

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3709552号
(P3709552)

(45) 発行日 平成17年10月26日(2005.10.26)

(24) 登録日 平成17年8月19日(2005.8.19)

(51) Int.Cl.⁷

F I

H 0 1 L 21/3065

H 0 1 L 21/302

E

C 2 3 F 4/00

C 2 3 F 4/00

F

H 0 5 H 1/00

H 0 5 H 1/00

A

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

M

請求項の数 4 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平11-250156	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成11年9月3日(1999.9.3)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2001-77092(P2001-77092A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成13年3月23日(2001.3.23)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成13年3月7日(2001.3.7)		特許業務法人 日東国際特許事務所
審査番号	不服2003-6156(P2003-6156/J1)	(74) 代理人	100068504
審査請求日	平成15年4月10日(2003.4.10)		弁理士 小川 勝男
		(72) 発明者	増田 俊夫
			茨城県土浦市神立町502番地
			株式会社 日立製作所 機械
			研究所内
		(72) 発明者	臼井 建人
			茨城県土浦市神立町502番地
			株式会社 日立製作所 機械
			研究所内
			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】

真空処理室内に処理ガスを供給して、プラズマ発生装置によりプラズマを発生させ、当該プラズマにより試料をプラズマ処理するとともに、当該プラズマからの発光を計測窓を通して計測するように構成された有磁場UHF帯電磁波放射放電方式のプラズマ処理装置において、

前記真空処理室の側壁に設けられた開口部に中空管を外側にむかって設置して当該中空管の先端部に前記の計測窓を設け、

前記中空管の内径、長さと同記処理ガスの分子の平均自由行程との関係を、

動作圧力 0.5～4Paに対して、

(内径)/(分子の平均自由行程)が0.1以上2以下、

(長さ)/(分子の平均自由行程)が2以上50以下、

(長さ)/(内径)が25ないし50として

前記磁場が、前記真空処理室に対して略垂直方向でかつ、前記開口部および前記中空管の入り口近傍に前記中空管の軸に対して磁力線が角度をもつように形成され、該磁場により前記プラズマが前記開口部の入り口付近に束縛されるように構成したことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】

請求項1に記載のプラズマ処理装置において、前記中空管の内径が2 mm以上10 mm以下、長さが50 mm以上250 mm以下であることを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 3】

真空処理室内に処理ガスを供給して、プラズマ発生装置によりプラズマを発生させ、当該プラズマにより試料をプラズマ処理するとともに、当該プラズマからの発光を計測窓を通して計測するように構成された有磁場UHF帯電磁波放射放電方式のプラズマ処理装置により試料を処理するプラズマ処理方法であって、

前記プラズマ処理装置は、前記真空処理室の側壁に設けられた開口部に外側にむかって設置された中空管と当該中空管の先端部に設けられた計測窓を有し、

前記中空管の内径、長さとは前記処理ガスの分子の平均自由行程との関係は、

動作圧力 0.5～4Paに対して、

(内径)/(分子の平均自由行程)が0.1以上2以下、

(長さ)/(分子の平均自由行程)が2以上50以下、

(長さ)/(内径)が25ないし50であり、

前記真空処理室に対して略垂直方向に、前記開口部および前記中空管の入り口近傍に前記中空管の軸に対して磁力線が角度をもつように前記磁場を形成し、該磁場により前記プラズマが前記開口部の入り口付近に束縛されるようにし、

前記処理室の開口部および前記中空管の入り口近傍に形成される前記磁場を磁束密度60ガウス以上とし、

前記プラズマにより試料をプラズマ処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 4】

真空処理室内に処理ガスを供給して、プラズマ発生装置によりプラズマを発生させ、当該プラズマにより試料をプラズマ処理するとともに、当該プラズマからの発光を計測窓を通して計測するように構成された有磁場UHF帯電磁波放射放電方式のプラズマ処理装置により試料を処理するプラズマ処理方法であって、

前記プラズマ処理装置は、前記真空処理室の側壁に設けられた開口部に外側にむかって設置された中空管と当該中空管の先端部に設けられた計測窓を有し、

前記中空管の内径、長さとは前記処理ガスの分子の平均自由行程との関係は、

動作圧力 0.5～4Paに対して、

(内径)/(分子の平均自由行程)が0.1以上2以下、

(長さ)/(分子の平均自由行程)が2以上50以下、

(長さ)/(内径)が25ないし50であり、

前記真空処理室に対して略垂直方向に、前記開口部および前記中空管の入り口近傍に前記中空管の軸に対して磁力線が角度をもつように前記磁場を形成し、該磁場により前記プラズマが前記開口部の入り口付近に束縛されるようにし、

前記処理室の開口部および前記中空管の入り口近傍に形成される磁力線が中空管の軸に対してなす角度を30度以上とし、

前記プラズマにより試料をプラズマ処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、プラズマ処理装置、特に半導体製造工程における微細なパターンを形成するのに好適なプラズマ処理装置に係り、特に処理室内のプラズマの発光を計測する窓に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体製造工程では、エッチング、成膜、アッシングなどの微細加工プロセスで、プラズマ処理装置が広く用いられている。このうち、エッチング装置は、真空チャンバー（リアクタ）内部に導入されたプロセスガスをプラズマ発生手段によりプラズマ化し、半導体ウェハ表面で反応させて微細加工を行うとともに、揮発性の反応生成物を排気することにより所定のエッチング処理を行うものである。

【0003】

10

20

30

40

50

このプラズマエッチング装置においては、配線層や絶縁膜のエッチングにより生じるプラズマ発光について特定のラジカルやイオンの発光強度を計測して、たとえばエッチング処理中の発光強度の時間変化からエッチング処理の終点を検出したり、ラジカル種の発光強度のプロセスパラメータに対する依存性からラジカル組成を定量化してプロセス構築を行ったり、プラズマケミストリーの変化をモニタするといったことが行われている。

【0004】

ところが、実際に数時間から数10時間以上にわたってウェハのエッチング処理を繰り返していくと、プラズマ発光計測用の窓の内面に反応生成物やプロセスガスの一部がしだいに付着していき、計測窓の透過率が低下していく。このため、終点検出の精度が低下したり、ラジカル組成が正確にモニタできないといった問題が生じる。

10

【0005】

その対策として、特開平8-111403公報には、筒状の中空支持部の先端にプラズマ発光の検出窓を設置することで、検出窓内面への反応生成物の付着などを抑制して、長期間にわたってエッチングの終点を安定に判定するエッチング装置が記載されている。また特開平9-199476公報には、前記の公報と同様に円筒状の導光管を用いてその端部にプラズマ発光の検出窓を設置し、特に導光管の長さを内径の10倍以上として、さらに導光管に不活性ガスを導入して導光管内部を陽圧にすることで反応生成物の付着を抑制するエッチング装置が記されている。

【0006】

また、特開平9-330917公報には、ブロック型の形状の検出窓にいくつかの非貫通孔を設けて、その底部に対向する位置に終点検出器をもうける方法が提案されている。さらに特開平1-232725公報に記載されているように、検出窓に加熱用ヒータを設けて窓部を加熱することで反応生成物の付着を抑制する方法、あるいは、特開昭63-128632公報に記載されているように、測光用窓が取り付けられた中間円筒の周囲に設置したコイルにより磁場をかけることで反応生成物やイオンを偏向させて測光用窓への付着を防止する方法なども考案されている。

20

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら上記の方法では、発光計測窓の透過率の低下を完全に抑制することはできず、発光の検出強度がしだいに低下していくという課題があった。たとえば、前記の特開平9-330917公報の非貫通孔を用いた方法では、透過率の低下は従来技術よりも抑制されているものの、検出強度が放電10時間程度でおよそ50%以下に低下しているデータが示されている。

30

【0008】

前記の特開平9-199476公報においても、導光管の長さを内径の10倍以上とすることで、長さが内径の5倍以下の場合に比べて発光計測窓への反応生成物の堆積量が10分の1以下に低下することが示されているが、この場合にも堆積量がゼロになるわけではなく、時間とともに検出強度は低下する。また、この公報においては、導光管の内部に陽圧（たとえば処理圧力100 mTorrに対して101 mTorr）の不活性ガスを導入することで反応生成物が導光管内部に侵入しにくくなることが記されている。処理圧力が100 mTorr以上の場合にはガス流れは粘性流領域であり、さらに分子の平均自由行程が1 mm以下であるので、分子は管内壁に付着する前に排出されて導光管内部に侵入しにくくなる効果はある程度期待される。しかしながら、プロセスの微細化にともなって処理圧力は数Pa以下（数10 mTorr以下）の低圧力となっており、この圧力領域では流れは分子流となるのでガス流れによる排出の効果は期待できない。また分子の平均自由行程が数mm～数10 mm程度と長くなるので、反応生成物が検出窓に到達する確率が大きくなって、計測窓への堆積量が増加すると考えられる。

40

【0009】

さらに、終点検出用の窓に加熱ヒータを設けて窓部を加熱する方法では、エッチング装置に別途加熱装置や安全機構などを付加する必要性が生じ、また磁場により反応生成物やイオ

50

ンを偏向させる方法では、磁場を発生させつコイルなどが別途必要であり、いずれも装置の複雑化やコストアップを招く結果となり、実用的ではない。磁場を用いた方法では磁場がプラズマに対する外乱要因となりうる。さらに、これらの方法では、加熱や磁場による効果が定量的に示されておらず、効果が明確ではない。

【0010】

また、上記はいずれも終点検出に関するものであり、処理中のダイナミックな強度変化が検出できればよいので、長時間にわたる透過率の漸減は信号検出の妨げにはさほどならない。しかしながら、たとえば連続放電試験中のラジカル組成の変化をモニタリングするといった場合には、計測窓の透過率が低下するとみかけの検出強度が低下してしまい、正確なモニタリングができないので、こうした外乱要因の影響を受けずにラジカルの発光強度を測定できる必要がある。

10

【0011】

特に、 C_4F_8 などのCF系のエッチングガスを用いてシリコン酸化膜をエッチングする場合には、エッチャントであるCFや CF_2 のラジカルの発光がプロセス特性にとって重要である。しかし、これらの発光はピーク波長が200 nm～300 nmの領域にあり、この領域ではCF系の堆積膜により計測窓の透過率が大きく低下するので、発光の検出強度の低下がより顕著に現れてしまう。このため、計測窓への堆積膜の付着による透過率の低下の影響を受けずに、長期間にわたって安定してプラズマ発光を計測できる必要がある。

【0012】

本発明は、上記の課題を解決するためになされたものであり、プラズマ発光計測窓の内面への反応生成物やエッチングガスの付着・堆積を抑制し、長時間にわたって安定してプラズマ発光を計測することができるプラズマ処理装置を提供することを目的とする。

20

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、前記の課題について検討を重ねた結果、処理室の側壁開口部に設けた内径4 mm、長さ200 mm程度の中空管の先端にプラズマ発光の計測窓を取り付けて、中空管の入り口付近に中空管に対して磁力線が角度をなすように磁場を形成することで、例えば30度から45度程度形成することで、中空管内部へのプラズマの侵入を防止して計測窓への堆積物の付着をほぼ完全に抑止できることを知見し、この方法により、計測窓の透過率が時間とともに低下することなく、プラズマ発光を放電100時間以上の長時間にわたって安定して精度よく計測できることを実験的に確認するに至った。

30

【0014】

本発明は、上記の知見に基づいてなされたものであり、真空処理室内に処理ガスを供給して、有磁場方式のプラズマ発生装置によりプラズマを発生させ、当該プラズマにより試料をプラズマ処理するとともに、当該プラズマからの発光を透明材料からなる計測窓を通して計測するように構成されたプラズマ処理装置において、処理室の側壁の開口部に外側にむかって設置された中空管の先端部にプラズマ発光の計測窓を設け、プラズマ発生装置の磁場形成手段により形成される磁場が、開口部および前記中空管の入り口近傍において、中空管の軸に対して磁力線が角度をもつように形成されたことを特徴としている。後に述べるように、堆積膜の付着はプラズマによりアシストされて促進されるので、このような構成により中空管内部へのプラズマの侵入を防止して、計測窓への堆積物の付着をほぼ完全に抑止できる。また、磁場はプラズマ発生装置の磁場形成手段により形成される磁場をそのまま用いるので、中空管近傍に局所磁場を発生させる機構をもうける必要がなく、装置構成が簡略化できるとともに局所磁場発生器による磁場がプラズマに外乱を与えることがない。

40

【0015】

本発明の他の特徴は、前記のプラズマ発生装置において、前記の中空管の内径Dを2 mm以上10 mm以下、長さLを50 mm以上250 mm以下とすることにある。この場合、動作圧力がたとえば0.5 Paから4 Pa程度の範囲で、中空管の内径Dは分子の平均自由行程 よりも小さいかほぼ等しいオーダーであるのに対して、中空管の長さLは分子の平均自由行程 より

50

も十分に大きいので、分子は中空管の入り口近傍で内壁と相互作用して付着して、発光計測窓への到達確率が小さくなる。さらに磁場による中空管へのプラズマ侵入防止との相乗効果により、発光計測窓への堆積膜の付着をほぼ完全に抑止できる。

【0016】

本発明のさらに他の特徴は、前記のプラズマ発生装置において、処理室開口部あるいは中空管の入り口近傍に形成される磁場が磁束密度60 Gauss以上であることにある。磁場強度がこの値以上であることで、磁場による中空管へのプラズマ侵入防止の効果が顕著にあらわれて、発光計測窓への堆積膜の付着をほぼ完全に抑止できる。

【0017】

本発明のさらに他の特徴は、前記のプラズマ発生装置において、プラズマ発生装置を有磁場UHF帯電磁波放射放電方式としたことにある。この場合、プラズマ発生装置の磁場形成手段により形成される磁場がおよそ160 Gauss程度の磁束密度であり、磁力線と中空管が30度から45度の角度をもっているので、中空管へのプラズマの侵入を効率的に抑止できる。

【0018】

本発明によれば、処理室の側壁開口部にもうけた中空管の先端にプラズマ発光の計測窓を取り付けて、中空管の入り口付近に磁力線が中空管に対して角度をなすように磁場を形成することで、中空管内部へのプラズマの侵入を防止できる。堆積物の付着はプラズマにより促進されるので、計測窓付近にプラズマを拡散させないことで、計測窓への堆積物の付着をほぼ完全に抑止できる。また、中空管の内径Dを分子の平均自由行程よりも小さいかほぼ等しいオーダーに対して、中空管の長さLは分子の平均自由行程よりも十分に大きくすることで、分子の計測窓への到達確率が小さくなるので、磁場との相乗効果により、計測窓の透過率が時間とともに低下することなく、プラズマ発光を長時間にわたって安定して精度よく計測できる。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施例について、図面に基づいて説明する。

【0020】

図1は、本発明を、有磁場UHF帯電磁波放射放電方式のプラズマエッチング装置へ適用した実施例を示すもので、当該プラズマエッチング装置の断面模式図である。

【0021】

図1において、処理室100は、 10^{-6} Torr程度の真空度を達成可能な真空容器であり、その上部にプラズマ発生手段としての電磁波を放射するアンテナ110を、下部にはウェハなどの試料Wを載置する下部電極130を、それぞれ備えている。アンテナ110と下部電極130は、平行して対向する形で設置される。処理室100の周囲には、たとえば電磁コイルとヨークからなる磁場形成手段101が設置されており、所定の分布と強度をもつ磁場が形成される。そして、アンテナ110から放射される電磁波と磁場形成手段101で形成される磁場との相互作用により、処理室内部に導入された処理ガスをプラズマ化して、プラズマPを発生させ、試料Wを処理する。処理室100は、真空室103に接続された真空排気系104と圧力制御手段105により真空排気と圧力調整がなされて、内部の圧力が望ましくは0.5 Pa以上4 Pa以下の所定の値に制御できる。処理室100および真空室103はアース電位となっている。処理室100の側壁102は、図示しない温度制御手段により、たとえば50℃程度に温調されている。

【0022】

電磁波を放射するアンテナ110は、円板状導電体111、誘電体112、誘電体リング113からなり、真空容器の一部としてのハウジング114に保持される。また、円板状導電体111のプラズマに接する側の面にはプレート115が設置される。試料のエッチング、成膜等の処理を行う処理ガスは、ガス供給手段116から所定の流量と混合比をもって供給され、円板状導電体111とプレート115に設けられた多数の孔を通して処理室100に供給される。アンテナ110には、アンテナ電源121、アンテナバイアス電

10

20

30

40

50

源 1 2 3 およびマッチング回路・フィルタ系 1 2 2 , 1 2 4 , 1 2 5 からなるアンテナ電源系 1 2 0 が導入端子 1 2 6 を介して接続される。アンテナ電源 1 2 1 は、望ましくは 300 MHz から 900 MHz の UHF 帯周波数の電力を供給して、アンテナ 1 1 0 から UHF 帯の電磁波を放射する。アンテナバイアス電源 1 2 3 は、円板状導電体 1 1 1 を介してプレート 1 1 5 に、たとえば 100 kHz 程度あるいは数 MHz から 10 MHz 程度の周波数のバイアスを印加して、プレート 1 1 5 の表面での反応を制御する。特に CF 系のガスを用いた酸化膜エッチングにおいては、プレート 1 1 5 の材質を高純度のシリコンやカーボンなどとするこ

10

とすることで、プレート 1 1 5 の表面での F ラジカルや CF_x ラジカルの反応を制御して、ラジカルの組成比を調整する。プレート 1 1 5 の下面とウェハ W の距離（以下、ギャップと呼ぶ）は、30 mm 以上 150 mm 以下、望ましくは 50 mm 以上 120 mm 以下とする。本実施例では、アンテナ電源 1 2 1 は、450

MHz、アンテナバイアス電源 1 2 2 は 13.56 MHz の周波数としている。

【 0 0 2 3 】
処理室 1 0 0 の下部には、アンテナ 1 1 0 に対向して下部電極 1 3 0 が設けられている。下部電極 1 3 0 は、静電吸着装置 1 3 1 により、その上面すなわち試料載置面にウェハなどの試料 W を載置保持する。試料 W の外周部には、試料台リング 1 3 2 が絶縁体 1 3 3 の上に設置されている。下部電極 1 3 0 には、400 kHz から 13.56 MHz の範囲のバイアス電力を供給するバイアス電源 1 3 4 がマッチング回路・フィルタ系 1 3 5 を介して接続されて、試料 W に印加するバイアスを制御する。本実施例では、バイアス電源 1 3 4 は周波数を 800 kHz としている

20

次に、本実施例の要部であるプラズマ発光計測部 1 4 0 について説明する。プラズマ発光の計測は、処理室 1 0 0 の側壁 1 0 2 に設けられた開口部 1 4 1 を通して行う。開口部 1 4 1 には中空管 1 4 2 が外側にむかって取り付けられ、その先端に石英などの透明材料からなるプラズマ発光の計測窓 1 4 3 が取り付けられている。そして、プラズマからの発光は、ファイバホルダ 1 4 4 に取り付けられた光ファイバ受光部 1 4 5 を介して、光ファイバ 1 4 6 により発光計測器 1 4 7 に導かれる。発光計測器 1 4 7 は、発光計測器制御・演算手段 1 4 8 により制御され、さらに上位のシステム制御手段 1 4 9 と接続される。システム制御手段 1 4 9 は、制御インタフェース 1 5 0 を介して、装置システム全体の状態をモニタしながら、システム全体を制御する。

【 0 0 2 4 】

30

光ファイバ受光部 1 4 5 は、中空管 1 4 2 、開口部 1 4 1 に対してほぼ同軸になるように取り付けられている。ファイバホルダ 1 4 4 には軸調整用の簡単なアライメント機構を取り付けてもよい。開口部 1 4 1 の位置は、試料 W の表面近傍でのラジカル組成などのケミストリの変化を検出できるように、試料 W の上方のたとえば 5 mm から 30 mm 程度の位置になるように設定するのが望ましい。また、中空管 1 4 2 の材質は、たとえばアルマイト処理を施したアルミやステンレスなどの金属が望ましい。中空管 1 4 2 の内径 D は 2 mm 以上 10 mm 以下、長さ L は 50 mm 以上 250 mm 以下とする。この内径および長さの値は分子の平均自由行程との関係から設定される。本実施例では処理室内の動作圧力は 0.5 Pa ~ 4 Pa 程度であり、分子の平均自由行程 はおよそ 5 mm ないし 30 mm 程度である（Ar 分子、25 の場合）ので、 D / λ , L / λ の値は、およそ $D / \lambda = 0.1 \sim 2$, $L / \lambda = 2 \sim 50$ 程度となる。すなわち中空管 1 4 2 の内径 D は分子の平均自由行程 よりも小さいかほぼ等しいオーダーであるのに対して、中空管 1 4 2 の長さ L は分子の平均自由行程 よりも十分に大きく設定されている。このように設定することで、分子は計測窓 1 4 3 の到達するよりもはるかに高い確率で中空管 1 4 2 の入り口近傍で内壁と相互作用して付着するので、計測窓 1 4 3 への到達確率は小さくなる。このようなメカニズムを効果的に発現させるには、 L / D の値はある程度の大きさを持つことが望ましく、 $L / D = 10$ 程度では不十分であり、 $L / D = 25 \sim 50$ 程度に設定するのが好適である。さらに、本実施例においては、磁場によるプラズマ侵入防止との相乗効果により、計測窓 1 4 3 への堆積膜の付着をほぼ完全に抑止できるわけである。なお、中空管を長くしすぎると、発光計測器 1 4 7 で受光するプラズマ発光の検出強度が小さくなって信号の S / N 比が低下することが考えられるが、長さ L が 50 mm から 250

40

50

mm程度であれば、十分なS/N比をもって計測が可能である。また、本実施例では中空管が1本だけの場合を示しているが、たとえば中空管を複数本束ねたり管の内部に中空部を複数本内包するようにして、検出のS/N比を高めた構成も含まれることはいうまでもない。

【0025】

本実施例によるプラズマエッチング装置は以上のように構成されており、このプラズマエッチング装置を用いて、たとえばシリコン酸化膜のエッチングを行う場合の具体的なプロセスは次のようである。

【0026】

まず、処理の対象物であるウェハWは、図示していない試料搬入機構から処理室100に搬入された後、下部電極130の上に載置・吸着され、必要に応じて下部電極の高さが調整されて所定のギャップに設定される。ついで、処理室100内は真空排気系106により真空排気され、一方、試料Wのエッチング処理に必要なガス、たとえば C_4F_8 とArと O_2 が、ガス供給手段117から、所定の流量と混合比、たとえばAr 400 sccm、 C_4F_8 15 sccm、 O_2 5 sccmをもって、アンテナ110のプレート115から処理室100に供給される。同時に処理室100の内部が所定の処理圧力、例えば2 Paになるように調整される。他方、磁場形成手段101により、アンテナ電源121の周波数の450 MHzに対する電子サイクロトロン共鳴磁場強度に相当する概略160ガウスのほぼ水平な磁場がアンテナ111の下方付近に形成される。そして、アンテナ電源121によりアンテナ110からUHF帯の電磁波が放射され、磁場との相互作用により処理室100内にプラズマPが生成される。このプラズマPにより、処理ガスを解離させてイオン・ラジカルを発生させ、さらにアンテナ高周波電源122、バイアス電源141を制御して、ウェハWにエッチング等の処理を行う。そして、エッチング処理の終了にともない、電力および処理ガスの供給を停止してエッチングを終了する。この処理中のプラズマ発光を発光計測部147で計測され、発光器制御・演算手段148で発光計測結果に基づいて、たとえば終点検出などの演算処理がなされ、上位のシステム制御手段149に伝達されて装置システム全体が制御される。

【0027】

次に、本実施例におけるプラズマ処理装置において発光計測窓143への堆積物の付着を抑制する機構を、図2を用いて説明する。図2は、発光計測部140付近について拡大した図であり、この付近での磁力線の様子や堆積物の付着状況を同時に示している。図1で説明したように、処理室100の周囲には、電磁コイル101A、101A'とヨーク101Bからなる磁場形成手段101が設置されており、およそ160ガウス(アンテナ電源の周波数450 MHzに対する電子サイクロトロン共鳴磁場強度)の略水平磁場が、アンテナ111の下方付近に形成される。この場合、磁力線は図中に破線Bで示したように電磁コイル101Aからヨーク101Bの下方付近に向かうように分布しており、開口部141付近では側壁内面に対して、およそ30度から45度の角度をなしている。

【0028】

ここで、プラズマ中の電子は、図中に e^- で示すように、磁力線に沿ってまきつくようにならせん状のサイクロトロン運動をしながら移動する。そして、開口部141付近に移動してきた電子は開口部141あるいは中空管142の下面で壁面に到達してプラズマ中から消失する。このため、プラズマは、開口部141付近あるいは中空管142の入り口近傍で急激に密度が低下し、中空管142の内部には侵入していかない。このように、開口部141と磁力線が角度をなしているため、磁場によりプラズマが開口部の入り口付近に束縛されて中空管内部への拡散が抑制されることになる。後に述べるように堆積膜の付着はプラズマでアシストされて促進されるので、側壁102の内表面や中空管142の入り口付近には堆積膜Dw、Dpが付着するが、プラズマが侵入していかない中空管の内部には堆積膜は付着せず、したがって計測窓143には堆積膜は付着しない。なお、計測窓には200 nm付近の短波長まで透過率が高い石英を用いるのが好適であるが、特に酸化膜エッチングにおいては石英がエッチングされて消耗したり表面があれたりする可能性がある。しかしながら、本実施例においてはプラズマが中空管142の内部に侵入しないので計測窓

10

20

30

40

50

143には接触せず、したがって計測窓143が消耗したりすることはない。

【0029】

ここで、磁場による中空管内部へのプラズマ拡散防止の効果と計測窓への堆積物の付着抑制の効果について、実験的に調べた結果を説明する。図3に、実験で用いた装置の構成図を示す。実験は、無磁場の平行平板型プラズマ装置200を用いて行った。排気系206で真空排気された処理室201は上部電極202と下部電極203を備え、それぞれ高周波電源204、バイアス電源205が接続されてプラズマPを発生する。この処理室201の側壁部分に設けた開口部207に図1の実施例で示したのと同様の構成を持つプラズマ発光計測部140Aを設置した。さらに、中空管142Aの側壁部分にやはり図1の実施例で示したのと同様の構成を持つプラズマ発光計測部140Bを設置した。そして、中空管142の入り口付近に局所磁場発生器209を設置して、中空管142と直交する方向に磁場Bcを発生させ、この磁場強度を変えたときの中空管142Aの内部に拡散してくるプラズマの発光強度を発光計測器147Bで測定した。なお、図1の実施例とは異なる無磁場の平行平板型プラズマ装置200を用いたのは、有磁場型のプラズマ装置では磁場のプラズマ発生への関与と中空管へのプラズマ拡散防止の効果が区別しにくいためである。

10

【0030】

図4に実験結果を示す。局所磁場発生器209により発生させた磁場強度(磁束密度)を横軸に、発光計測器147Bで計測したプラズマ発光(Ar 419.8 nm)の検出強度を縦軸にとり、検出強度は無磁場のときの値で規格化してある。この結果より、中空管の奥行き方向に拡散し侵入してくるプラズマの発光強度は、40ガウスの比較的弱い磁場でも無磁場のときの10%程度に抑制でき、60ガウスの磁場を印加すればおよそ2%以下となってプラズマの拡散をほとんど完全に抑止することができることがわかる。

20

【0031】

そこで、中空管142内部へのプラズマの拡散防止により計測窓の透過率の低下が抑止される効果を図3の実験装置を用いて評価した。実験は、連続放電試験をおこなって発光計測窓143を通したプラズマ発光強度を147で計測し、磁場の印加の有無により、すなわち磁場Bcが0ガウス(磁場印加なし)のときと60ガウスの磁場を印加したときについて比較した。図5に、放電時間に対する発光ピークの検出強度の変化を示す。ここで、磁場を印加しない場合の、60ガウスの磁場を印加した場合を図中に示してあり、その場合にそれぞれCF 230.5 nmおよびAr 693.8 nmの発光検出強度であり、連続試験開始時(放電0時間)での発光強度により規格化してある。磁場を印加しない場合には、CF 230.5 nm、Ar 693.8 nmとも検出強度が低下しており、特に短波長側のCF 230.5 nmの低下が著しい。これはCF系の堆積膜の透過率が短波長側で低いことによる。しかし、磁場を印加することで、短波長側のCF 230.5 nm、Ar 693.8 nmとも、放電15時間の間に発光検出強度を一定に保つことができた。このことから、磁場によるプラズマ拡散防止の効果により、計測窓143Aへの付着物の堆積をほぼ完全に抑止できることがわかる。

30

【0032】

ところで、一般に壁面への反応生成物やプロセスガスの付着は、壁面温度が高くなると分子の付着率が低下して堆積レートが減少することが知られている。しかしながら、膜の堆積は一種の分子重合反応であり、たとえばCF系のプロセスガスの場合にはC-C結合やC-F結合が連鎖的にネットワークを形成することで堆積膜が形成される。そして、この反応はプラズマ中の電子やイオンにアシストされることで促進されて、堆積レートが増加する。すなわち、堆積物の付着には温度だけでなくプラズマ密度の影響が大きい。このことは、試みに中空管の入り口に1 mm程度の小孔が多数開いたメッシュをはりつけることでも容易に確認できる。メッシュによりプラズマは中空管の内部に侵入できないが、このとき中空管内部への堆積膜の付着量は大きく低減する。

40

【0033】

膜の堆積レートへのプラズマ密度と温度の関係については、図2における処理室内部への堆積膜の付着状況からも考察できる。誘電体リング113の表面温度は120 程度である

50

が、堆積物はほとんど付着しない。一方、試料台リング132は飽和温度が250 程度にまで上昇するにもかかわらず堆積物が付着するので、適正なバイアスをかけて堆積物を除去する必要がある。これは、プラズマPがプレート115の直下付近で生成されており、試料台リング132の近傍ではプラズマ密度が高いが、誘電体リング113の付近ではプラズマ密度が比較的低いことに起因すると考えられる。また、アンテナ111の外縁部付近では磁力線がほぼ垂直に近くなっており、電子は磁力線に沿って運動して磁力線を横切る方向には移動しにくいので、プラズマが磁場による束縛効果によって側壁方向への拡散が抑制されてアンテナ下方付近に閉じ込められるために、この部分でのプラズマ密度が高くなる効果もある。これらのことから、堆積物の付着は単に温度の関数ではなく、プラズマ密度にも大きく依存することが明らかである。

10

【0034】

図2においては、開口部141あるいは中空管142と磁力線Bが角度をなしており、磁場強度がおよそ160ガウス程度であるので、あらたに別の磁場発生手段を設けなくとも、中空管142の内部へのプラズマ侵入は入り口付近のみに限定される。この結果、堆積膜のプラズマアシスト反応が抑止されるため、中空管142の内部や計測窓143に堆積膜はほとんど付着しない。中空管142と磁力線Bがなす角度は、図1の実施例の装置においては図2に示すように30度から45度程度であるが、磁力線が中空管となす角度がおよそ10度以上であればプラズマの侵入防止の効果があらわれる。また、中空管142と磁力線Bがなす角度が望ましくは30度以上であると、この効果がより顕著になる。

【0035】

20

以上で説明した磁場によるプラズマの中空管内部への侵入防止の効果はきわめて顕著である。従来技術ではプラズマ発光検出窓のくもりはさけられなかったが、本実施例においては、図5に示したように放電15時間まで計測窓143の透過率が低下していない。この状態は、さらに放電時間をのばして数10時間から100時間以上の放電を重ねても保つことができる。このことを実験的に確認した結果を図6に示す。これは、図1の実施例の装置において、放電100時間の連続試験をおこなったときの、CF 230.5 nm, CF₂ 260 nm, および Ar 419.8 nm, Ar 706.7 nmの発光ピークの検出強度の経時的な変化を計測して放電時間との関係を示した結果であり、計測窓の透過率の変化を評価したものである。この連続試験においては、試験を通じてエッチング特性が良好に再現されており、ラジカルの組成および組成比およびプラズマ状態は安定していた。また、プラズマクリーニングなどの装置内部の堆積膜を除去するプロセスを行っていないのはいうまでもない。発光計測窓には加熱機構は設けられておらず、側壁の温度は50 程度であり、検出窓の温度はほぼ常温であった。

30

【0036】

図6より明らかなように、発光ピーク検出強度は、CF, CF₂, Arとも放電100時間にわたって発光ピークの検出強度はまったく変化していない。特に計測窓への堆積物の付着に敏感な短波長側のCF, CF₂にも検出強度の低下の兆候は見られない。また、図中には、連続試験後にエッチング装置を大気開放してウェットクリーニングを行い、再度真空引きをした後の発光ピーク検出強度の再現性を確認した結果を示している。このウェットクリーニングではエッチング装置内の堆積物は除去したが、発光計測窓についてはなんら処理は行っていない。この場合、いずれの発光ピークも検出強度はウェットクリーニングの前後で変化していない。このことから、発光計測窓にはまったく反応生成物が堆積していないことが明らかである。

40

【0037】

すでに従来技術の項で述べたように、従来技術では発光計測窓の透過率の低下を完全に抑制することはできず、発光の検出強度がしだいに低下してしまっていた。しかしながら、本発明においては、上記のように放電100時間を超えても計測窓の透過率の低下は認められない。この点で本発明は、明らかに従来技術とは一線を画する効果を示しているといえる。

【0038】

50

上記のようにして発光計測窓の透過率低下の要因をほぼ完全に排除できることの利点は大きい。まず、プラズマ発光の検出強度が低下しないため、終点検出の精度が経時的に低下したりすることがないことがあげられる。次に、ラジカル組成を常時正確に定量化できることが利点である。たとえば C_4F_8 などのCF系のガスを用いた酸化膜エッチングにおいては、CF、 CF_2 あるいは C_2 、Fといったラジカルの組成比がプロセス特性に大きな影響を及ぼすが、これらの発光強度を常時モニタすることで、プラズマケミストリーの経時的な変化が検出できる。図1においては、発光計測器148でプラズマの発光強度を計測し、これに基づいてたとえば発光強度の CF_2/F 比、 CF/F 比、 C_2/F 比といった演算結果がシステム制御手段149に伝達される。同時にシステム制御手段149は制御インタフェース150を介して、電源のVppやVdcなどの値をモニタし、これらの結果を総合して処理室内部の状態の変化を検知する。この結果に基づいて、たとえばウエットクリーニングのタイミングをユーザに知らせたり、あるいはより積極的に、たとえば発光強度の CF_2/F 比、 CF/F 比、 C_2/F 比を一定にするように、プロセス条件、たとえばアンテナ電源系120やバイアス電源134の出力、あるいは磁場形成手段101で形成する磁場の強度・分布、あるいはガス供給手段116から供給するガスの流量・組成比、あるいは圧力制御手段105など、を制御するように指令して、エッチング特性の安定化を図ってもよい。このように、本発明によれば、ラジカル組成を定量的にモニタリングすることで、より進んだプロセス制御の方法を提供でき、処理の再現性や安定性を向上させて、装置の稼働率や生産性の向上に寄与できるプラズマ処理装置を提供することが可能となる。

【0039】

なお、前記の各実施例は、いずれも有磁場UHF帯電磁波放射放電方式のプラズマ処理装置の場合であったが、放射される電磁波はUHF帯以外にも、たとえば2.45 GHzのマイクロ波や、あるいは数10 MHzから300 MHz程度までのVHF帯でもよい。また、磁場強度は、450 MHzに対する電子サイクロトロン共鳴磁場強度である160ガウスの場合について説明したが、必ずしも共鳴磁場を用いる必要はなく、これよりも強い磁場やあるいは数10ガウス程度以上の弱い磁場を用いてもよい。磁場を用いたマグネトロン型のプラズマ処理装置においては、磁場は電極間では電極にほぼ平行な場合もあるが、側壁近傍においては磁力線が電極面と角度をもつことになるので、本発明が同様に適用できる。

【0040】

また、前記の各実施例は、いずれも処理対象が半導体ウェハであり、これに対するエッチング処理の場合であったが、本発明はこれに限らず、例えば処理対象が液晶基板の場合にも適用でき、また処理自体もエッチングに限らず、たとえばスパッタリングやCVD処理に対しても適用可能である。

【0041】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、処理室の側壁に設けられた開口部に中空管を設置してその先端にプラズマ発光の計測窓を取付け、中空管と磁力線が角度をなすような磁場を形成することで、中空管内部へのプラズマの侵入を防止して計測窓への堆積物の付着をおさえることができるので、計測窓の透過率が時間とともに低下せず一定に保ってプラズマ発光を長時間にわたり安定して精度よく計測することが可能となる。この結果、エッチング処理の終点検出の精度を経時的に低下することなく安定に保つことができる。さらにラジカル組成を定量的にモニタリングしてプロセス条件を制御するといったより進んだプロセス制御が可能となるので、処理の再現性や安定性が向上して、生産性の向上に寄与するプラズマ処理装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例である、プラズマエッチング装置の断面模式図である。

【図2】本発明の一実施例であるプラズマエッチング装置において、発光計測窓への堆積物の付着を抑制する機構を説明する図である。

【図3】本発明の要点である磁場による中空管内部へのプラズマ拡散の防止効果と磁場による計測窓の透過率低下の防止効果について調べた実験装置の構成を説明する図である。

【図4】本発明の要点である磁場による中空管内部へのプラズマ拡散の防止効果について調べた実験結果を示す図である。

【図5】本発明の要点である磁場による計測窓の透過率低下の防止効果について調べた実験結果を示す図である。

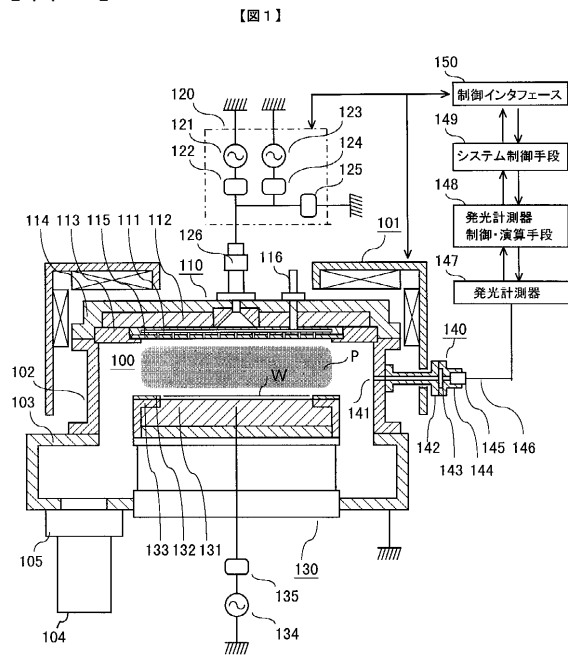
【図6】本発明の一実施例であるプラズマエッチング装置において、計測窓の透過率が経時的に変化しないことを連続試験により実験的に検証した結果を示す図である。

【符号の説明】

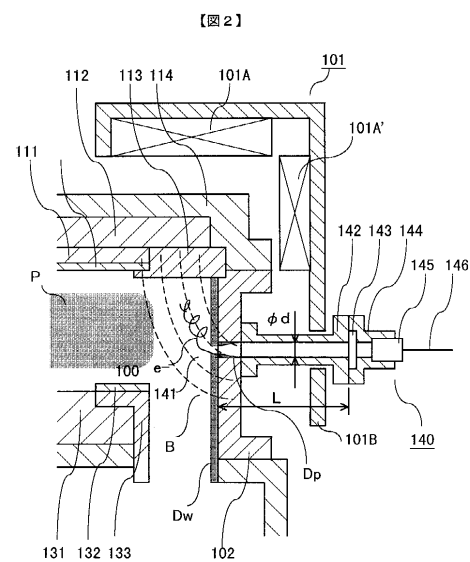
100...処理室、101...磁場形成手段、102...処理室側壁、103...真空室、104...真空排気系、110...アンテナ、111...円板状導電体、112...誘電体、115...プレート、121...アンテナ電源、123...アンテナバイアス電源、130...下部電極、131...静電吸着装置、132...試料台リング、134...バイアス電源、141...開口部、142...中空管、143...計測窓、144...ファイバホルダ、146...光ファイバ、147...発光計測器、148...発光計測器制御・演算手段

10

【図1】

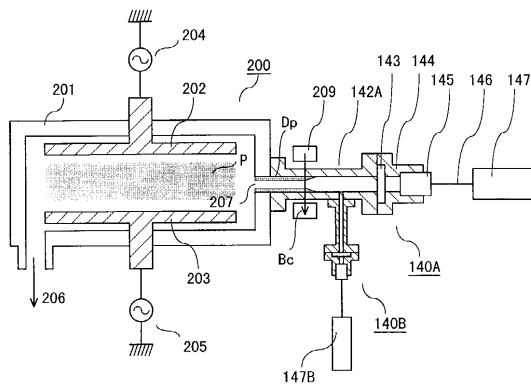


【図2】



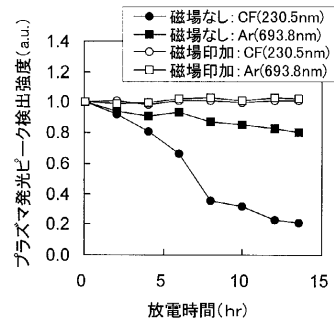
【図 3】

【図 3】



【図 5】

【図 5】

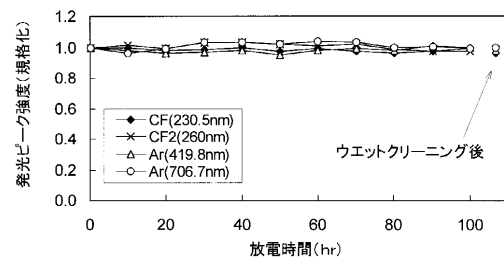
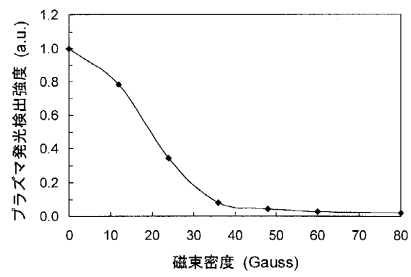


【図 6】

【図 6】

【図 4】

【図 4】



フロントページの続き

- (72)発明者 白米 茂
茨城県土浦市神立町502番地
株式会社 日立製作所 機械研究所内
- (72)発明者 高橋 主人
山口県下松市東豊井794番地
株式会社 日立製作所 笠戸事業所内
- (72)発明者 末広 満
山口県下松市東豊井794番地
株式会社 日立製作所 笠戸事業所内

合議体

審判長 城所 宏
審判官 大嶋 洋一
審判官 瀬良 聡機

- (56)参考文献 特開平10-12592(JP,A)
特開平9-199476(JP,A)
特開平9-115882(JP,A)
特開平11-233492(JP,A)
特開平5-160111(JP,A)
実開平4-26531(JP,U)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01L 21/3065
C23F 4/00
H05H 1/00
H05H 1/46