

明 細 書

発明の名称： プラズマ処理装置

技術分野

[0001] 本発明は、低周波放電における安定化を図ることが可能なプラズマ処理装置に関する。

本願は、2015年1月16日に日本に出願された特願2015-006728号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 近年、ドライエッチング法により半導体基板に、深溝のトレンチ構造や、アスペクト比（貫通孔の深さ／貫通孔の開口径）の大きな貫通孔などを形成するため、螺旋状のアンテナ構造から形成される対向電極を備えたプラズマ処理装置が多用されている（たとえば、特許文献1）。

[0003] 図5A及び図5Bは、異なる周波数の交流電圧を対向電極に印加して形成された非貫通孔の断面形状を示すSEM写真である。図5Aは周波数が13.56MHz、図5Bは周波数が2MHzの場合を示すSEM写真である。図5A及び図5Bともに、孔の直径が10 μ mとなるようにエッチング処理した結果である。周波数が13.56MHzの場合（図5A）に比べて、周波数が2MHzの場合（図5B）の方が、より深いエッチングが可能であり、開口部近傍における内径の変動も小さく、良好な孔形状が得られることが分かる。

[0004] 図6は、異なる周波数の交流電圧を対向電極に印加した際に、発生するプラズマの発光を分光測定した結果を示すグラフであり、横軸が印加パワー[W]、縦軸がFラジカルの発光強度である。ここで、「Fラジカル」は、フッ素（F）を含むプロセスガスを用いたことにより、発生したプラズマ中に観測された粒子である。図6のグラフから、以下の点が明らかとなった。図6は、図7のプラズマ処理装置を用いて得られた結果である。図7には、交流電源の周波数が2MHzである構成例を示したが、周波数が13.56M

H z の交流電源を用いる場合には、交流電源を同じ位置に差替えることにより、図 6 の結果を得た。

[0005] 周波数が 2 MHz の場合（□印）は、印加パワーの増大に伴い、放電領域が、F ラジカルの発光強度が低い領域（グロー放電領域）から、F ラジカルの発光強度が強い領域（誘導放電領域）へ移行する。その際、2 つの領域の間に、放電が切り替わるモードジャンプ領域が存在する。このモードジャンプ領域の存在により、誘導放電領域は放電が安定するまでに 1 分程度のマニュアル調整時間を要する課題がある。

[0006] 一方、周波数が 13.56 MHz の場合（○印）は、周波数が 2 MHz の場合に観測されたモードジャンプ領域が存在しないので、印加パワーを増減しても、放電安定が保たれ、安定したエッチングが可能である。しかしながら、周波数が 13.56 MHz の場合は、周波数が 2 MHz の誘導放電領域と比較すると、F ラジカルの発光強度が半分程度である。そのため、周波数が 2 MHz の場合よりエッチング速度が半減し、処理時間が倍増する課題がある。

[0007] 両者の長所、すなわち、「F ラジカル」が強く観測される誘導放電領域を利用したエッチングが可能であり、モードジャンプ領域の影響も回避できる、プラズマ処理装置の開発が期待されている。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：日本国特開 2012-248578 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 本発明は、このような従来の実情に鑑みて考案されたものであり、モードジャンプ領域の影響を受けることなく、誘導放電領域における優れたエッチング特性を安定して利用できる、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

[0010] 本発明の一態様に係るプラズマ処理装置は、その内部の減圧が可能で、前記内部で被処理体に対してプラズマ処理されるように構成されるチャンバと、前記チャンバ内に配され、前記被処理体を載置する平板状の第一電極と、前記第一電極に対して、第一の周波数のバイアス電圧が印加されるように構成された第一の高周波電源と、前記チャンバ外に配置され、前記チャンバの上蓋を形成する石英板を挟んで、前記第一電極と対向するように配置された螺旋状の第二電極と、前記上蓋あるいはその近傍に配置されたガス導入口から、前記チャンバ内にフッ素を含有するプロセスガスを導入するガス導入手段と、を備え、前記第二電極に対して、第二の周波数の交流電圧を印加する第二の高周波電源と、前記第二の周波数より高い第三の周波数の交流電圧を印加する第三の高周波電源とが、電氣的に接続されており、2種類の交流電圧が同時に印加されるように構成されている。

上記一態様において、前記第二電極は、螺旋状の中心端に配置され、前記第二の電源から高周波を印加する第一の部位と、螺旋状の外周端に配置され、アースに接地される第二の部位と、螺旋状の前記中心端と前記外周端との間に位置する中間領域に配置され、前記第三の電源から高周波を印加する第三の部位と、を有してもよい。

上記一態様において、前記第三の部位が、前記第二電極の前記中間領域のうち、螺旋状を形成する最外周領域に配置されていてもよい。

上記一態様において、前記螺旋状の第二電極が、特定の半径を有する第一の周回部と、前記特定の半径より大きな半径を有する第二の周回部と、前記第一の周回部と前記第二の周回部とを繋ぐ接続部とを繰り返し配置することにより、螺旋状を形成していてもよい。

上記一態様において、前記第二電極に接続される、前記第二の電源の前記第二の周波数が2 MHz、前記第三の電源の前記第三の周波数が13.56 MHzであってもよい。

発明の効果

[0011] 本発明の上記態様では、被処理体を載置する第一電極と対向して配された第二電極に対して、周波数 λb の交流電圧を印加する高周波電源Bと、前記 λb より高い周波数 λc の交流電圧を印加する高周波電源Cとが、電氣的に第二電極に接続されており、2種類の交流電圧が同時に印加可能に構成されている。これにより、第二電極は常時、異なる周波数 λb 、 λc の交流電圧が重畳された状態となる。ゆえに、一方の周波数 λb がモードジャンプ領域を生じる周波数の交流電圧であったとしても、他方の周波数 λc としてモードジャンプ領域が発生しない周波数の交流電圧を選択し、両者を組み合わせることにより、モードジャンプ領域の影響を解消することが可能となる。

したがって、本発明の上記態様は、モードジャンプ領域の影響を受けることなく、誘導放電領域における優れたエッチング特性を安定して利用できる、プラズマ処理装置をもたらす。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]本発明の一実施形態に係るプラズマ処理装置の一例を示す断面図である。

[図2]第二電極に対する電源B及び電源Cの接続位置の一例を示す平面図である。

[図3A]第二電極に対する電源B及び電源Cの接続位置の他の一例を示す平面図である。

[図3B]第二電極に対する電源B及び電源Cの接続位置の他の一例を示す平面図である。

[図4]図1のプラズマ処理装置により作製した非貫通孔の断面SEM写真である。

[図5A]従来のプラズマ処理装置により作製した非貫通孔の断面SEM写真である。

[図5B]従来のプラズマ処理装置により作製した非貫通孔の断面SEM写真である。

[図6]第二電極に印加するパワーとFラジカルの発光強度との関係を示すグラ

フである。

[図7]従来のプラズマ処理装置の一例を示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0013] 以下では、本発明の一実施形態に係るプラズマ処理装置について、図面に基づいて説明する。

[0014] 図1のプラズマ処理装置10は、たとえば排気手段TMPにより減圧可能なチャンバ11内において被処理体Sに対してプラズマ処理する装置である。

本実施形態のプラズマ処理装置10は、チャンバ11と、平板状の第一電極（支持手段）12と、高周波電源Aと、上蓋13と、螺旋状の第二電極（アンテナ）14と、ガス導入口（15a、15b、15c）と、ガス導入手段（不図示）と、を備えている。第一電極（支持手段）12は、チャンバ11内に配され、被処理体Sを載置する。高周波電源（第一の高周波電源）Aは、第一電極12に対して、周波数（第一の周波数） λa のバイアス電圧を印加可能である。螺旋状の第二電極（アンテナ）14は、チャンバ11外に配され、チャンバ11の上蓋13を形成する石英板を挟んで、第一電極12と対向するように配置される。ガス導入手段は、前記上蓋13あるいはその近傍（チャンバ11の上部）に配されたガス導入口15（15a、15b、15c）から、チャンバ11内にフッ素（F）を含有するプロセスガスGを導入する。

[0015] また、プラズマ処理装置10において、第二電極14に対して、周波数（第二の周波数） λb （2MHz）の交流電圧を印加する高周波電源（第二の高周波電源）Bと、前記 λb より高い周波数（第三の周波数） λc （13.56MHz）の交流電圧を印加する高周波電源（第三の高周波電源）Cとが、電氣的に接続されている。高周波電源Bは、周波数 λb （2MHz）の交流電圧を第二電極14に印加する。高周波電源Cは、前記 λb より高い周波数 λc （13.56MHz）の交流電圧を第二電極14に印加する。つまり、本実施形態のプラズマ処理装置10は、第二電極14に対して、2種類の

交流電圧が同時に印加可能に構成されている。そして、図 1 に示すように、マッチングボックス (M/B) とフィルター (Filter) を介してから、第二電極 14 に対して、各々の交流電圧が印加される構成が好ましい。

[0016] 上記の構成により、第二電極 14 は常時、異なる周波数 λb 、 λc の交流電圧が重畳された状態を有することができる。それゆえ、一方の周波数 λb がモードジャンプ領域を生じる周波数の交流電圧であったとしても、他方の周波数 λc としてモードジャンプ領域が発生しない周波数の交流電圧を選択することができる。両者を組み合わせることにより、モードジャンプ領域の影響を解消することが可能となる。よって、本実施形態に係るプラズマ処理装置 10 は、モードジャンプ領域の影響を受けることなく、誘導放電領域における優れたエッチング特性を安定して利用できる。

[0017] 本実施形態における「被処理体 S」としては、たとえば、シリコン、二酸化ケイ素、が挙げられる。

本実施形態における「フッ素 (F) を含有するプロセスガス G」としては、たとえば、 SF_6 、 C_4F_8 、 C_3F_8 、 CF_4 、 CHF_3 、 BF_3 、 NF_3 、 SiF_4 が挙げられる。

[0018] 図 2 は、第二電極に対する電源 B 及び電源 C の接続位置の一例を示す平面図である。

図 2 に示すように、前記第二電極 14 において、螺旋状の中心端に部位 (第一の部位) b、螺旋状の外周端に部位 (第二の部位) e、螺旋状の該中心端と該外周端との間に位置する中間領域に、部位 (第三の部位) c ($c1 \sim c7$) が配置されている。部位 b は、前記電源 B から高周波の交流電圧を第二電極 14 に印加する。部位 e は、アースに接地される。部位 c は、前記電源 C から高周波の交流電圧を第二電極 14 に印加する。

[0019] たとえば、 $c1 \sim c7$ の何れかの位置で電源 C から高周波の交流電圧を印加することにより、第二電極 14 における、異なる周波数 λb 、 λc の交流電圧が重畳された状態を、制御することが可能となる。たとえば、プロセスガスの種類や流量、プラズマを発生させている状態の圧力などに応じて、細

やかな調整を行い、モードジャンプ領域の影響が、長時間に亘って解消するように制御できる。これは、安定した量産プロセスをもたらす。

[0020] 特に、前記部位 c が、前記第二電極 14 の中間領域のうち、螺旋状を形成する最外周領域 (c 7 から e に至る領域) に配置されている構成が好ましい。この構成によれば、エッチングプロセス特性を決定する低周波 λb によるプロセスプラズマ生成を、 c 7 から c 1 (部位 b) に至る第二電極 14 の大部分で行うことができる。これにより、プロセスにおいて補助的なプラズマ生成を行うに過ぎない高周波 λc によるプラズマ生成領域を c 7 から e に至る第二電極 14 の外縁に留めることができる。同時に、第二電極 14 上において「低周波 λb による放電に適した高インピーダンス領域」と「高周波 λc による放電に適した低インピーダンス領域」とを確保しやすい構成を得ることができる。

[0021] 前記螺旋状の第二電極 14 が、周回部 (第一の周回部) α と、周回部 (第二の周回部) β と、接続部 S とが繰り返し配置されることにより、螺旋状を形成する構成を有することが好ましい。周回部 α は、特定の半径を有する。周回部 β は、該特定の半径より大きな半径を有する。接続部 S は、該周回部 α と該周回部 β とを繋ぐ。この構成によれば、内側線路 (周回部 α) を流れる電流が上記接続部 S に集中することが抑えられる。それゆえに、図 2 に示すような高周波アンテナとして機能する第二電極 14 を備えるプラズマ処理装置においては、第二電極 14 が局所的に発熱することによって、該第二電極 14 の一部が損傷することが抑えられる。また、チャンバ 11 内に形成されるプラズマ密度が、上記接続部の下方の領域において他の領域よりも高くなることを抑えられる。周回部 α 、周回部 β 、及び接続部 S が繰り返し配置される数は、特に制限されない。

[0022] 前記第二電極 14 に接続される、前記電源 B の周波数 λb が 2 [MHz]、前記電源 C の周波数 λc が 13.56 [MHz]、である構成が望ましい。この構成によれば、 λc を用いることにより常にモードジャンプの無い安定放電可能な機能を確保した構成を得ることができる。

[0023] 図3A及び図3Bは、第二電極に対する電源B及び電源Cの接続位置の他の一例を示す平面図である。

本実施形態における第二電極は、図3Aに示すように、前記螺旋状の第二電極14の中央部に、第二電極14が存在しない領域が大きな面積を占める構成を有しても良い。この構成によれば、エッチング面内分布の最適化を行う際に、中央部にプロセスプラズマ生成が存在することが望ましくない場合は、特に第二電極の長さが短くなることでRF損失の少ないより高効率なICP放電を実現できる。

[0024] 本実施形態における第二電極は、図3Bに示すように、前記螺旋状の第二電極14の中央部に、第二電極14が存在しない領域が小さな面積を占める構成を有しても良い。この構成によれば、エッチング面内分布の最適化を行う際に、中央部にプロセスプラズマ生成が存在することが望ましい場合に対応することができる。

[0025] 図4は、図1のプラズマ処理装置により作製した非貫通孔の断面SEM写真である。

本実施形態のプラズマ処理装置を用いることにより、モードジャンプ領域の影響を受けることなく、従来のプラズマ処理装置と同様に、シャープな深掘り形状の非貫通孔を作製できることが確認された。

したがって、本実施形態のプラズマ処理装置によれば、モードジャンプ領域の影響を受けることなく、誘導放電領域における優れたエッチング特性を安定して利用できる。ゆえに、本実施形態は、高い量産性をもった製造ラインの構築に寄与する。

[0026] 以上、本発明のプラズマ処理装置について説明してきたが、本発明はこれに限定されるものではなく、発明の趣旨を逸脱しない範囲で、適宜変更が可能である。

産業上の利用可能性

[0027] 本発明は、プラズマ処理装置に広く適用可能である。

符号の説明

[0028] A 高周波電源（第一の高周波電源）、B 高周波電源（第二の高周波電源）、C 高周波電源（第三の高周波電源）、G プロセスガス、M/B マッチングボックス、S 被処理体、TMP 排気手段、 λa 周波数（第一の周波数）、 λb 周波数（第二の周波数）、 λc 周波数（第三の周波数）、10 プラズマ処理装置、11 チャンバ、12 第一電極（支持手段）、13 上蓋、14 第二電極（アンテナ）、15（15a、15b、15c） ガス導入口、b 部位（第一の部位）、e 部位（第二の部位）、c 部位（第三の部位）、 α 周回部（第一の周回部）、 β 周回部（第二の周回部）、S 接続部。

請求の範囲

- [請求項1] プラズマ処理装置であって、
 その内部の減圧が可能で、前記内部で被処理体に対してプラズマ処理されるように構成されるチャンバと、
 前記チャンバ内に配され、前記被処理体を載置する平板状の第一電極と、
 前記第一電極に対して、第一の周波数のバイアス電圧が印加されるように構成された第一の高周波電源と、
 前記チャンバ外に配置され、前記チャンバの上蓋を形成する石英板を挟んで、前記第一電極と対向するように配置された螺旋状の第二電極と、
 前記上蓋あるいはその近傍に配置されたガス導入口から、前記チャンバ内にフッ素を含有するプロセスガスを導入するガス導入手段と、
 を備え、
 前記第二電極に対して、第二の周波数の交流電圧を印加する第二の高周波電源と、前記第二の周波数より高い第三の周波数の交流電圧を印加する第三の高周波電源とが、電氣的に接続されており、2種類の交流電圧が同時に印加されるように構成されているプラズマ処理装置。
- [請求項2] 前記第二電極は、螺旋状の中心端に配置され、前記第二の電源から高周波を印加する第一の部位と、螺旋状の外周端に配置され、アースに接地される第二の部位と、螺旋状の前記中心端と前記外周端との間に位置する中間領域に配置され、前記第三の電源から高周波を印加する第三の部位と、を有する請求項1に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項3] 前記第三の部位が、前記第二電極の前記中間領域のうち、螺旋状を形成する最外周領域に配置されている請求項2に記載のプラズマ処理装置。
- [請求項4] 前記螺旋状の第二電極が、特定の半径を有する第一の周回部と、前

記特定の半径より大きな半径を有する第二の周回部と、前記第一の周回部と前記第二の周回部とを繋ぐ接続部とを繰り返し配置することにより、螺旋状を形成している請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。

[請求項5] 前記第二電極に接続される、前記第二の電源の前記第二の周波数が 2 MHz、前記第三の電源の前記第三の周波数が 13.56 MHz である請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載のプラズマ処理装置。