

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4602545号  
(P4602545)

(45) 発行日 平成22年12月22日(2010.12.22)

(24) 登録日 平成22年10月8日(2010.10.8)

(51) Int.Cl.	F I
H O 1 J 37/32 (2006.01)	H O 1 J 37/32
C 2 3 C 14/40 (2006.01)	C 2 3 C 14/40
H O 1 L 21/205 (2006.01)	H O 1 L 21/205
H O 1 L 21/302 (2006.01)	H O 1 L 21/302

請求項の数 9 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2000-512233 (P2000-512233)	(73) 特許権者	390040660
(86) (22) 出願日	平成10年8月17日 (1998.8.17)		アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2001-516948 (P2001-516948A)		APPLIED MATERIALS, INCORPORATED
(43) 公表日	平成13年10月2日 (2001.10.2)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050
(86) 国際出願番号	PCT/US1998/017042		
(87) 国際公開番号	W01999/014788	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開日	平成11年3月25日 (1999.3.25)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成17年7月27日 (2005.7.27)	(74) 代理人	100094318
(31) 優先権主張番号	08/931,864		弁理士 山田 行一
(32) 優先日	平成9年9月16日 (1997.9.16)	(74) 代理人	100094008
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 沖本 一暁

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマチャンバの半導体ワークピース用シュラウド

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ワークピースのプラズマエッチングの為にチャンバ内で使用されるワークピース用シュラウドにおいて、前記チャンバは、ワークピースに面する上面を有するカソード電極と、カソード電極の前記上面の径方向外側部分を覆う環状誘電シールドとを含む、ワークピース用シュラウドであって、

最下面が前記環状誘電シールドの第1上面で位置決めされるように適合された非誘電環状下部シュラウドと、

前記環状誘電シールドの前記第1上面の外側に向かって径方向に延びる前記誘電シールドの第2上面で位置決めされるように適合された非誘電環状上部シュラウドとを備え、

前記非誘電環状上部シュラウドは、前記非誘電環状下部シュラウドの上面の外側部分を覆うと共に、前記非誘電環状下部シュラウドの前記上面の内側部分を覆わない、ワークピース用シュラウド。

【請求項 2】

前記非誘電環状上部シュラウドは、前記非誘電環状下部シュラウドの最上面より高いところにある、請求項1記載のワークピース用シュラウド。

【請求項 3】

前記非誘電環状上部シュラウドの上面は、前記非誘電環状下部シュラウドの最上面に対し鈍角で向けられた、内方に面して径方向に延びる部分を含む、請求項1または2記載のワークピース用シュラウド。

10

20

## 【請求項 4】

前記環状誘電シールドは、前記第 1 上面及び前記第 2 上面の外側に向かって径方向に延びる外側環状部分を更に備え、

前記環状誘電シールドの前記外側環状部分は、前記非誘電環状下部シュラウド及び前記非誘電環状上部シュラウドにより覆われていない、請求項 1 に記載のワークピース用シュラウド。

## 【請求項 5】

前記環状誘電シールドの前記外側環状部分の上方に面する全表面は、前記非誘電環状下部シュラウドの最上面より高いところにある、請求項 4 に記載のワークピース用シュラウド。

10

## 【請求項 6】

前記非誘電環状上部シュラウドの最上面は平面である、請求項 1 ～ 5 のいずれか一項に記載のワークピース用シュラウド。

## 【請求項 7】

ワークピースのプラズマ増強型エッチングの為にチャンバ内で使用されるワークピース用シュラウドであって、

非誘電環状シュラウドと、

前記非誘電環状シュラウドの最外径より大きい最内径を有する環状誘電シールドとを備え、

前記環状誘電シールドの全体は、前記非誘電環状シュラウドの周囲の外側にあり、

20

前記環状誘電シールドの最上面は、前記非誘電環状シュラウドの最上面より高いところにあり、

前記非誘電環状シュラウドの最上面は平面である、ワークピース用シュラウド。

## 【請求項 8】

前記環状誘電シールドの上面は、前記非誘電環状シュラウドの最上面に対し鈍角で向けられた、内方に面して径方向に延びる部分を含む、請求項 7 に記載のワークピース用シュラウド。

## 【請求項 9】

各非誘電環状シュラウドは、シリコンで構成される、請求項 1 ～ 8 のいずれか一項に記載のワークピース用シュラウド。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

(関連出願に対する説明)

本特許出願は、「Apparatus for Improving Wafer and Chuck Edge Protection (ウェーハ及びチャックエッジ保護を改善する装置)」と称するBryan Pu et alによって1996年11月29日出願の出願番号SN 08/758,531の一部継続出願であり、且つ「Magnetically-Enhanced Plasma Chamber with Non-Uniform Magnetic Field (不平等磁界を有する磁氣的強化プラズマチャンバ)」と称するHongching Shan et alによって1997年1月2日出願の出願番号SN 08/735,444の一部継続出願である。

## 【0002】

40

(発明の分野)

本発明は、一般に、半導体ワークピースがプラズマチャンバに取り付けられる電極に関する。特に、本発明は、チャンバで行われる半導体製造プロセスの空間均一性を改善することが可能であるワークピースを取り囲むカラー又はリングに関する。

## 【0003】

(発明の背景)

プラズマ援用エッチング又は化学堆積などの様々な半導体製造プロセスは、半導体ワークピース 20 が、メタル電極 22 に取り付けられるプラズマチャンバで行われる (図 1 及び図 2 参照)。ワークピース 20 が、円形半導体ウェーハであるとき、電極 22 は、一般に、ウェーハが位置を占める円形上面を有する。一般に、プロセス試薬ガスの混合物は、チ

50

チャンバに供給され、ポンプは、チャンバ内に真空を維持する。電源は、プロセスガス混合物をプラズマ状態に励起する。一般に、高周波（RF）電源24は、プラズマ本体に対して負バイアス電圧を電極に生成するように容量性に電極22に結合される。バイアス電圧は、所望の製造プロセスを促進するようにワークピースに衝撃を与えるためにイオンを誘引する。それが陰電気を帯びてバイアスをかけられるので、電極22は、陰極電極又は陰極と呼ばれることが多い。

#### 【0004】

プラズマプロセスチャンバを設計する1つの目的は、チャンバで行われるプラズマ強化プロセスの反応速度を最大化することである。プロセス速度は、プラズマからワークピースよりむしろ陰極の陰極衝撃露呈部分にイオン束のあらゆる部分にまで好ましくなく減速される。結果的に、ワークピース20の方にRF電流の流れを集束するために、従来は、プラズマと陰極の側との間のRF電流の流れに高い電気インピーダンスを与えるのに十分厚い誘電側シールド28で陰極22の側をカバーしていた。

10

#### 【0005】

従来の多くのプラズマチャンバにおいて、陰極22は、ワークピースより実質的に大きい直径を有している。プラズマとワークピースの周辺外側の陰極の部分との間にRF電流の流れを保護するために、陰極のその部分は、従来、誘電上部シールド又はカラー30によってカバーされていた。側部シールド28のように、上部シールド30は、十分に厚く、その電気インピーダンスは、プラズマとワークピースの周辺の外側の陰極の部分との間のRF電流の流れをごくわずかなレベルに減少する。

20

#### 【0006】

従来の誘電シールド28、30についての1つの問題は、プロセスの化学現象により、上部シールド30の露呈表面は、プラズマにある幾つかの化学種に腐食されることがあるので、上部シールドは定期的に取り換えられる必要があることである。上部シールド30がないチャンバにおいて、側部シールド28はプラズマに露呈され、同様な腐食問題を欠点として持つ。チャンバが閉鎖される間、製造工程ラインを中止する必要があるので、頻繁に取り換えることは好ましくない。誘電シールドの腐食は、誘電層をエッチングする腐食液種が誘電体カラーをエッチングするので、特に、半導体ワークピースのエッチング誘電層のためのプロセスにとって厳しいものである。

30

#### 【0007】

半導体プロセスプラズマチャンバを設計する他の目的は、ワークピースの表面の製造プロセスの空間均一性を達成することである。例えば、反応イオン、腐食プロセス及び化学堆積プロセスにおいて、プロセス速度（即ち、腐食速度及び堆積速度それぞれに）は、反応種が周辺近くよりもワークピースの中心近くにより減損されるので、周辺よりワークピースの中心が遅い。換言すれば、そのようなプロセスは、半径方向不均一性をこうむる。

#### 【0008】

半径方向の大きさの空間均一性を改善する1つの従来の方法は、時には集束リングと呼ばれる高架円筒形カラー又はシュラウドでワークピースの周辺を取り囲むことである。高架カラーは、少なくとも3つの効果を生じ、その2つは、一般に、ウェーハの周辺近くのプロセス速度を減少する。高架カラー又はシュラウドの1つの効果は、ウェーハ中心近くの空乏により合致するため、ウェーハ周辺近くの反応種の空乏を増加するために、カラーが、カラー外側の反応プロセスガスをウェーハの方に移動しないようにすることである。高架カラーの他の効果は、それがワークピース周辺外側のプラズマシース上方軸方向に変位し、それによって、更にワークピース周辺からプラズマシースを移動し、その結果として、ワークピースの周辺近くの反応種集束を減少する。第3の効果は、高架カラーが、行われる特定のプロセスの化学現象により、ウェーハ周辺近くのプロセス速度を増大するか、或いは減少するか何れかであるウェーハの周辺近くの反応種の常駐時間を増大することである。

40

#### 【0009】

高架カラー又はシュラウドは、上述の効果を達成するために誘電物質である必要はない。

50

しかし、高架カラーが誘電物質を含んでいない場合、それは、更にプラズマからワークピース周辺外側の陰極の部分にイオン束を迂回することを減少する初期に記述した機能を行うことが可能である。図 1 に示す従来の設計において、誘電体カラー 30 は、高架カラーと誘電体シールドとの両方の以前に記述した機能を兼ね合わせるように、ウェーハの表面の上軸方向に延びている。

【0010】

従来の高架カラーは、半導体製造プロセスの空間均一性を改良するが、更に空間均一性の改良が好ましいことも判明した。

【0011】

(発明の概要)

本発明の 1 つの態様は、特に、酸化物腐食プロセスと、誘電物質と高度に反応するプラズマを用いた半導体製造プロセスとに有用である。本発明のこの態様において、プラズマからのイオン衝撃にさらされる陰極電極の部分は、誘電体シールドによってカバーされ、そのシールドは、非誘電物質の保護リングによってカバーされている。この保護リングは、高度に、プロセスガスと反応しない、又はプロセスガスの腐食に耐性のある物質から成る。

【0012】

そのような保護リングは、根本的な誘電体より遅い速度で腐食され、それによって、従来の誘電体シールドの取り換え回数を減少することが可能となる。保護リングは、更に、プロセスガスを有する誘電リングの反応によって放出される反応種が半導体製造プロセスを反対に影響を及ぼさないようにすることが可能である。

【0013】

また、プロセスガスと反応しない代わりに、保護リングは、半導体製造プロセスの性能を反対に影響を及ぼさないように、プロセスガスと反応する物質から構成されることが可能である。

【0014】

シリコンウェーハの酸化物腐食プロセスにおいて、誘電体シールドは、石英であることが好ましく、非反応性保護リングは、シリコンであることが好ましい。

【0015】

本発明の第 2 態様で、誘電体シールドは、軸方向に厚いアウトシールドと、ワークピースの周辺を取り囲む軸方向に薄いインナシールドとを備えている。厚いアウトシールドは、プラズマからアウトシールドによってカバーされている陰極の部分にイオン束を減少するため、比較的高い RF インピーダンスを供給する。薄いインナシールドは、プラズマからワークピースの周辺外側の陰極の部分にイオン束を増進する低い RF インピーダンスを供給する。その結果として、薄いインナシールドは、ワークピースの周辺を超えてプラズマシースを延び、それによって、周辺近くのプラズマシースにおいてあらゆる断絶を減少する。インナシールドの軸方向の厚さは、ワークピースの上のプラズマプロセスの半径方向均一性を最も効果的にするために、経験に基づいて調節されることが好ましい。

【0016】

そのような誘電体シールドの任意の実施形態において、非誘電カラーは、薄いインナシールドの少なくとも 1 部分をカバーし、ワークピースの表面の上軸方向に延びる。それがワークピースの上に延びるので、非誘電カラーは、反応プロセスガスがワークピースの方に移動させないことによって従来の高架カラー又は集束リングのように機能し、カラーが、ワークピース中心近くの空乏により厳密に合致するように、ワークピース周辺近くの反応種の空乏を増大する。しかし、従来の設計とは違って、本発明の実施形態は、インナシールドの厚さと非誘電カラーの高さとをプラズマプロセスの半径方向均一性を最も効果的にするために独立して調整させることが可能である。

【0017】

本発明の第 3 の態様において、非誘電リングは、ワークピースを取り囲み、電氣的に接触する。このような非誘電リングは、ワークピースの周辺近くのプラズマシースにおいて断

10

20

30

40

50

絶を減少するか、或いは回避することによって、半導体製造プロセスの空間均一性を改善することが可能である。

【 0 0 1 8 】

本発明の第 4 の態様において、プロセス性能の方位角不均一性は、ワークピースを取り囲む誘電体シールド及び / 又は高架カラーの大きさの対応する方位角変形によって改善されることが可能である。

【 0 0 1 9 】

本発明の第 5 の態様において、ワークピースの周辺に隣接したプロセスキットの部分の腐食は、ワークピースの表面に対して 1 1 0 ° から 1 4 5 ° の角度で方向付けされる高架部分を有するカラーでワークピースを取り囲むことによって最小とされる。

10

【 0 0 2 0 】

( 好ましい実施形態の詳細な説明 )

1 . 従来のプラズマチャンバ

図 2 は、本発明に使用されることが可能な一般の半導体製造プロセスを示している。図示したチャンバは、エッチング或いは化学堆積 ( C V D ) の何れかに適する磁氣的強化プラズマチャンバである。

【 0 0 2 1 】

真空チャンバは、円筒形側面壁 1 2 と、円形底面壁 1 4 と、円形上面壁又はリド 1 6 とによって囲まれている。電氣的に接地された陽極電極 1 8 は、リド 1 6 の底部に取り付けられている。陽極電極は、プロセスガスがチャンバに入るガス入口として機能するように穴が開けられている。側面壁 1 2 は、誘電性又は金属性である。それが金属性の場合、陽極の部分として機能する。

20

【 0 0 2 2 】

半導体ウェーハ又はワークピース 2 0 は、順番に、チャンバの下方端部に取り付けられる陰極電極 2 2 に取り付けられる。ワークピース 2 0 は、一般に、機械的締め付けリング又は静電チャック ( 図示せず ) などの従来のチャックによって陰極 2 2 の上面に対して締め付けられるか、或いは保持される。図示しない真空ポンプは、排気マニホールド 2 3 を通してチャンバからガスを排気し、エッチング及び C V D プロセスそれぞれに典型的である高低の範囲を有する、一般的に、 1 0 ミリトールから 2 0 トールの範囲でのプラズマの作成を促進するのに十分低いレベルでチャンバの全ガス圧を維持する。

30

【 0 0 2 3 】

高周波 ( R F ) 電源 2 4 は、直列結合コンデンサ 2 6 を介して陰極電極 2 2 に接続される。 R F 給電は、チャンバ内のガスをプラズマ状態に励磁する陰極電極と接地された陽極電極 1 8 との間に R F 電圧を供給する。プラズマ本体は、陰極と陽極電極とに衝撃を与えるためにイオン化プロセスガス構成要素を促進する陰極と陽極とに対してタイム平均陽極 D C ポテンシャル又は電圧を有している。

【 0 0 2 4 】

ウェーハ 2 0 の表面の反応種及び荷電粒子の集束を最大化するために、それによって、チャンバで行われるプラズマ強化プロセスの反応速度を最大化するために、プラズマと陰極電極 2 2 との間の R F 電流の流れはできる限り多く、陰極の前部表面にウェーハ 2 0 によって占められる領域に集束されるべきである。そのために、ウェーハによってカバーされていない陰極のすべての前部と側部表面は、従来、薄い誘電体でカバーされている。図 2 は、誘電シリンダ 2 8 が、陰極の側部表面をカバーし、誘電体シールド 3 0 が、ウェーハ 2 0 の周辺外側にある陰極の上面に置かれ、且つカバーする。( 図 2 に示される誘電体シールド 3 0 及び保護リング 5 0 は従来のものでないが、以下に記述する本発明の実施形態のものである。 )

40

2 . 誘電体シールドの腐食を保護する保護リング

図 2 及び図 3 は、誘電体シールド 3 0 の半径方向インナ部分 3 8 の上に広がる、即ち、ウェーハ 2 0 の周辺に密接する誘電体の上に広がる保護リング又は耐腐食リング 5 0 を示している。

50

## 【 0 0 2 5 】

誘電体シールド又はカラー 30、及び保護リング 50 は、これら 2 つのコンポーネントの何れかが、顕著に腐食されたとき、定期的に取り換えられる必要がある「プロセスキット」を共に構成する。連続するウェーハがチャンバで処理されるとき、プロセスキットは徐々に腐食する。プロセスキットのコンポーネントの大きさは、プラズマ密度と、ウェーハの端部近くのプロセスガスの分配とに影響を及ぼすので、連続的な腐食は、チャンバで行われる半導体製造プロセスの特性を変える。そのため、プロセスの一貫性及び均一性を維持するには、一般に、これらのコンポーネントがかなり腐食された場合、取り換える必要がある。

## 【 0 0 2 6 】

保護リング（図 1 を参照）のない従来の誘電体シールド 30 において、通常ウェーハ 20 の周辺外側の誘電体の露呈表面 104 は、最も早く腐食する誘電体シールドの部分である。薄い誘電体 30 により、プラズマがウェーハの周辺を超えてかなり延びることを防止し、それによって、腐食の一因となるイオンの束を減少するので、腐食の問題は、ウェーハ周辺から徐々に外側の点に減少される。

## 【 0 0 2 7 】

プラズマチャンバで行われるプロセスの化学現象により、耐腐食保護リング 50 を有する誘電体シールドの露呈インナ表面 104 をカバーすることは、画期的に腐食を減少し、プロセスキットの寿命を延ばすことが可能である。

## 【 0 0 2 8 】

図 3 の実施形態のインナ誘電体シールド 38 は、図 1 の従来の設計より軸方向に薄く、半径方向に広い。これは、下記で十分に説明される本発明の別の態様である。簡単に、インナシールド 38 は、陰極 22 とプラズマ 40 との間に特定量の RF パワーを、インナシールドを介して結合するために薄く、それによって、ワークピース 20 の周辺を超えて外側半径方向にプラズマを延長する。図 4 は、図 3 の実施形態におけるよりもインナシールド 38 が半径方向に広く、それによって、更に外側半径方向にプラズマを延長する別の実施形態を示している。両実施形態において、インナ誘電体シールド 38 は、薄く、陰極とプラズマとの間のかなりの RF パワーを結合するのに十分であるので、プラズマからインナ誘電体シールドの方に、インナ誘電体シールドの露呈部分の腐食を促進するたくさんのイオン束がある。このような腐食を防止するために、保護リング 50 が、誘電体シールド 30 の薄いインナ部分 38 の露呈上部全表面をカバーすべきである。

## 【 0 0 2 9 】

耐腐食リング 50 は、チャンバで行われる特定のプラズマ強化プロセスの周囲環境のインナシールド 38 の誘電物質よりも腐食に耐える物質から構成される。インナ誘電体シールド 38 が、プロセスガスにより腐食されやすい場合、そのときには、実質的に耐腐食性の物質の最良のものは、金属又は半導体などの非誘電体物質が好ましい。

## 【 0 0 3 0 】

ワークピース 20 の誘電層をエッチングするプラズマ強化プロセスにおいて、ワークピースの誘電体を腐食するプロセスガス成分は、誘電体シールド 30 を腐食するようである。例えば、薄いインナ部分 38 を含む誘電体シールド 30 は、1 枚の石英としての条件を満たすことが好ましい。石英は、プロセスチャンバに汚染物質を放出するのを回避するのに重要である非常に低い不純物濃度で使用可能であるので都合がよい。しかし、腐食されるか鉱物の誘電層が、二酸化ケイ素である場合、そのときには、それは、化学的に石英と同一であり、腐食プロセスは、石英シールド 30 を腐食する。結果的に、二酸化ケイ素腐食チャンバにおいて、保護リング 50 は、腐食からプロセスキットを保護するのに非常に好都合である。

## 【 0 0 3 1 】

二酸化ケイ素腐食チャンバにおいて、保護リング 50 は、純シリコンで構成されることが好ましい。シリコンは、酸化物腐食プロセスに一般に使用される反応種による腐食に耐性であるので、またそれは、チャンバに汚染物質を放出するのを回避するように、非常に低

10

20

30

40

50

い不純物濃度を有する形状で使用可能であるので、好都合である。単一の結晶シリコンは、高純度で使用できるので、好ましい。

【0032】

シリコンウェーハに二酸化ケイ素をエッチングする標準プロセスを用いる本テストにおいて、シリコン保護リング50は、石英の腐食速度より少なくとも10倍遅い速度で腐食される。シリコン保護リングが、腐食のため顕著な凹状表面になり始めるとき、誘電体シールド30を取り換えることなく、シリコンリングは、簡単に取り換えられることが可能である。更に、シリコンリングの有効寿命は、上面が凹状になった後、それを逆にして2倍にすることが可能である。

【0033】

逆に言えば、誘電体インナシールド38は、別の簡単に使用可能な物質と同じ耐腐食性である場合、保護リング50は、省かれることが可能である。例えば、石英シールドが、金属エッチング及びシリコンエッチングに一般に用いられる反応種による腐食に対して耐性であるので、保護リング50は、金属又はシリコンをエッチングするために使用されるチャンバには不必要である。

【0034】

保護リング50が、シリコンなどの非誘電物質である場合、またウェーハ20が、電氣的に陰極22から絶縁されている場合（ウェーハが、陰極とウェーハとの間に誘電層52を有する静電チャックによって陰極に取り付けられている場合のように）、そのとき、それは、一般に、陰極の隣接して表面54から非誘電保護リング50を電氣的に絶縁することが好都合である。ウェーハが陰極から絶縁されるが、非誘電リングが絶縁されない場合、非誘電リングは、ウェーハより低いインピーダンスによって陰極に結合され、ウェーハを通る代わりに、シリコンリングを通してプラズマに結合される過度のRFパワーを生ずる結果となる。

【0035】

陰極と非誘電保護リング50との間の電気絶縁は、保護リングに隣接した陰極の表面54の酸化物又は他の誘電体の層になり得る。好ましい実施形態において、陰極は、アルミニウムであり、酸化物層は、陰極の外側全表面を陽極酸化処理することによって得られる。或いは、非誘電保護リング50は、保護リングと陰極との間の間隙を維持するように誘電体シールドに取り付けられることが可能であり、真空間隙が、リング50と陰極との間に電気絶縁を設ける。

3. 誘電体シールドがプロセス化学現象を変えないようにする保護リング

記述された（図2から図4に示される2つの実施形態によって例示された）保護リング50は、プロセスキットの寿命を延ばすほかに、他の利点を有している。幾つかの半導体製造プロセスにおいて、誘電体シールド30は、シールド付近の、即ち、ワークピース20の周辺近くで、製造化学現象を変える化学種を放出するように、プロセスガスの化学現象と反応したり、或いはイオン衝撃によって腐食されたりする。ワークピースの周辺近くのプロセス化学現象（例えば、様々な化学種の割合）が、ワークピースの中心近く化学現象と異なる場合、製造プロセスの性能は、対応する半径方向不均一性を有する。無保護の誘電体シールド30によって放出される種と比べて、プロセスガスとの反応がかなり少なく、又は製造プロセスにより好都合の（又は不都合の少ない）効果を有する化学種を放出する物質から構成される場合、本保護リング50は、プロセス空間均一性を改善することが可能である。

【0036】

例えば、石英シールド30が、スパッタリングすることによって、又はプロセスガスとの反応によって腐食されるとき、それは、一般に酸素を放出する。特定の半導体製造プロセスにおいて、酸素は、反応速度にかなり影響を及ぼす。特に、フォトレジスト平坦化エッチングなどの炭化水素エッチングのプロセスは、酸素の濃度増加によって促進される。同様な効果は、スピン・オン・ガラス（SOG）誘電体をエッチングするプロセスで生ずる。というのは、SOGが、一般に、かなりの炭素含有量を有しているからである。これら

10

20

30

40

50

の腐食プロセスについて、露呈石英シールド30は、ウェーハ周辺近くで腐食速度を増大し、それによって、腐食速度の空間均一性を低下する。

【0037】

別の例として、石英シールド30の腐食によって放出される酸素は、ウェーハの二酸化ケイ素をエッチングするプロセスに異なる効果を有している。そのような腐食プロセスが、ウェーハに露呈されるあらゆるシリコンのエッチングに対してできる限り選択的であることが望ましい。典型的な酸化物腐食プロセスにおいて、酸素は、二酸化ケイ素のエッチングを促進しないが、シリコンのエッチングを促進する。その結果、石英シールド30の腐食は、一般に、ウェーハの周辺近くの腐食プロセスの選択性を減少する。

【0038】

両例示において、ウェーハの周辺近くの空間均一性又は選択性の低下は、腐食プロセスにかなり影響を及ぼす化学種を放出しない物質から構成される保護リング50を有する石英シールド30のインナ部分38をカバーすることによって改善されることが可能である。初期に説明されたように、イオン束が、石英シールドの露呈表面とプロセスガスとの間の反応速度を一般に減速するワークピースの周辺から下に傾いているので、保護リングを有する石英シールド30のアウタ部分をカバーする必要はない。

【0039】

シリコンは、プロセスキットの寿命を延ばすのに効果的であるとして、即ち、誘電体及び金属をエッチングするのに一般に使用される試薬による腐食に対して良好な耐性及び低い不純物レベルを有する簡単な利用性として、初期に記述されたのと同じ理由で、保護リング50にとって好ましい物質である。シリコンは、 $\text{CF}_4$ 又は $\text{CHF}_3$ などのフッ素含有試薬を使用する腐食プロセスの均一性を改善するのに別の利点を有している。プラズマのフッ素イオンの高濃度は、一般に、腐食プロセスの選択性を減少する。ワークピースと隣接してシリコン物質を供給すると、ワークピースに隣接してフッ素イオン濃度を減少するため、シリコンは、フッ素イオンと反応し、フッ素イオンを消耗する(「化学的に除去する」)。例えば、酸化ケイ素をエッチングするためのプロセスにおいて、シリコンリング50の存在により、フォトレジストに対する腐食の選択性を改善すると考えられている、即ち、フォトレジストの腐食速度を減少すると考えられている。

【0040】

図7は、保護リング50が誘電体シールド30の露呈表面のより大きい部分をカバーし、それによって、腐食から保護される誘電体シールド30の領域を増大するというを除いては、図4の設計と類似する別の設計を示している。特に、図示されている保護リング50は、上方に面する全表面と、誘電体シールド30の内方に面する全表面をカバーしている。その結果として、図7は、保護リング50の以前に記述した両機能、即ち、プロセスキットの寿命を延ばすことと、誘電体シールド30とプロセスガスとの間の化学的相互作用のよって生ずる半導体製造プロセスの空間不均一性を減少することとをさらなる進歩を設計している。

【0041】

図5及び図6は、更に、保護リング50が、図4の設計におけるよりも多い誘電体シールドをカバーするが、図7の設計におけるよりも少ない誘電体シールドをカバーする図4と図7との間の中間の別の設計を示している。特に、図5及び図6において、保護リング50は、下部リング56と上部リング58とを備え、上部リング58は、部分的に、又は全体的に、誘電体シールド30の内方に面する高架表面32をカバーしている。プロセスにより、図5又は図6の設計は、誘電体シールド30が腐食するのを適切に防止し、それによって、プロセスの化学現象を変える。

【0042】

図7の設計が、特に、石英誘電体シールド30の腐食から放出される酸素によって強度に作用されない半導体製造プロセスに好都合であると考えられている。初期に記述したように、そのようなプロセスはフォトレジスト平坦化エッチングプロセスと、スピン-オン-ガラスエッチングプロセスとを含む。保護リング50によってカバーされる石英シールド

10

20

30

40

50



30の領域を増加することは、更に、石英から酸素を放出することを減少する。そのような放出は、ワークピースの中心に対してか鉋物の周辺近くの腐食速度を増大し、それによって、ワークピースを上の腐食速度の空間均一性を低下する。

【0043】

保護シールド50は、初期に記述したようにフッ素イオンを化学的に除去する利点を有するシリコンで構成されることが好ましい。フッ素含有試薬を使用して酸化ケイ素をエッチングするプロセスにおいて、図7の設計は、プラズマに露呈されるシリコンシールド50の表面領域を増大するので、ワークピースに隣接したフッ素イオンの濃度を更に減少し、それによって、腐食プロセスの選択性を改善する。

【0044】

シリコンシールドの露呈表面領域を増大する1つの可能な利点は、エッチングプロセスの効果がかなりのもとなり、その温度感度をよりよく表示させることである。プラズマ腐食チャンバで通常生ずる温度の範囲内で、シリコンシールドの温度を増大すると、フッ素との反応性を増大する。その結果、シリコンシールドが、プラズマに対して露呈される大きな表面領域を有する設計において、良好なプロセスの反復性を確実にするために、シリコンシールドの温度を調整する必要がある。

4. ワークピース近くに低インピーダンス部分を有する誘電体シールド

発明の背景において上記に説明したように、図1に示される従来の誘電体シールド30は、2つの機能を行う。第1に、誘電体シールドは、陰極電極22と誘電体を介してプラズマとの間を結合するRF電源に高い電氣的インピーダンスを供給するために、軸方向の大きさに十分薄い。ワークピース20の周辺外側を結合するこのようなRFパワーを最小とすると、ワークピースで行われる製造プロセスの速度を最小とする。第2に、誘電体シールド30は、ウェーハ周辺近くとウェーハ中心近くとの反応種濃度の間の相違を減少することによってプロセス性能の半径方向の均一性を改善するように、ワークピースの表面上軸方向に延びている。

【0045】

ウェーハ20の表面上の製造プロセスの空間均一性は、更に、RFパワーが陰極電極22からプラズマ40に結合されるウェーハを取り囲む環状領域を供給することによって改善されることが多いということが分かった。そのようなRF結合は、誘電体シールド30に、RFインピーダンスが実質的に誘電体シールドの周囲部分の物より小さいインナ部分38を備えることによって達成される。陰極22と、インナ誘電体シールド38の比較的低いインピーダンスを介してプラズマとの間を結合するRFパワーは、プラズマシース42をワークピース20の周辺を超えて軸方向に延ばす。こうして、ワークピース周辺近くのプラズマシースのあらゆる不連続性を最小にすることによりワークピース上で行われるプラズマ半導体製造工程の軸上の均一性を向上する。

【0046】

インナ部分38を取り囲む誘電体シールド30の残部は、ワークピースで行われる製造プロセスにかなり貢献するため、ワークピースからかなり離れた領域へのRFパワーの結合を最小とする実質的に、高い電気インピーダンスを有している。ワークピースの周辺外側を結合するRFパワーは、高架カラー30の厚さ(即ち、軸方向の高さ)を増大することによって、また下方誘電性定数を有する誘電物質でそれを製造することによって、最小とされることが可能である。石英は、チャンバへの汚染物質の放出を最小とするように、非常に低い不純物レベルで簡単に使用可能なので、高架カラー30の適切な誘電物質である。

【0047】

インナ誘電体シールド38の電気インピーダンスは、図3に図示されるように、軸方向の大きさが実質的に薄くインナシールド38を作成することによって、誘電体シールド30の残りのアウト部分をより小さく作成されることが可能になる。好ましい実施形態において、誘電体シールド30は、インナ部分38でより薄い図示された形状に製造される1枚の石英である。或いは、インナ誘電体シールド38の電気インピーダンスは、シールド3

10

20

30

40

50

0の残りのアウト部分より高い誘電定数を有する物質でそれを製造することによって減少される。

【0048】

実際問題として、誘電体シールド30のインナとアウト部分の電気インピーダンスは、RF周波数で変わる。本特許の明細書に参照されているインピーダンスは、陰極22に接続されるRF電源24の周波数のことであり、この周波数は、好ましい実施形態において13.56MHzである。

【0049】

腐食速度の空間均一性に最も強度に影響を及ぼすプロセスキットの寸法のパラメータは、薄いインナ誘電体シールド38の軸方向の厚さ又は深さDと、薄いインナ誘電体シールド38の半径方向の幅Wと、プロセスキットの高架部分30のウェーハの上の高さHと、高架部分とウェーハ周辺との間のスペーシングSとである。(参照文字D、W、H、Sは、図4に適用しているが、他の実施形態にも等しく適用する。)

陰極電極22とインナ誘電体シールド38を介してプラズマ40との間を容量的に結合されるRFパワーは、インナ誘電体シールドの電気インピーダンスに反比例する。そのようなインピーダンスは、薄いインナ誘電体シールド38の深さDによって分割される半径方向の幅Wに比例し、インナ誘電体シールドの物質の誘電率に反比例する。RFパワーの結合は、インナ誘電体シールド38上のプラズマプレシース及びシース42の荷電粒子濃度において対応する増加を生成し、インナ誘電体シールドの方にイオン束において対応する増加を生成する。

【0050】

どの設計が、空間均一性と、特定の半導体製造プロセスのためのスループットとの最善の組み合わせを供給するのかを決定するために、異なる寸法及び形状を有する誘電体シールドと保護リングで実験することは望ましいことである。この節の始めに記述したように、陰極からウェーハによって占められる領域の外側のプラズマに結合されるRFパワーは、ウェーハ表面でイオンの濃度と反応種とを減少する。その結果、薄いインナ誘電体シールド38を介してRFパワーの結合を増大することによって得られる空間均一性におけるどのような改善も、ウェーハで行われるプロセスの平均速度(即ち、スループット)で結果として生ずる減少に対して平衡を保つ。

【0051】

例えば、図4は、半径方向の幅Wが、図3に示される実施形態のものよりかなり大きい誘電体インナシールド38及び非誘電保護リング50を示している。(図面を簡単化するために、図4から図6には、図3におけるように、誘電体インナシールド38とウェーハ20との下に配置される陰極電極22が示されていない。)図4の設計は、ウェーハの端部近くのプロセスのあらゆる空間不均一性を減少するように、ウェーハの端部を超えて更に軸方向にプラズマシースを延びるために、図3の設計より好ましい。

【0052】

誘電体インナシールド38の半径方向の幅が、それぞれに6mmと14mmであった図3及び図4の設計を比較するため、標準二酸化ケイ素腐食プロセスの腐食速度と腐食速度均一性とが測定された。(誘電体インナシールドの厚さDは、2つの場合、4mmであった。)テストにおいて、均一性は、図3と図4の間では差ほど違いはなかった。预期されるように、更に多くのRFパワーが、ウェーハ20から離れた領域にインナ誘電体シールドを通して迂回されたので、腐食速度は、図4の設計においてわずかに遅かった。その結果、この特定のプロセスについて少なくとも、図3の設計の方が好まれる。

【0053】

プロセスキットの高架部分30の高さHの効果は、かなり複雑である。多くの構成において、高架部分の優れた効果は、高架部分30が、反応プロセスガスをウェーハの方に移動させないようにする「陰影」効果又は「空乏」効果である。その結果として、空乏効果は、ウェーハ中心近くの空乏にかなり密接に合致するため、ウェーハ周辺近くの反応種の空乏を増大する。一般に、ウェーハ周辺近くの活性種の空乏を増大すると、その周辺近くの

プロセス速度を減少する。第2に、高架部分は、特定のプロセスが行われる化学現象により、ウェーハ周辺近くのプロセス速度を増大したり、或いは減少したりするウェーハの周辺近くの反応種の残留時間を増大する「閉じ込め」又は「残留時間」効果を生成する。第3に、シールドの高架部分は、プラズマシースから下方に加速されるイオン34が、高架部分の内方に面する表面32及びウェーハの方に跳飛36に衝突するので、ウェーハの周辺近くのイオン束を増大する「集束」効果を生成する(図3を参照)。集束効果は、ウェーハ表面とウェーハに面する高架部分の面32との間の角度に強く左右され、ここでは、135°の角度(鉛直面から45°)が、ウェーハの中心の方にイオンの最大偏向を生成すると予期される。高架カラーの第4の効果は、ワークピース周辺外側のプラズマシース上方軸方向に変位し、それによって、ワークピース周辺から更にプラズマシートを移動し、その結果として、ワークピースの周辺近くの反応種濃度を減少することである。

10

#### 【0054】

上記の節は、プロセス速度における高さHの効果を実証した。「空乏」効果及び「残留時間」効果は、そのうえ、腐食プロセスにおける選択性、又は堆積プロセスにおけるフィルム品質などのその他のプロセス性能パラメータに影響を及ぼす。本発明は、ワークピース周辺を超えるRF結合が高架カラー30の高さを独立して調節させることによって、これらの性能のパラメータを最適化する多くのオプションを提供する(「空乏」及び「残留時間」効果は、効果カラーによって制御される)。

#### 【0055】

空乏効果、残量時間効果、集束効果及びプラズマ変位効果のすべては、高さHが増大されるとき、より著しくなる傾向がある。これらの効果すべては、更に、高架部分の内方面32とウェーハの周辺との間の半径方向スペーシングSによって影響を及ぼされる。集束効果は、特定のスペーシングS(経験に基づいて決定される必要がある)で最大化されることが予期されるが、その他のこれらの効果は、スペーシングSを増大すると徐々に減少する。

20

#### 【0056】

図5は、非誘電保護リング50が、ウェーハ20の表面より高く延び、且つ高架シールド30のインナ表面32のような鉛直面から45°の角度のあるインナとアウト表面を有する第2非誘電リングが配置される図4のリング50のようなフラットなリング56から成る別の設計を示している。高架非誘電リング58は、図3に示される高架誘電体シールド30の類似して配置されるインナ表面32に類似の方法でウェーハ端部近くに反応種の物理的構成を供給する。しかし、図3の設計の誘電体シールド30と対照的に、図5の第2非誘電リング58は、RF電源を備えた陰極22とプラズマとの間に比較的小さな電気インピーダンスを押し付け、それによって、図4の設計の薄いインナ誘電体シールド38を介してRF結合の高いレベルを保つ。

30

#### 【0057】

異なる半径方向の幅を有する異なる非誘電リング58を取り換えることによって、スペーシングSは、インナ誘電体38の幅Wを独立して変えることが可能であり、それによって、半導体製造プロセスの空間均一性を最適化する別の設計パラメータを供給する。

#### 【0058】

図6は、第2非誘電リング58の軸方向の高さが、高架カラー30の高さの半分であり、それによって、ウェーハの端部近くに反応種の間量量の物理的閉じ込めを供給する図5と異なる別の設計を示している。

40

#### 【0059】

図5及び図6に示される第2非誘電リング58が、半径方向の位置の機能として電気インピーダンスの漸進的遷移を供給するように、誘電高架カラー30のインナ表面32と重なり、それによって、ウェーハの端部近くのプラズマシースの均一性を高め、半導体製造プロセスの空間均一性を高める。プラズマシースのあらゆる不連続性を更に減少するために、第2非誘電リング58の半径方向アウト部分は、それが誘電高架カラー30のインナ部分32と重なるとき、徐々に縮小する先細り厚さを有し、それによって、シリコンリング

50

から高架カラーに電気特性の漸進的遷移を供給する。

【0060】

誘電体インナシールド38の所望のインピーダンスに影響を及ぼす別のファクタは、陰極電極22にウェーハ20を保持するために、チャンバが静電チャック52を使用するかどうかである(図3を参照)。使用する場合、静電チャックは、陰極とウェーハとの間に誘電体を挿入し、そのために、陰極とプラズマとの間に容量インピーダンスを挿入する。ウェーハを介して結合されるRFパワーと、薄いインナ誘電体シールド38との間に一定の平衡を維持するために、インナ誘電体シールドは、静電チャックのインピーダンスに比例して増大される。インナ誘電体シールド38のインピーダンスは、半径方向幅Wによって分割される軸方向の厚さDに比例し、且つ誘電率に反比例する。

10

【0061】

図示したシリコン保護リング50の電気インピーダンスは、インナ誘電体シールド38の電気インピーダンスより更に少ないので、陰極電極とプラズマとの間のRFパワーの結合に実質的效果を持たず、そのため、保護リングの軸方向の深さD(即ち、厚さ)がウェーハを超えるイオン束分配に実質的效果を持たないと考える。実際問題として、シリコンリングが補修作業員によって設置されるとき、偶発的損傷を防止するのに十分な厚さであるべきである。更に、厚いシリコン保護リングは、取り換えられる前に、更に腐食に耐えることが可能である。

例示

保護リング50と改良された薄いインナ部分38を有する誘電体シールドとを備える図4の本発明の設計と図1の従来の誘電体シールド30を比較した。

20

【0062】

テストは、図9A及び図9Bに示されている磁氣的強化したプラズマチャンバで200mmの直径のシリコンウェーハ20から二酸化ケイ素の層をエッチングするプロセスを使用して行われた。DC電源は、2つの隣接した電磁コイル71と74のそれぞれに4Aの電流供給し、ウェーハの中心での磁界の強さは、約30Gであった。その他の2つのコイル72, 73には電流は供給されなかった。プロセスガスの流量は、45 sccm  $\text{CHF}_3$ 、15 sccm  $\text{CF}_4$ 、及び150 sccm Arであった。チャンバ圧力は、200mTであった。RF電源24は13.56MHzで1000ワットのパワーを陰極線22に供給する。各ウェーハは、60秒間腐食され、その結果、二酸化ケイ素は約4000オングストロームから4400オングストローム、ウェーハ表面から腐食された。

30

【0063】

図11A及び図11Bは、ウェーハの表面の腐食速度の相違を示した干渉計によって生成されたアイソメトリックチャートである。太くて黒いアイソメトリックラインは、中間の腐食速度を表わしている。プラス符号及びマイナス符号は、それぞれに中間より速い腐食速度及び遅い腐食速度を表わしている。各アイソメトリックラインの間のインクレメント(増分)は、100オングストローム/分である。

【0064】

図11Aは、ウェーハの端部より下に8mm、且つウェーハの周辺外側のシールドの高架部分で15mmの厚さ又は深さDを有する図1に示される従来の誘電体シールドの結果を示している。図11Bは、半径方向幅Wが14mm、厚さ又は深さDが4mmの薄いインナ部分38を有する図4の改良された誘電体シールド30の結果を示している。

40

【0065】

図1の従来の設計と比較すれば、図4の改良された誘電体シールドは、最小腐食速度及び最大腐食速度の中間からの偏差を減少し、中間からの最も悪い負偏差は、-1060から-850オングストローム/分に減少され、中間からの最も悪い正偏差は、+1250から+1050オングストローム/分に減少された。5. ウェーハを電氣的に接触する非誘電リング

図8A及び図8Bは、半導体ワークピース又はウェーハ20が、周囲非誘電リング50又は60に対して押され、そして電氣的に接触される別のプロセスキット設計を示している

50

。良好な電氣的接觸を確実にするために、プロセスキットは、ウェーハ 20 と非誘電リング 60 との間に均一圧力を印可するため、ばね又はエラストマを備えている。図 8 A 及び 8 B に示される実施形態において、エラストマは、非誘電リング 50 又は 60 に対して上方圧力を印可し、それによって、ウェーハに対して非誘電リングを押す静止下方部分 66 と可動弾性のあるリップシール 68 とを有する O - リングである。

【 0 0 6 6 】

図 8 A の設計において、非誘電リング 50 は、図 3 の設計と同一であるが、誘電体シールド 30 のインナ部分 38 は、エラストマ - 66 , 68 と取り換えられる。図 8 B の設計は、下記に記述される特有の非誘電リング 60 を使用している。

【 0 0 6 7 】

図 8 A 及び図 8 B の設計において、非誘電リングは、電氣的にウェーハと接触するので、非誘電リングは、効果的に、ウェーハを電氣的に延長し、このため、陰極電極 22 を電氣的に延長することになる。その結果として、これらの設計は、非誘電リング 60 下の陰極電極の部分をカバーするためのあらゆる誘電体インナシールド 38 を必要としない。

【 0 0 6 8 】

ウェーハ 20 の端部上方のプラズマシースの連続性を最大化するために、非誘電リング 50 又は 60 は、ウェーハ基板と同一の物質で構成されるべきである。特に、ワークピース 20 がシリコンウェーハである場合、非誘電リングはシリコンであることが好ましい。

【 0 0 6 9 】

図 8 A 及び図 8 B の設計において、シリコンリング 50 又は 60 を介して結合される RF パワーは、シリコンリング 50 又は 60 がワークピース 20 の周辺外側に延びる半径方向の幅 W に比例する。結合された RF パワーは、更に、シリコンリングの電気抵抗に反比例する。これを図 3 から図 7 と比較すると、そのようなパワーは、インナ誘電体シールド 38 の幅 W に比例する。

【 0 0 7 0 】

ウェーハ 20 が除去される場合、弾性リング 66 , 68 が定位置から移動しないように、弾性リングの静止下方部分 66 が、誘電体シールド 30 と陰極電極 20 との間に密接して取り付けることが好ましい。

【 0 0 7 1 】

シリコンリング 50 又は 60 は、自由に上下に移動するので、シリコンリングと誘電体シールド 30 との間に多少の間隙がある。この間隙は、プラズマがこの間隙を貫通するのを防ぎ、ばね 68、静電チャック 52、ウェーハ 20 の外側などに達するのを防ぐのに十分な程度小さいことが好ましい。この間隙は、周知のようにチャンバ圧力又はそのたのファクタの機能であるプラズマシースの幅より小さくて十分である。

【 0 0 7 2 】

ウェーハ 20 に下方締め付け力がないと、ばね又はエラストマ 68 が、静電チェック 52 の上面上にそれを上げるために、シリコンリング 60 を押し上げる。その結果、ウェーハ 20 が、最初に、チャンバに運ばれ、静電チャック 52 の上に置かれるとき、ウェーハは、静電チャックよりむしろ高架シリコンリング 60 に載せられる。ウェーハ底部表面とチャック上面との間の結果として生ずる間隙が、非常に大きい場合、チャック) は、チャックの上面に対してウェーハを締め付けるように、エラストマ 68 のばねの力に打ち勝つための十分な静電力をウェーハに生成することができない。この問題を防止するために、エラストマ 68 が、静電チャックが開けられる前に、わずかの量だけシリコンリング 60 とウェーハ 20 とを上げるように、上方に制限して延長されることである。チャックされていない(抑制されていない)ウェーハの最大許容上昇は、エラストマが弱いばね係数を有する場合、又は静電チャックが強い場合、より大きい。本プロトタイプにおけるチャックされていないウェーハの上昇は、静電チャック 52 の上、約 0 . 0003 から 0 . 010 インチ( 0 . 08 から 0 . 25 mm )であることが統計的に予測される。しかし、チャンバ内が真空であるので、ウェーハの上昇を測定することは難しい。

【 0 0 7 3 】

10

20

30

40

50

逆に言えば、ウェーハが、静電チャックによってではなくむしろ機械的クランプによって陰極電極に取り付けられる場合、エラストマがシリコンリングを上げる量を制限する必要がない。

【0074】

ウェーハ20が、ウェーハが誘電層52を有する静電チャックによって陰極に取り付けられる場合のように、電氣的に陰極から絶縁される場合、陰極からシリコンリング50又は60を電氣的に絶縁することが重要である。電氣的絶縁は、陰極がアルミニウムである場合、陰極の表面を陽極酸化処理して得られる。ウェーハが陰極から絶縁されるが、シリコンリングが絶縁されない場合、シリコンリングは、ウェーハより下方のインピーダンスを介して陰極に結合されることが可能である。その結果、過度のRFパワーはウェーハでなくシリコンリングを介して転送される。

10

【0075】

すべての点で従来のプラズマ腐食チャンバにおいて図3と図8Aとの実施形態を比較するテストを行った。シリコンウェーハの二酸化ケイ素をエッチングするプロセスにおいて、図3の設計と比べて図8Aの設計では、約30パーセント良い空間均一性の腐食速度を測定した。

【0076】

図8Bは、図8Aの実施形態の簡単な環状非誘電リング50より複雑な形状の非誘電リング60を有する実施形態を示している。

【0077】

20

図8Bの設計の1つの特有な特徴は、シリコンリング60が段付き表面を有していることである。特に、ウェーハ20の周辺外側にあるシリコンリング60の部分64は、ウェーハの下にあるシリコンの部分62の上面に対してわずかに高く上げられている上面を有している。1段高い上面64は、ウェーハの周辺に隣接したプラズマシースにおける不連続性を最小とするように、ウェーハの上面と平面であるのに十分であるほど上げられ、それによって、ウェーハで行われるプロセスの空間均一性を高める。

【0078】

プラズマシースにおけるあらゆる不連続性更に減少するために、シリコンリングのアウタ部分64は、それが高架誘電カラー30のインナ部分32とオーバーラップするとき徐々に縮小する先細りの厚さを有し、それによって、シリコンリングから高架カラーへと電氣的特徴の漸進的遷移を行う。

30

【0079】

本テストにおいて、図8Bのこれらの特徴は、図8Aの簡単な設計より空間均一性の良好な腐食速度を計れるほどには示さなかった。シリコンリング50が、簡単に製造されるので、またシリコンリングが、腐食されるときサービス寿命期間を2倍にするために、シリコンリングが、さかさまに裏返えせるので、一般に、図8Aの設計の方が好まれている。

6. カラー又は誘電体シールドの方位角変化

プラズマ強化半導体製造プロセスの空間均一性は、プロセスチャンバのコンポーネントの形状又は機械的レイアウトの非対称又は不均一性によって損なわれる。特に、ワークピースが、円形半導体ウェーハである場合、プロセスは、プロセスチャンバコンポーネントがウェーハの軸に対して円筒形的に対称でない場合、方位角の不均一性を有する。本発明の1つの態様において、これらの方位角不均一性は、高架カラー及び/又はワークピースを取り囲む誘電体シールドの大きさにおいて対応する方位角の変化によってオフセットされる。

40

【0080】

図9A及び図9Bは、円筒形非対称の2つの電源を有する従来のプロセスチャンバを示している。図示されたチャンバは、本特許明細書に参照として記載されている元のままの内容であるQianらに一般に譲渡された米国特許第5,534,108号において詳細に記述されている磁氣的強化反応イオン腐食(MERIE)チャンバである。チャンバ壁12は、円筒形インナ表面と、横断面が八辺形であるアウタ表面とを有している。八辺形の

50

アウト表面の互い違いの面に取り付けられた４つの電磁コイル７１，７２，７３，７４が、チャンバ壁のまわり配置されている。図示されていない電源は、ウェーハの平面に平衡であり、またウェーハの軸まわりにゆっくり回転する磁界を生成するように、４つの電磁石に電流を供給する。（図９Ａは、取り付けられるウェーハ２０を持たない上面陰極２２を示している。ウェーハの平面は、本質的に陰極２２の図示されている上面の平面と同一である。）緩慢な回転は、「直角位相」の電磁石を駆動して、即ち、第２コイル及び第４コイル７２，７４に印可される制限電流を有する位相から９０°である第１コイル及び第３コイル７１，７３に印可される正弦電流を有する４つの磁気コイルに低周波数正弦電流を供給して達成される。

#### 【００８１】

磁界を保持する理由は、ウェーハで行われる腐食プロセスの方位角対称を最小とするためである。しかし、方位角非対称は、前述のＱｉａｎら特許に述べられているように、各電磁石の軸近くのタイム平均磁界（即ち、０°、９０°、１８０°及び２７０°の方位角で）隣接した電磁石コイルの端部に密接する位置７６近くのタイム平均磁界より少ない（即ち、４５°、１３５°、２２５°及び３１５°の方位角で）。その結果として、ウェーハの周辺近くのプロセス速度は、４５°の奇数マルチプルである方位角より９０°のマルチプルである方位角で低い。

#### 【００８２】

図９Ａに示されているチャンバの別の方位角非対称は、ロボットアーム７９が、チャンバの中又は外にウェーハ２０を運ぶチャンバの壁の開口又はスリット７８から生ずる。スリット７８は、プロセスガス試薬の量がウェーハの慮域でスリット内側のプロセスガスの量によって効果的に増大される化学的反応に有効なので、スリット近く（即ち、図示されているチャンバの９０°方位角近く）のウェーハの領域でプロセスの特性を変えることが分かった。例えば、腐食液としてＣＨＦ<sub>３</sub>及びＣＦ<sub>４</sub>の混合物を使用してウェーハの窒化ケイ素誘電層をエッチングするプロセスにおいて、スリットバルブに密接する（即ち、９０°の方位角で）ウェーハの周辺近くでより高い腐食速度であることが分かった。この方位角不均一性は、その位置で誘電体を腐食するのに有効であるフッ素イオンの量が多いことを示す。

#### 【００８３】

本発明において、プロセスの性能におけるそのような方位角不均一性は、チャンバ非対称によるプロセスの性能における方位角不均一性をオフセットするように、硬化シュラウド又はカラー３０及び／又は形状が方位角で変わる誘電体インナシールド３８によって半導体ウェーハ又はワークピース２０を取り囲むことによって改善されることが可能である。特に、誘電体インナシールド３８は、方位角の機能として厚さ又は内径を変えることが可能であり、又は高架カラー３０ａは、方位角の機能として高さ又は内径を変えることが可能である。

#### 【００８４】

例えば、図１０Ａから図１０Ｅは、高さが方位角で変わる「波形」シュラウド又はカラー３０ａを示している。カラー３０ａの波形は、隣接した電磁石コイルの端部７６近くの磁界の強さより低い各電磁石コイルの軸近くの磁界の強さを生成する電磁石７１から７４を保証する。特に、波形コイル３０ａは、９０°（±２０°）の倍角を有し、また４５°（±２０°）の奇数倍を有する方位角で高い位置８１を有する。図示されている好ましい実施形態において、高い及び低い部分８１と８２の高さは、それぞれに、９ｍｍと５ｍｍである。波形カラー３０ａの最も内側端部は、カラーの方位角整列を維持するように、陰極２２の対応するフラット部分と噛合う０°及び９０°の方位角のフラット部分８４を有している。

#### 【００８５】

上述した波形カラー３０ａと均一の高さを有する従来のカラー３０とを比較した。すべてのテストは、上述のように直角位相で駆動される４つの電磁石を用いた図９Ａ及び図９Ｂに示したものと類似のＭＥＲＩＥチャンバで行われた。テストされた各ワークピース２０

10

20

30

40

50

は、二酸化ケイ素の層が従来の熱化学堆積プロセスによって置かれた200mmの直径のシリコンウェーハであった。従来のカラー及び波形カラーは、203mmの内径を有する。テストは、酸化物層をエッチングするプロセスの空間均一性を測定した。腐食プロセスのパラメータは、50sccm  $\text{CHF}_3$ 、10sccm  $\text{CF}_4$ 、150sccm  $\text{Ar}$ 、250mTorrチャンバ圧力、1000ワットRF電源及び50Gauss（ガウス）磁界の強さであった。ウェーハ表面に均一に分配された225部分で腐食速度をサンプルした1つのテストにおいて、腐食速度の1シグマ空間均一性は、従来のカラーで2.1%、波形カラーで1.5%であり、28%の改善であった。ウェーハの周辺近くの異なる方位角の17部分で腐食速度をサンプルした別のテストにおいて、腐食速度の1シグマ空間均一性は、従来のカラーで8.2%、波形カラーで4.3%であり、47%の改善であった。

10

#### 【0086】

従来のカラー30について、空間不均一性は、磁界が最も弱い90°のマルチプルである方位角の低い腐食によって大幅に生じた。波形カラー30aは、高さが90°のマルチプルである方位角で最高であり、それによって、磁界が最も弱いこれらの領域の腐食速度が増大したので、本テストの腐食速度の空間不均一性は改善された。波形カラー30aが最も高い所での腐食速度の増大は、図3に図示されるように高架カラーのインナ表面32が、ウェーハ20の方に荷電粒子36を拡散する「集束効果」によって生じると考えられる。更に、波形カラーの最も高い部分81での腐食速度の増大は、インナ表面32が、図3に示されるように、且つ下記により完全に記述されるように、ワークピースの平面で略135°の角度を形成する場合、最大にされることが可能であると考えられる。

20

#### 【0087】

幾つかの半導体製造プロセスにおいて、カラーの高さを増大すると、上述した二酸化ケイ素腐食プロセスで観察されたように逆効果となることがある。特に、カラーの高さを増大すると、2つのメカニズム：カラーの内径外側の領域からワークピースへのプロセスガス成分の移動を妨げること（「陰影」又は「空乏」効果）によって、またワークピースから離れて上方軸方向にプラズマを押し上げることによって、プロセス速度が減少する。更に、カラーの高さを増大すると、以前に記述したように、プロセス依存して、プロセスを増大するか、又は減少するかである「抵抗時間」効果を増大する。その結果、波形リングを新規プロセスに適用するとき、プロセス速度が、隣接した波形リングの高い部分81（又は低い部分82）を増大するか、又は減少するかを決定するために、ワークピースの周辺まわりの幾つかの部分でプロセス速度（例えば、プロセスにより、腐食速度又は堆積速度）を測定することは慎重になる。

30

#### 【0088】

集束効果が閉じ込め効果より優るテストされた二酸化ケイ素腐食プロセスなどのプロセスにおいて、閉じ込め効果は、カラーの高さが更に増大される場合、優勢であると考えられる。特に、特定の部分を越えてカラーの高さを増大すると、集束効果によりプロセス速度が増大するよりも閉じ込め効果によりプロセス速度が減少すると予想される。結果的に、スリット78近くでの以前に記述したプロセス速度拡張に対する解決は、高架カラーをスリットに隣接して特に高くし、高いアカラーが、スリットとワークピースとの間の試薬の移動を妨げるようにすることであると考えられる。

40

#### 【0089】

高架カラーの高さに方位角変形を与える別の方法は、カラーの高架部分の内径に方位角の変形を設けること、即ち、ワークピース20の周辺とカラーの高架部分のインナ表面32との間の間隙を変えることである。内径を減少する（即ち、間隙を減少する）と、一般に、カラーの高さを増大するのと同じようにプロセス速度を変化する。

#### 【0090】

更に、プロセス速度における方位角変化をオフセットする別の方法は、ワークピースの周辺を取り囲む誘電体インナシールド38の軸方向の厚さD、又は半径方向の幅Wに対応する方位角変化を設けることである。チャンバの不均一性又は非対称が反応を減少する傾向

50



がある方位角で、誘電体インナシールド 38 が、陰極電極 22 からプラズマに多少の RF パワーを結合するように、薄く又は広くすることである。逆に言えば、チャンバの不均一性又は非対称が反応速度を増大する傾向にある方位角で、誘電体インナシールド 38 が、陰極電極 22 からプラズマにより少ない RF パワーを結合するように、厚く又は狭くすることである。薄い部分を介して誘電体インナシールド 38 を結合する増大された RF パワーは、これらの方位角でプラズマの密度を増大し、その結果として、これらの方位角で反応速度を増大する。その結果、プロセス速度又はその他のプロセス性能パラメータにおける方位角不均一性は、方位角の変化をオフセットするように、誘電体インナシールド 38 を製造することによって修正されることが可能である。

【0091】

例えば、図 9 A に示した例示的なプロセスチャンバは、スリット 78 が、ウェーハの隣接した領域近くに多量の試薬を供給し、それによって、ウェーハ 20 の領域の反応速度増大するので、方位角不均一性を生ずる。この不均一性は、厚さが、他の方位角位置におけるよりもスリット 78 近くで大きい環状誘電体インナシールド 38 でウェーハを取り囲むことによって改善される。

【0092】

高架カラー 30 a と異なり、誘電体インナシールド 38 は、半導体ワークピースの平面の上を延びる必要はない。実際に、チャンバで行われるプロセスの副作用として誘電体シールドに避け難い蒸着する物質によるワークピースの閉じ込めを最小とするために、誘電体シールドが、全体にワークピースの平面の下にあることは好都合である。誘電体シールドがワークピースの平面の下にある場合、誘電体シールドから剥がれるか、又は分離する堆積物質のあらゆる粒子は、ワークピースには落ちることはない。

7. 誘電カラーインナ表面の光角

発明の背景に述べたように、従来のプロセスキットの問題は、プロセスキットが、プラズマシースからのイオンの衝撃によって高速で腐食されることであり、それによって、首尾一貫したプロセス性能を維持するために頻繁に取り換える必要があることである。腐食は、一般に、ウェーハの周辺に密接したプロセスキットの部分で最も速い。そこで腐食が最も早い理由は、イオン（図 1 に矢印 106 で示されている）が、高架カラー 30 の露呈される内方に面する壁 32 に衝撃を与え、そして荷電粒子（矢印 108 で示されている）を、ワークピース 20 の周辺近くの領域 104 の方に拡散させるからである。

【0093】

ウェーハの周辺近くのプロセスキットの露呈部分の腐食は、一般に、図 2 及び図 3 に示されるようにウェーハの中心軸に対してある角度をなして高架カラー又はシュラウド 30 の露呈されている内方に面している表面 32 を方向付けすることによって減少されることが可能であり、この角度は、約 20° から 35° の範囲にあることが好ましく、約 30° から 45° の範囲にあることがより好ましい。また、カラーの露呈インナ表面 32 は、ウェーハの表面と鈍角を形成し、この角度は、110° から 145° であることが好ましく、120° から 135° であることがより好ましい。カラーのインナ表面のこの角度方向付けのため、インナ表面 32（矢印 36 で示されている）に衝撃を与えるイオン（図 3 の矢印 34 で示されている）は、図 1 に示される従来の誘電カラー 30 のように下方に拡散するよりもむしろウェーハの中心軸の方に横方向に拡散され、このインナ表面 32 は、更に鉛直に方向付けられる。その結果、本発明において、拡散されたイオンは、従来の誘電カラーに対するようにウェーハの端部に集中されるよりもむしろ、ウェーハの上方の広い領域一面に分配される。

【0094】

上述の角度の方向付けにより、ワークピース 20 の端部に密接するプロセスキットの部分の腐食を減少する。例えば、腐食が減少されるプロセスキットの部分は、図 3 及び図 8 A の実施形態の非誘電リング 50 と、図 8 B の非誘電リング 60 とである。更に、この角度の方向付けにより、ワークピースの周辺近くの過剰のオン密度により、プラズマプロセスの空間不均一性を改善する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 5 】

ウェーハの表面に対する  $135^\circ$  の角度は、荷電粒子の水平拡散を最大化するので、理想的であるが、プラズマ強化プロセスの空間均一性を最適化するために、多少異なる角度を選択するという実理的な理由がある。特に、ウェーハ周辺とシュラウドのインナ表面 32 との間隙がきわめて小さいとき、更に鉛直な角度（即ち、 $90^\circ$  に近い）が望ましい。

## 【 0 0 9 6 】

図 5 及び図 7 に図示されるように、露呈される内方に面する表面が、ワークピース 20 に面する高架カラーは、誘電体シールド 30 よりむしろ非誘電リング 50 であるべきである。ワークピース 20 の端部に隣接した非誘電リング 56（図 5）又は 50（図 7）の露呈部分の腐食を最小にするために、非誘電体の露呈される内方に面する表面 59 は、上述されるようにワークピース表面に対してある角度をなすことが好ましい。図 6 に図示されるように、高架カラー又はシュラウドの露呈される内方に面する表面は非誘電リング 50 の露呈されている表面 59 とともに誘電体シールド 30 の露呈されている表面 32 を含んでもよい。内方に面する表面 32, 59 は、上述のように角度をなすことが好ましい。

## 8. その他

「上」「下」「上方」「下方」などの方向に関する明細書及び請求項におけるすべての引用は、互いにコンポーネントの位置を単に示すものであり、重力の方向に対するコンポーネントの方向付けを示すものではない。地球の重力の方向は本発明には関係ない。例えば、図示されている設計は、半導体ウェーハの処理を逆さにすることが可能であり、この場合、本特許明細書及び請求書に「上」及び「下」として記述されている方向は、実際には、地球の重力の方向に対してそれぞれに「下」「上」となる。

## 【 0 0 9 7 】

第 1 コンポーネントが、保護リングの周辺を取り巻く誘電体シールドのアウタ部分、又はワークピースの周辺を取り巻く保護リングのアウタ部分など第 2 コンポーネントの周辺を「取り巻く」又は「取り囲む」するとき、2つのコンポーネントが同一平面上であることを含意すること意味していない。例えば、リングがウェーハの平面の下にあるとしても、図 3 のウェーハ 20 の周辺を取り巻くような保護リング 50 のアウタ部分と記述する。更に、「取り巻く」という言葉は、円形状に限定されるものではない。

## 【 0 0 9 8 】

より精密に「取り巻く」又は「取り囲む」を定義する 1 つの方法は、第 1 コンポーネントは、半径方向位置が外側にある、又は第 2 コンポーネントの周辺を越えるアウタ部分を含むことである。より精密に「取り巻く」又は「取り囲む」を定義する別の方法は、第 2 コンポーネントが、実質的に二次元表面にあるとき、表面の上の第 1 コンポーネントのアウタ部分の突起は、その表面の上の第 2 コンポーネントの周辺の突起を取り囲むことである。更に、「取り巻く」又は「取り囲む」の別の定義は、第 2 コンポーネントが対称の軸を有するとき、対称の軸に垂直な表面の上の第 1 コンポーネントのアウタ部分の突起は、その表面の上の第 2 コンポーネントの周辺の突起を取り囲むことである。これらの定義のすべては、ワークピースが、本質的にフラットである最も普通の状態において同等である。ワークピースがフラットでない場合、そのとき、最も適切な定義は、ワークピースの幾何図形的配列によって異なる。

## 【 0 0 9 9 】

「リング」という言葉は、軸を取り巻くオブジェクトを記述するために用いるが、リングは、円形対称ではない。

## 【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 先行技術の誘電体シールドの断面図である。

【 図 2 】 厚いアウタ誘電体シールドと薄いインナ誘電体シールドとを備える誘電体シールドを有し、且つインナシールドをカバーする非誘電カラーを有する本発明によるプラズマチャンバの概略長手方向断面図である。

【 図 3 】 図 2 の誘電体シールド及び非誘電カラーのクローズアップ断面図である。



【図 5】

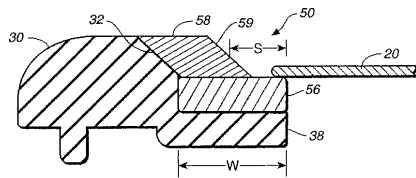


FIG.\_5

【図 6】

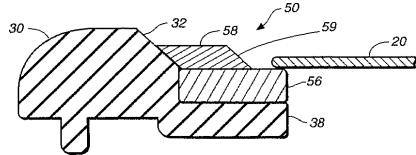


FIG.\_6

【図 7】

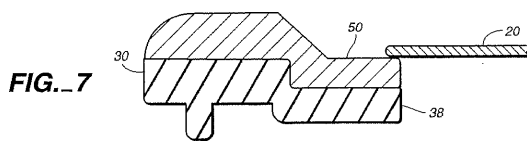


FIG.\_7

【図 8 A】

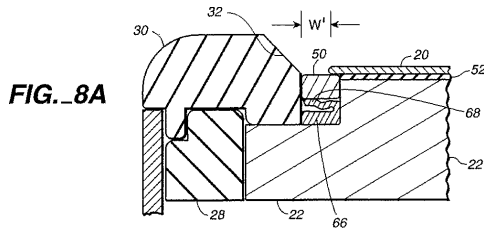
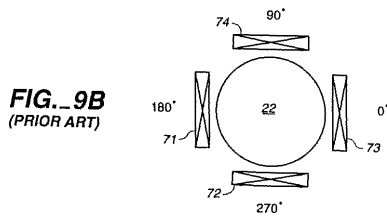


FIG.\_8A

【図 9 B】

FIG.\_9B  
(PRIOR ART)

【図 10 A】

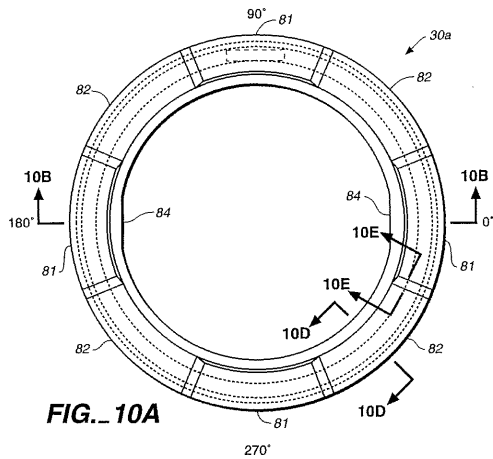


FIG.\_10A

【図 10 B】

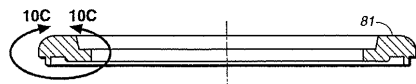


FIG.\_10B

【図 8 B】

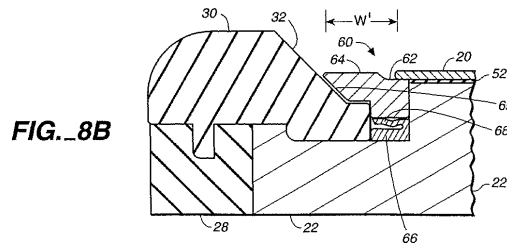
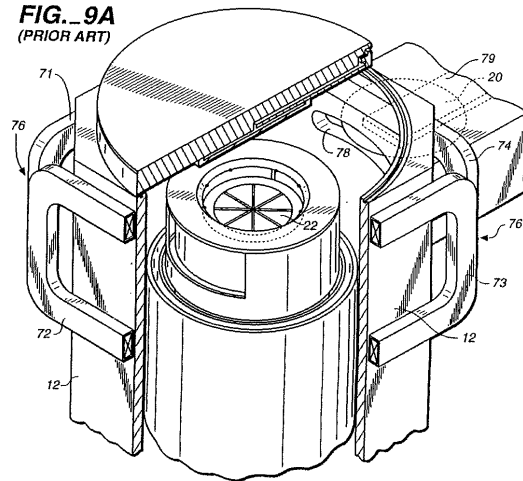


FIG.\_8B

【図 9 A】

FIG.\_9A  
(PRIOR ART)

【図 10 C】

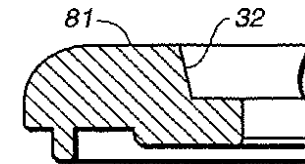


FIG.\_10C

【図 10 D】

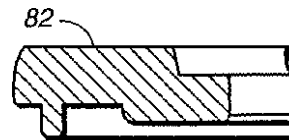


FIG.\_10D

【図 10 E】

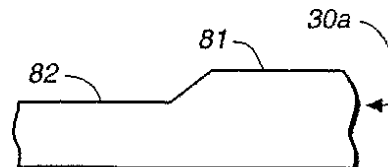


FIG.\_10E

【図 11A】

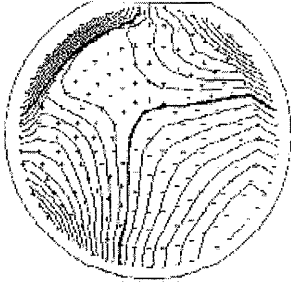


FIG. 11A

【図 11B】



FIG. 11B

## フロントページの続き

- (74)代理人 100107456  
弁理士 池田 成人
- (74)代理人 100153969  
弁理士 松澤 寿昭
- (72)発明者 ケ, クアン - ハン  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, マウンテン ヴュー, ライト アヴェニュー 928  
, ナンバー 902
- (72)発明者 ブ, ブライアン, ワイ.  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, ロサト コート 3064
- (72)発明者 シャン, ホンチン  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, タンプル ウェイ 3630
- (72)発明者 ワン, ジェイムズ  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サラトガ, モンペール ウェイ 18430
- (72)発明者 フォン, ヘンリー  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, ダリー シティ, ウォーウィック ストリート 29  
4
- (72)発明者 リ, ゾンギュ  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サニーヴェイル, ミラマー ウェイ 3781, ナ  
ンバー 6
- (72)発明者 ウェルチ, マイケル, ディ.  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, リヴァーモア, ローマ ストリート 940

審査官 山口 敦司

- (56)参考文献 特開平08-264515(JP,A)  
特開平09-129612(JP,A)  
特開平08-339895(JP,A)  
特開平07-106316(JP,A)  
特開平05-335283(JP,A)  
特開平05-029270(JP,A)  
米国特許第05529657(US,A)  
特開平04-333228(JP,A)  
特開平10-233390(JP,A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/32  
C23C 14/40  
H01L 21/205  
H01L 21/302  
H01L 21/3065  
C23C 16/50  
H05H 1/46  
C23F 4/00