

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 7 部門第 1 区分

【発行日】平成 29 年 12 月 14 日 (2017.12.14)

【公開番号】特開 2016-91811 (P2016-91811A)

【公開日】平成 28 年 5 月 23 日 (2016.5.23)

【年通号数】公開・登録公報 2016-031

【出願番号】特願 2014-225230 (P2014-225230)

【国際特許分類】

H 0 5 H 1/46 (2006.01)

H 0 1 L 21/3065 (2006.01)

C 2 3 C 16/507 (2006.01)

【F I】

H 0 5 H 1/46 L

H 0 1 L 21/302 1 0 1 C

H 0 5 H 1/46 R

C 2 3 C 16/507

【手続補正書】

【提出日】平成 29 年 11 月 1 日 (2017.11.1)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

処理容器内で被処理基板に対してプラズマ処理を行うプラズマ処理装置において、  
前記処理容器内に設けられ、被処理基板が載置される載置台と、  
前記処理容器内に処理ガスを供給する処理ガス供給部と、  
前記処理容器内の真空排気を行う排気部と、  
前記載置台に対向して誘電体窓を介して配置され、前記処理容器内に供給された処理ガスを誘導結合によってプラズマ化するための高周波アンテナを備えたプラズマ発生部と、  
前記高周波アンテナが配置される空間を囲むシールド部材と、を備え、  
前記プラズマ発生部は、  
両端に開放端を持つとともに、これら開放端の間の線路の中央部に、高周波電源から供給される高周波の供給点と、接地点と、を備え、前記高周波の周波数に対応する共振周波数を持つ高周波アンテナと、  
前記高周波アンテナにも前記高周波電源にも接続されることなく配置され、両端に第 1 の可変コンデンサが接続される環状コイルと、を備える、プラズマ処理装置。

【請求項 2】

前記高周波電源から前記高周波アンテナ側を見たときの回路は、高周波の周波数を変えていったときに、前記第 1 の可変コンデンサの調整に応じた第 1 の共振周波数及び第 2 の共振周波数が現れるように構成されている、請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

前記高周波アンテナは、一方の開放端から前記高周波の供給点までの第 1 の高周波アンテナ素子と、他方の開放端から前記接地点までの第 2 の高周波アンテナ素子とを有し、  
前記第 1 の高周波アンテナ素子と、第 2 の高周波アンテナ素子とは、{ ( は高周波の波長) / 4 } + { n ( n は自然数 ) / 2 } に短縮率を乗じた線路長を有する、請求項 1 または 2 に記載のプラズマ処理装置。

## 【請求項 4】

前記プラズマ発生部は、前記高周波電源に接続される第 2 の可変コンデンサを含み、  
前記高周波電源から前記高周波アンテナ側を見たときの回路は、高周波の周波数を変えていったときに、前記第 1 の可変コンデンサ及び / 又は前記第 2 の可変コンデンサの調整に応じた第 1 の共振周波数及び第 2 の共振周波数が現れるように構成される、請求項 1 ~ 3 のうちいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

## 【請求項 5】

前記環状コイルは、前記高周波アンテナと同じ高さ位置に配置されている、請求項 1 ~ 4 のうちいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

## 【請求項 6】

前記環状コイルは、前記高周波アンテナと異なる高さ位置に配置されている、請求項 1 ~ 4 のうちいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

## 【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0007

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0007】

本発明に係るプラズマ処理装置は、処理容器内で被処理基板に対してプラズマ処理を行うプラズマ処理装置において、

前記処理容器内に設けられ、被処理基板が載置される載置台と、

前記処理容器内に処理ガスを供給する処理ガス供給部と、

前記処理容器内の真空排気を行う排気部と、

前記載置台に対向して誘電体窓を介して配置され、前記処理容器内に供給された処理ガスを誘導結合によってプラズマ化するための高周波アンテナを備えたプラズマ発生部と、

前記高周波アンテナが配置される空間を囲むシールド部材と、を備え、

前記プラズマ発生部は、

両端に開放端を持つとともに、これら開放端の間の線路の中央部に、高周波電源から供給される高周波の供給点と、接地点と、を備え、前記高周波の周波数に対応する共振周波数を持つ高周波アンテナと、

前記高周波アンテナにも前記高周波電源にも接続されることなく配置され、両端に第 1 の可変コンデンサが接続される環状コイルと、を備える。

## 【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0008

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0008】

前記プラズマ処理装置は以下の特徴を備えていてもよい。

(a) 前記高周波電源から前記高周波アンテナ側を見たときの回路は、高周波の周波数を変えていったときに、前記第 1 の可変コンデンサの調整に応じた第 1 の共振周波数及び第 2 の共振周波数が現れるように構成されていること。

(b) 前記高周波アンテナは、一方の開放端から前記高周波の供給点までの第 1 の高周波アンテナ素子と、他方の開放端から前記接地点までの第 2 の高周波アンテナ素子とを有し、前記第 1 の高周波アンテナ素子と、第 2 の高周波アンテナ素子とは、 $\{ ( \quad ) \text{ は高周波の波長} \} / 4 \} + \{ n ( n \text{ は自然数} ) / 2 \}$ に短縮率を乗じた線路長を有すること。

(c) 前記プラズマ発生部は、前記高周波電源に接続される第 2 の可変コンデンサを含み、前記高周波電源から前記高周波アンテナ側を見たときの回路は、高周波の周波数を変えていったときに、前記第 1 の可変コンデンサ及び / 又は前記第 2 の可変コンデンサの調整に応じた第 1 の共振周波数及び第 2 の共振周波数が現れるように構成されること。

(c) 前記環状コイルは、前記高周波アンテナと同じ高さ位置に配置されていること。または前記環状コイルは、前記高周波アンテナと異なる高さ位置に配置されていること。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0009

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0009】

高周波電源から高周波が供給される高周波アンテナと、前記高周波アンテナにも前記高周波電源にも接続されることなく配置され、両端に第1の可変コンデンサが接続される環状コイルとを用いることにより、高周波アンテナに高周波電力を分配することができる。この結果、処理容器内に形成されるプラズマ密度分布を調整し、ウエハWの処理の進行を面内で調整することができる。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0018】

以下、図2を参照しながら、処理ガスをプラズマ化するアンテナ541、542を備えたプラズマ発生部の構成について説明する。

高周波アンテナであるヘリカルアンテナ541は、同一平面内で導線を渦巻き状（図2の例では上面側から見て反時計回り）に捲回してなる面状の渦巻きコイルから構成される。

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0025】

そして、真空排気された処理容器10内に処理ガスを供給し、高周波電源61からヘリカルアンテナ541（内側アンテナ素子541a、外側アンテナ素子541b）に高周波電力を印加すると、共振周波数にて内側アンテナ素子541a、外側アンテナ素子541bに効率よく高周波電力が供給される。この結果、誘電体窓53を介して処理容器10内に高周波磁界が形成され、この磁界の形成に伴って誘起される高周波電界によって処理ガスがプラズマ化する。

以上に説明した観点において、ヘリカルアンテナ541は本実施の形態の高周波アンテナを構成する。また内側アンテナ素子541aは、第1の高周波アンテナ素子を構成し、外側アンテナ素子541bは第2の高周波アンテナ素子を構成している。

【手続補正 7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0029

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0029】

高周波電源61は、例えば中心周波数が27MHzであり、インピーダンス調整に応じて±1MHzの範囲で周波数を変化させることができる。さらに高周波電源61側には、高周波電源61と内側アンテナ素子541aとの間に直列に接続された可変コンデンサ62、及び高周波電源61の接地端と可変コンデンサ62との間に、高周波電源61と並列に接続された可変コンデンサ63とが設けられている。

## 【手続補正 8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0030

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0030】

また、外側アンテナ素子 541b の他端は、図 3 (a) に示したシールドボックス 51 に替えて、可変コンデンサからなる可変コンデンサ 64 を介して接地されている。

以上に説明した可変コンデンサ 62 ~ 64 (可変コンデンサ群) は、本実施の形態の第 2 の可変コンデンサを構成している。本例においては、インピーダンス調整部を構成する可変コンデンサ 62 ~ 64 は、主として反射調整用の整合回路として用いられる。

## 【手続補正 9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0031

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0031】

前記高周波電源 61 の中心周波数の波長 に対応して、各アンテナ素子 541a、541b は、 / 4 に対応する線路長を備える。アンテナ素子 541a、541b の巻き数は、各アンテナ素子 541a、541b の配置領域の面積などに応じて、適宜、調整してよい。

以上の説明をまとめておくと、ヘリカルアンテナ 541 は内側と外側とに開放端を持ち、高周波電源 61 から供給される高周波の周波数に対応する共振周波数を持つ渦巻きコイルから構成される。そして高周波電源 61 から高周波の供給点と、可変コンデンサ 64 を介して接地される接地点とは、2 つの開放端の間の線路の中央部に設けられている。

## 【手続補正 10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0033

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0033】

径方向に離れた位置に配置された内側アンテナ素子 541a、外側アンテナ素子 541b の間には、これらのアンテナ素子 541a、541b への高周波電力の分配を調節するための吸収アンテナ 542 が配置されている。吸収アンテナ 542 は、同一平面内で導線を円環状に捲回してなる環状コイルから構成される。

## 【手続補正 11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0035

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0035】

吸収アンテナ 542 の一端及び他端は、共通の可変コンデンサ 65 (第 1 の可変コンデンサ) に接続されている。そして、これら吸収アンテナ 542 及び可変コンデンサ 65 によって形成される回路は、ヘリカルアンテナ 541 及び可変コンデンサ 64 を含む回路とは回路上の接点を持たず、電氣的に浮いた状態となっている。可変コンデンサ 65 はプラズマ発生部のインピーダンス調整部の一部を構成している。本例においては、インピーダンス調整部を構成する可変コンデンサ 65 は、主として共振周波数調整用に用いられる。

## 【手続補正 12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0036

## 【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【0036】

上述の構成を備えたプラズマ発生部において、インピーダンス調整部を成す可変コンデンサ62～65の各容量を適切に調節し、共通の高周波電源61から供給される高周波電力の周波数を変化させていくと、互いに異なる2つの共振周波数が現れることが分かった（後述の実施例参照）。これらの共振周波数が現れる位置は、インピーダンス調整部の各容量の設定によって調整することができる。

## 【手続補正13】

## 【補正対象書類名】明細書

## 【補正対象項目名】0037

## 【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【0037】

これらの共振周波数につき、内側アンテナ素子541a、外側アンテナ素子541bに供給される高周波電力の損失を少なくする観点では、共振周波数間の周波数差を小さくすることが好ましい。また、各内側アンテナ素子541a、外側アンテナ素子541bへの高周波電力の分配比は、例えば接続部541cにおける反射率を調整することによって制御できる。さらに、吸収アンテナ542に設けられた可変コンデンサ65は、吸収アンテナ542を流れる電流の大きさや流れる向きを調整する役割を果たす。内側アンテナ素子541aと外側アンテナ素子541bとにおいては、電流の大きさに若干の差異があるため、吸収アンテナ542を流れる電流との相互作用により、これらのアンテナ素子541a、541bによって形成されるプラズマ密度分布を変化させることもできる。

## 【手続補正14】

## 【補正対象書類名】明細書

## 【補正対象項目名】0040

## 【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【0040】

例えば、高周波電源61から周波数 $27 \pm 1 \text{ MHz}$ の高周波電力を供給するとき、可変コンデンサ62～65（インピーダンス調整部）の各容量を調整することにより、2つの共振周波数が現れる位置を調節することが可能となる。これらの可変コンデンサ62～65の調整法としては、吸収アンテナ542側の可変コンデンサ65の容量を変化させて共振周波数を変化させつつ、可変コンデンサ62～64にて反射を調節する例が挙げられる。

またここで、2つの共振周波数が現れる位置を調整することが可能であれば、インピーダンス調整部の構成は上述の例に限られない。例えばヘリカルアンテナ541（内側アンテナ素子541a、外側アンテナ素子541b）とシールドボックス51との距離を変えて両者間の容量が変わるので、これらの距離を変化させることにより2つの共振周波数を調整してもよい。その場合には、昇降機構を含むヘリカルアンテナ541の高さ調整機構を設けてこれらの距離を変化させてもよい。また、シールドボックス51に電氣的に接続された昇降機構付きのプレートを付設し、当該プレートとヘリカルアンテナ541との距離を変化させてもよい。

## 【手続補正15】

## 【補正対象書類名】明細書

## 【補正対象項目名】0045

## 【補正方法】変更

## 【補正の内容】

## 【0045】

このとき、高周波電源61からヘリカルアンテナ541に供給される高周波電力の周波

数、可変コンデンサ 6 2 ~ 6 5 の容量は、処理レシピなどによって予め設定されている。この結果、内側アンテナ素子 5 4 1 a、外側アンテナ素子 5 4 1 b、及び吸収アンテナ 5 4 2 の下方側には、これらの設定値に対応した所望のプラズマ密度分布が形成され、当該プラズマ密度分布に対応して、処理ガスのイオンなどの活性種の濃度分布が形成される。

【手続補正 1 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 4 9

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 4 9】

本実施の形態に係るプラズマエッチング装置（プラズマ処理装置）によれば以下の効果がある。ヘリカルアンテナ（高周波アンテナ）5 4 1 を構成する内側アンテナ素子 5 4 1 a と外側アンテナ素子 5 4 1 b との間に吸収アンテナ（環状コイル）5 4 2 配置し、これらのアンテナ素子 5 4 1 a、5 4 1 b が互いに異なる共振周波数を持つように、インピーダンス調整部を用いて調節することにより、各高周波アンテナ素子 5 4 1 a、5 4 1 b に供給される高周波電力の分配を変化させることができる。この結果、処理容器 1 0 内に形成されるプラズマ密度分布を変化させ、ウエハ W の処理の進行を面内で調整することができる。

【手続補正 1 7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 5 3

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 5 3】

このように、内外二重管状に配置された内側アンテナ素子 5 4 1 a と外側アンテナ素子 5 4 1 b との間の空間に、つる巻き線状の渦巻きコイルにより構成された吸収アンテナ 5 4 2 が挿入される。この吸収アンテナ 5 4 2 において、可変コンデンサ 6 5 は、軸方向に伸びるつる巻き線の一端と他端との間を繋ぐ位置に設けられる。

【手続補正 1 8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 5 5

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 5 5】

（実験 1）

図 1、図 2 を用いて説明したプラズマ発生部を用い、高周波電源 6 1 から供給する高周波電力の周波数を変化させて共振周波数を調べた。

A．実験条件

巻き数 2、共振周波数が 2 7 M H z となる線路長を有する内側アンテナ素子 5 4 1 a と外側アンテナ素子 5 4 1 b とを備えたヘリカルアンテナ 5 4 1 を用い、シールドボックス 5 1 内の同じ高さ位置にヘリカルアンテナ 5 4 1 と吸収アンテナ 5 4 2 とを配置した。可変コンデンサ 6 2 ~ 6 5 の容量を所定の値に固定した条件下で高周波電源 6 1 から供給される高周波電力の周波数を 1 0 ~ 6 0 M H z の範囲で変化させ、高周波電源 6 1 側から見た回路の反射率を観測した。

【手続補正 1 9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 5 7

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 5 7】

## ( 実験 2 )

実験 1 と同様のプラズマ発生部を用い、可変コンデンサ 6 5 の容量を変化させたときに内側アンテナ素子 5 4 1 a、外側アンテナ素子 5 4 1 b 及び吸収アンテナ 5 4 2 によって形成される I C P プラズマの状態を観察した。

## A . 実験条件

吸収アンテナ 5 4 2 に設けられた可変コンデンサ 6 5 の容量を次第に大きくする一方、高周波電源 6 1 から見た反射率が小さくなるように、可変コンデンサ 6 2 ~ 6 4 の容量を調節してプラズマの状態を観察した。このとき、高周波電源 6 1 から供給される高周波電力の周波数は、 $27 \pm 1$  M H z 程度の範囲で変化した。プラズマの状態の観察は、プラズマ密度分布の計測、及び写真撮影 ( 目視 ) により行った。

## 【 手続補正 2 0 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0 0 5 8

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 0 0 5 8 】

## B . 実験結果

図 6 にウエハ W の径方向に見たプラズマ密度の分布を示す。図 6 の横軸は、ウエハ W の中心に対応する位置からの径方向の距離を示し、縦軸は電子密度  $N_e$  を電子密度の最大値  $N_{e \text{ Max}}$  で規格化した値を示している。図 6 において、黒塗りの丸のプロットは、吸収アンテナ 5 4 2 側の可変コンデンサ 6 5 の容量 ( C 4 ) が最も小さく、アスタリスクのプロットの可変コンデンサ 6 5 の容量は最も大きく、バツ印のプロットの可変コンデンサ 6 5 の容量は前 2 条件の中間状態となっている。また、図 7 ( a ) ~ ( c ) に示した写真においては、図 7 ( a ) は可変コンデンサ 6 5 の容量が最も小さく、図 7 ( b ) が中程度である。また、図 7 ( c ) は、他の可変コンデンサ 6 2 ~ 6 4 の調整と合わせて、プラズマを広げた状態を探索した結果となっている。なお、図 6 と図 7 との間で、可変コンデンサ 6 5 の容量など、実験条件は同じではない。

## 【 手続補正 2 1 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0 0 5 9

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 0 0 5 9 】

図 6 に示した結果によれば、可変コンデンサ 6 5 の容量を大きくするにつれて、規格化電子密度の高い領域がウエハ W の周縁部側へ移動する一方、中央部側では規格化電子密度が次第に小さくなっている。この傾向は、写真撮影の結果においても観察され、可変コンデンサ 6 5 の容量を大きくするにつれて、プラズマの発光領域が周縁部側へ移動する一方、中央部側のプラズマは弱く ( 暗く ) なっていることが分かる。

このように、高周波電源 6 1 に並列に接続されたモノポールアンテナを構成する内側アンテナ素子 5 4 1 a、外側アンテナ素子 5 4 1 b の間に電氣的に浮いた状態の吸収アンテナ 5 4 2 を配置したことにより、2 つの共振周波数を持つ回路を構成するプラズマ発生部を用いることにより、高周波電源 6 1 が 1 つしかない場合であってもプラズマ密度分布を調整することが可能であることを確認できた。

## 【 手続補正 2 2 】

【 補正対象書類名 】 明細書

【 補正対象項目名 】 0 0 6 0

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 0 0 6 0 】

W                      ウエハ

1 0	処 理 容 器
1 2	排 気 口
1 4	真 空 排 気 機 構
2 1	サ セ プ タ
4 4	処 理 ガ ス 供 給 機 構
5 1	シールドボックス
5 3	誘電体窓
5 4 1	ヘリカルアンテナ
5 4 1 a	内側アンテナ素子
5 4 1 b	外側アンテナ素子
5 4 1 c	接続部
5 4 2	吸収アンテナ
6 1	高周波電源
6 2	<u>可変コンデンサ</u>
6 3	<u>可変コンデンサ</u>
6 4	<u>可変コンデンサ</u>
6 5	<u>可変コンデンサ</u>
7	制 御 部