

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5367689号
(P5367689)

(45) 発行日 平成25年12月11日(2013.12.11)

(24) 登録日 平成25年9月20日(2013.9.20)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 21/3065 (2006.01) H O 1 L 21/302 I O 1 C

請求項の数 8 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2010-501961 (P2010-501961)	(73) 特許権者	000231464 株式会社アルバック 神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地
(86) (22) 出願日	平成21年3月5日(2009.3.5)	(74) 代理人	100104215 弁理士 大森 純一
(86) 国際出願番号	PCT/JP2009/054205	(74) 代理人	100117330 弁理士 折居 章
(87) 国際公開番号	W02009/110567	(72) 発明者	森川 泰宏 静岡県裾野市須山1220-1 株式会社 アルバック 半導体技術研究所内
(87) 国際公開日	平成21年9月11日(2009.9.11)	(72) 発明者	郷 弘綱 静岡県裾野市須山1220-1 株式会社 アルバック 半導体技術研究所内
審査請求日	平成22年6月11日(2010.6.11)		
(31) 優先権主張番号	特願2008-57621 (P2008-57621)		
(32) 優先日	平成20年3月7日(2008.3.7)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

真空槽内に形成した環状の磁気中性線に沿って高周波電場を形成することで、前記真空槽内に導入したガスのプラズマを発生させ、

前記真空槽内で、前記プラズマを用いて表面にマスクパターンが形成された基板をエッチングし、

前記真空槽内に設置されたターゲット材を前記プラズマでスパッタすることで、前記基板に形成されたエッチングパターンの側壁部に保護膜を形成し、

前記エッチングパターンの深さに応じて前記磁気中性線の半径を変化させる

プラズマ処理方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のプラズマ処理方法であって、

前記磁気中性線の半径を変化させる工程は、前記基板の中央部のエッチングレートが前記基板の周縁部のエッチングレートよりも速い場合には、前記磁気中性線の半径を大きくし、前記中央部のエッチングレートが前記周縁部のエッチングレートよりも遅い場合には、前記磁気中性線の半径を小さくする

プラズマ処理方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のプラズマ処理方法であって、

前記基板をエッチングする工程と前記保護膜を形成する工程は、交互に繰り返して実施

され、

前記磁気中性線の半径を変化させる工程は、前記プラズマ処理の開始から終了までの間、前記磁気中性線の半径を段階的に変化させるプラズマ処理方法。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のプラズマ処理方法であって、前記磁気中性線の半径を変化させる工程は、前記基板をエッチングする工程で実施されるプラズマ処理方法。

【請求項 5】

請求項 3 に記載のプラズマ処理方法であって、前記磁気中性線の半径を変化させる工程は、前記保護膜を形成する工程で実施されるプラズマ処理方法。

【請求項 6】

請求項 1 に記載のプラズマ処理方法であって、さらに、前記基板に対するプラズマ処理の進行に応じて、前記ガスの圧力を変化させるプラズマ処理方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載のプラズマ処理方法であって、前記ガスは、2 種以上の混合ガスであり、前記プラズマ処理方法は、さらに、前記基板に対するプラズマ処理の進行に応じて、前記ガスの混合比を変化させるプラズマ処理方法。

【請求項 8】

請求項 1 に記載のプラズマ処理方法であって、さらに、前記基板に対するプラズマ処理の進行に応じて、前記高周波電場の強さを変化させ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、シリコン基板の表面に高アスペクト比の孔やディープトレンチを形成するためのプラズマ処理方法に関し、更に詳しくは、エッチング開始から終了にわたって均一な面内分布を維持することができるプラズマ処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、シリコン基板の表面の加工には、プラズマエッチング（ドライエッチング）方法が広く用いられている。室温における原子状（ラジカル）フッ素とシリコンの反応は自発的であり、比較的高いエッチングレートが得られることから、シリコン基板のエッチングでは、エッチングガスとして SF_6 、 NF_3 、 COF_2 、 XeF_2 等のフッ素を含むガスが多用されている。

【0003】

一方、フッ素を含むエッチングガスを用いたシリコン基板のドライエッチングは等方的であるため、形成されたエッチングパターン（凹部）の側壁部にもエッチングが進行する。このため、スルーホールやディープトレンチなどの微細でアスペクト比の高いビアを高精度に形成することが困難であった。

【0004】

そこで近年、エッチングパターンの側壁部に保護膜を形成しながら基板をエッチングすることで、エッチングの横方向の広がりを抑え、パターン側壁部の垂直性を維持できるシリコン基板の深掘り加工技術が提案されている。

【0005】

10

20

30

40

50

例えば特許文献1には、エッチング工程と保護膜形成工程を交互に繰り返すことで、エッチングパターンの側壁部にポリマー層からなる保護膜を形成しながらエッチングする方法が開示されている。特に、保護膜の成膜として、基板に対向配置されたターゲット材に対するアルゴンガスをを用いたスパッタ法が開示されている。

【0006】

保護膜形成工程でエッチングパターンの側壁部に形成されたポリマー層は、エッチングパターンの底部に形成されたポリマー層に比べて、エッチング工程において除去される量が少ないため、このパターン側壁部に形成されたポリマー層が保護膜として機能し、エッチング方向をパターンの深さ方向に制限する異方性エッチングが実現可能となる。

【0007】

【特許文献1】W02006/003962号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

近年、電子部品の小型化、精密化に伴って、シリコン基板の深掘り加工技術の高精度化が求められている。深掘り加工技術は一般に、エッチングパターンの深さに応じた最適なエッチング条件が存在する。また、基板表面の内周側と外周側とでは最適なエッチング条件が異なる。したがって、エッチング開始から終了までの間においてエッチング条件が一定の場合、基板表面を面内において均一にエッチングすることが困難であることから、精度の高いエッチングパターンが得られにくいという問題がある。

【0009】

以上のような事情に鑑み、本発明の目的は、エッチング条件を最適化してエッチング開始から終了にわたって均一な面内分布を維持することができるプラズマ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】

【0010】

上記目的を達成するため、本発明の一形態に係るプラズマ処理方法は、

真空槽内に形成した環状の磁気中性線に沿って高周波電場を形成することで、前記真空槽内に導入したガスのプラズマを発生させることを含む。前記真空槽内で、前記プラズマを用いて表面にマスクパターンが形成された基板は、エッチングされる。前記真空槽内に設置されたターゲット材を前記プラズマでスパッタすることで、前記基板に形成されたエッチングパターンの側壁部に保護膜が形成される。前記基板に対するエッチング処理及び前記保護膜の形成処理を含むプラズマ処理の進行に応じて、前記磁気中性線の半径が変化させられる。

【0011】

また、本発明の他の形態に係るプラズマエッチング方法は、

真空槽内に形成した環状の磁気中性線に沿って高周波電場を形成することで、前記真空槽内に導入したガスのプラズマを発生させ、

前記真空槽内で、前記プラズマを用いて表面にマスクパターンが形成された基板をエッチングし、

前記真空槽内に設置されたターゲット材を前記プラズマでスパッタして、前記基板に形成されたエッチングパターンの側壁部に保護膜を形成し、

前記基板に対するエッチングの進行に応じて前記磁気中性線の半径を変化させる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

本発明の一実施形態に係るプラズマ処理方法は、真空槽内に形成した環状の磁気中性線に沿って高周波電場を形成することで、前記真空槽内に導入したガスのプラズマを発生させることを含む。前記真空槽内で、前記プラズマを用いて表面にマスクパターンが形成された基板は、エッチングされる。前記真空槽内に設置されたターゲット材を前記プラズマでスパッタすることで、前記基板に形成されたエッチングパターンの側壁部に保護膜が形

10

20

30

40

50

成される。前記基板に対するエッチング処理及び前記保護膜の形成処理を含むプラズマ処理の進行に応じて、前記磁気中性線の半径が変化させられる。

【0013】

上記プラズマ処理方法は、磁気中性線放電（NL D : magnetic Neutral Loop Discharge）型のプラズマエッチング方法に適用される。磁気中性線放電は、真空槽内に形成された磁場ゼロの環状の磁気中性線に沿って高周波電場を印加することでプラズマを形成する技術である。磁気中性線は、例えば、真空槽の周囲に設置された複数本の磁気コイルによって形成することができ、これら磁気コイルに流す電流の大きさによって、磁気中性線の半径、位置等を任意に調整することが可能である。

【0014】

上記プラズマ処理方法においては、基板に対するプラズマ処理の進行に応じて、磁気中性線の半径を調整することにより、真空槽内に発生するプラズマの密度分布を変化させるようにしている。「プラズマ処理の進行に応じて」には、「エッチングパターンの深さに応じて」、「エッチング工程又はスパッタ工程に応じて」などの意味が含まれる。また、「エッチングの進行に応じて」には、「エッチングパターンの深さに応じて」、「エッチング工程又はスパッタ工程に応じて」などの意味が含まれる。

【0015】

このように、プラズマ処理の進行に応じて変化するエッチングレートの面内分布に対応した最適なエッチング環境を得ることができるため、エッチングの開始から終了の間にわたって均一な面内分布を維持することが可能となる。

【0016】

そして、上記プラズマ処理方法では、前記基板をエッチングする工程と前記保護膜を形成する工程は、交互に繰り返して実施されてもよい。前記磁気中性線の半径を調整する工程は、前記プラズマ処理の開始から終了までの間、前記磁気中性線の半径を段階的に変化させる。

【0017】

このように、エッチング開始から終了までの間を複数の段階に区分し、各段階においてあらかじめ評価しておいた最適なプロセス条件に適合するように磁気中性線の半径を変化させることで、エッチング開始から終了までの間にわたり、面内均一性に優れたエッチングを行うことが可能となる。区分する段階数は特に限定されないが、段階数が多いほど高精度なエッチング加工を実現することができる。

【0018】

上記プラズマ処理方法において、前記磁気中性線の半径を変化させる工程は、前記基板をエッチングする工程で実施することができる。これにより、基板に対する面内均一性に優れたエッチング処理が可能となる。

【0019】

また、上記プラズマ処理方法において、前記磁気中性線の半径を変化させる工程は、前記保護膜を形成する工程で実施されてもよい。これにより、面内均一性に優れたエッチング保護膜の形成が可能となる。

【0020】

さらに、前記基板に対するプラズマ処理の進行に応じて、前記真空槽内に導入するガスの圧力を変化させることができる。例えば、エッチングパターンが深くなるに従って、圧力を低くすることにより、パターン底部へのエッチャントの指向性を高めて、深さ方向への適正なエッチング処理を実現することが可能となる。この方法は、保護膜形成工程に対しても同様に適用可能である。

【0021】

さらに、前記基板に対するプラズマ処理の進行に応じて、前記真空槽内に導入する混合ガスの混合比を変化させることができる。これにより、エッチングパターンの深さに適したエッチング処理が可能となる。この方法は、保護膜形成工程に対しても同様に適用可能である。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 2 】

さらに、前記基板に対するプラズマ処理の進行に応じて、前記高周波電場の強さを変化させることができる。これにより、プラズマ密度の制御が可能となるので、磁気中性線の半径制御と組み合わせることでプラズマ形成条件の最適化を図ることができる。

【 0 0 2 3 】

以下、本発明の実施形態を図面に基づき説明する。

【 0 0 2 4 】

図 1 は、本発明の実施形態によるプラズマ処理方法に適用されるプラズマエッチング装置 2 0 の概略構成図である。図示するプラズマエッチング装置 2 0 は、NLD（磁気中性線放電：magnetic Neutral Loop Discharge）型のプラズマエッチング装置として構成されており、基板表面のエッチング機能と、基板表面のエッチングパターンの側壁部に保護膜を形成する機能とを兼ね備えている。

10

【 0 0 2 5 】

図 1 において、2 1 は真空槽であり、内部にプラズマ形成空間 2 1 a を含む真空チャンバ（プラズマチャンバ）が形成されている。真空槽 2 1 にはターボ分子ポンプ（TMP：Turbo Molecular Pump）等の真空ポンプが接続され、真空槽 2 1 の内部が所定の真空度に排気されている。

【 0 0 2 6 】

プラズマ形成空間 2 1 a の周囲には、真空槽 2 1 の一部を構成する筒状壁 2 2 によって区画されている。筒状壁 2 2 は石英等の透明絶縁材料で構成されている。筒状壁 2 2 の外周側には、第 1 の高周波電源 RF 1 に接続されたプラズマ発生用の高周波コイル（アンテナ）2 3 と、この高周波コイル 2 3 の外周側に配置された三つの磁気コイル群 2 4（2 4 A, 2 4 B, 2 4 C）がそれぞれ配置されている。

20

【 0 0 2 7 】

磁気コイル 2 4 A と磁気コイル 2 4 C にはそれぞれ同一方向に電流が供給され、磁気コイル 2 4 B には他の磁気コイル 2 4 A, 2 4 C と逆方向に電流が供給される。その結果、プラズマ形成空間 2 1 a において、磁場ゼロとなる磁気中性線 2 5 が環状に連続して形成される。そして、高周波コイル 2 3 により磁気中性線 2 5 に沿った誘導電場（高周波電場）が形成されることで、放電プラズマが形成される。

【 0 0 2 8 】

特に、NLD方式のプラズマエッチング装置においては、磁気コイル 2 4 A ~ 2 4 C に流す電流の大きさによって、磁気中性線 2 5 の形成位置及び大きさ（半径）を調整することができる。すなわち、磁気コイル 2 4 A, 2 4 B, 2 4 C に流す電流をそれぞれ I_A 、 I_B 、 I_C としたとき、 $I_A > I_C$ の場合は磁気中性線 2 5 の形成位置は磁気コイル 2 4 C 側へ下がり、逆に、 $I_A < I_C$ の場合は磁気中性線 2 5 の形成位置は磁気コイル 2 4 A 側へ上がる。また、中間の磁気コイル 2 4 B に流す電流 I_B を大きくすると、磁気中性線 2 5 のリング径は小さくなり、電流 I_B を小さくすると、磁気中性線 2 5 のリング径は大きくなる。さらに、電流 I_B の大きさで、磁気中性線 2 5 の磁場ゼロの位置での磁場勾配を制御することが可能であり、 I_B を大きくするほど磁場勾配が緩やかになり、 I_B を小さくするほど磁場勾配が急峻になる。これらの特性を利用することで、プラズマ密度分布の最適化を図ることができる。

30

40

【 0 0 2 9 】

一方、真空槽 2 1 の内部には、半導体ウエハ（シリコン（Si）基板）W を支持するステージ 2 6 が設置されている。ステージ 2 6 は、導電体を含む構成とされており、コンデンサ 2 7 を介して第 2 の高周波電源 RF 2 に接続されている。なお、ステージ 2 6 には、基板 W を所定温度に加熱するためのヒータ等の加熱源が内蔵されている。

【 0 0 3 0 】

プラズマ形成空間 2 1 a の上部には、天板 2 9 が設置されている。天板 2 9 は、ステージ 2 6 の対向電極として構成されており、コンデンサ 2 8 を介して第 3 の高周波電源 RF 3 に接続されている。天板 2 9 のプラズマ形成空間 2 1 a 側の面には、スパッタにより基

50

板を成膜するためのターゲット材（スパッタリングターゲット）30が取り付けられている。ターゲット材32は、本実施形態では、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）等のフッ素樹脂が用いられているが、これ以外の合成樹脂材料、あるいは珪素材、炭素材、炭化珪素材、酸化珪素材、窒化珪素材等が適用可能である。

【0031】

天板29の近傍には、真空槽21の内部にプロセスガスを導入するためのガス導入管31が設置されている。本実施形態において、プロセスガスは、エッチング工程用のガス、スパッタ工程用のガスが含まれる。

【0032】

エッチングガスとしては、 SF_6 、 NF_3 、 SiF_4 、 XeF_2 の少なくとも何れか一種又は不活性ガスとの混合ガスが用いられる。混合ガスとしては、 SF_6/Ar 、 $HBr/SF_6/O_2$ などの2種以上のガスの混合ガスを用いることができる。本実施形態では、エッチングガスとして、 SF_6/Ar の混合ガスが用いられる。

10

【0033】

一方、スパッタ用のプロセスガスとしては、例えば、 Ar や N_2 等の希ガスあるいは不活性ガスを用いることができる。本実施形態では、スパッタ用のプロセスガスとして、 Ar が用いられる。

【0034】

本実施形態のプラズマエッチング装置20においては、ステージ26上に載置された基板Wに対してエッチング工程と保護膜形成工程を交互に繰り返して行うことで、基板Wの表面に高アスペクト比の孔又はディープトレンチ等からなるビアを形成する。

20

【0035】

図2は、本実施形態のプラズマエッチング装置20の一動作例を示すタイミングチャートである。図2Aは、高周波コイル23に供給される第1の高周波電源RF1の電力印加タイミング、図2Bは、ステージ26に供給される第2の高周波電源RF2の電力印加タイミング、図2Cは、天板29に供給される第3の高周波電源RF3の電力印加タイミング、図2Dは、真空槽21の内部における圧力変化をそれぞれ示している。この例では、エッチング工程の処理圧力（プロセスガス導入量）は、保護膜形成工程のそれよりも高く設定されている。

【0036】

30

基板Wの表面にはあらかじめ、マスクパターンが形成されている。このマスクパターンには、有機レジストやメタルマスク等のエッチングマスクが含まれる。エッチング工程及び保護膜形成工程では、プラズマ形成空間21aに、磁気コイル群24による環状磁気中性線25が形成され、更に、第1の高周波電源RF1から高周波コイル23への電力投入により、環状磁気中性線25に沿って誘導結合プラズマが形成される。

【0037】

エッチング工程において、真空槽21の内部に導入されたエッチングガス（ SF_6 と Ar の混合ガス）は、プラズマ形成空間21aでプラズマ化し、生成されたイオンとラジカルによりステージ26上の基板Wをエッチング処理する。このとき、第2の高周波電源RF2からの電力投入で基板バイアスがONとなり、イオンをステージ26側へ加速させ、基板W上のラジカル生成物をスパッタ除去してエッチング性を高める。すなわち、フッ素ラジカルがシリコンと反応してラジカル生成物を形成し、これをプラズマ中のイオンによるスパッタ作用で除去することで、シリコン基板Wのエッチング処理が進行する。

40

【0038】

一方、エッチング処理を所定時間行った後、真空槽21の内部に残留するエッチングガスが排気される。そして、保護膜形成用のプロセスガス（ Ar ）が真空槽21の内部に導入されることで保護膜形成工程が開始される。導入されたプロセスガスは、プラズマ形成空間21aでプラズマ化される。このとき、基板バイアス（RF2）はOFFとなり、代わりに、第3の高周波電源（RF3）からの電力投入で天板バイアスがONとなる。その結果、天板29に設置されたターゲット材30はプラズマ中のイオンによりスパッタされ

50

、そのスパッタ物が基板Wの表面及び上述のエッチング工程で形成されたエッチングパターンに付着する。以上のようにして、エッチングパターンの底部及び側壁部に、保護膜として機能するポリマー層が形成される。

【0039】

ここで、ターゲット材30から叩き出されたスパッタ粒子は、プラズマ形成空間21aに形成されているNLDプラズマを通過して基板へ到達する。このとき、スパッタ粒子は、環状磁気中性線25が形成される高密度プラズマ領域で分解、再励起されることにより、化学的蒸着法(CVD法)に類似する成膜形態で、基板の表面に対して等方的に入射する。したがって、本実施形態によって得られるエッチングパターンの段差被覆(保護膜)は、カバレッジ性が高く、面内均一性に優れる。

10

【0040】

なお、保護膜形成工程のプロセスガスとして、例えばArとフロロカーボン系ガス(C₄F₈、CHF₃等)の混合ガスを用いることで、プロセスガス中の反応ガスがプラズマ形成空間21aにおいてプラズマ化し、そのラジカル生成物が基板表面に堆積することによって、保護膜として機能するポリマー層を形成することが可能である。更に、プロセスガスとして上記混合ガスを用いることで、Arガスのみをプロセスガスとして用いる場合に比べてスパッタレートの向上を図ることができる。

【0041】

保護膜形成工程を所定時間行った後、再び上述したエッチング工程が行われる。このエッチング工程の初期段階は、エッチングパターンの底部を被覆する保護膜の除去作用に費やされる。その後、保護膜の除去により露出したエッチングパターンの底部のエッチング処理が再開される。このとき、プラズマ中のイオンは、基板バイアス作用によって基板に対して垂直方向に入射する。このため、エッチングパターンの側壁部を被覆する保護膜に到達するイオンは、エッチングパターンの底部に到達するイオンに比べて少ない。したがって、エッチング工程の間、エッチングパターンの側壁部を被覆する保護膜は完全に除去されることなく残留する。これにより、エッチングパターンの側壁部とフッ素ラジカルとの接触が回避され、エッチングパターンの側壁部のエッチングによる侵食が回避される。

20

【0042】

以降、上述のエッチング工程と保護膜形成工程が交互に繰り返し行われることで、基板表面に対して垂直方向の異方性エッチングが実現される。以上のようにして、基板Wの内部に高アスペクト比のビア(コンタクトホール、トレンチ)が作製される。

30

【0043】

ところで、基板の表面をエッチング又はスパッタ成膜する際には、基板の表面に対するこれらのプラズマ処理の面内均一性の確保が重要である。このことは、基板のサイズが大型化するほど顕著となる。面内均一性は、真空槽内に形成されるプラズマの位置すなわち密度分布に強く依存する。磁気中性線放電(NLD)は、磁気中性線の形成位置で高密度のプラズマが形成される。したがって、磁気中性線の半径を変化させることで、真空槽内に発生するプラズマの密度分布が可変となる。本実施形態においては、磁気中性線25の半径は、磁気コイル群24の中央の磁気コイル24Bへ供給する電流の大きさによって調整することができる。

40

【0044】

また、プラズマの形成位置は、スパッタ条件やエッチング条件などによっても面内均一性に大きな影響を与える。その一例として、スパッタ条件、導入ガスの圧力、導入ガスの混合比、アンテナパワー(RF1)の各々に関するプラズマ形成位置と基板の面内均一性との関係を図3に示す。

【0045】

図3において、横軸の「NL電流値」は、磁気コイル群24(図1)の中央の磁気コイル24Bへ供給する電流の大きさを示している。この電流値が大きくなるほど磁気中性線25の半径は小さくなり、電流値が小さくなるほど磁気中性線25の半径は大きくなる。図中「スパッタ条件」は、ガス圧、ガス混合比、アンテナパワー(RF1)、天板バイアス

50

パワー（RF3）などの各種パラメータが含まれている。なお、図3において「スパッタ条件」、「ガス圧」、「ガス混合比」、「アンテナパワー」はそれぞれ固定値であり、図3は、これらの固定値に対するNL電流値と面内均一性との関係を示している。

【0046】

図3に示したように、スパッタ条件、ガス圧、ガス混合比、アンテナパワーなどは、面内均一性に大きな関連を有している。図示せずとも、エッチング条件に関しても同様である。したがって、スパッタ処理及びエッチング処理に際しては、所望の面内均一性を確保する観点から、最適なプラズマ分布密度を設定する必要がある。

【0047】

そこで、本実施形態においては、基板Wに対するエッチング（プラズマ処理）の進行に応じて、磁気中性線25の半径を変化させるようにしている。例えば、基板中央部が周縁部に比べてエッチングレートが高い場合、環状磁気中性線の半径を大きくしてエッチングレートの面内均一性を向上させる。

【0048】

例えば、図4（A）～（C）に示すように、基板W上の一部のエッチングパターンP2、P3がこれらよりも外周側のエッチングパターンP1又は内周側のエッチングパターンP4よりもエッチングレートが速い場合、適宜のタイミングで磁気中性線25の半径を変化させる。この場合、磁気中性線25の半径を小さくしたり、大きくしたりすることで、パターンP1、P4のエッチングレートをパターンP2、P3のエッチングレートに合致させることができる。なお図4において、参照符号Mは、基板Wの表面に形成されたエッチング用のマスクパターンである。

【0049】

上述した方法は、1つのエッチング工程内で磁気中性線25の半径を多段階に変化させる制御を採用してもよいし、スパッタ工程からエッチング工程へ切り換えられる毎に磁気中性線25の半径を変化させる制御を採用してもよい。また、磁気中性線25の半径の変化は、予め設定した半径の大きさを多段階に変化させる制御だけに限られず、予め設定した半径の大きさの範囲内で連続的に変化させる制御も含まれる。

【0050】

基板Wに対するエッチング（プラズマ処理）の進行に応じて磁気中性線25の半径を変化させる他の制御例としては、エッチング工程とスパッタ工程とで磁気中性線の形成位置を変化させる制御が挙げられる。エッチング工程とスパッタ工程とで所望の面内均一性を確保できるプラズマ形成位置がそれぞれ異なる場合があるからである。この場合、エッチング工程及びスパッタ工程のそれぞれの磁気中性線の半径（NL電流値）の最適値を予め取得しておき、エッチング処理とスパッタ処理の切換時に、磁気中性線の半径をそれぞれの最適値に変化させる。これにより、エッチング処理時及びスパッタ処理時のそれぞれにおいて所望の面内均一性を確保することが可能となる。

【0051】

一方、エッチングパターンの深さに応じてエッチングレートの面内分布が変化することから、エッチングレートの面内分布に対応させて磁気中性線の半径を変化させることができる。これにより、エッチングパターンの深さに応じた、面内均一性に優れた最適なプラズマ分布密度を提供することが可能となる。また必要に応じて、磁気中性線の高さ位置や磁場勾配を変化させてもよい。

【0052】

このように、エッチング開始から終了までの間を複数の段階に区分し、各段階においてあらかじめ評価しておいた最適なプロセス条件に適合するように磁気中性線25の半径を変化させることで、エッチング（プラズマ処理）開始から終了までの間にわたり、面内均一性に優れたエッチングを行うことが可能となる。区分する段階数は特に限定されないが、段階数が多いほど高精度なエッチング加工を実現することができる。

【0053】

上述したような磁気中性線25の半径制御に加えて、さらに、以下に挙げるパラメータ

10

20

30

40

50

についても変化させることによって、エッチング面内均一性の向上を図ることが可能となる。

【 0 0 5 4 】

(ガス圧)

エッチング (プラズマ処理) の開始から終了までの間にわたって、真空槽 2 1 内へ導入するガスの圧力を段階的に変化させる。例えば、エッチング開始時は、ガス圧を比較的高めに設定し、エッチングの進行に応じてガス圧を低下させる制御を採用することができる。

【 0 0 5 5 】

通常、シリコン基板の深掘りエッチングでは、エッチングパターンが深くなるに従い、パターンの開口部のエッチングも進行することから、パターン開口部の形状精度を維持することが困難となる。そこで、エッチングの進行に応じてガス圧を低下させることで、パターンの底部へ向かうイオンの指向性を強めて、基板垂直方向に向かうエッチング異方性を高めることができる。これにより、パターン開口部の形状精度に優れた深掘り加工を実現することが可能となる。

10

【 0 0 5 6 】

なお、このガス圧制御は、エッチング工程及びスパッタ工程においてそれぞれ実施可能である。

【 0 0 5 7 】

(ガス混合比)

エッチング (プラズマ処理) の開始から終了までの間にわたって、真空槽 2 1 内へ導入するエッチングガス (SF_6 / Ar) の混合比を変化させる。例えば、エッチングの進行に応じてエッチングガス中の Ar 量を増加させる。

20

【 0 0 5 8 】

シリコン基板の深掘りエッチングでは、比較的高いエッチングレートが得られることから、 SF_6 などのフッ素系ガスがエッチングガスとして多用されている。しかし、フッ素系ガスによるシリコンのエッチングは等方性が強いいため、パターンが深くなるに従って、パターン開口部の形状精度の劣化や、パターン底部へ到達するイオン量の低下が顕在化する。そこで、エッチングの進行に応じてガス中の Ar 含有量を増加させることで、パターンの底部へ向かうイオンの量を増加させて所望のエッチングレートを確保するとともに、パターン開口部の形状精度の劣化を効果的に防止することが可能となる。

30

【 0 0 5 9 】

(アンテナパワー)

エッチング (プラズマ処理) の開始から終了までの間にわたって、磁気中性線 2 5 に沿って形成されるプラズマの強度をアンテナパワーの制御によって段階的に変化させる。

【 0 0 6 0 】

上述のように、プラズマの分布密度は、基板の面内均一性に大きな影響を与える。プラズマの分布密度は、磁気中性線 2 5 の半径の大きさだけでなく、プラズマを発生させるアンテナパワーすなわち高周波コイル 2 3 へ印加する高周波電力 ($RF1$) の大きさにも大きく関連する。したがって、磁気中性線 2 5 の半径制御に加えて、アンテナパワーの大きさも適宜調整することによって、面内分布の均一性のさらなる向上を図ることができるとともに、面内均一制御を容易に実現することができる。

40

【 0 0 6 1 】

アンテナパワーとエッチング種の量はほぼ比例関係にあることから、アンテナパワーを固定した場合、エッチングの進行に伴ってパターン開口部の侵食も顕在化する傾向にある。そこで、エッチングの進行に応じてアンテナパワーを低下させることにより、パターン開口部のエッチングダメージの低減を図りながら、パターン底部に対する所定のエッチング効果を維持することが可能となる。また、エッチングの進行に応じて、ステージ 2 6 へ印加するバイアスパワー ($RF2$) を上昇させるようにすれば、パターンの底部へ到達するイオンの量が高まるため、エッチングレートの大幅な低下を回避することが可能となる

50

。

【 0 0 6 2 】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態にのみ限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得ることは勿論である。

【 0 0 6 3 】

例えば、エッチング（プラズマ処理）の進行に応じて段階的に変化させる制御パラメータは、上述したアンテナパワーや導入ガス圧、ガス混合比だけでなく、ステージ 2 6 に印加するバイアス電力（RF 2）や天板 2 9 に印加するバイアス電力（RF 3）にも適用することが可能である。例えば、前者の場合には、エッチングの進行に応じてバイアスパワー（RF 2）を増加させる。これにより、パターン底部へのイオンの引き込み作用を高めて高いエッチングレートを確保できる。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 6 4 】

【 図 1 】 本発明の実施形態において用いられるプラズマエッチング装置の概略構成図である。

【 図 2 】 図 1 に示したプラズマエッチング装置の動作例を説明するタイミングチャートである。

【 図 3 】 スパッタ条件などに対するプラズマ形成位置と基板面内均一性との関係の一例を示す図である。

20

【 図 4 】 本発明に係るプラズマエッチング方法の動作の一例を模式的に示す要部の断面図である。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 5 】

- 2 0 プラズマエッチング装置
- 2 1 真空槽
- 2 3 高周波コイル（アンテナ）
- 2 4 磁気コイル群
- 2 5 磁気中性線
- 2 6 ステージ
- 2 9 天板
- 3 0 ターゲット材
- 3 1 ガス導入管
- W 基板

30

フロントページの続き

(72)発明者 村山 貴英

静岡県裾野市須山1220-1 株式会社アルバック 半導体技術研究所内

審査官 宮崎 園子

(56)参考文献 国際公開第2006/003962(WO, A1)

特開平07-090632(JP, A)

特開平09-063792(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065