

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7325477号

(P7325477)

(45)発行日 令和5年8月14日(2023.8.14)

(24)登録日 令和5年8月3日(2023.8.3)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 21/3065(2006.01)

H 0 1 L

21/302

1 0 5 A

請求項の数 12 (全15頁)

(21)出願番号	特願2021-103362(P2021-103362)	(73)特許権者	000219967
(22)出願日	令和3年6月22日(2021.6.22)		東京エレクトロン株式会社
(65)公開番号	特開2022-32965(P2022-32965A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43)公開日	令和4年2月25日(2022.2.25)	(74)代理人	100107766
審査請求日	令和5年4月11日(2023.4.11)		弁理士 伊東 忠重
(31)優先権主張番号	特願2020-136392(P2020-136392)	(74)代理人	100070150
(32)優先日	令和2年8月12日(2020.8.12)		弁理士 伊東 忠彦
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(72)発明者	田中 康基
早期審査対象出願			宮城県黒川郡大和町テクノヒルズ1番
			東京エレクトロン宮城株式会社内
		審査官	宇多川 勉

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 エッチング方法及びプラズマエッチング装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

(a) シリコンを含有する基板を支持台上に提供する工程と、
(b) フッ素含有ガスを含む第1のガスから生成されたプラズマにより前記基板をエッチングし、底部を有するエッチング形状を形成する工程と、
(c) フッ化水素(HF)ガスを含む第2のガスからプラズマを生成して前記エッチング形状の底部に選択的にHFの凝縮層または凝固層を形成する工程と、
(d) 前記支持台にバイアス電力を供給し、前記第2のガスから生成された前記プラズマにより前記底部をエッチングする工程と、を有し、
前記(c)の工程～前記(d)の工程において、前記基板の温度が0 以下に保持される、エッチング方法。

10

【請求項2】

前記(c)の工程及び前記(d)の工程は同時に行なわれる、
請求項1に記載のエッチング方法。

【請求項3】

前記(c)の工程及び前記(d)の工程は、前記エッチング形状の開口径が200nm以下であり、アスペクト比が20以上で行われる、
請求項1又は2に記載のエッチング方法。

【請求項4】

前記(a)の工程の後、前記基板の温度を-40 以下に設定する、

20

請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

【請求項 5】

前記 (d) の工程は、前記第 2 のガスから生成されたプラズマ又は希ガスから生成されたプラズマにより前記底部をエッチングする、

請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

【請求項 6】

前記第 2 のガスから生成されたプラズマ中のイオンを前記底部に引き込み、前記底部に形成した前記凝縮層または凝固層と前記底部とを反応させてエッチングを進行させる、

請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

【請求項 7】

前記シリコンを含有する基板は、酸化シリコン膜又は窒化シリコン膜を含む、

請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

【請求項 8】

前記シリコンを含有する基板は、酸化シリコン膜及び窒化シリコン膜の積層膜を含む、

請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載のエッチング方法。

【請求項 9】

シリコンを含有する基板をチャンバ内の支持台上に提供し、前記シリコンを含有する基板は、酸化シリコン膜及び窒化シリコン膜の積層膜を含む工程と、

前記基板の温度を 0 以下に設定する工程と、

処理ガスの全流量に対し体積流量比で 30 % 以上含むフッ化水素 (HF) ガスを前記チャンバ内に供給する工程と、

高周波電力を供給し、前記処理ガスから生成されたプラズマにより前記基板をエッチングする工程と、を有し、

前記供給する工程及び前記エッチングする工程中、前記基板の温度が 0 以下に保持されるエッチング方法。

【請求項 10】

前記設定する工程は、前記基板の温度を - 40 以下に設定し、

前記供給する工程及び前記エッチングする工程中、前記基板の温度が 0 以下に保持される、

請求項 9 に記載のエッチング方法。

【請求項 11】

(a) シリコンを含有する基板を支持台上に提供し、前記シリコンを含有する基板は、酸化シリコン膜及びポリシリコンの積層膜を含む工程と、

(b) フッ素含有ガスを含む第 1 のガスから生成されたプラズマにより前記基板をエッチングし、底部を有するエッチング形状を形成する工程と、

(c) フッ化水素 (HF) ガスを含む第 2 のガスからプラズマを生成して前記エッチング形状の底部に選択的に HF の凝縮層または凝固層を形成する工程と、

(d) 前記支持台にバイアス電力を供給し、前記第 2 のガスから生成された前記プラズマにより前記底部をエッチングする工程と、を有し、

前記 (c) の工程 ~ 前記 (d) の工程において、前記基板の温度が 0 以下に保持される、エッチング方法。

【請求項 12】

プラズマエッチング装置であって、

チャンバと、

前記チャンバ内に設けられ基板を支持する支持台と、

前記チャンバ内にプラズマを生成するプラズマ生成部と、

制御部と、を有し、

前記制御部は、

(a) シリコンを含有する基板を受け取り、前記支持台上に支持する工程と、

(b) フッ素含有ガスを含む第 1 のガスから生成されたプラズマにより前記基板をエッ

10

20

30

40

50

チングし、底部を有するエッチング形状を形成する工程と、

(c) フッ化水素 (HF) ガスを含む第2のガスからプラズマを生成して前記エッチング形状の底部に選択的にHFの凝縮層または凝固層を形成する工程と、

(d) 前記支持台にバイアス電力を供給し、前記第2のガスから生成された前記プラズマにより前記底部をエッチングする工程と、を実行し、

前記(c)の工程～前記(d)の工程において、前記基板の温度を0以下に保持する、プラズマエッチング装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、エッチング方法及びプラズマエッチング装置に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、エッチング対象膜としてのシリコン酸化膜に対して高アスペクト比の凹部を形成するために、プラズマエッチングを行う技術が記載されている。この技術では、フルオロカーボンガス、ハイドロフルオロカーボンガスといったフッ素含有ガスと水素ガスとを含む処理ガスのプラズマを生成することにより、シリコン酸化膜がエッチングされる。メモリデバイスのコンタクトホールなどの高アスペクト構造では、エッチングが進むにつれアスペクト比が増大し、エッチャント供給量が減少する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2016-122774号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本開示は、エッチング形状(凹部)の底部に効率的にエッチャントを供給し、エッチングレートを向上させる技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本開示の一の態様によれば、(a)シリコンを含有する基板を支持台上に提供する工程と、(b)フッ素含有ガスを含む第1のガスから生成されたプラズマにより前記基板をエッチングし、底部を有するエッチング形状を形成する工程と、(c)フッ化水素(HF)ガスを含む第2のガスからプラズマを生成して前記エッチング形状の底部に選択的にHFの凝縮層または凝固層を形成する工程と、(d)前記支持台にバイアス電力を供給し、生成された前記プラズマにより前記底部をエッチングする工程と、を有し、前記(c)の工程～前記(d)の工程において、前記基板の温度が0以下に保持される、エッチング方法が提供される。

【発明の効果】

【0006】

一の側面によれば、エッチング形状の底部に効率的にエッチャントを供給し、エッチングレートを向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】図1は、一実施形態に係るエッチング方法を示す図である。

【図2】図2は、一実施形態に係る第2のエッチングの流れを示す図である。

【図3】図3は、エッチング対象膜のエッチングの流れを説明するための図である。

【図4】図4は、エッチング対象膜のエッチングの流れを説明するための図である。

【図5】図5は、一実施形態に係るプラズマエッチング装置の一例を示す断面模式図である。

10

20

30

40

50

【発明を実施するための形態】

【0008】

一つの例示的实施形態において、膜をエッチングする方法が提供される。当該方法は、(a)シリコンを含有する基板を支持台上に提供する工程と、(b)フッ素含有ガスを含む第1のガスから生成されたプラズマにより前記基板をエッチングし、底部を有するエッチング形状を形成する工程と、(c)フッ化水素(HF)ガスを含む第2のガスからプラズマを生成して前記エッチング形状の底部に選択的にHFの凝縮層または凝固層を形成する工程と、(d)前記支持台にバイアス電力を供給し、生成された前記プラズマにより前記底部をエッチングする工程と、を含み、(c)の工程～(d)の工程において、基板の温度が0以下に保持される。この実施形態によれば、エッチング形状の底部に効率的にエッチャントを供給し、エッチングレートを高めることができる。

10

【0009】

一つの例示的实施形態において、(c)の工程と(d)の工程を繰り返してもよい。また一つの例示的实施形態において、(c)の工程及び(d)の工程は同時に行なわれてもよい。

【0010】

一つの例示的实施形態において、(c)の工程及び(d)の工程は、エッチング形状の開口径が200nm以下であり、アスペクト比が20以上で行われてもよい。

【0011】

一つの例示的实施形態において、(a)の工程の後、基板の温度を-40以下に設定してもよい。

20

【0012】

一つの例示的实施形態において、(d)の工程は、第2のガスのプラズマ又は希ガスのプラズマにより底部をエッチングしてもよい。

【0013】

一つの例示的实施形態において、バイアス電力を供給し、プラズマ中のイオンを底部に引き込み、底部に形成した凝縮層または凝固層と底部とを反応させてエッチングを進行させてもよい。

【0014】

一つの例示的实施形態において、膜をエッチングする方法が提供される。当該方法は、シリコンを含有する基板をチャンバ内の支持台上に提供する工程と、基板の温度を0以下の温度に設定する工程と、フッ化水素(HF)ガスを処理ガスの全流量に対する体積流量比で30%以上含む混合ガスをチャンバ内に供給する工程と、プラズマ生成用の高周波電力(Radio-frequency power)を供給し、混合ガスから生成されたプラズマにより基板をエッチングする工程と、を有し、供給する工程及びエッチングする工程中、基板の温度が0以下に保持されるエッチング方法が提供される。この実施形態によれば、エッチングレートを高めることができる。

30

【0015】

一つの例示的实施形態において、設定する工程は、基板の温度を-40以下に設定し、前記供給する工程及び前記エッチングする工程中、前記基板の温度が0以下に保持されてもよい。

40

【0016】

一つの例示的实施形態において、シリコンを含有する基板は、酸化シリコン膜又は窒化シリコン膜を含んでもよい。

【0017】

一つの例示的实施形態において、シリコンを含有する基板は、酸化シリコン膜及び窒化シリコン膜の積層膜を含んでもよい。

【0018】

一つの例示的实施形態において、シリコンを含有する基板は、酸化シリコン膜及びポリシリコンの積層膜を含んでもよい。

50

【 0 0 1 9 】

一つの例示的实施形態において、プラズマエッチング装置であって、チャンバと、チャンバ内に設けられ基板を支持する支持台と、チャンバ内にプラズマを生成するプラズマ生成部と、制御部と、を有するプラズマ処理装置が提供される。当該装置の制御部は、(a) シリコンを含有する基板を受け取り、前記支持台上に支持する工程と、(b) フッ素含有ガスを含む第 1 のガスから生成されたプラズマにより基板をエッチングし、底部を有するエッチング形状を形成する工程と、(c) フッ化水素 (H F) ガスを含む第 2 のガスからプラズマを生成してエッチング形状の底部に選択的に H F の凝縮層または凝固層を形成する工程と、(d) 前記支持台にバイアス電力を供給し、生成されたプラズマにより底部をエッチングする工程と、を実行し、(c) の工程 ~ (d) の工程において、基板の温度を 0 以下に保持する。

10

【 0 0 2 0 】

以下、図面を参照して本開示を実施するための形態について説明する。各図面において、同一構成部分には同一符号を付し、重複した説明を省略する場合がある。

【 0 0 2 1 】

以下の説明では、図 5 における二つの高周波電源 (R F 電源) の一方からプラズマエッチング装置内に供給する電力を H F パワーともいい、他方からプラズマエッチング装置内の下部電極に供給する電力を L F パワー (バイアス電力ともいう。) ともいう。H F パワーは主にプラズマ生成に寄与するプラズマ生成用の高周波電力である。L F パワーは主に基板 W へのイオンの引き込みに寄与するバイアス用の高周波電力である。ここでは、処理対象の基板 W は直径 3 0 0 m m のウエハである。基板 W の表面温度を基板 W の表面にシリコンゲルなどの接着剤を介して貼りつけた温度センサにより計測することで基板 W の温度を制御してもよい。また、本明細書中で混合ガスとは 2 種類以上のガスが混合されたガス (エッチングガス) をいう。

20

【 0 0 2 2 】

本実施形態では、基板をエッチングする方法 M T について図 1 を参照して説明する。以下の説明では、図 1 に加えて、図 5 を参照する。また、以下では、プラズマエッチング装置 1 0 を用いて基板 W に方法 M T が適用される場合を例として、方法 M T を説明する。方法 M T は、工程 S 1 ~ S 5 を含む。また、工程 S 5 は少なくとも図 2 の工程 S 5 1 ~ S 5 3 を含む。

30

【 0 0 2 3 】

工程 S 1 では、図 5 に示すようにエッチング対象膜を含む基板 W がチャンバ 1 内において支持台 S T によって支持される。支持台 S T は静電チャック 5 を含み、静電気力により基板 W を保持する。エッチング対象膜はシリコン含有膜である。シリコン含有膜は、酸化シリコン膜 (S i O ₂) 又は窒化シリコン膜 (S i N) を含む。さらにシリコン含有膜は、酸化シリコン膜以外のシリコン含有膜を含んでもよい。シリコン含有膜は、2 種類以上のシリコン含有膜を含んでもよい。2 種類以上のシリコン含有膜は、酸化シリコン膜とポリシリコン膜との積層膜、又は酸化シリコン膜と窒化シリコン膜との積層膜を含んでもよい。本実施形態では、エッチング対象膜として酸化シリコン膜をエッチングする例を示す。例えば、3 D - N A N D 又は D R A M 用のアスペクト比が 2 0 以上のエッチングに用いることができる。

40

【 0 0 2 4 】

基板 W は更にエッチング対象膜上に開口を有するマスクを有してよい。マスクはエッチング対象膜であるシリコン含有膜と選択比が得られる種々の膜から形成されてよい。マスクは、カーボンを含む膜であってよい。カーボンを含む膜の一例は、フォトレジスト、またはアモルファスカーボンを含む。マスクは、シリコンを含む膜であってもよく、例えば、ポリシリコンマスクであってもよい。

【 0 0 2 5 】

エッチングにはフッ素含有ガスを含むガスが用いられる。フッ素含有ガスを含むガスは、C F ₄、C ₂ F ₆、C ₄ F ₆、C ₄ F ₈ 等のフルオロカーボン、C H ₃ F、C H ₂ F ₂、

50

C H F₃等のハイドロフルオロカーボン、S F₆、N F₆等のガス、フッ化水素（H F）ガス、またはこれらから選択される1以上のガスの組合せであってよい。フッ素含有ガスを含むガスは、更に水素含有ガスを含んでもよい。水素含有ガスは、H₂、C H₄等であってよい。また、これらのガスに加えてA r等の希ガスを含んでもよい。フッ素を含むガス又はフッ素と水素とを含むガスから生成されるプラズマのフッ素イオン及び水素イオンは軽いため、マスクに対してダメージを与えにくい。よって高いマスク選択比を得ることができる。一例では、アスペクト比が所定値（例えば、20）以上では、エッチングガスとしてフッ化水素ガスを含有する混合ガスが用いられる。フッ化水素ガスを含有する混合ガスのうち、フッ化水素ガスを混合ガス（処理ガス）の全流量に対する体積流量比で30%以上含んでよい。本例では、アスペクト比A₁～A₃はマスクを含まずに算出されている。図4のアスペクト比A₁～A₃に示すように、アスペクト比はマスクを含んで算出されてもよい。後述するフッ化水素の凝縮層又は凝固層が形成されるアスペクト比を判定できればよい。

10

【0026】

シリコン含有膜の上のマスクは、メタル含有マスクであってもよい。メタル含有マスクは、タングステン（W）系、チタン（Ti）系、モリブデン（Mo）系、ルテニウム（Ru）系、ハフニウム（Hf）系又はアルミニウム（Al）系の材料から形成されてよい。

【0027】

次いで工程S₂では、基板の温度を0℃以下に制御する。例えば、エッチング開始前に基板の温度（支持台S_Tの温度）を-40℃以下に設定する（ここで、エッチング開始前の基板の温度は、エッチング開始前の支持台S_Tの温度と略同一である。）。基板の温度を0℃以下、一例では-40℃以下にすることでエッチング形状の底部へのエッチャントの供給が促進し、エッチングレートを向上させることができる。また、エッチング開始前に基板の温度を-70℃以下に設定してもよい。冷却器を用いて支持台S_Tを冷却してもよいし、液体窒素、又はフロン類などの冷媒を支持台S_T中に通流することにより支持台S_Tを冷却することにより基板の温度を調整してもよい。プラズマによる入熱を考慮して、エッチング中は支持台S_T中を通流させる冷媒の温度を基板の目標温度（ターゲット温度）よりも10℃～50℃低い温度に設定する。一例では、-120℃～-40℃の冷媒を支持台S_T内の流路18に供給する。なお、基板の目標温度は、0℃以下のいずれかの温度に予め設定されている。また、冷媒を支持台S_Tに供給することに加え、支持台S_T伝熱ガス配管19から静電チャック5の表面とその上に保持された基板Wの裏面との間に伝熱ガスを供給してもよい。静電チャック5の表面と基板Wの裏面との間に供給される伝熱ガスの圧力を制御することにより熱伝導を制御し、基板の温度を調整することができる。伝熱ガスとしては不活性ガスを用いることができる。一例では希ガス、例えばヘリウムガスを用いてよい。これにより、基板Wの温度を0℃以下の温度に制御できる。

20

30

【0028】

次いで、工程S₃では基板Wをエッチングする。工程S₃のエッチングを「第1のエッチング」と呼ぶ。工程S₃では、ガスソース8からエッチングガスとしてフッ素含有ガスを含むガスをチャンバ内に供給し、RFソース6から上部電極3に27MHz～100MHzのプラズマ生成用の高周波電力を供給してエッチングガスからプラズマを生成してもよい。別の例では、RFソース6から支持台S_T（下部電極）にプラズマ生成用の高周波電力を供給してもよい。RFソース6から供給される高周波電力の大きさは一例では、0.1kW～5kWであってもよい。更に、RFソース7から支持台S_T（下部電極）に200kHz～13.56MHzのバイアス電力を供給して、エッチングしてもよい。バイアス電力の大きさは5kW以上であってもよい。高周波電力に限らず、電圧パルスを用いてもよい。一例では、直流電圧（DC）パルスを印加してもよい。工程S₃においてチャンバ内に供給するフッ素含有ガスを含むガスは、「第1のガス」の一例である。

40

【0029】

エッチングガスとしてフルオロカーボンガス（例えばC F₄）を用いることができる。更に、水素含有ガス（例えば、H₂ガス）を供給してもよい。また、希ガスを添加してもよい。エッチング対象膜が窒化シリコン膜を含む場合には、エッチングガスとして、フル

50

オロカーボンや、ハイドロフルオロカーボンガス（例えば CHF_3 ）を用いることができる。プラズマ生成用の高周波電力は連続波に限らず所定のデューティ比（デューティ比とは、オン時間 / （オン時間 + オフ時間）で定義される）を有するパルス波であってもよい。デューティ比をエッチング中に変化させてもよい。工程 S 3 では、フッ素含有ガスを含むガスから生成されたプラズマにより基板 W をエッチングし、底部を有するエッチング形状を形成する。これにより、図 3（a）に示すように、マスク 20 を介してプラズマ中のイオン及びラジカルが作用し、エッチング対象膜 21 をエッチングする。図 3 では、エッチング形状の例はホール H、およびライン形状を含む。第 1 のエッチングでは、一例では概ねアスペクト比が 20 程度の深さ A1 までエッチングする。

【0030】

次いで工程 S 4 では、エッチング形状の開口径が所定値以下であって、かつ、アスペクト比が所定以上かを判定する。例えば、エッチング形状の開口径が 200 nm 以下であって、アスペクト比が 20 以上かが判定される。ここで、アスペクト比の所定値は、図 3（b）のフッ化水素の凝縮層又は凝固層 22 を凹部の底部に形成できる値であればよい。一実施形態ではチャンバ内またはチャンバ外に設けられた光学的手段によりアスペクト比（開口径など）を計測してもよい。

【0031】

エッチング形状の開口径が所定値（例えば、200 nm）よりも大きい場合、又はアスペクト比が所定値（例えば、アスペクト比 20）未満である場合、工程 S 3 に戻り、第 1 のエッチングを続ける。一方、エッチング形状の開口径が所定値（例えば、200 nm）以下であって、かつアスペクト比が所定値（例えば、アスペクト比 20）以上である場合、工程 S 5 に進む。なお、工程 S 4 では上記判定の代わりに第 1 のエッチングが開始されてから予め定められた時間が経過したかを判定してもよい。この場合、予め定められた時間が経過するまで工程 S 3 に戻り、第 1 のエッチングを続ける。一方、予め定められた時間が経過後、工程 S 5 に進む。

【0032】

工程 S 5 では基板 W を引き続きエッチングする。工程 S 5 のエッチングを「第 2 のエッチング」と呼ぶ。第 1 のエッチングと第 2 のエッチングとは同一のエッチング対象膜に対する連続したエッチングである。別の例では、第 1 エッチングの後に第 2 のエッチングが行われてよく、第 1 エッチングと第 2 のエッチングとの間に別の工程が行われてもよい。工程 S 5 では、ガスソース 8 からエッチングガスとしてフッ化水素（ HF ）ガスを含むエッチングガスをチャンバ内に供給する。工程 S 3 にて使用したガスに、フッ化水素ガスが含まれる場合、工程 S 5 にて供給するエッチングガスと工程 S 3 にて供給するフッ素含有ガスを含むガスとは同一ガスであってもよい。同一ガスの場合、工程 S 5 においてガスの切り替えが不要になり、スループットが向上する。工程 S 5 にてチャンバ内に供給するフッ化水素ガスを含むエッチングガスは、「第 2 のガス」の一例である。

【0033】

別の例では、工程 S 3 にフッ化水素ガスが含まれる場合、工程 S 5 にて供給するフッ化水素ガスの流量は工程 S 3 にて供給するフッ化水素ガスの流量よりも多くてもよい。工程 S 5 にて供給する混合ガスと工程 S 3 にて供給するガスとは異なるガスを含んでもよい。さらに、工程 S 3 にフッ化水素ガスが含まれる場合、工程 S 5 にて供給するフッ化水素ガスの混合ガスに含まれる他のガスに対する流量比は工程 S 3 にて供給するフッ化水素ガスの他のガスに対する流量比よりも高くてもよい。これによりアスペクト比が高くなってもフッ化水素をエッチング形状の底部に十分供給することができる。

【0034】

工程 S 5 における他のプロセス条件については、例えば RF ソース 6 から上部電極 3 に 27 MHz ~ 100 MHz のプラズマ生成用の高周波電力を供給してエッチングガスからプラズマを生成してもよい。RF ソース 6 から支持台 ST（一例では、下部電極）にプラズマ生成用の高周波電力を供給してもよい。エッチングガスは、フッ化水素（ HF ）ガスを含む 2 種類以上の混合ガスであってもよい。混合ガスは、チャンバ 1 に 2 種類以上のガス

10

20

30

40

50

がそれぞれ供給され、チャンバ 1 内で混合されてもよいし、チャンバ 1 に供給される前に混合されてもよい。RF ソース 6 から供給される高周波の周波数は一例では、0.1 kW ~ 5 kW であってもよい。更に、RF ソース 7 から支持台 ST に 200 kHz ~ 13.56 MHz のバイアス電力を供給して、エッチングを促進する。バイアス電力の大きさは 5 kW 以上であってもよい。バイアス電力は高周波電力に限らず、DC パルス等の電圧パルスでもよい。

【0035】

工程 S5 にて供給するガスとしては、フッ化水素ガスに加え、少なくともフルオロカーボンガス、ハイドロフルオロカーボンガス、その他のハロゲン含有ガスの少なくとも一つが含まれてもよい。フルオロカーボンガスの例は、 CF_4 、 C_3F_8 、 C_4F_6 、 C_4F_8 、及び C_5F_8 を含む。ハイドロフルオロカーボンの例は、 CHF_3 、 CH_2F_2 、及び CHF_3 を含む。その他のハロゲン含有ガスとして Cl_2 及び / 又は HBr を含んでもよい。その他 SF_6 及び / 又は NF_3 を含んでもよい。フルオロカーボンガスまたはハイドロフルオロカーボンガスはマスクを保護する。

【0036】

工程 S5 にて使用するエッチングガスは、更に、水素含有ガス（一例では、 H_2 ガス）を含んでもよい。また、希ガスを含んでもよい。エッチング対象膜が窒化シリコン膜を含む場合には、エッチングガスとして、フルオロカーボンや、ハイドロフルオロカーボンガス（例えば、 CHF_3 ）を用いることができる。プラズマ生成用の高周波電力は連続波に限らず所定のデューティ比を有するパルス波であってもよい。デューティ比をエッチング中に変化させてもよい。

【0037】

工程 S5 は、少なくとも図 2 に示す工程 S51 ~ S53 を含む。工程 S51 では、フッ化水素ガスを含む混合ガスから生成されたプラズマにより基板 W をエッチングし、エッチング形状の底部に選択的にフッ化水素の凝縮層または凝固層を形成する。

【0038】

エッチング形状が所定の開口径以下および所定のアスペクト以上、一例では、エッチング形状の開口径が 200 nm 以下であって、アスペクト比が 20 以上のエッチング形状では、底部から揮発してくるエッチング副生成物の影響で、底部の圧力が気相に比べて高くなるため、フッ化水素が凝縮または凝固しやすくなる。また、凝縮する場合には毛管凝縮（capillary condensation）現象が生じ、底部に選択的にフッ化水素が吸着する。凝集しない場合であっても、フッ化水素分子の分極に起因して、それぞれのフッ化水素分子間に凝集力を生じるため、表面エネルギーが最小となる底部に選択的にフッ化水素が吸着する。

【0039】

エッチング中は、プラズマからの入熱により基板の温度が上昇するが、基板の裏面と支持台の表面との間に供給される伝熱ガスの圧力を調整することにより基板の温度が制御され、エッチング中においても基板の温度は 0 以下に保持されている。つまり、フッ化水素ガスを含むエッチングガスをチャンバ 1 内に供給する工程、及びプラズマ生成用の高周波電力を供給し、エッチングガスから生成されたプラズマにより基板 W をエッチングする工程中、基板の温度が 0 以下に保持される。

【0040】

基板の温度を 0 以下に保持する方法としては、例えば、エッチング中、基板 W と静電チャック 5 との間に供給する伝熱ガスの圧力を制御すること、及び / 又はバイアス電力の大きさを制御することが挙げられる。これにより、エッチング形状が所定の開口径以下および所定のアスペクト以上、一例では、エッチング形状の開口径が 200 nm 以下であって、アスペクト比が 20 以上に達した後、フッ化水素ガスの流量を調整して選択的にエッチング形状の底部にフッ化水素を凝縮させた液相の凝縮層又は固相の凝固層を形成することができる。この凝縮層または凝固層は、エッチャントとして機能するフッ化水素がエッチング形状の底部に優先的に物理吸着したものである。方法 MT によれば、アスペクト比

10

20

30

40

50

が所定値以上、例えば、アスペクト比 20 またはそれ以上の深さまでエッチングが進んだ後も、凝縮層または凝固層によりエッチングレートを維持又は向上させることができる。

【0041】

図3(a)は、所定のアスペクト比未満、例えば、アスペクト比が20未満のエッチングの深さA1におけるホールHのエッチングを示す(第1のエッチング)。

【0042】

図3(b)は、所定のアスペクト比以上のエッチングの深さA2(>A1)におけるホールHのエッチングを示す(第2のエッチング)。第2のエッチングではホールHが深くなり、凝縮現象又は凝固現象が生じる。これを利用して、エッチング形状の底部にフッ化水素ガスのエッチャントを効率的に供給し、エッチング形状の底部に選択的にフッ化水素の凝縮層または凝固層22を形成する。

10

【0043】

工程S51では、フッ化水素ガスの流量が多すぎるとエッチング形状の開口が閉塞し、エッチングが停止してしまう。そこで、フッ化水素ガスを所定の流量に制御し、かつ、基板の温度を0以下に制御することで、凝縮現象又は凝固現象によりエッチング形状の底部に選択的に凝縮層または凝固層を形成し、エッチングを促進する。

【0044】

図2に示す工程S51に続く工程S52では、支持台STにバイアス電力を供給して生成された混合ガスのプラズマ中のイオンをエッチング形状の底部まで到達させる。そして、そのイオンのエネルギーによりフッ化水素の凝縮層または凝固層22とエッチング対象膜とを反応させ、エッチング対象膜のエッチングを促進させる。これにより、図3(b)に示すように、エッチング対象膜21に対して異方性エッチングが行われる。

20

【0045】

特に工程S52では支持台STにバイアス電力を印加することで凝縮層または凝固層22まで到達するようにイオンを制御する。これにより、エッチャントとして機能する凝縮層または凝固層22が介在することでエッチングが促進され、エッチングレートを向上させることができる。

【0046】

工程S53では、エッチング対象膜のエッチングが終了したかを判定する。例えば図3(c)に示すようにエッチング対象膜21の下地膜23が露出した時点でエッチングが終了したと判定してもよい。たとえば下地膜23が露出したか否かは、終点検出(End Point Detection)の技術を用いて判定できる。ただし、エッチングが終了したかの判定方法はこれに限られない。

30

【0047】

工程S53において、エッチングが終了していないと判定した場合、工程S51に戻り、工程S51及び工程S52を繰り返す。工程S51及び工程S52を繰り返す間、基板の温度が0以下に保持される。工程S53において、エッチングが終了したと判定した場合、本方法MTを終了する。

【0048】

以上に説明した方法MTは、凝縮層または凝固層22を形成する工程S51と、混合ガスのプラズマでエッチングする工程S52とを異なる工程として説明したが、同時に実行されてもよい。工程S51及び工程S52は、繰り返されてもよい。工程S51及び工程S52が順に繰り返し実行される場合に限られず、凝縮層または凝固層22を形成しながら混合ガスのプラズマでエッチングする処理が同時に行われている場合も含む。工程S51及び工程S52を同時に行うとエッチングのスループットが向上する。

40

【0049】

第2のエッチングに使用されるフッ化水素ガスを含む混合ガスには希ガスが含まれてもよい。希ガスの例は、アルゴンガス、ヘリウムガスを含む。第2のエッチングにおいて、希ガスは、第2のエッチングにおいてプラズマ中のイオン(例えばアルゴンイオン)の作用によるエッチングの促進に寄与する。つまり、第2のエッチングにおいて、バイアス電

50

力を支持台 S T に供給し、プラズマ中のイオンをエッチング形状の底部に引き込む。これにより、イオンのエネルギーによってエッチング形状の底部に形成した凝縮層または凝固層 2 2 とエッチング形状の底部とを反応させてエッチングを進行させることができる。ただし、希ガスのイオンのみが凝縮層または凝固層 2 2 にエネルギーを与えてエッチングの促進に寄与するわけではない。希ガスを含む混合ガスのプラズマ中の各種のイオンが基板 W に引き込まれ、凝縮層または凝固層 2 2 にエネルギーを与えてエッチングを進行させることができる。なお、第 1 のエッチングに使用されるガスに希ガスが含まれてもよく、プラズマを安定的に生成する。

【 0 0 5 0 】

工程 S 5 1 ではフッ化水素を含む混合ガスを供給して凝縮層または凝固層 2 2 を形成し、工程 S 5 2 では混合ガスから希ガスにガス種を切り替え、希ガスを供給してエッチングを行い、工程 S 5 1 と工程 S 5 2 とを繰り返してもよい。ただし、混合ガス中に希ガスを含め、工程 S 5 1 及び工程 S 5 2 を同一ガス種で実行してもよい。

【 0 0 5 1 】

[プラズマエッチング装置]

以上に説明した方法 M T には下記のプラズマエッチング装置を用いることができる。図 5 は、一実施形態に係るプラズマエッチング装置 1 0 の一例を示す断面模式図である。プラズマエッチング装置 1 0 は、処理ガスからプラズマを励起するために用いられるいくつかのプラズマ生成システムの一例を与える。

【 0 0 5 2 】

図 5 は、容量結合プラズマ (C C P) 装置を示しており、チャンバ 1 と上部電極 3 と支持台 S T との間にプラズマ 2 が形成される。支持台 S T は、下部電極 4 及び静電チャック 5 を有する。支持台 S T 上に基板 W が保持される。 R F ソース 6 と R F ソース 7 は、上部電極 3 及び下部電極 4 の双方に結合され、異なる R F 周波数が用いられ得る。他の例では、 R F ソース 6 と R F ソース 7 が同じ電極に結合されてもよい。更に、直流電流 (D C) パワーが上部電極に結合されてもよい。チャンバ 1 にはガスソース 8 が接続され、処理ガスを供給する。また、チャンバ 1 には排気装置 9 が接続されチャンバ 1 内部を排気する。また、基板の温度を非接触で測定する温度センサが設けられてもよい。

【 0 0 5 3 】

図 5 のプラズマエッチング装置は、プロセッサ及びメモリを含む制御部 8 0 を有し、プラズマエッチング装置 1 0 の各要素を制御して基板 W をプラズマ処理する。

【 0 0 5 4 】

[実施例]

実施形態に係る方法 M T における各工程のプロセス条件の一例を以下に示す。

< 第 1 のエッチング (図 1 の S 3) >

対象膜 S i O ₂ 膜 (アスペクト比が 2 0 未満)

H F パワー 0 . 1 k W ~ 5 k W 、 2 7 M H z ~ 1 0 0 M H z

L F パワー 5 k W 以上、 2 0 0 k H z ~ 1 3 . 5 6 M H z

第 1 のガス フッ素含有ガスを含む混合ガス (例えば C F ₄ ガス及び A r ガス)

基板温度 0 以下

基板裏面と静電チャックとの間の空間の圧力 1 0 ~ 2 0 0 T o r r (1 3 3 3 ~ 2 6 6 6 5 P a)

【 0 0 5 5 】

< 第 2 のエッチング (図 1 の S 5) >

対象膜 S i O ₂ 膜 (アスペクト比が 2 0 以上)

(凝縮層形成工程 (図 2 の S 5 1) およびエッチング工程 (図 2 の S 5 2))

H F パワー 0 . 1 k W ~ 5 k W 、 2 7 M H z ~ 1 0 0 M H z

L F パワー 5 k W 以上、 2 0 0 k H z ~ 1 3 . 5 6 M H z

第 2 のガス フッ化水素を含む混合ガス (例えば H F ガス及び A r ガス)

基板温度 0 以下

基板裏面と静電チャックとの間の空間の圧力 10 ~ 200 Torr

【0056】

以上に説明したように、本実施形態に係るエッチング方法によれば、エッチングを促進することができる。

【0057】

なお、図1の工程S3及び工程S4は実行しなくてもよい場合がある。例えば所定のアスペクト比を有する凹部がすでに形成されている基板Wを準備し（工程S1）、基板を温度制御し（工程S2）、工程S5の第2のエッチングを実行してもよい。ここでいうアスペクト比は、図4に示したようにマスクに形成された開口を含んで算出されるアスペクト比（図4にマスクを含む凹部の深さA1～A3が示されている。）であってもよい。マスク開口のアスペクト比が凝縮層または凝固層を形成できるアスペクト比以上あれば、工程S3を省略できる。所定のアスペクト比とは、エッチング対象の領域（凹部の底部またはエッチング対象膜の表面）に凝縮層または凝固層が形成され得るアスペクト比を意味し、そのアスペクト比の形状が形成された基板を提供することで工程S3及び工程S4を省略できる。

【0058】

また、開示する実施形態は、以下の（A1）項、（A2）項の態様をさらに含む。

（A1）エッチング方法であって、

（a）シリコン酸化膜を含むシリコン含有膜と前記シリコン含有膜上にマスクとを有する基板を支持台上に提供する工程であって、前記シリコン含有膜と前記マスクには底部と側壁で規定される第1のアスペクト比を有する凹部が形成されている、工程と、

（b）フッ化水素（HF）を含むガスを供給して前記底部にHFの凝縮層または凝固層を形成する工程と、

（c）前記支持台に電気バイアスを供給し、プラズマを用いて前記底面をエッチングし、前記第1のアスペクト比よりも高い第2のアスペクト比を有する凹部を形成する工程と、を有し、

前記第1のアスペクト比は、HFの凝縮層または凝固層が形成されるアスペクト比よりも高いアスペクト比であり、

前記（b）の工程および前記（c）の工程において、前記基板の温度が0 以下に保持される、

エッチング方法。

（A2）エッチング方法であって、

（a）シリコン酸化膜を含むシリコン含有膜と、前記シリコン含有膜上に第1のアスペクト比を有する開口が形成されたマスクを有する基板を支持台上に提供する工程と、

（b）フッ化水素（HF）を供給してシリコン含有膜上にHFの凝縮層または凝固層を形成する工程と、

（c）前記支持台に電気バイアスを供給し、プラズマを用いて前記シリコン含有膜をエッチングする工程と、を有し、

前記第1のアスペクト比は、前記シリコン含有膜上にHFの凝縮層または凝固層が形成されるアスペクト比よりも高いアスペクト比であり、

前記（b）の工程および前記（c）の工程において、前記基板の温度が0 以下に保持される、

エッチング方法。

（A3）前記凝縮層または凝固層を形成する工程では、HFからプラズマが形成される、

（A1）または（A2）のいずれか一項に記載のエッチング方法。

【0059】

今回開示された一実施形態に係るエッチング方法及びプラズマエッチング装置は、すべての点において例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。上記の実施形態は、添付の請求の範囲及びその主旨を逸脱することなく、様々な形態で変形及び改良が可能である。上記複数の実施形態に記載された事項は、矛盾しない範囲で他の構成も取

10

20

30

40

50

り得ることができ、また、矛盾しない範囲で組み合わせることができる。

【 0 0 6 0 】

本開示のプラズマエッチング装置は、Capacitively Coupled Plasma(CCP)型のプラズマ処理装置を示したが、その他のプラズマ処理装置を用いることもできる。例えば、Inductively Coupled Plasma(ICP)、Radial Line Slot Antenna(RLSA)、Electron Cyclotron Resonance Plasma(ECR)、Helicon Wave Plasma(HWP)を用いることができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 1 】

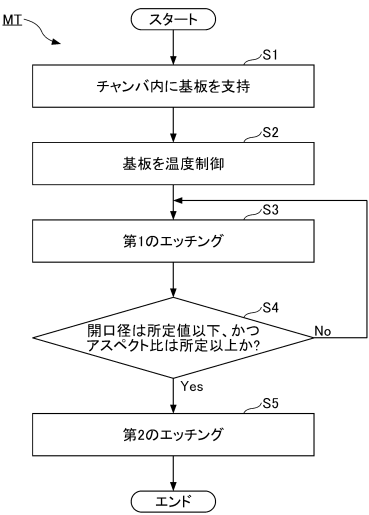
1	チャンバ	10
2	プラズマ	
3	上部電極	
4	下部電極	
5	静電チャック	
6 , 7	R F ソース	
8	ガスソース	
9	排気装置	
1 0	プラズマエッチング装置	
2 0	マスク	
2 1	エッチング対象膜	20
2 2	凝縮層 / 凝固層	
8 0	制御部	
W	基板	
S T	支持台	

30

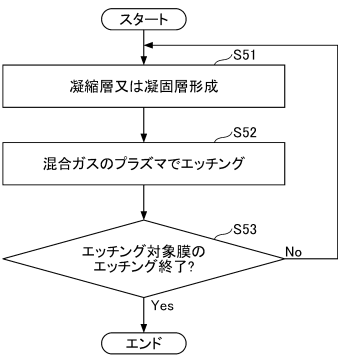
40

50

【図面】
【図 1】

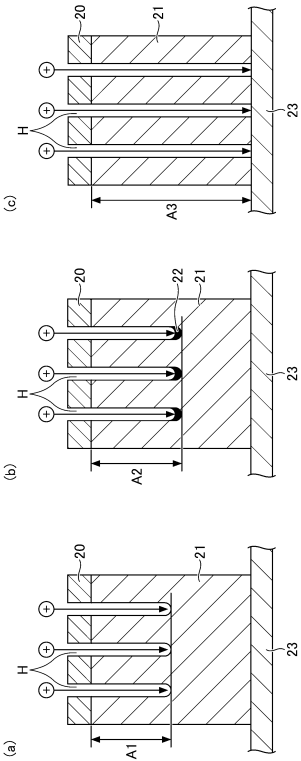


【図 2】

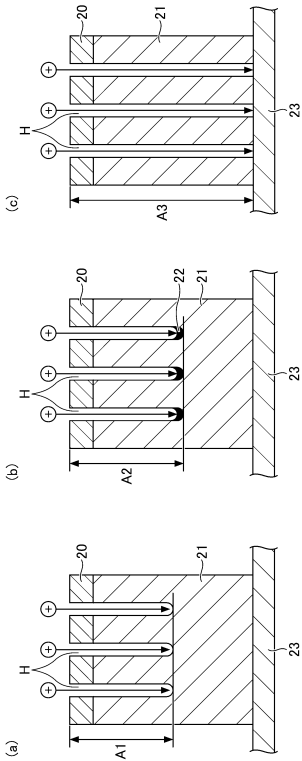


10

【図 3】



【図 4】



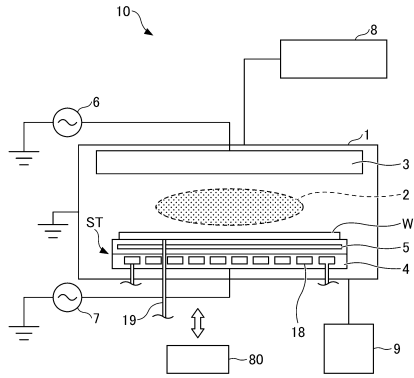
20

30

40

50

【 図 5 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

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