

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5041696号
(P5041696)

(45) 発行日 平成24年10月3日(2012.10.3)

(24) 登録日 平成24年7月20日(2012.7.20)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 1 O 5 A

請求項の数 4 (全 14 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2005-329793 (P2005-329793) (22) 出願日 平成17年11月15日(2005.11.15) (65) 公開番号 特開2007-141918 (P2007-141918A) (43) 公開日 平成19年6月7日(2007.6.7) 審査請求日 平成20年10月9日(2008.10.9)</p>	<p>(73) 特許権者 000005821 パナソニック株式会社 大阪府門真市大字門真1006番地 (74) 代理人 100100158 弁理士 鮫島 睦 (72) 発明者 廣島 満 大阪府門真市松葉町2番7号 パナソニック ファクトリーソリューションズ株式会 社内 (72) 発明者 奥根 充弘 大阪府門真市松葉町2番7号 パナソニック ファクトリーソリューションズ株式会 社内 審査官 関根 崇</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ドライエッチング方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

処理室において、エッチングガスをプラズマ化して、Siから成る被処理体にトレンチを形成する、前記被処理体のドライエッチング方法であって、

(a) Siから成る被処理体と反応し、その反応により生成する反応生成物が、Siから成る被処理体の側壁の保護膜を形成し得る成分を含んで成る第一エッチングガスを用いて、Siから成る被処理体に、エッチングによる前処理を施して、逆テーパ形状の内壁を有する前処理部分を形成する第一エッチング工程であり、

Siから成る被処理体周辺に電界を発生させて、第一エッチングガスから発生したプラズマ中のイオンを該被処理体に引き寄せ、イオンが被処理体に衝突するエネルギーによつて、エッチングによる被処理体の前処理を施す工程であり、

該前処理部分の深さが、最終的に形成されるトレンチの深さの15%未満となり、
 該前処理部分の逆テーパ形状の内壁と被処理体の表面とのなす角が、 $70^\circ < \theta < 90^\circ$ となる、第一エッチング工程、及び

(b) 第一エッチングガスと異なる第二エッチングガスを用いて、該前処理部分に、更にエッチングを行う第二エッチング工程を含んで成ることを特徴とするドライエッチング方法。

【請求項2】

10

20

第一エッチング工程において、プラズマ中のイオン密度は、被処理体から 10 mm の高さで、 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以上である請求項 1 に記載のドライエッチング方法。

【請求項 3】

(b) 第二エッチング工程は、フッ素化合物及び酸素を含み、場合により希ガスを含んで成る第二エッチングガスを前記処理室に導入して、該前処理部分にエッチングする第二エッチング工程である請求項 1 又は 2 に記載のドライエッチング方法。

【請求項 4】

第二エッチングガスに含まれるフッ素化合物は、 SF_6 、 NF_3 、 BF_3 、 PF_5 及び F_2 から選択される少なくとも一種であり、第二エッチングガスに場合により含まれる希ガスは、ヘリウム及びアルゴンから選択される少なくとも一種である請求項 3 に記載のドライエッチング方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、Si から成る被処理体にトレンチ等を形成するためのドライエッチング方法に関する。特に、深さが深く形状が良好なトレンチ等を形成するためのドライエッチング方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、エレクトロニクス機器の小型化が進むにつれて、それに使用する半導体デバイス、例えば集積回路及びフラットパネルディスプレイ等もその小型化が要求されている。半導体デバイスを作製するために、シリコン基板にトレンチ（又は溝）、ビアホール（又は穴）及びその他の構造等（以下、これらをまとめて「トレンチ等又は単にトレンチ」ともいう）が形成され得るが、上述のような要求のために、シリコン基板に形成されるトレンチ等は、その全体の深さがより深いもの、例えば、50 μm 以上の深さを有することが求められるようになった。尚、ここで、全体の深さとは、最終的に形成された目的とするトレンチ等のシリコン基板表面から底までの距離をいい、電子顕微鏡にて測定した値を意味する。

20

【0003】

このような深さが深いトレンチ等をシリコン基板に形成する方法として、プラズマ処理室（又は単に「処理室」ともいう）において、シリコン基板のエッチングを行うドライエッチング方法（又はプラズマエッチング方法）が知られている。図 1 に、そのようなドライエッチング方法に用いられるドライエッチング装置（100）の一例の模式図を示す。この装置は、ICP（inductively Coupled Plasma）型エッチング装置であり、真空のエッチングチャンバ（又はエッチング処理室）（110）、エッチングチャンバ内の上部電極（120）及び下部電極（130）、高周波電源（140）及び（150）、ガス導入口（160）及びガス排気口（170）を備える。

30

【0004】

まず、エッチングを行うシリコン基板（200）を、下部電極（130）上に配置する。エッチングチャンバ（100）にエッチングガスを導入し、それをプラズマ化して活性種（イオン及びラジカル等）を生じさせる。シリコン基板（200）上に、所望の形状のマスク（例えば、フォトレジスト及びハードマスク等、図示せず）を配置し、そのマスクの開口部を通して活性種をシリコン基板に入射させて、シリコン基板（200）をエッチングして所望の深さのトレンチ等を形成する。

40

【0005】

図 2 (a) 及び (b) は、トレンチ等の理想的な断面の輪郭又は形状の模式図を示す。

図 2 (a) 及び (b) の各々には、シリコン基板（200）の上にマスク（210）が配置され、マスクの下のシリコン基板内に、トレンチ（220）が形成されている。マスク（210）の開口部から垂直に下方にトレンチ（220）が形成されている。

図 2 (a) に示すトレンチ（220）の断面の輪郭は、長方形と成っており、トレンチ

50

(220)の幅は一定であり、壁には、凹凸がない。

図2(b)に示すトレンチ(220)の断面は、テーパ形状と成っており、トレンチ(220)の幅は下方に向かって一定の割合で狭くなり、壁には、凹凸がない。

【0006】

図3は、現実的なトレンチ等の断面の輪郭又は形状の模式図を示す。図2と同様にシリコン基板(200)の上にマスク(210)が配置され、マスクの下のシリコン基板内に、トレンチ(320)が形成されている。しかし、このトレンチの断面の輪郭は、図2のものとは大きく異なる。マスク(210)の下に、切れ込んでいるエッチング部分(330)がある。これをアンダーカットともいう。更に、アンダーカット(330)の下のトレンチの壁は、弓状にエッチングされている部分(340)がある。これをポーイングともいう。これらの部分を生ずることにより、図3のトレンチの断面の輪郭は、長方形とはならず、マスクの開口部より広い開口部を有し、トレンチの幅がトレンチの深さにより変化し、更に壁に湾曲を有する。このようなトレンチに生じ得るトレンチ形状(又は輪郭)の不規則性は、実際に半導体デバイスを用いる際に、許容できない結果をもたらし得る。

10

【0007】

このようなトレンチの形状の不規則性を、式(I)で定義するサイドエッチング比で規定する。

式I: サイドエッチング比 = (アンダーカット(330) + ポーイング(340)) / 深さ(d)

即ち、サイドエッチング比は、深さに対して側方方向に最大どれくらいエッチングが進行したかを示す指標であるといえる。

20

サイドエッチング比は、理想的には0であるが、トレンチの深さを考慮した全体的な形状から、0.05以下であることが好ましい。

【0008】

現実のトレンチに、このような形状の不規則性を生ずる理由は次のようなメカニズムによると考えられている。プラズマ処理室に導入されたエッチングガスをプラズマ化すると、イオンとラジカルの二種類のプラズマ種が生ずる。これらの生じた活性種のうち、イオンは負バイアスにより加速されてシリコン基板(200)に垂直方向から入射して、シリコン基板(200)の表面に対して垂直方向にエッチングを進行させる、これに対しラジカルは、負バイアスの影響を受けないので、シリコン基板(200)の表面に対して特定の方向性を有さず、ランダムに、即ち、等方的に入射するので、側方方向のエッチングも進行する。従って、マスク(210)の開口部の直下に、アンダーカット(330)やポーイング(340)等のサイドエッチングを生じさせる。

30

【0009】

そこで、トレンチの断面形状を良好に保ちつつ、深いトレンチを形成するエッチング方法が検討されている。

特許文献1は、プラズマエッチングの前及び/又はその間に、 C_4F_8 を用いることにより、トレンチの側壁上にケイ素化合物から成る保護膜を形成することで、良好な形状を有するトレンチを形成する方法を開示する。しかし、この方法は、 C_4F_8 に由来する保護膜の形成によりトレンチの側壁上に凹凸を生じ得る、 C_4F_8 を用いるために、エッチングガスの切り替え時間が必要であり全体としてのエッチング速度が遅い、処理室内壁に保護膜が堆積するので、プラズマの状態を不安定にさせ、シリコン基板の処理枚数の増大に伴いエッチング特性が変動する等の問題がある。

40

【0010】

特許文献2は、 SF_6 と O_2 に比較的高流量のヘリウムを添加したエッチングガスを用いてプラズマを発生させてエッチングする方法であって、垂直方向にエッチングする方法が開示する。しかし、この方法には、エッチング速度が十分でない、又は所定の深さに到達する前にシリコン基板上のマスクが消失し得るという問題点がある。エッチング速度が不十分となるのは、高流量のヘリウムを連続的に供給するので、フラジカルの滞在時間が短くなるからと考えられ、マスクが削れて消失することは、マスクが常にイオンによって

50

攻撃されるからと考えられる。

【0011】

【特許文献1】特表2000-509915号公報

【特許文献2】特願2004-340752明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明は、かかる課題を解決するためになされたもので、その課題は、形状が良好なトレンチを得られない、深さが深いトレンチを得ることができない、トレンチの形成速度が遅いという問題の少なくとも一つが緩和され、好ましくは実質的に解消され、より好ましくは上述の問題の全てが緩和され、特に好ましくは上述の問題の全てが実質的に解消されるドライエッチング方法を提供することである。

10

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明者等は、鋭意検討を重ねた結果、Siから成る被処理体に、エッチングによる前処理を施して、逆テーパ形状の内壁を有する前処理部分を形成した後、その前処理部分にエッチングを行って目的とする部分全体を形成することで、驚くべきことに、形状が良好なトレンチを得られない、深さが深いトレンチを得ることができない、トレンチの形成速度が遅いという問題の少なくとも一つが緩和され、好ましくは実質的に解消され、より好ましくは上述の問題の全てが緩和され、特に好ましくは上述の問題の全てが実質的に解消される触媒を得ることができることを見出して本発明を完成するに至ったものである。

20

【0014】

本発明の一の要旨によれば、新たなドライエッチング方法が提供され、それは、
処理室において、エッチングガスをプラズマ化して、Siから成る被処理体にトレンチを形成する、前記被処理体のドライエッチング方法であって、

(a) Siから成る被処理体と反応し、その反応により生成する反応生成物が、Siから成る被処理体の側壁の保護膜を形成し得る成分を含んで成る第一エッチングガスを用いて、Siから成る被処理体に、エッチングによる前処理を施して、逆テーパ形状の内壁を有する前処理部分を形成する第一エッチング工程であり、

30

Siから成る被処理体周辺に電界を発生させて、第一エッチングガスから発生したプラズマ中のイオンを該被処理体に引き寄せ、イオンが被処理体に衝突するエネルギーによって、エッチングによる被処理体の前処理を施す工程であり、

該前処理部分の深さが、最終的に形成されるトレンチの深さの15%未満となり、

該前処理部分の逆テーパ形状の内壁と被処理体の表面とのなす角が、 $70^\circ < < 90^\circ$ となる、第一エッチング工程、及び

(b) 第一エッチングガスと異なる第二エッチングガスを用いて、該前処理部分に、更にエッチングを行う第二エッチング工程

を含んで成ることを特徴とするドライエッチング方法である。

40

【0022】

本発明の一の態様において、第一エッチング工程において、プラズマ中のイオン密度は、被処理体から10mmの高さで、 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以上であるドライエッチング方法を提供する。

【0027】

本発明のもう一つの態様において、(b)第二エッチング工程は、フッ素化合物及び酸素を含み、場合により希ガスを含んで成る第二エッチングガスを前記処理室に導入して、該前処理部分にエッチングする第二エッチング工程であるドライエッチング方法が提供される。

【0028】

50

本発明の他の態様において、第二エッチングガスに含まれるフッ素化合物は、 SF_6 、 NF_3 、 BF_3 、 PF_5 及び F_2 から選択される少なくとも一種であり、第二エッチングガスに場合により含まれる希ガスは、ヘリウム及びアルゴンから選択される少なくとも一種であるドライエッチング方法が提供される。

【発明の効果】

【0031】

本発明に係るドライエッチング方法は、Siから成る被処理体に、エッチングによる前処理を施して、逆テーパ形状の内壁を有する前処理部分を形成した後、更にその前処理部分にエッチングを行うので、形状が良好なトレンチを得られない、深さが深いトレンチを得ることができない、トレンチの形成速度が遅いという問題の少なくとも一つが緩和され、好ましくは実質的に解消され、より好ましくは上述の問題の全てが緩和され、特に好ましくは上述の問題の全てが実質的に解消される。

10

【0032】

以下、本発明の実施の形態を、添付した図面を参照しながら説明する。

【発明を実施するための形態】

【0033】

本発明の方法は、本発明の方法を実施することができるドライエッチング装置であれば、いずれのドライエッチング装置を用いても実施することができ、使用する装置により特に制限されるものではない。そのようなドライエッチング装置として、先に例示した図1に示すICP型エッチング装置、RIE型エッチング装置、2周波平行平板型エッチング装置等を例示することができる。

20

【0034】

図1のICP型エッチング装置(100)は、上述したようにエッチングチャンバ(110)、エッチングチャンバ内の上部電極(120)及び下部電極(130)、高周波電源(140)及び(150)、ガス導入口(160)及びガス排気口(170)を備える。本発明のドライエッチング方法を実施するために、図1の装置は更に下記の仕様を有することが好ましい。

【0035】

エッチングチャンバ(110)は、被処理体のエッチングが行われる処理室である。その内壁は、例えば、石英、アルミナ、アルマイト加工されたアルミ母材又は酸化イットリウム等の絶縁材料を用いて形成することが好ましい。

30

【0036】

ガス導入口(160)を通して、エッチングチャンバ(110)内に、エッチングガスは供給され、ガス排気口(170)を通して、エッチングチャンバ(110)から、エッチングチャンバ(110)内のガスは排気される。

【0037】

次に、トランジスタ等の半導体装置の製造における工程の一部として、上述のドライエッチング装置を用いる本発明のドライエッチング方法について説明する。発明が不明瞭に成ることを避けるため、半導体装置の他の公知の製造工程については、説明を省略する。

【0038】

初めに、第一エッチングガスを用いて、Siから成る被処理体に、エッチングによる前処理を施して、逆テーパ形状の内壁を有する前処理部分を形成する第一エッチング工程について説明するが、その前に、逆テーパ形状について、説明する。

40

【0039】

図4は、内壁が逆テーパ形状にエッチングされたシリコン基板の模式図を示す。シリコン基板(200)の上のマスク(210)の開口部からエッチングされたトレンチの幅が、下に進むにつれて広がっている。図4は、説明するために、相当逆テーパを強調して記載しているが、実際は、必ずしもこれほど極端な逆テーパにする必要はない。

第一エッチング工程で形成する逆テーパを形成した前処理部分の深さ(di: depth of an inversed tapered portion、図4参照)は、最終的に形成する目的とするエッチン

50

グ部分の全体、即ちトレンチ全体の深さ（例えば、図2（a）、2（b）及び3に記載のdを参照）を基準として、種々選択することができる。逆テーパ形状に形成される前処理部分の深さ（ d_i ）は、目的とするエッチングにより形成される部分全体の深さ（ d ）の15%未満であることが好ましく、10%未満であることがより好ましく、5%未満であることが特に好ましい。尚、 d_i は、 d の0%ではないが、2%以上であることが好ましい。

必要であれば、本発明の方法を用いてトレンチ等の全体を形成後、逆テーパ形状の部分を、全面エッチングやCMP等の方法を用いて、取り除くことができる。

【0040】

また、逆テーパを形成した内壁の傾斜は、シリコン基板表面と内壁のなす角を θ とすると、 $70^\circ < \theta < 90^\circ$ であることが好ましく、 $70^\circ < \theta < 85^\circ$ であることがより好ましく、 $70^\circ < \theta < 80^\circ$ であることが特に好ましい。

$\theta = 90^\circ$ 又は $\theta > 90^\circ$ の場合、内壁の傾斜は 90° 以上なので、逆テーパを形成していない。

上記 θ は、電子顕微鏡によりトレンチ形状を観察することで直接測定してもよいが、逆テーパを形成することで壁面が後退した距離を（ w_i 、図4参照）とすると、 $\tan(90 - \theta) = d_i / w_i$ であるから、電子顕微鏡によりトレンチ形状を観察することで得られる d_i と w_i から算出してもよい。

【0041】

第一エッチング工程を開始する前に、まず、下部電極（130）上に、Siから成る被処理体を配置する。

Siから成る被処理体は、通常、Siから成る被処理体として、ドライエッチングに供されているものであれば、特に制限されるものではない。そのようなSiから成る被着体として、例えば、シリコン基板等を例示することができる。

【0042】

次に、エッチングチャンバ（110）内を一定の圧力に保ちながら、ガス導入口（160）を介して、第一エッチングガスをエッチングチャンバ（110）内に導入し、ガス排気口（170）から排気する。

次に高周波電源（140）及び（150）から、各々上部電極（120）及び下部電極（130）に、高周波電力を供給して、第一エッチングガスをプラズマ化させる。例えば、第一エッチングガスがフッ素化合物を含む場合、 F^+ イオン、 F^- イオン、Fラジカル等のプラズマ中の活性種は、Siから成る被処理体、例えばシリコン基板のシリコンと反応して、 SiF_4 、 SiO_2 等の反応生成物を生成し、シリコン基板をエッチングして、トレンチを形成する。被処理体が、シリコン基板であることを考慮すると、下部電極（130）に加えられるRFパワーは、低くすることが好ましい。

【0043】

第一エッチングガスの組成、流量、エッチングチャンバ内部圧力、高周波電源の電力、周波数、上部電極と下部電極の間の距離等のエッチング条件は、目的とする逆テーパ形状を得ることができる条件であればよく、特に限定されるものではない。

【0044】

但し、第一エッチングガスは、Siから成る被処理体と反応し、その反応により生成する反応生成物が、Siから成る被処理体の側壁の保護膜を形成し得る成分を含んで成ることが好ましい。

第一エッチングガスは、フッ素化合物及び酸素を含んで成り、場合により希ガスを含み得るものが好ましい。

上述の第一エッチングガスに含まれるフッ素化合物は、 SF_6 、 NF_3 、 BF_3 、 PF_5 及び F_2 から選択される少なくとも一種であり、第一エッチングガスに場合により含まれ得る希ガスは、ヘリウム及びアルゴンから選択される少なくとも一種であることがより好ましい。

フッ素化合物は、 SF_6 であり、希ガスはヘリウムであることが特に好ましい。

10

20

30

40

50

【0045】

第一エッチングガスに含まれるフッ素化合物の流量と酸素の流量の比（フッ素化合物 / 酸素）は、 $1/1 \sim 4/1$ であることが好ましく、 $1/1 \sim 3/1$ であることがより好ましく、 $1/1 \sim 2/1$ であることが特に好ましい。

第一エッチングガスに含まれるフッ素化合物の流量は、 $50 \sim 900 \text{ sccm}$ であることが好ましく、 $50 \sim 300 \text{ sccm}$ であることがより好ましく、 $50 \sim 150 \text{ sccm}$ であることが特に好ましい。

第一エッチングガスに含まれる酸素の流量は、 $25 \sim 450 \text{ sccm}$ であることが好ましく、 $25 \sim 150 \text{ sccm}$ であることがより好ましく、 $25 \sim 75 \text{ sccm}$ であることが特に好ましい。

10

【0046】

第一エッチングガスに含まれる希ガスの流量は、第一エッチングガスの総流量の $50 \sim 95\%$ であることが好ましく、 $65 \sim 90\%$ であることがより好ましく、 $80 \sim 90\%$ であることが特に好ましい。

第一エッチングガスに含まれる希ガスの流量は、 2000 sccm 以下であることが好ましく、 $500 \sim 1500 \text{ sccm}$ であることがより好ましく、 $800 \sim 1000 \text{ sccm}$ であることが特に好ましい。

【0047】

逆テーパ形状を有する前処理部分を形成するために、Siから成る被処理体周辺に電界を発生させて、第一エッチングガスから発生したプラズマ中のイオンを該被処理体に引き寄せ、イオンが被処理体に衝突するエネルギーによって、エッチングによる被処理体の前処理を行うことが好ましい。より具体的には、プラズマ処理室の下部電極に電界を加えて上記処理を行うことが好ましい。それによって、被処理体に形成される逆テーパ形状を有する前処理部分の内壁の保護を行うことが好ましい。

20

【0048】

被処理体周辺に電界を発生させるイオンエネルギー源として、RFジェネレーターを例示できる。

更に、イオンエネルギー源としての上記RFジェネレーターに投入するRF電力は、 $30 \sim 200 \text{ W}$ であることが好ましく、 $30 \sim 120 \text{ W}$ であることがより好ましく、 $40 \sim 60 \text{ W}$ であることが特に好ましい。

30

【0049】

また、逆テーパ形状を有する前処理部分を形成するために、第一エッチング工程において、プラズマ中のイオン密度は、被処理体から 10 mm の高さで、 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが好ましい。

ここで、プラズマ中のイオン密度は、ラングミュアプローブ法で測定した値をいい、 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが好ましく、 $2 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以上で有ることがより好ましく、 $4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以上であることが特に好ましい。

【0050】

目的とするドライエッチングが可能であれば、いずれの方式を用いて第一エッチングガスからプラズマを発生させてもよい。そのような方式として、例えば、ICP方式、RIE方式、マグネトロンRIE方式、二周波RIE方式、ECR方式、マイクロ波励起方式等を例示することができるが、ICP方式が好ましい。

40

【0051】

プラズマを発生させるプラズマ生成源として、RFジェネレーターが好ましい。

【0052】

被処理体から 10 mm の高さにてプラズマのイオン密度が $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以上とするためには、プラズマ発生源としてRFジェネレーターを用いる場合、RFジェネレーターの電力は、 2000 W 以上であることが好ましい。

この場合、プラズマ発生部（例えば、RFジェネレーター）と、被処理体との間の距離は、 150 mm 以下であることが好ましく、 $100 \sim 150 \text{ mm}$ であることが特に好まし

50

い。

【0053】

また、上記第一エッチング工程において、被処理体から10mmの高さにてプラズマのイオン密度が $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ 以上とするには、プラズマ発生部（例えば、RFジェネレーター）と、被処理体との間の距離は、50mm以下であることが好ましく、20～50mmであることがより好ましく、20～30mmであることが特に好ましい。

この場合、プラズマ発生源としてのRFジェネレーターの電力は、500W以上3000W未満であることが好ましく、500W以上2500W未満であることがより好ましく、500以上2000W未満であることが特に好ましい。

【0054】

前記第一エッチング工程において、処理室内の圧力は、30Pa以下であることが好ましく、10～30Paであることがより好ましく、25～30Paであることが特に好ましい。

【0055】

第一エッチングガスを用いる第一エッチング工程は、逆テーパ形状の内壁を有する前処理部分を得られるまで、所望の時間行う。例えば、0.5～3分間行うことが好ましく、0.5～2分間行うことがより好ましく、0.5～1分間行うことが特に好ましい。

【0056】

第一エッチングガスを用いる第一エッチング工程が終了したら、エッチングチャンバ(110)内を一定の圧力に保ちながら、ガス導入口(160)を介して、第二エッチングガスをエッチングチャンバ(110)内に導入し、ガス排気口(170)から排気して、第二エッチング工程を行う。

【0057】

第二エッチング工程は、本発明が目的とする形状が良好なトレンチを得ることができるならば、特に制限されるものではないが、第二エッチング工程として、下記のを例示することができる。

【0058】

第二エッチング工程は、フッ素化合物及び酸素を含み及び場合により希ガスを含んで成る第二エッチングガスを前記処理室に導入して、前記被処理体の前処理部分をエッチングすることで行うことが好ましい。

第二エッチングガスに含まれるフッ素化合物は、 SF_6 、 NF_3 、 BF_3 、 PF_5 及び F_2 から選択される少なくとも一種であり、第二エッチングガスに場合により含まれる希ガスは、ヘリウム及びアルゴンから選択される少なくとも一種であることが好ましい。

第二エッチングガスのフッ素化合物は、 SF_6 であることが特に好ましく、希ガスはヘリウムであることが特に好ましいが、希ガスは含まれていないことも特に好ましい。

【0059】

第二エッチングガスに含まれるフッ素化合物の流量と酸素の流量の比（フッ素化合物/酸素）は、 $1/1 \sim 4/1$ であることが好ましく、 $3/1 \sim 4/1$ であることがより好ましく、 $2/1 \sim 4/1$ であることが特に好ましい。

第二エッチングガスに含まれるフッ素化合物の流量は、50～900sccmであることが好ましく、100～300sccmであることがより好ましく、150～250sccmであることが特に好ましい。

第二エッチングガスに含まれる酸素の流量は、50～450sccmであることが好ましく、50～250sccmであることがより好ましく、50～150sccmであることが特に好ましい。

エッチングチャンバ(110)内の圧力は、10～50Paであることが好ましく、25～50Paであることがより好ましく、30～50Paであることが特に好ましい。

【0060】

第二エッチングガスも第一エッチングガスと同様にプラズマ化する。

高周波電源(140)が、上部電極(120)に供給する高周波電力（プラズマ生成用

10

20

30

40

50

)の周波数は、2～60MHzであることが好ましく、13.56MHzであることが特に好ましい。高周波電源(140)が供給する高周波電力の出力は、300～3000Wであることが好ましく、1000～2500Wであることがより好ましく、1000～2200Wであることが特に好ましい。

高周波電源(150)が、下部電極(130)に供給する高周波電力(イオンエネルギー用)の周波数は、0.5～60MHzであることが好ましく、0.5～13.56MHzであることがより好ましく、13.56MHzであることが特に好ましい。

高周波電源(150)が供給する高周波電力の出力は、50～500Wであることが好ましく、75～200Wであることがより好ましく、100～150Wであることが特に好ましい。

10

上部電極(120)と下部電極(130)との間の距離は、150mm以下であることが好ましく、100～150mmであることが特に好ましい。

【0061】

第二エッチングガスを用いるエッチング工程は、所望の時間行う。例えば、5～30分間行うことが好ましく、5～20分間行うことがより好ましく、5～12分間行うことが特に好ましい。

【0062】

尚、第一エッチング工程から第二エッチング工程に切り替えるために、上部電極(120)及び下部電極(130)に加えられる電力の出力(例えばRFパワー)を、両方ともONのまま、片方のみONのまま、両方ともOFFにして、第一エッチングガスの第二エッチングガスの切り替え等のエッチング条件の変更を行うことで、第一エッチング工程から第二エッチング工程に切り替えることができる。上部電極(120)及び下部電極(130)に加えられる電力の出力をONのまま、片方のみONのまま、及び両方ともOFFにして第一工程から第二工程に切り替えることは、適宜選択することができるが、両方の電力の出力をONにしたままで、第一エッチング工程から第二エッチング工程に切り替えること、即ち第一エッチングガスから第二エッチングガスへの切り替え等のエッチング条件の変更を行うことが好ましい。

20

【0063】

以上説明したように、第一エッチング工程と第二エッチング工程を含んで成る本発明のドライエッチング方法を用いることで、Siから成る被処理体、例えばシリコン基板に、良好な輪郭又は形状を有するトレンチ及びビアホール等を形成することができる。

30

【0064】

得られるトレンチ等のサイドエッチング比は、好ましくは0より大きく0.05以下であり、より好ましくは0より大きく0.04以下であり、特に好ましくは0より大きく0.03以下である。

得られるトレンチ等の深さは、好ましくは50～400μmであり、より好ましくは50～300μmであり、特に好ましくは50～220μmである。

使用するマスクの開口部の直径は、好ましくは10～100μmであり、より好ましくは20～80μmであり、特に好ましくは30～50μmである。

本発明のドライエッチング方法は、そのようなトレンチ等を、全体として好ましくは5～20μm/分のエッチング速度で、より好ましくは10～20μm/分のエッチング速度で、特に好ましくは13～20μm/分のエッチング速度で、例えばシリコン基板に形成することができる。

40

【0065】

以上説明したように、本発明に係るドライエッチング方法は、深さが、深く、良好な輪郭を有するトレンチ等を、より速いエッチング速度で形成することができるという、トレンチ形状とエッチング速度のバランスに優れたエッチング方法である。

【0066】

本発明は、上述した特徴を有し優れた効果を奏するものであるが、その理由については、下記のように考えられる。但し、下記の理由により、本発明は、何ら制限されるもので

50

はない。

本発明者等は、種々の検討から、エッチングガスには、シリコンから成る被処理体と反応して、トレンチ等の側壁を保護し得る成分となる反応生成物を生成するものがあることに注目した。

逆テーパを形成すると、第二エッチング工程において側壁保護成分と成り得る反応生成物が、トレンチ等の底からトレンチの開口部に出て行く場合、側壁に捕らえられやすく、側壁により厚い保護膜を継続して形成し得ると考えられる。これに対し、逆テーパが形成されていない場合、反応生成物はトレンチの底から出て行く場合、底から開口部へ向けてトレンチの幅は広くなる一方なので、トレンチ内からより排出されやすく、側壁保護膜も薄くなると考えられる。

10

更に逆テーパを形成すると、開口部から入射するイオンは、側壁に当たりにくい、逆テーパを形成していない場合、開口部から入射するイオンは、側壁に当たりやすいと考えられる。

従って、逆テーパを形成している場合、より側壁に厚い保護膜ができるが、開口部から入射するイオンは、より側壁に当たりにくく、逆テーパを形成していない場合、側壁の保護膜はより薄く、開口部から入射するイオンは、より側壁に当たりやすいと考えられる。その結果、本発明は、深さが、深く、良好な輪郭を有するトレンチ等を、より速いエッチング速度で形成することができるという、トレンチ形状とエッチング速度のバランスに優れるという効果を奏すると考えられる。

20

【実施例】

【0067】

本発明を、例を用いて更に詳細に説明する。

実施例 1

第一エッチングガスとして、 $SF_6 / O_2 / He = 120 / 60 / 820$ s c c mを用いた。

第二エッチングガスとして、 $SF_6 / O_2 = 200 / 100$ s c c mを用いた。

被処理体として、直径 $50 \mu m$ の開口を有するマスクを形成したシリコン基板を用いた。

第一エッチング工程は、系の全圧を $25 Pa$ として、上部電極 $3000 W$ 、下部電極 $5 W$ 、上部電極と下部電極の電極間距離 $122 mm$ 、下部電極温度 15 で、1分間行った。このとき、シリコン基板から $10 mm$ の高さのプラズマイオン密度は、ラングミュアプローブ法で測定し、 $2 \times 10^{11} cm^{-3}$ であった。

30

これにより、約 $7.5 \mu m$ の深さ（トレンチの全深さの 5% ）までエッチングした。

$= 78^\circ$ である逆テーパ形状を得た。

第二エッチング工程は、系の全圧を $40 Pa$ として、上部電極 $1500 W$ 、下部電極 $100 W$ で、上部電極と下部電極の電極間距離 $122 mm$ で、5分間行った。

尚、第1工程～第2工程の間の切り替えの際、上部電極及び下部電極に加える電力を OFF にしないで（即ち、両方とも ON のままで）、第一エッチング条件から第二エッチング条件に変更した。

深さ = $148 \mu m$ 、サイドエッチング比 = 0.011 のトレンチを、全体としてエッチング速度 = $18.4 \mu m / 分$ で、形成することができた。

40

上述の実施例 1 に記載の方法で形成されたトレンチの模式図を図 5 に示した。尚、図 5 のトレンチの開口部に逆テーパ形状が認められる。

【0068】

実施例 2

第一エッチングガスとして、 $SF_6 / O_2 / He = 60 / 40 / 900$ s c c mを用いた。

第二エッチングガスとして、 $SF_6 / O_2 = 200 / 100$ s c c mを用いた。

被処理体として、直径 $50 \mu m$ の開口を有するマスクを形成したシリコン基板を用いた。

50

第一エッチング工程は、系の全圧を30 Paとして、上部電極1500 W、下部電極500 W、上部電極と下部電極の電極間距離20 mm、下部電極温度15 °Cで、30秒間行った。このとき、シリコン基板から10 mmの高さのプラズマイオン密度は、ラングミュアプローブ法で測定し、 $4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ であった。

これにより、約20 μmの深さ(トレンチの全深さの10%)までエッチングした。
= 74°である逆テーパ形状を得た。

第二エッチング工程は、系の全圧を50 Paとして、上部電極2200 W、下部電極1000 Wで、上部電極と下部電極の電極間距離122 mm、12分間行った。

尚、第1工程～第2工程の間の切り替えの際、上部電極及び下部電極に加える電力をOFFにしないで(即ち、両方ともONのまま)、第一エッチング条件から第二エッチング条件に変更した。

深さ=202 μm、サイドエッチング比=0.029のトレンチを、エッチング速度=14.3 μm/分で、形成することができた。

【0069】

比較例1

エッチングガスとして、 $\text{SF}_6 / \text{O}_2 = 200 / 100 \text{ sccm}$ を用いた。

被処理体として、直径50 μmの開口を有するマスクを形成したシリコン基板を用いた。

エッチング工程は、系の全圧を40 Paとして、上部電極1500 W、下部電極1000 W、上部電極と下部電極の電極間距離122 mm、下部電極温度15 °Cで、連続して7.5分間行った。

深さ=155 μm、サイドエッチング比=0.081のトレンチを、エッチング速度=18.6 μm/分で、形成することができた。

上述の比較例1に記載の方法で形成されたトレンチの模式図を図6に示した。

比較例1の方法は、実施例1の第二エッチング工程のみを実質的に行ったものである。図5と図6を比較することで、逆テーパ形状の前処理部を形成後エッチングすると、形状の良好なトレンチを形成することができることがわかった。

【0070】

比較例2

エッチングガスとして、 $\text{SF}_6 / \text{O}_2 / \text{He} = 60 / 40 / 900 \text{ sccm}$ を用いた。

被処理体として、直径50 μmの開口を有するマスクを形成したシリコン基板を用いた。

エッチング工程は、系の全圧を30 Paとして、上部電極1500 W、下部電極1000 W、上部電極と下部電極の電極間距離122 mm、下部電極温度15 °Cで、連続して7.5分間行った。

サイドエッチング比=0.025のトレンチを、エッチング速度=5.2 μm/分で、形成することができたが、マスクの消失速度が大きく、深さが85 μmまでしか到達できなかった。

【図面の簡単な説明】

【0071】

【図1】図1は、本発明を実施する装置の一例の模式図を示す。

【図2(a)】図2(a)は、シリコン基板に形成される理想的なトレンチの断面の模式図であって、トレンチの断面が長方形の場合を示す。

【図2(b)】図2(b)は、シリコン基板に形成される理想的なトレンチの断面の模式図であって、トレンチの断面がテーパ形状の場合を示す。

【図3】図3は、シリコン基板に形成される、サイドエッチングを有する現実的なトレンチの断面の模式図を示す。

【図4】図4は、内壁が逆テーパ形状にエッチングされたシリコン基板の模式図を示す。

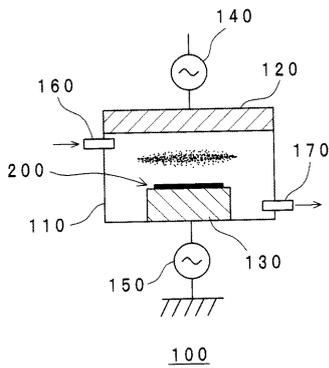
【図5】図5は、実施例1に記載の方法で形成されたトレンチの模式図を示す。

【図6】図6は、比較例1に記載の方法で形成されたトレンチの模式図を示す。

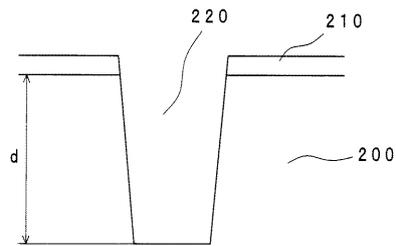
【0072】

- 100 ドライエッチング装置
- 110 エッチングチャンバ
- 120 上部電極
- 130 下部電極
- 140 高周波電源
- 150 高周波電源
- 160 ガス導入口
- 170 ガス排出口
- 200 シリコン基板
- 210 マスク
- 220 トレンチ
- 320 トレンチ
- 330 アンダーカット
- 340 ボーイング

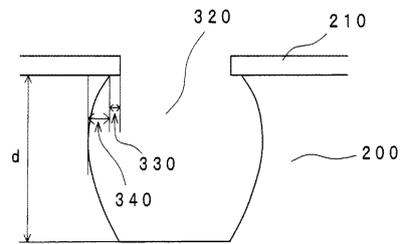
【図1】



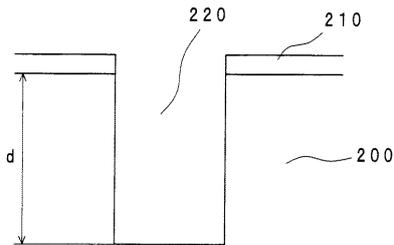
【図2(b)】



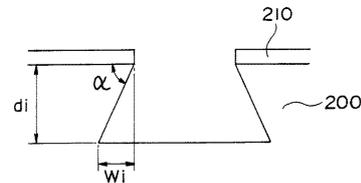
【図3】



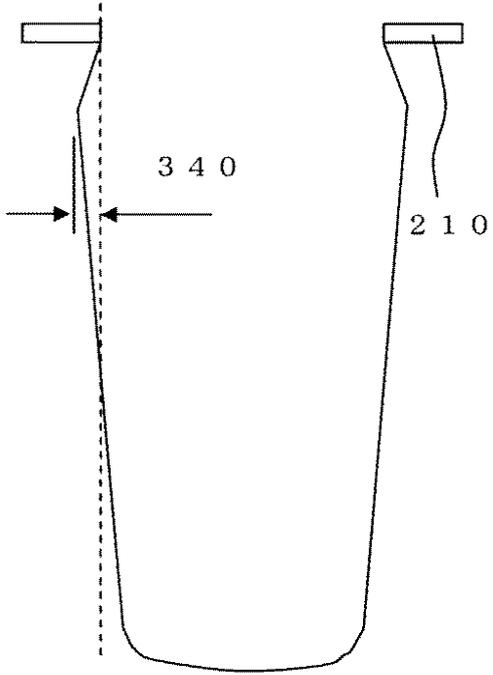
【図2(a)】



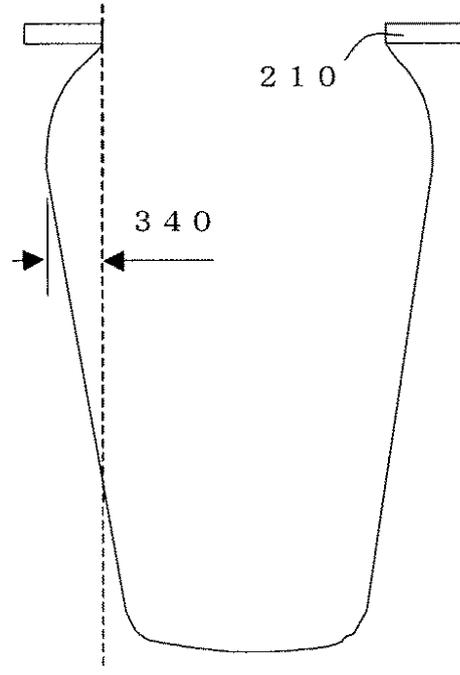
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭62-145733(JP,A)
特表2002-542623(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/3065