

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4166831号

(P4166831)

(45) 発行日 平成20年10月15日 (2008.10.15)

(24) 登録日 平成20年8月8日 (2008.8.8)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/302 I O 1 G

C 2 3 C 16/509 (2006.01)

C 2 3 C 16/509

H O 1 J 37/32 (2006.01)

H O 1 J 37/32

H O 1 L 21/205 (2006.01)

H O 1 L 21/205

請求項の数 17 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願平10-500658	(73) 特許権者	592010081
(86) (22) 出願日	平成9年6月2日 (1997.6.2)		ラム リサーチ コーポレーション
(65) 公表番号	特表2000-511701 (P2000-511701A)		LAM RESEARCH CORPOR
(43) 公表日	平成12年9月5日 (2000.9.5)		ATION
(86) 国際出願番号	PCT/US1997/009031		アメリカ合衆国, カリフォルニア 950
(87) 国際公開番号	W01997/046730		38, フレモント, クッシング パークウ
(87) 国際公開日	平成9年12月11日 (1997.12.11)		エイ 4650
審査請求日	平成16年6月2日 (2004.6.2)	(74) 代理人	100076428
(31) 優先権主張番号	08/658, 259		弁理士 大塚 康徳
(32) 優先日	平成8年6月5日 (1996.6.5)	(74) 代理人	100112508
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理チャンバ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマ処理チャンバであって、

前記処理チャンバ内で基板を支持するための基板ホルダと、

前記基板ホルダに面する内部表面を有する誘電体部材と、

前記チャンバにプロセス・ガスを供給するガス供給装置と、

前記誘電体部材を通して前記チャンバ中にまで R F エネルギーを誘導結合し、プロセス・

ガスにエネルギーを与えてプラズマ状態にするための R F エネルギー源と、

前記誘電体部材を冷却し、内部表面をしきい値温度よりも低く維持する冷却機構とを備え

、

前記誘電体部材が誘電体窓および該誘電体窓に隣接したアンテナとを備え、該アンテナが

該窓を通して R F 電力を供給して前記処理チャンバのプロセス・ガスにエネルギーを与え

てプラズマ状態にし、該アンテナが実質的に平面形状を有し、前記冷却機構が該アンテナ

内に液体流路を備え、

前記誘電体部材が、前記誘電体窓に隣接するガス分配プレートを備え、該ガス分配プレー

トがその中にガス出口を含み、その出口を通してプロセス・ガスが前記チャンバの内部に

入り、前記アンテナは、そのガス出口が前記基板ホルダと該アンテナとの間に直接には存

在しないように配置されていることを特徴とするプラズマ処理チャンバ。

【請求項 2】

前記ガス分配プレートがそれを貫通する孔を有し、該ガス分配プレートはプロセス・ガス

をチャンバの内部に供給し、前記ガス供給装置は前記プロセス・ガスを前記ガス分配プレートに供給することを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項 3】

前記誘電体窓が前記アンテナと前記ガス分配プレートとの間にあることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項 4】

前記冷却機構は、前記アンテナまたは前記ガス分配プレートと熱伝達接触状態で温度制御された液体を流すことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項 5】

電氣的に導電性のない液体を前記冷却機構に供給し、前記内部表面を前記しきい値温度よりも低く維持する閉回路冷却システムをさらに備えることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理チャンバ。

10

【請求項 6】

前記冷却機構が、前記アンテナの液体流路内に流す液体の温度を制御する閉回路温度制御装置を含むことを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項 7】

前記液体が、水を含まない誘電性液体であることを特徴とする請求項6に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項 8】

前記誘電体窓が間隔を置いて互いに分離された第 1 および第 2 区分を有し、該第 1 区分が周囲の気圧にさらされる外側表面を含み、該第 2 区分が前記内部表面を含み、前記間隔が熱伝達媒体で満たされることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理チャンバ。

20

【請求項 9】

前記誘電体窓が、実質的に均一な厚さと実質的に平面の構成とを有することを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項 10】

前記ガス分配プレートが、実質的に均一な厚さと実質的に平面の構成とを有することを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項 11】

前記 R F エネルギー源が、前記誘電体部材に熱結合され、該誘電体部材が主として窒化アルミニウム若しくはアルミナからなることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理チャンバ。

30

【請求項 12】

前記誘電体部材は、 $Al_2O_3$  若しくは  $AlN$  から組成された主体部を備えることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項 13】

前記熱伝達媒体は冷媒であり、前記冷却機構は前記冷媒を前記間隔において循環させることを特徴とする請求項8に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項 14】

前記プラズマ処理チャンバは、プラズマエッチングリアクタを備え、前記冷却機構は、前記誘電体部材の内部表面をプロセス・ドリフトが発生する温度よりも低い温度に維持することを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理チャンバ。

40

【請求項 15】

前記冷却機構は、前記誘電体部材の外部表面の温度をモニタする 1 つ若しくはそれ以上のセンサを含み、当該冷媒機構は前記 1 つ若しくはそれ以上のセンサ出力に基づいて、前記誘電体部材の内部表面をしきい値温度よりも低く維持することを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理チャンバ。

【請求項 16】

前記誘電体部材は主として、少なくとも  $20 W / m \cdot K$  の熱伝導率を有する材料からなることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理チャンバ。

50

## 【請求項 17】

前記誘電体窓はアルミナ若しくは窒化アルミニウムから組成される主体部を備え、前記ガス分配プレートはアルミナ若しくは窒化アルミニウムから組成される主体部を備えることを特徴とする請求項 3 に記載のプラズマ処理チャンバ。

## 【発明の詳細な説明】

## 発明の分野

本発明は、プラズマ処理チャンバおよびプラズマ処理チャンバの温度を制御する方法に関する。より詳細には、本発明は、多基板が連続的に処理される時にプロセス・ドリフトを防止するために、基板に面する内部表面を冷却するための方法および処理チャンバに関する。

10

## 発明の背景

真空処理チャンバは、一般に気相成長法 (CVD) および材料エッチングを基板上でプロセス・ガスを真空チャンバに供給し、RF電界をガスに当てることによって行うために使用される。平行板、トランス結合型プラズマ (TCP、別称 ICP)、および電子・サイクロトロン共振 (ECR) リアクタの例は、公共所有となった米国特許第 4,340,462 号、第 4,948,458 号、第 5,200,232 号に開示されている。基板は、基板ホルダによって、真空チャンバの中の適所に処理の間保持される。従来の基板ホルダは、機械的クランプおよび静電クランプ (ESC) を含む。機械的クランプおよび ESC 基板ホルダの例は、公共所有の米国特許第 5,262,029 号、および公共所有の 1995 年 3 月 10 日に出願された米国特許第 08/401,524 号に与えられている。電極の形をした基板ホルダは、米国特許第 4,579,618 号に開示されているとおり、処理チャンバに無線周波数 (RF) 電力を供給することができる。

20

無線周波数 (RF) 源に連結されたアンテナが処理チャンバ内でガスにエネルギーを与えてプラズマ状態にすることを特徴とするプラズマ処理システムは、米国特許第 4,948,458 号、第 5,198,718 号、第 5,241,245 号、第 5,304,279 号、第 5,401,350 号に開示されている。このようなシステムでは、アンテナは処理チャンバの外部に配置され、RF エネルギーは誘電体窓を通して処理チャンバに供給される。このような処理システムは、エッチング、蒸着、レジスト・ストリッピングなどの様々な半導体処理の応用例に使用できる。

## 発明の概要

30

本発明の 1 目的は、基板に面する内部表面の温度を制御することによって、複数の基板の処理が連続的に行われている時に、処理中の基板のプロセス・ドリフトと品質低下の問題を克服することである。基板に面する内部表面の温度制御は、最小のプロセス・ドリフトで基板の処理が、連続的に行われることを可能にする。

本発明の 1 態様によれば、プラズマ処理チャンバの壁を形成する誘電体部材の内部表面の温度を制御するための方法を提供する。この方法では、RF エネルギーは誘電体部材を通じて誘導結合され、内部表面は、基板を保持するために基板ホルダに面する。その方法は、内部表面をしきい値温度より低く保持するために、内部表面を、誘電体部材と熱伝接触状態で温度制御流体を通過させることなどにより、冷却すること、および内部表面をしきい値温度より低く維持しながら、連続的に基板を処理することを含む。しきい値温度は、酸化物エッチングなどの処理中では 90 以下にできる。誘電体部材は、ガス分配プレートまたは誘電体窓などのチャンバ構成要素であることが可能である。

40

本発明の好ましい実施形態によれば、誘電体部材は、誘電体窓または組合せ窓 / ガス分配プレートを備え、温度制御流体は窓によってチャンバの内部から分離されている RF アンテナに設けられた流路を通過する液体である。温度制御流体は、誘電性液体であることが好ましく、内部表面は 80 以下の温度に維持されることが好ましい。

本発明の別の態様によれば、基板を処理チャンバ内に保持するための基板ホルダと、基板に面する内部表面を有する誘電体部材と、プロセス・ガスを処理チャンバに供給するガス供給装置と、内部表面をしきい値温度より低く冷却するために、誘電体部材と熱伝接触状態で温度制御流体を通過させることなどにより、誘電体部材を冷却する冷却機構とを含

50

むプラズマ処理チャンバが提供される。

#### 【図面の簡単な説明】

本発明は、同じ要素が同じ参照番号を担っている、添付の図面を参照しながら、より詳細に説明されるであろう。

図 1 は、本発明に基づくアンテナ冷却機構を有する真空処理チャンバの横断面図である。

図 2 は、アンテナ冷却機構を用いない場合に処理チャンバで発生するプロセス・ドリフトを示す温度対時間のグラフである。

図 3 a から図 3 f は、図 2 に示された処理中にエッチングされた 25 枚のウェーハを連続で 2 巡したうちの第 2 番目と、第 6 番目と、第 12 番目と、第 25 番目と、第 42 番目と第 50 番目のウェーハの酸化物エッチング・プロフィルの顕微鏡写真である。

図 4 は、アンテナが、毎分 150 立方フィート ( $2,831.7 \text{ cm}^3$ ) でアンテナに吹き付けられる空気で冷却されることを特徴とする図 1 に示されたとおりの装置における窓の温度のグラフである。

図 5 は、アンテナに液体を通過させることによってアンテナが冷却されることを特徴とする図 1 に示されたとおりの装置における窓およびガス分配プレートの温度のグラフである。

図 6 は、本発明のさらなる実施形態に基づく誘電体窓およびガス分配プレートのための取り付け配置構成の横断面図である。

#### 好ましい実施形態の詳細な説明

基板のプラズマ・エッチングにおいて、プロセス結果はエッチング・レート、エッチング・プロフィルおよびエッチング選択性に依存し、それらのおおのは連続してエッチングされたウェーハの数の関数として変化する可能性がある。プロセス結果におけるこの変化は、プロセス・ドリフトと呼ばれている。プロセス・ドリフトは、結果として生じる基板の仕様がそれらの所望の目的のために受け入れられる範囲の「プロセス窓」からずれるプロセス結果を生じる。プロセス・ドリフトが発生し、プロセス結果が「プロセス窓」からずれる場合、プロセスされた基板は仕様の範囲内に無く、使用不可能である。

酸化物エッチング・プロセスにおいてエッチングされる基板は、一般に基層、エッチングすべき酸化物層、および酸化物層の頂部に形成されるホトレジスト層を含む。酸化物層は  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{BPSG}$ 、 $\text{PSG}$ 、または他の酸化物材料のうちの一つでよい。基層は  $\text{Si}$ 、 $\text{TiN}$ 、シリサイド、または他の下層または基板材料であってよい。ホトレジスト・エッチング・レートと比較し、エッチングすべき層のエッチング・レートであるエッチング選択性は、4 : 1 ぐらい、またはより高いことが好ましい。基層と比較した酸化物層のエッチング選択性は、酸化物 : ホトレジスト・エッチング選択性が、40 : 1 などより大きいことが好ましい。これらのエッチング選択性は、処理チャンバの温度上昇により、基板の連続的処理中に変化可能である。たとえば、チャンバが酸化物エッチング中に 80 より高くまで熱くなると、 $\text{CF}_3$  が  $\text{CF}_2$  と  $\text{HF}$  を形成し、 $\text{CF}_2$  が高分子堆積の増大を導きプロセス・ドリフトを起こす反応が発生する可能性がある。同じ問題は、マスキングされた層との化学的相互作用が高分子堆積を起こす堆積反応またはレジスト・ストリッピングなどの他のプロセスについて発生する可能性がある。このような堆積は、それらがウェーハの不均一な処理をもたらす可能性があるので、ウェーハの処理数が多くなればなるほど悪化するという問題になり望ましくない。

酸化物、金属、ポリシリコン、レジストなどのようなエッチング層、および被膜堆積プロセスのための処理チャンバは、一般に、RF バイアス電極を有する基板支持部、および  $\text{He}$  の裏側冷却が行われる時に支持部上に基板を保持するためのクランプを含む。基板支持部は一般に、受け入れられるレベルを超える基板温度上昇を防止するために液体で冷却される。しかし、基板の処理表面に近接したり、面したりしている誘電体窓またはガス分配プレートなどの内部チャンバ表面を有する処理チャンバでは、チャンバ表面は基板の処理中に熱し、この温度変化から生じるエッチング化学における変化のために、望ましくないプロセス・ドリフトを起こす可能性がある。

高密度プラズマ・エッチング・リアクトル (たとえば、誘導結合型、トランス結合型、ヘ

10

20

30

40

50

リコンなど)では、酸化物のエッチング・レートおよびエッチング選択性はまた、継続的にエッチングされた基板数がチャンバの温度上昇により増加するにつれて、変化する可能性がある。酸化物のエッチング・レートは、最終的にエッチングが停止するまで、チャンバの温度上昇により減少する。ホトレジストまたは下層のエッチング・レートと比較して、エッチングすべき層のエッチング・レートである、エッチング選択性は、また処理チャンバの温度上昇によっても変化する。

本発明によれば、基板の上の誘電体部材の内部表面は、プロセス・ドリフト問題を最小化するために温度制御されている。本発明は、特にシリコン、ポリシリコン、シリサイド、窒化チタン、アルミニウムのような導電性の層、または窒化シリコンのような非導電性材料の上に重なる、特に二酸化シリコン(たとえばドーピングされた、またはドーピングされていないTEOS、BPSG、USG(ドーピングされていないスピン・オン・グラス)、熱酸化物、プラズマ酸化物など)のような誘電体材料のエッチング中のプロセス・ドリフトを防止するのに有用である。本発明によれば、プロセス・ドリフトは、 $0.5\mu\text{m}$ 以下の寸法を有する(接触穴、ビア、溝などのような)特徴が与えられることが可能であり、2:1から7:1の範囲のアスペクト比が、半導体ウェーハ(たとえば25枚以上の連続したウェーハ)などの基板のシーケンシャル・バッチ処理中に、基板から基板へ一貫して維持され得る、というような範囲にまで最小化されうる。

本発明の1実施形態による真空処理チャンバは、図1に示されている。真空処理チャンバ10は、RFバイアスをその上で支えられる基板に与える基板ホルダ12、およびHeで背面冷却される間に基板をクランプするための機械的クランプ14を含む。高密度(たとえば、 $10^{11} \sim 10^{12}$ イオン/ $\text{cm}^3$ )プラズマを、適切なRFソースおよび適切なRFインピーダンス整合回路によって電力が与えられたアンテナ18などのチャンバにおいて維持するためのエネルギー源は、RFエネルギーをチャンバ10に誘導結合して、高密度プラズマを提供する。チャンバは、チャンバの内部を所期の圧力(たとえば50mTorr未満、典型的には1~20mTorr)で維持するための適切な真空ポンプ装置を含む。均一な厚さの、実質的に平面の誘電体窓20は、アンテナ18と、処理チャンバ10の内側との間に与えられ、処理チャンバ10の頂部に真空壁を形成する。一般にシャワーヘッド22と呼ばれるガス分配プレートは、窓20の下に装備され、ガス供給元23によって供給されるプロセス・ガスを処理チャンバ10に送るための丸い穴(図示せず)などの複数の開口部を含む。しかし、ガス分配プレート22は省略可能であり、プロセス・ガスは、ガス・リングなどのような他の配置構成によってチャンバに供給可能である。アンテナ18には、本発明の1実施形態によれば、温度制御流体が入口導管25および出口導管26を介して通される流路24が与えられている。しかし、アンテナ18および/または窓20は、空気をアンテナおよび窓越しに吹かせたり、冷却媒体を窓および/またはガス分配プレートなどを通過させるか、またはそれらと熱伝達接触状態で通過させるなどの他の手法によって冷却され得ることもある。

誘導結合されたプラズマ・リアクトル・システムにおいて窓の温度制御なしでの半導体基板のプラズマ・エッチング中は、エッチング壁の形状であるエッチング・プロフィルは、エッチング・プロセス中の処理チャンバ内で発生する温度上昇により変化する可能性がある。図2は酸化物エッチング・プロフィルに関するプロセス・ドリフトの影響を示す、時間対温度のグラフである。図3aから図3fに示されるとおり、6つの顕微鏡写真で示されているエッチングされた基板のエッチング・プロフィルは、基板が連続的に処理される時間に亘って変化する。プロセスの始まりにおいては、エッチングされる第2基板(図3a)および第6基板(図3b)は、断面ではほとんど垂直に見えるエッチング壁を有する。プロセスが、エッチングされる第12基板(図3c)および第25基板(図3d)へと移るにつれて、エッチング壁は、より垂直でなくなる。25枚の基板が図2に示すテストにおいて処理された後、プロセスは、ポート(つまりウェーハ・カセット)交換および転送モジュールのリセットのために遅れた。これらの遅延は、基板の継続的処理に中間待機を起し、その結果、グラフに示された温度低下をもたらした。ポート交換および転送モジュールのリセット後は、処理チャンバおよびプロセス窓の温度は上昇し続けた。第42

10

20

30

40

50

基板（図3e）および第50基板（図3f）の横断面図からわかるように、これらの基板のエッチング・プロファイルは大きな度合にまで歪められた。エッチング・プロファイルのこのような歪みがあると、エッチングされつつある接触穴は、酸化物層から基層まで完全に貫通してエッチングされない可能性がある。酸化物層を完全に貫通してエッチングしないという故障の結果、最終的集積回路チップが動作不可能になる可能性がある。

図4は、図1に示された装置での、25枚のシリコン半導体ウェーハの1回のランの間のパラメータのグラフであり、選択性がグラフの右側に示され、窒化アルミニウム窓の、様々な位置での温度がグラフの左側に示されている。本発明によれば、窓は、アンテナと窓に対して、分あたり150立方フィート（ $2,831.7\text{ cm}^3$ ）の率で空気を吹きかけることによって冷却された。曲線Aは、窓の中央の温度を示し、曲線Bは、窓の外縁部の温度を示し、曲線Cは、窓の中央と外縁部との間の位置での温度を示す。曲線Dは、ウェーハの中央での選択性を示し、曲線Eは、ウェーハの外縁部での選択性を示す。

図4に示された試験結果は、（図1に示された配置構成に似るが、窓を露出するためのガス分配プレートの中央に10インチ（ $25.4\text{ cm}$ ）の穴を有する）窒化アルミニウム窓を有する誘導結合されたプラズマ・リアクトルにおいて実行され、窓の外側表面の上から0.14インチ（ $0.36\text{ cm}$ ）離れたらせんアンテナ越しに空気を通過させることにより冷却された。アンテナには、13.56MHzのRF電力が供給され、基板支持部のRFバイアス電極には4MHzのRF電力が供給された。チャンバで25枚のウェーハを逐次に処理した後、窓温度は、図3に示されるとおり、120を超えて上昇はしなかった。ウェーハの処理は、1100ワットをアンテナに加え、1300ワットを基板支持部の底部RFバイアス電極に加え、チャンバ気圧は5mTorrおよび底部電極を-10にして、 $25\text{ sccm C}_2\text{HF}_5$ および $15\text{ sccm CHF}_3$ を使用した90秒の酸化物エッチングを含んでいた。酸化物エッチングには、400ワットをアンテナに加え、100ワットをRFバイアス電極に加え、チャンバ気圧は15.5mTorrにして、 $750\text{ sccm O}_2$ を使用した10秒のアッシングステップが続き、さらに、400ワットをアンテナに加え、40ワットのRFバイアス電力にして、 $750\text{ sccm O}_2$ を使用した50秒間の第2アッシングステップが続いた。アッシングは、しかし、ウェーハ番号2、6、12、18、および25に関しては省略された。輸送および他の間接作業を含めて、時間周期は、ウェーハあたり約230秒であった。半径0.68インチ（ $1.72\text{ cm}$ ）および5.68インチ（ $14.42\text{ cm}$ ）のプロープを使用して窓温度が測定された。

図5は、図1に示された装置での、5枚のウェーハの1回の処理の間の窓温度のグラフである。本発明によれば、窓は、アンテナに約1850ワットで電力を与えながら、また基板支持部のRFバイアス電極に約2100ワットで電力を与えながら、約20の誘電性液体をアンテナの流路に通過させることによって冷却された。図5では、曲線Aは、窓の中央での温度を示し、曲線Bは、窓の中央から2.75インチ（ $6.98\text{ cm}$ ）の距離での温度を示し、曲線Cは、ガス分配プレートの中央から0.5インチ（ $1.27\text{ cm}$ ）の距離での温度を示し、曲線Dは、そのプレートの中央から3インチ（ $7.62\text{ cm}$ ）の距離での温度を示し、曲線Eは、アンテナに入る冷却液の温度を示し、曲線Fはアンテナから出て行く冷却液の温度を示す。

操作においては、ウェーハは基板ホルダ12上に配置され、典型的には、He背後冷却が使用される場合に、静電クランプ、機械的クランプ、または他のクランプ・機構によって適所に保持される。プロセス・ガスが次に、プロセス・ガスを窓20とガス分配プレート22との間のギャップを通じて通過させることによって、真空処理チャンバ10に供給される。適切なガス分配プレート（つまりシャワーヘッド）配置構成は、公共所有となった米国特許出願第08/509,080号において公開されており、その公開箇所は、参考として本明細書に組み込まれている。たとえば、図1における窓およびガス分配プレート配置が平面であり均一な厚さを有する一方で、非平面の、および/または非均一な厚さの形状は、窓および/またはガス分配プレートのために使用することは可能である。高密度プラズマは、次いで、ウェーハと窓との間のスペースにおいて、適切なRF電力をアンテナ18に供給することによって発火される。温度制御流体は、アンテナ18、窓20、お

10

20

30

40

50

よびガス分配プレート22をしきい値温度より低い温度に維持するために、流路24を通してアンテナ18において通過させられる。

酸化物エッチングの間、チャンバ気圧は、典型的には300mTorrよりも低く、2~40mTorrが好ましく、アンテナは200~2000ワットで電力を与えられ、400~1600ワットが好ましく、RFバイアスは2200ワット以下であり、好ましくは1200~2200ワットであり、Heの背圧は5~40Torr、好ましくは7~20Torrである。プロセス・ガスは10~200sccmのCHF<sub>3</sub>、10~100sccmのC<sub>2</sub>HF<sub>5</sub>および/または10~100のC<sub>2</sub>F<sub>6</sub>を含むことが可能である。

前に説明されたとおり、プロセス・ドリフトは酸化物エッチング・レート、エッチング・プロフィル、およびエッチング選択性に变化をもたらす可能性があり、このようなプロセス・ドリフトは、多数の基板が連続的に処理されるにつれて、処理チャンバで熱が蓄積されることに起因する。基板を処理するプラズマと接触する窓20および/またはガス分配プレート22の温度がしきい値温度より低く維持され得る場合には、プロセス・ドリフトが大きく削減され得るということが発見されている。円錐リング30などの、真空処理チャンバ10の内部の他の表面の温度もまた、しきい値温度よりも低くなるように温度制御することが可能である。

ガス分配プレート22の温度制御は、閉回路温度制御装置28から、アンテナ18を通じて流体を循環させるための流路24を使用することによって与えられることができる。温度制御装置は、1つ以上の温度センサ27によるなどして窓温度をモニタすることと、アンテナ18を通じて、窓をしきい値温度より低く維持するために冷却液温度および/または冷却液の流量率を制御することが好ましい。アンテナ18は、窓とアンテナ18との間の十分な熱伝達を与えるために窓20と良好な熱的接触を行っていることが好ましい。窓は、アンテナ18から、窓を貫通してガス分配プレート22までの熱伝達を最大にする、窒化アルミニウムなどの高い熱伝導誘電体材料で造られていることが好ましい。窒化アルミニウムの特性は、100w/m-kの熱伝導率、3.27gm/cm<sup>3</sup>の密度、0.2cal/gm-kの熱容量、および0.75の放射率を含む。ガス分配プレート22もまた、窒化アルミニウムなどの高い熱伝導率を有する材料で造られていることが好ましいが、酸化アルミニウムまたは水晶などの他の誘電体材料もまた、ガス分配プレート22のために使用できる。プラズマからのイオン・ボンバードメントのために、ガス分配プレート22によって受け取られる熱は、窓20を通過し、冷却流体をアンテナ18内に通して窓とガス分配プレート22との間のガス気圧を増大させ、および/または冷却ガスをアンテナ越しに吹きかけることによって除去することが可能である。

アンテナ18は、実質的に平面的プロフィルおよび/または、1つ以上(たとえば3~7)のらせん巻きを有する、らせん形などの様々な形状とプロフィルを有することが可能である。流路24は、冷却流体の入口部分から冷却流体の出口部分にまでアンテナ18の全部分に貫通して延在することが好ましい。たとえば、冷却流体は、らせんアンテナ18の外部から中央方向へ、または中央からその外部へと流動することが可能である。アンテナは、ろう接、接着剤(たとえばRTV)などのような、良好な熱伝達特性をアンテナと窓との間に与えるいずれかの適切な手法によって窓にボンディングすることができる。アンテナを通過する冷却流体は、消イオン水またはFluoroinert(DuPont社によって製造された誘電性流体)などの非導電性液体であることが好ましい。

本発明の変形の実施形態によれば、アンテナはアンテナの、頂部表面などの表面にボンディングされる冷却管を含むことができる。冷却流体は、流路24と同じ方法で、冷却管の中を通過する。

本発明の別の変形の実施形態によれば、窓20およびガス分配プレート22は、単一片として形成されることが可能である。単一片として形成される場合、窓/ガス分配プレート22の配置構成は、より高い熱伝導性が与えられ、かつ/または窓およびガス分配プレート22を渡る熱伝達は、より均一にすることが可能である。単一片の窓/ガス分配プレートをつくる場合には、適切なガス通路および出口穴を、後に焼結されて単一のプレートを形成する緑色セラミック誘電体材料に与えておくことが可能である。プラズマがその通路

10

20

30

40

50

および／または穴にあたることを防止するためには、通路および穴の寸法は、プラズマがプロセス・ガスの流動中およびアンテナに電力を与えている間に形成されるというような条件を回避するのに十分に小さいことが好ましい。

ガス分配プレート 22 の温度は、アンテナ 18 を循環する流体の温度を制御することによって制御可能である。ガス分配プレート 22 の温度は、しきい値温度よりも低く維持されることが望ましい。たとえば、酸化エッチングの場合には、しきい値温度は、閉回路冷却システムで、循環流体の温度を制御することなどにより 120 以下に、好ましくは 90 以下、より好ましくは 80 以下とすることができる。窓の温度もまた、エッチング工程の間のガス分配プレート 22 の背後のプロセス・ガスの気圧を調整することによって制御される可能性がある。加えて、温度はまた、プロセスまたはウェーハ輸送におけるアッシングステップなどの、遅延を起こし、真空チャンバおよび結果的に窓／ガス分配プレート 22 の配置構成の冷却を可能にする追加的ステップによって、制御される可能性がある。

誘電体窓がガス分配プレートとアンテナとの間にある場合には、アンテナを、そのアンテナの部分がガス分配プレートのいずれの出口穴にも上から重ならないように配置することが望ましい。たとえば、アンテナが多重巻きコイルを備え、ガス分配プレートが中央の穴およびその中央穴から固定半径の円周上に配置された 6 つの穴を含む場合、アンテナは、その円を通過するいずれの巻き分もその円周上に位置する 1 対の隣接する穴の間に等しく配置されるように配置することが好ましい。アンテナのこのような配置は、アンテナにもっとも近い穴に、プラズマをあてる可能性を最小にするはずである。

処理チャンバの真空環境への窓として使用される誘電体プレートには、約  $10^4 \text{ K g / m}^2$  の大気圧がかかる。これは、支持部が無い直径、 $\phi = 40 \text{ cm}$  を有する典型的窓プレートに関しては、内向きの力は合計で約 1200 Kg になるということを意味する。したがって、高強度材料が要求され、さもないと、窓は超極厚に、たとえばセラミックに対して 5 X の安全率を考慮すると、これは  $\phi = 40 \text{ cm}$  の水晶窓のために約 2 cm の厚さを要求することになるであろう。

一般に、プロセス要求条件は、このような窓の内側表面は、その化学的および／または物理的特性に対して、水晶などのプロセス互換性材料から構成される、ということを強いる可能性がある。これは、したがって、バルク窓材料として用意され得るか、またはなんらかの他の材料または複合構造の十分な厚さを有するコーティング、またはボンディングされた表面として用意され得るか、または、真空において分離して支持されるカバー・プレートとして用意され得る。窓設計は、上記の構造上の要求条件と互換性がなければならない。さもないとコーティングまたはボンディング手法が利用される場合、その複合構造物は、その成長またはボンディング・プロセスにおける被膜張力の影響、および熱的応力差の可能性を受けやすくなるであろうし、最後のカバー・プレートの場合では、分離した支持構造が必要になることがある。さらに、プロセス要求条件は、可能な限りいずれかのそこに取り付けられる誘電体窓またはカバー・プレートの内側表面を含むチャンバ壁の表面温度は制約され、可能な限り能動的に制御されるということを強いることがある。

処理チャンバへの窓は、ふつうは処理チャンバへの、または処理チャンバからのエネルギーの伝達のために使用される。たとえば、U - V、可視、I - R、マイクロ波、および R F E - M 放射の形での電力は、すべて真空チャンバへ、および真空チャンバから誘電体窓を使用して伝達される。大きな電力がこの方法で伝達される場合、誘電体は、周波数 ( ) および損失率 (  $\tan \delta$  ) に依存する損失プロセスによって熱せられる可能性がある。伝達損失熱がわずかであるとしても、窓は処理チャンバの壁になっており、チャンバにおける構成要素およびプロセス材料からの輻射プロセス、対流プロセス、および伝導プロセスによって熱せられる可能性がある。たとえば、窓が T C P (トランス結合プラズマ) コイル・アンテナからの電力伝送のために使用されるプラズマ処理においては、数ワットかは、窓の内側表面の各平方 cm に放散され得る。窓が厚さ 2 cm のバルク水晶材料でできている場合、これは、内側表面の数百 の不可避の温度上昇をもたらす。

水晶は、それが多くのプロセス形態と互換性を有し、その低熱拡散係数のために良好な熱

10

20

30

40

50



的ショック抵抗を有することから、窓材料として使用することが可能である。しかし、それは適度な機械的特性、高い熱勾配をもたらす極端に低い熱伝導性、および大きく異なる熱膨張係数を有する材料と接触している場合の高い膨張応力差を有するだけである。このような特性の組合せを有する材料は、本発明のさらなる実施形態に基づく複合窓において利用可能である。このような複合窓には、その内側表面および/または窓が、内側表面温度がモニタ可能であり、その温度が受動的にまたは能動的に制御されるというふうな方法で構築され得るので、水晶などのプロセス互換性材料が与えられる可能性がある。

窓の真空互換性、誘電体特性、相対的なプロセスの緩慢さ、機械的および熱的特性のためには、窓のバルク材料を選択することが望ましい。たとえば、窒化アルミニウムはかなり不活性であり、良好な誘電特性（低誘電定数および損失係数）を有し、熱膨張を含めてアルミニウムに似た機械的特性、および熱容量を有するが、アルミニウムよりも約5倍大きな、すなわち水晶の有する大きさよりも次数が2つ大きな熱伝導性を有する。したがって、 $\phi = 40\text{ cm}$ のバルク水晶のために説明された窓に類似の窒化アルミニウム窓は、厚さが1 cm未満であることが可能であり、依然として真空力を安全に支持することが可能である。このような窓は、その全体で1平方センチメートルあたり1ワットが放出される場合、約1の熱勾配を保持するだけであろうし、かなり短い熱時間定数（分よりもむしろ秒）を有するであろうし、したがって、依然として熱衝撃に関してはかなり良好な状態であろう。さらに、窓の内部温度を制御することは、内側表面が、たとえばバルク水晶窓の場合と違って、密接に追従するであろうことから、外部温度をモニタし外部を選択的に熱するか冷却することによって、可能である。

いくつかの場合には、窒化アルミニウムはチャンバで実行される処理と互換性がないことがある。したがって、露出層がプロセス互換性材料でできている1つ以上の層を備える、たとえば厚さ約2 mmの比較的薄いサブプレートは、主窓プレートの低い側の表面にかなり接近して、かつ主窓プレートと同心で支持され得る。このようなプレートは、たとえば水晶製であるとしても、同一の熱束を受けた時に厚さ2 cmの水晶の場合と同様に、その厚さ全体に亘って何百度ではなく数十度の温度差を補償するだけであろう。サブプレートが、単一材料または複合材料でできた単純な薄いディスクであることを特徴とするこのような配置構成の有利な点は、損傷、またはプロセスにおいて使い尽くされた場合に、すぐに、比較的安価に交換可能なことである。

上記の配置構成があれば、サブプレートの外部は、真空によって外側窓から分離することが可能であり、たとえプレートが緊密に外側窓に接近しているとしても、そのプレートは主窓プレートとは緊密に熱的接触にあるわけではなく、したがってそれらの間の相互スペースに渡って大きな温度差が蓄積される可能性がある。しかし、熱伝導性の接触媒体の薄い被膜は、相互スペース全体で温度低下を最小にするために使用され得る。媒体が流体または弾性体である場合、限度を超えた硬さを避けることができ、大きな膨張力差は設定されない。

主窓に隣接するこのようなサブプレートの機械的支持は、図6に示すように、小さな漏出経路40だけが、主窓プレート44とサブプレート46との間の相互スペース42からチャンバ48の中へ完全に通っており、必要ならば弾性体エッジ・シール50、52が流体熱接触媒体とともに使用するために設けられるように、配置され得る。たとえば、相互スペース42は、真空グリース、薄いシリコン・ゴム・フィルムなどの不活性熱接触媒体で、または、もっとも都合がよい方法として、ガスで充満させることが可能である。ガスが熱接触媒体として使用される場合には、ガスは、ガスが対流式輸送のためには使用されていないので、熱伝導性を最適化する気圧での軽不活性ガスであることが好ましく、たとえば、Heは、典型的にはギャップの寸法および平均自由行程の考慮に依存して、約10 Torrである。ガスが接触媒体である場合には、入口および要求される場合には、出口もまた、相互スペース42が通路54のような適切なガス供給通路を介して適切な気圧にまで満たされるように構成される。さらに、大気圧の応力は、主窓プレート44によってすべて担持されるので、その力はサブプレート46にはかからないということから、大気圧より2桁低い可能性があるHe圧は、サブプレートによって支えなければならず、また

10

20

30

40

50

はグリースまたは被膜が接触媒体として使用される場合には、いずれかの捕らわれているかまたは含まれているガスを出し、かつ熱膨張力の解放を可能にすることができる。サブプレートがガス分配プレートを含む場合にもまた接触媒体は、プロセス・ガスまたはプロセス・ガスに追加されるガスを含むことが可能である。望むなら、ガス分配プレートにおける開口部は、相互スペースの気圧を最適化し、サブプレートから主窓への熱伝達を改善するようにサイズ設定されることが可能である。窓とガス分配プレートとの間の相互スペースでのガス気圧は、 $1 \sim 100 \text{ Torr}$ の範囲内で制御され得る。

主窓プレートと（それが半固体であれ、流体であれ）熱伝導体の薄い被膜とサブプレートとのサンドウィッチから構成される完全なアセンブリは、同一の構造機能を果たせる、水晶などのサブプレート材料の固体窓と比較した時、内側表面と外側表面との間の非常に改善された熱伝導性により、主窓の外部との接触によってチャンバに面する内部表面のモニタおよび温度制御が可能になるであろう。外部温度は、接触とそうでない場合との両方の標準的熱計測手法によってモニタすることができる。温度制御は、埋め込まれたか、接触しているか、または放射による発熱エレメント、および/または主窓の露出表面上で押しつけられた流体（液体またはガス）を使用して達成可能である。熱の性質についての知識および二重プレート窓の近年の沿革が利用可能であるけれども、内部表面の同時継続的直接的温度のモニタおよび精密な制御は、外部からだけでは可能でないかもしれない。たとえば、窓上のさまざまな位置でのモニタ・センサの動的応答を観察するためのフィードバック制御システムをパルス化することを一手法とすれば、他方では主窓とサブプレートの相互スペースに挿入されるセンサの採用が別の手法になるかもしれない。

本発明が、その特定の実施形態を参照しながら詳細に記述されたが、本発明の精神と範囲から逸脱することなく、様々な変更および修正が可能であり、同等のものが採用可能であることは、当業者には明らかであろう。

【図 1】

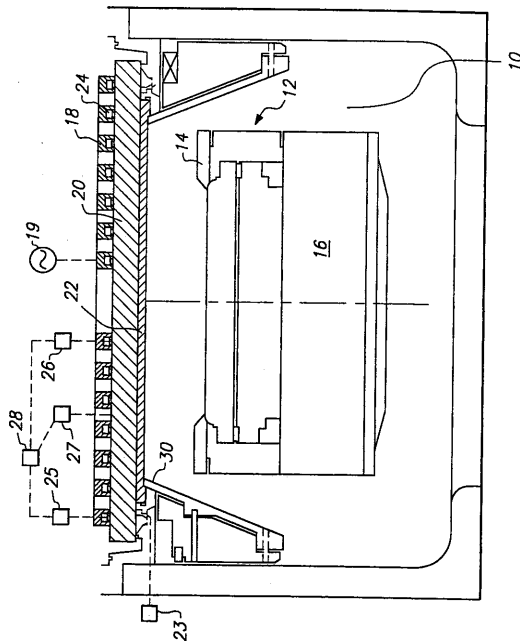


FIG. 1

【図 2】

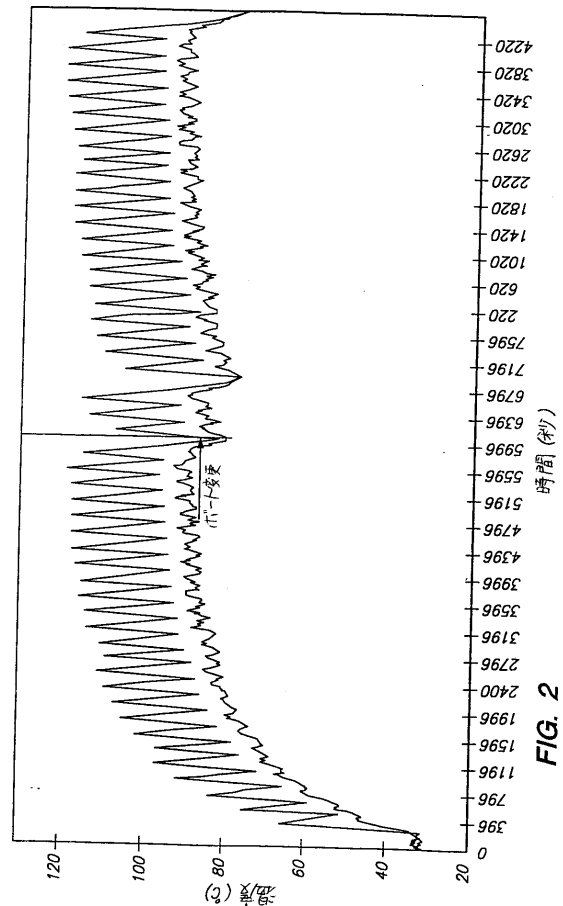
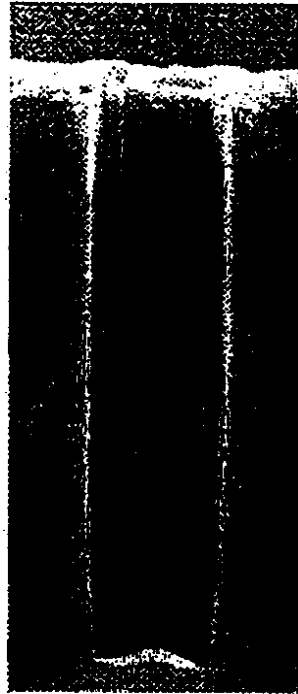


FIG. 2

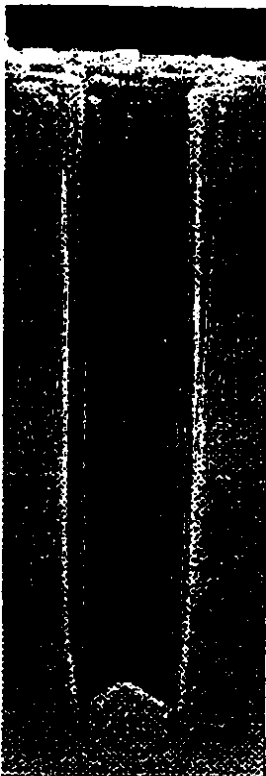
【図 3 a】

*FIG. 3a*

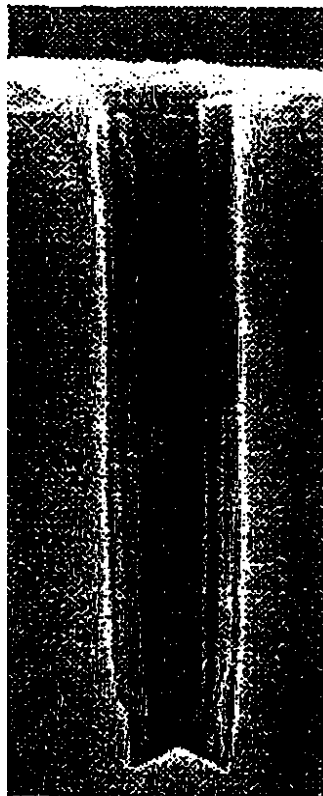
【図 3 b】

*FIG. 3b*

【図 3 c】

*FIG. 3c*

【図 3 d】

*FIG. 3d*

【図 3 e】

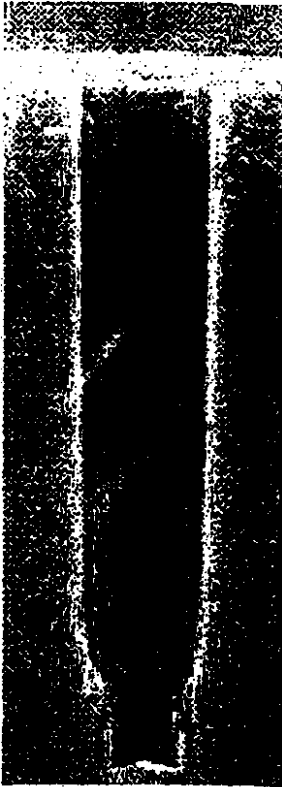


FIG. 3e.

【図 3 f】

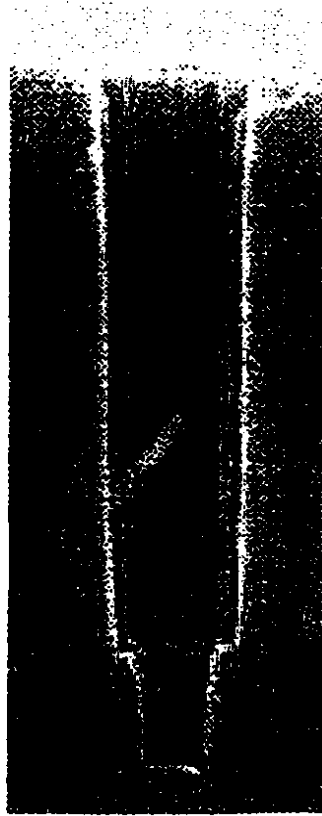


FIG. 3f

【図 4】

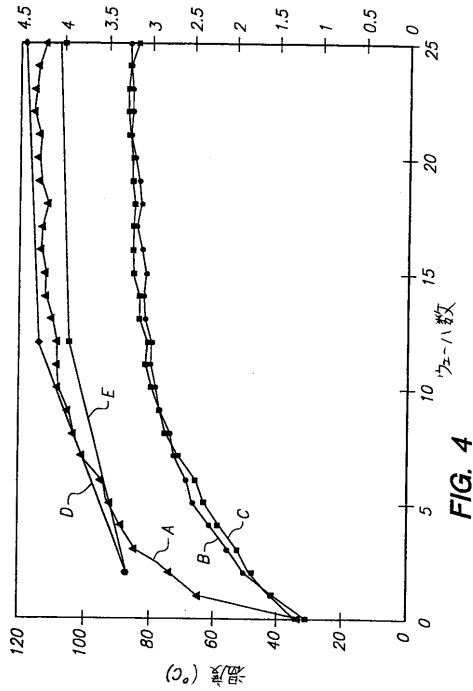


FIG. 4

【図 6】

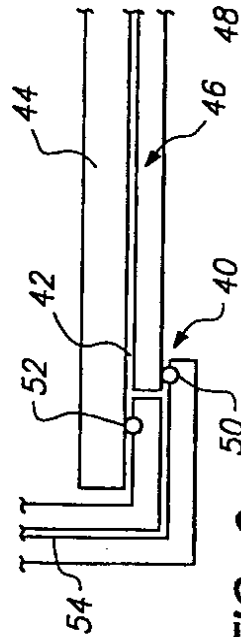


FIG. 6

【図 5】

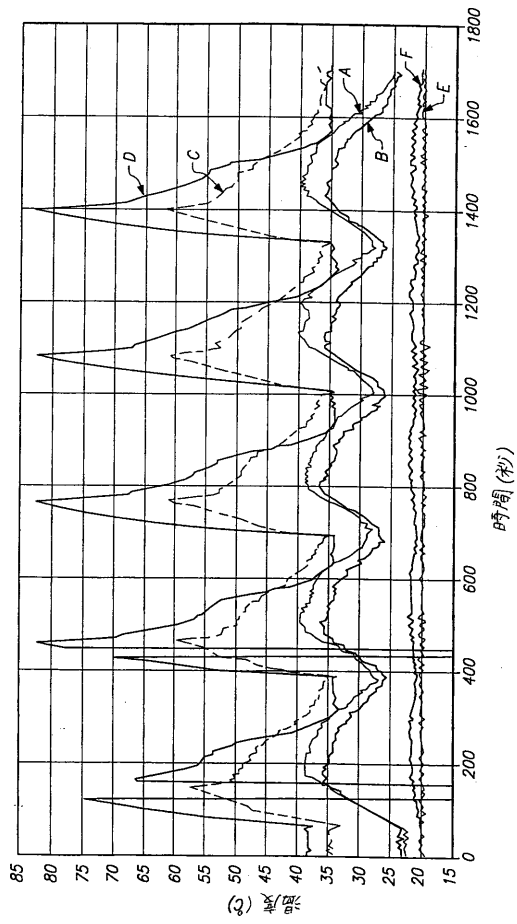


FIG. 5

## フロントページの続き

(74)代理人 100134175

弁理士 永川 行光

(72)発明者 ウィッカー, トーマス イー.

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 9 0 バレジョー, ルイジアナ ストリート 1 4  
1 4

(72)発明者 クック, ジョエル エム.

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 6 6 プレズントン, コルンストリート 1 5 6 9

(72)発明者 マラシン, ロバート エー.

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 1 4 クベルティノ, エドワード ウエイ 2 1 6  
2 9

(72)発明者 ケネディ, ウイリアム エス.

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 6 5 レッドウッド ショアス, アボセット ドライ  
ブ 5, # 2 0 2

(72)発明者 ベンジャミン, ニール

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 3 0 3 イースト パロ アルト, グリーン ストリー  
ト 2 1 6

審査官 今井 淳一

(56)参考文献 特開平 0 7 - 1 0 6 0 9 6 ( J P , A )

特開平 0 6 - 2 3 2 0 8 1 ( J P , A )

特開平 0 7 - 2 5 4 4 9 8 ( J P , A )

特開平 0 7 - 0 7 3 9 9 7 ( J P , A )

特開平 0 8 - 1 1 5 9 0 1 ( J P , A )

特開平 0 7 - 1 2 6 8 7 2 ( J P , A )

特開平 0 7 - 1 8 3 2 8 3 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl., D B名)

H01L 21/3065

C23C 16/509

H01J 37/32

H01L 21/205