

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02016/186143

発行日 平成30年3月29日 (2018. 3. 29)

(43) 国際公開日 平成28年11月24日 (2016. 11. 24)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)		
H05H	1/46	(2006.01)	H05H	1/46	C	2G084		
C23C	16/511	(2006.01)	C23C	16/511		4K030		
H01L	21/31	(2006.01)	H01L	21/31	C	5F045		
H01L	21/318	(2006.01)	H01L	21/318	B	5F058		

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 18 頁)

出願番号	特願2016-539344 (P2016-539344)	(71) 出願人	504157024 国立大学法人東北大学 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号
(21) 国際出願番号	PCT/JP2016/064790	(71) 出願人	500148422 株式会社コーテック 東京都東久留米市下里3丁目9番4号
(22) 国際出願日	平成28年5月18日 (2016. 5. 18)	(74) 代理人	100186750 弁理士 藤本 健司
(31) 優先権主張番号	特願2015-102929 (P2015-102929)	(72) 発明者	後藤 哲也 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号国立大学法人東北大学内
(32) 優先日	平成27年5月20日 (2015. 5. 20)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

最終頁に続く

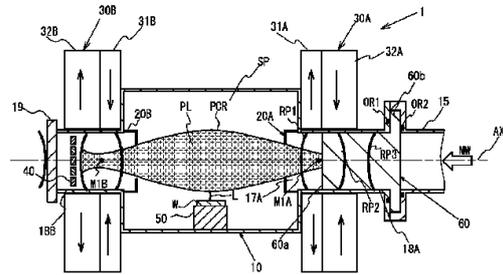
(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置、プラズマ処理方法および半導体製造方法

(57) 【要約】

【課題】ミラー磁場に閉じ込めたプラズマを半導体製造プロセスに利用して低温・低ダメージで高品質な薄膜の形成を可能としつつ閉じ込めるべきプラズマをより効率良く励起可能なプラズマ処理装置を提供する。

【解決手段】マイクロ波の供給側に形成されるミラー磁場の複数の共鳴点RP1～RP3のうち、ミラー磁場の2つの最大磁場部間に形成される共鳴点RP1のみがプラズマ励起に利用され、他の共鳴点RP2, RP3がプラズマ励起に寄与しないように、プラズマ生成空間SPが画定されている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ミラー磁場を形成するミラー磁場形成機構と、前記ミラー磁場の一端側から他端側に向けてマイクロ波を供給するマイクロ波供給機構と、を有し、前記ミラー磁場と前記マイクロ波とによる電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成するとともに、前記ミラー磁場により所定の閉じ込め領域に当該プラズマを閉じ込めるプラズマ処理装置であって、

前記マイクロ波の供給側に形成される複数の共鳴点のうち、前記ミラー磁場の2つの最大磁場部間に形成される共鳴点がプラズマ形成に利用され、他の共鳴点がプラズマ形成に寄与しないか実質的に寄与しないように、プラズマ生成空間が画定されていることを特徴とするプラズマ処理装置。

10

【請求項 2】

処理室と、

前記処理室内へ前記マイクロ波を導く導波路に設けられた、誘電体からなるマイクロ波透過部材と、を有し、

前記マイクロ波透過部材の先端面および前記処理室の内壁面は、前記プラズマ生成空間を画定し、

前記複数の共鳴点のうち、前記プラズマ形成に利用される共鳴点のみが前記プラズマ生成空間内に配置され、他の共鳴点は、前記マイクロ波透過部材上または大気側に位置する、ことを特徴とする請求項 1 に記載のプラズマ処理装置。

20

【請求項 3】

前記ミラー磁場形成機構は、前記所定軸線において離隔して配置された第 1 および第 2 の永久磁石機構を有し、

前記第 1 および第 2 の永久磁石機構は、放射状に着磁され、かつ互いに異なる向きに着磁された環状の第 1 および第 2 の永久磁石を含み、当該第 1 および第 2 の永久磁石機構は、前記ミラー磁場に 3 つの共鳴点をそれぞれ形成する、請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ処理装置。

【請求項 4】

前記ミラー磁場形成機構は、前記所定軸線上において離隔して配置された第 1 および第 2 の電流コイルを有し、当該第 1 および第 2 の電流コイルは、前記ミラー磁場に 2 つの共鳴点をそれぞれ形成する、請求項 1 又は 2 に記載のプラズマ処理装置。

30

【請求項 5】

前記閉じ込め領域から活性化した中性のラジカルが処理すべき基体に選択的に到達するように、前記所定軸線を横切る方向において前記基体を前記閉じ込め領域に対向させて配置する保持機構を有する、請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 6】

前記所定軸線を横切る方向の電位勾配を平坦化するための電位調整用部材をさらに備える、ことを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載のプラズマ処理装置。

【請求項 7】

ミラー磁場を形成するとともに、前記ミラー磁場の一端側から他端側に向けてマイクロ波を供給し、前記ミラー磁場と前記マイクロ波とによる電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成するとともに、前記ミラー磁場により所定の閉じ込め領域に当該プラズマを閉じ込めるプラズマ処理方法であって、

40

前記マイクロ波の供給側に形成される複数の共鳴点のうち、前記ミラー磁場の 2 つの最大磁場部間に形成される共鳴点のみを実質的にプラズマ形成に利用する、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を半導体製造プロセスに用いた半導体製造方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

50

【 0 0 0 1 】

本発明は、プラズマ処理装置、プラズマ処理方法および半導体製造方法に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

半導体製造におけるプラズマによる薄膜形成プロセスは、プラズマにより反応性に富む様々な活性種を容易に発生させることが出来るため、それら活性種を利用し、基板温度を上げることなく、高品質な薄膜の形成が可能である（例えば、特許文献 1 参照）。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 3 】

【 特許文献 1 】 特公平 6 - 9 1 0 1 3 号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 4 】

ところで、プラズマで発生したイオンは、プラズマ電位で加速されてウエハ等の基板に衝突し、ダメージを与える可能性がある。また、処理チャンバの内壁へイオンが照射され、チャンバの内壁材料がスパッタされると、処理すべき基板が汚染される可能性もある。プラズマによる基板へのダメージを低減させるために、プラズマから基板を遠ざけると、遠ざける距離に応じて成膜に寄与する活性種が失活する確率が高くなり、高品質な薄膜の形成が困難となる。

本発明者は、国際特許出願 P C T / J P 2 0 1 4 / 0 0 1 8 2 1 において、マイクロ波励起高密度プラズマ技術を基本とし、新規な磁場閉じ込め機能を追加することで、低温・低ダメージで成膜可能な技術を既に提案している。この技術の発展としてプラズマをさらにより一層安定的に効率良く生成可能なマイクロ波励起高密度プラズマ技術が求められている。

【 0 0 0 5 】

本発明の目的は、ミラー磁場に閉じ込めたプラズマを半導体製造プロセスに利用して低温・低ダメージで高品質な薄膜の形成を可能としつつ閉じ込め領域に閉じ込めるプラズマをより効率良く生成可能なプラズマ処理装置、プラズマ処理方法およびこれを用いた半導体製造方法を提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 6 】

本発明のプラズマ処理装置は、ミラー磁場を形成するミラー磁場形成機構と、前記ミラー磁場の一端側から他端側に向けてマイクロ波を供給するマイクロ波供給機構と、を有し、前記ミラー磁場と前記マイクロ波とによる電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成するとともに、前記ミラー磁場により所定の閉じ込め領域に当該プラズマを閉じ込めるプラズマ処理装置であって、

前記マイクロ波の供給側に形成される複数の共鳴点のうち、前記ミラー磁場の 2 つの最大磁場部間に形成される共鳴点がプラズマの生成に利用され、他の共鳴点がプラズマの生成に寄与しないか実質的に寄与しないように、プラズマ生成空間が画定されていることを特徴とする。

【 0 0 0 7 】

本発明のプラズマ処理方法は、ミラー磁場を形成するとともに、前記ミラー磁場の一端側から他端側に向けてマイクロ波を供給し、前記ミラー磁場と前記マイクロ波とによる電子サイクロトロン共鳴によりプラズマを生成するとともに、前記ミラー磁場により所定の閉じ込め領域に当該プラズマを閉じ込めるプラズマ処理方法であって、

前記マイクロ波の供給側に形成される複数の共鳴点のうち、前記ミラー磁場の 2 つの最大磁場部間に形成される共鳴点のみを実質的にプラズマの生成に利用する、ことを特徴とする。

【 0 0 0 8 】

10

20

30

40

50

本発明の半導体製造方法は、上記のプラズマ処理方法を半導体製造プロセスに用いたことを特徴としている。

尚、ミラー磁場とは、高温プラズマを閉じ込める(プラズマの閉じ込め)ための磁場配位の1つである。磁束線(または磁力線)が漏斗状に収束している領域をミラーまたは磁気鏡といい、磁場はここで強くなる。荷電粒子がミラーに近づくと、らせん運動のピッチ角が増し、90°に達するとミラーから遠ざかる。このように荷電粒子がミラーで斥力をうける現象を磁気鏡効果またはミラー効果という。ミラー磁場は、図に示すように両端で磁場を強くした紡錘形の磁場配位で、ミラー効果によって中にプラズマを閉じ込めるものである。又、本発明で扱うプラズマは、大部分が中性粒子でその一部が電離している弱電離プラズマである。プラズマ中には、イオン、電子のほか励起状態の原子、分子あるいは分子の解離によって生じた中性活性種Mなどが存在している。

次に、本発明におけるプラズマの説明で使用する主な技術用語の定義を以下にしておく。

「プラズマ生成用ガス」：プラズマを生成するのに使用されるガス。

「プロセスガス」：半導体の製造プロセスに使用されるガス。

「プラズマガス」：様々な反応を起こして、電子、イオン、ラジカル、励起種などの様々な反応生成物が生成される。それらの様々な反応生成物の生成・消滅を繰り返しながら、時間とともにプラズマ特性を変化させる。

「化学種」：物質がもつ固有の物理・化学的性質によって他の物質と識別される物質種。イオン、原子、分子、原子団(基とほぼ同じ)、元素、化合物、活性種(ラジカル)、励起種、前駆体(プリカーサー; precursor)、中間体、等を一括して言う語。

「原子団」(atomic group)：化合物の分子内で、一つの化学単位を作っている原子の集団。「基」と同義に使われることもあるが、一般にはさらに広く、化学反応の際にまとまって行動するような分子ではない原子集団すべてをいう語。

「イオン」：電子の過剰あるいは欠損により電荷を帯びた原子、または原子団。

「活性種」(active species)：反応性の高い反応中間体のことをいい、反応性の高い状態にある原子・分子やイオンなどをいう。フリーラジカルまたは遊離基ともいう。

「励起種」：分子が、高速な電子の衝突により、形態は変わらず内部のエネルギー状態が変化(高くなる：励起状態)したもの。

「前駆体」(プリカーサー; precursor)：ある化学物質について、その物質が生成する前の段階の物質のことを指す。「前駆物質」ともいう。

「中間体」：原料物質から化学反応を利用して目的の物質を生成する際に、その工程の途中で生成される化学物質。

「ラジカル」(radical)：不対電子をもつ原子や分子、あるいはイオンのことを指す。フリーラジカルまたは遊離基(ゆうりき)ということもある。

また、C2、C3、CH2など、不対電子を持たないがいわゆるオクテット則を満たさず、活性で短寿命の中間化学種一般の総称として「ラジカル(フリーラジカル)」と使う場合もある。

【発明の効果】

【0009】

本発明者は、マイクロ波の供給側に形成されるミラー磁場の複数の共鳴点のうち、ミラー磁場の2つの最大磁場部間に形成される共鳴点のみをプラズマの生成に励起に利用し、他の共鳴点においてプラズマが発生しないようにすることで、安定的かつ効率良くプラズマを生成することができることを見出した。なお、共鳴点とは、マイクロ波周波数に比例する、電子サイクロトロン共鳴する磁場強度のポイント(位置)である。これにより、ミラー磁場に閉じ込めたプラズマを利用して低温・低ダメージで高品質な薄膜の形成を可能としつつ、プラズマをより効率良く生成可能となる。その結果、プラズマCVD(Plasma-enhanced Chemical Vapor Deposition:以後、「PCVD」と記すこともある)、プラズマを使用する原子層堆積(Plasma-enhanced Atomic Layer Deposition:以後、「PALD」と記すこともある)反応性スパッタ等への応用で本発明の優位点が大いに発揮される。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明のプラズマ処理装置の一実施形態に係る成膜装置の概略を示す断面図。

【図2A】永久磁石機構30Aの正面図。

【図2B】図2AのII B - II B線に沿った断面図。

【図3】電位調整用分割リングの構成を示す平面図。

【図4】ミラー磁場およびミラー磁場に形成される共鳴点を説明する概略図。

【図5】ミラー磁場の軸線上の磁場強度の分布の一例を示すグラフ。

【図6】本発明のプラズマ処理装置が適用される、典型的なシリコンCMOSトランジスタの構造の一例を示す断面図。

10

【図7A】本発明のプラズマ処理装置の他の実施形態の概略を示す断面図。

【図7B】本発明のプラズマ処理装置のさらに他の実施形態の概略を示す断面図。

【図8】本発明のプラズマ処理装置のさらに他の実施形態の概略を示す断面図。

【図9】本発明を具現化するプラズマ処理装置の主要部を示す断面図。

【図10】図9に示す装置で使用した永久磁石機構を示す斜視図。

【図11】図9に示す装置での成膜の実施例での磁場強度を示すグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下に添付図面を参照しながら、本発明の実施形態について詳細に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略する。

20

【0012】

図1は、電子サイクロトロン共鳴(Electron Cyclotron Resonance:以後、「ECR」と記すこともある)によるプラズマ生成を用いた成膜装置1を示している。成膜装置1は、具体的には、PCVD装置である。

処理チャンバ10は、アルミニウム合金、ステンレス等の導電性材料で形成され、基準電位に接続されている。処理チャンバ10には、図示しないが、各種ガスを供給する供給装置が接続されている。処理チャンバ10の底部には、ウエハWを保持するステージ50が設けられている。また、処理チャンバ10には、図示しないが、処理チャンバ10内の雰囲気気を排気するための排気口が設けられ、この排気口に処理チャンバ10の外部に設置された図示しない真空ポンプなどの排気装置が接続される。この排気装置により、処理チャンバ10内は減圧される。

30

【0013】

処理チャンバ10の一方の側壁からは、筒状或いは方形状の中空柱状部18Aが軸線AXの方向に沿って突出しており、他方の側壁からは、筒状或いは方形状の中空柱状部18Bが軸線AXの方向に沿って突出している。中空柱状部18A,18Bの中心軸線は、水平方向に延びる軸線AXと一致している。中空柱状部18Aの外周には、第1の永久磁石機構30Aが配置され、中空柱状部18Bの外周には、第2の永久磁石機構30Bが配置されている。第1および第2の永久磁石機構30A,30Bの中心軸線は、軸線AXと一致している。第1および第2の永久磁石機構30A,30Bは、同じ構造を有し、協働してミラー磁場を形成する機構を構成している。

40

図2A,2Bに示すように、第1の永久磁石機構30Aは、環状に形成された2つの永久磁石31A,32Aからなる。永久磁石31A,32Aは、放射状に着磁され、かつ互いに異なる向きに着磁されている。永久磁石31A,32Aは、例えば、磁力の強いネオジム(Nd)磁石(Neodymium magnet)で形成されるのが好ましい。ネオジム磁石の他、フェライト磁石、サマリウムコバルト磁石、プラセオジム磁石、ネオジウム・鉄・ボロン磁石、サマリウム窒素鉄磁石、強磁性窒化鉄、白金磁石、セリウム・コバルト磁石なども装置の設計次第で使用することが出来る。

第2の永久磁石機構30Bの永久磁石31B,32Bは、軸線AX上で、永久磁石30Aと永久磁石30Bの中点を通り、軸線AXに垂直な平面において対称な寸法を持つ構造

50

をしているが、着磁方向は逆向きとなっている。

永久磁石 31A, 32A, 31B, 32B の形状は、図 2A, B に示す様に円環状であるのが磁力効果の点で最善であるが、これに限定されるものではない。形成される磁力線が、軸線 AX に垂直な面内で、実質的に同心円か、若しくは実質的に同心円に近ければ、方形形状であっても良い。方形形状の場合、六角以上の多角形状であることが望ましい。より望ましくは、八角以上であるのが好ましい。

【0014】

図 1 において、中空柱状部 18B の外側端部はプレート 19 により密閉されている。中空柱状部 18A の外側端部には、導波管 15 が接続され、中空柱状部 18A と導波管 15 との間には、減圧丙空間を形成するために、酸化アルミニウム、石英等の誘電体材料で形成されたマイクロ波 MW を透過する部材（マイクロ波透過部材）である入射窓 60 が設けられている。入射窓 60 の先端面 60a は、処理チャンバ 10 の内壁面とともにプラズマ PL が生成可能なプラズマ形成空間 SP を画定している。入射窓 60 の後端部には、フランジ 60b が形成され、フランジ 60b と中空柱状部 18B および導波管 15 との間は、リング OR1, OR2 でシールされている。

10

【0015】

中空柱状部 18A および 18B の処理チャンバ 10 側の端部には、円形の開口をもつ処理チャンバ 10 内でのプラズマ PL の存在領域を画定するためのリミッター部材 20A, 20B が設置されている。中空柱状部 18B 内には、軸線 AX を中心軸にもつ、電位調整用分割リング 40 が設けられている。電位調整用分割リング 40 は、図 3 に示すように、円盤状の電極 41、この外側に同心に配置されたリング状の電極 42 および 43 からなる。

20

【0016】

図 4 に示すように、永久磁石機構 30A, 30B によりミラー磁場 MMF が形成される。永久磁石を用いてミラー磁場 MMF を形成するとともにマイクロ波 MW を供給すると、永久磁石機構 30A の近くには、軸線 AX の方向において 3 か所に共鳴点 RP1 ~ RP3 が形成される。共鳴点は、ECR を起こす磁場強度のポイントであり、マイクロ波周波数に比例する。たとえば、マイクロ波周波数が 6 GHz の場合には、図 5 に示すように、共鳴点 RP1 ~ RP3 の磁場強度は 2071 ガウスとなる。マイクロ波周波数が 2.45 GHz の場合、共鳴点 RP1 ~ RP3 の磁場強度は 875 ガウスとなる。

30

プラズマ PL は、共鳴点を含むその付近で生成される。上記した共鳴点 RP1 ~ RP3 が減圧雰囲気にあるプラズマ生成空間 SP 内にあると、すべての共鳴点 RP1 ~ RP3 付近でプラズマ PL が生成される。生成されたプラズマ PL 中の荷電粒子（ここでは電子）は、ミラー磁場 MMF の磁力線 MFL に拘束されるが、磁力線 MFL の方向には自由に運動できる。磁力線 MFL に沿って運動するプラズマ PL を構成する電子は、いわゆる磁気ミラー効果により 2 つの最大磁場部 M1A, M1B の間でバウンス運動をすることで、2 つの最大磁場部 M1A, M1B の間に閉じ込められる。

【0017】

ここで、本発明者は、共鳴点 RP1 ~ RP3 のうち、共鳴点 RP1 のみ、すなわち、図 5 に示すミラー磁場の 2 つの最大磁場部 M1A, M1B 間に形成される共鳴点 RP1 のみをプラズマの生成に利用し、他の共鳴点 RP2 および RP3 はプラズマの生成に寄与しないようにすることで、2 つの最大磁場部 M1A, M1B 間に形成される閉じ込め領域に閉じ込めるプラズマをより効率良く生成可能であることを見出した。なお、共鳴点 RP2 および RP3 がプラズマ生成に寄与しないとは、実質的に寄与しないという意味も含む。即ち、共鳴点 RP2 および RP3 がプラズマを生成するのにわずかでも寄与したとしても全体としてはほとんど無視できる程度の場合も含む。

40

具体的には、図 1 に示すように、共鳴点 RP1 のみをプラズマ生成空間 SP 内に配置し、他の共鳴点 RP2 および RP3 を入射窓 60 中に位置させる。共鳴点 RP2 および RP3 は、入射窓 60 中にあるので、共鳴点 RP2 および RP3 ではプラズマ形成がされないため無駄なプラズマを形成することはない。

50

【 0 0 1 8 】

そして、図 1 に示すように、閉じ込め領域 P C R から中性のラジカルが処理すべきウエハ W に選択的に到達するように、ウエハ W を閉じ込め領域 P C R に対向させて配置する。ウエハ W の表面と閉じ込め領域 P C R の外延（最大外周位置）との距離 L が、プラズマ P L 中の荷電粒子が閉じ込め領域 P C R に閉じ込められた状態で、閉じ込め領域 P C R から中性のラジカルのみが活性を失うことなく処理すべきウエハ W に到達するように設定される。これにより、プラズマからのウエハ W へのイオン照射を大幅に減らしつつ、ウエハ W への中性の活性種の照射を最大化することが可能となる。

【 0 0 1 9 】

リミッター部材 2 0 A , 2 0 B の役割について説明する。上記した閉じ込め領域 P C R の外延の位置が不確定であると、ウエハ W に荷電粒子が入射する可能性がある。荷電粒子は磁力線に拘束されることから、プラズマの存在空間（閉じ込め領域 P C R ）の外延は、リミッター部材 2 0 A , 2 0 B の開口の縁部の位置で画定される。すなわち、リミッター部材 2 0 A , 2 0 B を設置することで、閉じ込め領域 P C R の外延をより精密にコントロールすることができる。リミッター部材 2 0 A , 2 0 B の形成材料は、特に限定されないが、プラズマ生成室 1 7 A で生成されたプラズマがリミッター部材 2 0 A , 2 0 B に衝突し、リミッター部材 2 0 A , 2 0 B の形成材料がスパッタされ、このスパッタされた材料がウエハ W に付着する可能性もある。このため、リミッター部材 2 0 A , 2 0 B は、スパッタされない材料で形成するか、スパッタされたとしても、処理すべき基体であるウエハ W、または成膜する薄膜の特性に影響を与えない材料（ A ）で形成するのが望ましい。また、リミッター部材 2 0 A , 2 0 B の表面を例えば、前記材料（ A ）コーティングしてもよい。

同様に、中空柱状部 1 8 A , 1 8 B の内壁面もプラズマが衝突して中空柱状部 1 8 A , 1 8 B の形成材料がスパッタされ、このスパッタされた材料がウエハ W または成膜される薄膜に付着する可能性もある。このため、中空柱状部 1 8 A , 1 8 B の形成材料またはコーティング材料を前記材料（ A ）で形成するのが望ましい。

【 0 0 2 0 】

電位調整用分割リング 4 0 の役割について説明する。ミラー磁場でプラズマを閉じ込めると、軸線 A X を中心とする径方向（軸線 A X に直交する方向）に電位勾配が形成され、閉じ込め領域 P C R に閉じ込められたプラズマ P L が径方向に拡散しやすくなることが知られている。このため、例えば、電位調整用分割リング 4 0 の中心部に位置する電極 4 1 をマイナスの電位に、電極 4 2 を基準電位に、最外周に配置された電極 4 3 をプラスの電位に接続する。これにより、閉じ込め領域 P C R に閉じ込められたプラズマ P L に生じる径方向の電位勾配と逆向きの電位勾配を与え、閉じ込め領域 P C R に閉じ込められたプラズマ P L の電位分布を平坦化する。これにより、プラズマ P L が径方向に拡散することを抑制できて、ウエハ W の荷電粒子によるダメージの発生をより一層抑制できる。

【 0 0 2 1 】

適用例 1

本実施形態の装置を図 6 に示す典型的なシリコン C M O S トランジスタにおける、シリコン窒化膜のサイドウォール形成工程に適用した。図 6 において、5 1 0 は W / T i N 電極、5 2 0 はシリコン窒化膜サイドウォール、5 3 0 はシリサイド、5 4 0 はソースドレインエクステンション層、および、5 5 0 はポリシリコンゲートを示している。

シランガス、アンモニアガスを流してプラズマを生成し、基板温度 400 にて形成し、ソースドレインのコンタクト電極形成プロセスにセルフアラインコンタクト工程に用いるシリコン窒化膜を形成した。得られたシリコン窒化膜は従来法に比べ格段に優れた膜品質を有していた。

【 0 0 2 2 】

ここで、上記工程におけるシリコン窒化膜において、その高品質化が要請される理由について説明する。

デバイス寸法の微細化の要請からコンタクト電極構造にセルフアラインコンタクトを導

10

20

30

40

50

入するためにゲート電極側壁のゲートスペーサーに高品質なシリコン窒化膜を導入することが必須となる。このシリコン窒化膜はデバイスの高性能化に伴い、その高品質化・低温成膜化が強く要求されている。デバイスの微細化・高性能化を行うためには、シリサイドや High-k/メタルゲート技術等の様々な技術が導入されており、高温にしてしまうとどうしても特性が劣化してしまうからである。前述したセルフアラインコンタクトプロセスでは、コンタクトホール形成の際のシリコン酸化膜系の絶縁膜エッチングの際のストップ膜に使われている。このシリコン窒化膜の形成温度を下げると、結合の弱い品質の悪い膜になってしまい、ストッパーの役割を果たせなくなり、微細加工が不可能となってしまう。

また、成膜後のプロセス工程で多用されるフッ酸洗浄等のウェット洗浄工程でエッチングされないようにしなくてはならない。故に、シリコン窒化膜の成膜温度の低減と高品質薄膜形成の両立が必須である。これを実現するには、成膜材料ガスを活性化させるプラズマを用いた P C V D を用いることが有効である。

現在では、大口径ウェーハプロセスにおいても P C V D 技術、もしくは P A L D 技術が用いられており、膜質向上の研究開発が続いている。本実施形態に係るプラズマ C V D 装置は、上記のような要求に応え、プロセスマージンを広げ、歩留まりの向上にも貢献するものである。

【 0 0 2 3 】

さらに、本実施形態に係る装置の他の観点からのメリットについて説明する。

近年、電子機器の高機能化と消費者のニーズの多様化に対応した多品種少量生産プロセスの半導体デバイス生産システム（ミニマルファブシステム）が提案され、低コスト装置から構成される革新的デバイス製造プロセスとして大いに期待されている。現在まで、半導体 I C の基本技術となるシリコン C M O S 回路を作製するためのミニマルファブ装置及びプロセスが開発されている。ミニマルファブ装置においても、高品質な薄膜形成が可能なプラズマ C V D 装置の実現が強く求められる。

本実施形態では、拡散しやすいプラズマを磁場により狭い領域に閉じ込めるため、装置の小型化に適している。加えて、また、高い磁場強度のミラー磁場を形成するために永久磁石を用いるため、電磁石等を用いる場合と比較して装置の小型化が容易である。このことから、本実施形態によれば、ミニマルファブシステムにおける C M O S 回路のさらなる微細化・高性能化に必須となる、ミニマル化されたシリコン窒化膜形成用プラズマ C V D 装置を実現することができる。

【 0 0 2 4 】

本実施形態に係る装置は、高品質シリコン窒化膜形成のみならず、酸化物形成にも適用可能であり、今後のさらなるシリコンデバイスの高性能化に必須である H i g h - k （高誘電率）ゲート絶縁膜形成、メタルゲート形成や、C M O S イメージセンサ分野で要求される高容量密度キャパシタ形成、さらには G a N パワーデバイスの高品質パッシベーション膜形成等、その応用範囲は非常に広いと考えられる。

【 0 0 2 5 】

変形例

図 7 A に変形例を示す。図 7 A において、共鳴点 R P 1 のみがプラズマ生成空間 S P 内に配置され、中間の共鳴点 R P 2 は誘電体からなる透過窓 1 6 0 に位置し、最も外側の共鳴点 R P 3 を大気側に位置するようにした。また、外側の永久磁石 3 2 A の内径を、内側の永久磁石 3 1 の内径よりも拡大させて、リング O R 1 , O R 2 を設けるフランジの場所を確保した。共鳴点 R P 3 は、大気中にあるので、強いマイクロ波に晒されたとしても、プラズマは励起されない。また、共鳴点 R P 3 を大気中に配置することで、誘電体からなる透過窓 1 6 0 を小型化できる。

【 0 0 2 6 】

図 7 B に他の変形例を示す。図 7 B において、共鳴点 R P 1 のみがプラズマ生成空間 S P 内に配置され、中間の共鳴点 R P 2 は誘電体からなる透過窓 2 6 0 に位置し、最も外側の共鳴点 R P 3 を大気側に位置するようにした。また、リングを用いてシールする代わ

10

20

30

40

50

りに、ロウ付け300によりシールする構成としている。この構成によれば、リングOR1, OR2を設けるフランジの場所が不要になるとともに、誘電体からなる透過窓260をさらに小型化できる。

ミラー磁場形成機構としてこれまでの説明では、永久磁石を使用することで本発明の適用がミニマルハブなど用の超小型のプラズマ処理装置に最適であること中心に述べてきたが、本発明の趣旨からすれば、これまでの記載に限定されるものではない。以下にその好適な例の一つを説明する。

【0027】

図8に、さらに他の変形例を示す。

図8において、ミラー磁場形成機構は、軸線AX上において離隔して配置された電流コイル130A, 130Bで構成される。第1および第2の電流コイル130A, 130Bを用いた場合、電流コイル130Aの近くに2つの共鳴点RP1, RP2が形成される。共鳴点RP1のみをプラズマ生成空間SP内に配置し、他の共鳴点RP2を入射窓60上に位置させる。共鳴点RP2は、減圧雰囲気下にないので、共鳴点RP2付近で無駄なプラズマが形成されず、閉じ込め領域PCRに閉じ込めるプラズマPLをより効率良く生成可能となる。

本発明の適用が大型装置の場合は、この例のようにミラー磁場形成機構を電流コイルで構成することが出来る。

【0028】

適用例2

図9乃至図11を参照しながら高品質の窒化シリコン膜を作成した例を説明する。

図9、10は、本適用例で作成された超小型のPCVD装置の主要部を説明するための図である。

図9は、プラズマ処理部の断面図である。PCVD装置900は、基本的には図1に示す装置1と同様の機構を有する。

ミラー磁場形成機構300Aは、永久磁石310A, 320Aを備えている。

ミラー磁場形成機構300Bは、永久磁石310B, 320Bを備えている。

ミラー磁場形成機構300Aは、図10に模式的に示すように、その構成要素である永久磁石(320A1乃至320A8)は、台柱状の形状をしており、取り付け部材901Aに嵌合付設されている。8個の永久磁石(320A1乃至320A8)が取り付け部材901Aに取り付けられて形成される中空部の断面は八角形をしている。

永久磁石310A, 320Aは、放射状に着磁され、かつ互いに異なる向きに着磁されている。

以上の点は、ミラー磁場形成機構300Bも同様である。

ミラー磁場形成機構300A、300Bは、同形状、同寸法に設計されている。

【0029】

図11に、以下の成膜時の磁場強度を示す。横軸は、軸上の位置であり、「0」の位置は、中心位置線CLの位置である。縦軸は、各位置での磁場強度を示す。

図中のPR1は、ECRの位置で、軸上中心から29mmであった。その磁場強度は、2090ガウスであった。最大磁場強度は、4340ガウス、最小磁場強度は、850ガウスであった。ミラー比は、5.1であった。

チャンバ内のプラズマ形成空間を所定の真空度に減圧した状態で、チャンバ内に設置したステージ500に、ハーフインチのシリコンウエハ(直径12.5mm)を設置した。

ステージ500に設置されたウエハはステージ500に設けたヒーター(不図示)により、300℃に加熱保温された。

プラズマ形成空間を含むチャンバ内の空間に、Ar:2sccm(cc/分)、SiH₄:0.2sccm、N₂:4sccm、H₂:1sccmの条件で各ガスを流し、前記空間の圧力を8mTorrに維持した。

5.8GHz、30Wのマイクロ波を投入し、プラズマを形成して上記ウエハ上にSi₃N₄膜を3分間で30nm厚に形成した。

【0030】

上記のようにして成膜した Si_3N_4 膜の品質を、0.5%のフッ酸のエッチングレートで評価した。

エッチングレートは、従来技術の減圧CVDで710 で成膜した膜、及び従来技術のマイクロ波励起高密度プラズマによるプラズマCVDで400 で成膜した膜、および上記の本発明技術により形成した膜について評価した。

エッチングレートは、減圧CVDの膜では0.4nm/min、従来技術のプラズマCVDの膜では0.4nm/min、本発明の膜では0.3nm/minであった。

本発明の膜は、一番低温（300 ）で形成したにもかかわらず、一番エッチングレートが小さく高品質な膜であることが示された。

【0031】

以上、添付図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明したが、本発明はかかる例に限定されない。本発明の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

【符号の説明】

【0032】

- 1 成膜装置
- 10 処理チャンバ
- 15 導波管
- 16 入射窓
- 17A, 170A プラズマ生成室
- 18A, 18B 中空柱状部
- 20A, 20B、200A, 200B リミッター部材
- 30A, 30B、300A, 300B 永久磁石機構（ミラー磁場形成機構）
- 31A, 31B, 32A, 32B, 310A, 310B, 320A, 320B 永久磁石
- 40 電位調整用分割リング
- 41, 42, 43 電極
- 50、500 ステージ
- 130A, 130B 電流コイル（ミラー磁場形成機構）
- 510 W/TiN電極
- 520 シリコン窒化膜サイドウォール
- 530 シリサイド
- 540 ソースドレインエクステンション層
- 550 ポリシリコンゲート
- 900 PCVD装置
- 901A, 901B 取り付け部材
- M1A, M1B 最大磁場部
- M2 中間部
- RP1～RP3 共鳴点
- PCR 閉じ込め領域
- MFL 磁力線
- MMF ミラー磁場
- PL プラズマ
- W ウエハ（基体）

10

20

30

40

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2016/064790
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H05H1/46(2006.01)i, C23C16/511(2006.01)i, H01L21/31(2006.01)i, H01L21/8238(2006.01)i, H01L27/092(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H05H1/46, C23C16/511, H01L21/31, H01L21/8238, H01L27/092 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 1-238020 A (Hitachi, Ltd.), 22 September 1989 (22.09.1989), page 4, upper left column, line 12 to upper right column, line 2; fig. 3 (Family: none)	1-8
Y	JP 2000-277492 A (Hitachi, Ltd.), 06 October 2000 (06.10.2000), paragraphs [0019] to [0038]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-8
Y	JP 2000-174009 A (Hitachi, Ltd.), 23 June 2000 (23.06.2000), paragraphs [0007] to [0031]; fig. 1 to 7 (Family: none)	1-8
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 12 July 2016 (12.07.16)		Date of mailing of the international search report 19 July 2016 (19.07.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/064790

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 63-213344 A (Hitachi, Ltd.), 06 September 1988 (06.09.1988), page 4, lower left column, line 19 to page 5, lower left column, line 2; fig. 1 to 2 & US 4876983 A 6th row, line 16 to 7th row, line 38; fig. 7 to 8 & US 5433788 A & EP 275965 A2 & DE 3853890 C & DE 3853890 D & KR 10-1996-0015609 B	1-8
Y	JP 2006-49020 A (Japan Atomic Energy Research Institute), 16 February 2006 (16.02.2006), paragraphs [0026] to [0034]; fig. 1 to 4 (Family: none)	3,6
Y	Masaaki INUTAKE, "Comparison of density and magnetic field fluctuation radial direction distribution by microwave reflectometer and probe measurement", Heisei 7 Nen ~ 8 Nendo Kagaku Kenkyuho Hojokin (Kiban Kenkyu (B)(2)) Kenkyu Seika Hokokusho, Japan Society for the Promotion of Science, 1997.03, pages 1 to 73	6

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 6 / 0 6 4 7 9 0	
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H05H1/46(2006.01)i, C23C16/511(2006.01)i, H01L21/31(2006.01)i, H01L21/8238(2006.01)i, H01L27/092(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. H05H1/46, C23C16/511, H01L21/31, H01L21/8238, H01L27/092			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2016年 日本国実用新案登録公報 1996-2016年 日本国登録実用新案公報 1994-2016年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
Y	JP 1-238020 A (株式会社日立製作所) 1989.09.22, 第4頁左上欄第12行目-右上欄第2行目および第3 図 (ファミリーなし)	1-8	
Y	JP 2000-277492 A (株式会社日立製作所) 2000.10.06, 第【0019】-【0038】段落および第1-4図 (ファミリーなし)	1-8	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願			
の日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 12.07.2016		国際調査報告の発送日 19.07.2016	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 藤本 加代子	21 4458
		電話番号 03-3581-1101 内線 3273	

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JP2016/064790
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2000-174009 A (株式会社日立製作所) 2000.06.23, 第【0007】 - 【0031】段落および第1 - 7図 (ファミリーなし)	1 - 8
Y	JP 63-213344 A (株式会社日立製作所) 1988.09.06, 第4頁左下欄第19行目 - 第5頁左下欄第2行目および第1 - 2図 & US 4876983 A, 第6列第16行目 - 第7列第38行目および第7 - 8図 & US 5433788 A & EP 275965 A2 & DE 3853890 C & DE 3853890 D & KR 10-1996-0015609 B	1 - 8
Y	JP 2006-49020 A (日本原子力研究所) 2006.02.16, 第【0026】 - 【0034】段落および第1 - 4図 (ファミリーなし)	3、6
Y	犬竹 正明, マイクロ波反射計とプローブ計測による密度および磁場揺動径方向分布の比較, 平成7年~8年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))研究成果報告書, 独立行政法人 日本学術振興会, 1997.03, 第1 - 73頁	6

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

Fターム(参考) 2G084 AA04 AA05 BB01 BB02 BB05 BB11 BB28 BB35 CC04 CC15
 CC33 DD04 DD37 DD44 DD62 DD64 DD66 FF01 FF04 FF22
 FF26 FF28 FF29 FF38 FF39
 4K030 AA06 AA13 BA40 CA04 CA12 FA02 GA01 HA08 JA10 KA30
 KA34 KA45 LA15
 5F045 AA09 AA10 AA15 AB31 AB33 AD07 AE15 DP02 EH17
 5F058 BC08 BF09 BJ03 BJ07

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。