

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6937644号
(P6937644)

(45) 発行日 令和3年9月22日 (2021.9.22)

(24) 登録日 令和3年9月2日 (2021.9.2)

(51) Int.Cl.

F I

H05H 1/46 (2006.01)

H05H 1/46 M

H01L 21/205 (2006.01)

H01L 21/205

H01L 21/3065 (2006.01)

H01L 21/302 I O I B

請求項の数 12 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2017-185082 (P2017-185082)
 (22) 出願日 平成29年9月26日 (2017.9.26)
 (65) 公開番号 特開2019-61849 (P2019-61849A)
 (43) 公開日 平成31年4月18日 (2019.4.18)
 審査請求日 令和2年3月19日 (2020.3.19)

(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 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹
 (74) 代理人 100113435
 弁理士 黒木 義樹
 (74) 代理人 100122507
 弁理士 柏岡 潤二
 (72) 発明者 横田 聡裕
 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 伴瀬 貴徳
 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】 プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1のガス及び第2のガスのための少なくとも1つの入口を有するチャンバと、
 前記チャンバ内に配置された基板支持部であり、前記基板支持部は、基板を支持するための表面を有し、前記表面は、第1の領域と前記第1の領域を囲む第2の領域とを有する、該基板支持部と、
 前記基板支持部内に配置された下部電極と、
 第1の周波数を有する第1のRF信号を供給するように構成された第1のRF電力供給部と、
 前記下部電極に電気的に接続され、前記第1の周波数よりも低い第2の周波数を有する第2のRF信号を供給するように構成された第2のRF電力供給部と、
 前記チャンバ内に磁場を形成するように構成された電磁石であり、前記磁場は、前記第1の領域上に第1の水平成分を有し、前記第2の領域上に前記第1の水平成分よりも大きい第2の水平成分を有する、該電磁石と、
 制御部と、
 を備え、
 前記制御部は、

a) 基板を前記基板支持部上に配置する工程と、

b) 前記第1のRF信号及び前記第2のRF信号により前記チャンバにおいて前記第1のガスから第1のプラズマを形成する工程であり、前記第2のRF信号は、第1の電力

10

20

レベルで前記下部電極に供給され、前記第 1 の電力レベルは、ゼロ以上である、該工程と、

c) 前記基板を前記第 1 のプラズマに曝す工程と、

d) 前記第 1 の RF 信号、前記第 2 の RF 信号、及び前記磁場により前記チャンバにおいて前記第 2 のガスから第 2 のプラズマを形成する工程であり、前記第 2 の RF 信号は、前記第 1 の電力レベルよりも大きい第 2 の電力レベルで前記下部電極に供給される、該工程と、

e) 前記基板を前記第 2 のプラズマに曝す工程と、

をもたらすように構成され、f) 工程 b) ~ 工程 e) を繰り返す工程をもたらすようにさらに構成される、
プラズマ処理装置。

【請求項 2】

前記基板は、酸化シリコンを含有する第 1 の材料と窒化シリコンを含有する第 2 の材料とを含み、

前記第 1 のガスは、フルオロカーボンガスを含み、

工程 c) において、フルオロカーボン含有膜が前記基板上に形成され、

前記第 2 のガスは、希ガスを含み、

工程 e) において、前記基板上の前記第 1 の材料がエッチングされる、

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 3】

第 1 のガス及び第 2 のガスのための少なくとも 1 つの入口を有するチャンバと、

前記チャンバ内に配置された基板支持部であり、前記基板支持部は、基板を支持するための表面を有し、前記表面は、第 1 の領域と前記第 1 の領域を囲む第 2 の領域とを有する、該基板支持部と、

前記基板支持部内に配置された下部電極と、

第 1 の周波数を有する第 1 の RF 信号を供給するように構成された第 1 の RF 電力供給部と、

前記下部電極に電氣的に接続され、前記第 1 の周波数よりも低い第 2 の周波数を有する第 2 の RF 信号を供給するように構成された第 2 の RF 電力供給部と、

前記チャンバ内に磁場を形成するように構成された電磁石であり、前記磁場は、前記第 1 の領域上に第 1 の水平成分を有し、前記第 2 の領域上に前記第 1 の水平成分よりも大きい第 2 の水平成分を有する、該電磁石と、

制御部と、

を備え、

前記制御部は、

a) 基板を前記基板支持部上に配置する工程と、

b) 前記第 1 の RF 信号及び前記第 2 の RF 信号により前記チャンバにおいて前記第 1 のガスから第 1 のプラズマを形成する工程であり、前記第 2 の RF 信号は、第 1 の電力レベルで前記下部電極に供給され、前記第 1 の電力レベルは、ゼロ以上である、該工程と、

c) 前記基板を前記第 1 のプラズマに曝す工程と、

d) 前記第 1 の RF 信号、前記第 2 の RF 信号、及び前記磁場により前記チャンバにおいて前記第 2 のガスから第 2 のプラズマを形成する工程であり、前記第 2 の RF 信号は、前記第 1 の電力レベルよりも大きい第 2 の電力レベルで前記下部電極に供給される、該工程と、

e) 前記基板を前記第 2 のプラズマに曝す工程と、

をもたらすように構成され、

前記基板は、酸化シリコンを含有する第 1 の材料と窒化シリコンを含有する第 2 の材料とを含み、

前記第 1 のガスは、フルオロカーボンガスを含み、

工程 c) において、フルオロカーボン含有膜が前記基板上に形成され、
前記第 2 のガスは、希ガスを含み、
工程 e) において、前記基板上の前記第 1 の材料がエッチングされる、
プラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記第 2 の材料は凹部を有し、前記第 1 の材料は前記凹部内に配置される、請求項 2 又は 3 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記第 2 の周波数は 13.56 MHz よりも大きい、請求項 1 ~ 4 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記第 2 の周波数は 40 MHz 以上である、請求項 5 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】

前記第 2 の周波数は 60 MHz 以上である、請求項 5 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 8】

前記基板支持部の上方に配置され、前記第 1 の RF 電力供給部に電氣的に接続された上部電極をさらに有し、

前記電磁石は、前記上部電極の上方に配置される、
請求項 1 ~ 7 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 9】

前記電磁石と前記上部電極との間の第 1 の距離は 60 mm よりも大きく、前記電磁石と前記基板支持部上に配置された基板との間の第 2 の距離は 230 mm 以下である、請求項 8 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 10】

前記電磁石は、前記チャンバの中心軸線に対して同軸に配置された 1 以上のコイルを含む、請求項 1 ~ 9 の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 11】

a) チャンバ内の基板支持部の表面上に基板を配置する工程であり、前記表面は、第 1 の領域と前記第 1 の領域を囲む第 2 の領域とを有する、該工程と、

b) 第 1 の RF 信号及び第 2 の RF 信号により前記チャンバにおいて第 1 のガスから第 1 のプラズマを形成する工程であり、前記第 1 の RF 信号は、第 1 の周波数を有し、前記第 2 の RF 信号は、前記第 1 の周波数よりも低い第 2 の周波数を有し、第 1 の電力レベルで下部電極に供給され、前記下部電極は、前記基板支持部内に配置され、前記第 1 の電力レベルは、ゼロ以上である、該工程と、

c) 前記基板を前記第 1 のプラズマに曝す工程と、

d) 前記第 1 の RF 信号、前記第 2 の RF 信号、及び磁場により前記チャンバにおいて第 2 のガスから第 2 のプラズマを形成する工程であり、前記第 2 の RF 信号は、前記第 1 の電力レベルよりも大きい第 2 の電力レベルで前記下部電極に供給され、前記磁場は、前記第 1 の領域上に第 1 の水平成分を有し、前記第 2 の領域上に前記第 1 の水平成分よりも大きい第 2 の水平成分を有する、該工程と、

e) 前記基板を前記第 2 のプラズマに曝す工程と、
を含み、

工程 b) ~ 工程 e) が繰り返される、プラズマ処理方法。

【請求項 12】

a) チャンバ内の基板支持部の表面上に基板を配置する工程であり、前記表面は、第 1 の領域と前記第 1 の領域を囲む第 2 の領域とを有する、該工程と、

b) 第 1 の RF 信号及び第 2 の RF 信号により前記チャンバにおいて第 1 のガスから第 1 のプラズマを形成する工程であり、前記第 1 の RF 信号は、第 1 の周波数を有し、前記第 2 の RF 信号は、前記第 1 の周波数よりも低い第 2 の周波数を有し、第 1 の電力レベルで下部電極に供給され、前記下部電極は、前記基板支持部内に配置され、前記第 1 の電力

10

20

30

40

50

レベルは、ゼロ以上である、該工程と、

c) 前記基板を前記第 1 のプラズマに曝す工程と、

d) 前記第 1 の RF 信号、前記第 2 の RF 信号、及び磁場により前記チャンバにおいて第 2 のガスから第 2 のプラズマを形成する工程であり、前記第 2 の RF 信号は、前記第 1 の電力レベルよりも大きい第 2 の電力レベルで前記下部電極に供給され、前記磁場は、前記第 1 の領域上に第 1 の水平成分を有し、前記第 2 の領域上に前記第 1 の水平成分よりも大きい第 2 の水平成分を有する、該工程と、

e) 前記基板を前記第 2 のプラズマに曝す工程と、
を含み、

前記基板は、酸化シリコンを含有する第 1 の材料と窒化シリコンを含有する第 2 の材料とを含み、

前記第 1 のガスは、フルオロカーボンガスを含み、

工程 c) において、フルオロカーボン含有膜が前記基板上に形成され、

前記第 2 のガスは、希ガスを含み、

工程 e) において、前記基板上の前記第 1 の材料がエッチングされる、
プラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示の実施形態は、プラズマ処理方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

電子デバイスの製造では、プラズマ処理装置を用いてプラズマ処理方法が実行されて、被加工物が処理される。プラズマ処理装置は、一般的に、チャンバ本体、ガス供給部、ステージ、第 1 の高周波電源、及び、第 2 の高周波電源を備えている。ガス供給部は、チャンバ本体の内部空間にガスを供給するように構成されている。ステージは、チャンバ本体の内部空間の中に設けられており、その上に載置される被加工物を支持するように構成されている。被加工物は、その中心がチャンバ本体の中心軸線上に位置するように、ステージ上に載置される。ステージは下部電極を含んでいる。第 1 の高周波電源は、プラズマを生成するための第 1 の高周波を発生するように構成されている。第 2 の高周波電源は、第 2 の高周波を発生するように構成されている。第 2 の高周波の周波数は、第 1 の高周波の周波数よりも低い。第 2 の高周波は、下部電極に供給される。プラズマ処理装置を用いたプラズマ処理方法では、第 1 の高周波により内部空間の中でガスが励起され、プラズマが生成される。また、第 2 の高周波が下部電極に供給されることにより、プラズマ中のイオンが、被加工物に向けて加速されて、加速されたイオンが被加工物に照射される。

【0003】

プラズマ処理方法の一種としては、二つのプラズマ処理を被加工物に対して順に適用するプラズマ処理方法がある。このようなプラズマ処理方法は、特許文献 1 に記載されている。特許文献 1 に記載されたプラズマ処理方法は、酸化シリコンから形成された第 1 の領域を、窒化シリコンから形成された第 2 の領域に対して選択的にエッチングするために実行される。このプラズマ処理方法では、フルオロカーボンガスのプラズマを用いた処理と希ガスのプラズマを用いた処理とが実行される。フルオロカーボンガスのプラズマを用いた処理では、被加工物上にフルオロカーボンを含む堆積物の膜が形成される。フルオロカーボンガスのプラズマを用いた処理の実行中には、第 2 の高周波の電力は比較的低い電力（例えば、0 ワット）に設定される。希ガスを用いたプラズマ処理では、希ガスのイオンが被加工物に照射される。希ガスを用いたプラズマ処理の実行中には、第 2 の領域は堆積物の膜によって保護され、第 1 の領域は、堆積物の膜中のフルオロカーボンのラジカルによってエッチングされる。希ガスを用いたプラズマ処理の実行中には、第 2 の高周波の電力は比較的高い電力に設定される。このプラズマ処理方法は、第 2 の領域によって提供された凹部内に設けられている第 1 の領域をエッチングして、開口を自己整合的に形成する

10

20

30

40

50

ために用いられている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2015-173240号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

電子デバイスの微細化に伴い、上述した凹部の幅は狭くなっている。狭い凹部の中に存在する第1の領域の上に厚く堆積物が形成されると、希ガスを用いたプラズマ処理による第1の領域のエッチングが進行しなくなる。したがって、被加工物上に形成される堆積物の膜の膜厚を小さくする必要がある。堆積物の膜の膜厚が小さい場合には、第2の領域のエッチングを抑制するために、被加工物に照射される希ガスのイオンのエネルギーを低くする必要がある。イオンのエネルギーを低くするためには、高い周波数を有する第2の高周波を用いることが考えられる。第2の高周波の周波数が高い場合には、被加工物の中心の上では高い電界強度を有し、被加工物のエッジ側の上では低い電界強度を有する電界強度の分布が形成される。即ち、内部空間の中では、放射方向における中心軸線からの距離の増加に応じて電界強度が減少するような不均一な電界強度の分布が形成される。その結果、中心軸線に対して放射方向において不均一なプラズマ密度の分布が形成される。このようなプラズマ密度の分布は、径方向におけるプラズマ処理の不均一性をもたらす。したがって、希ガスを用いたプラズマ処理におけるプラズマ密度の分布を均一化することが求められる。なお、第2の高周波（バイアス用の高周波）の電力が低い電力に設定される第1のプラズマ処理と第2の高周波の電力が高い電力に設定される第2のプラズマ処理を含む任意のプラズマ処理方法において、同様に、第2のプラズマ処理の実行中のプラズマ密度の分布を均一化することが求められる。

【課題を解決するための手段】

【0006】

一態様においては、プラズマ処理装置を用いて実行されるプラズマ処理方法が提供される。プラズマ処理装置は、チャンバ本体、ステージ、ガス供給部、第1の高周波電源、第2の高周波電源、及び、電磁石を備える。ステージは、下部電極を含み、被加工物の載置領域を提供し、内部空間の中に設けられている。載置領域の中心はチャンバ本体の中心軸線上に位置する。ガス供給部は、チャンバ本体の内部空間に第1のガス及び第2のガスを供給するように構成されている。第1の高周波電源は、プラズマ生成用の第1の高周波を発生するように構成されている。第2の高周波電源は、第2の高周波を発生するように構成されており、下部電極に電氣的に接続されている。第2の高周波の周波数は、第1の高周波の周波数よりも低い。電磁石は、チャンバ本体の内部空間の中に磁場を形成するように構成されている。

【0007】

一態様に係るプラズマ処理方法は、チャンバ本体の内部空間の中に被加工物が収容された状態で実行される。このプラズマ処理方法は、(i)被加工物に対して第1のプラズマ処理を実行する工程であり、内部空間に供給された第1のガスのプラズマにより、被加工物が処理される、該工程と、(ii)被加工物に対して第2のプラズマ処理を実行する工程であり、内部空間に供給された第2のガスのプラズマにより、被加工物が処理される、該工程と、を含む。第2のプラズマ処理を実行する工程において設定される第2の高周波の電力が、第1のプラズマ処理を実行する工程において設定される第2の高周波の電力よりも、大きい。第2のプラズマ処理を実行する工程では、電磁石により、被加工物の中心の上での水平成分よりも大きい水平成分を被加工物のエッジ側の上で有する磁場の分布が形成される。

【0008】

一態様に係るプラズマ処理方法では、第2のプラズマ処理の実行中には、被加工物の中

心の上で電界強度が高くなり、被加工物のエッジ側の上で電界強度が低くなる。即ち、第2のプラズマ処理の実行中には、中心軸線に対して放射方向において不均一な電界強度の分布が形成される。また、第2のプラズマ処理の実行中には、上述の磁場の分布が内部空間の中で形成される。大きい水平成分の磁場が形成されている箇所では、電子の滞在時間が長くなる。その結果、大きい水平成分の磁場が形成されている箇所では、プラズマの密度が上昇する。故に、第2のプラズマ処理の実行中のプラズマ密度の分布が均一化される。しかも、電磁石によって形成される磁場の分布によってプラズマ密度の分布が均一化されるので、第1のプラズマ処理から第2のプラズマ処理に実行されるプラズマ処理が切り替わった時点で、高速にプラズマ密度の分布が均一化され得る。

【0009】

10

一実施形態において、第1のプラズマ処理を実行する工程と第2のプラズマ処理を実行する工程が交互に繰り返される。第1のプラズマ処理と第2のプラズマ処理を交互に繰り返す場合にも、第1のプラズマ処理から第2のプラズマ処理に実行されるプラズマ処理が切り替わった時点で、高速にプラズマ密度の分布が均一化され得る。

【0010】

一実施形態において、被加工物は、酸化シリコンから形成された第1の領域及び窒化シリコンから形成された第2の領域を有する。第1のガスは、フルオロカーボンガスを含む。第1のプラズマ処理を実行する工程において、フルオロカーボンを含む堆積物の膜が被加工物上に形成される。第2のガスは、希ガスを含む。第2のプラズマ処理を実行する工程において、堆積物の膜がその上に形成された被加工物に希ガスのイオンが照射されることにより、第1の領域がエッチングされる。この実施形態では、第2の領域が堆積物の膜によって保護され、且つ、第1の領域がエッチングされるので、第2の領域に対して選択的に第1の領域がエッチングされる。

20

【0011】

一実施形態において、第1の領域は、第2の領域によって提供された凹部内に設けられている。この実施形態では、第2の領域の凹部内に設けられた第1の領域がエッチングされ、自己整合的に開口が形成される。

【0012】

一実施形態において、第2の高周波の周波数は、13.56MHzよりも大きい。一実施形態において、第2の高周波の周波数は、40MHz以上である。一実施形態において、第2の高周波の周波数は、60MHz以上である。

30

【発明の効果】

【0013】

以上説明したように、第1のプラズマ処理及び第2のプラズマ処理を含むプラズマ処理方法において、バイアス用の高周波の電力が比較的大きい電力に設定される第2のプラズマ処理の実行中のプラズマ密度の分布を均一化することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】一実施形態に係るプラズマ処理方法を示す流れ図である。

【図2】図1に示すプラズマ処理方法の実行において用いることが可能な一実施形態のプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

40

【図3】チャンパ本体の内部空間の中での電界強度の分布の計算結果を示すグラフである。

【図4】図2に示すプラズマ処理装置の接地導体の内部の構成を示す平面図である。

【図5】図2に示すプラズマ処理装置により形成可能な磁場の分布の計算結果を示す図である。

【図6】図2に示すプラズマ処理装置の内部空間の中でのイオン束の分布の測定結果を示すグラフである。

【図7】図1に示す方法の一実施形態を適用可能な一例の被加工物の一部拡大断面図である。

50

【図 8】図 7 に示す状態から処理された被加工物の一部拡大断面図である。

【図 9】図 9 の (a) は、図 1 に示す方法の一実施形態における工程 S T 1 の実行後の状態の被加工物の一部拡大断面図であり、図 9 の (b) は、図 1 に示す方法の一実施形態における工程 S T 2 の実行後の状態の被加工物の一部拡大断面図である。

【図 10】図 1 に示す方法の一実施形態が適用された後の被加工物の一部拡大断面図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 5 】

以下、図面を参照して種々の実施形態について詳細に説明する。なお、各図面において同一又は相当の部分に対しては同一の符号を附すこととする。

10

【 0 0 1 6 】

図 1 は、一実施形態に係るプラズマ処理方法を示す流れ図である。図 1 に示すプラズマ処理方法 (以下、「方法 M T」という) は、プラズマ処理装置のチャンバ本体の内部空間の中に被加工物が収容された状態で実行される。

【 0 0 1 7 】

図 2 は、図 1 に示すプラズマ処理方法の実行において用いることが可能な一実施形態のプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図 2 においては、一実施形態のプラズマ処理装置 10 が、鉛直方向に延びる面において部分的に破断された状態で示されている。図 2 に示すプラズマ処理装置 10 は、チャンバ本体 12 を備えている。チャンバ本体 12 は、筒形状を有しており、側壁 12 a 及び底部 12 b を含んでいる。チャンバ本体 12 は、内部空間 12 s を提供している。図 2 に示す中心軸線 A X は、チャンバ本体 12 及び内部空間 12 s の中心軸線である。チャンバ本体 12 は、例えばアルミニウムといった金属から形成されている。チャンバ本体 12 の内壁面には、耐プラズマ性を有する膜が形成されている。この膜は、アルマイト膜、酸化イットリウム製の膜といったセラミック製の膜であり得る。チャンバ本体 12 は接地されている。

20

【 0 0 1 8 】

側壁 12 a には、通路 12 p が形成されている。被加工物 W は、内部空間 12 s とチャンバ本体 12 の外部との間で搬送されるときに、通路 12 p を通過する。被加工物 W は、ウエハのように円盤形状を有し得る。通路 12 p は、ゲートバルブ 12 g によって開閉可能となっている。ゲートバルブ 12 g は、側壁 12 a に沿って設けられている。

30

【 0 0 1 9 】

内部空間 12 s の中には、ステージ 14 が設けられている。ステージ 14 は、支持体 15 によって支持されている。支持体 15 は、円筒形状を有しており、チャンバ本体 12 の底部 12 b から上方に延びている。支持体 15 は、絶縁性を有しており、例えばセラミックから形成されている。

【 0 0 2 0 】

ステージ 14 は、被加工物 W を支持するように構成されている。ステージ 14 は、チャンバ本体 12 と中心軸線 A X を共有している。ステージ 14 は、載置領域 14 r を提供している。この載置領域 14 r の中心は、中心軸線 A X 上に位置する。被加工物 W は、その中心が中心軸線 A X 上に位置するように、載置領域 14 r 上に載置される。

40

【 0 0 2 1 】

ステージ 14 は、電極プレート 16、下部電極 18、及び、静電チャック 20 を含んでいる。電極プレート 16 は、略円盤形状を有している。電極プレート 16 は、導電性を有している。電極プレート 16 は、アルミニウムといった金属から形成されている。下部電極 18 は、円盤形状を有している。下部電極 18 は、導電性を有している。下部電極 18 は、アルミニウムといった金属から形成されている。下部電極 18 は、電極プレート 16 上に搭載されている。下部電極 18 は、電極プレート 16 に電氣的に接続されている。

【 0 0 2 2 】

下部電極 18 の中には、流路 18 p が形成されている。流路 18 p は、下部電極 18 の中で、例えば渦巻き状に延びている。流路 18 p には、熱交換媒体の循環装置 22 (例え

50

ばチラーユニット)から熱交換媒体(例えば冷媒)が供給される。循環装置22は、チャンバ本体12の外部に設けられている。流路18pに供給された熱交換媒体は、循環装置22に戻される。熱交換媒体と下部電極18との熱交換により、ステージ14上に載置された被加工物Wの温度が制御される。

【0023】

静電チャック20は、下部電極18上に設けられている。静電チャック20は、略円盤形状を有している。静電チャック20は、セラミック製の本体の中に、膜状の電極を有している。静電チャック20の電極には、スイッチを介して直流電源24が接続されている。静電チャック20は、上述の載置領域14rを提供している。被加工物Wが静電チャック20上(載置領域14r上)に載置されている状態で、直流電源24からの直流電圧が静電チャック20の電極に印加されると、被加工物Wと静電チャック20との間で静電引力が発生する。発生した静電引力によって、被加工物Wは静電チャック20に引き付けられ、静電チャック20によって保持される。プラズマ処理装置10には、静電チャック20と被加工物Wの下面との間に伝熱ガス(例えばHeガス)を供給する伝熱ガス供給ラインが設けられていてもよい。

10

【0024】

静電チャック20の内部には、一以上のヒータ(例えば一以上の抵抗加熱素子)が設けられていてもよい。一以上のヒータにヒータコントローラからの電力が供給されることにより、当該一以上のヒータが発熱し、静電チャック20の温度、ひいては被加工物Wの温度が調整される。

20

【0025】

チャンバ本体12の内部空間12s内では、フォーカスリングFRが、静電チャック20及び被加工物Wのエッジを囲むように配置される。フォーカスリングFRは、環状の板であり、シリコン、石英といったシリコン含有材料から形成されている。フォーカスリングFRは、プラズマ処理の均一性を得るために利用される。

【0026】

支持体15の周りには、筒状の導体26が設けられている。導体26は接地されている。導体26の上方には、ステージ14を囲むように筒状の絶縁体28が設けられている。絶縁体28は、石英といったセラミックから形成されている。ステージ14とチャンバ本体12の側壁12aとの間には、排気路が形成されている。排気路には、バッフルプレート30が設けられている。バッフルプレート30は、環状の板である。バッフルプレート30には、当該バッフルプレート30をその板厚方向に貫通する多数の孔が形成されている。バッフルプレート30は、アルミニウムといった金属から形成された母材の表面に、酸化イットリウムといった耐プラズマ性の被膜を形成することにより構成されている。

30

【0027】

バッフルプレート30の下方では、排気管32がチャンバ本体12の底部12bに接続されている。排気管32は、排気路に連通可能である。排気管32には、排気装置34が接続されている。排気装置34は、自動圧力制御弁、及び、ターボ分子ポンプといった減圧ポンプを含んでいる。排気装置34が作動されることにより、内部空間12sの圧力が指定された圧力に設定される。

40

【0028】

ステージ14の上方には、上部電極36が設けられている。上部電極36とステージ14との間には、内部空間12sの一部が介在している。上部電極36は、チャンバ本体12の上部開口を閉じるように設けられている。上部電極36とチャンバ本体12の上端部との間には部材37が介在している。部材37は、絶縁性材料から形成されている。部材37は、セラミック、例えば石英から形成され得る。なお、一実施形態では、上部電極36とチャンバ本体12の上端部との間には、部材37及び後述する接地導体の一部が介在し得る。

【0029】

一実施形態において、上部電極36は、シャワーヘッドを構成している。上部電極36

50

は、一実施形態では、天板 38 及び支持体 40 を含んでいる。天板 38 は、例えばシリコンから形成されている。或いは、天板 38 は、アルミニウムから形成された母材の表面に、酸化イットリウムといったセラミックから形成された被覆を設けることにより構成される。天板 38 には、当該天板 38 をその板厚方向に貫通する複数のガス吐出口 38h が形成されている。

【0030】

支持体 40 は、天板 38 上に設けられている。支持体 40 は、天板 38 を着脱自在に支持するように構成されている。支持体 40 は、アルミニウムといった導電性材料から形成されている。支持体 40 の内部には、ガス拡散室 40d が形成されている。支持体 40 には、ガス拡散室 40d から下方に延びる複数の孔 40h が形成されている。複数の孔 40h はそれぞれ、複数のガス吐出口 38h に連通している。

10

【0031】

ガス拡散室 40d には、ガス供給部 41 が接続されている。ガス供給部 41 は、内部空間 12s にガスを供給するように構成されている。一実施形態では、ガス供給部 41 は、第 1 のガス及び第 2 のガスを出力可能に構成されている。第 1 のガス及び第 2 のガスについては後述する。また、ガス供給部 41 は、一以上の流量制御器及び一以上のバルブを有し、出力すべき一以上のガスの流量を個別に調整するように構成されている。ガス供給部 41 から出力されたガスは、ガス拡散室 40d 及び複数の孔 40h を介して、複数のガス吐出口 38h から内部空間 12s に吐出される。

【0032】

20

支持体 40 には、流路 40p が形成されている。流路 40p には、チラーユニット 42 が接続されている。流路 40p とチラーユニット 42 との間では、冷却水といった冷媒が循環される。チラーユニット 42 から流路 40p に供給される冷媒と上部電極 36 との間の熱交換により、上部電極 36 の温度が調整される。

【0033】

プラズマ処理装置 10 は、第 1 の高周波電源 43 及び第 2 の高周波電源 44 を更に備えている。第 1 の高周波電源 43 及び第 2 の高周波電源 44 は、チャンバ本体 12 の外部に設けられている。第 1 の高周波電源 43 は、主としてプラズマの生成のための第 1 の高周波を発生するように構成されている。第 1 の高周波は、限定されるものではないが、例えば 100MHz といった周波数を有し得る。第 1 の高周波電源 43 は、整合器 45 及び給電導体 48 を介して、上部電極 36 に電氣的に接続されている。整合器 45 は、第 1 の高周波電源 43 の出力インピーダンスと負荷側（上部電極 36 側）のインピーダンスとを整合させるための整合回路を有している。給電導体 48 は、その下端で上部電極 36 に接続されている。給電導体 48 は、上部電極 36 から上方に延びている。給電導体 48 は筒状又は棒状の導体であり、その中心軸線は中心軸線 AX に略一致している。

30

【0034】

第 2 の高周波電源 44 は、主として被加工物 W にイオンを引き込むための第 2 の高周波、即ち、バイアス用の高周波を発生するように構成されている。第 2 の高周波の周波数は、第 1 の高周波の周波数よりも低い。一実施形態では、第 2 の高周波の周波数は、13.56MHz よりも高い。一実施形態では、第 2 の高周波の周波数は、40MHz 以上であってもよい。一実施形態では、第 2 の高周波の周波数は、60MHz 以上であってもよい。第 2 の高周波電源 44 は、整合器 46 を介して、下部電極 18 に電氣的に接続されている。整合器 46 は、第 2 の高周波電源 44 の出力インピーダンスと負荷側（下部電極 18 側）のインピーダンスとを整合させるための整合回路を有している。

40

【0035】

プラズマ処理装置 10 は、接地導体 50 を更に備えている。接地導体 50 は、導電性を有する。接地導体 50 は、アルミニウムといった金属から形成されている。接地導体 50 は、接地されている。接地導体 50 は、チャンバ本体 12 の上方で上部電極 36 を覆うように延びている。給電導体 48 は、接地導体 50 によって囲まれた空間を通過して接地導体 50 の外部まで上方へ延びて、接地導体 50 の外部で整合器 45 を介して第 1 の高周波電

50

源 4 3 に接続されている。

【 0 0 3 6 】

プラズマ処理装置 1 0 のチャンバ本体 1 2 の内部空間 1 2 s の中では、被加工物 W の中心の上では高い電界強度を有し、被加工物 W のエッジ側の上では低い電界強度を有する電界強度の分布が形成され得る。即ち、内部空間 1 2 s の中では、放射方向（即ち、径方向）における中心軸線 A X からの距離の増加に応じて電界強度が減少する不均一な電界強度の分布が形成され得る。図 3 は、チャンバ本体の内部空間の中での電界強度の分布の計算結果を示すグラフである。図 3 において、横軸は中心軸線 A X から放射方向への距離を示しており、縦軸は規格化された電界強度を示している。図 3 においては、複数の第 2 の高周波の周波数 f_2 それぞれを用いた場合の規格化された電界強度の分布が示されている。図 3 に示すように、放射方向における電界強度の不均一性は、第 2 の高周波の周波数 f_2 が高くなるほど顕著である。なお、第 2 の高周波の周波数 f_2 を高い周波数に設定すると、被加工物 W に照射されるイオンのエネルギーは小さくなる。

10

【 0 0 3 7 】

上述の不均一な電界強度の分布の下では、プラズマ密度は、中心軸線の近傍で高く、中心軸線から離れた箇所で低くなる。即ち、中心軸線に対して放射方向において不均一なプラズマ密度の分布が形成される。プラズマ処理装置 1 0 は、上述の不均一な電界強度の分布が形成される処理、例えば高い周波数を有する第 2 の高周波が利用される処理においても、均一なプラズマ密度の分布を得るために、電磁石 6 0 を更に備えている。

【 0 0 3 8 】

20

図 2 に示すように、電磁石 6 0 は、上部電極 3 6 の上方に配置されている。電磁石 6 0 は、チャンバ本体 1 2 の内部空間 1 2 s の中で、中心軸線 A X 上での水平成分よりも大きい水平成分を中心軸線 A X から離れた位置で有する磁場の分布を形成する。即ち、電磁石 6 0 は、中心軸線 A X から放射方向への距離の増加に応じてその大きさが増加する水平成分を有する磁場の分布を、内部空間 1 2 s の中に形成する。大きい水平成分の磁場が形成されている箇所では、電子の滞在時間が長くなる。その結果、大きい水平成分の磁場が形成されている箇所では、プラズマの密度が上昇する。したがって、プラズマ処理装置 1 0 によれば、中心軸線 A X に対して放射方向において均一なプラズマ密度の分布が得られる。故に、プラズマ処理装置 1 0 によれば、被加工物 W に対する処理の面内均一性が向上される。

30

【 0 0 3 9 】

一実施形態では、電磁石 6 0 は、ヨーク 6 2 及びコイル 6 4 を有している。ヨーク 6 2 は、磁性材料から形成されている。ヨーク 6 2 は、ベース部 6 2 a 及び複数の筒状部 6 2 b を有している。ベース部 6 2 a は、略円盤形状を有しており、中心軸線 A X に対して直交する方向に延在している。複数の筒状部 6 2 b の各々は、筒形状を有しており、ベース部 6 2 a から下方に延在している。複数の筒状部 6 2 b は、中心軸線 A X に対して同軸状に設けられている。コイル 6 4 は、中心軸線 A X の周りで巻かれている。コイル 6 4 は、径方向において隣り合う二つの筒状部 6 2 b の間に設けられている。なお、電磁石 6 0 は、一以上のコイル 6 4 を有し得る。電磁石 6 0 におけるコイル 6 4 の個数が複数個である場合には、複数のコイル 6 4 は、中心軸線 A X に対して同軸状に設けられる。

40

【 0 0 4 0 】

電磁石 6 0 のコイル 6 4 は、配線 6 8 を介して電流源 6 6 に接続されている。電流源 6 6 からの電流がコイル 6 4 に与えられると、電磁石 6 0 によって磁場が形成される。電磁石 6 0 によって形成される磁場のベクトルの角度が 45° である箇所では、放射方向（径方向）における電子の閉じ込め効果（電子の拡散の抑制効果）と、電子の消滅の抑制効果（電極への電子の到達を抑制する効果）とが良好に両立されるので、当該箇所ではプラズマの密度が高くなる。したがって、被加工物 W の半径が 150 mm である場合に、電磁石 6 0 は、磁場のベクトルの角度が 45° である箇所と中心軸線 A X との間の距離が、 135 mm 以上、 185 mm 以下となるように、構成され得る。このため、一実施形態では、電磁石 6 0 の一つのコイル 6 4 の内径と外径の平均値は、中心軸線 A X と被加工物 W のエ

50

ツジとの間の距離以上である。被加工物Wの半径が150mmである場合には、電磁石60の一つのコイル64の内径と外径の平均値は、150mm以上、250mm以下である。なお、磁場のベクトルの角度は、当該磁場が下方向の成分のみを有する場合には0°であり、放射方向の成分（水平成分）のみを有する場合には90°である。したがって、磁場のベクトルの角度が45°である場合には、当該磁場は、水平成分と垂直成分の双方を有する。

【0041】

電磁石60が上部電極を覆う接地導体によって囲まれた空間内に配置されると、第1の高周波が、電磁石60、及び/又は、電磁石60と電源（電流源）とを接続する配線に流入する。その結果、チャンバ本体12の内部空間12sの中での電界強度が局所的に変動する。したがって、電磁石60は、接地導体の外側に配置される。但し、接地導体の上端に対して上方の空間に電磁石60が配置されると、電磁石60から内部空間12sまでの鉛直方向の距離が長くなり、大きな電流をコイル64に与えなければ内部空間12sの中に十分な大きさを有する磁場を効率的に形成することができない。また、電磁石60が、接地導体の側方に（中心軸線から放射方向において接地導体の外側に）に配置されると、大きな水平成分を有する磁場が形成される箇所、或いは、そのベクトルが45°の角度を有する磁場が形成される箇所が内部空間12sの中に形成されない。均一なプラズマ密度の分布を得るのに適した磁場の分布を効率的に内部空間12sの中で形成するために、接地導体50は、その中に電磁石60が配置される外部空間ESを提供している。外部空間ESは、接地導体50の上端よりも内部空間12sの側にあり、上部電極36に対して上方に離れており、且つ、上部電極36に対して接地導体50により遮蔽されている。

【0042】

接地導体50は、第1の部分51、第2の部分52、及び、第3の部分53を備えている。第1の部分51は、筒形状を有している。第1の部分51の中心軸線は、中心軸線AXと略一致している。第1の部分51は、チャンバ本体12から上方に延びている。図2に示す例では、第1の部分51は、チャンバ本体12の側壁12aの上端から上方に延びている。第1の部分51の下端部分は、部材37と側壁12aの上端との間に介在している。

【0043】

第2の部分52は、上部電極36から上方に離間し、且つ、第1の部分51から中心軸線AXに向けて延びている。第2の部分52は、中心軸線AXに対して交差又は直交する方向に延びる板状をなしている。第1の部分51と第2の部分52は、上部電極36の上に第1の空間IS1を提供している。第1の空間IS1は、接地導体50の内側（即ち、上部電極36側）の空間の一部である。この第1の空間IS1により、鉛直方向において上部電極36と接地導体50との間に距離が確保される。したがって、接地導体50と上部電極36との間の容量的結合が抑制される。上部電極36の上面と接地導体50の第2の部分52の下面との間の鉛直方向の距離は、例えば60mm以上の距離に設定される。

【0044】

第3の部分53は、筒形状を有している。第3の部分53の中心軸線は、中心軸線AXと略一致している。第3の部分53は、第1の部分51よりも中心軸線の近くで延在している。第3の部分53は、第2の部分52から上方に延びている。第3の部分53は、第2の空間IS2を提供している。第2の空間IS2は、第2の部分52の内側の空間であり、接地導体50の内側（即ち、上部電極36側）の空間の一部である。第2の空間IS2は、第1の空間IS1に連続している。なお、給電導体48は、第1の空間IS1及び第2の空間IS2を通過して上方に延びている。

【0045】

外部空間ESは、第3の部分53の外側、第2の部分52上、且つ、内部空間12sの上方に接地導体50によって提供されている。外部空間ESは、第3の部分53の外側、且つ、第2の部分52上で、中心軸線AXを中心に周方向に延びている。この外部空間ESに電磁石60が配置されている。なお、外部空間ESの中に配置された電磁石60の下

端と上部電極 3 6 の上面との間の鉛直方向の距離は 6 0 m m より大きく、電磁石 6 0 の下端とステージ 1 4 上に載置された被加工物 W との間の鉛直方向の距離は、2 3 0 m m 以下であり得る。

【 0 0 4 6 】

外部空間 E S の中に配置された電磁石 6 0 と内部空間 1 2 s との間の距離は比較的短い。また、上述したように、電磁石 6 0 は、中心軸線 A X の近傍では低い水平成分を有し、中心軸線から離れた位置で大きい水平成分を有する磁場の分布を内部空間 1 2 s の中に形成する。したがって、接地導体 5 0 に対して外側に配置された電磁石 6 0 によって、均一なプラズマ密度の分布を得るのに適した磁場の分布が効率的に内部空間 1 2 s の中に形成され得る。

10

【 0 0 4 7 】

電磁石 6 0 のコイル 6 4 には、上述したように電流源 6 6 が接続されている。電磁石 6 0 及び電流源 6 6 は、接地導体 5 0 に対して外側に配置されている。したがって、電流源 6 6 への高周波の流入を防止するためのフィルタが、コイル 6 4 と電流源 6 6 との間に設けられていなくてもよい。

【 0 0 4 8 】

一実施形態では、接地導体 5 0 は、第 4 の部分 5 4 、第 5 の部分 5 5 、及び、第 6 の部分 5 6 を更に有する。第 4 の部分 5 4 は、第 2 の部分 5 2 の上方で、中心軸線 A X に対して放射方向に第 3 の部分 5 3 から延びている。第 4 の部分 5 4 は、中心軸線 A X に対して交差又は直交する方向に延びる板状をなしている。第 5 の部分 5 5 は、筒形状を有している。第 5 の部分 5 5 の中心軸線は、中心軸線 A X に略一致している。第 5 の部分 5 5 は、第 3 の部分 5 3 よりも中心軸線から離れており、第 4 の部分 5 4 から上方に延びている。第 6 の部分 5 6 は、第 4 の部分 5 4 の上方で、第 5 の部分 5 5 から中心軸線 A X に向けて延びている。第 6 の部分 5 6 は、中心軸線 A X に対して交差又は直交する方向に延びる板状をなしている。一実施形態では、接地導体 5 0 は、第 6 の部分から給電導体 4 8 の近傍まで延びる蓋部 5 7 を更に有している。

20

【 0 0 4 9 】

第 4 の部分 5 4 、第 5 の部分 5 5 、及び、第 6 の部分 5 6 は、第 3 の空間 I S 3 を提供している。第 3 の空間 I S 3 は、第 4 の部分 5 4 、第 5 の部分 5 5 、及び、第 6 の部分 5 6 によって囲まれた空間であり、接地導体 5 0 の内側の空間の一部である。第 3 の空間 I S 3 は、第 2 の空間 I S 2 に連続している。給電導体 4 8 は、第 3 の空間 I S 3 を更に通って、上方に延びている。なお、図 2 に示す例では、第 1 ~ 第 6 の部分は、三つの部材で構成されているが、接地導体 5 0 を構成する部材の個数は、任意の個数であり得る。

30

【 0 0 5 0 】

以下、図 2 と共に、図 4 を参照する。図 4 は、図 2 に示すプラズマ処理装置の接地導体の内部の構成を示す平面図である。図 4 においては、接地導体 5 0 の第 5 の部分 5 5 が水平な面で破断された状態が示されている。一実施形態において、プラズマ処理装置 1 0 は、図 2 及び図 4 に示すように、管 7 1 (第 1 の管) を更に備えている。管 7 1 は、上部電極 3 6 から、第 1 の空間 I S 1 及び第 2 の空間 I S 2 を通って上方に延び、第 3 の空間 I S 3 を通って、接地導体 5 0 に対して側方且つ外側まで延びている。管 7 1 は、接地導体 5 0 に対して外側で、チラーユニット 4 2 に接続される。チラーユニット 4 2 からの冷媒は、管 7 1 を介して、流路 4 0 p に供給される。第 3 の空間 I S 3 内では、管 7 1 が、接地導体 5 0 の第 4 の部分 5 4 によって上部電極 3 6 から実質的に遮蔽されている。

40

【 0 0 5 1 】

プラズマ処理装置 1 0 は、管 7 2 を更に備えている。管 7 2 は、第 1 の空間 I S 1 及び第 2 の空間 I S 2 を通って上方に延び、第 3 の空間 I S 3 を通って、接地導体 5 0 に対して側方且つ外側まで延びている。管 7 2 は、接地導体 5 0 に対して外側で、チラーユニット 4 2 に接続される。冷媒は流路 4 0 p から管 7 2 を介してチラーユニット 4 2 に戻される。第 3 の空間 I S 3 内では、管 7 2 が、接地導体 5 0 の第 4 の部分 5 4 によって上部電極 3 6 から実質的に遮蔽されている。

50

【 0 0 5 2 】

一実施形態において、プラズマ処理装置 10 は、管 7 3（第 2 の管）を更に備えている。管 7 3 は、上部電極 3 6 から、第 1 の空間 I S 1 及び第 2 の空間 I S 2 を通って上方に延び、第 3 の空間 I S 3 を通って、接地導体 5 0 に対して側方且つ外側まで延びている。管 7 3 は、接地導体 5 0 に対して外側で、ガス供給部 4 1 に接続されている。ガス供給部 4 1 から出力されるガスは、管 7 3 を介して、上部電極 3 6、即ちシャワーヘッドに供給される。第 3 の空間 I S 3 内では、管 7 3 が、接地導体 5 0 の第 4 の部分 5 4 によって上部電極 3 6 から実質的に遮蔽されている。なお、ガス供給部 4 1 と上部電極 3 6（即ち、シャワーヘッド）は、複数の管を介して互いに接続されていてもよい。

【 0 0 5 3 】

一実施形態において、プラズマ処理装置 10 は直流電源 7 4 及び配線 7 5 を更に備えている。直流電源 7 4 は、上部電極 3 6 に印加される負極性の直流電圧を発生するよう構成されている。配線 7 5 は、直流電源 7 4 と上部電極 3 6 とを互いに接続している。配線 7 5 は、コイル 7 5 c を含み得る。コイル 7 5 c は、第 3 の空間 I S 3 の中に設けられている。配線 7 5 は、上部電極 3 6 から第 1 の空間 I S 1 及び第 2 の空間 I S 2 を通って上方に延び、第 3 の空間 I S 3 を通って、接地導体 5 0 に対して側方且つ外側まで延びている。配線 7 5 は、第 5 の部分 5 5 及び接地導体 5 0 から電氣的に絶縁されている。配線 7 5 は、接地導体 5 0 に対して外側で、直流電源 7 4 に接続されている。第 3 の空間 I S 3 内では、配線 7 5 が、接地導体 5 0 の第 4 の部分 5 4 によって上部電極 3 6 から実質的に遮蔽される。

【 0 0 5 4 】

一実施形態において、プラズマ処理装置 10 は、制御部 8 0 を更に備えている。制御部 8 0 は、プラズマ処理装置 10 の各部を制御するように構成されている。制御部 8 0 は、コンピュータ装置であり得る。制御部 8 0 は、プロセッサ、メモリといった記憶装置、キーボード、マウス、タッチパネルといった入力装置、表示装置、制御信号の入出力インタフェース等を有し得る。記憶装置には、制御プログラム及びレシピデータが記憶されている。制御部 8 0 のプロセッサは、制御プログラムを実行し、レシピデータに従って、プラズマ処理装置 10 の各部を制御するために制御信号を送出する。制御部 8 0 は、方法 M T の実行のために、プラズマ処理装置 10 の各部を制御することが可能である。

【 0 0 5 5 】

以下、図 5 を参照する。図 5 は、図 2 に示すプラズマ処理装置により形成可能な磁場の分布の計算結果を示すグラフである。図 5 において、横軸は、中心軸線 A X からの距離を示しており、縦軸は、磁束密度を示している。図 5 においては、磁場 B A の分布を表す磁束密度の分布、磁場 B A の水平成分 B H の分布を表す磁束密度の分布、磁場 B A の垂直成分 B V の分布を表す磁束密度の分布が示されている。図 5 に示す磁場及びその二つの成分の分布は、電磁石 6 0 の下端から下方に 1 7 4 mm 離れた面内における分布、即ちステージ 1 4 の上面内における分布である。図 5 に示す磁場及びその二つの成分の分布を計算したときの条件は以下の通りである。

< 計算の条件 >

コイル 6 4 の内径（半径）： 1 3 2 mm

コイル 6 4 の外径（半径）： 1 7 3 mm

コイル 6 4 の巻数： 2 1 5 ターン

コイル 6 4 に供給した電流： 4 [A]

電磁石 6 0 の下端とステージ 1 4 上に載置された被加工物 W との間の距離： 1 7 4 mm

【 0 0 5 6 】

図 5 に示す磁場の分布の計算結果から分かるように、電磁石 6 0 によれば、中心軸線 A X 上での水平成分よりも大きい水平成分を中心軸線 A X から離れた箇所でも有する磁場の分布を形成することが可能である。

【 0 0 5 7 】

以下、図 6 を参照する。図 6 は、図 2 に示すプラズマ処理装置の内部空間の中でのイオ

10

20

30

40

50

ンフラックスの分布の測定結果を示すグラフである。図6に示す測定結果を得るための実験では、円盤状のサンプルがステージ14上に載置された状態で、内部空間12sの中でプラズマを生成し、電磁石60により内部空間12sの中に磁場を形成した。そして、サンプルの直径上の複数の測定点でサンプルの温度の単位時間あたりの増加率(dT/dt)を求めた。なお、増加率(dT/dt)は、イオンフラックスの量を反映するパラメータである。実験では、電磁石60のコイル64に供給する電流を、0[A]、1[A]、4[A]、6.5[A]に設定して、イオンフラックスの分布を測定した。実験の他の条件を以下に示す。

<実験の条件>

内部空間12sの圧力：20mTorr(2.67Pa)

10

内部空間12sに供給したガス：1000sccmのArガス

第1の高周波：60MHz、100W

第2の高周波：40MHz、100W

【0058】

図6において、横軸は、複数の測定点それぞれの位置を示す軸であり、中心軸線AXからの距離を表している。正の距離で特定される測定点は、上述の直径上で中心軸線AXに対して一方側にあり、負の距離はで特定される測定点は、上述の直径上で中心軸線AXに対して他方側にある。図6において、縦軸は、増加率(dT/dt)を示している。図6に示すように、電磁石60のコイル64に供給する電流が0[A]である場合には、増加率(dT/dt)、即ち、イオンフラックスは、中心軸線AXからの距離の増加に応じて減少していた。即ち、コイル64に供給する電流が0[A]である場合には、不均一なプラズマ密度の分布が形成されていた。コイル64に供給する電流を増加させると、複数の測定点におけるイオンフラックスの差は減少した。即ち、電磁石60によって内部空間12sの中で磁場を形成することにより、均一なプラズマ密度の分布を形成することが可能であることが確認された。

20

【0059】

再び図1を参照して、プラズマ処理装置10が用いられる場合を例として、方法MTについて説明する。方法MTは、チャンバ本体12の内部空間12sの中に被加工物Wが收容された状態で実行される。図1に示すように、方法MTは、工程ST1及び工程ST2を含んでいる。

30

【0060】

工程ST1では、被加工物Wに対して第1のプラズマ処理が実行される。工程ST1では、内部空間12sに供給された第1のガスのプラズマにより、被加工物Wが処理される。工程ST1では、第2の高周波は下部電極18に供給されても、供給されなくてもよい。工程ST1において第2の高周波が下部電極18に供給される場合には、工程ST1において設定される第2の高周波の電力は、工程ST2において下部電極18に供給される第2の高周波の電力よりも小さい。

【0061】

工程ST2では、被加工物Wに対して第2のプラズマ処理が実行される。工程ST2では、内部空間12sに供給された第2のガスのプラズマにより、被加工物Wが処理される。工程ST2では、第2の高周波は下部電極18に供給される。工程ST2では、第2の高周波の電力が、工程ST1における第2の高周波の電力よりも大きい電力に設定される。一実施形態では、第2の高周波の周波数は、13.56MHzよりも大きい。第2の高周波の周波数は40MHz以上であってもよく、60MHz以上であってもよい。

40

【0062】

工程ST2では、被加工物Wの中心の上での水平成分よりも大きい水平成分を被加工物Wのエッジ側の上で有する磁場の分布が、電磁石60によって内部空間12sの中に形成される。

【0063】

工程ST1及び工程ST2は、交互に繰り返されてもよい。工程ST1及び工程ST2

50

が交互に繰り返される場合には、工程 S T 3 において停止条件が満たされるか否かが判定される。停止条件は、例えば、工程 S T 1 及び工程 S T 2 を含むシーケンスの実行回数が所定回数に達している場合に、満たされたものと判定される。工程 S T 3 において停止条件が満たされていないと判定されると、再び工程 S T 1 が実行され、次いで工程 S T 2 が実行される。一方、工程 S T 3 において停止条件が満たされているものと判定されると、方法 M T の実行が終了する。

【 0 0 6 4 】

方法 M T の工程 S T 2 では、第 2 の高周波のパワーが、工程 S T 1 で設定される第 2 の高周波のパワーよりも高いパワーに設定される。したがって、工程 S T 2 の第 2 のプラズマ処理の実行中には、被加工物 W の中心の上で電界強度が高くなり、被加工物 W のエッジ側の上で電界強度が低くなる。即ち、第 2 のプラズマ処理の実行中には、中心軸線 A X に対して放射方向において不均一な電界強度の分布が形成される。第 2 のプラズマ処理の実行中には、上述の磁場の分布が内部空間 1 2 s の中で形成される。大きい水平成分の磁場が形成されている箇所では、電子の滞在時間が長くなる。その結果、大きい水平成分の磁場が形成されている箇所では、プラズマの密度が上昇する。故に、第 2 のプラズマ処理の実行中のプラズマ密度の分布が均一化される。しかも、電磁石 6 0 によって形成される磁場の分布によってプラズマ密度の分布が均一化されるので、第 1 のプラズマ処理から第 2 のプラズマ処理に実行されるプラズマ処理が切り替わった時点で、高速にプラズマ密度の分布が均一化され得る。工程 S T 1 及び工程 S T 2 が交互に繰り返される場合には、プラズマ密度の分布を高速に均一化することができる電磁石 6 0 の利用は特に有利である。

【 0 0 6 5 】

一実施形態において、第 1 のガスは、フルオロカーボンガス、例えば C_4F_8 ガスを含む。第 2 のガスは、He ガス、Ne ガス、Ar ガス、Kr ガス、Xe ガスといった希ガスを含む。この実施形態の方法 M T は、酸化シリコンから形成された第 1 の領域を、窒化シリコンから形成された第 2 の領域に対して選択的にエッチングすることができる。

【 0 0 6 6 】

図 7 は、図 1 に示す方法の一実施形態を適用可能な一例の被加工物の一部拡大断面図である。図 7 に示す被加工物 W は、下地領域 U R、複数の隆起領域 P R、第 1 の領域 R 1、第 2 の領域 R 2、及び、マスク M K を有している。この被加工物 W は、例えば、フィン型電界効果トランジスタの製造中に得られる生産物であり得る。

【 0 0 6 7 】

下地領域 U R は、例えば、多結晶シリコンから構成され得る。下地領域 U R は、一例においてはフィン領域であり、略直方体形状を有している。複数の隆起領域 P R は、下地領域 U R 上に設けられており、互いに略平行に配列されている。これら隆起領域 P R は、例えば、ゲート領域であり得る。第 2 の領域 R 2 は、窒化シリコンから形成されている。第 2 の領域 R 2 は、隆起領域 P R 及び下地領域 U R を覆うように設けられている。第 2 の領域 R 2 は、二つの隣り合う隆起領域 P R の間に、凹部を提供している。第 1 の領域 R 1 は、酸化シリコンから形成されている。第 1 の領域 R 1 は、第 2 の領域 R 2 によって提供されている上述の凹部の中に設けられている。また、第 1 の領域 R 1 は、第 2 の領域 R 2 を覆うように設けられている。第 1 の領域 R 1 上には、マスク M K が設けられている。マスク M K は、第 2 の領域 R 2 によって提供された凹部の上方で開口を提供するように、パターンニングされている。マスク M K の開口の幅は、第 2 の領域 R 2 によって提供された凹部の幅よりも大きい。マスク M K は、有機膜から形成されたマスクである。マスク M K は、フォトリソグラフィ技術によって作成することが可能である。

【 0 0 6 8 】

以下、図 7 に示す被加工物 W に適用される場合を例にとって、一実施形態の方法 M T について説明する。しかしながら、一実施形態の方法 M T は、酸化シリコンから形成された第 1 の領域及び窒化シリコンから形成された第 2 の領域を有する任意の被加工物に対して適用可能である。以下、図 1 及び図 7 に加えて、図 8、図 9 の (a)、図 9 の (b)、及び、図 1 0 を参照する。図 8 は、図 7 に示す状態から処理された被加工物の一部拡大断面

図である。図 9 の (a) は、図 1 に示す方法の一実施形態における工程 S T 1 の実行後の状態の被加工物の一部拡大断面図であり、図 9 の (b) は、図 1 に示す方法の一実施形態における工程 S T 2 の実行後の状態の被加工物の一部拡大断面図である。図 1 0 は、図 1 に示す方法の一実施形態が適用された後の被加工物の一部拡大断面図である。

【 0 0 6 9 】

一実施形態の方法 M T では、工程 S T 1 及び工程 S T 2 のみによって、第 1 の領域 R 1 をエッチングしてもよい。或いは、最初に工程 S T 1 を実行する前に、第 2 の領域 R 2 が露出するまで (図 8 参照)、又は、第 2 の領域 R 2 が露出する直前まで、別のプラズマエッチング処理によって、第 1 の領域 R 1 がエッチングされてもよい。例えば、第 2 の領域 R 2 が露出するまで (図 8 参照)、又は、第 2 の領域 R 2 が露出する直前まで、フルオロカーボンガスのプラズマからのイオン及び / 又はラジカルといった活性種によって、第 1 の領域 R 1 がエッチングされてもよい。

10

【 0 0 7 0 】

一実施形態の方法 M T の工程 S T 1 では、フルオロカーボンガスを含む上述の第 1 のガスのプラズマによって、被加工物 W が処理される。第 1 のガスは、フルオロカーボンガスに加えて、酸素ガス、及び、A r ガスといった希ガスを含んでいてもよい。この工程 S T 1 では、フルオロカーボンを含む堆積物の膜 D P が被加工物 W 上に形成される。工程 S T 1 では、第 1 の領域 R 1 上の膜 D P の膜厚よりも、第 2 の領域 R 2 上の膜 D P の膜厚が大きくなるように、膜 D P が形成される。

【 0 0 7 1 】

20

具体的に、工程 S T 1 では、内部空間 1 2 s に第 1 のガスが供給され、排気装置 3 4 によって内部空間 1 2 s の圧力が、指定された圧力に減圧される。第 1 の高周波が供給されることにより、第 1 のガスは内部空間 1 2 s の中で励起される。その結果、内部空間 1 2 s の中で第 1 のガスのプラズマが生成される。工程 S T 1 では、第 2 の高周波の電力は、工程 S T 2 における第 2 の高周波の電力よりも低い電力に設定される。工程 S T 1 では、第 2 の高周波は下部電極 1 8 に供給されなくてもよい。

【 0 0 7 2 】

工程 S T 1 では、被加工物 W の温度が 2 0 以上、2 5 0 以下の温度に設定される。被加工物 W の温度は、流路 1 8 p に供給される熱交換媒体及び静電チャック 2 0 内に設けられた上述の一以上のヒータによって、調整される。かかる温度に被加工物 W の温度が設定されると、図 9 の (a) に示すように、フルオロカーボンを含む堆積物の膜 D P が、被加工物 W 上に形成される。図 9 の (a) に示すように、膜 D P の膜厚は、第 2 の領域 R 2 上では大きく、第 1 の領域 R 1 上では小さい。なお、2 5 0 を超える温度は、マスク M K のガラス転移温度であり、当該温度では、第 1 の領域 R 1 上に形成される膜 D P の膜厚と第 2 の領域 R 2 上に形成される膜 D P の膜厚の差が少なくなる。また、2 0 より低い温度でも、第 1 の領域 R 1 上に形成される膜 D P の膜厚と第 2 の領域 R 2 上に形成される膜 D P の膜厚の差が少なくなる。

30

【 0 0 7 3 】

工程 S T 2 では、工程 S T 1 で処理された被加工物 W が、希ガスを含む上述の第 2 のガスのプラズマによって、処理される。第 2 のガスは、希ガスのみを含むガスであり得る。或いは、第 2 のガスは、希ガスに加えて酸素ガスを含んでいてもよい。工程 S T 2 では、内部空間 1 2 s に第 2 のガスが供給され、排気装置 3 4 によって内部空間 1 2 s の圧力が、指定された圧力に減圧される。第 2 の高周波が供給されることにより、第 2 のガスは内部空間 1 2 s の中で励起される。その結果、内部空間 1 2 s の中で第 2 のガスのプラズマが生成される。工程 S T 2 では、第 2 の高周波が下部電極 1 8 に供給される。工程 S T 2 では、第 2 の高周波の電力は、工程 S T 1 における第 2 の高周波の電力よりも高い電力に設定される。

40

【 0 0 7 4 】

工程 S T 2 では、希ガスのイオンが被加工物 W に照射される。希ガスのイオンが膜 D P に照射されると、膜 D P に含まれるフルオロカーボンのラジカルにより、第 1 の領域 R 1

50

がエッチングされる。一方、第２の領域Ｒ２上の膜ＤＰは減少するが、第２の領域Ｒ２のエッチングを抑制するように第２の領域Ｒ２を保護する。工程ＳＴ２が実行されると、図９の（ａ）に示された被加工物Ｗは、図９の（ｂ）に示された状態になる。そして、工程ＳＴ１及び工程ＳＴ２の交互の繰り返しにより、図１０に示すように、第２の領域Ｒ２によって提供された凹部の中の第１の領域Ｒ１が除去されて、開口ＨＬが形成される。即ち、自己整合的に開口ＨＬが形成される。

【００７５】

ところで、第２の領域Ｒ２によって提供される凹部の幅が狭い場合には、工程ＳＴ１の実行によって、狭い凹部の中に存在する第１の領域Ｒ１上に厚く堆積物が形成される。第１の領域Ｒ１上に厚い堆積物の膜が形成されると、工程ＳＴ２において第１の領域Ｒ１のエッチングが進行しなくなる。したがって、第２の領域Ｒ２によって提供される凹部の幅が狭い場合には、被加工物Ｗ上に形成される堆積物の膜ＤＰの膜厚を小さくする必要がある。堆積物の膜ＤＰの膜厚が小さい場合には、第２の領域Ｒ２のエッチングを抑制するために、被加工物Ｗに照射される希ガスのイオンのエネルギーを低くする必要がある。イオンのエネルギーは、高い周波数を有する第２の高周波を用いることにより、低下する。例えば、１３．５６ＭＨｚより大きい周波数、４０ＭＨｚ以上の周波数、又は、６０ＭＨｚ以上の周波数を有する第２の高周波が用いられる。高い周波数を有する第２の高周波を用いると、工程ＳＴ２で形成される上述した電界強度の分布の不均一性はより顕著なものとなる。かかる不均一性は、工程ＳＴ２において電磁石６０により上述の磁場を形成することで、解消又は抑制される。

【００７６】

以上、種々の実施形態について説明してきたが、上述した実施形態に限定されことなく種々の変形態様を構成可能である。方法ＭＴは、プラズマ処理装置１０以外の他のプラズマ処理装置、即ち、下部電極に第２の高周波（バイアス用の高周波）が供給可能であり、電磁石６０が形成する磁場の分布と同様の磁場の分布をチャンパ本体の内部空間の中に形成可能な任意のプラズマ処理装置を用いて実行することが可能である。このようなプラズマ処理装置としては、下部電極に第１の高周波を供給するように構成された容量結合型のプラズマ処理装置、誘導結合型のプラズマ処理装置、又は、マイクロ波といった表面波によりガスを励起させるように構成されたプラズマ処理装置が例示される。

【００７７】

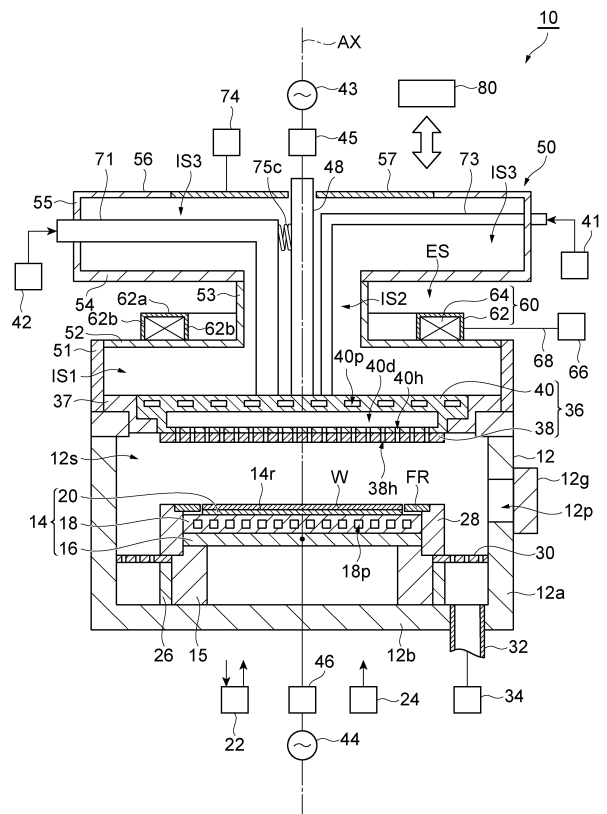
また、方法ＭＴにおいて用いられるプラズマ処理装置の電磁石は、一つ以上のコイルを有していてもよい。

【符号の説明】

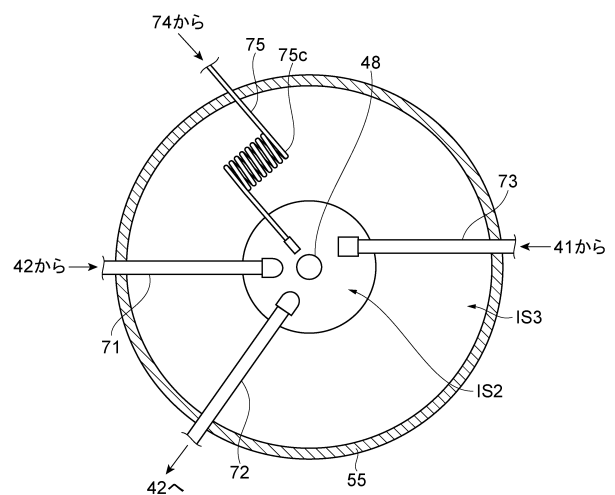
【００７８】

１０…プラズマ処理装置、１２…チャンパ本体、１２ｓ…内部空間、１４…ステージ、１４ｒ…載置領域、１８…下部電極、２０…静電チャック、３６…上部電極、４１…ガス供給部、４２…チラーユニット、４３…第１の高周波電源、４４…第２の高周波電源、４８…給電導体、５０…接地導体、５１…第１の部分、５２…第２の部分、５３…第３の部分、６０…電磁石、６４…コイル、ＡＸ…中心軸線、ＥＳ…外部空間、ＩＳ１…第１の空間、ＩＳ２…第２の空間、ＩＳ３…第３の空間、Ｗ…被加工物、Ｒ１…第１の領域、Ｒ２…第２の領域、ＤＰ…膜。

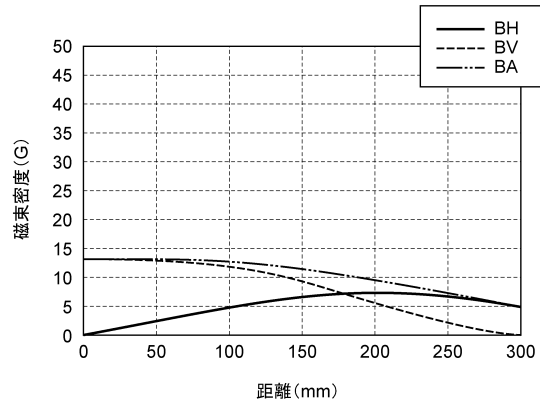
【 図 2 】



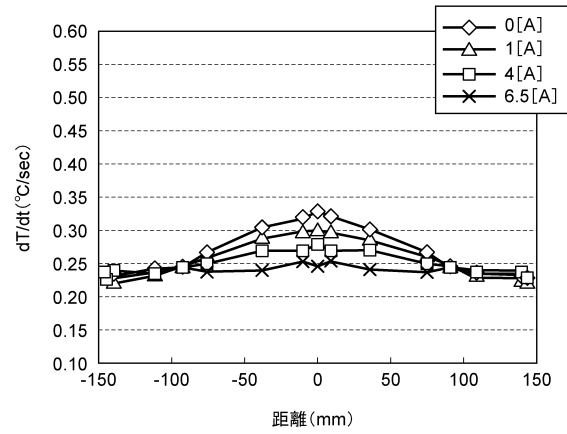
【 図 4 】



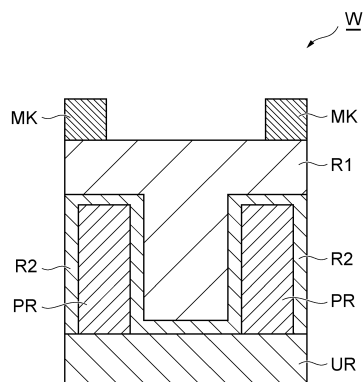
【図 5】



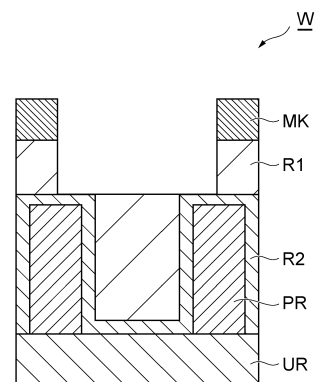
【図 6】



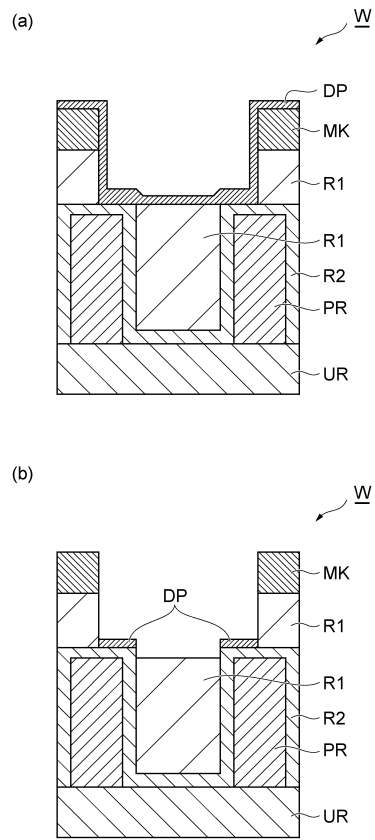
【図 7】



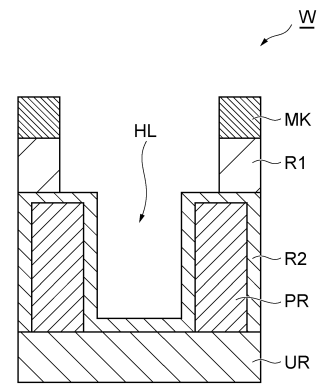
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

- (72)発明者 高良 穰二
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 森北 信也
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 奥西 直彦
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

審査官 鳥居 祐樹

- (56)参考文献 特開2014-158005(JP,A)
特開2015-173240(JP,A)
米国特許出願公開第2014/0206199(US,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|--------|
| H05H | 1/46 |
| H01L | 21/302 |
| H01J | 37/32 |