

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5486383号  
(P5486383)

(45) 発行日 平成26年5月7日 (2014.5.7)

(24) 登録日 平成26年2月28日 (2014.2.28)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 1 Z

C 2 3 F 4/00 (2006.01)

C 2 3 F 4/00 A

H O 5 H 1/46 (2006.01)

H O 5 H 1/46 A

請求項の数 17 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2010-92290 (P2010-92290)  
 (22) 出願日 平成22年4月13日 (2010.4.13)  
 (65) 公開番号 特開2011-222859 (P2011-222859A)  
 (43) 公開日 平成23年11月4日 (2011.11.4)  
 審査請求日 平成25年1月24日 (2013.1.24)

(73) 特許権者 306037311  
 富士フイルム株式会社  
 東京都港区西麻布2丁目26番30号  
 (73) 特許権者 000125369  
 学校法人東海大学  
 東京都渋谷区富ヶ谷2丁目28番4号  
 (74) 代理人 100083116  
 弁理士 松浦 憲三  
 (72) 発明者 高橋 秀治  
 神奈川県足柄上郡開成町牛島577番地  
 富士フイルム株式会社内  
 (72) 発明者 進藤 春雄  
 神奈川県平塚市北金目四丁目1番1号 東  
 海大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ドライエッチング方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空容器内にプロセスガスを供給するとともに、当該真空容器に設置されたプラズマ生成部の電極にプラズマ生成用高周波電力を供給してプラズマを生成する一方、被エッチング材の基板に高周波のバイアス電圧を印加し、前記基板のエッチングを行うドライエッチング方法において、

前記基板に対してトランス結合されたバイアス用高周波電源と当該トランスの二次側に直列接続されたバイアス用直流電源とを用い、これら電源から前記トランスを介して高周波電圧と正の直流電圧とを重畳させた基板バイアス電圧を前記基板に印加する構成によって、前記基板バイアス電圧の直流成分である自己バイアス電圧  $V_{dc}$  が 0 ボルト [V] を超える正の値となっている高周波のバイアス電圧を印加しながら前記エッチングを行うことを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 2】

請求項 1 において、

前記プラズマ生成部は、表面波プラズマを生成することを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 において、

前記プロセスガスにハロゲン含有していることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 4】

10

20

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項において、  
前記被エッチング材は、強誘電体、貴金属、又は磁性体であることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項 5】

真空容器と、  
前記真空容器内にプロセスガスを供給するためのガス供給口と、  
前記真空容器に設けられたプラズマ生成部と、  
前記プラズマ生成部の電極にプラズマ生成用高周波電力を供給するプラズマ生成用高周波電源と、

前記真空容器内に設置され、被エッチング材の基板を保持するステージと、  
前記ステージに対してトランス結合されたバイアス用高周波電源と、  
前記バイアス用高周波電源が接続されたトランスの二次側に直列接続されたバイアス用直流電源と、  
を備え、

前記バイアス用直流電源は、前記トランスの二次側に正の電圧を与えるものであり、  
前記バイアス用高周波電源及び前記バイアス用直流電源から前記トランスを介して高周波電圧と正の直流電圧とが重畳された基板バイアス電圧が前記ステージに印加されることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項 6】

請求項 5 において、  
前記基板バイアス電圧の直流成分である自己バイアス電圧  $V_{dc}$  が 0 ボルト [ V ] を超える正の値であることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項 7】

請求項 5 又は 6 において、  
前記プラズマ生成部は、表面波プラズマを生成するものであることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項 8】

請求項 7 において、  
前記プラズマ生成部で生成される前記表面波プラズマの表面波共鳴密度は、 $4 \cdot 1 \times 10^8 [ \text{cm}^{-3} ]$  以上  $1 \cdot 0 \times 10^{11} [ \text{cm}^{-3} ]$  以下であることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項 9】

請求項 5 乃至 8 のいずれか 1 項において、  
前記プラズマ生成用高周波電力の周波数は、 $27 \text{ MHz} \sim 200 \text{ MHz}$  の範囲であることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項 10】

請求項 5 乃至 9 のいずれか 1 項において、  
前記プラズマ生成部は、誘電体部材の外周部に前記電極が配置された構造を有することを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項 11】

請求項 10 において、  
前記誘電体部材の比誘電率が  $10 \sim 100$  の範囲であることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項 12】

請求項 10 又は 11 において、  
前記誘電体部材は、円筒型の放電管であることを特徴とするドライエッチング装置。

【請求項 13】

請求項 12 において、  
前記真空容器には、前記円筒型のプラズマ生成部が複数設けられていることを特徴とするドライエッチング装置。

10

20

30

40

50

**【請求項 14】**

請求項 13 において、

前記円筒型のプラズマ生成部は、前記基板に垂直な方向に延設されていることを特徴とするドライエッチング装置。

**【請求項 15】**

請求項 13 において、

前記円筒型のプラズマ生成部は、前記基板と平行な水平方向に延設されていることを特徴とするドライエッチング装置。

**【請求項 16】**

請求項 13 において、

前記複数のプラズマ生成部のうち、一部のプラズマ生成部は前記基板に垂直な方向に延設され、他の一部のプラズマ生成部は前記基板と平行な水平方向に延設されていることを特徴とするドライエッチング装置。

**【請求項 17】**

請求項 10 乃至 16 のいずれか 1 項において、

前記誘電体部材の内側表面は、フッ素基を含有する膜で覆われていることを特徴とするドライエッチング装置。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明はドライエッチング方法及び装置に係り、特に強誘電体や貴金属などの難エッチング材の処理に好適なドライエッチング技術に関する。

**【背景技術】****【0002】**

従来のドライエッチングは高密度プラズマを生成し、基板に負バイアスを印加することで主に正イオンを用いてエッチングを行っている。強誘電体などの難エッチング材は不揮発性材料でありエッチングが困難であるためエッチングレートが遅く生産性が低い。また反応性生成物の付着や被加工物の再付着などの問題で加工断面はテーパ形状になったり、生成物が加工側面に付着したりするなどの問題がある。

**【0003】**

特許文献 1 は、マイクロ波プラズマエッチング装置における基板表面への電荷蓄積に起因するデバイスへのダメージ抑制と高速性・異方性エッチングの両立が難しいという課題に対して、放電用高周波電界をパルス変調する構成を開示している。すなわち、パルス停止時間を  $10 \sim 100 \mu$  秒の範囲としてプラズマ生成用高周波をパルス変調し、基板側に  $600 \text{ kHz}$  以下の低周波バイアスを印加する構成を提案している。

**【0004】**

パルス変調プラズマを用いることでプラズマ中の負イオン密度を増加させ、かつイオンが追従できる低周波バイアスを印加することで、基板に対し交互に正イオンと負イオンを入射させ、電荷蓄積を抑制している。

**【0005】**

特許文献 2 は、試料表面における電荷の蓄積（チャージアップ）を防止しつつ、負イオンの積極的活用による処理の高速化を達成するプラズマ処理方法及び装置を提案している。同文献 2 によれば、比較的高圧力の環境に設定された第 1 のプラズマ発生室内で比較的多くの負イオンを含むプラズマを発生させ、且つ、比較的低圧力環境に設定された第 2 のプラズマ発生室内で比較的多くの正イオンを含むプラズマを発生させ、これら負イオンと正イオンとをプラズマ処理室に導入すると共に、上記試料（基板）に高周波の交番バイアス電圧を付与してプラズマ処理する構成である。さらに、この特許文献 2 では、交番バイアス電圧を付与する手段として、高周波トランスを用いる構成を開示している。

**【0006】**

このように引用文献 2 は、試料である基板への高周波印加にトランスを用いて基板電位

10

20

30

40

50

を接地電位に保ちながら、高周波によりイオンの引き込み電圧を交互に変化させる構成を採用したことにより（同文献 2 の図 1，図 4）、コンデンサ結合バイアスの方法と比較してより効率的に負イオンを引き込むことを可能にしている。

【 0 0 0 7 】

特許文献 3 は、エッチングレート向上と被処理物へのダメージ抑制を目的として、ラジオ周波数帯で表面波ダウンストリーム負イオンの生成が可能であるプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提案している。同文献 3 によれば、比誘電率が 40 以上 200 以下である円筒状体の外周面上に環状の給電部を取着させた構造であり、この環状の給電部の取り付け形態が当該円筒状体の長さ方向中心よりも一方端側（例えば、上半分側）に、その環状給電部の全体が配される構造となっている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 8 】

【特許文献 1】特許第 2 8 4 5 1 6 3 号公報

【特許文献 2】特開平 9 - 1 6 2 1 6 9 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 7 - 9 6 2 5 6 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 9 】

しかしながら、特許文献 1 に記載の技術におけるパルス変調プラズマは、プラズマの ON / OFF を繰り返すことで OFF 時間中に負イオンを生成しているため、連続放電に対して負イオン生成時間が短くなる。例えば、デューティ比 50 % であれば、連続放電の半分の時間になり、負イオンの生成効率が悪い。

20

【 0 0 1 0 】

また、低周波バイアスを用いることで負イオンを基板へ入射させているが、正負イオンを交互に入射させるにとどまっている。処理の高速化のためには、負イオンの反応を有効に利用する必要がある。しかし、引用文献 1 の構成は基板電極にコンデンサ結合方式のマッティングボックス（整合器）を使用しているため、直流バイアス電圧  $V_{dc}$  と、ピーク - ピーク間電位差  $V_{pp}$  とを個別に制御することができない。したがって、負イオンを効果的に引き込むような電圧（バイアス）の制御が困難である。

30

【 0 0 1 1 】

特許文献 2 に記載の技術は、負イオン発生用のプラズマ源（負イオン生成室）と、正イオン発生用のプラズマ源（正イオン生成室）とが独立して設けられているため、装置構成が複雑であり、コストアップになる。

【 0 0 1 2 】

また、同文献 2 の構成は、トランス結合バイアスを用いているものの、高周波電圧のみを印加しているため（同文献 2 の図 4 参照）、 $V_{dc}$  を任意に制御することができない。引用文献 2 の場合、 $V_{dc}$  はプラズマ電位と  $V_{pp}$  から決定されるものとなる。放電管の材料（比誘電率）、印加する放電用高周波電力の周波数、被エッチング材の材料など、各種条件の下で高速にエッチングするために、バイアスの制御性を改善することが必要である。

40

【 0 0 1 3 】

特許文献 3 は、放電管材質として比誘電率が 40 ~ 200 であることを規定し、具体例として、K-140（比誘電率  $\epsilon_r = 140$ ）を説明している。しかし、同文献で説明されているとおり、比誘電率が高い材料は誘電正接の値が大きく、発熱しやすいという問題がある。実際に、比誘電率が高い材料を用いた構成は、長時間の放電により発生する熱により誘電体部材が破損する問題がある。すなわち、比誘電率が高いため  $\tan \delta$  の値が高く、そのため発熱により誘電体の膨張等を引き起こし破損する問題がある。また、引用文献 3 には、基板バイアスの印加方法について具体的な開示が無い。

【 0 0 1 4 】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたもので、プラズマ中における負イオンの利用

50

効率を高め、難エッチング材であっても高速にエッチングが可能なドライエッチング方法及び装置を提供することを目的とする。また、装置構成の簡略化、低コスト化が可能なドライエッチング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】

【0015】

前記目的を達成するために、本発明に係るドライエッチング方法は、真空容器内にプロセスガスを供給するとともに、当該真空容器に設置されたプラズマ生成部の電極にプラズマ生成用高周波電力を供給してプラズマを生成する一方、被エッチング材の基板に高周波のバイアス電圧を印加し、前記基板のエッチングを行うドライエッチング方法において、前記基板に対してトランス結合されたバイアス用高周波電源と当該トランスの二次側に直列接続されたバイアス用直流電源とを用い、これら電源から前記トランスを介して高周波電圧と正の直流電圧とを重畳させた基板バイアス電圧を前記基板に印加する構成によって、前記基板バイアス電圧の直流成分である自己バイアス電圧  $V_{dc}$  が 0 ボルト [ V ] を超える正の値となっている高周波のバイアス電圧を印加しながら前記エッチングを行うことを特徴とする。

10

また、本発明に係るドライエッチング装置は、真空容器と、前記真空容器内にプロセスガスを供給するためのガス供給口と、前記真空容器に設けられたプラズマ生成部と、前記プラズマ生成部の電極にプラズマ生成用高周波電力を供給するプラズマ生成用高周波電源と、前記真空容器内に設置され、被エッチング材の基板を保持するステージと、前記ステージに対してトランス結合されたバイアス用高周波電源と、前記バイアス用高周波電源が接続されたトランスの二次側に直列接続されたバイアス用直流電源と、を備え、前記バイアス用直流電源は、前記トランスの二次側に正の電圧を与えるものであり、前記バイアス用高周波電源及び前記バイアス用直流電源から前記トランスを介して高周波電圧と正の直流電圧とが重畳された基板バイアス電圧が前記ステージに印加されることを特徴とする。

20

また、前記目的を達成するために以下の発明態様を提供する。

【0016】

(発明1)：発明1に係るドライエッチング方法は、真空容器内にプロセスガスを供給するとともに、当該真空容器に設置されたプラズマ生成部の電極にプラズマ生成用高周波電力を供給してプラズマを生成する一方、被エッチング材の基板に高周波のバイアス電圧を印加し、前記基板のエッチングを行うドライエッチング方法において、前記基板に対してトランス結合されたバイアス用高周波電源と当該トランスの二次側に直列接続されたバイアス用直流電源とを用い、これら電源から前記トランスを介して高周波電圧と直流電圧とを重畳させた基板バイアス電圧を前記基板に印加する構成によって、前記基板バイアス電圧の自己バイアス電圧  $V_{dc}$  が 0 ボルト [ V ] 以上である高周波のバイアス電圧を印加しながら前記エッチングを行うことを特徴とする。

30

【0017】

本発明によれば、負イオンを効率的に基板に引き込むことができ、当該負イオンの反応性により、高速エッチングが可能である。

【0018】

(発明2)：発明2に係るドライエッチング方法は、発明1において、前記プラズマ生成部は、表面波プラズマを生成することを特徴とする。

40

【0019】

表面波プラズマを用いることでプラズマ近傍にダウフロー領域を生成可能となり、高密度の負イオン生成が可能である。特許文献1と比較して、パルスのOFF時間のみではなく、常に負イオン生成が可能である。

【0020】

(発明3)：発明3に係るドライエッチング方法は、発明1又は2において、前記プロセスガスにハロゲンを含んでいることを特徴とする。

【0021】

プロセスガスとして、ハロゲンを含むガスを用いる態様が好ましい。

50

## 【 0 0 2 2 】

( 発 明 4 ) : 発 明 4 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 方 法 は、 発 明 1 乃 至 3 の い ず れ か 1 項 に お い て、 前 記 被 エ ッ チ ン グ 材 は、 強 誘 電 体、 貴 金 属、 又 は 磁 性 体 で あ る こ と を 特 徴 と す る。

## 【 0 0 2 3 】

エ ッ チ ン グ 対 象 物 と し て 強 誘 電 体、 貴 金 属、 又 は 磁 性 体 な ど を 処 理 す る 態 様 が 特 に 好 ま し い。 こ れ ら の 難 エ ッ チ ン グ 材 に 対 し て、 本 発 明 の 効 果 を よ り 顕 著 に 発 揮 さ せ る こ と が で き る。

## 【 0 0 2 4 】

( 発 明 5 ) : 発 明 5 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 は、 真 空 容 器 と、 前 記 真 空 容 器 内 に プ ロ セ ス ガ ス を 供 給 す る た め の ガ ス 供 給 口 と、 前 記 真 空 容 器 に 設 け ら れ た プ ラ ズ マ 生 成 部 と、 前 記 プ ラ ズ マ 生 成 部 の 電 極 に プ ラ ズ マ 生 成 用 高 周 波 電 力 を 供 給 す る プ ラ ズ マ 生 成 用 高 周 波 電 源 と、 前 記 真 空 容 器 内 に 設 置 さ れ、 被 エ ッ チ ン グ 材 の 基 板 を 保 持 す る ス テ ー ジ と、 前 記 ス テ ー ジ に 対 し て ト ラ ン ス 結 合 さ れ た バ イ ア ス 用 高 周 波 電 源 と、 前 記 バ イ ア ス 用 高 周 波 電 源 が 接 続 さ れ た ト ラ ン ス の 二 次 側 に 直 列 接 続 さ れ た バ イ ア ス 用 直 流 電 源 と、 を 備 え、 前 記 バ イ ア ス 用 高 周 波 電 源 及 び 前 記 バ イ ア ス 用 直 流 電 源 か ら 前 記 ト ラ ン ス を 介 し て 高 周 波 電 圧 と 直 流 電 圧 と が 重 畳 さ れ た 基 板 バ イ ア ス 電 圧 が 前 記 ス テ ー ジ に 印 加 さ れ る こ と を 特 徴 と す る。

## 【 0 0 2 5 】

本 発 明 に よ れ ば、 基 板 バ イ ア ス 電 圧 の  $V_{dc}$  と  $V_{pp}$  を 独 立 に 制 御 す る こ と が で き、 バ イ ア ス の 制 御 性 が 向 上 し、 正 バ イ ア ス の 印 加 も 可 能 で あ る。

## 【 0 0 2 6 】

( 発 明 6 ) : 発 明 6 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 は、 発 明 5 に お い て、 前 記 基 板 バ イ ア ス 電 圧 の 自 己 バ イ ア ス 電 圧  $V_{dc}$  が 0 ボ ル ト [ V ] 以 上 で あ る こ と を 特 徴 と す る。

## 【 0 0 2 7 】

特 に、  $V_{dc} > 0$  [ V ] の バ イ ア ス を 印 加 す る こ と に よ り、 負 イ オ ン を 効 率 的 に 基 板 に 引 き 込 む こ と が で き、 エ ッ チ ン グ レ ー ト の 向 上 を 達 成 で き る。

## 【 0 0 2 8 】

( 発 明 7 ) : 発 明 7 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 は、 発 明 5 又 は 6 に お い て、 前 記 プ ラ ズ マ 生 成 部 は、 表 面 波 プ ラ ズ マ を 生 成 す る も の で あ る こ と を 特 徴 と す る。

## 【 0 0 2 9 】

( 発 明 8 ) : 発 明 8 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 は、 発 明 7 に お い て、 前 記 プ ラ ズ マ 生 成 部 で 生 成 さ れ る 前 記 表 面 波 プ ラ ズ マ の 表 面 波 共 鳴 密 度 は、  $4 \cdot 1 \times 10^8$  [  $\text{cm}^{-3}$  ] 以 上  $1 \cdot 0 \times 10^{11}$  [  $\text{cm}^{-3}$  ] 以 下 で あ る こ と を 特 徴 と す る。

## 【 0 0 3 0 】

更 に は、 表 面 波 共 鳴 密 度 が  $1 \cdot 0 \times 10^9$  [  $\text{cm}^{-3}$  ] 以 上  $1 \cdot 0 \times 10^{11}$  [  $\text{cm}^{-3}$  ] 以 下 で あ る こ と が 望 ま し い。

## 【 0 0 3 1 】

( 発 明 9 ) : 発 明 9 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 は、 発 明 5 乃 至 8 の い ず れ か 1 項 に お い て、 前 記 プ ラ ズ マ 生 成 用 高 周 波 電 力 の 周 波 数 は、 2 7 M H z ~ 2 0 0 M H z の 範 囲 で あ る こ と を 特 徴 と す る。

## 【 0 0 3 2 】

表 面 波 共 鳴 密 度 の 観 点 か ら、 1 3 M H z 以 上 の 高 周 波、 特 に は 2 7 M H z 以 上 を 用 い る こ と で、 比 誘 電 率 が 比 較 的 低 い 誘 電 体 部 材 で も 高 密 度 の プ ラ ズ マ 生 成 が 可 能 で あ る。

## 【 0 0 3 3 】

( 発 明 1 0 ) : 発 明 1 0 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 は、 発 明 5 乃 至 9 の い ず れ か 1 項 に お い て、 前 記 プ ラ ズ マ 生 成 部 は、 誘 電 体 部 材 の 外 周 部 に 前 記 電 極 が 配 置 さ れ た 構 造 を 有 す る こ と を 特 徴 と す る。

## 【 0 0 3 4 】

誘 電 体 部 材 の 外 周 部 に 取 り 付 け ら れ た 電 極 に プ ラ ズ マ 生 成 用 高 周 波 電 源 か ら プ ラ ズ マ 生 成 用 高 周 波 電 力 が 供 給 さ れ る こ と に よ り、 誘 電 体 部 材 の 内 側 に 高 密 度 プ ラ ズ マ が 生 成 さ れ

10

20

30

40

50

る。

【 0 0 3 5 】

( 発 明 1 1 ) : 発 明 1 1 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 は、 発 明 1 0 に お い て、 前 記 誘 電 体 部 材 の 比 誘 電 率 が 1 0 ~ 1 0 0 の 範 囲 で あ る こ と を 特 徴 と す る。

【 0 0 3 6 】

か か る 態 様 に よ れ ば、 長 時 間 の 放 電 に よ り 発 生 す る 熱 に よ る 誘 電 体 の 破 損 を 回 避 す る こ と が で き、 装 置 の 信 頼 性 を 高 め る こ と が で き る。

【 0 0 3 7 】

( 発 明 1 2 ) : 発 明 1 2 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 は、 発 明 1 0 又 は 1 1 に お い て、 前 記 誘 電 体 部 材 は、 円 筒 型 の 放 電 管 で あ る こ と を 特 徴 と す る。

10

【 0 0 3 8 】

プ ラ ズ マ 生 成 部 ( プ ラ ズ マ 源 ) の 形 態 と し て、 例 え ば、 円 筒 管 状 体 の 誘 電 体 部 材 の 外 周 部 に 電 極 を 取 り 付 け る 構 成 と す る。

【 0 0 3 9 】

( 発 明 1 3 ) : 発 明 1 3 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 は、 発 明 1 2 に お い て、 前 記 真 空 容 器 に は、 前 記 円 筒 型 の プ ラ ズ マ 生 成 部 が 複 数 設 け ら れ て い る こ と を 特 徴 と す る。

【 0 0 4 0 】

か か る 態 様 に よ り、 大 サ イ ズ の 基 板 の 処 理 が 可 能 で あ る。

【 0 0 4 1 】

( 発 明 1 4 ) : 発 明 1 4 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 は、 発 明 1 3 に お い て、 前 記 円 筒 型 の プ ラ ズ マ 生 成 部 は、 前 記 基 板 に 垂 直 な 方 向 に 延 設 さ れ て い る こ と を 特 徴 と す る。

20

【 0 0 4 2 】

( 発 明 1 5 ) : 発 明 1 5 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 は、 発 明 1 3 に お い て、 前 記 円 筒 型 の プ ラ ズ マ 生 成 部 は、 前 記 基 板 と 平 行 な 水 平 方 向 に 延 設 さ れ て い る こ と を 特 徴 と す る。

【 0 0 4 3 】

( 発 明 1 6 ) : 発 明 1 6 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 は、 発 明 1 3 に お い て、 前 記 複 数 の プ ラ ズ マ 生 成 部 の う ち、 一 部 の プ ラ ズ マ 生 成 部 は 前 記 基 板 に 垂 直 な 方 向 に 延 設 さ れ、 他 の 一 部 の プ ラ ズ マ 生 成 部 は 前 記 基 板 と 平 行 な 水 平 方 向 に 延 設 さ れ て い る こ と を 特 徴 と す る。

【 0 0 4 4 】

( 発 明 1 7 ) : 発 明 1 7 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 は、 発 明 1 0 乃 至 1 6 の い ず れ か 1 項 に お い て、 前 記 誘 電 体 部 材 の 内 側 表 面 は、 フ ッ 素 基 を 含 有 す る 膜 で 覆 わ れ て い る こ と を 特 徴 と す る。

30

【 0 0 4 5 】

か か る 態 様 に よ れ ば、 パ ー テ ィ ク ル の 発 生 を 抑 制 す る こ と が で き る。

【 発 明 の 効 果 】

【 0 0 4 6 】

本 発 明 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 方 法 に よ れ ば、 負 イ オ ン を 効 率 的 に 基 板 に 引 き 込 む こ と が で き、 難 エ ッ チ ン グ 材 で あ っ て も 高 速 エ ッ チ ン グ が 可 能 で あ る。

【 0 0 4 7 】

ま た、 本 発 明 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 に よ れ ば、 基 板 バ イ ア ス 電 圧 の  $V_{dc}$  と  $V_{pp}$  を 独 立 に 制 御 す る こ と が で き、 高 速 エ ッ チ ン グ が 可 能 な 適 切 な バ イ ア ス 電 圧 の 印 加 が 可 能 で あ る。 さ ら に、 本 発 明 に よ れ ば、 装 置 構 成 の 簡 略 化、 低 コ ス ト 化 が 可 能 で あ る。

40

【 図 面 の 簡 単 な 説 明 】

【 0 0 4 8 】

【 図 1 】 本 発 明 の 第 1 実 施 形 態 に 係 る ド ラ イ エ ッ チ ン グ 装 置 の 構 成 図

【 図 2 】 基 板 バ イ ア ス の 電 圧 波 形 の 例 を 示 す 波 形 図

【 図 3 】 従 来 の コ ン デ ン サ 結 合 方 式 に よ り 印 加 さ れ る 基 板 バ イ ア ス の 電 圧 波 形 の 例 を 示 す 波 形 図

【 図 4 】 自 己 バ イ ア ス 電 圧  $V_{dc}$  の 値 と P Z T の エ ッ チ ン グ レ ー ト の 関 係 を 調 べ た 実 験 結 果

50

のグラフ

【図５】放電管の材料とエッチングレートの関係調べた実験結果のグラフ

【図６】放電管の比誘電率と表面波共鳴密度の関係を示すグラフ

【図７】本発明の第２実施形態に係るドライエッチング装置の構成図

【図８】図７のドライエッチング装置を上から見下ろした平面図

【図９】本発明の第３実施形態に係るドライエッチング装置の要部構成図

【図１０】本発明の第４実施形態に係るドライエッチング装置の要部構成図

【発明を実施するための形態】

【００４９】

以下、添付図面に従って本発明の好ましい実施の形態について詳説する。

10

【００５０】

< 第１実施形態 >

図１は本発明の第１実施形態に係るドライエッチング装置の構成図である。このドライエッチング装置１０は、排気路１１から排気可能な排気システム（不図示）を具備した真空チャンバー１２（「真空容器」に相当）に高密度プラズマ生成のためのプラズマ源１４（「プラズマ生成部」に相当）と、プロセスガス挿入口１６（「ガス供給路」に相当）とが設けられ、真空チャンバー１２内には、被エッチング材（被加工物）としての基板２０を固定するためのステージ１８が設置されている。

【００５１】

プラズマ源１４は、円筒型の放電管３０（「誘電体部材」に相当）にメッシュの帯状電極３２が巻かれた構造からなり、帯状電極３２は給電線３４を介して高周波電源３６（「プラズマ生成用高周波電源」に相当）へと接続されている。なお、後述する表面波共鳴密度が所定の条件を満たすものであれば、放電管３０の比誘電率と高周波電源３６の周波数は特に限定されない。例えば、放電管３０は誘電体から出来ており、その比誘電率は３～１００程度が望ましい。高周波電源３６は、１３．５６ＭＨｚ～２００ＭＨｚであることが望ましい。

20

【００５２】

放電管３０の上部にプロセスガス挿入口１６が設けられており、プロセスガスは放電管３０の軸に沿って当該放電管３０の内部を通して真空チャンバー１２内に導入される。プロセスガスを供給しながら帯状電極３２に高周波電力を供給することにより、高密度のプラズマ３８（表面波プラズマ）が発生する。

30

【００５３】

プラズマ３８の下方に基板２０を処理するためのステージ１８が配置される。ステージ１８は、Ｈｅ冷却機構４０やチラー４２による水冷機構、或いはこれらの組合せなどによる基板冷却システム（冷媒の循環流路構造などについては図示を省略する）が組み込まれている。ステージ１８には、当該ステージ１８上に載置される基板２０を保持（固定）するためのメカニカルチャック４４若しくは静電チャックが設置されている。

【００５４】

また、ステージ１８は、基板２０に印加する基板バイアス電圧を制御するため、トランス結合方式のマッチングボックス５０を介して高周波電源５２（「バイアス用高周波電源」に相当）と直流電源５４（「バイアス用直流電源」に相当）とが直列に設置されている。

40

【００５５】

図示のように、トランス５６のコア５７に巻かれた一次側巻線に高周波電源５２が接続され、二次側巻線に抵抗器５８を介して直流電源５４が接続される。かかる構成により、ステージ１８上の基板２０には、高周波電源５２及び直流電源５４からトランス５６を介して高周波電圧と直流電圧とが重畳された基板バイアス電圧が印加される。

【００５６】

バイアス用の高周波電源５２は、プラズマ生成用の高周波電源３６よりも相対的に低周波数の電源であることが望ましく、例えば、１００ＫＨｚ～２ＭＨｚの範囲の低周波電源

50



であることが望ましい。高周波電源 5 2 の出力波形は、正弦波に限らず、矩形波、三角波などでもよい。

【 0 0 5 7 】

高周波電源 5 2 の出力及び直流電源 5 4 の出力は図示せぬ制御回路によって制御され、それぞれの出力を適宜調整可能である。高周波電源 5 2 の出力を調整することで、基板バイアス電圧のピーク - ピーク間電圧 ( peak-to-peak 電位差 )  $V_{pp}$  の値を任意に設定することができる。また、直流電源 5 4 の出力を調整することにより、基板バイアス電圧の自己バイアス電圧  $V_{dc}$  の値を任意に設定することができる。

【 0 0 5 8 】

このように、表面波プラズマを用いたプラズマ装置 ( ドライエッチング装置 ) において、基板バイアス印加部に高周波電源 5 2 と直流電源 5 4 とを組み合わせたトランス結合方式のバイアス印加手段を採用したことにより、基板バイアス電圧のピーク - ピーク間電圧  $V_{pp}$  と、自己バイアス電圧  $V_{dc}$  とをそれぞれ独立に制御することができる。このため、 $V_{dc}$  の値を 0 V 以上とする基板バイアス電圧の印加が可能であり、基板 2 0 に正バイアスを印加することが可能となる。

【 0 0 5 9 】

上記の構成により、表面波プラズマのダウンストリーム領域にて基板 2 0 のエッチングを行う。

【 0 0 6 0 】

図 2 はステージ 1 8 上の基板 2 0 に印加される基板バイアスの電圧波形の例である。図示のとおり、特に、 $V_{dc}$  を正の値に制御した基板バイアス電圧を印加することで、プラズマ中の負イオンを効率よく基板 2 0 に引き込むことが可能となり、反応性が向上する。これにより、エッチングレートの飛躍的向上を達成でき、難エッチング材の高速エッチングが可能となる。なお、 $V_{dc}$  は、ピーク - ピーク間電圧  $V_{pp}$  の  $1/2$  の値となる。

【 0 0 6 1 】

比較のために、図 3 に従来のコンデンサ結合方式 ( 例えば、特許文献 1 の形態 ) による基板バイアスの電圧波形を示す。図 3 に示すように、従来のコンデンサ結合方式バイアスでは  $V_{dc}$  は負の値となっており、基板への負イオンの引き込みが弱い。この点、本発明の実施形態 ( 図 1 ) によれば、 $V_{dc}$  を正の値に制御することができ ( 図 2 )、負イオンの利用効率を飛躍的に高めることができる。

【 0 0 6 2 】

< 実施例 : チタン酸ジルコン酸鉛 ( P Z T ) のエッチング例 >

図 1 で説明したドライエッチング装置 1 0 を用い、強誘電体材料である P Z T のエッチングを行った結果を図 4 に示す。図 4 は  $V_{dc}$  の値と P Z T のエッチングレートの関係を調べたグラフである。横軸は  $V_{dc}$ 、縦軸はエッチングレートを示す。実験では、直流電源 5 4 の出力電圧を制御して基板バイアスの D C 成分 (  $V_{dc}$  ) を変更し、各条件でエッチングレートを調べた。また、ステージ 1 8 上に置かれた基板 2 0 と放電管 3 0 の帯状電極 3 2 との間の距離  $Z$  ( 図 1 における鉛直方向の距離 ) を変えて、エッチングレートの変化を調べた。

【 0 0 6 3 】

被エッチング材の基板 2 0 として、シリコン基板上にシリコン酸化膜が 2 0 0 n m 形成された基板に白金 ( P t ) を 2 0 0 n m、P Z T を 5 . 0  $\mu$  m 程度それぞれスパッタ法で成膜した基板を用いた。

【 0 0 6 4 】

放電管 3 0 は、比誘電率が 1 0 ~ 1 0 0 程度のものを使用すれば良く、図 4 に示した実験の実施例では比誘電率が 1 0 程度のアルミナを用いた。表面波プラズマ生成用の高周波電源 3 6 は、1 3 . 5 6 M H z ~ 6 0 M H z 程度を用いれば良く、本実施例では 6 0 M H z を用い、出力は 1 0 0 0 W とした。

【 0 0 6 5 】

エッチングガスには、ハロゲンを含むガスを用いれば良く、例えば、 $Cl_2$  ( 塩素

10

20

30

40

50

）や $\text{BCl}_3$ （三塩化ホウ素）、 $\text{HBr}$ （臭化水素）、 $\text{SF}_6$ （六フッ化硫黄）、 $\text{CF}_4$ （四フッ化炭素）、 $\text{CHF}_3$ （トリフルオロメタン）、 $\text{C}_2\text{F}_6$ （六フッ化エタン）、 $\text{C}_3\text{F}_8$ （八フッ化プロパン）、 $\text{C}_4\text{F}_6$ （六フッ化ブタジエン）、 $\text{C}_4\text{F}_8$ （八フッ化シクロブタン）、 $\text{C}_5\text{F}_8$ （オクタフルオロシクロペンテン）などやそれらの混合ガス、アルゴンなどの不活性ガス、酸素や窒素などの混合ガスを用いることができる。ガス流量は $1 \sim 1000 [\text{sccm}]$ の範囲で良い。本実施例では $\text{SF}_6$ を用い、流量は $300 [\text{sccm}]$ とした。なお、流量の単位 $[\text{sccm}]$ は、1分間あたりに流れる気体の流量を標準状態（0、1 atm（大気圧1,013 hPa））における体積で表したもの（Standard Cubic Centimeters per Minute）である。

#### 【0066】

10

ガス導入時の真空度は $0.01 \sim 1000 \text{ Pa}$ の範囲が好ましく、特には $6.6 \sim 66 \text{ Pa}$ が良い。本実施例では、 $53 \text{ Pa}$ に設定した。

#### 【0067】

基板バイアスは、トランス結合のマッチングボックス50を介し（図1参照）、 $100 \text{ kHz} \sim 2 \text{ MHz}$ の高周波を用いれば良く、本実験の実施に際しては、周波数は $400 \text{ kHz}$ を用い、出力は $20 \text{ W}$ とし、 $V_{dc}$ は「 $-100 \text{ V}$ 」から「 $+120 \text{ V}$ 」の範囲で制御した。また、基板20と帯状電極32との間の距離 $Z$ については、 $13 \text{ cm}$ 、 $15 \text{ cm}$ 、 $17 \text{ cm}$ の3形態を比較した。

#### 【0068】

図4から明らかなように、 $V_{dc}$ が $0 \text{ V}$ 以上の条件（特に $V_{dc} > 0$ ）でエッチングレートが急激に高速化している。また、基板20と帯状電極32との間の距離 $Z$ は $13 \text{ cm}$ よりも $15 \text{ cm}$ 、 $17 \text{ cm}$ と距離を離すほど、エッチングレートが高速化している。

20

#### 【0069】

これは、ダウフロー領域で負イオンが多量に生成されることから、電極からの距離が離れることで負イオンを積極的にエッチングに用いることが出来るためである。なお、あまり距離が離れすぎるとエッチングレートは低下する。電極からの距離によりエッチングレートの最適値がある。

#### 【0070】

図4では、PZTのエッチング結果を示し、本発明を適用した場合の優位性を説明したが、PZTのみに限らず、その他の難エッチング材でも本発明は有効である。難エッチング材としては、PZTの他、 $\text{PZTN}:\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{Nb}_2\text{O}_8$ 、 $\text{PLZT}:(\text{Pb}, \text{La})(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ や $\text{BST}:(\text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$ 、 $\text{SRO}:\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{BTO}:\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、貴金属材料である $\text{Pt}$ 、 $\text{Ru}$ 、 $\text{RuO}_2$ 、 $\text{Ir}$ 、 $\text{IrO}_2$ 、 $\text{Au}$ 等、磁性体などである。

30

#### 【0071】

<放電管の比誘電率とエッチングレートの関係について>

図5は放電管の材料とエッチングレートの関係調べたものである。図5では、比誘電率が異なる複数の放電管（ここでは3種類を例示）について、各放電管を用いた場合のシリコンのエッチングレートを比較した結果を示す。当該実験では比誘電率が「45」の高誘電率材料と、比誘電率が「8.2」のアルミナと、比誘電率が「3.8」の石英の各材料からなる放電管を用い、シリコンをエッチングした。

40

#### 【0072】

シリコン基板をエッチングする際の条件は、表面波プラズマ生成用の高周波電源には、 $13.56 \text{ MHz} \sim 60 \text{ MHz}$ 程度を用いれば良く、本実験の実施では $60 \text{ MHz}$ を用い、出力は $150 \text{ W}$ とした。

#### 【0073】

エッチングガスには、ハロゲンガスを用いれば良く、例えば $\text{Cl}_2$ （塩素）や $\text{BCl}_3$ （三塩化ホウ素）、 $\text{HBr}$ （臭化水素）、 $\text{SF}_6$ （六フッ化硫黄）、 $\text{CF}_4$ （四フッ化炭素）、 $\text{CHF}_3$ （トリフルオロメタン）、 $\text{C}_2\text{F}_6$ （六フッ化エタン）、 $\text{C}_3\text{F}_8$ （八フッ化プロパン）、 $\text{C}_4\text{F}_6$ （六フッ化ブタジエン）、 $\text{C}_4\text{F}_8$ （八フッ化シクロブタン）

50

、 $C_5F_8$ （オクタフルオロシクロペンテン）などやそれらの混合ガス、アルゴンなどの不活性ガス、酸素や窒素などの混合ガスを用いれば良い。本実験では、 $SF_6$ を用い流量は $75\text{ sccm}$ としその時の真空度は $6.6 \sim 666\text{ Pa}$ で行えば良く、本実験では、 $20\text{ Pa}$ とした。

【0074】

基板バイアスは、トランス結合のマッチングボックス50（図1参照）を介し、 $100\text{ kHz} \sim 2\text{ MHz}$ の高周波を用いれば良く、本実験の実施に際しては、周波数は $400\text{ kHz}$ を用い、出力は $10\text{ W}$ とし、 $V_{dc}$ は $120\text{ V}$ に制御した。また、基板20から放電管30の帯状電極32までの距離 $Z$ を $15\text{ cm}$ とした。

【0075】

10

図5から明らかなように、比誘電率45の高誘電率放電管はシリコンのエッチングレートが他の放電管と比べても勝っている。なお、ここで用いた高誘電率材料（比誘電率45）の主成分は $La$ 、 $Al$ 、 $Ca$ 、 $Ti$ からなる酸化物である。図5に示すとおり、 $60\text{ MHz}$ の高周波でプラズマ生成した場合の放電管の比誘電率が高いほどエッチングレートが速くなっている。放電管30の比誘電率が石英などのように低い場合はエッチングレートがそれほど高くない。少なくともアルミナ（比誘電率8.2）以上の比誘電率の材料からなる放電管を用いることが望ましい。

【0076】

その一方で、比誘電率が100以上の放電管を用いると誘電正接の値が高いため発熱により破損してしまうため、信頼性の観点から比誘電率が100以下の放電管が望ましい。以上の知見から、放電管の比誘電率は、概ね $10 \sim 100$ の範囲が望ましく、より好ましくは、 $20 \sim 60$ の範囲である。

20

【0077】

<プラズマ生成用（放電用）の高周波電源の周波数と放電管の比誘電率の関係>

ここでプラズマ生成用の高周波電源の周波数と放電管の比誘電率の関係を説明する。一般に比誘電率の媒体中を伝搬する電磁波の位相速度は、式1で与えられる。

【0078】

【数1】

$$\frac{\omega}{k} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (\text{式1})$$

30

【0079】

式1中の $\omega$ は電磁波の角周波数、 $k$ は電磁波の波数、 $c$ は光速である。

【0080】

冷たい無衝突プラズマの比誘電率は、式2と表すことができる。

【0081】

【数2】

$$\epsilon = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \quad (\text{式2})$$

40

【0082】

式2中の $\omega_p$ は電子プラズマ角周波数と呼ばれ、式3で表される。

【0083】

【数3】

$$\omega_p = \sqrt{\frac{e^2 n}{\epsilon_0 m}} \quad (\text{式3})$$

【0084】

式3中の $n$ は電子密度、 $m$ は電子の質量である。

50

【 0 0 8 5 】

式 2 より波の分散関係は、式 4 で表される。

【 0 0 8 6 】

【 数 4 】

$$\frac{\omega}{k} = \frac{c}{\sqrt{1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}}} \quad (\text{式 4})$$

【 0 0 8 7 】

10

この式 4 より  $\omega_p^2 \ll \omega^2$  となるような低密度プラズマでは「 $c/k$ 」が光速  $c$  と同程度となる。また、 $\omega_p = \omega$  の場合は  $k=0$  となり、波長は無限大となる。一方、 $\omega_p^2 \gg \omega^2$  であるような高密度プラズマの場合、波数は純虚数となるので  $k=i/\delta$  とおけば ( $i$  は虚数単位)、波の振幅は  $\exp(-\delta/z)$  の形で表され、プラズマ表面からの深さ  $z$  とともに減衰する。

【 0 0 8 8 】

この特性長  $\delta$  は表皮厚さと呼ばれ、式 3 より、式 5 と書ける。

【 0 0 8 9 】

【 数 5 】

$$\delta = \frac{c}{\sqrt{\omega_p^2 - \omega^2}} \quad (\text{式 5})$$

20

【 0 0 9 0 】

十分高密度で  $\omega_p^2 \gg \omega^2$  のときには  $\delta = c/\omega_p$  となり、これをプラズマ表皮厚さという。簡単のために一様なプラズマが半無限の誘電体板 (比誘電率  $\epsilon_d$ ) と接している時、その界面 ( $z=0$ ) に沿って伝搬する表面波を考える。波数  $k$  を界面に沿う成分  $k_x$  に分けて ( $k=k_x^2+k_z^2$ ) プラズマ中の分散式 (式 4) を書き直すと、式 6 となる。

【 0 0 9 1 】

【 数 6 】

30

$$k_x + k_y = \frac{\left(\frac{\omega}{c}\right)^2}{\left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}\right)} \quad (\text{式 6})$$

【 0 0 9 2 】

高密度 ( $\omega_p \gg \omega$ ) のとき、式 6 の右辺は負となる。そこで界面に沿って  $x$  方向に伝搬する表面波を考えると ( $k_x^2 > 0$ )、式 4 の左辺が負になるには  $k_z^2$  が十分に大きい負の値をとればよいので  $k_z = i$  とおく。すなわち波の振幅は  $z$  方向に指数関数的に減衰する。同様に誘電体中でも界面から離れるにつれて減衰する解 ( $k_z = i$ ) を考え電磁界に対する  $z=0$  での境界条件を考えると、最終的に次の式 7 に示すような表面波の分散関係が得られる。

40

【 0 0 9 3 】

【数 7】

$$k_x = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\varepsilon_d(\omega_p^2 - \omega^2)}{\omega_p^2 - (1 + \varepsilon_d)\omega^2}} \quad (\text{式 7})$$

【 0 0 9 4 】

式 7 中の  $\varepsilon_d$  は誘電体導入窓の比誘電率である。

【 0 0 9 5 】

式 7 の右辺の分母が 0 の時に  $k_x =$  (共鳴) となることから、式 8 を満たすときに、表面波共鳴が起こる。 10

【 0 0 9 6 】

【数 8】

$$\omega_p^2 = (1 + \varepsilon_d)\omega^2 \quad (\text{式 8})$$

【 0 0 9 7 】

式 8 を変形して式 9 を得る。

【 0 0 9 8 】

【数 9】

20

$$\omega = \frac{\omega_p}{\sqrt{1 + \varepsilon_d}} \quad (\text{式 9})$$

【 0 0 9 9 】

結局、式 9 の右辺が実数値になるのは、式 10 を満たす高密度プラズマの時である。

【 0 1 0 0 】

【数 10】

$$N_e = (1 + \varepsilon_d)N_c \quad (\text{式 10})$$

30

【 0 1 0 1 】

この式 10 で示す電子密度  $N_e$  を「表面波共鳴密度」と呼び  $N_r$  で表す。電磁波は電子密度が  $N_c$  より高いような高密プラズマの場合、電磁波の反射が起こり波の振幅は  $z$  方向に急速に減衰し、 $r$ -面内を伝搬する表面波が励起される。なお、式 10 中における  $N_c$  はカットオフ密度のことであり、式 11 と表される。

【 0 1 0 2 】

【数 11】

$$N_c = \frac{\varepsilon_0 m_e \omega^2}{e^2} \quad (\text{式 11})$$

40

【 0 1 0 3 】

式 11 と式 10 より表面波共鳴密度は、式 12 と表すことができる。

【 0 1 0 4 】

【数 12】

$$N_r = \frac{(1 + \varepsilon_d)\varepsilon_0 m_e \omega^2}{e^2} \quad (\text{式 12})$$

50

## 【 0 1 0 5 】

式 1 2 に示したとおり、放電管の比誘電率  $\epsilon_d$  と、当該放電管に巻かれた電極に印加する高周波電力の周波数  $f = \quad / (2 \quad)$  から表面波共鳴密度が決定される。

## 【 0 1 0 6 】

< 表面波共鳴密度とエッチングレートの関係 >

図 5 で説明した実験結果について、石英（比誘電率：3 . 8）の放電管を用いた時の表面波共鳴密度は、 $2 . 1 4 \times 1 0^8 \text{ cm}^{-3}$  であり、アルミナ（比誘電率：8 . 2）の放電管の場合は、 $4 . 1 0 \times 1 0^8 \text{ cm}^{-3}$  である。これに対し、高誘電率放電管（比誘電率：4 5）の時の表面波共鳴密度は  $2 . 0 5 \times 1 0^9 \text{ cm}^{-3}$  である。表面波共鳴密度が高いほどエッチングレートが速い傾向を示している。

10

## 【 0 1 0 7 】

図 5 の結果から、表面波共鳴密度が  $4 . 1 0 \times 1 0^8 \text{ cm}^{-3}$  のアルミナ（比誘電率：8 . 2）は、石英（表面波共鳴密度 =  $2 . 1 4 \times 1 0^8 \text{ cm}^{-3}$ 、比誘電率：3 . 8）と比較して、2 ~ 3 倍のエッチングレートが得られている。さらに、表面波共鳴密度が  $2 . 0 5 \times 1 0^9 \text{ cm}^{-3}$  の高誘電材料（誘電率：4 5）は、石英と比較して 5 倍のエッチングレートが得られている。

## 【 0 1 0 8 】

式 1 2 から、放電管の比誘電率と表面波共鳴密度の関係を計算した結果を図 6 に示す。横軸は比誘電率、縦軸は表面波共鳴密度を表す。プラズマ生成用の高周波電力の周波数を  $1 3 . 5 6 \times 1 0^6 \text{ Hz} \sim 2 . 4 5 \times 1 0^9 \text{ Hz}$  の範囲で変えて計算した。

20

## 【 0 1 0 9 】

図 6 に示すとおり、高周波電力にマイクロ波（2 . 4 5 G H z）を用いると、表面波共鳴密度は  $1 \times 1 0^{11} \text{ cm}^{-3}$  以上の高密度となる。特に、マイクロ波の高周波電源と比誘電率 2 0 以上の高誘電率の放電管とを組み合わせることにより、表面波共鳴密度は 1 0 の 1 2 乗から 1 3 乗のオーダー（単位  $[\text{cm}^{-3}]$ ）の高密度となる。

## 【 0 1 1 0 】

しかし、この条件でプラズマを維持しようとする、マイクロ波の出力（パワー）として非常に高いものが要求される。マイクロ波の電源は一般に高価であり、システムが複雑となるため、実用上採用し難い構成である。

## 【 0 1 1 1 】

図 6 において、他の周波数に注目すると、 $1 3 . 5 6 \text{ MHz} \sim 2 0 0 \text{ MHz}$  の範囲の電源を用いる場合でも放電管の誘電率との組合せにより、概ね  $1 . 0 \times 1 0^{11} \text{ cm}^{-3}$  を上限として、比較的高い表面波共鳴密度を達成できる。

30

## 【 0 1 1 2 】

図 5 で説明したアルミナ放電管使用時のエッチングレートを判断の目安とすると、図 6 において、表面波共鳴密度が  $4 . 1 \times 1 0^8 \text{ cm}^{-3}$  以上となる条件が望ましい。すなわち、表面波共鳴密度が  $4 . 1 \times 1 0^8 \text{ cm}^{-3}$  以上  $1 . 0 \times 1 0^{11} \text{ cm}^{-3}$  以下となるものであれば、放電管の比誘電率とプラズマ生成用高周波電力の周波数との具体的な数値の組合せは、特に限定されない。

## 【 0 1 1 3 】

かかる表面波共鳴密度の条件を満たす装置構成を採用することにより、マイクロ波の高周波電源を用いることなく、十分に高い表面波共鳴密度の表面波プラズマが生成可能であり、装置の簡略化及び低コスト化が可能である。

40

## 【 0 1 1 4 】

また、当該表面波共鳴密度の条件と、既述した比誘電率の好ましい数値範囲（1 0 ~ 1 0 0、より好ましくは 2 0 ~ 6 0）の条件とを同時に満たす構成を採用することにより、更なる信頼性向上を達成できる。

## 【 0 1 1 5 】

< パーティクル対策 >

放電管 3 0 はプラズマに曝されるためパーティクルが発生する問題がある。かかる課題

50

に対して、放電管 30 の内側表面をフッ素基を含有する膜でコーティングすることでパーティクルの発生を抑制することができる。フッ素コート方法は、フッ素を含有するガスを用いプラズマ処理することでフッ素コートすることが出来る。その他にはスパッタ法や蒸着法、CVDなどでフッ素コートしても良い。

#### 【0116】

##### < 第2実施形態 >

図7は本発明の第2実施形態に係るドライエッチング装置100の構成図である。図7において図1で説明した例と同一又は類似の部材には同一の符号を付し、その説明は省略する。

#### 【0117】

図7に示したドライエッチング装置100は、基板サイズの大サイズ化に対応した例であり、真空チャンバー12に複数のプラズマ源14A、14B、14C・・・が設けられている。図8はドライエッチング装置100を上から見た平面図である。

#### 【0118】

図示のドライエッチング装置100は、真空チャンバー12の上部に5つのプラズマ源14A～14Eが取り付けられているが(図8参照)、プラズマ源の設置数及びその配置形態は特に限定されない。各プラズマ源14A～14Eの構造は、図1で説明したプラズマ源14と同様の構造である。

#### 【0119】

すなわち、円筒型の放電管30A～30Eはそれぞれプロセスガス挿入口16A～16Eを有しており、各放電管30A～30Eの外周部に巻かれたメッシュの帯状電極32A～32Eに高周波電源36からプラズマ生成用高周波電力が印加される。

#### 【0120】

各放電管30A～30Eは、基板20の面に対して垂直な方向に延設されており、これら複数の放電管30A～30Eを処理対象の基板20の中心に対して対称的に配置する構成により、大サイズの基板(例えば、直径8インチ以上の基板サイズ)でも均一なプラズマが生成可能である。

#### 【0121】

##### < 第3実施形態 >

図9は本発明の第3実施形態に係るドライエッチング装置110の要部構成図である。図9(A)は上面図、(B)は断面図である。図9において図1、図7～8で説明した例と同一又は類似の部材には同一の符号を付し、その説明は省略する。

#### 【0122】

図9に示したドライエッチング装置110は、基板サイズの大サイズ化に対応した他の例であり、真空チャンバー12の側面部に基板20と水平方向に放電管30A～30Dを設置した構成である。ここでは、4本の放電管30A～30Dを取り付けた例を示したが、設置数及びその配置形態は特に限定されない。

#### 【0123】

##### < 第4実施形態 >

図10は本発明の第4実施形態に係るドライエッチング装置120の要部構成図である。図10において図1、図7～8で説明した例と同一又は類似の部材には同一の符号を付し、その説明は省略する。

#### 【0124】

図10に示したドライエッチング装置120は、第1実施形態(図1)又は第2実施形態(図7～8)で説明した形態(基板に対して垂直方向に放電管を設置する形態)と、第3実施形態(図9)で説明した形態(基板面と平行な水平方向に放電管を設置する形態)とを組み合わせた例である。かかる形態により、基板サイズの大サイズ化に十分対応できるような均一なプラズマが生成可能である。

#### 【0125】

##### < 本発明の実施形態による利点 >

上述した各実施形態は次のような技術的利点を有する。

【0126】

(1) 表面波プラズマのダウストリーム領域を使用することで連続的な負イオンの生成が可能となる。

【0127】

(2) 比較的低い誘電率の放電管でもVHF帯の周波数(30MHz~300MHz)の高周波電源を用いることで、高い表面波共鳴密度(例えば、 $4.1 \times 10^8 \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1.0 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以下)を得ることができるため(図6)、高密度プラズマにより高密度の負イオン生成が可能である。また、従来のマイクロ波プラズマ装置と比較して、装置の簡略化、低コスト化が可能である。

10

【0128】

(3) 基板20を支持するステージ18にトランス結合方式にて直流電源54からの直流(DC)電圧と高周波電源52からの高周波(RF)電圧とを重畳して印加する構成により、VdcとVppを独立に制御することが可能である。

【0129】

(4) 上記(3)の構成により、基板20に正のバイアスを印加することで、負イオンを効率的に基板20に引き込むことができ、負イオンの反応性により、難エッチング材であっても高速に加工(エッチング)することができる。

【0130】

(5) また、本実施形態によれば、異方性加工が可能であり、デポ膜(側壁付着膜)等

20

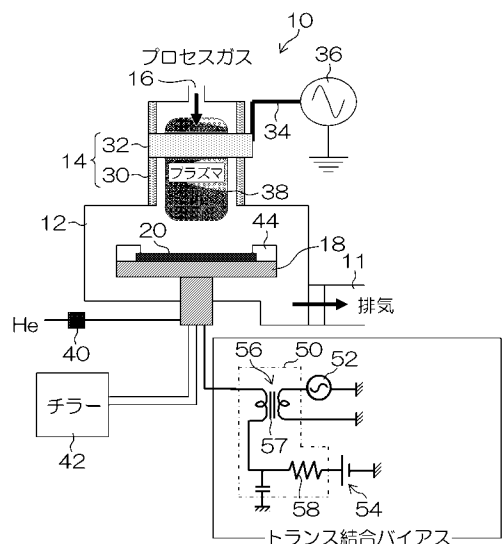
【符号の説明】

【0131】

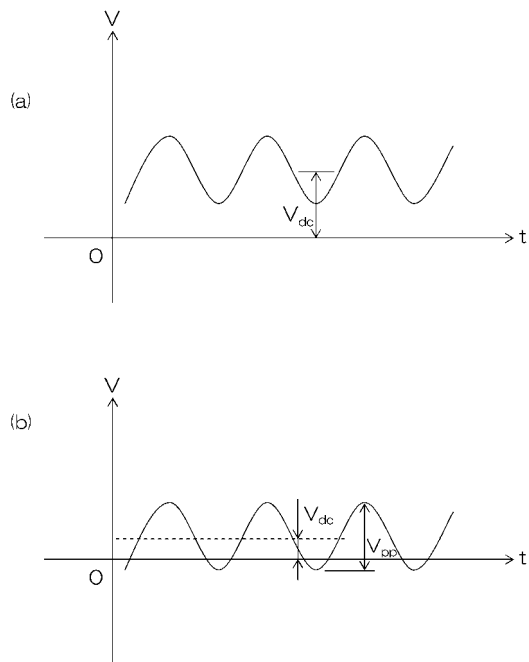
10...ドライエッチング装置、12...真空チャンバー、14...プラズマ源、16...プロセスガス挿入口(ガス供給口)、18...ステージ、20...基板、30...放電管(誘電体部材)、32...帯状電極、36...高周波電源(プラズマ生成用高周波電源)、50...マッチングボックス、52...高周波電源(バイアス用高周波電源)、54...直流電源(バイアス用直流電源)、56...トランス、57...コア、100, 110, 120...ドライエッチング装置



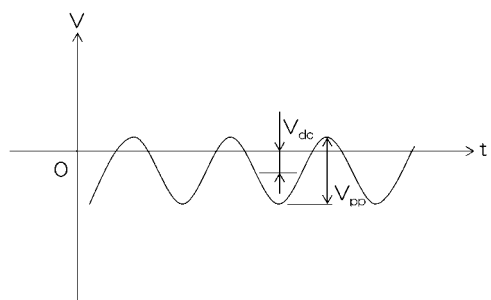
【図 1】



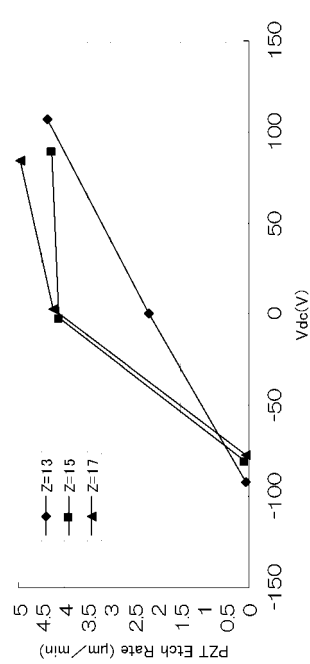
【図 2】



【図 3】

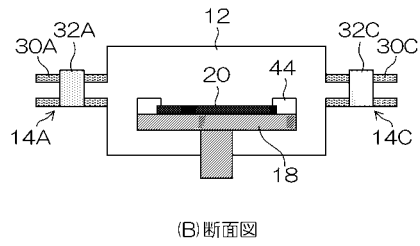
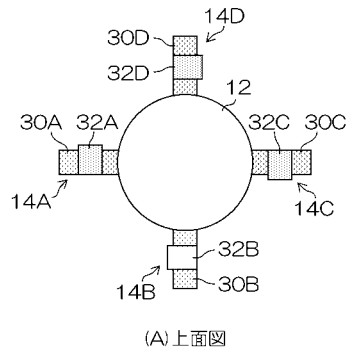


【図 4】

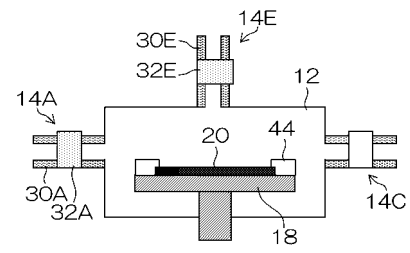




【図 9】



【図 10】



---

フロントページの続き

審査官 今井 淳一

(56)参考文献 特開平 1 1 - 2 2 4 7 9 6 ( J P , A )  
特開平 1 0 - 1 5 4 6 0 0 ( J P , A )  
特開平 1 1 - 2 1 9 9 3 7 ( J P , A )  
特開 2 0 0 7 - 2 4 2 9 1 3 ( J P , A )  
特開 2 0 0 1 - 0 6 8 4 5 8 ( J P , A )  
特開 2 0 0 0 - 0 3 1 1 2 1 ( J P , A )  
特開 2 0 0 6 - 3 2 4 4 9 6 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 1 L	2 1 / 3 0 6 5
C 2 3 F	4 / 0 0
H 0 5 H	1 / 4 6