

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5329221号  
(P5329221)

(45) 発行日 平成25年10月30日(2013.10.30)

(24) 登録日 平成25年8月2日(2013.8.2)

(51) Int.Cl.	F 1
C 23 C 16/46 (2006.01)	C 23 C 16/46
H 01 L 21/26 (2006.01)	H 01 L 21/26
H 01 L 21/205 (2006.01)	H 01 L 21/205

G

請求項の数 10 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2008-526993 (P2008-526993)
(86) (22) 出願日	平成18年8月8日(2006.8.8)
(65) 公表番号	特表2009-507997 (P2009-507997A)
(43) 公表日	平成21年2月26日(2009.2.26)
(86) 國際出願番号	PCT/US2006/030913
(87) 國際公開番号	W02007/021692
(87) 國際公開日	平成19年2月22日(2007.2.22)
審査請求日	平成21年6月25日(2009.6.25)
(31) 優先権主張番号	11/205, 647
(32) 優先日	平成17年8月17日(2005.8.17)
(33) 優先権主張国	米国(US)

前置審査

(73) 特許権者	390040660 アプライド マテリアルズ インコーポレ イテッド A P P L I E D M A T E R I A L S, I N C O R P O R A T E D アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95 054 サンタ クララ バウアーズ ア ベニュー 3050
(74) 代理人	100109726 弁理士 園田 吉隆
(74) 代理人	100101199 弁理士 小林 義教

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】半導体膜堆積特徴をコントロールするための方法および装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板上に膜を形成するための方法であって、  
第1の温度パラメータを選択するステップであって、前記第1の温度パラメータが処理期間中不定値であるステップと、

前記基板を処理チャンバのチャンバ壁内に配置するステップと、  
前記処理期間中に前記基板上に前記膜を形成するステップと、  
前記チャンバ壁の部分であって、前記基板の上面より上方にある第1の部分の温度が第1の温度パラメータに実質的に準拠するよう、前記処理期間中に前記チャンバ壁の前記第1の部分の前記温度をコントロールするステップと、

第2の温度パラメータを選択するステップであって、前記第2の温度パラメータが前記処理期間中にわたって不定値であるステップと、

前記チャンバ壁の部分であって、前記基板の底面より下方にあり、前記基板に隣接する第2の部分の温度が前記処理期間中に前記第2の温度パラメータに実質的に準拠するよう、前記チャンバ壁の前記第2の部分の前記温度をコントロールするステップと、を備え、

前記チャンバ壁の前記第1の部分が、前記膜を形成するステップ中、前記チャンバ壁の前記第2の部分の温度より高い温度でアクティブに保たれ、

前記チャンバ壁の前記第1の部分を加熱可能な第1のランプと、前記チャンバ壁の前記第2の部分を加熱可能な第2のランプとの間で照射バイアスを維持することにより、前記

10

20

チャンバ壁の前記第1の部分の前記温度が制御される、方法。

**【請求項2】**

前記第1及び第2の温度パラメータが複数のセットポイントを備えており、

前記第1の温度パラメータのセットポイント数は、前記第2の温度パラメータのセットポイント数より多い、請求項1に記載の方法。

**【請求項3】**

前記第1の温度パラメータが、前記処理期間内の前記膜を形成するステップにわたって不定値である、請求項1に記載の方法。

**【請求項4】**

前記第1の温度パラメータが、前記膜を形成するステップ中のファセット化を最小化するように適合されている関数を定義し、

前記膜を形成するステップ中のファセット化を最小化するように適合されている前記関数が第1の温度で開始して、前記膜を形成するステップにわたって、前記第1の温度未満の第2の温度に変更する、請求項3に記載の方法。

**【請求項5】**

前記第1の温度パラメータが、前記膜を形成するステップ中の堆積レートを増大させるように適合されている関数を定義し、

前記膜を形成するステップ中の前記堆積レートを増大させるように適合されている前記関数が第1の温度で開始して、前記膜を形成するステップにわたって、前記第1の温度より高い第2の温度に変更する、請求項3に記載の方法。

10

**【請求項6】**

前記第2の温度パラメータが、前記処理期間内の前記膜を形成するステップにわたって不定値である、請求項1に記載の方法。

**【請求項7】**

冷却剤が、コントロールされた可変レートで前記チャンバ壁の前記第2の部分に隣接して流される、請求項1に記載の方法。

**【請求項8】**

膜が形成される基板を受容するように適合されているチャンバ壁と、

前記チャンバ壁の部分であって、前記基板の上面より上方にある第1の部分を冷却するための第1の冷却システムと、

20

前記第1の冷却システムの冷却電力をコントロールするための第1の調節器と、

前記第1の調節器をコントロールするためのコントロール論理部であって、処理期間にわたる前記チャンバ壁の前記第1の部分の所望の温度軌道を定義する第1の温度パラメータを保持するメモリと、前記第1の温度パラメータを入力するためのユーザー入力／出力システムと、前記第1の調節器をコントロールするための第1の出力部と、前記第1の温度パラメータに従って前記処理期間にわたって前記第1の出力部に第1の信号を送るための処理回路とを備えるコントロール論理部と、

前記チャンバ壁の部分であって、前記基板の底面より下方にあり、前記基板に隣接する第2の部分を冷却するための第2の冷却システムと、

前記第2の冷却システムの前記冷却電力をコントロールするための第2の調節器と、

30

前記チャンバ壁の前記第1の部分を加熱可能な第1のランプと、

前記チャンバ壁の前記第2の部分を加熱可能な第2のランプと、を備え、

前記コントロール論理部が、更に、前記第2の調節器をコントロールするための第2の出力部を備えており、前記処理回路が、前記メモリに記憶されている第2の温度パラメータに従って前記処理期間中に第2の信号を前記第2の出力部に送ることができ、

前記コントロール論理部が、前記第1の部分を前記第2の部分より選択的に加熱するために、前記第1のランプと前記第2のランプの間の照射バイアスをコントロール可能である、膜形成システム。

**【請求項9】**

前記第1及び第2の温度パラメータが複数のセットポイントを備えており、各セットボ

40

50

イントが前記処理期間内のそれぞれの温度とそれぞれの時間とを備え、

前記第1の温度パラメータのセットポイント数は、前記第2の温度パラメータのセットポイント数より多い、請求項8に記載のシステム。

【請求項10】

各セットポイントがさらにそれぞれの冷却電力レベルを備える、請求項9に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、基板上の膜の形成に関する。これらの膜は、ドープおよび無ドープ形態の両方においてSi、SiGe、SiCおよびSiGeCを含むがこれらに制限されず、高度の電子コンポーネントの製造に使用される。10

【従来技術】

【0002】

このような膜は、形態およびドーピング濃度などの種々の特性を示しており、これらはある許容範囲内でコントロールされなければならない。過去数十年にわたるエレクトロニクスに提示されている進歩は、回路パターン密度を増大させる半導体製造工場の能力の直接的結果である。これらのパターン密度が増大すると、回路を作るのに必要とされる薄膜の許容範囲もますます厳格になる。従って、薄膜形成の注意深いコントロールおよびこのような膜に関して得られる特性は、エレクトロニクスの進歩の継続にとって必須である。20

これらの上記膜は通常、米国特許第6,083,323号に示されかつ説明されている種類の装置で作られる。

【0003】

基板は通常、膜が形成可能な上面と底面とを有している。膜を成長させるために、基板は反応チャンバに置かれる。基板の上面は、反応チャンバの上部表面に面しており、同様に基板の底面は反応チャンバの底部表面に面している。膜形成プロセス中、基板はプロセスパラメータに従って加熱される。

【0004】

上記のように、成長速度、形態、ファセット化(faceting)、ドーピング分布などを含むがこれらに制限されない膜特徴のコントロール改良を提供するための方法および装置を提供することが望ましいであろう。高レベルのプロセス反復性を提供する方法およびシステムを提供することもまた望ましい。30

【発明の開示】

【0005】

本発明の態様は、基板上に薄膜を形成するための方法、装置およびシステムを提供する。膜形成プロセス中、該基板はプロセスパラメータに従って加熱される。また、該形成プロセス中、反応チャンバの表面の少なくとも一部の温度が変調されて、この表面の該温度は所定のようにプロセス時間と共に変化する。該反応チャンバ表面のこの温度変調部分は上部表面、底部表面、隣接する表面、またはチャンバ表面全体であってもよい。一実施形態では、該反応チャンバの複数の表面の温度は個々に変調される。一実施形態では、該上部表面は第1の温度パラメータに従って変調され、該底部表面は第2の温度パラメータに従って変調される。40

【0006】

一実施形態では、膜を形成するためのシステムまたは装置は、該反応チャンバ表面の少なくとも一部の該温度を調節するために該膜形成期間中にコントロール可能な冷却システムを含んでいる。一実施形態では、該冷却システムは、該冷却システムによって採用される冷却電力のレベルを設定して、該膜形成プロセス中に該反応チャンバ表面の該温度変調部分を調整するために1つ以上のセットポイントを利用する。別の実施形態では、該冷却システムは、該冷却システムによって採用される電力を調整するために温度フィードバックループを採用して、該冷却された表面の該温度は、該膜形成処理期間の所定の時間依存

軌道に従う。

**【発明を実施するための形態】**

**【0007】**

本発明の複数の例示的実施形態について説明する前に、本発明は以下の説明に示されている構成やプロセスステップの詳細に制限されない点が理解されるべきである。本発明は他の実施形態も可能であり、また種々の方法で実践または実施可能である。

**【0008】**

65 nmおよび45 nmの技術ノードにおけるトランジスタ用途などの高度エレクトロニクスの製造を改良するためのチャンバ壁の温度調節における新規の装置および技術が開示されている。成長速度およびファセット化低減の改良が観察されており、またこれらの観察に基づいて、歩留まり、膜品質およびプロセス反復性の改良が取得されると期待される。改良は、プロセス温度が850未満であるか、膜がパターン化ウェーハ上に形成されるか、(1%の範囲の)高ドーパント濃度膜が形成される低温膜形成プロセスにおいて特に期待される。これらの改良は他の重要な膜パラメータおよび形態に影響を与えることなく達成可能であり、またこれらは、成長動力学をコントロールするための更なるコントロールパラメータを提供する、Applied Materials, Inc., のEpi Centura(登録商標)300mm CVDシステムなどの、膜の成長や堆積に適合されたデバイスで実践可能である。

10

**【0009】**

以下の開示のために、膜形成プロセスは、処理チャンバへの基板の挿入と処理チャンバからの基板の抽出との間の、処理期間と称される期間全体によよぶ。単一プロセスが1つ以上のステップを内蔵していることがあり、例えば、1つのプロセスが事前クリーニング/表面調整ステップと、膜堆積ステップと、冷却ステップと、を含むことがある。本発明は例えば、Si、SiGe、SiC(炭素ドープシリコン)、(ドープまたは無ドープ形態の)SiGeC、窒化シリコン、および(III-VまたはII-IV族材料を含むことがある)他の化合物半導体膜などのエピタキシャルかつ多結晶またはアモルファス膜の堆積プロセスに適用されてもよく、また他のプロセスに幅広く適用されてもよい。

20

**【0010】**

図1は、第1の実施形態の化学膜形成システム100で使用される熱反応チャンバ103の断面図を示している。チャンバ103は、CVDを含むがこれに制限されない適切な堆積プロセスなどの反応膜形成プロセスが遂行されるチャンバ103の内部容積を画成するチャンバ壁102を有している。ハウジング118がチャンバ壁102を包み、サポートしている。基板サポート構造104が、CVD処理中にチャンバ103内に基板106をサポートするために使用される。基板106は、膜が堆積または成長される上面を有しており、この上面は通常基板サポート構造104の外に面しているが、これは要件ではない。ゆえに、基板106の底面は通常基板サポート構造104に面して、これに接触している。

30

**【0011】**

処理中、ガスがエントリポート110を介してチャンバ103に入り、排出ポート112を介して除去される。処理中も、熱が赤外線放射バルブ114によって提供される。赤外線放射バルブ114は、ハウジング118に接続されているサポートアセンブリ116上に、チャンバ壁102に近接して搭載されている。チャンバ103のチャンバ壁102は透明であり、通常は石英からなり、また基板106を加熱するために、放射バルブ114からの赤外線放射が反応チャンバ103に自由に入れるようにする。チャンバ壁102は、基板106の上面に面している上部表面105と、基板106の底面および基板サポート構造104に面している底部表面107とを有している。

40

**【0012】**

熱反応器およびこの動作に関するより完全な説明が、「In-Situ Measurement Of A Thin Film Deposited On A Wafer」と題された、同一出願人による米国特許第5,258,824号と、「Double

50

- dome Reactor for Semiconductor Processing」と題された米国特許第5,108,792号とに開示されており、これらの各々の内容全体は参照して本明細書に組み入れられる。処理中、チャンバ壁102は、実質的に透明であるが、依然として加熱される。チャンバ壁102を冷却するための冷却剤流が入口導管120を介してプロワ140からハウジング118に供給され、チャンバ壁102を越えて向けられ、出口導管122を介して排出される。より具体的には、冷却剤流は導管120を介して上部入口ポート124および下部入口ポート126を通ってハウジング118に供給される。冷却剤流は上部排出ポート128および下部排出ポート130を通ってハウジング118を出る。上部入口ポート124を通って入る冷却剤はチャンバ壁102の上部表面105を通過して、上部排出ポート128を通過して出る。同様に、下部入口ポート126を通って入る冷却剤はチャンバ壁102の底部表面107を通過して、下部排出ポート130を通過して出る。ハウジング118は、チャンバ壁102を越えて冷却剤を導くシラウドを形成する。チャンバ壁102に沿った冷却剤のこの冷却剤流は反応チャンバ103のチャンバ壁102を冷却する。通常冷却剤は空気である。

#### 【0013】

チャンバ壁102の温度をコントロールするための代替的方法もまた、チャンバ壁102と接触している表面の水冷却や、窒素、ヘリウム、アルゴン、またはチャンバ壁102を流れる不活性ガスの使用を含むことがある。入口導管120に設置されている空気羽根や他の冷却剤流コントロールデバイスなどの冷却剤調節器131がハウジング118への冷却剤流の量をコントロールし、そしてチャンバ壁102の温度をコントロールする。代替的に、調整可能な虹彩、バルブ、プロワ140用のプロワ速度コントロール回路などの、冷却剤流をコントロールするための他のデバイスが使用されてもよい。同時に、プロワ140および冷却剤調節器131、または概説されているような他の適切な方法が、チャンバ壁102を冷却するための冷却システムを提供し、ここでは冷却システムによってチャンバ壁102に提供される冷却電力がコントロール可能である。つまりチャンバ壁102からの熱除去レートが、チャンバ壁102の温度をコントロールされた方法で調節するために、冷却システムによってコントロール可能である。

#### 【0014】

チャンバ壁102の温度は、光学高温計、熱電対などの、当業界のものと類似の従来の温度測定デバイスを使用して監視されてもよい。例えば、チャンバ壁102の上部表面105の温度は光学高温計132を使用して監視されてもよく、光学高温計134は基板106の温度を測定するために使用されてもよく、光学高温計136は基板サポート構造104の温度を測定するために使用されてもよく、光学高温計138はチャンバ壁102の底部表面107の温度を監視するために使用されてもよい。

#### 【0015】

上部表面105の測定温度を符号化する第1の信号が上部表面温度測定デバイス132から出力され、そして受信されてコントロール論理部200によって処理され、この実施形態は図2に表されている。同様に、底部表面107の測定温度を符号化する第2の信号が底部表面温度測定デバイス138から出力され、そして受信されてコントロール論理部200によって処理される。コントロール論理部200は、所定の温度軌道に従って処理期間にわたってチャンバ壁102の温度を変調するために、第1の信号、第2の信号またはこれら2つの関数を利用して冷却システムの冷却電力をコントロールする。

#### 【0016】

一実施形態では、コントロール論理部200は、メモリ220と電気連通しているプロセッサ210を備えている。メモリ220はコントロールコード221を備えており、これはプロセッサ210によって実行されて、かつプロセッサ210の動作をコントロールし、コントロールコード221はコントロール論理部200のオペレーティングシステムとして作用する。以下において、プロセッサ210がプログラムの1つを実行するとして説明される場合、プロセッサ210に上記のプログラムの1つを実行させるのはコントロールコード221である点が理解されるべきであり、コントロールコード221のプログ

ラムを提供することは合理的に当業界の手段のうちであるべきである。

#### 【0017】

図2に開示されている実施形態では、プロセッサ210は、第1の信号を上部表面温度測定デバイス132から受信する上部表面温度入力231を介して上部表面105の温度を取得する。同様に、プロセッサ210は、第2の信号を底部表面温度測定デバイス138から受信する底部表面温度入力232を介して底部表面107の温度を取得する。コントロール論理部200は、プロセス期間のチャンバ壁102の温度を所定の方法で変調させることによって膜形成プロセスの動力学をコントロールするための独立パラメータを提供するために、特にチャンバ壁102を冷却するために使用される冷却システムをコントロールするために使用される。しかしながら、コントロール論理部200は、当業界で公知であるように、ガス流量、基板106および基板サポート構造104の温度を測定するための入力などの、図2に示されていない多数の更なる入力を含有してもよい点が明らかであるはずである。  
10

#### 【0018】

コントロール論理部200は、プロセス関連情報をユーザーに供するためにディスプレイ238に、かつユーザーが情報をコントロール論理部200に入力できるようにするために入力デバイス239に提供されてもよい。プロセッサ210は、例えば上部表面105、底部表面107、基板106および基板サポート構造104の温度、現在のプロセスステップ、現在のプロセス時間、ガス流量などを供するためにはディスプレイ238をコントロールすることができる。同様に、プロセッサ210は、入力デバイス239から受信されたデータに従ってメモリ220内に記憶されているパラメータを変更してもよく、このような変化は潜在的に、プロセッサ210によって実行されるプロセスステップへの変化をもたらし、ゆえにこのようなプロセッサ210の変化はCVDシステム100をコントロールすることになる。ディスプレイ238、入力デバイス239、コントロールコード221およびプロセッサ210は共に、当業と類似の方法でユーザー入力／出力（I／O）インターフェースを形成し、これによってユーザーは、CVDシステム100の監視およびコントロールの両方が可能になる。  
20

#### 【0019】

示されている実施形態では、コントロール論理部200のメモリ220はまた、処理期間にわたってチャンバ壁102の少なくとも一部の温度をコントロールおよび変調するために使用される温度パラメータ222を含有している。温度パラメータ222は少なくとも1つのセットポイント223を備えており、通常は2つ以上のセットポイント223を有することになる。各セットポイント223はそれぞれの時間値224および温度値225を含有している。時間値224は処理期間内の時間を示しており、24時間、プロセス関連時間（つまり、プロセスの開始からの経過時間、またはこのプロセスの終了までの時間）、ステップ関連時間（つまり、プロセス内の現在のステップの開始からの経過時間、またはこのステップの終了までの時間）などの情報を符号化するのに適した任意のフォーマットであってもよい。温度値225は、セットポイント223の関連時間値224でのチャンバ壁102の温度変調部分に望ましい温度を示しており、このような温度情報を示すのに適した任意の形態であってもよく、例として摂氏またはケルビンのような絶対温度や、プロセス温度からのオフセットのような相対温度を含んでいる。  
30  
40

#### 【0020】

同時に、セットポイント223は、処理期間にわたってチャンバ壁102の温度変調部分の温度軌道情報を提供する。処理期間中の所定の間隔、例えば0.01秒間隔で、コントロール論理部200はチャンバ壁102の温度情報を温度入力231、232から取得し、この情報を利用して、現在の測定温度229を生成する。温度入力231、232などのうちの1つのみを使用する平均化、重み平均化などによる任意の方法が、現在の測定温度229を生成するために使用されてもよい。これはユーザーI/Oインターフェースを介してユーザーによって選択可能である。プロセッサ210は次いで（タイマ240から取得されるような）現在の時間および時間値224を使用して、温度パラメータ情報22

50

2にインデックス化して、現在の時刻がある最近のセットポイント223を見つける。

#### 【0021】

依然として図2を参照すると、次に、プロセッサ210は、最近のセットポイント223の関連温度値225を使用して、チャンバ壁102の温度変調部分の現在の目標温度228を決定するための線形補間（または他の適切な補間）を実行する。通常2つのセットポイント223（または、最小の時間値224の前および最大の時間値224より大きければ1つのセットポイント）が最近のセットポイント223として使用されるが、実行される補間の種類に応じて3つ以上使用されてもよい。プロセッサ210は現在の測定温度229および現在の目標温度228を標準フィードバックループへの入力として利用して、現在の測定温度229が現在の目標温度228に達するように、チャンバ壁102の温度変調部分に対する冷却システムの電力レベルをコントロールする。連続フィードバックによって、時間の関数としての現在の測定温度229は、冷却システムの測定誤差および機械的制限内で、温度パラメータ222を実質的に追跡するはずである。10

#### 【0022】

図1および図2に描かれている実施形態では、例えばプロセッサ210は信号を冷却電力コントロール出力233に送り、測定温度229および目標温度228に基づいて冷却剤調節器131をコントロールする。現在の測定温度229と現在の目標温度228の差が正である（つまり、チャンバ壁102の温度変調部分が所望するよりも現在のところ熱い）場合、プロセッサ210は冷却電力コントロール出力233に信号を送り、冷却剤調節器131をさらに開いて、チャンバ壁102に流れる冷却剤のレートを増大させる。20つまり冷却システムの冷却電力を増大させる。反対に、差が負の場合、プロセッサ210は、冷却システムの冷却電力を減少させるために、冷却剤調節器131に冷却剤の流れをさらに制約するように命令する。プロセッサ210は、冷却剤調節器131は空気流をどの程度制約または許容するか、つまりどの程度冷却電力が増減されるかを決定するために、現在の測定温度229および目標温度228の差の大きさを利用してよい。

#### 【0023】

例証として、図3は、処理期間の一部でのチャンバ壁102の平均温度の仮定的な所望の温度軌道を図示している。図3のグラフは、膜形成ステップの開始温度であってもよい事前定義されたプロセス温度に対する温度差を示すために正規化される。ユーザーは、チャンバ壁102が事前焼成ステップからプロセス温度に冷却し、プロセス温度で安定するのに約10秒かかり、そして膜形成ステップの開始時に、膜形成ステップの完了時にプロセス温度未満の約65°である温度に至る漸近的傾斜を開始することを所望することがある。膜形成ステップでのチャンバ壁102のこの定常的に減少する温度はファセット化を低減する助けとなる。ユーザーは漸近曲線260を近似するために6個のポイント252～257を、膜形成ステップ前に10秒の温度定期間を提供するために2個のポイント251、252を使用することを決定してもよい。30

#### 【0024】

膜形成ステップが1340秒のプロセス時間で開始する場合、コントロール論理部200のI/Oシステムは、温度パラメータ222の7個の対応するセットポイント223を入力するように利用されてもよい。第1のセットポイント223は第1のポイント251で1330の時間224および0°の温度225を有しており、第2のセットポイント223は第2のポイント252で1340の時間224および0°の温度225を有しており、第3のセットポイント223は第3のポイント253で1370の時間224および-25°の温度225を有しており、第4のセットポイント223は第4のポイント254で1405の時間224および-35°の温度225を有しており、第5のセットポイント223は第5のポイント255で1440の時間224および-45°の温度225を有しており、第6のセットポイント223は第6のポイント256で1510の時間224および-60°の温度225を有しており、最後に第7のセットポイント223は第7のポイント257で1560の時間224および-65°の温度225を有している。40  
I/Oシステムはそして、上部表面温度入力231および底部表面温度入力232から取50

得された平均値を使用して現在の測定温度 229 を生成することをコントロール論理部 200 に命令するために利用されてもよい。膜形成プロセス中、コントロール論理部 200 は次いで、温度パラメータ 222 の 7 個のセットポイント 223 を使用して冷却剤調節器 131 をコントロールすることによって、現在の測定温度 229 が現在の目標温度 228 を追跡する。当然、この場合の目標温度 228 は実際の温度ではなく、事前定義されたプロセス温度に基づいた温度差である点が明らかである。つまり、現在の測定温度 229 を生成する場合、コントロール論理部 200 は公知の一定のプロセス温度を減算して、現在の測定温度 229 の温度差を生み出すことがある。例えば、1470 のプロセス時間では、図 3 に示されているように、コントロール論理部 200 は第 5 のポイント 255 および第 6 のポイント 256 の第 5 および第 6 のセットポイント 223 を外挿して、プロセス温度未満の 53 の現在の目標温度 228 を見つける。コントロール論理部 200 は、その後、-53 の現在の目標温度 228 および現在の測定温度 229 の値に基づいて信号を冷却電力コントロール出力 233 に送り、冷却システムを調節することによって、チャンバ壁 102 の平均温度はセットポイント 223 によって定義された温度軌道を追跡する。冷却剤調節器 131 はまた、チャンバ壁 102 の温度軌道をコントロールするように手動で調整されてもよい。

#### 【0025】

上記例示的実施形態では、セットポイント 223 は温度値 225 を利用して、処理期間にわたるチャンバ壁 102 の変調表面の所望の温度軌道を定義する温度パラメータ 222 を構築する。しかしながら、図 4 を参照すると、冷却システムの電力（つまり、プロワ 140 の速度および / または冷却剤調節器 131 の設定）および加熱要素 114 の放射輝度の密接な相関があるため、別の実施形態としては、各々が関連時間値 324 および冷却電力レベル値 325 を有する 1 つ以上のセットポイント 323 を有しているものとして温度パラメータ 322 を定義することが等しく可能である。この場合、第 2 の実施形態のコントロール論理部 300 のプロセッサ 310 は、現在の目標温度 228 を見つけるために上記で使用されたのと同様に現在の目標冷却電力レベル 328 を生成してから、信号を冷却電力コントロール出力 333 に送り、冷却システム（つまり、プロワ 140 および / または冷却剤調節器 131）の電力を設定して、現在の目標冷却電力レベル 328 に一致させる。

#### 【0026】

実行されている処理の固有の一貫性および再現性ゆえに、それぞれの時間値 324 で一連の冷却電力レベル 325 として定義されている温度パラメータ 322 は、上記実施形態の温度パラメータ 222 と機能的に類似している。しかしながら、チャンバ壁 102 の変調領域の所望の温度と実際の温度のばらつきは、第 1 の実施形態より大きいこともある。

#### 【0027】

本発明の実施形態は、処理期間でのチャンバ壁 102 の全体またはチャンバ壁 102 の一部の変調コントロールを提供する。特に、図 3 に示されているように、膜形成プロセスの個々のステップでのチャンバ壁 102 の変調コントロールが達成可能である。例えば、ファセット化が低減されたより高い全成長速度が、基板上での膜の堆積や成長が進むに伴って上部表面 105 の温度をまず増大させてから、上部表面 105 の温度をゆっくりと減少させる温度パラメータ 222、322 を提供することによって達成可能である。温度パラメータ 222、322 の選択は、最適化される特性に左右される。例えば、壁 102 の温度の増大によってガスはより良好に分裂（c r a c k）または分解することによって、成長速度を高めることができる。一部のドーパント種は、分解される場合により良好に吸収または一体化するため、膜組成はこの機構によっても変化することがある。このすべては、膜形成手順が種々の段階を経るに伴って、プロセスステップ内で行われてもよい。従って、当業者は、所望の膜特性を達成するために温度パラメータ 222、322 を実験的に決定および選択可能である点が理解される。

#### 【0028】

図 5 および図 6 を参照すると、第 3 の実施形態のシステム 400 が、チャンバ壁 102

10

20

30

40

50

の複数の部分の温度の独立コントロールを可能にすることによって、膜堆積プロセスの異なる独立パラメータを提供する。提示を容易にするために、従来の実施形態と本質的に同一の図5のコンポーネントには同一の参照番号が提供されてきた。図1の記述に示されているように、入口ポート124に入る冷却剤はチャンバ壁102の上部表面105を通過することによって上部表面105を冷却する。同様に、底部入口ポート126に入る冷却剤は底部表面107を冷却する。ゆえに、上部入口ポート124および底部入口ポート126に入る冷却剤の量を独立してコントロールすることによって、チャンバ壁102の上部表面105および底部表面107の温度をそれぞれ独立してコントロールすることが可能である。これを達成するために、本実施形態は、上部入口ポート124への冷却剤流量をコントロールするための第1の冷却剤調節器431と、下部入口ポート126への冷却剤流量をコントロールするための第2の冷却剤調節器439とを提供する。

#### 【0029】

冷却剤調節器431、439は空気羽根、調整可能な虹彩、バルブ、それぞれのチャンバ壁102の表面と接触している液体冷却表面などであってもよい。代替的に、冷却剤調節器431、439のうちの一方は空気羽根、調整可能な虹彩、バルブ、冷却表面などであってもよく、他方はプロワ140の速度をコントロールするためのプロワ速度コントロール回路を利用するものであってもよい。

#### 【0030】

図5に示されている実施形態のコントロール論理部500は先行の実施形態のものと類似しているが、それぞれメモリ520に記憶されている第1の温度パラメータ560および第2の温度パラメータ570に従った第1の冷却剤調節器431および第2の冷却剤調節器439の独立コントロールを提供する。第1の温度パラメータ560は処理期間での上部表面105の所望の温度軌道を定義する。第2の温度パラメータ570は、処理期間での底部表面107の所望の温度軌道を定義する。例えば、図7を参照すると、第1の温度パラメータ560は、プロセス温度に対する上部表面105に対して、図3に描かれていると類似の第1の温度軌道601を定義する15個のセットポイント563を有することがある。例えば、7個のポイント611～617は、上部表面105の事前焼成温度軌道610を備えてよい。4個のポイント621～624は、膜堆積ステップ中に増大する上部表面105の膜堆積温度軌道620を備えてよい。この増大は、膜堆積ステップの期間にわたってプロセス温度からより高い目標温度へと実質的に漸近的であってもよい。膜堆積ステップ中の上部表面105の温度のこのような増大はより高い堆積レートを生じさせる。4個のポイント631～634は、上部表面105の冷却温度軌道630を備えてよい。

#### 【0031】

第2の温度パラメータ570もまた、例えば、膜形成プロセス全体で底部表面107の第2の温度軌道602を定義する8個のセットポイント573を有してもよい。プロセッサ510は、第1の現在の目標温度523を生成するために第1の温度パラメータ560を利用してもよく、また第2の現在の目標温度524を生成するために第2の温度パラメータ570を利用してもよい。上部表面温度測定デバイス132から第1の信号を受信する上部表面温度入力531などの入力の監視によって、プロセッサ510は現在の上部表面温度521を生成することができる。同様に、底部表面温度測定デバイス138から第2の信号を受信する底部表面温度入力532を監視することによって、プロセッサ510は現在の底部表面温度522を生成してもよい。当然、現在の上部表面温度521ならびに現在の底部表面温度522は、ユーザーによって所望されるような複数の入力の関数であってもよい。

#### 【0032】

先行の実施形態と同様に、プロセッサ510は第1の現在の目標温度523および現在の上部表面温度521を利用して、信号を第1の冷却電力コントロール出力533に送って、第1の冷却剤調節器431をコントロールすることによって、第1の温度パラメータ560に従って上部表面105の温度を変調する。同様に、プロセッサ510は第2の現

10

20

30

40

50

在の目標温度 524 および現在の底部表面温度 522 を利用して、信号を第2の冷却電力コントロール出力 534 に送って第2の冷却剤調節器 439 をコントロールすることによって、第1の温度パラメータ 560 に従って底部表面 107 の温度を変調する。当然、第1の温度パラメータ 560 および第2の温度パラメータ 570 は、第2の実施形態で行われたように、温度ではなくそれぞれの冷却電力レベルによって定義されてもよく、この場合、現在の上部表面温度 521 または現在の底部表面温度 522 を監視して、第1の冷却剤調節器 431 および第2の冷却剤調節器 439 をコントロールする必要がない。

#### 【0033】

図8に示されているように、第1の変速プロワ701 および第2の変速プロワ702 を使用して、チャンバ壁 102 の上部表面 105 および底部表面 107 の温度をそれぞれコントロールすることができる。図6をさらに参照すると、コントロール論理部 500 は、図8に描かれている実施形態をコントロールするのに等しく適している。第1の冷却電力コントロール出力 533 は第1のプロワ701 の速度をコントロール可能であるのに対して、第2の冷却電力コントロール出力 534 は第2のプロワ702 の速度をコントロール可能である。

#### 【0034】

図9を参照すると、上部ランプ 802 と底部ランプ 804 間の照射 (irradiancy) バイアスを変更することによって上部表面 105 および底部表面 107 の温度を独立してコントロールすることができる。上部ランプ 802 はチャンバ壁 102 の上部表面 105 の上方に配置されているため、基板 106 を加熱しつつ上部表面 105 を加熱する。底部ランプ 804 はチャンバ壁 102 の底部表面 107 の下方に配置されているため、基板 106 を加熱しつつ底部表面 107 を加熱する。上部ランプ 802 および底部ランプ 804 の結合照射は、基板 106 の最終温度を決定する。上部ランプ 802 の照射が増大される一方で、底部ランプ 804 の照射が減少される場合、基板 106 を同一温度に保つつゝ、上部表面 105 の温度を増大させ、かつ底部表面 107 の温度を減少させることができる。これと反対に、照射バイアスは、基板 106 の温度を維持しつつ底部表面 107 の加熱および上部表面 105 の冷却をもたらす。上部ランプ 802 の照射は従って、底部ランプ 804 の照射と無関係にコントロール可能である。図6を参照すると、上部ランプ 802 および底部ランプ 804 の独立コントロールによってコントロール回路 500 は、上部ランプ 802 と底部ランプ 804 間の照射バイアスをコントロールできるようになる。第1の冷却電力コントロール出力 533 は従って、変速プロワ140 の速度をコントロールするために使用されてもよいのに対して、第2の冷却電力コントロール出力 534 は、上部ランプ 802 と底部ランプ 804 間の照射バイアスをコントロールするために使用されてもよい。第2の冷却電力コントロール出力 534 は実際に、上部ランプ 802 および底部ランプ 804 の照射をそれぞれコントロールする2つの独立出力であってもよく、またこれら2つの照射出力の差は、一方の表面 107、105 に対してもう一方の表面 105、107 のうちの一方を優先的に加熱および冷却する照射バイアスを生じさせることができることが認識される。

#### 【0035】

例えば、底部表面 107 を冷却するために、プロセッサ 510 は第2の冷却電力コントロール出力 534 をコントロール可能であるため、上部ランプ 802 の照射は増大するのに対して、底部ランプ 804 の照射は減少する。基板 106 の温度概観からはほとんど変更がなかった。しかしながら、底部表面 107 の観点から、底部表面 107 に少ない放射エネルギーが作用すると、底部表面 107 は冷却を開始する。より多くの放射エネルギーが上部表面 105 に作用するため、上部表面 105 はこの第1の温度パラメータ 560 を超えて加熱を開始することがある点が認識される。これに応答して、プロセッサ 510 は、変速プロワ140 の速度を増大させて上部表面 105 を冷却するために第1の冷却電力コントロール出力 533 をコントロールしてもよく、これは底部表面 107 の更なる冷却を付随的にもたらす。同様に、バイアスを逆にすることによって、底部表面 107 の加熱をもたらすことができる。ゆえに、第2の冷却電力コントロール出力 534 を使用してラ

10

20

30

40

50

ンプ 802、804 間の照射バイアスを変調することによって、プロセッサは、上部表面 105 に対して底部表面 107 の温度を選択的に昇降させることができる。

#### 【0036】

チャンバ壁 102 の上部および底部表面 105、107 を温度変調するだけでなく、チャンバ壁 102 の側面部分を変調することも可能である。例えば、図 1 を参照すると、入口および出口のダクトの適切なコントロールによって、左に隣接する上部表面 151 および右に隣接する上部表面 152 のそれぞれの温度をコントロールすることができる。隣接する上部表面 151、152 は上部表面 105 に隣接しているため、基板 106 の上部表面に隣接することになる。同様に、左に隣接する底部表面 153 および右に隣接する底部表面 154 を温度変調することが可能であり、これらは底部表面 107 に隣接しているため、基板 106 の底部表面に隣接することになる。コントロール論理部は、温度変調する個々のチャンバ壁表面部分と同数の温度パラメータを受容するように容易に拡張可能であり、これを実行する方法は本開示に照らして明確であるはずである。

#### 【0037】

本発明はここで特定の実施形態を参照して説明されてきたが、これらの実施形態は本発明の原理および用途の例示に過ぎないことが理解されるべきである。種々の修正および変形が、本発明の精神および範囲から逸脱することなく本発明の方法になされてもよいことは当業者に明らかである。従って、本発明は、添付の請求項およびこれらの同等物の範囲内の修正および変形を含むことが意図されている。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0038】

【図 1】熱反応チャンバの第 1 の実施形態の断面図を示している。

【図 2】1 つ以上の実施形態に従って使用可能なコントロール論理部の図である。

【図 3】仮定的温度軌道を図示するグラフである。

【図 4】1 つ以上の実施形態に従って使用可能なコントロール論理部の図である。

【図 5】熱反応チャンバの第 2 の実施形態の断面図を示している。

【図 6】1 つ以上の実施形態に従って使用可能なコントロール論理部の図である。

【図 7】図 5 および 6 に示されている実施形態の仮定的な第 1 および第 2 の温度軌道を図示するグラフである。

【図 8】熱反応チャンバの第 3 の実施形態の断面図を示している。

【図 9】熱反応チャンバの第 4 の実施形態の断面図を示している。

#### 【符号の説明】

#### 【0039】

100...膜形成システム、102...チャンバ壁、103...熱反応チャンバ、104...基板サポート構造、105...上部表面、106...基板、107...底部表面、110...エントリポート、112...排出ポート、114...赤外線放射バルブ、116...サポートアセンブリ、118...ハウジング、120...入口導管、122...出口導管、124...上部入口ポート、126...下部入口ポート、128...上部排出ポート、130...下部排出ポート、131...冷却剤調節器、132、134、136、138...光学高温計、140...プロワ、151...左に隣接する上部表面、152...右に隣接する上部表面、153...左に隣接する底部表面、154...右に隣接する底部表面、200...コントロール論理部、210...プロセッサ、221...コントロールコード、220...メモリ、223...セットポイント、224...時間値、225...温度値、228...現在の目標温度、229...現在の測定温度、231、232...温度入力、233...冷却電力コントロール出力、238...ディスプレイ、239...入力デバイス、240...タイマ、251、252、253、254、255、256、257...ポイント、260...漸近曲線、300...コントロール論理部、322...温度パラメータ、323...セットポイント、324...時間値、325...冷却電力レベル値、328...現在の目標冷却電力レベル、333...冷却電力コントロール出力、400...コントロール論理部、431、439...冷却剤調節器、500...コントロール論理部、510...プロセッサ、520...メモリ、521...現在の上部表面温度、522...現在の底部表面温度、5

10

20

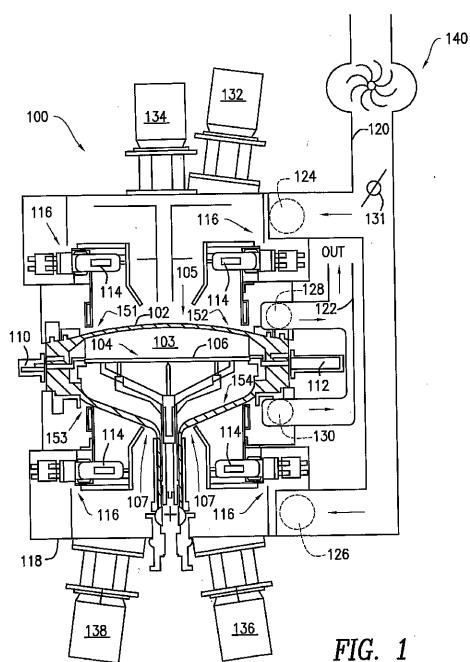
30

40

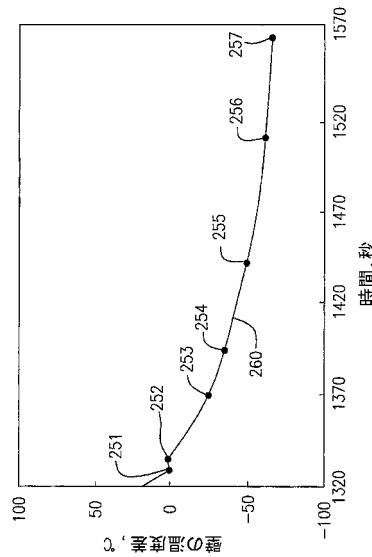
50

23...第1の現在の目標温度、524...第2の現在の目標温度、531...上部表面温度入力、532...底部表面温度入力、533...冷却電力コントロール出力、560...第1の温度パラメータ、570...第2の温度パラメータ、701...第1の変速プロワ、702...第2の変速プロワ、802...上部ランプ、804...底部ランプ

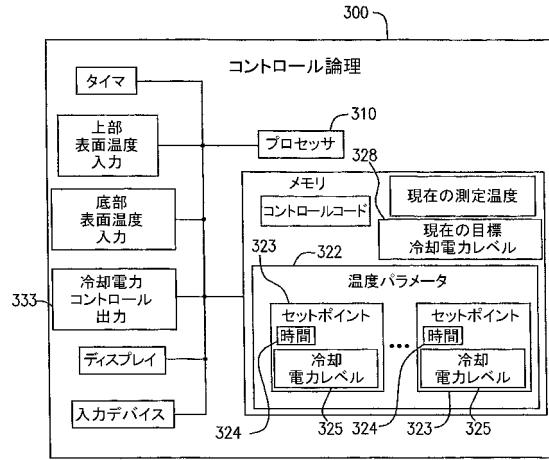
【図1】



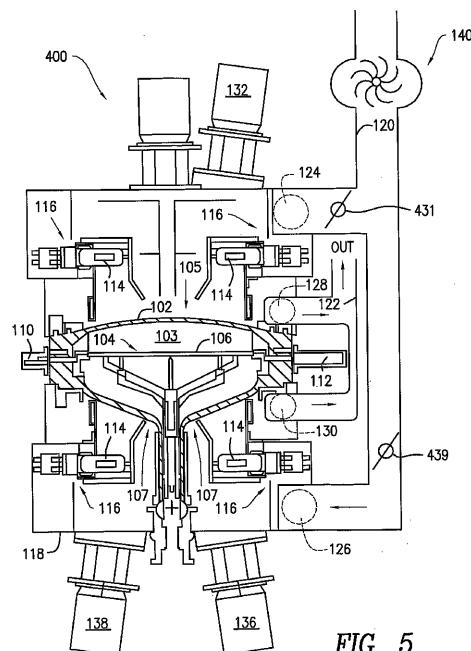
【図3】



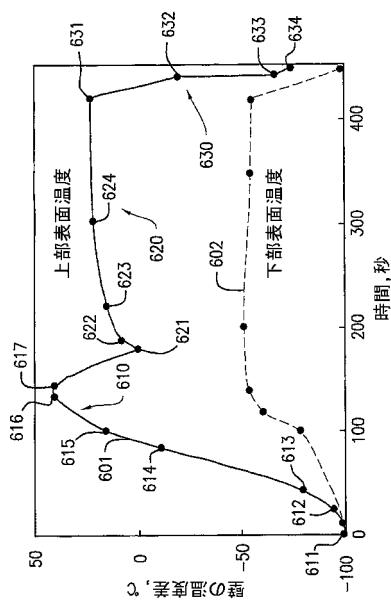
【図4】



【図5】



【図7】



【図8】

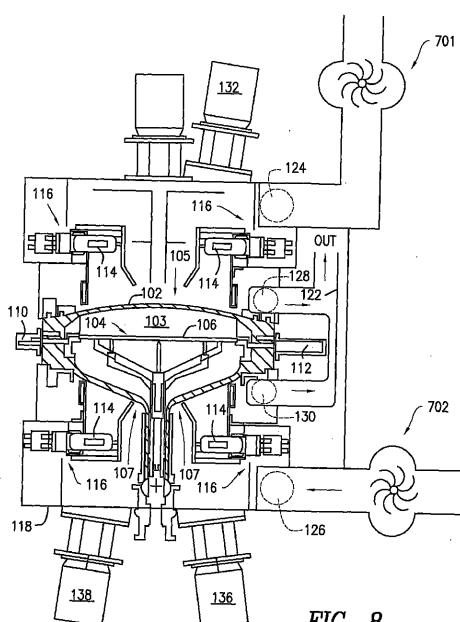


FIG. 8

【図9】

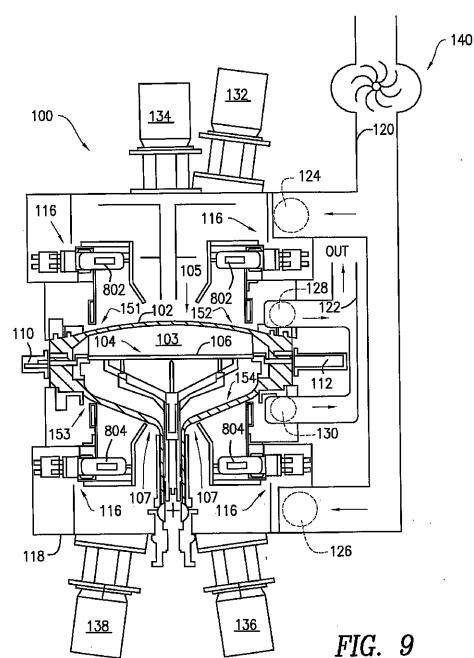


FIG. 9

---

フロントページの続き

- (72)発明者 カールソン， デイヴィッド， ケー。  
アメリカ合衆国， カリフォルニア州， サン ホゼ， クライトナー ウェイ 4054
- (72)発明者 ラム， アンドリュー  
アメリカ合衆国， カリフォルニア州， サン フランシスコ， フォーティーセカンド ストリート 2287
- (72)発明者 ヘムカー， マニッシュ  
アメリカ合衆国， カリフォルニア州， サニーヴェール， イースト ホームステッド ロード 999
- (72)発明者 サンチエス， エロル  
アメリカ合衆国， カリフォルニア州， トレイシー， ジル ドライヴ 324
- (72)発明者 クップラオ， サティーシュ  
アメリカ合衆国， カリフォルニア州， サン ホゼ， パイパー ドライヴ 4578
- (72)発明者 ベックフォード， ハワード  
アメリカ合衆国， カリフォルニア州， サン ホゼ， マックリン コート 762

審査官 伊藤 光貴

- (56)参考文献 特開2002-353154(JP, A)  
米国特許第06666924(US, B1)  
特開平07-037827(JP, A)  
特開平06-260415(JP, A)  
欧州特許出願公開第01160353(EP, A1)  
特開平04-245419(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 23 C 16 / 00 - 16 / 56  
H 01 L 21 / 205  
H 01 L 21 / 26