

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6836976号
(P6836976)

(45) 発行日 令和3年3月3日(2021.3.3)

(24) 登録日 令和3年2月10日(2021.2.10)

(51) Int.Cl.		F I			
H05H	1/46	(2006.01)	H05H	1/46	M
H01L	21/3065	(2006.01)	H01L	21/302	I O I B
C23C	16/505	(2006.01)	C23C	16/505	

請求項の数 9 (全 20 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2017-185071 (P2017-185071)</p> <p>(22) 出願日 平成29年9月26日 (2017. 9. 26)</p> <p>(65) 公開番号 特開2019-61848 (P2019-61848A)</p> <p>(43) 公開日 平成31年4月18日 (2019. 4. 18)</p> <p>審査請求日 令和2年7月7日 (2020. 7. 7)</p> <p>早期審査対象出願</p>	<p>(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</p> <p>(74) 代理人 100088155 弁理士 長谷川 芳樹</p> <p>(74) 代理人 100113435 弁理士 黒木 義樹</p> <p>(74) 代理人 100122507 弁理士 柏岡 潤二</p> <p>(72) 発明者 高橋 秀一 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</p> <p>(72) 発明者 宮舘 孝明 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</p>
---	--

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

チャンパ本体と、
前記チャンパ本体によって提供された内部空間にガスを供給するように構成されたガス供給部と、
被加工物の載置領域を提供し、前記内部空間の中に設けられたステージであり、前記載置領域の中心は前記チャンパ本体の中心軸線上に位置する、該ステージと、
前記ステージ内に設けられた下部電極と、
前記内部空間を介して前記ステージの上方に設けられた上部電極と、
前記上部電極に接続されており、該上部電極から上方に延びる給電導体と、
第1の高周波を発生するように構成されており、前記給電導体を介して前記上部電極に電氣的に接続された第1の高周波電源と、
前記第1の高周波の周波数よりも低い周波数を有する第2の高周波を発生するように構成されており、前記下部電極に電氣的に接続された第2の高周波電源と、
前記上部電極の上方に配置された電磁石であり、前記中心軸線上での水平成分よりも大きい水平成分を、該中心軸線から離れた位置で有する磁場の分布を前記内部空間の中に形成するように構成された、該電磁石と、
接地されており、前記チャンパ本体の上方で前記上部電極を覆うように延びる接地導体と、
を備え、

前記接地導体は、

前記チャンバ本体から上方に延びる筒状の第1の部分と、

前記上部電極から上方に離間し、且つ、前記第1の部分から前記中心軸線に向けて延びる第2の部分であり、前記第1の部分と共に、前記上部電極上に第1の空間を提供する、該第2の部分と、

前記第1の部分よりも前記中心軸線の近くに設けられており、前記第2の部分から上方に延びる筒状の第3の部分であり、その中に前記第1の空間に連続する第2の空間を提供する、該第3の部分と、

を有し、

前記給電導体は、前記第1の空間及び前記第2の空間を通過して上方に延びており、

前記電磁石は、前記第3の部分の外側、前記第2の部分上、且つ、前記内部空間の上方に前記接地導体によって提供された外部空間の中に配置されており、

前記接地導体は、

前記第2の部分の上方で、前記中心軸線に対して放射方向に前記第3の部分から延びる第4の部分と、

前記第3の部分よりも前記中心軸線から離れており、前記第4の部分から上方に延びる筒状の第5の部分と、

前記第4の部分の上方で、前記第5の部分から前記中心軸線に向けて延びる第6の部分と、

を更に有し、

前記給電導体は、更に、前記第4の部分、前記第5の部分、及び、前記第6の部分によって囲まれた、前記第2の空間に連続する第3の空間を通過して、上方に延びている、プラズマ処理装置。

【請求項2】

前記上部電極から前記第1の空間及び前記第2の空間を通過して上方に延び、前記第3の空間を通過して、前記接地導体に対して側方且つ外側まで延びる第1の管であり、前記上部電極に冷媒を供給する、該第1の管を更に備える、請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】

前記上部電極は、前記ガス供給部からのガスを前記内部空間に吐出するシャワーヘッドを構成しており、

該プラズマ処理装置は、前記上部電極から前記第1の空間及び前記第2の空間を通過して上方に延び、前記第3の空間を通過して、前記接地導体に対して側方且つ外側まで延びる第2の管であり、前記シャワーヘッドに前記ガス供給部からのガスを供給する、該第2の管を更に備える、

請求項1又は2に記載のプラズマ処理装置。

【請求項4】

前記上部電極に印加される負極性の直流電圧を発生する直流電源と、

前記直流電源と前記上部電極とを互いに接続する配線と、

を更に備え、

前記配線は、前記上部電極から前記第1の空間及び前記第2の空間を通過して上方に延び、前記第3の空間を通過して、前記接地導体に対して側方且つ外側まで延びている、

請求項1～3の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項5】

前記電磁石は、前記中心軸線の周りで巻かれたコイルを有する、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】

前記コイルの内径と外径との平均値は、前記中心軸線と前記被加工物のエッジとの間の距離以上である、請求項5に記載のプラズマ処理装置。

【請求項7】

10

20

30

40

50

前記第2の高周波の前記周波数は、13.56MHzよりも大きい、請求項1～6の何れか一項に記載のプラズマ処理装置。

【請求項8】

前記第2の高周波の前記周波数は、40MHz以上である、請求項7に記載のプラズマ処理装置。

【請求項9】

前記第2の高周波の前記周波数は、60MHz以上である、請求項7に記載のプラズマ処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本開示の実施形態は、プラズマ処理装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

電子デバイスの製造においては、被加工物に対する処理のためにプラズマ処理装置が用いられている。プラズマ処理装置の一種として、容量結合型のプラズマ処理装置が知られている。容量結合型のプラズマ処理装置は、チャンバ本体、ステージ、上部電極、第1の高周波電源、及び、第2の高周波電源を備える。

【0003】

チャンバ本体は、内部空間を提供しており、接地されている。ステージは、チャンバ本体の内部空間の中に設けられている。ステージは、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。上部電極は、ステージの上方に設けられている。第1の高周波電源は、主にプラズマの生成のための第1の高周波を発生する。第1の高周波電源は、下部電極又は上部電極に電気的に接続される。第2の高周波電源は、主に被加工物にイオンを引き込むための第2の高周波を発生する。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の高周波電源は、下部電極に電気的に接続されている。

20

【0004】

第1の高周波電源が上部電極に接続されている場合には、接地導体が上部電極を覆うように設けられる。接地導体は、筒形状を有しており、当該接地導体によって囲まれた空間を上部電極の上方に提供する。上部電極と第1の高周波電源は、給電導体を介して接続されている。給電導体は、上部電極から、接地導体によって囲まれた空間を通過して、接地導体に対して外側まで延びて、第1の高周波電源に接続されている。このようなプラズマ処理装置は特許文献1に記載されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2006-270017号公報

【発明の概要】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、上述のプラズマ処理装置の内部空間の中では、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不均一な電界強度の分布が形成される。この傾向は、第2の高周波の周波数が高い場合に顕著である。このよう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。

【0007】

50

上述の電界強度の分布の下で均一なプラズマ密度の分布を形成するためには、中心軸線の近傍では小さい水平成分を有し、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、チャンバ本体の内部空間の中に形成することが考えられる。このような磁場の分布は、電磁石を上部電極の上に配置することにより形成され得る。しかしながら、電磁石を接地導体によって囲まれた空間内に配置すると、第1の高周波が、電磁石、及び/又は、電磁石と電源とを接続する配線に流入する。その結果、チャンバ本体の内部空間の中での電界強度が局所的に変動する。したがって、接地導体に対して外側に配置された電磁石により、プラズマ密度の分布を均一化することが必要である。

【課題を解決するための手段】

【0008】

一態様においては、プラズマ処理装置が提供される。プラズマ処理装置は、チャンバ本体、ガス供給部、ステージ、上部電極、給電導体、第1の高周波電源、第2の高周波電源、電磁石、及び、接地導体を備える。ガス供給部は、チャンバ本体によって提供された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、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。上部電極は、チャンバ本体の内部空間を介してステージの上方に設けられている。給電導体は、上部電極に接続されており、上部電極から上方に延びている。第1の高周波電源は、第1の高周波を発生するように構成されている。第1の高周波電源は、給電導体を介して上部電極に電氣的に接続されている。第2の高周波電源は、第1の高周波の周波数よりも低い周波数を有する第2の高周波を発生するように構成されている。第2の高周波電源は、下部電極に電氣的に接続されている。電磁石は、上部電極の上方に配置されている。電磁石は、中心軸線上での水平成分よりも大きい水平成分を、該中心軸線から離れた位置で有する磁場の分布を形成するように構成されている。接地導体は、接地されており、チャンバ本体の上方で上部電極を覆うように延びている。接地導体は、第1の部分、第2の部分、及び、第3の部分を含む。第1の部分は、筒状をなしており、チャンバ本体から上方に延びている。第2の部分は、上部電極から上方に離間し、且つ、第1の部分から中心軸線に向けて延びている。第2の部分は、第1の部分と共に、上部電極上に第1の空間を提供する。第3の部分は、筒状をなしており、第1の部分よりも中心軸線の近くに設けられており、第2の部分から上方に延びている。第3の部分は、その中に第1の空間に連続する第2の空間を提供する。給電導体は、第1の空間及び第2の空間を通過して上方に延びている。電磁石は、外部空間の中に配置されている。外部空間は、第3の部分の外側、第2の部分上、且つ、内部空間の上方に接地導体によって提供されている。

【0009】

一態様に係るプラズマ処理装置では、第1の空間が上部電極の上に提供されているので、接地導体と上部電極との間に距離が確保され、接地導体と上部電極との間の容量的結合が抑制される。また、第1の空間を画成する接地導体の第2部分上、且つ、第3部分の外側に、接地導体によって外部空間が提供されている。即ち、外部空間は、接地導体の上端に対して上方にある空間よりも、内部空間の近くにあり、且つ、内部空間の上方にある。この外部空間は、上部電極及び給電導体に対して接地導体により遮蔽されている。この外部空間の中に電磁石が配置されているので、電磁石と内部空間との間の距離は比較的短い。また、この電磁石は、中心軸線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形成する。したがって、接地導体に対して外側に配置された電磁石によって、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の中に形成され得る。

【0010】

一実施形態において、接地導体は、第4の部分、第5の部分、及び、第6の部分を含む。第4の部分は、第2の部分の上方で、中心軸線に対して放射方向に第3の部分から延びている。第5の部分は、筒状をなしており、第3の部分よりも中心軸線から離れており、第4の部分から上方に延びている。第6の部分は、第4の部分の上方で、第5の部

10

20

30

40

50

分から中心軸線に向けて延びている。給電導体は、更に、第2の空間に連続する第3の空間を通過して、上方に延びている。第3の空間は、第4の部分、第5の部分、及び、第6の部分によって囲まれた空間である。

【0011】

一実施形態において、プラズマ処理装置は、第1の管を更に備える。第1の管は、上部電極から第1の空間及び第2の空間を通過して上方に延び、第3の空間を通過して、接地導体に対して側方且つ外側まで延びている。第1の管は、上部電極に冷媒を供給するための管である。この実施形態によれば、第3の空間内では、第1の管が、接地導体の第4の部分によって上部電極から実質的に遮蔽される。

【0012】

一実施形態において、上部電極は、ガス供給部からのガスを内部空間に吐出するシャワーヘッドを構成している。プラズマ処理装置は、第2の管を更に備える。第2の管は、上部電極から第1の空間及び第2の空間を通過して上方に延び、第3の空間を通過して、接地導体に対して側方且つ外側まで延びている。第2の管は、シャワーヘッドにガス供給部からのガスを供給するための管である。この実施形態によれば、第3の空間内では、第2の管が、接地導体の第4の部分によって上部電極から実質的に遮蔽される。

【0013】

一実施形態において、プラズマ処理装置は、直流電源及び配線を備える。直流電源は、上部電極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。配線は、直流電源と上部電極とを互いに接続する。配線は、上部電極から第1の空間及び第2の空間を通過して上方に延び、第3の空間を通過して、接地導体に対して側方且つ外側まで延びている。この実施形態によれば、第3の空間内では、配線が、接地導体の第4の部分によって上部電極から実質的に遮蔽される。

【0014】

一実施形態において、電磁石は、中心軸線の周りで巻かれたコイルを有する。一実施形態において、コイルの内径と外径との平均値は、中心軸線と被加工物のエッジとの間の距離以上である。

【0015】

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。

【発明の効果】

【0016】

以上説明したように、接地導体に対して外側に配置された電磁石により、プラズマ密度の分布を均一化することが可能なプラズマ処理装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】一実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。

【図2】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】図1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】図1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5】図1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6】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7】図6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6に示す方法の一実施形態における工程ST1の実行後の状

10

20

30

40

50

態の被加工物の一部拡大断面図であり、図9の(b)は、図6に示す方法の一実施形態における工程ST2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6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】

【0018】

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。

【0019】

図1は、一実施形態に係るプラズマ処理装置を概略的に示す図である。図1においては、一実施形態のプラズマ処理装置が、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1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12a及び底部12bを含んでいる。チャンバ本体12は、内部空間12sを提供している。図1に示す中心軸線AXは、チャンバ本体12及び内部空間12s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。

10

【0020】

側壁12aには、通路12pが形成されている。被加工物Wは、内部空間12s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12p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12pは、ゲートバルブ12gによって開閉可能となっている。ゲートバルブ12gは、側壁12aに沿って設けられている。

20

【0021】

内部空間12s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12b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。

【0022】

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AXを共有している。ステージ14は、載置領域14rを提供している。この載置領域14rの中心は、中心軸線AX上に位置する。被加工物Wは、その中心が中心軸線AX上に位置するように、載置領域14r上に載置される。

30

【0023】

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。

40

【0024】

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

【0025】

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

50

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。

【0026】

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。

【0027】

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。

【0028】

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。

【0029】

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。

【0030】

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。

【0031】

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。

【0032】

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

10

20

30

40

50

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 40 d が形成されている。支持体 40 には、ガス拡散室 40 d から下方に延びる複数の孔 40 h が形成されている。複数の孔 40 h はそれぞれ、複数のガス吐出口 38 h に連通している。

【0033】

ガス拡散室 40 d 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 12 s 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 40 d 及び複数の孔 40 h を介して、複数のガス吐出口 38 h から内部空間 12 s に吐出される。

10

【0034】

支持体 40 には、流路 40 p が形成されている。流路 40 p には、チラーユニット 42 が接続されている。流路 40 p 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 40 p 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。

【0035】

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 100 MHz とし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。

20

【0036】

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、13.56 MHz よりも高い。一実施形態では、第 2 の高周波の周波数は、40 MHz 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、60 MHz 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。

30

【0037】

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 の高周波電源 43 に接続されている。

40

【0038】

プラズマ処理装置 10 のチャンバ本体 12 の内部空間 12 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る。即ち、内部空間 12 s の中では、放射方向（即ち、径方向）における中心軸線 AX 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る。図 2 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

50

を示すグラフである。図2において、横軸は中心軸線AX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2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2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。

【0039】

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は低くなる。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10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60を更に備えている。

10

【0040】

図1に示すように、電磁石60は、上部電極36の上方に配置されている。電磁石60は、チャンバ本体12の内部空間12sの中で、中心軸線AX上での水平成分よりも大きい水平成分を中心軸線AX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60は、中心軸線AX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12s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10によれば、中心軸線AX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10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。

20

【0041】

一実施形態では、電磁石60は、ヨーク62及びコイル64を有している。ヨーク62は、磁性材料から形成されている。ヨーク62は、ベース部62a及び複数の筒状部62bを有している。ベース部62aは、略円盤形状を有しており、中心軸線AXに対して直交する方向に延在している。複数の筒状部62bの各々は、筒形状を有しており、ベース部62aから下方に延在している。複数の筒状部62bは、中心軸線AXに対して同軸状に設けられている。コイル64は、中心軸線AXの周りで巻かれている。コイル64は、径方向において隣り合う二つの筒状部62bの間に設けられている。なお、電磁石60は、一以上のコイル64を有し得る。電磁石60におけるコイル64の個数が複数個である場合には、複数のコイル64は、中心軸線AXに対して同軸状に設けられる。

30

【0042】

電磁石60のコイル64は、配線68を介して電流源66に接続されている。電流源66からの電流がコイル64に与えられると、電磁石60によって磁場が形成される。電磁石60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150mmである場合に、電磁石60は、磁場のベクトルの角度が 45° である箇所と中心軸線AXとの間の距離が、135mm以上、185mm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60の一つのコイル64の内径と外径の平均値は、中心軸線AXと被加工物Wのエッ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。

40

【0043】

50

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 12 s 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 12 s 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 12 s 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 12 s 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 12 s 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 E S を提供している。外部空間 E S は、接地導体 50 の上端よりも内部空間 12 s 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。

10

【 0 0 4 4 】

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 A X 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 1 に示す例では、第 1 の部分 51 は、チャンバ本体 12 の側壁 12 a 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 12 a の上端との間に介在している。

20

【 0 0 4 5 】

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 A X に向けて延びている。第 2 の部分 52 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 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 I S 1 を提供している。第 1 の空間 I S 1 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 I S 1 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 60 mm 以上の距離に設定される。

30

【 0 0 4 6 】

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 A X 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 I S 2 を提供している。第 2 の空間 I S 2 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 I S 2 は、第 1 の空間 I S 1 に連続している。なお、給電導体 48 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ている。

【 0 0 4 7 】

外部空間 E S は、第 3 の部分 53 の外側、第 2 の部分 52 上、且つ、内部空間 12 s の上方に接地導体 50 によって提供されている。外部空間 E S は、第 3 の部分 53 の外側、且つ、第 2 の部分 52 上で、中心軸線 A X を中心に周方向に延びている。この外部空間 E S に電磁石 60 が配置されている。なお、外部空間 E S の中に配置された電磁石 60 の下端と上部電極 36 の上面との間の鉛直方向の距離は 60 mm より大きく、電磁石 60 の下端とステージ 14 上に載置された被加工物 W との間の鉛直方向の距離は、230 mm 以下であり得る。

40

【 0 0 4 8 】

外部空間 E S の中に配置された電磁石 60 と内部空間 12 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 60 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 12 s の中に形

50

成する。したがって、接地導体 50 に対して外側に配置された電磁石 60 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 12 s の中に形成され得る。

【0049】

電磁石 60 のコイル 64 には、上述したように電流源 66 が接続されている。電磁石 60 及び電流源 66 は、接地導体 50 に対して外側に配置されている。したがって、電流源 66 への高周波の流入を防止するためのフィルタが、コイル 64 と電流源 66 との間に設けられていなくてもよい。

【0050】

一実施形態では、接地導体 50 は、第 4 の部分 54、第 5 の部分 55、及び、第 6 の部分 56 を更に有する。第 4 の部分 54 は、第 2 の部分 52 の上方で、中心軸線 AX に対して放射方向に第 3 の部分 53 から延びている。第 4 の部分 54 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 5 の部分 55 は、筒形状を有している。第 5 の部分 55 の中心軸線は、中心軸線 AX に略一致している。第 5 の部分 55 は、第 3 の部分 53 よりも中心軸線から離れており、第 4 の部分 54 から上方に延びている。第 6 の部分 56 は、第 4 の部分 54 の上方で、第 5 の部分 55 から中心軸線 AX に向けて延びている。第 6 の部分 56 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。一実施形態では、接地導体 50 は、第 6 の部分から給電導体 48 の近傍まで延びる蓋部 57 を更に有している。

【0051】

第 4 の部分 54、第 5 の部分 55、及び、第 6 の部分 56 は、第 3 の空間 IS3 を提供している。第 3 の空間 IS3 は、第 4 の部分 54、第 5 の部分 55、及び、第 6 の部分 56 によって囲まれた空間であり、接地導体 50 の内側の空間の一部である。第 3 の空間 IS3 は、第 2 の空間 IS2 に連続している。給電導体 48 は、第 3 の空間 IS3 を更に通って、上方に延びている。なお、図 1 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 50 を構成する部材の個数は、任意の個数であり得る。

【0052】

以下、図 1 と共に、図 3 を参照する。図 3 は、図 1 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 3 においては、接地導体 50 の第 5 の部分 55 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 10 は、図 1 及び図 3 に示すように、管 71 (第 1 の管) を更に備えている。管 71 は、上部電極 36 から、第 1 の空間 IS1 及び第 2 の空間 IS2 を通って上方に延び、第 3 の空間 IS3 を通って、接地導体 50 に対して側方且つ外側まで延びている。管 71 は、接地導体 50 に対して外側で、チラーユニット 42 に接続される。チラーユニット 42 からの冷媒は、管 71 を介して、流路 40 p に供給される。第 3 の空間 IS3 内では、管 71 が、接地導体 50 の第 4 の部分 54 によって上部電極 36 から実質的に遮蔽されている。

【0053】

プラズマ処理装置 10 は、管 72 を更に備えている。管 72 は、第 1 の空間 IS1 及び第 2 の空間 IS2 を通って上方に延び、第 3 の空間 IS3 を通って、接地導体 50 に対して側方且つ外側まで延びている。管 72 は、接地導体 50 に対して外側で、チラーユニット 42 に接続される。冷媒は流路 40 p から管 72 を介してチラーユニット 42 に戻される。第 3 の空間 IS3 内では、管 72 が、接地導体 50 の第 4 の部分 54 によって上部電極 36 から実質的に遮蔽されている。

【0054】

一実施形態において、プラズマ処理装置 10 は、管 73 (第 2 の管) を更に備えている。管 73 は、上部電極 36 から、第 1 の空間 IS1 及び第 2 の空間 IS2 を通って上方に延び、第 3 の空間 IS3 を通って、接地導体 50 に対して側方且つ外側まで延びている。管 73 は、接地導体 50 に対して外側で、ガス供給部 41 に接続されている。ガス供給部 41 から出力されるガスは、管 73 を介して、上部電極 36、即ちシャワーヘッドに供給される。第 3 の空間 IS3 内では、管 73 が、接地導体 50 の第 4 の部分 54 によって上

10

20

30

40

50

部電極 36 から実質的に遮蔽されている。なお、ガス供給部 41 と上部電極 36 (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。

【0055】

一実施形態において、プラズマ処理装置 10 は直流電源 74 及び配線 75 を更に備えている。直流電源 74 は、上部電極 36 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 75 は、直流電源 74 と上部電極 36 とを互いに接続している。配線 75 は、コイル 75c を含み得る。コイル 75c は、第 3 の空間 IS3 の中に設けられている。配線 75 は、上部電極 36 から第 1 の空間 IS1 及び第 2 の空間 IS2 を通って上方に伸び、第 3 の空間 IS3 を通って、接地導体 50 に対して側方且つ外側まで伸びている。配線 75 は、第 5 の部分 55 及び接地導体 50 から電気的に絶縁されている。配線 75 は、接地導体 50 に対して外側で、直流電源 74 に接続されている。第 3 の空間 IS3 内では、配線 75 が、接地導体 50 の第 4 の部分 54 によって上部電極 36 から実質的に遮蔽される。

10

【0056】

一実施形態において、プラズマ処理装置 10 は、制御部 80 を更に備えている。制御部 80 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 80 は、コンピュータ装置であり得る。制御部 80 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 80 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。一実施形態において、制御部 80 は、後述するプラズマ処理方法(方法 MT)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。

20

【0057】

以下、図 4 を参照する。図 4 は、図 1 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 4 において、横軸は、中心軸線 AX 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 4 においては、磁場 BA の分布を表す磁束密度の分布、磁場 BA の水平成分 BH の分布を表す磁束密度の分布、磁場 BA の垂直成分 BV の分布を表す磁束密度の分布が示されている。図 4 に示す磁場及びその二つの成分の分布は、電磁石 60 の下端から下方に 174 mm 離れた面内における分布、即ちステージ 14 の上面内における分布である。図 4 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。

30

< 計算の条件 >

コイル 64 の内径(半径) : 132 mm

コイル 64 の外径(半径) : 173 mm

コイル 64 の巻数 : 215 ターン

コイル 64 に供給した電流 : 4 [A]

電磁石 60 の下端とステージ 14 上に載置された被加工物 W との間の距離 : 174 mm

【0058】

図 4 に示す磁場の分布の計算結果から分かるように、電磁石 60 によれば、中心軸線 AX 上での水平成分よりも大きい水平成分を中心軸線 AX 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。

40

【0059】

以下、図 5 を参照する。図 5 は、図 1 に示すプラズマ処理装置の内部空間の中でのイオンフラックスの分布の測定結果を示すグラフである。図 5 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]、

50

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 1 2 s の圧力：2 0 m T o r r (2 . 6 7 P a)

内部空間 1 2 s に供給したガス：1 0 0 0 s c c m の A r ガス

第 1 の高周波：6 0 M H z、1 0 0 W

第 2 の高周波：4 0 M H z、1 0 0 W

【 0 0 6 0 】

図 5 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 A X 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 A X 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 A X に対して他方側にある。図 5 において、縦軸は、増加率 (d T / d t) を示している。図 5 に示すように、電磁石 6 0 のコイル 6 4 に供給する電流が 0 [A] である場合には、増加率 (d T / d t)、即ち、イオンフラックスは、中心軸線 A X からの距離の増加に応じて減少していた。即ち、コイル 6 4 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 6 4 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 6 0 によって内部空間 1 2 s 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。

【 0 0 6 1 】

以下、図 6 を参照して、プラズマ処理装置 1 0 を用いて実行可能な一実施形態のプラズマ処理方法について説明する。図 6 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 6 に示すプラズマ処理方法 (以下、「方法 M T」という) は、チャンバ本体 1 2 の内部空間 1 2 s の中に被加工物 W が収容された状態で実行される。方法 M T は、工程 S T 1 及び工程 S T 2 を含んでいる。

【 0 0 6 2 】

工程 S T 1 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 S T 1 では、内部空間 1 2 s 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 S T 1 では、第 2 の高周波は下部電極 1 8 に供給されても、供給されなくてもよい。工程 S T 1 において第 2 の高周波が下部電極 1 8 に供給される場合には、工程 S T 1 において設定される第 2 の高周波の電力は、工程 S T 2 において下部電極 1 8 に供給される第 2 の高周波の電力よりも小さい。

【 0 0 6 3 】

工程 S T 2 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 S T 2 では、内部空間 1 2 s 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 S T 2 では、第 2 の高周波は下部電極 1 8 に供給される。工程 S T 2 では、第 2 の高周波の電力が、工程 S T 1 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、1 3 . 5 6 M H z よりも大きい。第 2 の高周波の周波数は 4 0 M H z 以上であってもよく、6 0 M H z 以上であってもよい。

【 0 0 6 4 】

工程 S T 2 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 6 0 によって内部空間 1 2 s の中に形成される。

【 0 0 6 5 】

工程 S T 1 及び工程 S T 2 は、交互に繰り返されてもよい。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、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、

10

20

30

40

50

方法MTの実行が終了する。

【0066】

方法MTの工程ST2では、第2の高周波のパワーが、工程ST1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ST2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AX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12s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、電子の速度が低下し、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60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ST1及び工程ST2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60の利用は特に有利である。

10

【0067】

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C₄F₈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MT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。

20

【0068】

図7は、図6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UR、複数の隆起領域PR、第1の領域R1、第2の領域R2、及び、マスクMK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。

【0069】

下地領域URは、例えば、多結晶シリコンから構成され得る。下地領域UR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PRは、下地領域UR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PRは、例えば、ゲート領域であり得る。第2の領域R2は、窒化シリコンから形成されている。第2の領域R2は、隆起領域PR及び下地領域URを覆うように設けられている。第2の領域R2は、二つの隣り合う隆起領域PRの間に、凹部を提供している。第1の領域R1は、酸化シリコンから形成されている。第1の領域R1は、第2の領域R2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R1は、第2の領域R2を覆うように設けられている。第1の領域R1上には、マスクMKが設けられている。マスクMKは、第2の領域R2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MKの開口の幅は、第2の領域R2によって提供された凹部の幅よりも大きい。マスクMKは、有機膜から形成されたマスクである。マスクMK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。

30

40

【0070】

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MTについて説明する。しかしながら、一実施形態の方法MT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6及び図7に加えて、図8、図9の(a)、図9の(b)、及び、図10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6に示す方法の一実施形態における工程ST1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6に示す方法の一実施形態における工程ST2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は、図6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。

50

【 0 0 7 1 】

－実施形態の方法MTでは、工程ST1及び工程ST2のみによって、第1の領域R1をエッチングしてもよい。或いは、最初に工程ST1を実行する前に、第2の領域R2が露出するまで（図8参照）、又は、第2の領域R2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R1がエッチングされてもよい。例えば、第2の領域R2が露出するまで（図8参照）、又は、第2の領域R2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R1がエッチングされてもよい。

【 0 0 7 2 】

－実施形態の方法MTの工程ST1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、Arガスといった希ガスを含んでいてもよい。この工程ST1では、フルオロカーボンを含む堆積物の膜DPが被加工物W上に形成される。工程ST1では、第1の領域R1上の膜DPの膜厚よりも、第2の領域R2上の膜DPの膜厚が大きくなるように、膜DPが形成される。

【 0 0 7 3 】

具体的に、工程ST1では、内部空間12sに第1のガスが供給され、排気装置34によって内部空間12s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12sの中で励起される。その結果、内部空間12sの中で第1のガスのプラズマが生成される。工程ST1では、第2の高周波の電力は、工程ST2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ST1では、第2の高周波は下部電極18に供給されなくてもよい。

【 0 0 7 4 】

工程ST1では、被加工物Wの温度が20 以上、250 以下の温度に設定される。被加工物Wの温度は、流路18pに供給される熱交換媒体及び静電チャック20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DPが、被加工物W上に形成される。図9の(a)に示すように、膜DPの膜厚は、第2の領域R2上では大きく、第1の領域R1上では小さい。なお、250 を超える温度は、マスクMKのガラス転移温度であり、当該温度では、第1の領域R1上に形成される膜DPの膜厚と第2の領域R2上に形成される膜DPの膜厚の差が少なくなる。また、20 より低い温度でも、第1の領域R1上に形成される膜DPの膜厚と第2の領域R2上に形成される膜DPの膜厚の差が少なくなる。

【 0 0 7 5 】

工程ST2では、工程ST1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ST2では、内部空間12sに第2のガスが供給され、排気装置34によって内部空間12s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12sの中で励起される。その結果、内部空間12sの中で第2のガスのプラズマが生成される。工程ST2では、第2の高周波が下部電極18に供給される。工程ST2では、第2の高周波の電力は、工程ST1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。

【 0 0 7 6 】

工程ST2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DPに照射されると、膜DP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R1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

10

20

30

40

50

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。

【0077】

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。

10

【0078】

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ることなく種々の変形態様を構成可能である。図1では、プラズマ処理装置は、電磁石が一つのコイルを有するように描かれているが、電磁石は、一つ以上のコイルを有していてもよい。

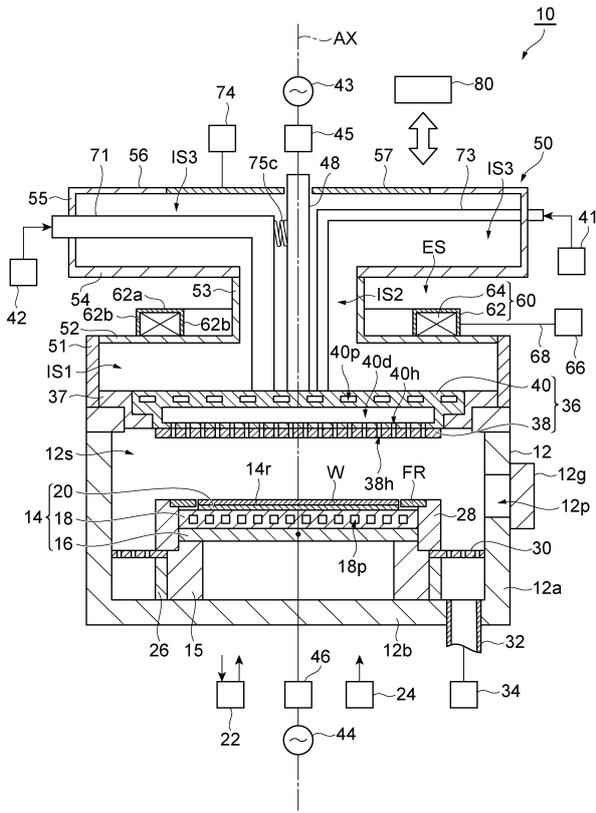
20

【符号の説明】

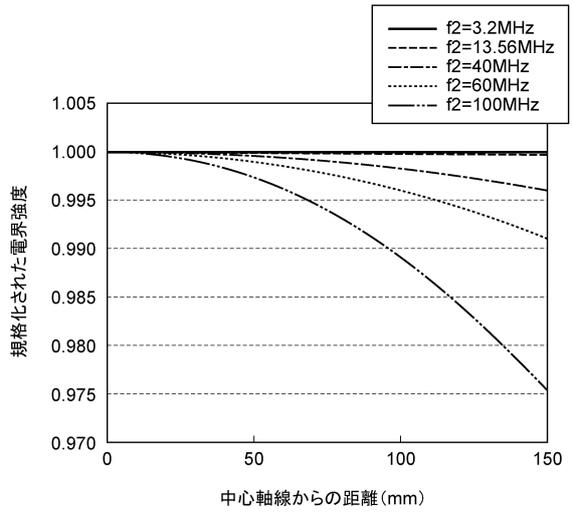
【0079】

10...プラズマ処理装置、12...チャンバ本体、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。

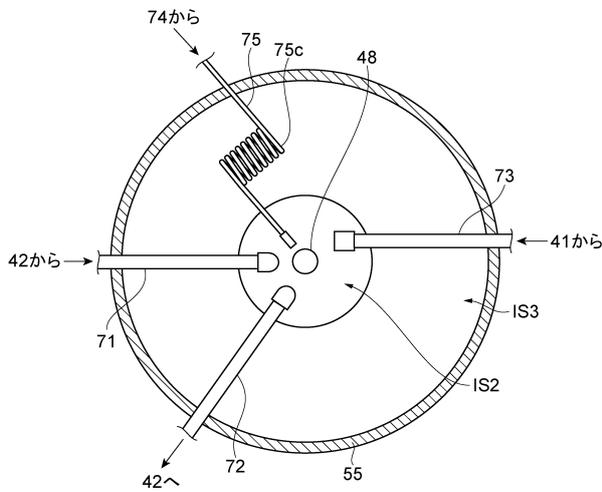
【図1】



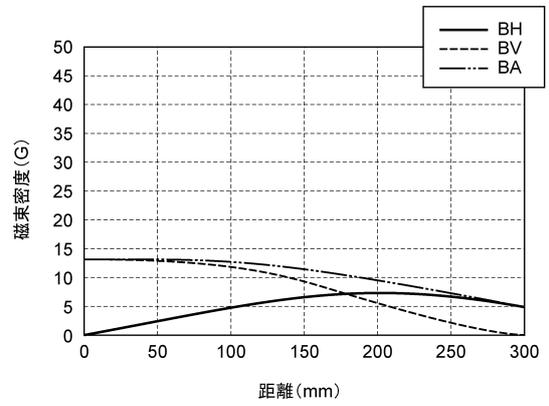
【図2】



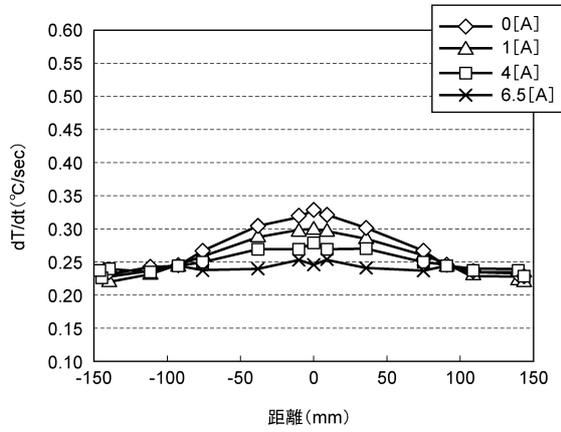
【図3】



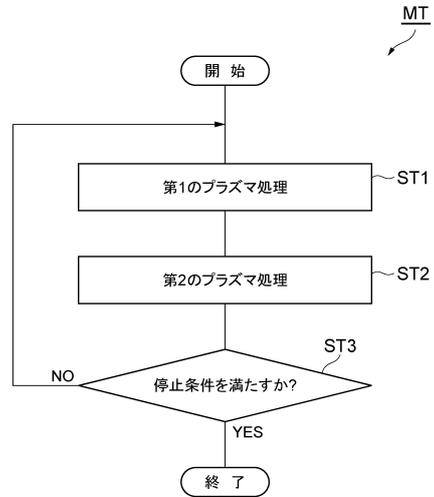
【図4】



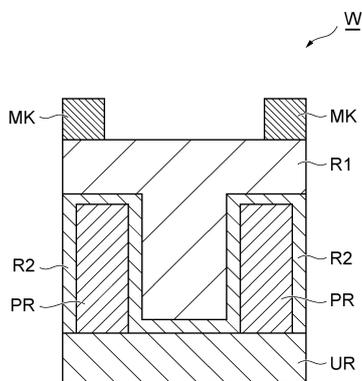
【図5】



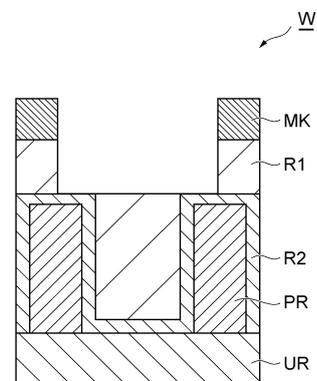
【図6】



【図7】

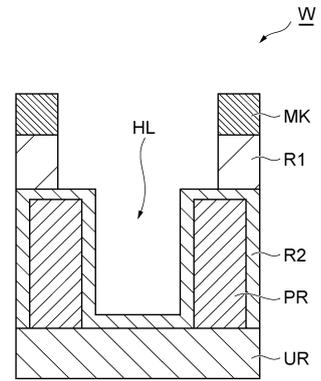
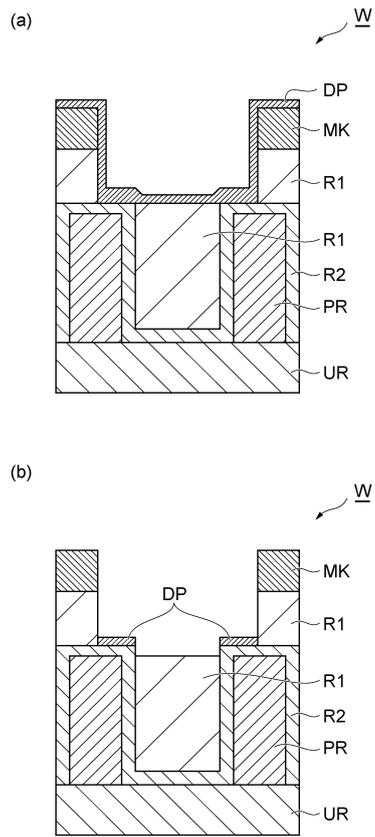


【図8】



【 9 】

【 1 0 】



フロントページの続き

- (72)発明者 高栖 紀尚
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 伊藤 悦治
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 横田 聡裕
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 大門 清

- (56)参考文献 特開2002-093784(JP,A)
特開2001-244248(JP,A)
特開2003-068716(JP,A)
特開2013-182996(JP,A)
特開2010-287639(JP,A)
特表2006-506521(JP,A)
特開平10-125665(JP,A)
特開2005-079416(JP,A)
特開2006-270017(JP,A)
米国特許出願公開第2013/0292057(US,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H05H 1/46
H01L 21/302
C23C 16/505