

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3846881号

(P3846881)

(45) 発行日 平成18年11月15日(2006.11.15)

(24) 登録日 平成18年9月1日(2006.9.1)

(51) Int. Cl.			F I		
HO 1 L	21/31	(2006.01)	HO 1 L	21/31	C
C 2 3 C	16/42	(2006.01)	C 2 3 C	16/42	
C 2 3 C	16/509	(2006.01)	C 2 3 C	16/509	
HO 1 L	21/316	(2006.01)	HO 1 L	21/316	X
HO 5 H	1/46	(2006.01)	HO 5 H	1/46	M

請求項の数 7 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2003-101993 (P2003-101993)	(73) 特許権者	000227973
(22) 出願日	平成15年4月4日(2003.4.4)		日本エー・エス・エム株式会社
(65) 公開番号	特開2004-311646 (P2004-311646A)		東京都多摩市永山6丁目23番1
(43) 公開日	平成16年11月4日(2004.11.4)	(74) 代理人	100069899
審査請求日	平成15年4月7日(2003.4.7)		弁理士 竹内 澄夫
		(74) 代理人	100096725
			弁理士 堀 明▲ひこ▼
		(72) 発明者	山岸 孝幸
			東京都多摩市永山6丁目23番1日本エー
			・エス・エム株式会社内
		(72) 発明者	荒井 宏貴
			東京都多摩市永山6丁目23番1日本エー
			・エス・エム株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置及びシリコン酸化膜を形成する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

反応容器内に一对の平行平板電極が配置された、薄膜形成用のプラズマ処理装置であって、平行平板電極の一方の電極に高周波電力を給電するための高周波電力給電システムを含み、前記高周波電力給電システムが、

高周波電源と、

インピーダンス整合回路と、

前記高周波電源からの高周波電力を前記インピーダンス整合回路を介して平行平板電極の一方の電極の給電点に給電するための高周波伝送手段であって、前記高周波伝送手段は2つに分岐し、さらにそれぞれが2つに分岐した4つの伝送系統から成り、前記伝送系統の各々は特性インピーダンスが実質的に等しいところの高周波伝送手段であって、金属プレート及びインピーダンスが実質的に等しい中空銅管から成るところの高周波伝送手段と

10

前記伝送系統に設けられた少なくともひとつの着脱自在なフェライトコアから成るインダクタンス調整手段と、から成る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であって、前記高周波電力の周波数は27.12MHz以上である、ところの装置。

【請求項3】

請求項1に記載のプラズマ処理装置であって、前記給電点は、前記一方の電極の表面上に

20

その中心に関して回転対称な位置に設けられた4つの給電端子から成る、ところの装置。

【請求項4】

請求項1に記載のプラズマ処理装置であって、前記フェライトコアは前記中空銅管に挿着可能な円環形状を有し、挿着する個数を選択することにより、前記伝送系統のインピーダンスを調節することが可能である、ところの装置。

【請求項5】

請求項1に記載のプラズマ処理装置を使って、半導体基板上に炭素含有シリコン酸化膜を形成する方法であって、

フェライトコアの個数を調節して各伝送系統の特性インピーダンスを均一に調整する工程と、

半導体基板を所定の温度に加熱する工程と、

アルコキシシリコン化合物及び不活性ガスを含む反応ガスを反応室内に導入する工程と、

反応室内部を所定の圧力に制御する工程と、

27.12 MHz以上の高周波電力を一方の電極に印加する工程と、

から成る方法。

【請求項6】

請求項1に記載のプラズマ処理装置を使って、半導体基板上に炭素含有シリコン酸化膜を形成する方法であって、

フェライトコアの個数を調節して各伝送系統の特性インピーダンスを均一に調整する工程と、

半導体基板を所定の温度に加熱する工程と、

アルキルシリコン化合物、酸素含有ガス及び不活性ガスを含む反応ガスを反応室内に導入する工程と、

反応室内部を所定の圧力に制御する工程と、

27.12 MHz以上の高周波電力を一方の電極に印加する工程と、

から成る方法。

【請求項7】

請求項1に記載のプラズマ処理装置を使って、半導体基板上に窒素含有シリコンカーバイド膜を形成する方法であって、

フェライトコアの個数を調節して各伝送系統の特性インピーダンスを均一に調整する工程と、

半導体基板を所定の温度に加熱する工程と、

アルキルシリコン化合物、アンモニア及び不活性ガスを含む反応ガスを反応室内に導入する工程と、

反応室内部を所定の圧力に制御する工程と、

27.12 MHz以上の第1の高周波電力及び300 kHzから500 kHzの第2の高周波電力を重畳して一方の電極に印加する工程と、

から成る方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本願は半導体基板若しくはガラス基板上に薄膜を形成するためのプラズマ処理装置に関し、特に、放電電極に高周波電力を均等に給電する高周波電力給電システムに関する。

【0002】

【従来技術】

近年、LSI装置の高速化を図るために、金属配線材料としてアルミニウムより電気抵抗の小さい銅が採用されるようになってきた。また同時に信号遅延の原因となる配線間容量を低減するために層間絶縁膜材料として低誘電率の炭素含有シリコン酸化膜が採用されるようになってきた。この炭素含有シリコン酸化膜を形成する方法では、所定の形成膜構造体

10

20

30

40

50

を実現するために、シロキサン構造を有する原材料と27.12 MHzの高周波電力が利用されている(例えば、特許文献1参照)。

【0003】

【特許文献1】

米国特許出願公開第2001/0046567号明細書

【0004】

従来利用されてきた13.56 MHzの高周波電力は、シロキサン構造を有する原材料ガスの分解を促進し、反応ガスが半導体基板上に到達する前にシロキサン構造を分解してしまう。それに対して、27.12 MHzの高周波電力は、原材料ガスが有するシロキサン構造を破壊することなく半導体基板上にシロキサン構造を有する炭素含有シリコン酸化膜を形成することができる。

10

【0005】

また、銅の拡散を防止するためのバリア膜として、比誘電率が7程度のシリコン窒化膜が使用されてきたが、比誘電率が4~5程度のシリコンカーバイド膜が現在使用され始めている。シリコンカーバイド膜の形成にはシリコンと炭素との結合を分子内に有するアルキルシリコン化合物が原材料ガスとして用いられる。反応ガスの分解が促進されすぎると、反応ガス分子のアルキル基から水素が放出され、膜中に取り込まれる。その結果、シリコンカーバイド膜のリーク電流は $1 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ (リーク電流測定用にシリコンカーバイド膜に印加する電場を2MV/cmとした時)程度の高い数値を示すようになり、金属配線間で電流のリークが発生してしまう。シリコンカーバイド膜のリーク電流値を低減するには、反応ガスのアルキル基の水素を解離させないために比較的高い27.12 MHzの高周波電力を利用するのが有効である。

20

【0006】

さらに、LSI装置の生産コストを低減するために、近年直径300 mmの半導体基板が使用され始めた。それに伴い、大面積での処理の均一性が要求されるようになった。特に、一枚若しくは複数枚の半導体基板を反応炉内で処理する平行平板型プラズマ処理装置(例えば、プラズマCVD装置、プラズマエッチング装置)では半導体基板全面にわたり、温度分布の均一性及び電極間プラズマの均一性が要求される。27.12 MHz以上の高周波電力を使用する大面積の平行平板電極では、定在波の影響による電圧分布のために電場分布が不均一になる(例えば、非特許文献1参照)。

30

【0007】

【非特許文献1】

D.Heらによる「Longitudinal voltage distribution in transverse rf discharge waveguide lasers」J. Appl. Phys. 54(8), 1983年8月, p.4367

【0008】

この電場分布の不均一性は、半導体基板1枚の中に形成される膜の成長速度の不均一性となり、半導体基板全面にわたり厚さが均等な膜を得ることができなくなる。この問題を解決するために、同じ長さ及び同じ特性インピーダンスを有する複数の同軸ケーブルを用いて高周波電力を分配し、放電電極の複数の給電点に均等になるように高周波電力を印加する方法が考案された(例えば、特許文献2及び3)。この方法により $\pm 10\%$ 以下の膜厚均一性が達成された。

40

【0009】

【特許文献2】

特許第3332857号明細書

【0010】

【特許文献3】

米国特許第6353201号明細書

【0011】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、近年のLSI装置の製造装置に求められる膜厚均一性は、直径300 mmの半導体基

50

板において $\pm 3\%$ 以下である。インピーダンス整合器から放電電極までを同じ長さ及び同じ特性インピーダンスを有する同軸ケーブルで接続しても、高周波伝達経路の各特性インピーダンスは、高周波伝送経路とその周囲部品との間に生じる浮遊容量及びノまたは同軸ケーブルの特性誤差に起因した特性インピーダンスの個体差により、実質的に同一とはならない。また各同軸ケーブルと給電点との接続部でも損失の個体差が生じてしまう。その結果、電場が不均一となり、膜厚均一性が $\pm 10\%$ 程度となって、現在のLSI装置に求められる $\pm 3\%$ 以内を達成することはできない。

【0012】

したがって、本発明の目的は、直径300mmの面積半導体基板上への成膜において $\pm 3\%$ 以下の膜厚均一性を達成することができるプラズマ処理装置を与えることである。

10

【0013】

また、本発明の他の目的は、27.12MHzの高周波電力を使って、誘電率が低くかつ機械的強度が高い炭素含有シリコン酸化膜を形成する方法を与えることである。

【0014】

さらに、本発明の他の目的は、27.12MHzの高周波電力を使って、誘電率が低くかつリーク電流の小さい窒素含有シリコンカーバイド膜を形成する方法を与えることである。

【0015】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明に係るプラズマ処理装置は以下の手段から成る。

【0016】

20

本発明に係る反応容器内に一对の平行平板電極が配置された、薄膜形成用のプラズマ処理装置は、平行平板電極の一方の電極に高周波電力を給電するための高周波電力給電システムを含み、該高周波電力給電システムが、

高周波電源と、

インピーダンス整合回路と、

インピーダンス整合回路を介して高周波電源からの高周波電力を平行平板電極の一方の電極の給電点に給電するための高周波伝送手段であって、高周波伝送手段は2つに分岐し、

さらにそれぞれが2つに分岐した4つの伝送系統から成り、伝送系統の各々は特性インピーダンスが実質的に等しいところの高周波伝送手段と、

伝送系統に設けられた少なくともひとつの着脱自在なインダクタンス調整手段と、から成ることを特徴とする。

30

【0017】

具体的にはインダクタンス調整手段は、フェライトコアである。

【0018】

また、具体的には高周波伝送手段は、金属プレート及びインピーダンスが実質的に等しいインダクタから成る。

【0019】

好適には、高周波電力の周波数は27.12MHz以上である。

【0020】

また好適には給電点は、一方の電極の表面上にその中心に関して回転対称な位置に設けられた4つの給電端子から成る。

40

【0021】

さらに好適には、インダクタは中空銅管から成り、フェライトコアを挿着する個数を選択することにより、伝送系統のインピーダンスを調節することができる。

【0022】

一方、本発明に係るプラズマ処理装置を使って、半導体基板上に炭素含有シリコン酸化膜を形成する方法は、

フェライトコアの個数を調節して各伝送系統の特性インピーダンスを均一に調整する工程と、

半導体基板を所定の温度に加熱する工程と、

50

アルコキシシリコン化合物及び不活性ガスを含む反応ガスを反応室内に導入する工程と、
反応室内部を所定の圧力に制御する工程と、
27.12 MHz以上の高周波電力を一方の電極に印加する工程と、
から成る。

【0023】

ここで、反応ガスとしてアルコキシシリコン化合物の代わりにアルキルシリコン化合物及び酸素含有ガスの混合物を使用してもよい。

【0024】

本発明に係るプラズマ処理装置を使って、半導体基板上に窒素含有シリコンカーバイド膜を形成する方法は、

10

フェライトコアの個数を調節して各伝送系統の特性インピーダンスを均一に調整する工程と、

半導体基板を所定の温度に加熱する工程と、

アルキルシリコン化合物、アンモニア及び不活性ガスを含む反応ガスを反応室内に導入する工程と、

反応室内部を所定の圧力に制御する工程と、

27.12 MHz以上の第1の高周波電力及び300 kHzから500 kHzの第2の高周波電力を重畳して一方の電極に印加する工程と、

から成る。

【0025】

20

【発明の実施の態様】

以下、図面を参照しながら、本発明を詳細に説明する。図1は本発明に係るプラズマ処理装置の好適実施例の断面略示図である。半導体基板上に薄膜を形成するためのプラズマ処理装置1は、反応室2と、該反応室内にあって半導体基板9を載置するためのサセプタ3と、該サセプタ3に対向して平行に設置され半導体基板9に反応ガスを均一に噴射するためのシャワーヘッド4と、該シャワーヘッド4に高周波電力を給電するための高周波電力給電システム30と、反応室2内部を排気するための排気口20とから成る。

【0026】

反応室2の側面には開口部19が設けられており、当該反応室2はゲートバルブ18を介して半導体基板9を搬入及び搬出するための搬送室（図示せず）と接続されている。

30

【0027】

反応室2内にあって、半導体基板9を載置するためのサセプタ3はアルミニウム合金で製作されている。サセプタ3の内部には、抵抗加熱型シースヒータ26及び熱電対7が埋設され、外部の温度制御器16と接続されている。抵抗加熱型シースヒータ26によりサセプタ3を加熱し、熱電対で温度をモニターすることで半導体基板9を所定の温度に制御することができる。半導体基板9が載置される場所のサセプタ3はプラズマ放電のもう一方の電極を画成するために接地27されている。変形的に、アルミニウム合金製サセプタ3の代わりに、セラミックヒータを使用してもよい。その際、セラミックヒータは、半導体基板9を反応室2内で直接保持するサセプタを兼ねる。該セラミックヒータは、抵抗加熱型ヒータを一体焼結製作されたセラミック基体から成る。セラミック基体の素材としては、例えばフッ素若しくは塩素系の活性種に耐久性を有する窒化物若しくは酸化物のセラミックがある。セラミック基体は好適には窒化アルミニウムから成るが、酸化アルミニウム若しくは酸化マグネシウムであっても良い。

40

【0028】

反応室2内にあって、上記サセプタ3と平行に対向する位置にシャワーヘッド4が設置されている。該シャワーヘッド4の下面には反応ガスを基板9に噴出するための数千個の細孔（図示せず）が設けられている。シャワーヘッド4のガス導入口32には反応ガスを導入するためのガス導入口管14が接続されている。ガス導入口管14にはバルブ6を介して反応ガス導入配管11が接続されている。反応ガス導入配管11のガス流入ポート5には、質量流量制御器（図示せず）により所定の流量に制御された反応ガスが流入される。ガス導入口管14には、

50

バルブ15を介して遠隔プラズマ室13が設けられ、反応室2内部をクリーニングするためのクリーニングガスを活性化するために用いられる。遠隔プラズマ室13には、クリーニングガスを供給するための配管が設けられ、その上流にはバルブ（図示せず）及び質量流量制御器（図示せず）が設置されている。ガス流入ポート12の数は、クリーニングガスの種類に応じて決定される。

【0029】

本発明に従って、シャワーヘッド4に高周波電力を給電するための高周波電力給電システム30が与えられる。当該高周波電力給電システム30は、以下に詳細に説明するように、高周波電源8、インピーダンス整合回路（例えば、自動インピーダンス整合器）10及び高周波伝送手段22から成る。シャワーヘッド4はプラズマ放電のもう一方の電極を画成するべく、高周波伝送手段22、インピーダンス整合回路10を介して高周波電源8と電氣的に接続されている。サセプタ3が高周波電源8と接続される場合には、シャワーヘッド4が接地される。高周波電源8は、好適には27.12 MHz以上の高周波電力を発生する。ここで、高周波電源を複数設けることもできる。その場合、例えば第1の高周波電源は27.12 MHzの高周波電力を発生し、第2の高周波電源は300 kHzから500 kHzの高周波電力を発生する。高周波電源8で発生した高周波電力は、インピーダンス整合回路10及び高周波伝送手段22を介してシャワーヘッド4の給電点に印加される。

10

【0030】

反応室2内部には排気口20が設けられており、該排気口20は配管17を通じて真空排気ポンプ（図示せず）に接続されている。排気口20と真空ポンプとの途中には反応室2内部の圧力を調節するためのコンダクタンス調整バルブ21が設けられている。該コンダクタンス調整バルブ21は外部の制御装置28に電氣的に接続されている。好適には、反応室2内部の圧力を測定するために圧力計29が設けられ、該圧力計29は制御装置28に電氣的に接続されている。

20

【0031】

図2は、図1の高周波電力給電システム30を拡大略示したものである。高周波電力給電システム30は、高周波電源8、インピーダンス整合回路10及び高周波伝送手段22から成る。高周波電源8は好適には27.12 MHzの高周波電力を出力し同軸ケーブル33を介してインピーダンス整合回路10に接続される。インピーダンス整合回路10は可変コンデンサ34及び35から成る自動インピーダンス整合器であって、負荷側から反射される高周波電力（反射電力）がゼロになるように反射電力検出回路（図示せず）の検出値に基づいて自動的に容量を変化させ負荷インピーダンスを50Ωに整合させることができる。インピーダンス整合回路10は同軸ケーブルを介して高周波伝送手段22に接続される。高周波伝送手段22は並列に接続された2つの等価インダクタ37、38並びにインダクタ37と直列でかつ互いに並列に接続された等価インダクタ41、42及びインダクタ38と直列でかつ互いに並列に接続された等価インダクタ43、44から成る。図2に示されるように、高周波伝送系統は、1段目の分岐点36で2つに分割され、それぞれが2段目の分岐点39及び40でさらに2つに分割される。このようにして、インピーダンス整合回路10から出力された高周波電力は4つに分割され給電端子46、47、48、49へ給電される。各給電端子46、47、48、49は、シャワーヘッド4の上面に直接若しくは金属プレートを介して接続される。

30

40

【0032】

本発明に係る高周波伝送手段22の構成に従い、高周波電力は、以下の4つの伝送系統に分割される。

【0033】

第1の高周波伝送系統：分岐点36から、インダクタ37を介し、分岐点39を経てインダクタ41を介し給電点46へ至る。

【0034】

第2の高周波伝送系統：分岐点36から、インダクタ37を介し、分岐点39を経てインダクタ42を介し給電点47へ至る。

【0035】

50

第3の高周波伝送系統：分岐点36から、インダクタ38を介し、分岐点40を経てインダクタ43を介し給電点48へ至る。

【0036】

第4の高周波伝送系統：分岐点36から、インダクタ38を介し、分岐点40を経てインダクタ44を介し給電点49へ至る。

【0037】

これらの各高周波伝送系統において、それぞれのインピーダンス特性は実質的に等しい。

【0038】

図3は、図2の高周波電力給電システム30の変形例を示す。高周波電力給電システム30'は、第1の高周波電源8、第2の高周波電源51、インピーダンス整合回路10'及び高周波伝送手段22から成る。第1の高周波電源8は好適には27.12MHzの高周波電力を出力し、第2の高周波電源51は好適には300kHzから500kHzの高周波電力を出力する。インピーダンス整合回路10'は可変コンデンサ34及び35から成る自動インピーダンス整合器部と、それと並列に設けられたコンデンサ53及びコイル52から成るバンドパスフィルタ部から成る。第1の高周波電源8は同軸ケーブルを介してインピーダンス整合回路10'の自動インピーダンス整合器部に接続され、第2の高周波電源51は同軸ケーブルを介してインピーダンス整合回路10'のバンドパスフィルタ部に接続される。高周波伝送手段22の構成は図2と同一なので説明を省略する。

10

【0039】

次に、本発明に係る高周波伝送手段22の好適実施例について説明する。図4は本発明に係る高周波伝送手段22及びシャワーヘッド4の分解斜視図を示す。高周波伝送手段22は金属製の分配プレート54を含む。該分配プレート54は中央のオフセット部57と左右のアーム部56、56'から成る。インピーダンス整合回路10の出力端子55は、オフセット部57に接続される。分配プレート54のアーム部56、56'には2本の第1中空銅管60、60'が該アーム部に対して垂直かつ互いに平行になるようボルト締結されている。第1中空銅管60、60'の他端には2枚の金属製の連結プレート61、61'が当該第1中空銅管に対して垂直かつ互いに平行になるようボルト締結されている。第1中空銅管60、60'の両端部付近には少なくともひとつの円環形状のフェライトコア59、59'が挿着されており、該フェライトコア59、59'と分配プレート及び連結プレートとの間にはフェライトコア59、59'を固定するためのテフロン（登録商標）樹脂製の絶縁リング58、58'が挿着されている。

20

30

【0040】

連結プレート61、61'には他に、第1中空銅管よりも短い2本の第2中空銅管65、65'が第1中空銅管60、60'に対して平行かつ互いに平行になるようにボルト締結されている。第2中空銅管65、65'の他端には2枚の金属製の連結プレート64、64'が当該第2中空銅管に対して垂直かつ互いに平行になるようボルト締結されている。第2中空銅管65、65'の両端付近にも少なくともひとつの円環形状のフェライトコア63、63'が挿着されており、該フェライトコア63、63'と連結プレートとの間にはフェライトコア63、63'を固定するためのテフロン（登録商標）樹脂製の絶縁リング62、62'が挿着されている。少なくともひとつのフェライトコア59及び絶縁リング58を有する第1中空銅管60、連結プレート61並びに少なくともひとつのフェライトコア63及び絶縁リング62を有する第2中空銅管65によって、図2のインダクタ37が構成される。同様に、少なくともひとつのフェライトコア59'及び絶縁リング58'を有する第1中空銅管60'、連結プレート61'並びに少なくともひとつのフェライトコア63'及び絶縁リング62'を有する第2中空銅管65'によって、図2のインダクタ38が構成される。

40

【0041】

連結プレート64には、長さの等しい第3中空銅管68及び第4中空銅管69が連結プレート64に対して垂直かつ連結プレート64をはさんで互いに一直線となるように接続されている。同様に、連結プレート64'には、長さの等しい第3中空銅管68'及び第4中空銅管69'が連結プレート64'に対して垂直かつ連結プレート64'をはさんで互いに一直線となるように接続されている。第3中空銅管68、68'の他端には金属製の給電コネクタ72、72'が接続され、

50

第4中空銅管69、69'の他端には金属製の給電コネクタ73、73'が接続されている。第3中空銅管68、68'の両端付近には少なくともひとつの円環形状のフェライトコア67、67'が挿着されており、該フェライトコア67、67'と連結プレート及び給電コネクタとの間にはフェライトコア67、67'を固定するためのテフロン（登録商標）樹脂製の絶縁リング66、66'が挿着されている。同様に、第4中空銅管69、69'の両端付近には少なくともひとつの円環形状のフェライトコア70、70'が挿着されており、該フェライトコア70、70'と連結プレート及び給電コネクタとの間にはフェライトコア70、70'を固定するためのテフロン（登録商標）樹脂製の絶縁リング71、71'が挿着されている。少なくともひとつのフェライトコア67及び絶縁リング66を有する第3中空銅管68によって、図2のインダクタ41が構成され、少なくともひとつのフェライトコア70及び絶縁リング71を有する第4中空銅管69によって、図2のインダクタ42が構成される。同様に、少なくともひとつのフェライトコア67'及び絶縁リング66'を有する第3中空銅管68'によって、図2のインダクタ43が構成され、少なくともひとつのフェライトコア70'及び絶縁リング71'を有する第4中空銅管69'によって、図2のインダクタ44が構成される。

10

【0042】

分配プレート54、連結プレート61、64、61'、64'、ナット、給電コネクタ72、73、72'、73'は、金、銀若しくは銅から製造される。銅の場合には表面に金若しくは銀を0.1 μ m以上メッキしたものを使用する。中空銅管と連結プレート若しくは給電コネクタとの接続は、中空銅管の端部を外ネジ加工することによりナットで行う。その際、真鍮製のナットを使用してもよい。

20

【0043】

インピーダンス整合回路の出力端子55から、分配プレート54を経て、第1中空銅管60、連結プレート61、第2中空銅管65、連結プレート64、第3中空銅管68、及び給電コネクタ72を介し、給電端子74に接続される伝送経路は、図2の第1高周波伝送系統に相当する。インピーダンス整合回路の出力端子55から、分配プレート54を経て、第1中空銅管60、連結プレート61、第2中空銅管65、連結プレート64、第4中空銅管69、及び給電コネクタ73を介し、給電端子75に接続される伝送経路は、図2の第2高周波伝送系統に相当する。インピーダンス整合回路の出力端子55から、分配プレート54を経て、第1中空銅管60'、連結プレート61'、第2中空銅管65'、連結プレート64'、第3中空銅管68'、及び給電コネクタ72'を介し、給電端子76に接続される伝送経路は、図2の第3高周波伝送系統に相当する。インピーダンス整合回路の出力端子55から、分配プレート54を経て、第1中空銅管60'、連結プレート61'、第2中空銅管65'、連結プレート64'、第4中空銅管69'、及び給電コネクタ73'を介し、給電端子77に接続される伝送経路は、図2の第4高周波伝送系統に相当する。

30

【0044】

シャワーヘッド4の上面上には、その中心に関して回転対称な位置に等間隔で給電端子74、75、76、77が設けられている。給電コネクタ72、73、72'、73'はそれぞれ給電端子74、75、76、77と接続される。こうして、インピーダンス整合回路10の出力端子55から供給された高周波電力は、4系統に分配されてシャワーヘッド4に設けられた給電端子74、75、76、77に給電される。

40

【0045】

4系統の高周波電力伝送回路のインピーダンスは、第1から第4までの中空銅管に挿着されたフェライトコアの個数を調整することで調節することができる。この結果、4系統の高周波電力伝送回路のインピーダンスをそれぞれ独立に調節することができるため、4つの給電端子74、75、76、77に分割給電される高周波電力値を実質的に等価にすることが可能となる。

【0046】

図5は、図1の反応室2の拡大断面図である。反応室2内部には半導体基板9を載置するためのサセプタ3が設置される。反応室2内部の天井部には該サセプタ3に対向してシャワーヘッド4が設置される。シャワーヘッド4の底面には数千個の細孔80が設けられている。シ

50

シャワーヘッド4と反応室の天井82との間には空間84が設けられ、該空間84内部にはシャワーヘッド4と平行にガス分散板83が設置されている。ガス分散板83には所定の数の開口81が設けられている。反応室の天井中央にはガス導入口32が設けられており、該ガス導入口32から導入された反応ガスはガス分散板83の開口81を通過し、シャワーヘッド4の細孔80から半導体基板9に均一に噴射される。シャワーヘッド4の外周部上面88には給電端子74、75、76、77がシャワーヘッド4の中心に関して回転対称な位置に等間隔で結合されている。給電端子に高周波電力が給電されると、シャワーヘッド4とサセプタ3との間の反応空間85にプラズマ放電が生じる。シャワーヘッド4の下方には排気バルンサー87が設けられている。排気バルンサー87の下部には円環状のリングプレート89が設けられている。排気バルンサー87とリングプレート89によってチャンネル86が構成される。排気バルンサー87の側面には排気口20が設けられており、反応室2内のガスはチャンネル86を通過して排気口20を介し外部の真空ポンプによって排気される。

10

【0047】

次に、本発明に係る炭素含有シリコン酸化膜を形成する方法について説明する。炭素含有シリコン酸化膜の形成には図1に示されたプラズマ処理装置1を使用する。搬送室から搬送された300mmの半導体基板9を反応室2内のサセプタ3上に載置する。シャワーヘッド4とサセプタ3との間の距離（電極間隔）は5mmから100mm、好適には10mmから50mmさらに好適には20mmから30mmに設定する。成膜処理に入る前に、フェライトコアの個数を調節し4つの伝送系統の特性インピーダンスが均等になるよう調整しておく。

【0048】

まず本発明に係る炭素含有シリコン酸化膜を形成する方法は、半導体基板9を加熱する工程を含む。温度制御器16からシースヒータ26に電流を流し、サセプタ3により半導体基板9を200から420、好適には300から400、さらに好適には350から390に加熱する。同時にシャワーヘッド4を上部に取り付けられたヒータ（図示せず）により100から300に加熱する。

20

【0049】

また本発明に係る炭素含有シリコン酸化膜を形成する方法は、反応ガスを反応室2内に導入する工程を含む。反応ガスは材料ガス及び添加ガスから成る。材料ガスは、シリコン、酸素、炭化水素から構成されるアルコキシシリコン化合物から成る。アルコキシシリコン化合物として、好適には、ジメトキシジメチルシラン $\text{Si}(\text{OCH}_3)_2(\text{CH}_3)_2$ （以下、DMDMOSという）が使用されるが、これ以外に $\text{Si}(\text{OCH}_3)_3\text{CH}_3$ 、 $\text{SiOCH}_3(\text{CH}_3)_3$ 、 $\text{Si}_2\text{O}(\text{CH}_3)_6$ 、 $\text{Si}_2\text{O}(\text{OCH}_3)_2(\text{CH}_3)_4$ 、 $\text{Si}(\text{OCH}_3)_2\text{C}_2\text{H}_5\text{CH}_3$ 、 $\text{Si}(\text{OCH}_3)_2(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ のいずれかを使用することもできる。アルコキシシリコン化合物の代わりに、アルキルシリコン化合物及び酸素含有ガスの混合物を使用してもよい。この場合、アルキルシリコン化合物として、 $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ 、 $\text{SiH}(\text{CH}_3)_3$ 、 $\text{SiH}_2(\text{CH}_3)_2$ などが使用され、酸素含有ガスとして CO_2 、 N_2O 、 O_2 、 O_3 またはこれらの混合物が使用される。添加ガスは不活性ガス若しくは窒素ガス、または不活性ガス及び窒素ガスの混合ガスから成る。ここで不活性ガスは、好適にはヘリウムであるが、アルゴン、ネオン、キセノン若しくはクリプトンであってもよい。材料ガスは、質量流量制御器によって100sccmから500sccm、好適には150sccmから300sccm、さらに好適には200sccmから250sccmに流量制御されて、ガス流入ポート5からガス導入口32を介しシャワーヘッド4に導入される。同様に添加ガスは、質量流量制御器により20sccmから500sccm、好適には30sccmから200sccm、さらに好適には50sccmから150sccmに流量制御されて、ガス流入ポート5からガス導入口32を介しシャワーヘッド4に導入される。

30

40

【0050】

さらに本発明に係る炭素含有シリコン酸化膜を形成する方法は、反応室2内の圧力を200から2660Pa、好適には400から1000Pa、より好適には600から800Paに保持する工程を含む。反応室2内の圧力は圧力計29によってモニターされ、制御装置28に転送される。制御装置28はモニターされた圧力値にตอบสนองして、コンダクタンス調整バルブ21の開度を調節し、反応室2内部を所望の圧力に保持する。

【0051】

50

さらにまた本発明に係る炭素含有シリコン酸化膜を形成する方法は、高周波電力給電システム30によってシャワーヘッド4に27.12 MHzの高周波電力を給電する工程を含む。高周波電力は1000から5000W、好適には1500から3000W、さらに好適には2000から3000Wで印加される。高周波電力は高周波伝送手段22により均等に4分割されて、シャワーヘッド4の各給電端子74、75、76、77に給電される。

【0052】

本発明に係る方法に従えば、比誘電率2.5～3.1の炭素含有シリコン酸化膜を400nm/min以上の速度で成膜することができた。300mm半導体基板内の膜厚均一性（（最大値 - 最小値）/ 2を平均値で除した値のパーセント表示）を±1.5%から±3%に抑えることができた。

10

【0053】

次に、本発明に係る窒素含有シリコンカーバイド膜を形成する方法について説明する。窒素含有シリコンカーバイド膜の場合にも炭素含有シリコン酸化膜と同様に基本的には図1に示されるプラズマ処理装置1を使用するが、高周波電力の給電には図3に示される高周波電力給電システム30'を使用する。搬送室から搬送された300mmの半導体基板9を反応室2内のサセプタ3上に載置する。シャワーヘッド4とサセプタ3との間の距離（電極間隔）は5mmから100mm、好適には10mmから50mmさらに好適には15mmから25mmに設定する。成膜処理に入る前に、フェライトコアの個数を調節し4つの伝送系統の特性インピーダンスが均等になるよう調整しておく。

【0054】

まず本発明に係る窒素含有シリコンカーバイド膜を形成する方法は、半導体基板9を加熱する工程を含む。温度制御器16からシースヒータ26に電流を流し、サセプタ3上の半導体基板9を250から420、好適には300から390、さらに好適には330から370に加熱する。同時にシャワーヘッド4を上部に取り付けられたヒータ（図示せず）により100から300に加熱する。

20

【0055】

また本発明に係る窒素含有シリコンカーバイド膜を形成する方法は、反応ガスを反応室2内に導入する工程を含む。反応ガスは材料ガス及び添加ガスから成る。材料ガスは、シリコン及び炭化水素から構成されるアルキルシリコン化合物、及びNH₃から成る。アルキルシリコン化合物として好適にはSi(CH₃)₄が使用されるがSiH(CH₃)₃を使用してもよい。添加ガスは不活性ガス若しくは窒素ガスから成る。ここで不活性ガスは、好適にはヘリウムであるが、アルゴン、ネオン、キセノン若しくはクリプトンであってもよい。材料ガスであるSi(CH₃)₄は、質量流量制御器によって100sccmから1500sccm、好適には200sccmから1000sccm、さらに好適には250sccmから500sccmに流量制御されて、ガス流入ポート5からガス導入口32を介しシャワーヘッド4に導入される。材料ガスであるNH₃は質量流量制御器によって100sccmから1500sccm、好適には200sccmから500sccm、さらに好適には250sccmから500sccmに流量制御されて、ガス流入ポート5からガス導入口32を介しシャワーヘッド4に導入される。添加ガスであるヘリウムは、質量流量制御器により1000sccmから15000sccm、好適には2000sccmから10000sccm、さらに好適には3500sccmから6000sccmに流量制御されて、ガス流入ポート5からガス導入口32を介しシャワーヘッド4に導入される。

30

40

【0056】

さらに本発明に係る窒素含有シリコンカーバイド膜を形成する方法は、反応室2内の圧力を200から2660Pa、好適には400から1000Pa、より好適には600から800Paに保持する工程を含む。反応室2内の圧力は圧力計29によってモニターされ、制御装置28に転送される。制御装置28はモニターされた圧力値にตอบสนองして、コンダクタンス調整バルブ21の開度を調節し、反応室2内部を所望の圧力に保持する。

【0057】

さらにまた本発明に係る窒素含有シリコンカーバイド膜を形成する方法は、高周波電力給電システム30'によってシャワーヘッド4に27.12 MHzの第1の高周波電力及び300k

50

Hzから500kHzの第2の高周波電力を重畳して給電する工程を含む。第1の高周波電力は300から1500W、好適には500から1000Wで印加され、第2の高周波電力は30から500W、好適には75から300Wで印加される。高周波電力は高周波伝送手段22により均等に4分割されて、シャワーヘッド4の各給電端子74、75、76、77に給電される。

【0058】

本発明に係る方法に従えば、比誘電率4.0～5.0の窒素含有シリコンカーバイド膜を100nm/min以上の速度で成膜することができた。300mm半導体基板内の膜厚均一性を±1.5%から±3%に抑えることができた。

【0059】

変形的に、窒素含有シリコンカーバイド膜の代わりに酸素含有シリコンカーバイド膜を形成することもできる。その場合には、材料ガスとしてDMDMOS及びCO₂、添加ガスとしてHeを使用する。材料ガスとしてSi(CH₃)₄若しくはSiH(CH₃)₃及びCO₂、O₂若しくはN₂Oを用いることもできる。

【0060】

【実施例】

以下、本発明に係るプラズマ処理装置を使って、炭素含有シリコン酸化膜を形成する実験を行ったので説明する。実験では、材料ガスとしてDM-DMOSを用い、添加ガスとしてヘリウムを用いた。反応ガスの流量及び高周波電力の値を変えた場合について膜特性を評価した。

【0061】

(実験1)

成膜条件：

電極間隔：	25mm	
材料ガス：DM-DMOS	140sccm	
添加ガス：He	50sccm	
高周波電力：	27.12MHz	1700W
基板温度：	385	
圧力：	560Pa	

【0062】

(実験2)

成膜条件：

電極間隔：	25mm	
材料ガス：DM-DMOS	100sccm	
添加ガス：He	80sccm	
高周波電力：	27.12MHz	1600W
基板温度：	385	
圧力：	560Pa	

【0063】

(実験3)

成膜条件：

電極間隔：	25mm	
材料ガス：DM-DMOS	220sccm	
添加ガス：He	80sccm	
高周波電力：	27.12MHz	2500W
基板温度：	385	
圧力：	560Pa	

【0064】

(実験4)

成膜条件：

10

20

30

40

50

電極間隔： 25mm
 材料ガス：DM-DMOS 180sccm
 添加ガス：He 100sccm
 高周波電力： 27.12MHz 2200W
 基板温度： 385
 圧力： 560Pa

【0065】

表1に上記実験条件にて成膜した炭素含有シリコン酸化膜の膜特性を示す。なお、比誘電率の測定には水銀プローブ測定器が用いられた。

【0066】

【表1】

	成長速度 (nm/min)	比誘電 率	屈折率	膜応力 (MPa)	ブレー クダウ ン電圧 (MV/cm)	硬 度 (GPa)	弾性率 (GPa)	膜厚均 一性(%)
実験1	450	2.85	1.42	50	5.6	2.0	10	±1.3
実験2	400	2.93	1.42	60	5.6	2.5	15	±1.5
実験3	550	2.85	1.42	50	5.6	1.9	10	±1.7
実験4	500	2.92	1.42	55	5.6	2.4	13	±1.5

【0067】

表1の結果より、本発明に従えば、比誘電率が低く、機械的強度が高い炭素含有シリコン酸化膜を形成することができた。これは、27.12MHzの高周波電力を印加したことで、反応ガスの過分解が抑制され、シロキサン構造を有する炭素含有シリコン酸化膜が形成されたためであると考えられる。

【0068】

また、表1の結果より、本発明に従えば、300mmの大口径半導体基板上に成膜した場合の膜厚均一性を±1.7%以内に抑えることができた。これは、中空銅管をインダクタとして採用しそれに着脱可能なフェライトコアを適宜挿着したことにより、インピーダンス整合回路から給電端子までの4つの伝送システムのすべてにおいて特性インピーダンス及び電力損失を均一に調整することができたためであると考えられる。

【0069】

次に、本発明に係るプラズマ処理装置を使って、窒素含有シリコンカーバイド膜を形成する実験を行ったので説明する。実験では、材料ガスとしてSi(CH₃)₄及びNH₃を用い、添加ガスとしてヘリウムを用いた。反応ガスの流量、高周波電力の値及び圧力を変えた場合について膜特性を評価した。

【0070】

(実験5)

成膜条件：
 電極間隔： 20mm
 材料ガス：Si(CH₃)₄ 250sccm
 NH₃ 250sccm
 添加ガス：He 2500sccm
 第1高周波電力： 27.12MHz 800W
 第2高周波電力： 400kHz 100W

基板温度： 365
 圧力： 600Pa
【0071】
 (実験6)
 成膜条件：
 電極間隔： 20mm
 材料ガス：Si(CH₃)₄ 350sccm
 NH₃ 350sccm
 添加ガス：He 4500sccm
 第1高周波電力： 27.12MHz 830W
 第2高周波電力： 400kHz 100W
 基板温度： 365
 圧力： 665Pa

【0072】

表2に上記実験条件にて成膜した窒素含有シリコンカーバイド膜の膜特性を示す。なお、比誘電率の測定には水銀プローブ測定器が用いられた。リーク電流測定用に印加された電圧は2MV/cmである。

【0073】**【表2】**

	成長速度 (nm/min)	比誘電率	屈折率	膜応力 (MPa)	リーク電流 10 ⁻⁹ (A/cm ²)	膜厚均一性 (%)
実験5	100	4.55	1.99	-250	5.0	±1.8
実験6	100	4.40	1.90	-210	2.0	±1.6

【0074】

表2の結果より、本発明に従えば、比誘電率が低く、リーク電流の小さい窒素含有シリコンカーバイド膜を形成することができた。これは、27.12MHz及び400kHzの高周波電力を重畳して印加したことで、反応ガス中のアルキル基の過分解が抑制され、水素をメチル基として取り込んだ窒素含有シリコンカーバイド膜が形成されたためであると考えられる。

【0075】

また、表2の結果より、本発明に従えば、300mmの大口径半導体基板上に成膜した場合の膜厚均一性を±1.8%以内に抑えることができた。これは、中空銅管をインダクタとして採用しそれに着脱可能なフェライトコアを適宜挿着したことにより、インピーダンス整合回路から給電端子までの4つの伝送システムのすべてにおいて特性インピーダンス及び電力損失を均一に調整することができたためであると考えられる。

【0076】**【効果】**

本発明に係るプラズマ処理装置により、直径300mmの大面積半導体基板上への成膜において±3%以下の膜厚均一性を達成することができた。

【0077】

また、本発明に係る炭素含有シリコン酸化膜の形成方法により、27.12MHzの高周波電力を使って、誘電率が低くかつ機械的強度が高い炭素含有シリコン酸化膜を形成することができた。

【0078】

さらに、本発明に係る窒素含有シリコンカーバイド膜の形成方法により、27.12MHzの高周波電力を使って、誘電率が低くかつリーク電流の小さい窒素含有シリコンカーバイド

10

20

30

40

50

膜を形成することができた。

【図面の簡単な説明】

【図 1】図 1 は、本発明に従うプラズマ処理装置の断面略示図である。

【図 2】図 2 は、本発明に従うプラズマ処理装置の高周波電力給電システムの概要を示したものである。

【図 3】図 3 は、図 2 の高周波電力給電システムの変形例を示す。

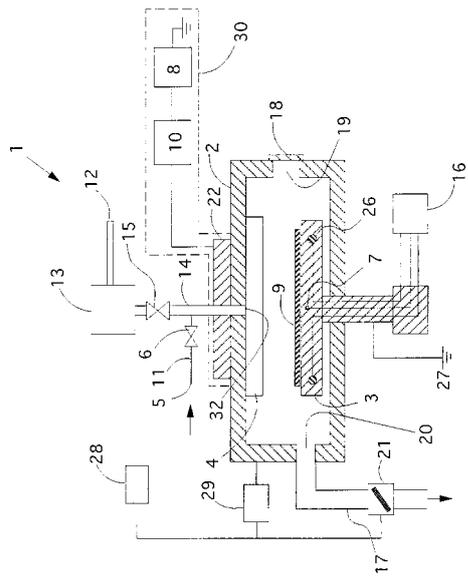
【図 4】図 4 は、本発明に従うプラズマ処理装置に用いられる高周波伝送手段の好適実施例の斜視図である。

【図 5】図 5 は、本発明に従うプラズマ処理装置に用いられる反応室の拡大図である。

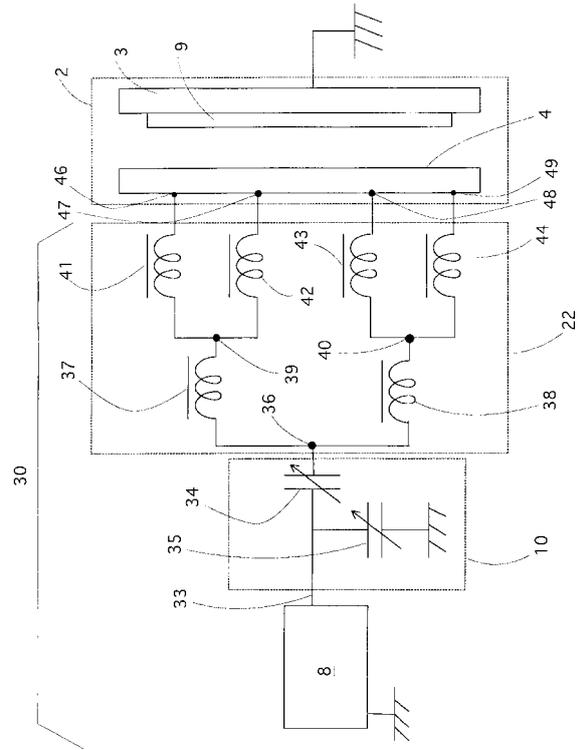
【符号の説明】

1	プラズマ処理装置	
2	反応室	
3	サセプタ	
4	シャワーヘッド	
5	反応ガス流入ポート	
6	バルブ	
7	熱電対	
8	高周波電源	
9	半導体基板	
10	インピーダンス整合回路	10
11	反応ガス導入配管	
12	クリーニングガス流入ポート	
13	遠隔プラズマ室	
14	ガス導入管	
15	バルブ	
16	温度制御器	
17	配管	
18	ゲートバルブ	
19	開口部	
20	排気口	30
21	コンダクタンス調整バルブ	
22	高周波電力伝送手段	
26	シースヒータ	
27	接地	
28	圧力制御装置	
29	圧力計	
30	高周波電力給電システム	
32	ガス導入口	

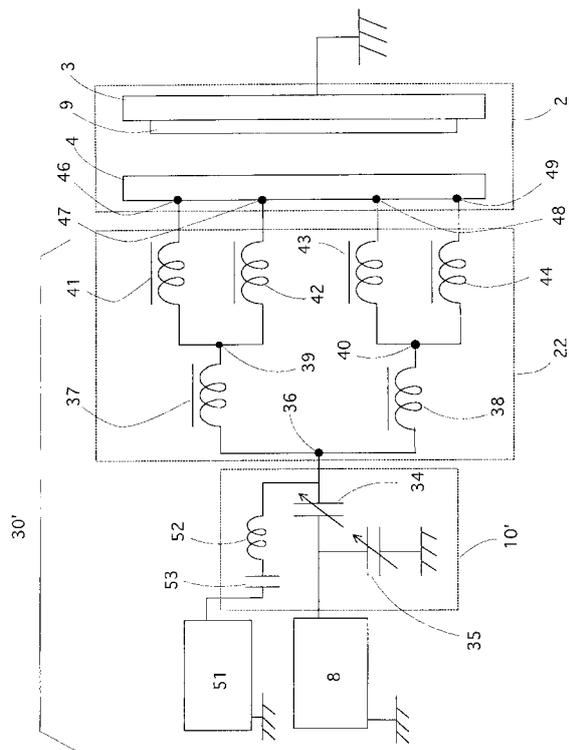
【 図 1 】



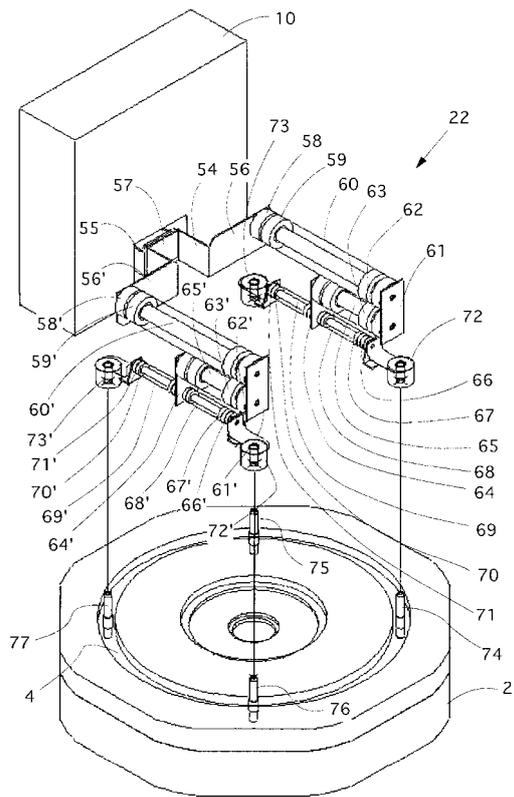
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(72)発明者 佐藤 清志

東京都多摩市永山6丁目23番1日本エー・エス・エム株式会社内

審査官 今井 淳一

(56)参考文献 特開平11-340150(JP,A)

特開平04-290428(JP,A)

特開平06-268435(JP,A)

特開平10-125669(JP,A)

特開2002-353209(JP,A)

特開2002-093805(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C23C 16/42

C23C 16/509

H01L 21/316

H05H 1/46