

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第3部門第4区分

【発行日】平成17年2月10日(2005.2.10)

【公表番号】特表2000-514136(P2000-514136A)

【公表日】平成12年10月24日(2000.10.24)

【出願番号】特願平10-504108

【国際特許分類第7版】

C 2 3 C 16/50

H 0 1 J 37/32

H 0 1 L 21/205

【F I】

C 2 3 C 16/50 B

H 0 1 J 37/32

H 0 1 L 21/205

【誤訳訂正書】

【提出日】平成16年6月2日(2004.6.2)

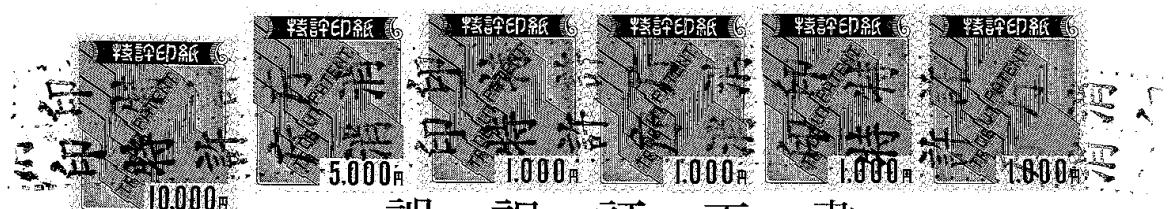
【誤訳訂正1】

【訂正対象書類名】明細書

【訂正対象項目名】補正の内容のとおり

【訂正方法】変更

【訂正の内容】



## 誤訳訂正書

(19,000円)



平成16年 6月 2日

特許庁長官殿

### 1. 事件の表示

特願平10-504108号

### 2. 特許出願人

住所 アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94538-6470  
フレモント、クッシング パークウェイ 4650  
氏名 ラム リサーチ コーポレイション

### 3. 代理人

〒102-0094  
東京都千代田区紀尾井町3番6号  
秀和紀尾井町パークビル7F  
TEL 03(5276)3241(代表)  
FAX 03(5276)3242(代表)

(7642) 弁理士 大塚 康徳  
連絡先 担当 大塚 康徳



### 4. 訂正の対象

明細書全文

### 5. 訂正の内容

別紙の通り



## 6. 訂正の理由

### (訂正の理由 1)

訂正前明細書第1頁第2行目等

訂正前「化学蒸着」とあるのを「化学気相成長」と訂正いたしました。「LSIハンドブック、1984年、電気通信学会編、オーム社、p. 791」によれば、「CVD」は「化学気相成長法」と記載されていますので、この記載に従って訂正致しました。他の箇所においても、明細書第1頁第2行目と同様の理由で訂正致しました。

### (訂正の理由 2)

訂正前明細書第1頁第12行目～第13行目

訂正前「フィールド」とあるのを「電界」と訂正いたしました。「LSIハンドブック、1984年、電気通信学会編、オーム社、p. 796」によれば、「field limiting ring」は「電界緩和リング」と記載されていますので、この記載に従って訂正致しました。

### (訂正の理由 3)

訂正前明細書第6頁第22行目等

訂正前「急角度」とあるのを「銳角」と訂正いたしました。これは、原文第6頁第22行目に記載の「acute angle」に対応するものです。「ジーニアス英和辞典、2001年、小西友七等編、大修館書店、p. 21」によれば、「an acute angle」は「銳角」と記載されていますので、この記載に従って訂正致しました。他の箇所においても、明細書第6頁第22行目と同様の理由で訂正致しました。

### (訂正の理由 4)

訂正前請求項16（訂正後請求項10）

訂正前「プラズマ位相反応する」との記載を「プラズマ状態で反応する」と訂正いたしました。これは、原文第18頁第20行目に記載の「plasma phase reacted with」に対応するものです。「ジーニアス英和辞典、2001年、小西友七等編、大修館書店、p.p. 1393～1394」によれば、「phase」は「(変化する物・状態の) 1つの姿(相); 相(気相、液相、固相など)」と記載されています。したがいまして、「plasma phase」は、物質の第4の状態としてのプラズマ状態を意味しており、これに従って訂正致しました。

### (訂正の理由 5)

訂正前第1頁第29行目

訂正前「蒸着」との記載を「堆積」と訂正いたしました。これは、原文第1頁第27行目に「deposition」と記載があり、明細書中に「堆積」と「蒸着」が混在しているため、「堆積」に統一すべく訂正致しました。他の箇所においても、明細書第1頁第29行目と同様の理由で訂正致しました。

(訂正の理由 6)

訂正前第2頁第6行目

訂正前「注入量」との記載を「ポンプの排出能力」と訂正いたしました。これは、原文第2頁第10行目に「pumping capacity」と記載があり、これに基づいて訂正致しました。

(訂正の理由 7)

訂正前第4頁第22行目

訂正前「含む」との記載を「囲む」と訂正いたしました。これは、原文第5頁第5行目に記載の「enclosing」に対応するものです。「ジーニアス英和辞典、2001年、小西友七等編、大修館書店、p. 602」によれば、「enclose」は「を囲む」と記載されていますので、この記載に従って訂正致しました。

(訂正の理由 8)

訂正前第6頁第15行目

訂正前「基盤」との記載を「基板」と訂正いたしました。これは、原文第6頁第31行目に記載の「substrate」に対応するものです。訂正前第6頁第15行目に「基板外縁付近」と記載していますので、この記載と統一すべく訂正致しました。

## 明細書

## 発明の名称

高密度プラズマ化学気相成長装置および方法

## 技術分野

本発明は、高密度プラズマ化学気相成長反応装置において反応物質を基板に供給するシステム及び方法に関するものであり、特に本発明は、高密度プラズマ化学気相成長反応装置内で基板を処理する際、ガス注入系を介して反応物質を集中的に基板に向けて供給するとともに、ガス注入機器を熱制御するためのシステム及び方法に関するものである。

## 背景技術

真空処理チャンバは、処理ガスを真空チャンバに供給し、そのガスに高周波電界を印加することによって基板上に原料を化学気相成長（CVD）する際に一般的に用いられる。集積回路処理のためのガス分配システムが数多く知られているが、大多数の公知システムはプラズマエッチング、あるいはプラズマCVD（PECVD）用に設計されている。従来のガス分配システムでは、典型的には、反応物質を比較的低い流量で供給する。基板上に均一に分配されるよう、シャワーヘッド式ガス注入系及び拡散搬送系が共通して用いられている。

こういった公知システムでは、例えば密封処理や誘電性物質による金属間ギャップ充填処理といった、高密度プラズマ化学気相成長（HDP CVD）処理のための最適化が行われていない。シランやシラン基物質、例えばSiH<sub>3</sub>、SiH<sub>2</sub>、SiH等は高い粘着係数を持つため、HDP CVDでは、シラン族等の反応物質を基板上へ集中的に供給することが重要である。シランを基板上に優先的に導くことにより、基板の堆積速度が最大限に増し、反応装置内の様々な表面への成膜が最小限に抑えられるため効果的である。

HDP CVDにおいてシランを効果的に利用するには、反応ガスを基板上のすぐ近くから、高流量でしかも均一に供給する必要があり、そうすることで均一で品質の高い膜を高

速度で堆積することができる。シャワーヘッドシステムを基板の近くに設置すると、プラズマ内のイオン拡散範囲を制限してプラズマと堆積の均一性を損なう恐れがあるため、理想的ではない。拡散システムは、処理中の基板以外の表面に反応物質を堆積させるため、H D P C V D に適していない。基板以外の表面への堆積は、反応ガスを非効率的に使用することとなり、所望の堆積速度と基板処理量を達成するのにより高い流量が必要になる。より高い流量の反応ガスを用いることは、余分なガスを必要とし、処理チャンバ内を低圧に維持するためにポンプの排出能力を増加させる必要があるためコストがかかる。更に、チャンバ内における基板以外の表面への堆積は、膜とチャンバ内側表面の膨張差による微粒子の問題（剥離）につながり、壁の状態が変わることにより処理が変化してしまう。その結果、チャンバ内の堆積物を取り除くためにチャンバを頻繁にクリーニングすることになるため、さらに基板の処理量が低下することになる。

ガス注入口からプラズマ処理チャンバにガスを供給する、プラズマエッチングシステムが提案されている。図 1 に示すように、このシステムは、チャンバ 140 内でプラズマを発生させるプラズマ源 110 と、基板支持体 130 上の基板 120 を処理するために処理ガスを処理チャンバ 140 に供給するガス注入口が連結したガスリング 167 によって構成されている。このようなシステムはさらにガスリング 160 を含んでもよい。従来は、処理ガスを基板 120 上に集中させることによって、こういったシステムにおける堆積速度を高めていた。典型的には、ガスリング 167 から基板 120 までの距離を変えることによって行われていた。処理ガスが基板中心の上方領域に集中すればするほど、最高堆積速度は速くなる。残念なことに、基板の中心付近に処理ガスを集中させる際、基板の外側の堆積速度は中心ほど上がらない可能性があり、堆積均一性を低下させる恐れがある。

従って、H D P C V D のために最適化された、堆積速度と堆積均一性を向上させるためのガス分配システムが必要性とされる。

## 発明の開示

本発明は、均一で高流量の反応ガスを優先的に基板表面上に集中して供給するH D P C V D 用ガス供給システムを提供し、これにより基板上の堆積速度を最大にし、チャンバ内におけるクリーニングの必要性を最小限に抑えることを目的とする。また本発明の他の目的は、チャンバ内側表面の剥離を最小限に抑え、注入機器内の熱分解に起因する粒子形成

を最小限にすることでチャンバ内の粒子数を減らすために、ガス注入機器を熱制御することである。また、さらに本発明の他の目的は、従来のガス供給システムよりも、堆積速度と堆積均一性と向上させることである。

本発明の一態様によれば、基板を処理するプラズマ処理システムを提供する。このプラズマ処理システムは、プラズマ処理チャンバと、前記処理チャンバ内で基板を支持する基板支持体と、前記基板支持体に対向する内側表面を有し、前記処理チャンバ壁を形成する誘電体と、処理ガス（一種類以上の反応ガス及び／又は一種類以上の不活性ガス等）を前記チャンバ内そして基板に向けて供給するためのガス供給手段と、前記誘電体を通じてチャンバ内にRFエネルギーを誘導結合させ、前記処理ガスをプラズマ状態に励起するRFエネルギー源とを有することを特徴とする。前記ガス供給手段は、注入器を含む、あるいは含まない、一以上のガスリングを有し、前記注入器は、少なくとも多少の処理ガスが前記基板の露出表面に交差するように、ガスを処理チャンバ内に注入する。処理中に前記ガス供給手段を冷却するための冷却機構を設けて、ガスリング表面の膜の剥離を最小限に抑え、処理ガスの熱分解を引き起こす恐れのある過熱を防ぐようにしてよい。

また、本発明の他の態様によれば、基板を処理する方法を提供する。この方法は、誘電体の内側表面が処理チャンバ壁を形成し、且つ基板支持体に対向した処理チャンバ内の基板支持体上に基板を配置する工程と、前記処理チャンバに処理ガスを供給する工程と、前記誘電体を通じてチャンバ内にRFエネルギーを誘導結合させることによって、前記処理ガスをプラズマ状態に励起する工程とを含む。基板をプラズマガスに接触させることにより、処理チャンバ内で基板が連続的に処理されるようにしてよい。少なくとも多少の処理ガスが基板に向けて供給されるように、処理ガスをチャンバ内に注入してもよい。更に、剥離を最小限にし過熱を防ぐため、ガス供給機器を処理中冷却するようにしてよい。

#### 図面の簡単な説明

図1は従来のプラズマ処理システムを示す図である。

図2a、図2bは本発明の第一実施例に係るプラズマ処理システムを示す図である。

図3a、図3bは、それぞれ図2a、図2bに示すプラズマ処理システムにおいて、注入器の放射状の配置と注入方向とを変更することによって得られる効果を示す実験データである。

図4は、本発明に係るプラズマ処理システムに流れ込む典型的なガス流線を示した図である。

図5は本発明に係る基板上に向けて噴射されたガスの典型的な流れ方向を質的に示した図である。

図6は本発明の第二実施例に係るプラズマ処理システムを示す図である。

図7は本発明の第三実施例に係るプラズマ処理システムを示す図である。

図8a-図8dは、本発明に係るプラズマ処理システムに用いられる典型的な注入器の詳細図である。

図9a-図9c及び図10a-図10cは、本発明に係る典型的な注入器とガスリングの詳細図である。

図11は本発明に係る典型的な注入器の詳細図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

図2a、図2bは本発明の第一実施例に係るプラズマ処理システムを示す。図2a、図2bにおいて、基板120を処理するプラズマ処理システムは、基板支持体130と基板支持体を囲む処理チャンバ140によって構成されている。基板120としては、例えば、直径4インチ、6インチ、8インチ、12インチの半導体ウェハー、フラットパネル表示装置用のガラス基板等がある。基板支持体130は、例えば高周波(RF)バイアスされた電極を含んでもよい。基板支持体130は処理チャンバ140の底壁から支持してもよいし、処理チャンバ140の側壁から伸びた片持ち梁により支持しても良い。基板120は機械的または静電的に電極130に固定するのがよい。処理チャンバ140として、例えば真空チャンバを採用するのがよい。

処理対象である基板は処理チャンバ140に挿入される。処理チャンバ内において、処理ガスを高密度プラズマ状態に励起することにより基板が処理される。エネルギー源はチャンバ内の高密度の(例えば $10^{11} \sim 10^{12}$  ions/cm<sup>3</sup>) プラズマを維持する。例えば、図2a、図2bに示す平面型マルチターンコイルのようなアンテナ150、あるいは非平面型マルチターンコイル、あるいは適切な高周波(RF)ソース及び適切な高周波(RF)インピーダンス整合回路から電力供給された他の形をしたアンテナが、高周波(RF)エネルギーをチャンバ内に誘導結合させて高密度プラズマを与える。しかし、プラズ

マは例えばE C R、平行平板、ヘリコン、ヘリカル共鳴器等の他のソースによって発生させることもできる。チャンバ内を所望の圧力（例えば、5 Torr未満、好ましくは1～100mTorr）に維持するため、適切な真空ポンプをチャンバに設けてよい。アンテナ150と処理チャンバ140内部との間には、図2a及び図2bに示すように均一の厚みをもった平面型誘電体窓155のような誘電体窓、または非平面型誘電体窓が設けられており、処理チャンバ140上部に真空壁を形成している。

処理ガスをチャンバに供給するガス供給部は、誘電体窓155の下に設けられた第一ガスリング170を含む。このガスリング170は、基板の上に位置するチャンバハウジングに機械的に取り付けられる。ガスリング170は、例えばアルミニウム又は陽極酸化したアルミニウムで形成される。

また、ガス供給部は、誘電体窓155の下に設けられた第二ガスリング160を含む。処理ガスは、ArやO<sub>2</sub>のような一種類以上のガスを含み、第二ガスリング160の穴を通してチャンバ140に供給される。第二ガスリング160としては、適切なものであればどのようなガスリングを用いてよい。第二ガスリング160は、図2aに示すように、アルミニウムまたは陽極酸化したアルミニウムで形成された任意の仕切り165を隔ててガスリング170の上に配置される。あるいは、図示されていないが、第二ガスリング160を、ガスリング170の下の、ガスリング170と基板120との間に配置してもよい。あるいは、図2bに示すように、ArとO<sub>2</sub>をチャンバ床につなげたガスリング162の穴から供給するようにして、仕切り165で誘電体窓155と第一ガスリング170とを分離してもよい。

ガス供給部は、例えばSiH<sub>4</sub>等の処理ガスあるいはSiF<sub>4</sub>やTEOS等のシリコン含有関連ガスと言った処理ガスの少なくともいくらかを基板120に導く為に、第一ガスリング170に連結した複数の着脱可能な注入器180を更に含んでもよい。これらのガスは、注入器180から注入口187を通じて基板に供給される。さらに、反応ガスを第一ガスリング170の穴を通じて供給してもよい。この注入器は、アルミニウム、陽極酸化したアルミニウム、石英、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のようなセラミックス等の適当な物質で形成すればよい。図2aと図2bでは注入器が2つ示されているが、注入器はいくつ用いてよい。例えば、注入器を第一ガスリング170の各穴に接続してもよい。200mmの基板に対し、8から32個の注入器を直径200mmから210mmのガスリング170に用いるのが

好ましい。

注入器180は基板120の平面の上方に位置しており、その注入口は基板から適切な距離、例えば3センチメートルから10センチメートル離れて設置される。好適な実施形態によれば、注入器は基板の内側や、基板外縁付近または基板外縁から例えば0から5センチメートル外側に離れて設置される。これにより、粒子の断片が注入器から基板上に剥がれ落ちて、基板を汚すことがなくなる。注入器は全て同じ長さでよいし、あるいは堆積速度と均一性を高めるために異なる長さのものを組み合わせてもよい。注入器の向きは、少なくとも注入器の何本かが基板の露出表面に交差する方向に処理ガスを注入するように配置されている。

基板への処理ガス供給を主に拡散に頼っている従来のガス注入系の設計に対し、本発明の一実施例に係る注入器は、基板の露出表面に鋭角をなして交差する方向に処理ガスを注入するよう配置されている。注入角度又は注入軸は、基板の水平面から約15度から90度未満の範囲がよく、好ましくは15度から45度である。図11に示すように、注入角度又は注入軸は、注入器の軸に沿っていてもよいし、あるいは注入器の軸に対し90度の角度まで傾けててもよい。注入器の注入口の直径は0.010から0.060インチの範囲がよく、好ましくは0.020から0.040インチがよい。注入器180の中空コア部には、注入口187の直径の約2倍の大きさに穴をあけ、音波流が注入器の中核部でなく、確実に注入口で起るようにしてよい。SiH<sub>4</sub>の流量は200mmの基板では25～300sccmが好ましいが、より大きい基板の場合はこれより多い量でよい。

注入口が狭く、注入器が少なく、SiH<sub>4</sub>の流量が多い為に、ガスリング170とチャンバ内部との間に高い差圧が生じる。例えば、ガスリングにおける圧力が1Torrより大きく、チャンバ内部の圧力が約10mTorrの時、差圧は約100:1となる。これにより、注入器の注入口で音波流が詰まってしまう。注入出口で超音波流を与えるよう、注入器内側にも穴を設けてよい。

SiH<sub>4</sub>を音速で注入すると、プラズマが注入器に入り込むのを抑制することになる。この設計により、プラズマ誘導により引き起こされるSiH<sub>4</sub>の分解を防ぎ、これにより、ガスリング内や注入器の延長管内でアモルファスシリコン残留物が形成されるのを防ぐ。

本実施形態では、処理中にチャンバ壁とガスリングの温度を好ましくは約100°C未満に抑えるために、対流冷却と放射冷却とを組み合わせて用いても良い。又は、好ましく

は $-20^{\circ}\text{C}$ から $100^{\circ}\text{C}$ の流体をチャンバ内に循環させて、チャンバ壁とガスリングの温度をコントロールしてもよい。ガスリングの温度は通常 $100^{\circ}\text{C}$ 未満に維持されているものであるので、ガスリング内では $\text{SiH}_4$ の熱分解は見られない。更に、ガスリングは効果的に電気的接地がなされ、金属チャンバに囲まれているため、ガスリング内でプラズマ発生を妨げるような強い電界は、ガスリング内に存在しない。

従来のガス分配システムと比較すると、本実施例に係るプラズマ処理システムは、シリコン含有処理ガスを基板上方に集中させ、この処理ガスを基板の特定の領域上に優先的に導くことにより、堆積速度を高め、基板の均一性を向上させる。以下に、本発明に係るプラズマ処理システムの性能が向上したことを示す実験データと、関連する理論的背景を簡単に説明する。

図3aは、ガス注入器が基板に対して異なる位置に配置されているプラズマ処理システムにおける2つの典型的な $\text{SiO}_2$ の堆積特性を示す。これらのデータは、最適化されていない第一ガスリング170を用いて、同じ堆積条件下（プラズマ源の電力=2000Watt、電極バイアス電力=2000Watt、 $\text{SiH}_4$ 流量=180sccm、 $\text{O}_2$ 流量=300sccm、圧力12mTorr、基板平面に対し22.5度の下方向注入角度）で得られたものである。ケース1（白抜き四角形）は、注入器180（周間に等間隔で16個設置されている）の注入口が基板外縁から外側に約0.5cm離れた所に位置する場合の実験データを示しており、ケース2（白抜き三角形）は、注入口187が基板外縁から外側に約2cm離れた所に位置する場合の実験データを示している。この両方の例において、注入口187は基板120の上方、約5センチメートルの所に位置している。（一般的には、本発明に係るプラズマ処理システムでは、注入口187の垂直位置が基板120の上方に数センチメートルあるいはそれ以上離れている限り、垂直位置よりも注入口の放射位置の方が堆積速度にはるかに大きな影響を与える。）

ケース1の場合、全体的な堆積速度は10800オングストローム/分であり、ケース2の9200オングストローム/分よりも速い。これは、ケース1では、シリコン含有処理ガスが基板中心の上部により集中しているからである。しかし、ケース1では堆積速度が増加する代わりに均一性が低下しており、ケース2の4.1%に対して、ケース1では8.1%（ $1\sigma$ ）となっている。基板中心部上またはその上方にシリコン含有処理ガスをより集中させると、基板の外側（放射）領域における堆積速度は、中心部における堆積速

度と同じ比率で増加しない。一方、注入口 187 をもっと外側に配置すると、全体的な堆積速度は低下するが均一性は向上する。したがって、基板に対し注入角度を一定（この場合 22°）

5 度）にするためには、注入先の放射位置を変化させることにより、堆積速度と均一性のどちらかを取ることになる。

しかしながら、ガスリング 170 のガス注入方向に関しては、基板の特定領域上に優先的に処理ガスを導くよう、各注入器について最適化できる。例えば、ガスリング 170 をケース 1 用に最適化する場合、基板外縁のすぐ内側の基板表面上にシリコン含有ガスを優先的に導くよう、注入角度を調節することができる。これにより、基板上の部分的な堆積速度を上昇させることになり、均一性の向上につながる。

図 3 b は実験データであり、ある与えられた注入位置に対して適切な注入角度を選択することにより、本実施例に係るプラズマ処理システムの堆積速度と均一性の最適化が可能であることを示している。図 3 b に示すデータは、同じ堆積条件下で（プラズマ源の電力 = 2500 watt、電極バイアス電力 = 2000 Watt、SiH<sub>4</sub> 流量 = 250 sccm、O<sub>2</sub> 流量 = 350 sccm、圧力 14 mTorr）、同じ注入位置で（16 個の注入器が周囲に等間隔で設置され、基板から約 2 センチメートル外側で約 6 センチメートル上方の位置に設けられている）、ガスリング 170 を用いて得られたものである。ケース 3（白抜き円）では注入角度が 0 度（基板と平行）であり、ケース 4（黒べた四角形）では注入角度が下方向（基板方向）に 30 度であった。ケース 3 では、堆積速度は 10800 オンストローム／分で均一性は 5.3% であり、基板の外縁で堆積速度が最低だった。図 3 b に示す結果と同様に、ケース 3 の均一性は、注入位置を基板からより外側に移動することによって向上させることができる。しかしながら、そうすることにより堆積速度が著しく低下してしまう（図 3 a では、均一性はおよそ 2 倍になったが堆積速度は 15% 低下した）。注入角度をケース 4 のように下方向 30 度に調整すると、全体的におよそ同程度の堆積速度を維持しながら、基板の外側領域での堆積が増加し、均一性が 2.5% 向上する。

この例は、堆積速度を低下させることなく堆積均一性を向上させるという、本発明に係るプラズマ処理システムがもたらす予測できなかった効果を示した。これは、半導体処理における基板の処理量増加に大いに活用することができる。

本実施例に係るプラズマ処理システムでは、典型的な HDP CVD 条件下で、拡散させ

るのではなく、むしろ指向性を持って均一に SiH<sub>4</sub> の流束を基板上に供給する。これによりほとんどの場合、 $1\sigma < 3\%$  という一定の堆積均一性が生まれる。これは、基板上の各点における注入器の流束総量がほぼ等しくなるように、個々の注入スプレーを注意深く重ねあわせることにより達成できる。

基板中心部近くの堆積速度を著しく減少させることなく、基板の外縁近くの堆積速度を増加させるための理論的な根拠は下記の記述から明らかである。典型的には、連続流量の限界点で音波ノズルからの自由噴流膨張が起こり、これがバレル衝撃／マッハディスクの形成による制限膨張を引き起こす。このように膨張が抑制された状態では、比較的少数の注入器による基板上への均一な流束分配を達成することは期待できない。しかし本発明によれば、噴流及びチャンバ周囲の密度が非常に低いので、噴流が自由分子流状態へと急速に遷移する。

自由分子流状態では、噴流が非常に希薄になるため衝撃構造が形成されないので、噴流は効果的な凍結（一定）温度と速度で単純にプラントルーマイヤ膨張することになる。図4は注入器からのガス噴流の典型的な流れを流線で示す。図4の膨張状況では、流線は点源から放射線状に広がっているように見える。噴流密度は、各流線に沿って点源からの距離の二乗に反比例して低下する。それぞれの流線間（極角度 $\Theta$ ）の密度の差は、極座標 $R$ とはほぼ無関係である。したがって、例えば、直径 0.020 インチの注入口をもつ 16 個の注入器から、典型的な流量である 200 sccm の SiH<sub>4</sub> を圧力 10 mTorr のチャンバに、ガスリング圧 3.9 Torr で注入した場合、円錐膨張の開先角度は約 150 度である。この膨張は発散が少ないため、純粹な分子吹き出しによるコサイン分配というよりも、平行分配に近い。

中心線の密度は、噴流出口からの距離の二乗に従って低下する。すなわち、部分ガス密度 $\rho$  は、

$$(1) \quad \rho(R, \Theta=0) \propto (\rho(R=0, \Theta=0)) / R^2$$

で表される。この時、 $R$  と $\Theta$  は噴流出口を中心とした極座標であり、 $\Theta = 0$  が噴流軸として定義されている。また、このような膨張における密度は、 $\cos^2 \Theta$  に応じて低下する。すなわち

$$(2) \rho(R, \Theta) = \rho(R, 0) \cos^2(\pi\Theta/2\phi)$$

この時 $\phi$ は、注入されるガスの比熱率に依存する実験に得られる定数である。例えば、窒素の場合 $\phi = 1.66$ である。式1と式2を組み合わせると、噴流出口からの距離が噴流直径の数倍を超えた辺りから、速度が一定となることが分り、これにより、膨張中の流束 $J$ は、位置の関数として次のように与えられる。

$$(3) J_{SiH_4}(R, \Theta) = \text{constant} \cdot \rho(R, \Theta)$$

ここで、 $J_{SiH_4}$ は $SiH_4$ の流束を示す。

図5は、均一な $SiH_4$ の流束をいかに基板上に導くかを質的に示した図である。図5において、噴流の中心線に沿って基板上の点Aに当たる流束が、所望の流束であるとする。軸からずれた点Bでは、軸と噴流との放射距離が短くなっているが、噴流中心線との流線角は大きくなっている。従ってRと $\Theta$ に依存する流束は相補的であり、これにより均一性の高い流束となる。言い換えれば、短縮された放射距離が噴流束を増加させ、増加した流線角度 $\Theta$ が流束を減少させる。軸からずれた点Cでは、点Aに対する放射位置も流線角も両方増加している。これは、基板中心におけるある注入器からの流束を減少させるが、基板外縁にある他の、例えば15個の注入器から噴出されるスプレー円錐を重ね合わせることによって相殺できる。基板上の他の地点についても同様の観測ができる。各噴流が大きく円錐状に膨張することにより、さらに均一性が高まる。

上記の単純な分析は、気相衝突を考慮していない。平均自由行程が約1cmであれば、 $SiH_4$ 分子が基板に達する前に何回かの気相衝突が起こることが予想される。この衝突で指向性をもつ $SiH_4$ の流束が少々拡散するが、噴流は純粋な拡散ソースに比べてはるかに優れた指向特性を維持する。拡散的ではなく、むしろ指向性をもつという本発明に係るプラズマ処理システムの性質が、部分的堆積速度を高めることになる。

図6は本発明の第二実施例に係るプラズマ処理システムを示す。図6のプラズマ処理システムは図2aに示したものと同様であるが、図6の第一ガスリング170は片持ち梁により支持されており、水冷式であることが異なる。本実施例によれば、反応ガスは任意の

方向に向けられたガスリング 170 の穴から供給される。好ましくは、ガスリングの穴のうちいくつかは、堆積速度を高めるために基板に向けてある。

ガスリング 170 は、図 6 に示す二つの独立した溶接管 185、あるいは二重管構造を用いて水冷される。又はガスリング 170 の周りに、不図示の水冷管をらせん状に巻き付けててもよい。水冷却により、ガスリングの剥離を最小限留めるよう熱制御すると共に、高密度プラズマ暴露によるガスリングの過熱を防ぐ。

更に、放射冷却により、チャンバ壁とガスリングの温度を制限し熱分解を防ぐようにしてもよい。

図 7 は本発明の第三実施例に係るプラズマ処理システムを示す。図 7 によると、プラズマ処理システムは、片持ち梁により支持された水冷ガスリング 170 と注入器 180 を含むようにしてもよい。ガスリング 170 はチャンバ床から支持してもよい。

本実施例では、反応ガスは第一実施例で説明した方法と同様にして基板に注入される。放射冷却により、チャンバ壁とガスリングの温度を制限してもよい。更に、下側のガスリングは第二実施例で説明したような方法で水冷却してもよい。

従って第三実施例によれば、均一で指向性をもった基板上での堆積が可能であり、ガスリングの剥離を最小限にとどめるようガス注入機器を熱制御できる。

図 8 a - 8 d は本発明に係るプラズマ処理システムの典型的な注入器を示す詳細図である。説明を簡単にするため、プラズマ処理システムの一部、例えばアンテナ 150 やガスリング 160、170 等の構成要素は図示されていない。図 8 a と 8 c は、基板 120 に対する注入器 180 の向きを示した例である。図 8 a では、注入器 180 は基板 120 の平行面に対し約 45 度に設置されている。図 8 c では、最適とは言えないが、他の例として注入器 180 は基板 120 の平行面に対し 90 度に設置されている。図示されていないが、注入軸（つまりガス流入方向）は、基板 120 の平行面に対し 15 度から 45 度が好ましい。

図 8 b と 8 d は、それぞれ図 8 a と 8 c に示す注入器 180 の詳細図である。図 8 b と 8 d に示すように、注入器の中核部は注入口 187 の直径よりも大きい。これにより、音波流が注入器の中核部内でなく、必ず注入口で起こる。

図 9 a - 9 c と図 10 a - 10 c は、本発明に係る典型的な注入器とガスリングを示す詳細図である。図 9 a は、ガスリング 160 と 170 及び注入器 180 の上面図である。

図9 bは、ガスリング160と170及び注入器180の底面図である。図9 cは注入器180を上から見た詳細図である。

同様に、図10 aと10 bは、ガスリング160と170及び注入器180の上面図と底面図である。図10 cは、注入器180を上から見た詳細図である。図10 a、10 b、10 cは図9 a、9 b、9 cと各々似ているが、下側のガスリング170のガス放出口の形が異なっている。

図11は、本発明に係る典型的な注入器の詳細図である。図11は、例えばインチ単位を用いて、注入器180の典型的な寸法を示す。図11に示すように、注入口187から注入される角度は、注入軸に対して0度から90度の範囲である。図8 bと8 dにも示したが、図11から明らかなように、注入器180の中核部は、注入器の注入口187の直径よりも大きい。これにより、音波流が注入器の中核部内でなく、必ず注入口で起こる。説明のため、注入器180の典型的な寸法を図9に示す。しかし、本発明の注入器はこの寸法に限るものではない。

注入器は、その応用形態に応じて所望の寸法を選べる。

上記のガス注入システムは、高密度プラズマCVDシステムに関して説明したが、例えばエッティングなど他の処理にも採用できる。例えば、アルミニウムの塩素エッティングといった、主として化学エッティングシステムである、半導体応用分野におけるプラズマエッティングに用いてもよい。

本発明の動作について、その原理と好適な実施形態と態様について上記のように説明した。しかし、本発明は以上説明した特定の実施形態によって限定されて解釈されるものではない。従って、上述の実施形態は、本発明を限定するというより説明するためのものとみなすべきであり、次に示す請求の範囲によって定義される本発明の範囲から逸脱することなく当業者によって、それら実施形態における種々の変形例や態様が可能であることが認識されるべきである。

## 請求の範囲

1. プラズマ処理システムであって、

  プラズマ処理チャンバと、

  前記処理チャンバ内で基板を支持する基板支持体と、

  前記基板支持体に対向する内側表面を有する、前記処理チャンバ壁を形成する誘電体と、

  処理ガスを前記チャンバに供給するためのガス供給手段と、

  前記基板を処理するために、前記誘電体を通じチャンバ内にRFエネルギーを誘導結合させ、前記処理ガスをプラズマ状態に励起するRFエネルギー源とを有し、

  前記ガス供給手段は、前記処理ガスを放出するための穴をそれぞれ含む第一ガスリング及び第二ガスリングを有し、

  前記第一ガスリングは、穴を含む複数の注入器を有し、

  前記複数の注入器の少なくとも一部は、前記基板支持体から離れて設置され、かつ、前記基板支持体の水平面に垂直な方向に投影してなる前記基板の外縁の投影像上又はその近傍にその軸が前記基板支持体の前記水平面から15度から90度の角度に含まれるように配置され、

  前記複数の注入器の少なくとも一部の前記穴は、前記基板支持体の中心部に向けられ、かつ、前記注入器の前記穴から前記処理ガスが少なくとも音速で放出され、前記基板の露出表面又は前記露出表面の上方の領域で互いに交差する方向を向くように配置されることを特徴とする。

2. 前記システムは化学気相成長システム、あるいはプラズマエッチングシステムであることを特徴とする請求項1に記載のシステム。

3. 前記RFエネルギー源は平面あるいは非平面コイルを含むことを特徴とする請求項1に記載のシステム。

4. 前記ガス供給手段は、プラズマエッチング処理、ストリッピング処理、あるいはクリーニング処理のため、ハロゲンガス及び/又は酸素含有ガスを供給することを特徴とする請求項2に記載のシステム。

5. 前記第一ガスリングは片持ち梁により支持されていることを特徴とする請求項1に記載のシステム。

6. 処理中、前記第一ガスリングを冷却する冷却機構を更に備えることを特徴とする請求項1に記載のシステム。

7. 前記冷却機構は、基板処理中の過熱を防ぐために、非導電性の冷却液を供給する手段を備えることを特徴とする請求項6に記載のシステム。

8. 前記ガス供給手段はシリコン含有ガスを供給し、基板をプラズマガスに接触させ、各基板上にシリコン含有層を堆積することにより、処理チャンバ内で前記基板を連続的に処理することを特徴とする請求項1に記載のシステム。

9. 前記穴の数個が、基板の露出表面に交差しないような方向に処理ガスを供給することを特徴とする請求項1に記載のシステム。

10. 基板上に層を堆積する方法であつて、

処理チャンバ内の基板支持体上に基板を配置し、該処理チャンバの壁を形成する誘電体の内側表面が基板支持体に対向しており、

前記基板の中心部よりも前記基板の外縁でより多くの処理ガスを注入するための穴を含む複数の注入器を有するガス供給手段から前記処理チャンバに処理ガスを供給し、前記穴の内の少なくとも数個が前記基板の近傍でガス注入軸に沿って前記処理ガスを注入し、前記注入軸は複数のガス流が前記基板の露出表面に平行な面で互いに重なり合うように前記基板の露出表面に対し鋭角をなして交差しており、

前記誘電体を通じてチャンバ内にR Fエネルギーを誘導結合させることによって、前記処理ガスをプラズマ状態に励起し、前記処理ガスは、物質層が前記露出表面に堆積されるように、基板の露出表面とプラズマ状態で反応することを特徴とする。

11. 前記ガス供給工程は、前記処理チャンバの内部に配置された第一ガスリングから少なくとも多少のガスあるいは混合ガスを供給する工程を含み、少なくとも多少の前記ガスあるいは混合ガスは、前記注入器を通し前記基板に向けられていることを特徴とする請求項1\_0に記載の方法。

12. 前記ガス供給工程は、追加のガスあるいは混合ガスを第二ガスリングから供給する工程を更に含むことを特徴とする請求項1\_1に記載の方法。

13. 前記注入器が前記第一ガスリングに連結されており、前記注入器は少なくとも多少の前記ガスあるいは混合ガスを前記チャンバ内に前記基板に向けて供給することを特徴とする請求項1\_1に記載の方法。

14. 前記注入器は前記基板外縁付近あるいは外側に位置することを特徴とする請求項1\_3に記載の方法。

15. 前記注入器は、前記基板の露出表面に対し15度を越える角度で、チャンバ内に少なくとも多少の前記ガスあるいは混合ガスを注入することを特徴とする請求項1\_3に記載の方法。

16. 前記処理ガスは、平面コイル型のR Fアンテナによって励起されることを特徴とする請求項1\_0に記載の方法。

17. 前記処理ガスは、非平面コイル型のR Fアンテナによって励起されることを特徴とする請求項1\_0に記載の方法。

18. 前記第一ガスリングは片持ち梁により支持されており、前記方法は、処理中、前記第一ガスリングを冷却する工程を更に含むことを特徴とする請求項1\_1に記載の方法。

19. 前記冷却工程は、基板処理中に第一ガスリングが過熱するのを防ぐために、非導電性の冷却液を、第一ガスリングに接触した熱伝達領域内を通過させる工程を含むことを特徴とする請求項1\_8に記載の方法。

20. 前記基板に堆積された前記物質層はシリコン含有層を含むことを特徴とする請求項1\_6に記載の方法。

21. 基板をプラズマガスに接触させることにより、処理チャンバ内で前記基板が連続的に処理されることを特徴とする請求項1\_0に記載の方法。

22. 前記穴の数個は、基板の露出表面に交差しないような方向に処理ガスを供給することを特徴とする請求項1\_0に記載の方法。