ぶ直線に対して、該第 2 のスロット 32b の長手方向がなす角度  $\theta_2$  が  $130^\circ \sim 150^\circ$  の範囲内であることが好ましい。角度  $\theta_2$  を  $130^\circ \sim 150^\circ$  の範囲内に規定することによって、反射波の発生を抑制し、電磁波を効率良くチャンバー 1 内に供給することができ、安定したプラズマを形成できる。この角度  $\theta_2$  が  $130^\circ$  未満では平面アンテナ板 31 の周方向に伝播する波の効率が低下し、 $150^\circ$  を超えると平面アンテナ板 31 の径方向に伝播する波の効率が低下する。

30

#### 【0063】

また、平面アンテナ板 31 の中心  $O_A$  から第 1 のスロット 32a の中心  $O_{32a}$  までは結ぶ直線と、平面アンテナ板 31 の中心  $O_A$  から第 2 のスロット 32b の中心  $O_{32b}$  までは結ぶ直線とがなす角度  $\theta_3$  は、 $8^\circ \sim 15^\circ$  の範囲内であることが好ましい。角度  $\theta_3$  を  $8^\circ \sim 15^\circ$  の範囲内に規定することによって、反射波の発生を抑制し、電磁波を効率良くチャンバー 1 内に供給することができ、安定したプラズマを形成できる。この角度  $\theta_3$  が上記範囲外では、各スロットからの電磁波の放射効率が低下する。

#### 【0064】

また、第 1 のスロット 32a の長手方向と、第 2 のスロット 32b の長手方向とのなす角度  $\theta_4$  は、略直角が好ましく、例えば  $85^\circ \sim 95^\circ$  の範囲内とすることができる。

40

#### 【0065】

以上のように、角度  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$  および  $\theta_4$  を調整することにより、スロット 32 を介して電磁波を高い効率でチャンバー 1 内へ導入することができる。なお、平面アンテナ板 31 の中心  $O_A$  から、互いに隣接する第 1 のスロット 32a の中心  $O_{32a}$  にそれぞれ延びる 2 本の直線のなす角度は、第 1 のスロット 32a の配設数に応じて例えば均等になるように適宜設定できる。平面アンテナ板 31 の中心  $O_A$  から、互いに隣接する第 2 のスロット 32b の中心  $O_{32b}$  にそれぞれ延びる 2 本の直線のなす角度についても同様である。

#### 【0066】

50

また、図 3 に示したように、第 1 のスロット 3 2 a の長さ、第 2 のスロット 3 2 b の長さは、共に同じである（スロット長  $L_4$ ）。さらに、第 1 のスロット 3 2 a の幅と、第 2 のスロット 3 2 b の幅は、共に同じである（スロット幅  $W_1$ ）。スロット長とスロット幅との比（ $L_4 / W_1$ ）は、放射効率を高める観点から、1 ~ 2.6 の範囲内が好ましい。なお、スロット長  $L_4$  は、例えば 40 mm ~ 80 mm の範囲内とすることができる。また、スロット幅  $W_1$  は、例えば 3 mm ~ 40 mm の範囲内とすることができる。

#### 【0067】

また、遅波板 3 3 の材質が石英である場合の遅波板 3 3 の厚みと、平面アンテナ板 3 1 の第 1 のスロット 3 2 a および第 2 のスロット 3 2 b の径方向の位置（前記比  $L_1 / r$  および比  $L_2 / r$ ）との関係は、石英の誘電率による波長短縮と石英内での定在波の周期性を考慮して、定在波の波長に設定することが好ましい。

10

#### 【0068】

次に、本実施の形態に係るプラズマ処理装置 1 0 0 を用いたプラズマ処理の手順の一例について説明する。ここでは、処理ガスとして酸素を含有するガスを用い、ウエハ表面をプラズマ酸化処理する場合を例に挙げる。

まず、例えばユーザーインターフェース 5 2 から、プラズマ処理装置 1 0 0 でプラズマ酸化処理を行うように指令が入力される。この指令を受けて、プロセスコントローラ 5 1 は、記憶部 5 3 に保存されたレシピを読み出す。そして、レシピに基づく条件でプラズマ酸化処理が実行されるように、プロセスコントローラ 5 1 からプラズマ処理装置 1 0 0 の各エンドデバイス例えばガス供給機構 1 8、排気装置 2 4、電磁波発生装置 3 9、ヒータ

20

#### 【0069】

そして、ゲートバルブ 1 7 を開にして搬入出口 1 6 からウエハ W をチャンバー 1 内に搬入し、載置台 2 上に載置する。次に、チャンバー 1 内を減圧排気しながら、ガス供給機構 1 8 から、不活性ガスおよび酸素含有ガスを所定の流量でそれぞれガス導入部 1 5 を介してチャンバー 1 内に導入する。さらに、排気量およびガス供給量を調整してチャンバー 1 内を所定の圧力に調節する。

#### 【0070】

次に、電磁波発生装置 3 9 のパワーをオン（入）にして、電磁波を発生させる。そして、従来のマイクロ波の周波数よりも低い周波数例えば 915 MHz の電磁波は、マッチング回路 3 8 を介して導波管 3 7 に導かれる。導波管 3 7 に導かれた電磁波は、矩形導波管 3 7 b および同軸導波管 3 7 a を順次通過し、内導体 4 1 を介して平面アンテナ板 3 1 に供給される。電磁波は、矩形導波管 3 7 b 内では TE モードで伝搬し、この TE モードの電磁波はモード変換器 4 0 で TEM モードに変換されて、同軸導波管 3 7 a 内を平面アンテナ板 3 1 に向けて伝搬していく。そして、電磁波は、平面アンテナ板 3 1 に貫通形成された孔であるスロット 3 2 から透過板 2 8 を介してチャンバー 1 内におけるウエハ W の上方空間に放射される。電磁波出力は、電磁波を効率良く供給する観点から、平面アンテナ板 3 1 の面積  $1 \text{ cm}^2$  あたりのパワー密度として  $0.41 \sim 4.19 \text{ W/cm}^2$  の範囲内とすることが好ましい。電磁波出力は、例えば 500 ~ 5000 W 程度の範囲内から目的

30

40

#### 【0071】

平面アンテナ板 3 1 から透過板 2 8 を経てチャンバー 1 に放射された電磁波により、チャンバー 1 内で電磁界が形成され、不活性ガスおよび酸素含有ガスがそれぞれプラズマ化する。この電磁波により励起されたプラズマは、電磁波が平面アンテナ板 3 1 の多数のスロット 3 2 から放射されることにより、 $10^9 / \text{cm}^3 \sim 10^{13} / \text{cm}^3$  の高密度で、かつウエハ W 近傍では、略 1.5 eV 以下の低電子温度のプラズマとなる。このようにして形成される高密度プラズマは、下地膜へのイオン等によるプラズマダメージが少ないものである。そして、プラズマ中の活性種例えばラジカルやイオンの作用によりウエハ W のシリコン表面が酸化されてシリコン酸化膜  $\text{SiO}_2$  の薄膜が形成される。なお、酸素含有ガスに代えて窒素ガスを用いることにより、シリコンの窒化処理が可能であり、また、成

50

膜原料ガスを用いることによりプラズマCVD法による成膜を行うことも可能である。

#### 【0072】

プロセスコントローラ51からプラズマ処理を終了させる制御信号が送出されると、電磁波発生装置39のパワーがオフ（切）にされ、プラズマ酸化処理が終了する。次に、ガス供給機構18からの処理ガスの供給を停止してチャンバー内を真空引きする。そして、ウエハWをチャンバー1内から搬出し、1枚のウエハWに対するプラズマ処理が終了する。

#### 【0073】

プラズマ処理装置100では、電磁波発生装置39で発生させる電磁波の周波数を従来のマイクロ波の周波数より低い800MHz～1000MHzの範囲内（好ましくは915MHz）に設定した。プラズマ生成用の電磁波として、周波数が800MHz～1000MHzの範囲内のものを使用することにより、例えば従来の2.45GHzの周波数のマイクロ波を使用する場合に比べて、表面波プラズマがカットオフされるプラズマ密度（カットオフ密度）が低下し、より高い圧力条件まで安定的にプラズマを生成することができる。

#### 【0074】

図5は、プラズマ処理装置100で行われるプラズマ処理の処理圧力とプラズマの電子密度との関係を示している。処理圧力が高くなるに伴い、プラズマの電子密度は低下し、カットオフ密度において電子密度は急激に減少する。2.45GHzのマイクロ波プラズマのカットオフ密度は約 $7.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ であり、915MHzの電磁波プラズマのカットオフ密度は約 $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ である。そして、図5に示したように、2.45GHzのマイクロ波プラズマに比べ、915MHzの電磁波プラズマでは、より高い圧力条件までカットオフ密度以上のプラズマ密度を維持することができる。

#### 【0075】

また、本実施の形態の平面アンテナ板31では、平面アンテナ板31の中心 $O_A$ から内側の第1のスロット32aの中心 $O_{32a}$ までの距離 $L_1$ と平面アンテナ板31の半径 $r$ との比 $L_1/r$ を0.35～0.5の範囲内とし、かつ、平面アンテナ板31の中心 $O_A$ から外側の第2のスロット32bの中心 $O_{32b}$ までの距離 $L_2$ と、平面アンテナ板31の半径 $r$ との比 $L_2/r$ を0.7～0.85の範囲内としたので、電磁波発生装置39で発生させる電磁波の周波数を800MHz～1000MHzの範囲内に設定した場合でも、反射波の発生を抑え、チャンバー1内へ効率良く電磁波を導入できる。従って、チャンバー内で表面波プラズマを安定的に維持することができる。

#### 【0076】

また、本実施の形態の平面アンテナ板31では、平面アンテナ板31の中心 $O_A$ と第1のスロット32aの中心 $O_{32a}$ とを結ぶ直線に対して、該第1のスロット32aの長手方向がなす角度 $\theta_1$ を30°～50°の範囲内とし、平面アンテナ板31の中心 $O_A$ と第2のスロット32bの中心 $O_{32b}$ とを結ぶ直線に対して、該第2のスロット32bの長手方向がなす角度 $\theta_2$ を130°～150°の範囲内とした。さらに、平面アンテナ板31の中心 $O_A$ から第1のスロット32aの中心 $O_{32a}$ までを結ぶ直線と、平面アンテナ板31の中心 $O_A$ から第2のスロット32bの中心 $O_{32b}$ までを結ぶ直線とがなす角度 $\theta_3$ を8°～15°の範囲内とした。さらに、第1のスロット32aの長手方向と、第2のスロット32bの長手方向とのなす角度 $\theta_4$ を略直角例えば85°～95°の範囲内とした。これらの角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ および $\theta_4$ を上記範囲に規定することにより、スロット32を介して電磁波を高い効率でチャンバー1内へ導入することができる。

#### 【0077】

以上のように、本実施の形態の平面アンテナ板31では、スロット32a、32bの配置を工夫したことにより、従来のマイクロ波の周波数よりも低い800MHz～1000MHzの範囲内（好ましくは915MHz）の周波数の電磁波をチャンバー1内に効率良く導入することができる。よって、従来の2.45GHzのマイクロ波を使用する場合に比べて、より高い圧力条件でも、プラズマ処理装置100のチャンバー1内で表面波プラ

10

20

30

40

50

ズマを安定的に維持することができる。そして、このようなプラズマ処理装置 100 を用いることによって、比較的高い圧力条件で処理レートの向上やウエハ面内における処理の均一性が実現し、高い精度が必要な 3 次元デバイス加工や微細加工への対応を図ることが可能になる。

#### 【0078】

##### [ 第 2 の実施の形態 ]

次に、図 6 および図 7 を参照しながら、本発明の第 2 の実施の形態に係る平面アンテナ板 61 について説明する。図 6 は、第 2 の実施の形態に係る平面アンテナ 61 の要部を示す平面図であり、図 7 は、平面アンテナ 61 におけるスロットを拡大して示す図面である。本実施の形態に係る平面アンテナ板 61 は、第 1 の実施の形態に係る平面アンテナ板 31 と同様に、プラズマ処理装置 100 に使用できるものである。

10

#### 【0079】

平面アンテナ板 61 は、円板状の基材 61a と、この基材 61a において所定のパターンで貫通して形成された多数のスロット 62 ( 62a , 62b ) とを有している。平面アンテナ板 61 では、一つのスロット 62 の幅  $W_2$  が大きく形成されてスロット 62 の配設数が少なくなっている点を除き、第 1 の実施の形態の平面アンテナ板 31 と同様の構成を有している。従って、以下の説明では第 1 の実施の形態との相違点を中心に説明し、同一の構成には同一の符号を付して説明を省略する。

#### 【0080】

基材 61a に形成された個々のスロット 62 は、やや幅広に細長い形状をなしている。スロット 62 は、平面アンテナ板 61 の中心  $O_A$  に近い位置に周方向に配列された複数の第 1 のスロット 62a と、これら第 1 のスロット 62a を囲むように外側に配列された複数の第 2 のスロット 62b とを含んでいる。第 1 のスロット 62a と第 2 のスロット 62b とは同心円状に配列されている。

20

#### 【0081】

第 1 のスロット 62a と第 2 のスロット 62b とは対をなしており、各 8 個ずつが平面アンテナ板 61 の円周方向に均等に配置されている。平面アンテナ板 61 の中心  $O_A$  ( 基材 61a の中心と同じ ) から第 1 のスロット 62a の中心  $O_{62a}$  までの距離  $L_1$  と、平面アンテナ板 61 の半径  $r$  との比  $L_1 / r$  は、 $0.35 \sim 0.5$  範囲内である。また、平面アンテナ板 61 の中心  $O_A$  から第 2 のスロット 62b の中心  $O_{62b}$  までの距離  $L_2$  と、平面アンテナ板 61 の半径  $r$  との比  $L_2 / r$  は  $0.7 \sim 0.85$  の範囲内である。比  $L_1 / r$  および比  $L_2 / r$  を上記範囲内に規定した理由については、第 1 の実施の形態と同様である。

30

#### 【0082】

また、第 1 のスロット 62a の中心  $O_{62a}$  を結ぶ半径が距離  $L_1$  の円を  $C_1$  とし、第 2 のスロット 62b の中心  $O_{62b}$  を結ぶ半径が距離  $L_2$  の円を  $C_2$  とした場合に、平面アンテナ板 61 の中心  $O_A$  から、円  $C_1$  と円  $C_2$  の円周の径方向の中間点 M までの距離  $L_3$  を半径とする円  $C_3$  は、距離  $L_3$  と平面アンテナ板 61 の半径  $r$  と比  $L_3 / r$  が、 $0.5 \sim 0.7$  の範囲内であることが好ましい。比  $L_3 / r$  を  $0.5 \sim 0.7$  の範囲内に規定することによって、反射波の発生を抑制し、電磁波を効率良くチャンバー 1 内に供給することができ、安定したプラズマを形成できる。

40

#### 【0083】

また、距離  $L_2$  と距離  $L_1$  との差分  $(L_2 - L_1)$  と、平面アンテナ板 61 の半径  $r$  と比  $(L_2 - L_1) / r$  は  $0.2 \sim 0.5$  の範囲内であることが好ましい。比  $(L_2 - L_1) / r$  を  $0.5 \sim 0.7$  の範囲内に規定することによって、反射波の発生を抑制し、電磁波を効率良くチャンバー 1 内に供給することができ、安定したプラズマを形成できる。

#### 【0084】

また、図 6 に示した角度  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$  および  $\theta_4$  の範囲および当該範囲に設定した理由は、いずれも第 1 の実施の形態と同様である。

#### 【0085】

50

本実施の形態の平面アンテナ板 6 1 においては、図 7 に示したように、第 1 のスロット 6 2 a の長さ、第 2 のスロット 6 2 b の長さは、共に同じである（スロット長  $L_4$ ）。さらに、第 1 のスロット 6 2 a の幅と、第 2 のスロット 6 2 b の幅は、共に同じである（スロット幅  $W_2$ ）。スロット長とスロット幅との比（ $L_4 / W_2$ ）は、平面アンテナ板 6 1 において、各スロットからの電磁波の放射効率を高める観点から、1 ~ 2.6 の範囲内とすることが好ましい。なお、スロット長  $L_4$  は例えば 40 mm ~ 80 mm の範囲内、スロット幅  $W_2$  は、例えば 3 mm ~ 40 mm の範囲内とすることができるが、本実施の形態では、第 1 の実施の形態の平面アンテナ板 3 1 に比較してスロット幅  $W_2$  の比率が大きくなるように設定した。これにより、スロット 6 2 による貫通開口の面積が大きくなり、平面アンテナ板 6 1 のスロット 6 2 を介して電磁波を効率よくチャンバー 1 内へ導入させることができる。

10

#### 【0086】

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第 1 の実施の形態と同様である。

#### 【0087】

##### [第3の実施の形態]

次に、図 8 を参照しながら、本発明の第 3 の実施の形態に係る平面アンテナ板 7 1 について説明する。図 8 は、第 3 の実施の形態に係る平面アンテナ 7 1 の要部を示す平面図である。本実施の形態に係る平面アンテナ板 7 1 は、第 1 の実施の形態に係る平面アンテナ板 3 1 と同様に、プラズマ処理装置 100 に使用できるものである。平面アンテナ板 7 1 は、外周側に配設された第 2 のスロットの数が多く形成されている点を除き、第 2 の実施の形態の平面アンテナ板 6 1 と同様の構成を有している。従って、以下の説明では第 2 の実施の形態との相違点を中心に説明し、同一の構成には同一の符号を付して説明を省略する。

20

#### 【0088】

平面アンテナ板 7 1 は、円板状の基材 7 1 a と、この基材 7 1 a において所定のパターンで貫通して形成された多数のスロット 7 2（7 2 a, 7 2 b<sub>1</sub>, 7 2 b<sub>2</sub>）とを有している。スロット 7 2 は、平面アンテナ板 7 1 の中心  $O_A$  に近い位置に周方向に配列された複数の第 1 のスロット 7 2 a と、これら第 1 のスロット 7 2 a を囲むように外側に配列された複数の第 2 のスロット 7 2 b<sub>1</sub> および 7 2 b<sub>2</sub> とを含んでいる。

30

#### 【0089】

第 1 のスロット 7 2 a と第 2 のスロット 7 2 b<sub>1</sub>, 7 2 b<sub>2</sub> とは同心円状に配列されている。また、第 1 のスロット 7 2 a と第 2 のスロット 7 2 b<sub>1</sub> とは対をなしている。一方、第 2 のスロット 7 2 b<sub>2</sub> は、第 1 のスロット 7 2 a とは対をなしていない不對スロットである。第 1 のスロット 7 2 a は、8 個が平面アンテナ板 7 1 の円周方向に均等に配置されている。外周側のスロットのうち第 1 のスロット 7 2 a と対をなす第 2 のスロット 7 2 b<sub>1</sub> も、8 個が平面アンテナ板 7 1 の円周方向に均等に配置されている。

#### 【0090】

第 2 のスロット 7 2 b<sub>1</sub> および 7 2 b<sub>2</sub> は、各 8 個ずつ（合計 16 個）が平面アンテナ板 7 1 の円周方向に均等に配置されている。第 2 のスロット 7 2 b<sub>1</sub> と 7 2 b<sub>2</sub> は、1 個置きに交互に配置されている。平面アンテナ板 7 1 では、第 2 のスロット 7 2 b<sub>1</sub> に加え、第 2 のスロット 7 2 b<sub>2</sub> を配設したことによって、平面アンテナ板 7 1 における貫通開口の面積を、第 2 の実施の形態の平面アンテナ板 6 1 よりもさらに増加させた。従って、電磁波を効率よくチャンバー 1 内へ導入させることができる。

40

#### 【0091】

本実施の形態の平面アンテナ板 7 1 においても、平面アンテナ板 7 1 の中心  $O_A$ （基材 7 1 a の中心と同じ）から第 1 のスロット 7 2 a の中心  $O_{72a}$  までの距離  $L_1$  と、平面アンテナ板 7 1 の半径  $r$  との比  $L_1 / r$  は、0.35 ~ 0.5 の範囲内である。また、平面アンテナ板 7 1 の中心  $O_A$  から第 2 のスロット 7 2 b<sub>1</sub> または 7 2 b<sub>2</sub> の中心  $O_{72b1}$  または  $O_{72b2}$  までの距離  $L_2$  と、平面アンテナ板 7 1 の半径  $r$  との比  $L_2 / r$  は 0

50



、 $0.7 \sim 0.85$ の範囲内である。比 $L_1/r$ および比 $L_2/r$ を上記範囲内に規定した理由については、第1の実施の形態と同様であり、反射波の発生を抑制し、電磁波を効率良くチャンバー1内に供給することができ、安定したプラズマを形成できる。

#### 【0092】

また、第1のスロット72aの中心 $O_{72a}$ を結ぶ半径が距離 $L_1$ の円を $C_1$ とし、第2のスロット72bの中心 $O_{72b}$ を結ぶ半径が距離 $L_2$ の円を $C_2$ とした場合に、平面アンテナ板71の中心 $O_A$ から、円 $C_1$ と円 $C_2$ の円周の径方向の中間点Mまでの距離 $L_3$ を半径とする円 $C_3$ は、距離 $L_3$ と平面アンテナ板71の半径 $r$ と比 $L_3/r$ が、 $0.5 \sim 0.7$ の範囲内であることが好ましい。また、距離 $L_2$ と距離 $L_1$ との差分( $L_2 - L_1$ )と、平面アンテナ板71の半径 $r$ と比( $(L_2 - L_1)/r$ )は $0.2 \sim 0.5$ の範囲内であることが好ましい。上記範囲内に規定することにより、反射波の発生を抑制し、電磁波を効率良くチャンバー1内に供給することができ、安定したプラズマを形成できる。

#### 【0093】

また、図8に示した角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ および $\theta_4$ の範囲および当該範囲に設定した理由は、いずれも第1の実施の形態と同様である。また、本実施の形態における第1のスロット72aおよび第2のスロット72b<sub>1</sub>、72b<sub>2</sub>の長さおよび幅の範囲並びに当該範囲に規定した理由は、いずれも第2の実施の形態と同様である。

#### 【0094】

本実施の形態におけるその他の構成、作用および効果は、第1の実施の形態と同様である。

#### 【0095】

以上、本発明の実施形態を述べたが、本発明は上記実施形態に制約されることはなく、種々の変形が可能である。例えば、本発明の平面アンテナ板31を備えたプラズマ処理装置100は、例えばプラズマ酸化処理装置、プラズマ窒化処理装置やプラズマCVD処理装置、プラズマエッチング処理装置、プラズマアッシング処理装置などに適用できる。さらに、本発明の平面アンテナ板を備えたプラズマ処理装置100は、被処理体として半導体ウエハを処理する場合に限らず、例えば液晶ディスプレイ装置や有機ELディスプレイ装置などのフラットパネルディスプレイ装置用の基板を被処理体とするプラズマ処理装置にも適用できる。

#### 【0096】

また、スロット32の平面形状は上記実施の形態で示した形状に限定されるものではなく、例えば円形、楕円形、正方形、矩形などの形状にすることもできる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0097】

【図1】本発明の実施の形態に係るプラズマ処理装置の一例を示す概略断面図である。

【図2】第1の実施の形態に係る平面アンテナ板の要部の平面図である。

【図3】図2の平面アンテナ板におけるスロットの拡大図である。

【図4】図1のプラズマ処理装置の制御系統の概略構成を示すブロック図である。

【図5】プラズマのカットオフ密度の圧力依存モデルを説明する図面である。

【図6】第2の実施の形態に係る平面アンテナ板の要部の平面図である。

【図7】図6の平面アンテナ板におけるスロットの拡大図である。

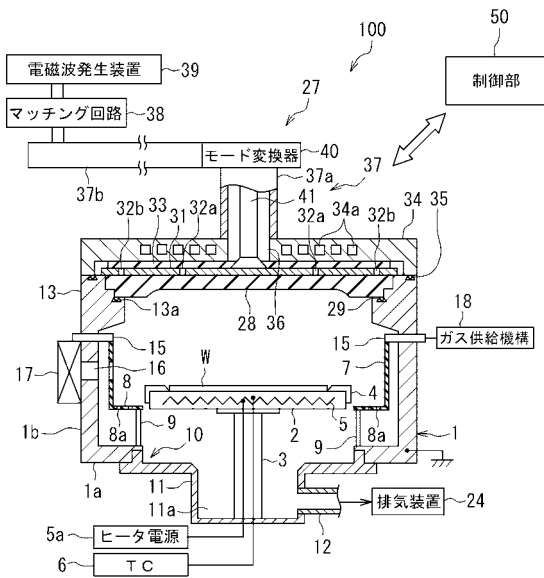
【図8】第3の実施の形態に係る平面アンテナ板の要部の平面図である。

#### 【符号の説明】

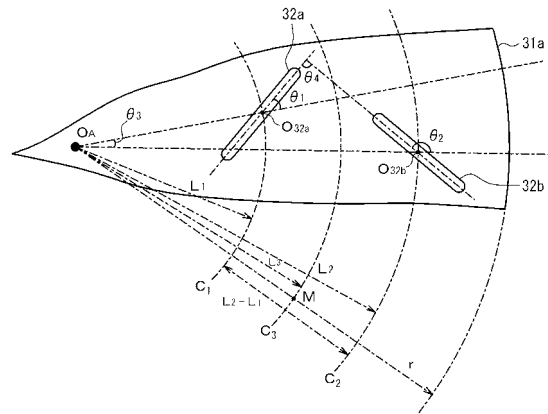
#### 【0098】

1...チャンバー(処理室)、2...載置台、3...支持部材、5...ヒータ、12...排気管、15...ガス導入部、18...ガス供給機構、24...排気装置、27...電磁波導入機構、28...透過板、29...シール部材、31...平面アンテナ板、31a...基材、32...スロット、37...導波管、37a...同軸導波管、37b...矩形導波管、39...電磁波発生装置、50...制御部、51...プロセスコントローラ、52...ユーザーインターフェース、53...記憶部、100...プラズマ処理装置、W...半導体ウエハ(基板)

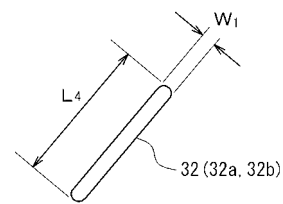
【圖 1】



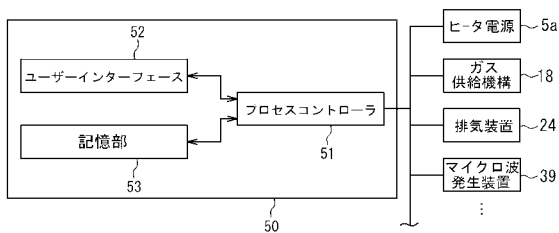
【 図 2 】



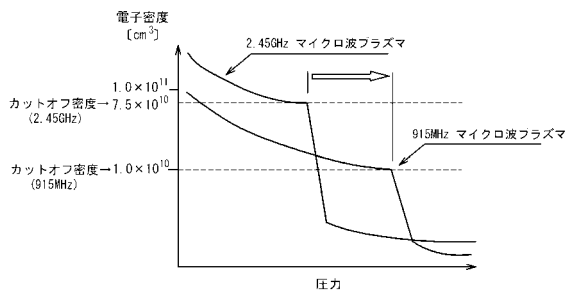
【 図 3 】



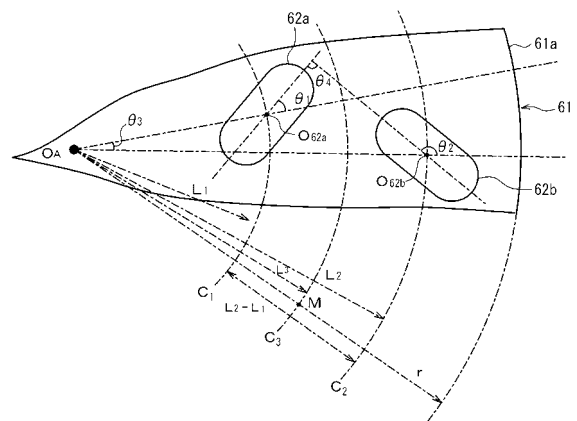
【 図 4 】



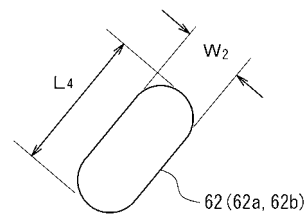
【 図 5 】



【 図 6 】



【圖 7】





---

フロントページの続き

- (72)発明者 田 才忠  
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 福田 良則  
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 本郷 俊明  
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 吉岡 正雄  
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
- Fターム(参考) 4K030 KA30  
5F004 BB11 BB14  
5F045 AA09 EH02 EH04