

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-229751

(P2014-229751A)

(43) 公開日 平成26年12月8日(2014.12.8)

(51) Int.Cl.

H01L 21/3065 (2006.01)

F I

H01L 21/302 I01D

テーマコード(参考)

5F004

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2013-108285 (P2013-108285)
 (22) 出願日 平成25年5月22日 (2013.5.22)

(71) 出願人 501387839
 株式会社日立ハイテクノロジーズ
 東京都港区西新橋一丁目24番14号
 (74) 代理人 110000350
 ポレール特許業務法人
 (72) 発明者 池田 紀彦
 山口県下松市大字東豊井794番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ笠戸事業所内
 (72) 発明者 森本 未知数
 山口県下松市大字東豊井794番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ笠戸事業所内
 (72) 発明者 金澤 峻介
 山口県下松市大字東豊井794番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ笠戸事業所内

最終頁に続く

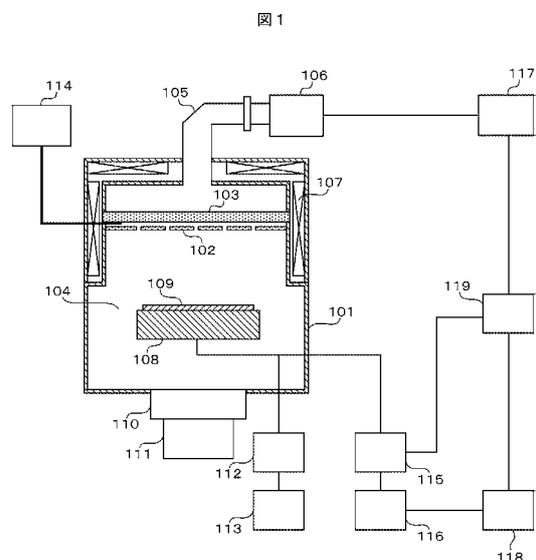
(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置および処理方法

(57) 【要約】

【課題】高選択比とエッチング形状制御の両立が可能なプラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】マイクロ波電源106と、マイクロ波電力を時間変調するための第一パルス発生器117と、高周波バイアス電源116と、高周波バイアス電力を時間変調するための第二パルス発生器118と、制御装置119とを備えたプラズマ処理装置において、制御装置119は、第二パルスのオン期間が第一パルスのオン期間より所望の時間だけ早く開始するように第一パルス発生器と第二パルス発生器とを制御する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

被処理基板をプラズマ処理するプラズマ処理室と、プラズマを生成するための高周波電力を供給する第一の高周波電源と、前記第一の高周波電源から供給された高周波電力を時間変調するための第一のパルスが発生する第一のパルス発生器と、前記被処理基板を載置する試料台と、前記試料台に高周波電力を供給する第二の高周波電源と、前記第二の高周波電源から供給された高周波電力を時間変調するための第二のパルスが発生する第二のパルス発生器と、前記第一のパルス発生器および前記第二のパルス発生器を制御する制御装置とを備えるプラズマ処理装置において、

前記制御装置は、前記第二のパルスのオン期間が前記第一のパルスのオン期間より所望の時間だけ早く開始するように前記第一のパルス発生器と前記第二のパルス発生器とを制御するものであることを特徴とするプラズマ処理装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、

前記所望の時間は、前記第一のパルスのオン期間の 10% 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】

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、

前記第一のパルスの周波数は、前記第二のパルスの周波数より高いことを特徴とするプラズマ処理装置。

20

【請求項 4】

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、

前記第一のパルスのオン期間は、前記第二のパルスのオン期間より長いことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のプラズマ処理装置において、

前記第一のパルスの周波数は、前記第二のパルスの周波数より低いことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項 6】

請求項 1 に記載のプラズマ処理装置において、

前記所望の時間は、0.1 ~ 1000 マイクロ秒であり、前記第一のパルスのオン期間と前記第二のパルスのオン期間との重なる期間は、100 マイクロ秒以下であることを特徴とするプラズマ処理装置。

30

【請求項 7】

被処理基板をプラズマ処理するプラズマ処理室と、プラズマを生成するための高周波電力を供給する第一の高周波電源と、前記第一の高周波電源から供給された高周波電力を時間変調するための第一のパルスが発生する第一のパルス発生器と、前記被処理基板を載置する試料台と、前記試料台に高周波電力を供給する第二の高周波電源と、前記第二の高周波電源から供給された高周波電力を時間変調するための第二のパルスが発生する第二のパルス発生器とを備えるプラズマ処理装置を用いたプラズマ処理方法において、

40

前記第一のパルスが発生するステップと、

前記第二のパルスが発生するステップとを有し、

前記第二のパルスの発生は、前記第一のパルスの発生より所望の時間だけ早く開始されることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 8】

請求項 7 に記載のプラズマ処理方法において、

前記所望の時間は、前記第一のパルスのオン期間の 10% 以下であることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 9】

請求項 7 に記載のプラズマ処理方法において、

50

前記第一のパルスの周波数は、前記第二のパルスの周波数より高いことを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 10】

請求項 7 に記載のプラズマ処理方法において、

前記所望の時間は、プラズマ処理条件を構成する単位であるステップ毎に制御されることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載のプラズマ処理方法において、

前記所望の時間は、プラズマ処理条件を構成する単位であるステップ毎に順次長くなることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項 12】

請求項 11 に記載のプラズマ処理方法において、

前記第一のパルスのオン期間は、プラズマ処理条件を構成する単位であるステップ毎に順次短くな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】

【技術分野】

【0001】

本発明は、プラズマ処理装置および処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体デバイス加工寸法の微細化に伴い、アスペクト比の高いパターン、あるいは立体トランジスタ等の新デバイス構造が採用されている。特に立体トランジスタである FinFET (Field Effect Transistor) の加工では、プラズマエッチング装置に対して、高いエッチング選択比と高精度なエッチング形状制御の両立が求められており、それを実現するためにはエッチングに寄与するイオン量とイオンエネルギーを制御しながら、同時にエッチングによる反応性生成物とラジカル量を制御できるエッチング技術が必要とされる。

【0003】

そこで、間欠的な高周波放電や時間変調された高周波バイアスを用いた処理方法が注目されている。間欠的な放電用高周波放電により生成するパルスプラズマにおける、1 サイクル内の各期間のプラズマ密度やラジカル量、時間変調した高周波バイアスによるイオン量とイオンエネルギー、さらにエッチング速度と排気による反応生成物量を制御し組み合わせ利用することで、高選択比かつ高精度な加工を実現しており現在技術開発が加速されている。

【0004】

エッチング加工精度を高める方法として、高周波バイアスのみ時間変調することにより反応生成物の量を制御しパターン垂直形状を実現する方法や、特許文献 1 のような間欠的な放電用高周波電力と、間欠的な高周波バイアスを同周期で印加することにより、イオンエネルギーを適切に制御するエッチング方法が知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開平 08 - 083776 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

まず高周波バイアスのみ時間変調する方法では、プラズマを生成する高周波電源が連続発振されており、プラズマ密度は常に高くプラズマ種は過解離の状態である。

【0007】

被エッチング材をポリシリコンなどのシリコン系材料としエッチングガスにエッチャン

10

20

30

40

50

トガスを多量に含むプロセスにおいては、エッチング系ラジカルの影響で特にバイアスオフ時、パターンにサイドエッチングが発生する。

【0008】

あるいは逆にエッチングガスにデポ系ガスを添加したプロセスにおいては、過解離によりデポ性ラジカルが多量に存在しており、特に高周波バイアスオフ時に多量のデポがパターンに付着する。

【0009】

パターンの密部と疎部とではそれぞれ側壁へのデポ性物質付着率の差があり、特に疎部パターン側壁により多くのデポが付着する。そのためエッチング処理後パターンのライン幅やエッチングテーパ角が疎部と密部で異なるいわゆる疎密形状差が発生する。

10

【0010】

また密部で高アスペクト比のパターンをエッチングする際には、高周波バイアスがオフ期間にパターン底部にデポが付着し、次サイクルの高周波バイアスオン時にエッチングが進展しないエッチストップや密部のエッチング速度が疎部のエッチングより遅いマイクロローディングが発生する。

【0011】

これを回避するためには高周波バイアス電力を上げ、より高エネルギーイオンでエッチングすることが有効であるが一般的に選択比は悪化する。選択比と疎密形状差の両立のために高周波バイアス平均電力を上げることができないので、パルス1サイクル時間に対する電力印加時間の比であるデューティー比を下げるが必要になる。

20

【0012】

昨今、パターンの微細化高アスペクト化に伴い、時間変調した高周波バイアスにおいて、デューティー比は低く、高周波バイアスの印加時電力は大きくなる傾向にある。

【0013】

高周波バイアスが低デューティー比、高バイアス電力で、且つ繰り返し周波数が高い領域ではバイアス印加時間が短くなりその時間制御が困難となるため、際限なくデューティー比を下げ、高バイアス電力化することは限界に近づいている。

【0014】

特許文献1では上記過解離抑制のため間欠的な放電用高周波電力を用いている。上記方式は間欠的な放電用高周波と高周波バイアスが同周波数でかつ同時刻に印加する方法、あるいは放電用高周波の印加時からいくらかの遅延時間を経て高周波バイアスを印加する方式である。

30

【0015】

上記方式で時間変調した高周波バイアスのデューティー比を下げ、繰り返し周波数を高くするとバイアスの印加時間が短くなる。

【0016】

さらに上記方式は間欠的な放電のためエッチングレートが遅い。エッチングレートを上げるため高周波バイアスの電力を大きく設定した場合、高周波バイアスのスローアップ、タイミング遅れ、整合器のマッチング制御時間のため、高周波バイアスの設定電力に達する前に放電用高周波電力がオフ、つまりプラズマがオフとなってしまう高いエネルギーを持つイオンによるエッチングができないという問題がある。

40

【0017】

もうひとつは間欠的な放電用高周波印加後、プラズマ密度が上昇しそれが飽和する時間が高周波バイアスの印加タイミングより早い場合、つまりプラズマ密度が既に飽和しプラズマ密度が十分高い状態で高周波バイアスを印加しエッチングしている状態では、過解離を十分抑制できないままエッチングをするという問題が発生する。

【0018】

本発明の目的は、上記課題に鑑みて、高選択比とエッチング形状制御の両立が可能なプラズマ処理装置および処理方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

50

【0019】

上記課題を解決するために、例えば特許請求の範囲に記載の構成と処理手順を採用する。

本願は上記課題を解決する手段を複数含んでいるが、一例を挙げるならば、被処理基板をプラズマ処理するプラズマ処理室と、プラズマを生成するための高周波電力を供給する第一の高周波電源と、前記第一の高周波電源から供給された高周波電力を時間変調するための第一のパルスが発生する第一のパルス発生器と、前記被処理基板を載置する試料台と、前記試料台に高周波電力を供給する第二の高周波電源と、前記第二の高周波電源から供給された高周波電力を時間変調するための第二のパルスが発生する第二のパルス発生器と、前記第一のパルス発生器および前記第二のパルス発生器を制御する制御装置とを備えるプラズマ処理装置において、

前記制御装置は、前記第二のパルスのオン期間が前記第一のパルスのオン期間より所望の時間だけ早く開始するように前記第一のパルス発生器と前記第二のパルス発生器とを制御するものであることを特徴とするプラズマ処理装置とする。

【0020】

又、被処理基板をプラズマ処理するプラズマ処理室と、プラズマを生成するための高周波電力を供給する第一の高周波電源と、前記第一の高周波電源から供給された高周波電力を時間変調するための第一のパルスが発生する第一のパルス発生器と、前記被処理基板を載置する試料台と、前記試料台に高周波電力を供給する第二の高周波電源と、前記第二の高周波電源から供給された高周波電力を時間変調するための第二のパルスが発生する第二

のパルス発生器とを備えるプラズマ処理装置を用いたプラズマ処理方法において、

前記第一のパルスが発生するステップと、

前記第二のパルスが発生するステップとを有し、

前記第二のパルスのオン期間は、前記第一のパルスのオン期間より所望の時間だけ早く開始されることを特徴とするプラズマ処理方法とする。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、プラズマを生成するための高周波電源に対し高周波バイアス電源を先行して印加することにより、高選択比とエッチング形状制御の両立が可能なプラズマ処理装置および処理方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の一実施例に係るプラズマ処理装置（マイクロ波ECRプラズマエッチング装置）の概略全体縦断面図である。

【図2】本発明の一実施例に係るプラズマ処理方法において、パルス化したマイクロ波と高周波バイアス電源の具体的な印加方法を説明するための図である。

【図3】本発明の実施例1に係るプラズマ処理方法におけるエッチングシーケンスを示す図である。

【図4】従来技術（比較例）と本発明の実施例1に係るプラズマ処理方法とを用いた場合のエッチング後の形状を示す図であり、（a）は実施例1の場合、（b）は従来技術（比較例）の場合を示す。

【図5】本発明の実施例2に係るプラズマ処理方法におけるエッチングシーケンスを示す図である。

【図6】本発明の実施例3に係るプラズマ処理方法におけるエッチングシーケンスを示す図である。

【図7】本発明の実施例4に係るプラズマ処理方法におけるエッチングシーケンスを示す図である。

【図8】本発明の実施例5に係るプラズマ処理方法におけるエッチングシーケンスを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【実施例 1】

【0023】

以下、本発明の実施例 1 であるマイクロ波 ECR (Electron Cyclotron Resonance) エッチング装置を図 1 により説明する。上部が開放された真空容器 101 の上部に、真空容器 101 内にエッチングガスを封入するための誘電体窓 103 (例えば石英製) を設置することにより処理室 104 を形成する。また、真空容器 101 には真空排気口 110 を介し真空排気装置 111 が接続されている。

【0024】

プラズマを生成するための電力を処理室 104 に伝送するため、誘電体窓 103 の上方には電磁波を伝送する導波管 105 が設けられる。導波管 105 へ伝送されるマイクロ波はマイクロ波電源 106 から発振させる。処理室 104 の外周部には、磁場を形成する磁場発生コイル 107 が設けてあり、マイクロ波電源 106 より発振された電力は、形成された磁場との相互作用により、処理室 104 内に高密度プラズマを生成する。

【0025】

また、誘電体窓 103 に対向して真空容器 101 の下方にはウエハ載置用電極 108 が設けられる。ウエハ載置用電極 108 は電極表面が溶射膜 (図示省略) で被覆されており、高周波フィルター 112 を介して直流電源 113 が接続されている。さらに、ウエハ載置用電極 108 には、整合器 115 を介して高周波バイアス電源 116 が接続される。

【0026】

処理室 104 内に搬送されたウエハ (被処理体) 109 は、直流電源 113 から印加される直流電圧の静電気力でウエハ載置用電極 108 上に吸着され、エッチングガスはマスフローコントローラ (図示省略) を介してガス供給装置 114 から供給され、誘電体窓 103 と石英シャワープレート 102 の間を通過して、石英シャワープレート 102 のガス孔より処理室 104 に導入される。真空容器 101 内を所定の圧力とし、処理室 104 内にプラズマを発生させる。ウエハ載置用電極 108 に接続された高周波バイアス電源 116 から高周波電力を印加することにより、プラズマからウエハ 109 へイオンを引き込み、ウエハ 109 がエッチング処理され、エッチングガスやエッチングにより発生した反応生成物は真空容器 101 の下部真空排気口 110 から真空排気装置 111 を介し排気される。

【0027】

マイクロ波電源 106 と高周波バイアス電源 116 にはそれぞれマイクロ波パルス発生器 117 と高周波バイアスパルス発生器 118 とが接続されており、各パルス発生器からの信号に従い、マイクロ波電源 106 からパルス化したマイクロ波が発振され、高周波バイアス電源 116 からパルス化した高周波バイアスが発振される。なお、マイクロ波パルス発生器 117 のパルス周波数は、高周波バイアスパルス発生器 118 のパルス周波数よりも高い方が望ましい。

【0028】

高周波バイアス電源 116 の発振可能な周波数範囲は 1 Hz ~ 1 MHz で、デューティ比の範囲は 1 ~ 100 % である。またオンパルス最短印加時間の制限があり 1 マイクロ秒である。マイクロ波電源 106 の発振可能器の周波数範囲は 1 Hz ~ 1 MHz でデューティ比の範囲は 1 ~ 100 % である。

【0029】

パルス化したマイクロ波と高周波バイアスの印加タイミングを制御する機構は、図 2 に示すように本実施例では高周波バイアスパルス発生器 118 の立ち上がり信号をトリガとする。システムコントローラ 119 により、前記トリガ遅延 (以後トリガディレイ) を加えてマイクロ波パルス発生器 117 から信号が出力される制御とする。前記トリガを取るこれ以外の方法としては高周波バイアス電源印加時に整合器 115 で検出される電圧幅 (以後 VPP) や高周波バイアス電源の入射波や反射波の信号をトリガとしても良い。

【0030】

トリガディレイ時間は 0 ~ 10000 マイクロ秒の範囲で設定される。但し、0.1 ~

10

20

30

40

50

1000マイクロ秒が好ましい。パルスマイクロ波の1パルス印加時間も時間で設定されその範囲は0.1～10000マイクロ秒である。設定時間パルスマイクロ波印加した後にマイクロ波はオフになり次サイクルのトリガ待ちの状態になる。なお、トリガディレイ時間（高周波バイアス電力先行印加時間）は、マイクロ波電力のオン期間の10%以下が好ましい。実施例1ではこのトリガ周期も時間制御可能であり、0.1～10000マイクロ秒の範囲で設定される。

【0031】

マイクロ波電源106は間欠的に発信するパルスマイクロ波モードと連続的に発信するCWモードを備え切り替えが可能であり、マイクロ波電源運転時はマイクロ波パルス発生器117から信号が入らなければ自動的に連続的に発信するCWモードに切り替える機構を持つ。

10

【0032】

システムコントローラ119にはエッチング装置を制御するPC（図示省略）に入力されたエッチングレシピによりパルス化した高周波バイアスのデューティー比と周期およびマイクロ波のデューティー比が与えられる。

【0033】

そこからパルスマイクロ波電源の1パルスのサイクル周期と印加時間とトリガディレイ時間の算出と決定を行い、パルス化したマイクロ波のデューティー比とパルス化したマイクロ波と高周波バイアスが共に印加されているオーバーレイ時間とデューティー比を算出する機構を持つ。なお、オーバーレイ時間は100マイクロ秒以下が好ましい。

20

【0034】

さらにシステムコントローラ119にはオシロあるいは高速A/Dコンバータにより整合器115で検出される電圧（以後VPP）、高周波バイアス電力の入射波および反射波を直接高時間分解でモニタするシステムが組み込まれており、VPPと高周波バイアス電源の電力からイオンエネルギーとプラズマ密度をモニタリングすることが可能である。

【0035】

次に本実施例に係るマイクロ波ECRプラズマエッチング装置を用いたプラズマ処理について説明する。マスクは窒化シリコン、被処理材はポリシリコンで、図4(a)(b)に示すようにラインパターンは密部と疎部が存在する。処理ガスは臭化水素(HBr)と酸素(O₂)とアルゴン(Ar)とメタン(CH₄)の混合ガスでありガス流量比率を表1に示す。

30

【0036】

〔表1〕

表 1

HB r	O ₂	Ar	CH ₄	処理圧力
ガス流量比率				Pa
76%	0.9%	23%	0.1%	0.4～3.0

40

【0037】

本実施例1でパルス化したマイクロ波と高周波バイアス両者の印加タイミング制御を行った場合の、1サイクル内のエッチングシーケンス、プラズマ密度、イオンエネルギー、エッチング、デポの時間推移を図3で説明する。

【0038】

本実施例1ではレシピで高周波バイアスのパルスを制御する高周波バイアスパルス発生器118信号のデューティー比を5%つまりパルス高周波バイアスの印加時間は50マイクロ秒とし、繰り返し周波数を1000Hzつまり1サイクルを1000マイクロ秒に固定した。また高周波バイアス電力を100Wと設定し、その設定電力に達する時間は20

50

マイクロ秒であった(図3の“高周波バイアス電力”の図参照)。

【0039】

他方、パルスマイクロ波の印加タイミングは高周波バイアスパルス信号の立ち上がりを検知してから20マイクロ秒のトリガディレイ時間後に印加し、マイクロ波を50マイクロ秒間印加した後オフとなるよう設定されている(図3の“マイクロ波電力”の図参照)。その後トリガ周期時間により高周波バイアスパルス装置118からの次サイクル立ち上がり信号のトリガ待ち状態になっている。

【0040】

上記制御でウエハ処理を行った時、1サイクルの最初としてまず先行して高周波バイアスが印加される。高周波バイアス電力は高周波バイアスのみでプラズマを生成しない電力とし、本実施例では100Wとした。

【0041】

先行して高周波バイアスを印加した時、直前サイクルのパルスマイクロ波オフ後のアフタグロー時間よりもいくらか長い時間が経過しており、プラズマ密度は非常に小さい状態である(図3の“プラズマ密度”の図参照)。整合器115に高いVPPが検出されるがエッチングに寄与するイオン量は少なく、先行して高周波バイアスパルスを印加している時にエッチングおよびデポは進まない。

【0042】

上記の状態ではプラズマ密度が非常に小さいため、高周波バイアス印加時に高周波バイアス電力の反射波が大きくなり、それがダメージなどのエッチングプロセスに悪影響を及ぼすという懸念があるが、高周波バイアスのみ印加している時間は1サイクル時間全体の2パーセントであり、また高周波バイアスは立ち上がり時間を持つため、高周波バイアスの反射波は印加した電力100Wの2パーセントすなわち2Wより小さくなる。

【0043】

さらに整合器115マッチングを低プラズマ密度側に調整する、あるいはマイクロ波印加時間を大きく調整し先行高周波バイアス印加時のプラズマ密度を若干大きくすることにより、反射波をさらに低減できエッチングプロセスへの悪影響を無視できるほど小さくできる。

【0044】

先行して高周波バイアスを印加した後、トリガディレイ時間を経てパルスマイクロ波が印加される。上記パルス化した高周波バイアスとマイクロ波がともに印加されている時間をオーバレイ時間と規定する(図3の“イオンエネルギー”の図参照)。

【0045】

実施例1ではマイクロ波電力の設定は800ワットであり、マイクロ波を印加すると図3に示すようにプラズマ密度は上昇する。マイクロ波を連続的に発信するCWモードのプラズマ密度になるまでプラズマ密度が上昇し飽和する時間は約100マイクロ秒である。

【0046】

上記パルスマイクロ波電源印加直後は、プラズマ密度が低くプラズマインピーダンスも高いためVPPが高い。さらにウエハ109上部のシース領域が長いため、生成したイオンはマイクロ波が連続的に発信するCWモードのプラズマの場合に比べて余分に加速されている。

【0047】

オーバレイ時間内のVPPは図3に示すようにパルスマイクロ波電源印加直後で最大となる。またパルスマイクロ波印加開始から時間が進むにつれプラズマ密度が上がりVPPは次第に下がるが、プラズマ密度上昇し飽和する前に高周波バイアスの印加は停止する。

【0048】

高周波バイアスとマイクロ波がともに印加されたオーバレイ時間を経て、高周波バイアスの印加はストップしマイクロ波のみが印加される。この時、高エネルギーイオンによりダメージを受けた被エッチング材の表面層はラジカルのみでエッチングが進み、また同時にさらなるプラズマ密度の上昇によるデポ系ラジカルの増加とエッチング反応生成物によ

10

20

30

40

50

りパターン側壁へのデポが徐々に増加し始める（図3の“エッチング速度”と“デポ”の図参照）。

【0049】

次にパルスマイクロ波の印加が停止しアフタグローを経てプラズマは消失する（図3の“プラズマ密度”の図参照）。エッチングや側壁へデポは直ちに停止し、反応生成物の排気が行われ、次のサイクルに移行する。

【0050】

実施例1ではパルスマイクロ波のデューティー比は5%で、高エネルギーイオンによるエッチングが進む実質的な高周波バイアスのデューティー比は3%である。

【0051】

一連のサイクル内で高エネルギーイオンのエッチング（図3の“エッチング速度”の図参照）と側壁デポ（図3の“デポ”の図参照）がバランスされており、形状垂直性の良いエッチングが得られる。

【0052】

本実施例はパルス化したマイクロ波により低解離でかつプラズマ密度が上昇過程にある時に、高周波バイアスパルスをもとに比べて極短時間つまり低デューティー比で印加し、高いイオンエネルギーによるエッチングを行う場合に特に有効なエッチング方法である。

【0053】

本実施例1で被エッチング材121のポリシリコンをエッチングした後の疎部密部のパターン形状を図4(a)に示す。VPPを500Vとした場合は疎部と密部のエッチング深さの差(以後マイクロローディング)が0ナノメートルで、パターン幅の疎部と密部の差(以後ID差)がほぼ0nmであった。なお、符号120はエッチング用のマスクを示す。

【0054】

これに対しマイクロ波を連続的に発振するCWモードとした場合(比較例)、疎部と密部パターン形状は図4(b)のようになり、密部エッチングレートは疎部のそれより遅くなりマイクロローディングが発生している。同時にパターン疎部側壁により厚くデポがついたため疎部パターン幅がより太くなりID差が発生する。高周波バイアス電力を上げイオンエネルギーを上げればマイクロローディングの方は抑えられるがID差の方は抑えられず、さらにマスク選択比が悪くなるというトレードオフが発生する。

【0055】

パルス化したマイクロ波と高周波バイアスを同時刻で印加する場合(比較例)と、先行して高周波バイアスを印加した本実施例1の場合とではパターン疎密部形状差については同VPP(例えばVPP:500V)比較で両者にはほとんど差は見られない。しかし、同じVPP(例えばVPP:500V)にするため高周波バイアス電力に差があり、高周波バイアス電力が本実施例1では100Wなのに対してマイクロ波と高周波バイアス同時刻で印加する場合(比較例)は150Wとなる。

【0056】

さらに高周波バイアス電力を上げ、デューティー比を下げ、繰り返し周波数を上げるとマイクロ波と高周波バイアス同時刻で印加する場合(比較例)では本実施例1と等しいVPPにすることはできない。

【0057】

一方、本実施例1はパルス高周波バイアスの周波数を上げ、デューティー比を下げ、いくら印加時間を短くしても、所望の高周波バイアスを印加でき、高いイオンエネルギー取り出し、エッチングすることが可能である。これにより、エッチング用のマスクとの高選択比を得ることもできる。

【0058】

以上、本実施例によれば、時間変調された間欠的な高周波バイアスと高周波電源の印加タイミングを制御し、イオンエネルギー、イオン量、解離、およびプラズマ密度を大きく

10

20

30

40

50

制御することができるので、高選択比とエッチング形状制御の両立が可能なプラズマ処理装置および処理方法を提供することができる。

【実施例 2】

【0059】

本発明の実施例 2 に係るプラズマ処理方法について図 5 を用いて説明する。なお、実施例 1 に記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。

【0060】

実施例 1 は高周波バイアスのパルス 1 回に対し、パルスマイクロ波の印加回数が 1 回であったが、本実施例 2 ではマイクロ波パルス発生器の信号を高周波バイアスのパルス信号のトリガに対して、パルスマイクロ波を 2 回発振する。このようにして、図 5 に示すように 2 回のマイクロ波パルスに対してマイクロ波と高周波バイアスとともに印加しているオーバーレイ時間を 1 回だけ形成する。

10

【0061】

プラズマ密度は図 5 に示すようになり、パルスマイクロ波印加が 1 回の場合（一点鎖線参照）と比較すると、先行してパルス化した高周波バイアスを印加している時に、直前のパルスマイクロ波がオフしてからの経過時間が短いためプラズマ密度が高くなっている、そのため高周波バイアスの反射波はより小さくなり、整合器 115 のマッチングも容易になる。さらにオーバーレイ時間においても同様にプラズマ密度がより高くなるためイオン量が多くなりエッチングレートが向上するという効果がある。

20

【0062】

なお、マイクロ波のみ印加している時間においては、1 回のパルスマイクロ波印加時間がプラズマ密度飽和時間より短く、プラズマ密度は低いため過解離によるデポは発生しない。

【0063】

本実施例 2 ではマイクロ波の印加パルス数を 2 回としたが特に回数は定めない。パルス回数の増加によりプラズマ密度の飽和や過解離が発生しない限りはマイクロ波パルスを複数回印加することができ、それにより高イオンエネルギーでのエッチングを保ったままエッチングレートを向上させることができる。

【0064】

以上、本実施例によれば、実施例 1 と同様の効果を得ることができる。また、マイクロ波の発信回数を 2 回以上に増やすことにより、オーバーレイ時のプラズマ密度が高くなり、エッチングレートが向上する。

30

【実施例 3】

【0065】

本発明の実施例 3 に係るプラズマ処理方法について図 6 を用いて説明する。なお、実施例 1 に記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。

【0066】

本実施例 3 ではパルス高周波バイアスの周波数、デューティー比およびトリガディレイ時間を固定した条件において、図 6 に示すようにパルスマイクロ波印加時間をパルス高周波バイアス周期からトリガディレイ時間を差し引いた時間に設定、つまりパルスマイクロ波印加の前後に高周波バイアスを印加するように設定する。この場合、マイクロ波電力のオン期間は、高周波バイアス電力のオン期間よりも長い方が好ましい。また、マイクロ波パルス発生器のパルスの周波数は、高周波バイアスパルス発生器のパルス周波数よりも低い方が好ましい。

40

【0067】

この場合はパルスマイクロ波印加後、アフタグロー中の低密度プラズマ状態で高周波バイアスが印加されている。実施例 1 によるプラズマ密度上昇時の高エネルギーイオンに加え、アフタグロー中の高エネルギーイオンも利用することができる。高周波バイアスのパ

50

ルス1回に対しパルスマイクロ波の印加回数が1回の場合と比べてより多くの高エネルギーイオンによるエッチングが実現できる。

【0068】

なお、本実施例ではパルス高周波バイアス繰り返し周波数をステップ内ですべて固定としているが、パルス高周波バイアスの周波数やデューティ比が可変であったとしても、パルスマイクロ波印加タイミングはパルス高周波バイアスのオン信号を検知する機構となっているため、大幅なシステムの変更は必要なくパルスマイクロ波印加のタイミングを制御できる。

【0069】

以上、本実施例によれば、実施例1と同様の効果を得ることができる。また、アフタグロー中の高エネルギーイオン等により、より深いトレンチエッチングが実現できる。

10

【実施例4】

【0070】

本発明の実施例4に係るプラズマ処理方法について図7を用いて説明する。なお、実施例1に記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。

【0071】

本実施例4は図7に示すようにエッチングステップ中において、トリガディレイ時間を連続的に変化させたエッチングシーケンスである。エッチングステップ初期時のイオンエネルギーは低く、エッチング時間が進むにつれて次第にイオンエネルギーを上げながらエッチングをすすめることが可能となる。なお、マイクロ波電力のオン期間は、高周波バイアス電力のオン期間よりも長い方が好ましい。また、マイクロ波パルス発生器のパルスの周波数は、高周波バイアスパルス発生器のパルス周波数よりも低い方が好ましい。

20

【0072】

このステップを高アスペクト比のパターンエッチング、例えば深いトレンチエッチングに適用すれば、エッチングの進展に伴い次第に深くなるパターン底部に対しエッチングに寄与するイオンが到達できるようイオンエネルギーを上ながらエッチングができる。

【0073】

以上、本実施例によれば、実施例1と同様の効果を得ることができる。また、エッチングステップ中において、トリガディレイ時間を連続的に変化させることにより、エッチング時間経過と共に、次第にイオンエネルギーが上がるようにエッチングすることができる。

30

【実施例5】

【0074】

本発明の実施例5に係るプラズマ処理方法について図8を用いて説明する。なお、実施例1に記載され本実施例に未記載の事項は特段の事情が無い限り本実施例にも適用することができる。

【0075】

実施例5では図8に示すようにエッチングステップ中において、パルスマイクロ波の印加時間を短く、かつトリガディレイ時間を長く変化させることで、プラズマ密度を下げ不必要な過剰デポを抑制しながら、かつイオンエネルギーを上げながらエッチングができるので、高アスペクト比のパターンエッチングにおいて、マスク選択比と形状垂直性の良いトレンチエッチングが実現できる。

40

【0076】

これとは逆にエッチングステップ中にパルスマイクロ波の印加時間を長く、かつトリガディレイ時間を短く変化させれば、ステップ当初はイオンエネルギーを高くかつイオン量は少なく、ステップ時間が進むにつれ次第にイオンエネルギー低下しながらエッチングを連続的にすすめることが可能となる。

【0077】

これを例えばブレークスルーエッチングを必要とするポリシリコン膜のエッチングに適

50

用すれば、エッチング初期時に高周波バイアスをあげて選択比を悪化させることなく、また不必要なステップ切り替えを行うことなく連続的なステップでエッチングをすすめることができる。

以上、本実施例によれば、実施例 1 と同様の効果を得ることができる。また、エッチングステップ中において、パルスマイクロ波の印加時間を短く、かつトリガディレイ時間を長く変化させることにより、マスク選択比と形状垂直性の良いトレンチエッチングが実現できる。また、その逆とすることにより、選択比を悪化させることなくブレークスルーエッチングを行うことができる。

【0078】

本実施例では、被エッチング材料をポリシリコン膜としたが、被エッチング材料としては、シリコン酸化膜、窒化シリコン酸化膜、窒化シリコン膜、アモルファスカーボン膜、金属材料等においても同等の効果が得られる。

10

【0079】

またエッチングを実施するガスとしては、例えば、塩素ガス、臭化水素ガス、四フッ化メタンガス、三フッ化メタン、二フッ化メタン、アルゴンガス、ヘリウムガス、酸素ガス、窒素ガス、二酸化炭素、一酸化炭素、水素、アンモニア、八フッ化プロパン、三フッ化窒素、六フッ化硫黄ガス、メタンガス、四フッ化シリコンガス、四塩化シリコンガス、ネオンガス、クリプトンガス、キセノンガス、ラドンガス等が使用できる。

【0080】

以上の実施例ではマイクロ波 E C R 放電を利用したエッチング装置を例に説明したが、他の放電（有磁場 U H F 放電、容量結合型放電、誘導結合型放電、マグネトロン放電、表面波励起放電、トランスファー・カップルド放電）を利用したドライエッチング装置においても同様の作用効果がある。

20

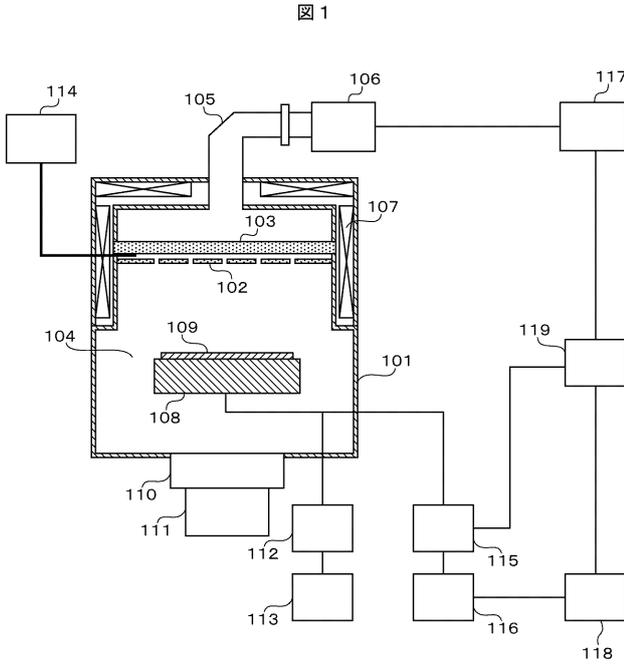
【符号の説明】

【0081】

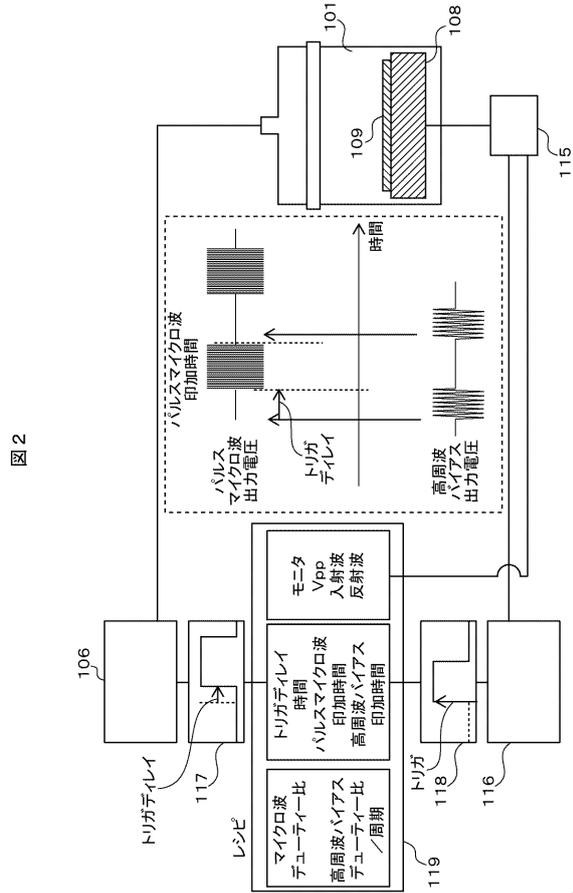
101 ... 真空容器、102 ... シャワープレート、103 ... 誘電体窓、104 ... 処理室、105 ... 導波管、106 ... マイクロ波電源、107 ... 磁場発生コイル、108 ... ウエハ載置用電極、109 ... ウエハ、110 ... 真空排気口、111 ... 真空排気装置、112 ... 高周波フィルター、113 ... 直流電源、114 ... ガス供給装置、115 ... 整合器、116 ... 高周波バイアス電源、117 ... マイクロ波パルス発生器、118 ... 高周波バイアスパルス発生器、119 ... システムコントローラ、120 ... マスク、121 ... 被エッチング材。

30

【 図 1 】

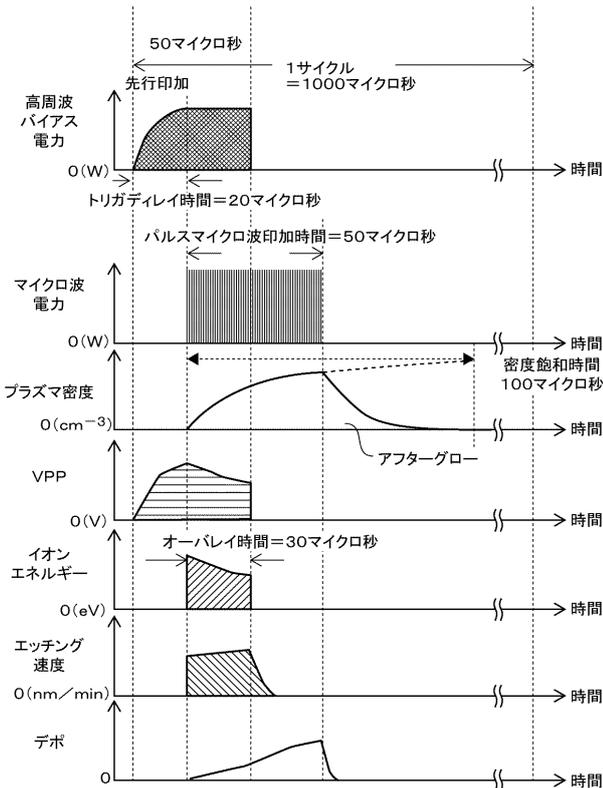


【 図 2 】



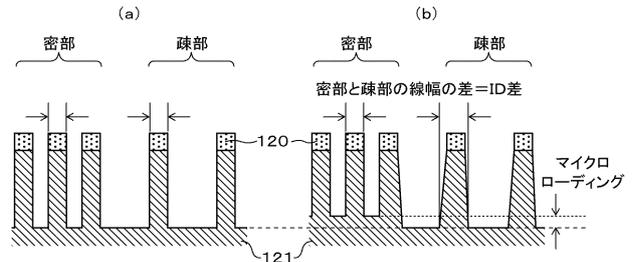
【 図 3 】

図 3

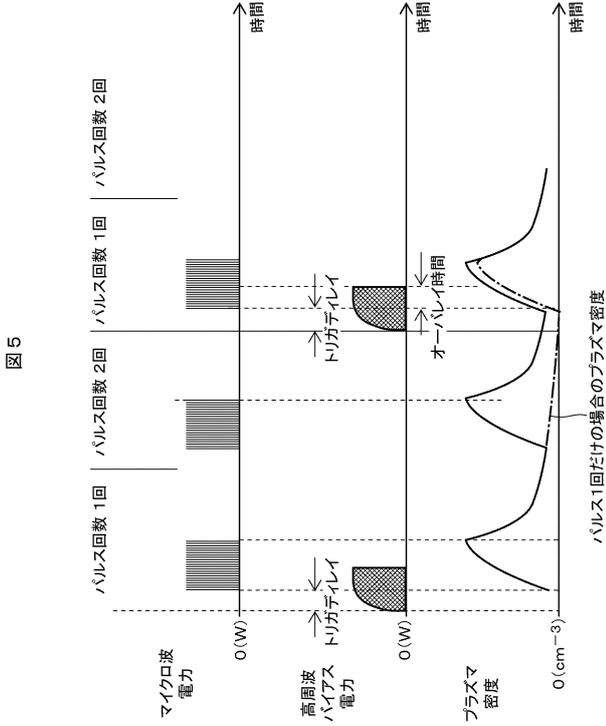


【 図 4 】

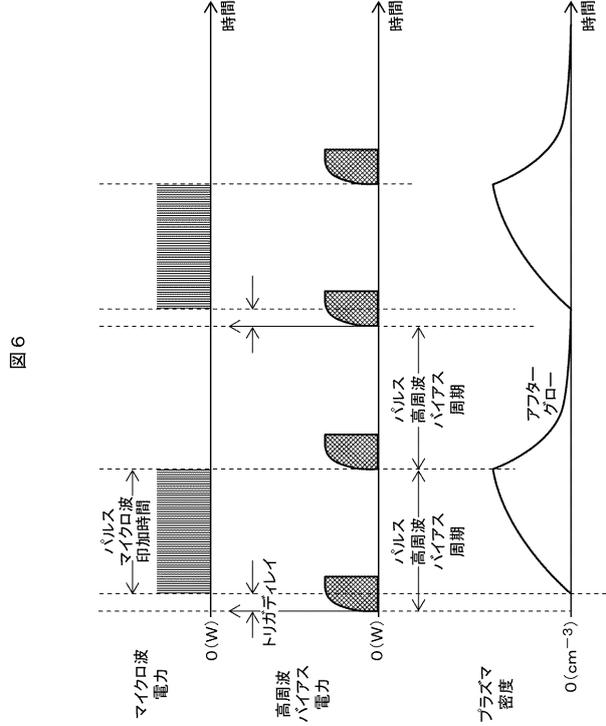
図 4



【 図 5 】

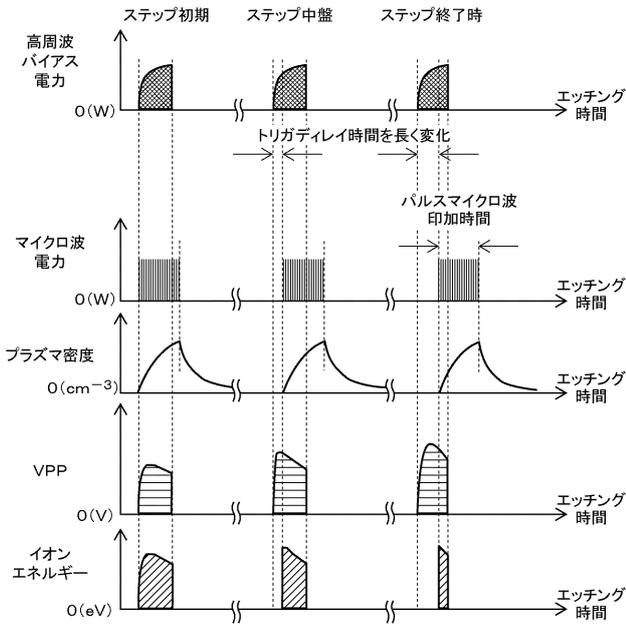


【 図 6 】



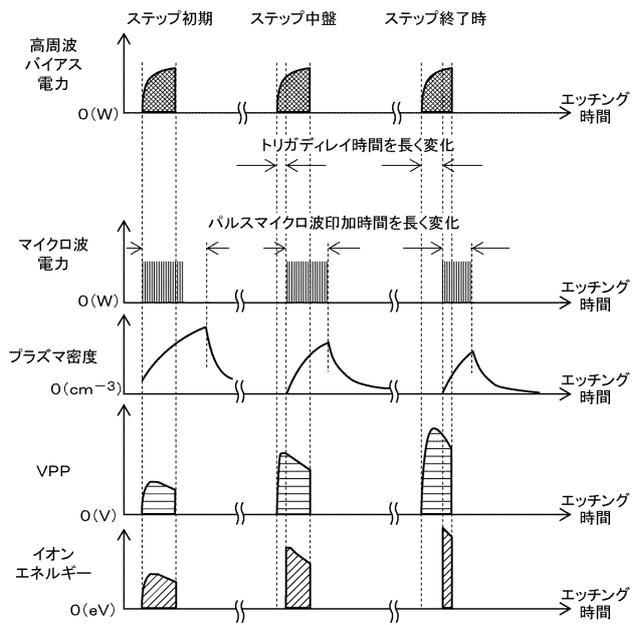
【 図 7 】

図 7



【 図 8 】

図 8



フロントページの続き

(72)発明者 安井 尚輝

山口県下松市大字東豊井7 9 4 番地 株式会社日立ハイテクノロジーズ笠戸事業所内

Fターム(参考) 5F004 AA05 BA14 BB07 BB14 BB22 CA06 DA00 DA01 DA23 DA26

DB02