

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被処理体が収容されるチャンバーと、
マイクロ波を発生させるマイクロ波発生源と、
マイクロ波発生源で発生されたマイクロ波を前記チャンバーに向けて導く導波手段と、
前記導波手段に導かれたマイクロ波を前記チャンバーに向けて放射する複数のマイクロ波放射孔を有する導体からなる平面アンテナと、
前記チャンバーの天壁を構成し、前記平面アンテナのマイクロ波放射孔を通過したマイクロ波を透過する、誘電体からなるマイクロ波透過板と、
前記平面アンテナの前記マイクロ波透過板と反対側に設けられ、前記平面アンテナに到達するマイクロ波の波長を短くする機能を有する、誘電体からなる遅波板と、
前記チャンバー内に処理ガスを供給する処理ガス供給手段と
を有し、
マイクロ波によって前記チャンバー内に処理ガスのプラズマを形成し、そのプラズマにより被処理体にプラズマ処理を施すマイクロ波プラズマ処理装置であって、
前記平面アンテナと前記マイクロ波透過板とは実質的に空気を介さずに密着して形成されており、
前記遅波板と前記マイクロ波透過板とは同じ材質で形成され、
遅波板、平面アンテナ、マイクロ波透過板、プラズマで形成される等価回路が、共振条件を満たすことを特徴とするマイクロ波プラズマ処理装置。 10 20

【請求項 2】

被処理体が収容されるチャンバーと、
マイクロ波を発生させるマイクロ波発生源と、
マイクロ波発生源で発生されたマイクロ波を前記チャンバーに向けて導く導波手段と、
前記導波手段に導かれたマイクロ波を前記チャンバーに向けて放射する複数のマイクロ波放射孔を有する導体からなる平面アンテナと、
前記チャンバーの天壁を構成し、前記平面アンテナのマイクロ波放射孔を通過したマイクロ波を透過する、誘電体からなるマイクロ波透過板と、
前記平面アンテナの前記マイクロ波透過板と反対側に設けられ、前記平面アンテナに到達するマイクロ波の波長を短くする機能を有する、誘電体からなる遅波板と、
前記チャンバー内に処理ガスを供給する処理ガス供給手段と
を有し、
マイクロ波によって前記チャンバー内に処理ガスのプラズマを形成し、そのプラズマにより被処理体にプラズマ処理を施すマイクロ波プラズマ処理装置であって、
前記平面アンテナと前記マイクロ波透過板とは実質的に空気を介さずに密着して形成されており、
前記遅波板と前記マイクロ波透過板とは、これらの誘電率の値の比が 70% ~ 130% となるような材質で形成され、
遅波板、平面アンテナ、マイクロ波透過板、プラズマで形成される等価回路が、共振条件を満たすことを特徴とするマイクロ波プラズマ処理装置。 30 40

【請求項 3】

前記マイクロ波透過板の厚さは、導入されるマイクロ波の波長の $1/2 \sim 1/4$ の範囲であり、前記平面アンテナのマイクロ波反射率が 0.4 ~ 0.8 の範囲であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記導波手段は、前記マイクロ波発生源から発生したマイクロ波を TE モードで伝搬する矩形導波管と、TE モードを TEM モードに変換するモード変換器と、TEM モードに変換されたマイクロ波を前記平面アンテナに向けて伝搬する同軸導波管とを有することを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 5】

前記平面アンテナに形成された複数マイクロ波放射孔は、長溝状をなし、隣接するマイクロ波放射孔同士が交差するように配置され、これら複数のマイクロ波放射孔が同心円状に配置されていることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記遅波板および平面アンテナを覆うように設けられた蓋体をさらに具備することを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 7】

前記蓋体には冷媒流路が設けられており、この冷媒流路に冷媒を通流させることにより、前記遅波板、平面アンテナ、前記マイクロ波透過板を冷却することを特徴とする請求項 6 に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。 10

【請求項 8】

マイクロ波の周波数は 2 . 4 5 G H z であり、遅波板とマイクロ波透過板の比誘電率は 3 . 5 ~ 4 . 5 であり、スロットは二重に配されていることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 9】

遅波板とマイクロ波透過板は石英であり、マイクロ波プラズマ装置はプラズマエッチング装置あるいはプラズマ表面改質装置であることを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項 10】

遅波板とマイクロ波透過板はアルミナであり、マイクロ波プラズマ装置はプラズマ C V D 装置であることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載のマイクロ波プラズマ処理装置。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被処理体にマイクロ波プラズマによる処理を施すマイクロ波プラズマ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

プラズマ処理は、半導体デバイスの製造に不可欠な技術であるが、近時、L S I の高集積化、高速化の要請から L S I を構成する半導体素子のデザインルールが益々微細化され、また、半導体ウエハが大型化されており、それにともなって、プラズマ処理装置においてもこのような微細化および大型化に対応するものが求められている。 30

【0003】

ところが、従来から多用されてきた平行平板型や誘導結合型のプラズマ処理装置では、電子温度が高いために微細素子にプラズマダメージを生じてしまい、また、プラズマ密度の高い領域が限定されるため、大型の半導体ウエハを均一かつ高速にプラズマ処理することは困難である。

【0004】

そこで、高密度で低電子温度のプラズマを均一に形成することができる R L S A (Radial Line Slot Antenna) マイクロ波プラズマ処理装置が注目されている (例えば特許文献 1) 。 40

【0005】

R L S A マイクロ波プラズマ処理装置は、チャンバーの上部に所定のパターンで多数のスロットが形成された平面アンテナ (Radial Line Slot Antenna) を設け、マイクロ波発生源から導かれたマイクロ波を、平面アンテナのスロットから放射させるとともに、その下に設けられた誘電体からなるマイクロ波透過板を介して真空中に保持されたチャンバー内に放射し、このマイクロ波電界によりチャンバー内に導入されたガスをプラズマ化し、このように形成されたプラズマにより半導体ウエハ等の被処理体を処理するものである。 50

【 0 0 0 6 】

この R L S A マイクロ波プラズマ処理装置では、アンテナ直下の広い領域に亘って高いプラズマ密度を実現でき、短時間で均一なプラズマ処理を行うことが可能である。また、低電子温度プラズマが形成されるため、素子へのダメージ小さい。

【 0 0 0 7 】

この R L S A マイクロ波プラズマ処理装置においては、マイクロ波透過板におけるマイクロ波電界分布を調整し、プラズマモードを安定させるために、平面アンテナとマイクロ波透過板との間にエアーギャップを設ける技術が知られている（非特許文献 1）。

【 0 0 0 8 】

しかしながら、このように平面アンテナとマイクロ波透過板との間にエアーギャップを設けると、マイクロ波透過板を構成する誘電体よりもエアーギャップのインピーダンスが高いため、エアーギャップでのマイクロ波パワーロスが大きい。その結果、マイクロ波パワー効率の低下や、アンテナ内部での異常放電が発生しやすくなってしまう。

【特許文献 1】特開 2 0 0 0 - 2 9 4 5 5 0 号公報

【非特許文献 1】Jpn. Appl. Phys. Vol.38 (1999) pp.2082-2088 Part I, No. 4A, April 1999

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、マイクロ波パワーのロスが小さく、マイクロ波パワー効率の低下やアンテナ内部での異常放電が発生し難いマイクロ波プラズマ処理装置を提供することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

上記課題を解決するために、本発明は、被処理体が収容されるチャンバーと、マイクロ波を発生させるマイクロ波発生源と、マイクロ波発生源で発生されたマイクロ波を前記チャンバーに向けて導く導波手段と、前記導波手段に導かれたマイクロ波を前記チャンバーに向けて放射する複数のマイクロ波放射孔を有する導体からなる平面アンテナと、前記チャンバーの天壁を構成し、前記平面アンテナのマイクロ波放射孔から放射したマイクロ波を透過する、誘電体からなるマイクロ波透過板と、前記平面アンテナの前記マイクロ波透過板と反対側に設けられ、前記平面アンテナに到達するマイクロ波の波長を短くする機能を有する、誘電体からなる遅波板と、前記チャンバー内に処理ガスを供給する処理ガス供給手段とを有し、マイクロ波によって前記チャンバー内に処理ガスのプラズマを形成し、そのプラズマにより被処理体にプラズマ処理を施すマイクロ波プラズマ処理装置であって、前記平面アンテナと前記マイクロ波透過板とは実質的に空気を介さずに密着して形成されており、前記遅波板と前記マイクロ波透過板とは同じ材質で形成され、遅波板、平面アンテナ、マイクロ波透過板、プラズマで形成される等価回路が、共振条件を満たすことを特徴とするマイクロ波プラズマ処理装置を提供する。

【 0 0 1 1 】

また、本発明は、被処理体が収容されるチャンバーと、マイクロ波を発生させるマイクロ波発生源と、マイクロ波発生源で発生されたマイクロ波を前記チャンバーに向けて導く導波手段と、前記導波手段に導かれたマイクロ波を前記チャンバーに向けて放射する複数のマイクロ波放射孔を有する導体からなる平面アンテナと、前記チャンバーの天壁を構成し、前記平面アンテナのマイクロ波放射孔を通過したマイクロ波を透過する、誘電体からなるマイクロ波透過板と、前記平面アンテナの前記マイクロ波透過板と反対側に設けられ、前記平面アンテナに到達するマイクロ波の波長を短くする機能を有する、誘電体からなる遅波板と、前記チャンバー内に処理ガスを供給する処理ガス供給手段とを有し、マイクロ波によって前記チャンバー内に処理ガスのプラズマを形成し、そのプラズマにより被処理体にプラズマ処理を施すマイクロ波プラズマ処理装置であって、前記平面アンテナと前記マイクロ波透過板とは実質的に空気を介さずに密着して形成されており、前記遅波板と

前記マイクロ波透過板とは、これらの誘電率の値の比が70%～130%となるような材質で形成され、遅波板、平面アンテナ、マイクロ波透過板、プラズマで形成される等価回路が、共振条件を満たすことを特徴とするマイクロ波プラズマ処理装置を提供する。

【0012】

上記いずれの発明においても前記マイクロ波透過板の厚さは、導入されるマイクロ波の波長の $1/2 \sim 1/4$ の範囲、より好ましくは $1/2 \sim 1/3$ の範囲であり、前記平面アンテナのマイクロ波反射率が $0.4 \sim 0.8$ の範囲である。これにより、上記等価回路が共振条件を満たし得る。

【0013】

前記導波手段としては、前記マイクロ波発生源から発生したマイクロ波をTEモードで伝搬する矩形導波管と、TEモードをTEMモードに変換するモード変換器と、TEMモードに変換されたマイクロ波を前記平面アンテナに向けて伝搬する同軸導波管とを有するものを採用することができる。

【0014】

また、前記平面アンテナに形成された複数マイクロ波放射孔としては、長溝状をなし、隣接するマイクロ波放射孔同士が交差するように配置され、これら複数のマイクロ波放射孔が同心円状に配置されるものを好適に用いることができる。

【0015】

さらに、前記遅波板および平面アンテナを覆うように設けられた蓋体をさらに具備することができ、その場合には、前記蓋体には冷媒流路が設けられており、この冷媒流路に冷媒を通流させることにより、前記遅波板、平面アンテナ、前記マイクロ波透過板を冷却することが好ましい。

【0016】

さらにまた、周波数は2.45GHzであり、遅波板とマイクロ波透過板の比誘電率は $3.5 \sim 4.5$ であり、スロットは二重に配されている構成とすることができる。

【0017】

さらにまた、遅波板とマイクロ波透過板が石英である場合に、マイクロ波プラズマ装置がプラズマエッチング装置あるいはプラズマ表面改質装置とであることが好ましい。

【0018】

さらにまた、遅波板とマイクロ波透過板がアルミナである場合に、マイクロ波プラズマ装置がプラズマCVD装置であることが好ましい。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、平面アンテナとマイクロ波透過板との間が密着した状態となっており、従来のようなエアーギャップが形成されていないため、エアーギャップでマイクロ波パワーロスが生じることがなく、マイクロ波パワー効率の低下やアンテナ内部での異常放電を発生し難くすることができる。

【0020】

また、単にエアーギャップをなくしただけでは、マイクロ波の反射が大きくなり、プラズマの安定性が悪くなるおそれがあるが、本発明によれば、遅波板、平面アンテナ、マイクロ波透過板、およびプラズマで形成される等価回路が共振するようにしてマイクロ波の反射を極小にし、かつ、遅波板とマイクロ波透過板を同じ材質、あるいはこれらの誘電率の値の比が70%～130%となるような材質としてマイクロ波の界面反射を防止するようにしたので、プラズマを安定に維持しつつマイクロ波パワー効率の低下やアンテナ内部での異常放電を発生し難くすることができる。

【0021】

さらに、前記遅波板および平面アンテナを覆うように蓋体を設け、この蓋体に冷媒流路を設け、この冷媒流路に冷媒を通流させることにより、前記遅波板、平面アンテナ、前記マイクロ波透過板を冷却する場合には、エアーギャップが存在しないことにより従来熱伝導性の低いエアーギャップの存在により冷却効率が悪かったマイクロ波透過板の冷却を十

10

20

30

40

50

分行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態について具体的に説明する。

図1は、本発明の一実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置を模式的に示す断面図である。

【0023】

このマイクロ波プラズマ処理装置100は、所定のパターンで多数のスロットが形成された平面アンテナ(Radial Line Slot Antenna)を利用してマイクロ波発生源から導かれたマイクロ波をチャンバー内に放射し、プラズマを形成するRLSAマイクロ波プラズマ処理装置として構成されている。

10

【0024】

このマイクロ波プラズマ処理装置100は、気密に構成されかつ接地された略円筒状のチャンバー1を有している。チャンバー1の底壁1aの略中央部には円形の開口部10が形成されており、底壁1aにはこの開口部10と連通し、下方に向けて突出する排気室11が設けられている。チャンバー1内には被処理基板であるウエハWを水平に支持するためのA1N等のセラミックスからなるサセプタ2が設けられている。このサセプタ2は、排気室11の底部中央から上方に延びる円筒状のA1N等のセラミックスからなる支持部材3により支持されている。サセプタ2の外縁部にはウエハWをガイドするためのガイドリング4が設けられている。また、サセプタ2には抵抗加熱型のヒータ5が埋め込まれており、このヒータ5はヒータ電源6から給電されることによりサセプタ2を加熱して、その熱で被処理体であるウエハWを加熱する。チャンバー1の内周には、石英からなる円筒状のライナー7が設けられている。

20

【0025】

サセプタ2には、ウエハWを支持して昇降させるためのウエハ支持ピン(図示せず)がサセプタ2の表面に対して突没可能に設けられている。

【0026】

チャンバー1の側壁には環状をなすガス導入部材15が設けられており、このガス導入部材15には処理ガス供給系16が接続されている。ガス導入部材はシャワー状に配置してもよい。この処理ガス供給系16から所定の処理ガスがガス導入部材15を介してチャンバー1内に導入される。処理ガスとしては、プラズマ処理の種類に応じて適宜のものが用いられる。例えば、タングステン系ゲート電極の選択酸化処理のような酸化処理を行う場合には、Arガス、H₂ガス、O₂ガス等が用いられる。

30

【0027】

上記排気室11の側面には排気管23が接続されており、この排気管23には高速真空ポンプを含む排気装置24が接続されている。そしてこの排気装置24を作動させることによりチャンバー1内のガスが、排気室11の空間11a内へ均一に排出され、排気管23を介して排気される。これによりチャンバー1内は所定の真空度、例えば0.133Paまで高速に減圧することが可能となっている。

【0028】

チャンバー1の側壁には、プラズマ処理装置100に隣接する搬送室(図示せず)との間でウエハWの搬入出を行うための搬入出口25と、この搬入出口25を開閉するゲートバルブ26とが設けられている。

40

【0029】

チャンバー1の上部は開口部となっており、この開口部の周縁部に沿ってリング状の支持部27が設けられており、この支持部27に誘電体、例えば石英やAl₂O₃等のセラミックスからなり、マイクロ波を透過するマイクロ波透過板28がシール部材29を介して気密に設けられている。したがって、チャンバー1内は気密に保持される。

【0030】

マイクロ波透過板28の上方には、サセプタ2と対向するように、円板状の平面アンテ

50

ナ 3 1 が設けられている。この平面アンテナ 3 1 はチャンバー 1 の側壁上端に係止されている。平面アンテナ 3 1 は、導体、例えば表面が金メッキされた銅板またはアルミニウム板からなり、多数のマイクロ波放射孔（スロット）3 2 が所定のパターンで貫通して形成された構成となっている。すなわち、平面アンテナ 3 1 は R L S A アンテナを構成している。このマイクロ波放射孔 3 2 は、例えば図 2 に示すように長溝状をなし、隣接するマイクロ波放射孔 3 2 同士が交差するように、典型的には図示のように直交するように（「T」字状に）配置され、これら複数のマイクロ波放射孔 3 2 が同心円状に配置されている。マイクロ波放射孔 3 2 の長さや配列間隔は、マイクロ波の波長等に応じて決定される。なお、図 2 において、同心円状に形成された隣接するマイクロ波放射孔 3 2 同士の間隔 r （中心から一番内側のマイクロ波放射孔 3 2 までの間隔も同じ）を後述する遅波板 3 3 中におけるマイクロ波の波長とし、平面アンテナ 3 1 の中心から最内周のマイクロ波放射孔 3 2 までの長さも r とすると、ここから強い電界が放射されることとなり好ましく、図示例では 4 ターンのマイクロ波放射孔が配置されている。また、マイクロ波放射孔 3 2 は、円形状、円弧状等の他の形状であってもよい。また、マイクロ波放射孔 3 2 の配置形態は特に限定されず同心円状の他、例えば、螺旋状、放射状に配置することもできる。

【0031】

この平面アンテナ 3 1 の上面には、真空よりも大きい誘電率を有する誘電体からなる遅波板 3 3 が設けられている。この遅波板 3 3 は、真空中におけるマイクロ波の波長よりも遅波板中におけるマイクロ波の波長を短くする機能を有している。

【0032】

チャンバー 1 の上面には、これら平面アンテナ 3 1 および遅波板 3 3 を覆うように、例えばアルミニウムやステンレス鋼等の金属材料からなるシールド蓋体 3 4 が設けられている。チャンバー 1 の上面とシールド蓋体 3 4 とはシールド部材 3 5 によりシールドされている。

【0033】

シールド蓋体 3 4 には、冷却水流路 3 4 a が形成されており、そこに冷却水を通流させることにより、平面アンテナ 3 1、マイクロ波透過板 2 8、遅波板 3 3、シールド蓋体 3 4 を冷却するようになっている。なお、シールド蓋体 3 4 は接地されている。

【0034】

シールド蓋体 3 4 の上壁の中央には開口部 3 6 が形成されており、この開口部には導波管 3 7 が接続されている。この導波管 3 7 の端部には、マッチング回路 3 8 を介してマイクロ波発生装置 3 9 が接続されている。これにより、マイクロ波発生装置 3 9 で発生した例えば周波数 2 . 4 5 G H z のマイクロ波が導波管 3 7 を介して上記平面アンテナ部材 3 1 へ伝搬されるようになっている。なお、マイクロ波の周波数としては、8 . 3 5 G H z、1 . 9 8 G H z 等を用いることもできる。

【0035】

導波管 3 7 は、上記シールド蓋体 3 4 の開口部 3 6 から上方へ延出する断面円形状の同軸導波管 3 7 a と、この同軸導波管 3 7 a の上端部に接続された水平方向に延びる断面矩形状の矩形導波管 3 7 b とを有している。矩形導波管 3 7 b の同軸導波管 3 7 a との接続部側の端部にはモード変換器 4 0 が設けられている。同軸導波管 3 7 a の中心には内導体 4 1 が延在しており、この内導体 4 1 の下端部は平面アンテナ 3 1 の中心に接続固定されている。

【0036】

プラズマ処理装置 1 0 0 の各構成部は、プロセスコントローラ 5 0 に接続されて制御される構成となっている。プロセスコントローラ 5 0 には、工程管理者がプラズマ処理装置 1 0 0 を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードや、プラズマ処理装置 1 0 0 の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等からなるユーザーインタフェース 5 1 が接続されている。

【0037】

また、プロセスコントローラ 5 0 には、プラズマ処理装置 1 0 0 で実行される各種処理をプロセスコントローラ 5 0 の制御にて実現するための制御プログラムや処理条件データ

10

20

30

40

50

等が記録されたレシピが格納された記憶部 5 2 が接続されている。

【 0 0 3 8 】

そして、必要に応じて、ユーザインタフェース 5 1 からの指示等にて任意のレシピを記憶部 5 2 から呼び出してプロセスコントローラ 5 0 に実行させることで、プロセスコントローラ 5 0 の制御下で、プラズマ処理装置 1 0 0 での所望の処理が行われる。

【 0 0 3 9 】

次に、本実施形態における遅波板 3 3、平面アンテナ 3 1、マイクロ波透過板 2 8 についてさらに詳細に説明する。

本実施形態においては、図 1 に示すように、平面アンテナ 3 1 とマイクロ波透過板 2 8 との間が密着した状態となっており、従来のようなエアーギャップが形成されていない。また、遅波板 3 3 と平面アンテナ 3 1 との間も密着されている。しかし、単にエアーギャップをなくすと、モード変換器 4 0 から見たマイクロ波の反射が大きくなり、プラズマの安定性が悪くなるとともに、効率的にも劣るものとなる。

【 0 0 4 0 】

そこで、本実施形態においては、遅波板 3 3、平面アンテナ 3 1、マイクロ波透過板 2 8、およびプラズマで形成される図 3 に示すような等価回路が共振条件を満たすようにし、かつ、遅波板 3 3 とマイクロ波透過板 2 8 を同じ材質とする。上記等価回路が共振条件を満たすようにすることにより、マイクロ波の反射を極小にすることができ、また遅波板 3 3 とマイクロ波透過板 2 8 を同じ材質とすることによりマイクロ波の界面反射を防止することができる。これにより、プラズマの安定性を高くしつつマイクロ波パワーの効率を高く維持することができる。

【 0 0 4 1 】

遅波板 3 3 およびプラズマ透過板 2 8 はコンデンサーとして機能し、平面アンテナ 3 1 は抵抗として機能し、プラズマはコイルとして機能し、図 3 の等価回路に示すように、遅波板 3 3 のキャパシタンスを C_1 、プラズマ透過板 2 8 のキャパシタンスを C_2 、平面アンテナ 3 1 の抵抗を R 、プラズマのインダクタンスを L とし、さらにマイクロ波の周波数を f とすると、共振となるためには、以下の (1) 式が成り立つ必要がある。

【数 1】

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 C は、 $C = 1 / \{ (1 / C_1) + (1 / C_2) \}$ である。

【 0 0 4 2 】

このような共振条件を満たすためには、キャパシタンスを規定するマイクロ波透過板 2 8 の厚さが、マイクロ波透過板 2 8 中におけるマイクロ波の波長の $1/2 \sim 1/4$ ($1/2 \sim 1/4$) の範囲であること、および平面アンテナ 3 1 のモード変換器 4 0 から見たマイクロ波反射率 (パワー反射係数) が $0.4 \sim 0.8$ の範囲内であることが必要である。

【 0 0 4 3 】

マイクロ波透過板 2 8 の厚さに関しては、共振条件を規定する上記 (1) 式は、キャパシタンスの項が含まれており、キャパシタンスの大きさは厚さに反比例する。ここでキャパシタンス C_1 (遅波板 3 3) は薄い方が効率良く平面アンテナ 3 1、マイクロ波透過板 2 8 を冷却することができるので、キャパシタンス C の大きさに対して、より支配的となるキャパシタンス C_2 (マイクロ波透過板 2 8) の厚さを共振となり得る範囲に規定する。マイクロ波透過板 2 8 の厚さが導入されるマイクロ波の波長の $1/2$ より大きい $1/3$ より小さいと共振条件領域が狭くなり、さらに $1/4$ より小さくなると共振することは困難となる。

【 0 0 4 4 】

ここで、マイクロ波透過板 2 8 の厚さとしては、図 4 の (a) に示すように、その形状が平坦な場合には、その実際の厚さ d_1 が用いられ、その際のマイクロ波透過板 2 8 のキ

10

20

30

40

50

ャパシタンスを C_F 、その比誘電率を ϵ_0 とし、表面積を S_1 とすると、以下の (2) 式が成り立つ。

$$C_F = \epsilon_0 (S_1 / d_1) \quad \dots (2)$$

一方、マイクロ波透過板 28 が複雑形状の場合には、その厚さとしては、キャパシタンスの計算式から求めた相当厚さ d_2 を用いる。すなわち、複雑形状のマイクロ波透過板 28 のキャパシタンスを C_C 、表面積を S_2 とすると、以下の (3) 式が成り立つ。ここで表面積 S_2 は必ず求められるから、複雑形状で d_2 が求めにくい場合は C_C を実測した後、この式から逆算して相当厚さ d_2 をマイクロ波透過板 28 の厚さとすることができる。

$$C_C = \epsilon_0 (S_2 / d_2) \quad \dots (3)$$

なお、この際の相当厚さ d_2 は、図 4 の (b) に示すような凹凸の平均厚さに相当する。 10

【0045】

平面アンテナ 31 のマイクロ波反射率を 0.4 ~ 0.8 の範囲内としたのは、反射率が 0.4 より低いと周波数が変化した際の位相の変化が大きいの共共振条件に調整することが困難となり、0.8 を超えると本質的に共振条件を満たし難くなるからである。

【0046】

なお遅波板 33 とマイクロ波透過板 28 とは、同一材質である方が好ましいが、異なる材質であってもその誘電率の比が 70 % から 130 % の範囲であれば、必ず共振させ得るということがシミュレーションにより確認されている。

【0047】

このように構成されたプラズマ処理装置 100 においては、まず、ゲートバルブ 26 を開にして搬入出口 25 から被処理体であるウエハ W をチャンバー 1 内に搬入し、サセプタ 2 上に載置する。 20

【0048】

そして、ガス供給系 16 から所定の処理ガスをガス導入部材 15 を介してチャンバー 1 内に導入し、所定の圧力に維持する。例えば、タングステン系ゲート電極の選択酸化処理のような酸化処理を行う場合には、処理ガスとして Ar ガス、 H_2 ガス、 O_2 ガス等をチャンバー 1 内に導入し、チャンバー 1 内の圧力を例えば 3 ~ 700 Pa とする。

【0049】

次いで、マイクロ波発生装置 39 からのマイクロ波をマッチング回路 38 を経て導波管 37 に導く。マイクロ波は、矩形導波管 37 b、モード変換器 40、および同軸導波管 37 a、遅波板 33 を順次通って平面アンテナ部材 31 に供給され、平面アンテナ部材 31 からマイクロ波透過板 28 を経てチャンバー 1 内におけるウエハ W の上方空間に放射される。マイクロ波は、矩形導波管 37 b 内では TE モードで伝搬し、この TE モードのマイクロ波はモード変換器 40 で TEM モードに変換されて、同軸導波管 37 a 内を平面アンテナ部材 31 に向けて伝搬されていく。 30

【0050】

平面アンテナ部材 31 からマイクロ波透過板 28 を経てチャンバー 1 に放射されたマイクロ波によりチャンバー 1 内では導入された処理ガスがプラズマ化し、このプラズマにより酸化処理等の所定の処理が行われる。 40

【0051】

本実施形態のマイクロ波プラズマ処理装置 100 は、略 $10^{12} / \text{cm}^3$ 以上の高プラズマ密度でかつ略 1.5 eV 以下の低電子温度プラズマを実現することができる。このため、低温かつ短時間でプラズマ処理を行うことができ、しかも下地膜へのイオン等のプラズマダメージが小さい等のメリットがある。

【0052】

また、本実施形態においては、図 1 に示すように、平面アンテナ 31 とマイクロ波透過板 28 との間が密着した状態となっており、従来のようなエアーギャップが形成されていないため、エアーギャップでマイクロ波パワーロスが生じることがない。またマイクロ波パワー効率の低下や、アンテナ内部におけるマイクロ波放射孔 (スロット) 32 のギャッ 50

ブ間、遅波板 33 周辺にて発生しやすい異常放電を防止することができる。

【0053】

しかし、単にエアーギャップをなくしただけでは、モード変換器 40 から見たマイクロ波の反射が大きくなり、プラズマの安定性が悪くなるおそれがある。これに対して、本実施形態においては、遅波板 33、平面アンテナ 31、マイクロ波透過板 28、およびプラズマで形成される等価回路が共振するようにしてマイクロ波の反射を極小にし、かつ、遅波板 33 とマイクロ波透過板 28 を同じ材質としてマイクロ波の界面反射を防止するようにしたので、プラズマを安定に維持しつつマイクロ波パワー効率の低下やアンテナ内部での異常放電が発生し難くすることができる。なお、平面アンテナ 31 とマイクロ波透過板 28 は、その間に実質的に空気を介さずに密着していればよく、密着誤差や、熱膨張等によるわずかな隙間があっても 0.1 mm 以下であれば許容される。

【0054】

また、平面アンテナ 31 とマイクロ波透過板 28 との間には熱伝導性の低い、エアーギャップが存在しないので、シールド蓋体 34 に形成された冷却水流路 34a に冷却水を流通させて、平面アンテナ 31、マイクロ波透過板 28、遅波板 33、シールド蓋体 34 を冷却する際に、従来冷却効率が悪かったマイクロ波透過窓 28 を効率良く冷却することができる。

【0055】

次に、本発明の効果を確認した実験について説明する。

ここでは、遅波板 33、平面アンテナ 31、プラズマ透過板 28 を以下のようにした。

遅波板：石英製、径 329 mm、厚さ 7 mm

平面アンテナ：径 344 mm、厚さ 0.3 mm

プラズマ透過板：石英製、径 362 mm、厚さ 31.3 mm (=1/2)、フラットタイプ、平面アンテナに密着した一体型

【0056】

また、電気特性を以下のようにした。

周波数：2.45 GHz

パワー密度：2.67 W/cm² (at 2750 W)、2.91 W/cm² (at 3000 W)

入力インピーダンス：50 (2.45 GHz)

パワー反射係数：0.75 (2.45 GHz)

【0057】

以上の条件で、プラズマ透過板の中における電界分布のシミュレーションを行った。解析条件としては、プラズマ放射孔（スロット）を図 5 に示すように 2 ターン形成し、長溝状の隣接するマイクロ波放射孔 32 同士が「L」字状に配置され、これら複数のマイクロ波放射孔 32 が同心円状に配置されたものとし、プラズマ密度は 1×10^{12} / cm³ とした。その結果、図 5 に示すように、電界分布は比較的均一であり、 3×10^2 V/m 以上の高い電界強度の部分が多く、 4×10^2 V/m 以上の部分も見られ、マイクロ波パワーのロスが少ないことが確認された。

【0058】

以上の条件で実際にプラズマを形成し、電子温度分布および電子密度分布を求めた。その際の処理ガスとして Ar を用い、チャンバー内圧力を 1 Torr (133 Pa) とし、マイクロ波パワーを 2750 W とした。図 6 に電子温度分布を示し、図 7 に電子密度分布を示す。

【0059】

図 6 に示すように、電子温度が 1.6 eV 以下でかつその分布のばらつきが小さく、また、図 7 に示すように、電子密度がほぼ 1×10^{12} / cm³ 以上でかつその分布のばらつきも小さく、低電子温度かつ高密度のプラズマが安定して形成されていることが確認された。

【0060】

10

20

30

40

50

次に、本発明に係るマイクロ波プラズマ処理装置と、従来のエアーギャップを設けたマイクロ波プラズマ処理装置とで、マイクロ波透過板の中におけるマイクロ波電界強度をシミュレーションした結果について説明する。条件は、本発明の場合、遅波板 33、平面アンテナ 31、プラズマ透過板 28 および電気特性を上記効果確認のための実験と同様とし、またプラズマ密度は $1 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ とし、従来例の場合には、これらに加えてエアーギャップの長さを 20 mm とした。この際の結果を図 8 (a) および (b) に示す。(a) に示すように、本発明の装置では $1.75 \times 10^1 \text{ V/m}$ 以上という高いマイクロ波電界強度の部分が見られるが、(b) に示すように、従来技術では 5 V/m 以下の低い部分が多く、本発明により従来よりもマイクロ波電解強度が著しく高まることがわかった。また、マイクロ波電界強度の均一性は本発明と従来技術とで大きな差がみられないことが判明した。 10

【0061】

いままで述べてきたような本発明の思想に基づく好適な半導体製造装置として、マイクロ波透過板 28 と遅波板 33 とがアルミナ (Al_2O_3) により構成される装置、あるいはこれらが石英 (SiO_2) により構成される装置を挙げることができる。

【0062】

マイクロ波透過板 28 と遅波板 33 とがアルミナにより構成される装置が好適に適用される例としては、プラズマ CVD 装置を挙げることができる。これは、マイクロ波透過板 28 とプラズマの活性種等とが反応しマイクロ波透過板 28 を構成する元素を含むガスが発生した場合、これが被処理体上に成膜している膜中に取り込まれ膜質を劣化させる可能性があるが、ここでマイクロ波透過板 28 がアルミナ製であればアルミナは緻密であるため、例えば石英等に比べて酸素の放出量が 1 桁程度低くなるためである。また例えばアルミナと他の材料を積層してなる、アルミナに近い誘電率を持つ異なる材料にてマイクロ波透過板 28 と遅波板 33 を構成してもよい。この場合には、これらの誘電率の値の比が共振条件を満足させ得る 70 % から 130 % の間となるように、比誘電率が 7.4 から 9.6 の材料を種々組み合わせてこれらを構成することができる。 20

【0063】

一方、マイクロ波透過板 28 と遅波板 33 とが石英により構成される装置が好適に適用される例としては、プラズマエッチング装置あるいはプラズマ表面改質装置を挙げることができる。これはエッチングや表面改質用のプロセス条件では、イオン衝撃によりマイクロ波透過板 28 がスパッタされるため、この時マイクロ波透過板 28 を構成する元素が金属を含むと被処理体に金属汚染を引き起こす可能性があり、例えばアルミナ等は使用できないからである。このような場合にマイクロ波透過板 28 が石英製であれば、多くの場合被処理体がシリコンウエハ、ガラス基板であり、これらと石英は同じ元素 Si を主成分とするものであるので金属汚染を引き起こすことはない。 30

【0064】

さらにマイクロ波透過板 28 と遅波板 33 とが石英により構成される装置において、同心円状に形成され隣接するマイクロ波放射孔 32 同士の間隔と、平面アンテナ 31 の中心から最内周のマイクロ波放射孔 32 までの長さを r とし (図 2 参照)、 $r = (\text{遅波板中でのマイクロ波の波長})$ とすると、マイクロ波周波数が 2.45 GHz の場合、マイクロ波放射孔 32 は 2 ターン形成される。ここで平面アンテナ 31 としては、現在の装置主流である 300 mm ウエハを処理する装置を想定しており、平面アンテナ 31 の直径も略 300 mm としている。これに対して、マイクロ波透過板 28 と遅波板 33 とがアルミナであれば、マイクロ波放射孔 32 は 3 ターン形成されることになる。この両者を比較するに、3 ターンの装置は 2 ターンの装置に比べてスロットの設計や調整が極めて困難である。例えば 3 ターンの装置では、中間ターンのスロットの数を増やしたからといって、その直下のプラズマ密度が上がるわけではなく、プラズマ空間の中心の密度が減少して外周の密度が高くなる場合や、その逆もありうる。これは中間ターンのスロットから放射されるマイクロ波は、内周ターンおよび外周ターンのスロットから放射される電磁波と互いに干渉するからである。このような観点からは、マイクロ波透過板 28 と遅波板 33 とを構成 40 50

する材料として、マイクロ波放射孔 3 2 が 2 ターン形成される石英が好ましい。また、例えば石英と他の材料を積層してなる、石英に近い誘電率を持つ異なる材料にてマイクロ波透過板 2 8 と遅波板 3 3 を構成してもよい。この場合には、これらの誘電率の値の比が共振条件を満足させ得る 7 0 % から 1 3 0 % の間となるように、比誘電率が 3 . 5 から 4 . 5 の材料を種々組み合わせてこれらを構成することができる。この場合にも、マイクロ波透過板 2 8 と遅波板 3 3 とが石英の場合と同様、マイクロ波周波数が 2 . 4 5 G H z の場合、マイクロ波放射孔 3 2 は 2 ターン形成される。

【 0 0 6 5 】

なお、本発明は上記実施形態に限定されることなく種々変形可能である。たとえば、処理装置の構成は本発明の構成要件を満たす限り上記実施形態に限るものではない。また、対象のプラズマ処理は、酸化処理に限らず、成膜処理、エッチング処理等種々の処理に適用可能である。さらに、プラズマ処理を行う被処理体としては、半導体ウエハに限らず、フラットパネルディスプレイ基板等、他のものであってもよい。

10

【産業上の利用可能性】

【 0 0 6 6 】

本発明は、半導体デバイスの製造工程における酸化処理、成膜処理、エッチング処理等、低電子温度および高密度のプラズマが求められるプラズマ処理に好適である。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 6 7 】

【図 1】本発明の一実施形態に係るマイクロ波プラズマ処理装置を模式的に示す断面図。

20

【図 2】平面アンテナの構造を示す図。

【図 3】遅波板、平面アンテナ、マイクロ波透過板、およびプラズマで形成される等価回路を示す図。

【図 4】マイクロ波透過板の厚さを説明するための図。

【図 5】本発明のマイクロ波プラズマ処理装置におけるプラズマ透過板表面の電界分布のシミュレーション結果を示す図。

【図 6】本発明のマイクロ波プラズマ処理装置における電子温度分布の測定結果を示すグラフ。

【図 7】本発明のマイクロ波プラズマ処理装置における電子密度分布を示す図。

【図 8】本発明に係るマイクロ波プラズマ処理装置と、従来のマイクロ波プラズマ処理装置とで、マイクロ波透過板表面でのマイクロ波電界強度をシミュレーションした結果を示す図。

30

【符号の説明】

【 0 0 6 8 】

1 ... チャンバー（処理室）

2 ... サセプタ

3 ... 支持部材

5 ... ヒータ

1 5 ... ガス導入部材

1 6 ... ガス供給系

40

2 3 ... 排気管

2 4 ... 排気装置

2 5 ... 搬入出口

2 6 ... ゲートバルブ

2 8 ... マイクロ波透過板

2 9 ... シール部材

3 1 ... 平面アンテナ

3 2 ... マイクロ波放射孔

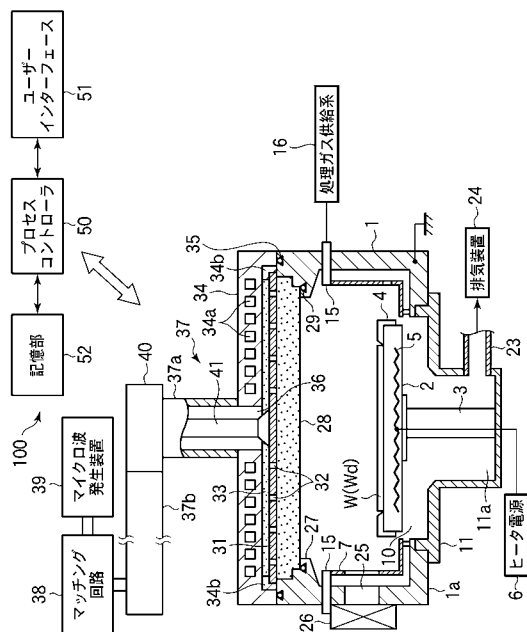
3 3 ... 遅波板

3 7 ... 導波管

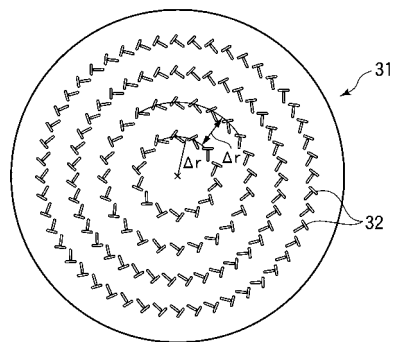
50

37 a ... 同軸導波管
 37 b ... 矩形導波管
 39 ... マイクロ波発生装置
 40 ... モード変換器
 50 ... プロセスコントローラ
 100 ... プラズマ処理装置
 W ... 半導体ウエハ (被処理体)

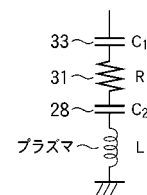
【図 1】



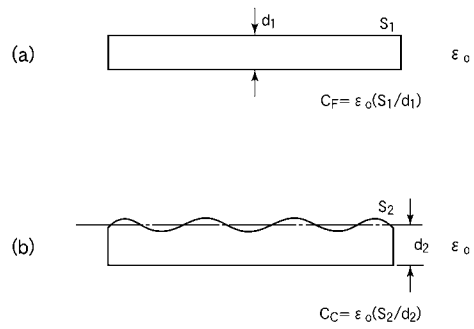
【図 2】



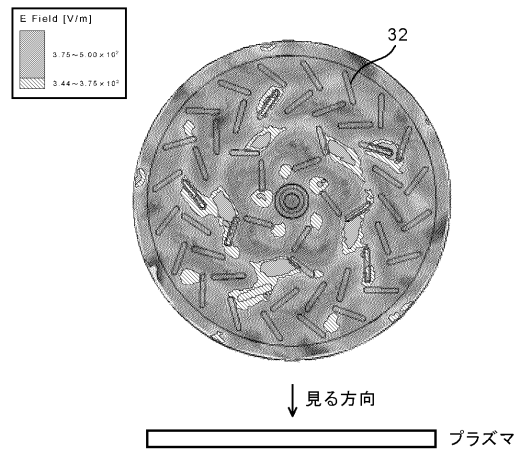
【図 3】



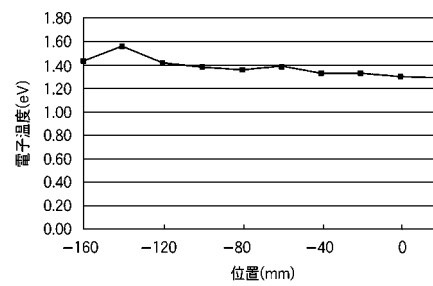
【図 4】



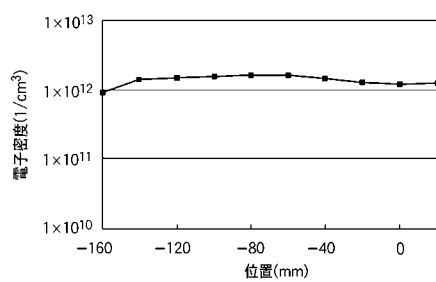
【図 5】



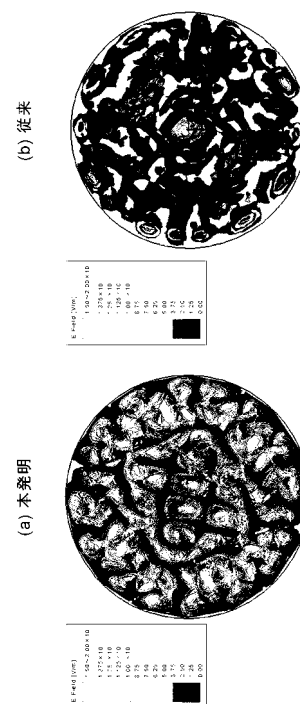
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(72)発明者 山本 伸彦

東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内

Fターム(参考) 4K030 CA04 CA12 FA01 KA15 KA26 KA30 KA32 KA45 LA15

5F004 AA16 BB11 BB26 BB28 BB29 CA03 CA08

5F045 AA08 AA20 EH02 EH03 EH04