

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5043288号
(P5043288)

(45) 発行日 平成24年10月10日 (2012.10.10)

(24) 登録日 平成24年7月20日 (2012.7.20)

(51) Int. Cl.

F I

C 2 3 C 16/455 (2006.01)

C 2 3 C 16/455

C 2 3 C 16/507 (2006.01)

C 2 3 C 16/507

C 2 3 F 4/00 (2006.01)

C 2 3 F 4/00

A

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 42 (全 23 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-537097 (P2003-537097)
 (86) (22) 出願日 平成14年10月9日 (2002.10.9)
 (65) 公表番号 特表2005-507159 (P2005-507159A)
 (43) 公表日 平成17年3月10日 (2005.3.10)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2002/032057
 (87) 国際公開番号 W02003/034463
 (87) 国際公開日 平成15年4月24日 (2003.4.24)
 審査請求日 平成17年10月11日 (2005.10.11)
 審判番号 不服2010-27212 (P2010-27212/J1)
 審判請求日 平成22年12月2日 (2010.12.2)
 (31) 優先権主張番号 60/328,796
 (32) 優先日 平成13年10月15日 (2001.10.15)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 10/024,208
 (32) 優先日 平成13年12月21日 (2001.12.21)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 592010081
 ラム リサーチ コーポレーション
 LAM RESEARCH CORPOR
 ATION
 アメリカ合衆国、カリフォルニア 945
 38, フレモント、クッシング パークウ
 ェイ 4650
 (74) 代理人 100076428
 弁理士 大塚 康徳
 (74) 代理人 100112508
 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】 調整可能なマルチゾーンガス噴射システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマ処理チャンバと、
 前記プラズマ処理チャンバに接続される真空ポンプと、
 前記プラズマ処理チャンバの内部において、その上で基板が処理される基板支持体と、
 前記基板支持体に面する内面を有する誘電体部材であって、前記処理チャンバの壁を形成する誘電体部材と、

前記プラズマ処理チャンバの内部にその末端が露出するように、前記誘電体部材を通して延びるガス噴射器であって、同一のガス供給部から同一の処理ガスを受け、少なくともそのいくつかの排気口の間で独立して変化可能な流量で前記プラズマ処理チャンバに前記
 処理ガスを供給する複数のガス排気口を有する本体を含み、前記ガス排気口は、前記本体の軸方向端面における軸上排気口と、周囲に離れて配置された前記本体の外側面における
 複数の軸外排気口とを含み、非導電性材料で形成されたガス噴射器と、

前記誘電体部材を通して前記プラズマ処理チャンバに R F エネルギーを誘導結合し、前記
 処理ガスにエネルギーを与えてプラズマ状態にして前記基板を処理する R F エネルギー源と、
 を備え、

前記本体の軸方向端面の反対側の上端は閉じられており、

前記本体は、前記上端から前記軸方向端面に延びる円筒状の中央通路と、前記中央通路を取り囲む環状通路とを備え、前記軸上排気口は、前記中央通路から前記処理ガスを受け、前記軸外排気口は、前記環状通路から前記処理ガスを受け、

10

20

前記処理ガスは、前記本体の外側面における給気口によって前記中央通路及び前記環状通路に供給され、

前記軸上排気口は、前記中央通路と同じ直径、かつ、前記軸外排気口より大きな直径を持つことを特徴とするプラズマ処理システム。

【請求項 2】

当該システムは、高密度プラズマ化学気相成長システム又は高密度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。

【請求項 3】

前記 RF エネルギー源は、RF アンテナを含み、

前記ガス噴射器は、前記プラズマ処理チャンバ内の前記誘電体部材と前記基板との間のプラズマ発生領域に向けて前記処理ガスを噴射することを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記軸上排気口及び前記軸外排気口は、第 1、第 2 のガスラインを通して単一のガス供給部から前記処理ガスが供給され、

前記ガスラインは、前記軸外排気口とは独立して前記軸上排気口に調整可能なガス流を提供する流量調整器を含むことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記軸上排気口は、前記基板の露出面に垂直な軸方向に延び、前記軸外排気口は、前記軸方向に対して鋭角をなして延び、

前記軸上排気口は、第 1 のガスラインによって供給される処理ガスを受け、

前記軸外排気口は、第 2 のガスラインから処理ガスを受け、

前記第 1、第 2 のガスラインは、同一のガス供給部から前記同一の処理ガスを受けることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記ガス噴射器は、亜音速、音速又は超音速で前記処理ガスを噴射することを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記軸方向端面は平面であり、前記外側面は前記軸方向端面から連続する円錐面であることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記ガス噴射器は、誘電体ウィンドウに取外し可能に取り付けられて前記プラズマ処理チャンバの中央領域に前記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。

【請求項 9】

前記ガス噴射器は、前記基板の露出面に平行な平面に垂直な軸方向に処理ガスを噴射する少なくとも 1 つの前記軸上排気口と、前記基板の前記露出面に平行な前記平面に対して鋭角をなして処理ガスを噴射する前記軸外排気口と、を含むことを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記ガス噴射器は、誘電体ウィンドウの開口部に取外し可能に取り付けられ、

前記ガス噴射器と前記誘電体ウィンドウとの間に真空シールが設けられることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記 RF エネルギー源は、平面又は非平面のスパイラルコイルの形状をしている RF アンテナを有し、

前記ガス噴射器は、前記プラズマ処理チャンバ内の前記誘電体部材と前記基板との間のプラズマ発生領域に向けて前記処理ガスを噴射することを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 12】

単一のメインガス供給部が複数のガス供給ラインに分割されて前記ガス排気口に供給を行い、前記軸上排気口と前記軸外排気口を通るガス流の比率は、前記複数のガス供給ラインに沿って配置された可変流量制御装置を用いて独立に変化されることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 1 3】

前記同一のガス供給部が複数のガス供給ラインに分割されて前記ガス排気口に供給を行い、前記ガス排気口の少なくとも一部を通るガス流の比率は、前記複数のガス供給ラインに沿って配置されたバルブと絞り部とのネットワークを用いて独立に変化されることを特徴とする請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 1 4】

前記ガス噴射器は、該ガス噴射器に配置されたガス通路内でのプラズマ点火を最小限に抑える導電性のシールド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。

【請求項 1 5】

基板をプラズマ処理する方法であって、

処理チャンバの壁を形成する誘電体部材の内面が基板支持体に面した状態で、該処理チャンバ内の該基板支持体上に基板を配置する工程と、

前記処理チャンバの内部にその末端が露出するように、前記誘電体部材を通して延び、非導電性材料で形成されたガス噴射器であって、同一のガス供給部から同一の処理ガスを受け、前記処理チャンバに処理ガスを供給する複数のガス排気口を有する本体を含み、前記ガス排気口は、前記本体の軸方向の端面における中央の軸上排気口と、周囲に離れて配置された前記本体の外側面における複数の軸外排気口とを含み、前記軸外排気口は、前記軸上排気口を取り囲むガス噴射器から処理ガスを供給する工程と、

前記軸上排気口に対する前記処理ガスの流量を前記軸外排気口に対する前記処理ガスの流量とは独立して制御する工程と、

前記処理チャンバ内の前記誘電体部材を通して R F エネルギー源によって生成された R F エネルギーを誘導結合することによって、前記処理ガスにエネルギーを与えてプラズマ状態にする工程であって、前記処理ガスがプラズマ状態で前記基板の露出面と反応する工程と、
を含み、

前記本体の軸方向端面の反対側の上端は閉じられており、

前記本体は、前記上端から前記軸方向端面に延びる円筒状の中央通路と、前記中央通路を取り囲む環状通路とを備え、前記軸上排気口は、前記中央通路から前記処理ガスを受け、前記軸外排気口は、前記環状通路から前記処理ガスを受け、

前記処理ガスは、前記本体の外側面における給気口によって前記中央通路及び前記環状通路に供給され、

前記軸上排気口は、前記中央通路と同じ直径、かつ、前記軸外排気口より大きな直径を持つことを特徴とする方法。

【請求項 1 6】

前記 R F エネルギー源は、平面又は非平面のスパイラルコイルの形状をしている R F アンテナを有し、

前記ガス噴射器は、前記軸上排気口を通して前記チャンバ内の中央領域に、そして前記軸外排気口を通して前記中央領域を取り囲む環状領域に、前記処理ガスの一部を噴射することを特徴とする請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 7】

前記ガス排気口の少なくとも一部は、前記基板の前記露出面に直接向かう方向とは異なる方向に前記処理ガスを噴射することを特徴とする請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 8】

前記ガス噴射器は、誘電体ウィンドウの内面より下方に延び、

前記ガス排気口は、前記処理ガスを複数の方向に噴射することを特徴とする請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 1 9】

10

20

30

40

50

前記ガス噴射器は、亜音速、音速又は超音速で前記処理ガスを噴射することを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 20】

個々の基板は、該基板の各々の上に層を成膜するか又は該基板の各々の上の層をエッチングすることによって、前記処理チャンバ内で連続処理されることを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 21】

前記ガス噴射器は、前記チャンバの中央部に延び、

前記ガス排気口は、前記基板の前記露出面と前記誘電体部材の前記内面との間の複数の領域で前記処理ガスを噴射することを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

10

【請求項 22】

前記ガス排気口を通して C l を含むガスを噴射することによって前記基板上のアルミニウム層をプラズマエッチングする工程を含み、

前記軸外排気口は、前記基板の前記露出面に垂直ではない方向に前記ガスを噴射することを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 23】

前記基板の前記露出面に垂直な軸方向に前記中央の軸上排気口を通し、そして前記中央の軸上排気口を取り囲む前記軸外排気口を通して、C l 及び B r の少なくとも一方を含むガスを噴射することによって前記基板上のポリシリコン層をプラズマエッチングする工程を含み、

20

前記軸外排気口は、前記軸方向に対して 10 ~ 90 ° の角度に向けて前記ガスを噴射することを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 24】

前記基板の前記露出面に垂直な軸方向に前記中央の軸上排気口、及び、前記中央の軸上排気口を取り囲む前記軸外排気口の少なくとも一方を通して、F を含むガスを噴射することによって前記基板上のシリコン酸化物層をプラズマエッチングする工程を含み、

前記軸外排気口は、前記軸方向に対して 10 ~ 90 ° の角度に向けて前記ガスを噴射することを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 25】

前記基板の前記露出面に垂直な軸方向に前記中央の軸上排気口を通し、そして前記中央の軸上排気口を取り囲む前記軸外排気口を通して、C l、B r 又は C l と B r の両方を含むガスを噴射することによって前記基板上のポリシリコン層をプラズマエッチングする工程を含み、

30

前記軸外排気口は、前記軸方向に対して 10 ~ 45 ° の角度に向けて前記ガスを噴射することを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 26】

前記基板の前記露出面に垂直な軸方向に前記中央の軸上排気口、及び、前記中央の軸上排気口を取り囲む前記軸外排気口の少なくとも一方を通して、F を含むガスを噴射することによって前記基板上のシリコン酸化物層をプラズマエッチングする工程を含み、

前記軸外排気口は、前記軸方向に対して 10 ~ 45 ° の角度に向けて前記ガスを噴射することを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

40

【請求項 27】

単一のメインガス供給部が複数のガス供給ラインに分割されて前記ガス排気口に供給を行うことを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 28】

前記軸上及び軸外排気口を通るガス流の比率は、可変流量制限装置を用いて独立に変化されることを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 29】

前記軸上及び軸外排気口を通るガス流の比率は、バルブと絞り部とのネットワークを用いて独立に変化されることを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

50

【請求項 3 0】

前記軸上及び軸外排気口を通るガス流の比率を独立に変化させて、前記基板上の前記層をエッチングすることを特徴とする請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 3 1】

前記軸上及び軸外排気口を通るガス流の比率を独立に変化させて、前記基板上に前記層を成膜することを特徴とする請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 3 2】

前記ガス噴射器は、該ガス噴射器に配置されたガス通路内でのプラズマ点火を最小限に抑える導電性のシールドを更に備えることを特徴とする請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 3 3】

半導体処理チャンバに処理ガスを供給するためのガス噴射器であって、
前記半導体処理チャンバで処理される基板を支持する基板支持体に面する軸方向端面と、前記軸方向端面の反対側の閉じられた上端と、前記軸方向端面から連続する外側面と、前記軸方向端面と前記上端との間の前記外側面中の第 1、第 2 のガス吸気口と、前記上端から前記軸方向端面に延びる円筒状の中央通路と、前記中央通路を取り囲む環状通路と、前記噴射器本体の軸方向端面に配置された単一の軸上排気口と、前記噴射器本体の外側面に周囲に離れて配置された複数の軸外排気口と、を含む噴射器本体を備え、

前記中央通路は、前記第 1 のガス吸気口及び前記軸上排気口と流体の伝達を行い、

前記環状通路は、前記第 2 のガス吸気口及び前記複数の軸外排気口と流体の伝達を行い、

前記中央通路及び前記環状通路は、前記軸上排気口及び前記複数の軸外排気口のそれぞれを通して独立して制御可能な同一の処理ガスの流量を提供するために互いに分離しており、

前記噴射器本体は、非導電性材料で形成され、前記軸上排気口は、前記中央通路から前記処理ガスを受け、前記軸外排気口は、前記環状通路から前記処理ガスを受け、

前記処理ガスは、前記噴射器本体の外側面における第 1 のガス吸気口を介して前記中央通路に、前記噴射器本体の外側面における第 2 のガス吸気口を介して前記環状通路に供給され、

前記軸上排気口は、前記中央通路と同じ直径、かつ、前記軸外排気口より大きな直径を持つことを特徴とするガス噴射器。

【請求項 3 4】

前記軸方向端面は、平面であることを特徴とする請求項 3 3 に記載の噴射器。

【請求項 3 5】

前記噴射器本体は、前記半導体処理チャンバで処理される基板を支持する基板支持体に面する平面の軸方向端面と、前記軸方向端面から連続する円錐面の側面とを有することを特徴とする請求項 3 3 に記載の噴射器。

【請求項 3 6】

前記ガス噴射器は、当該ガス噴射器に配置されたガス通路内でのプラズマ点火を最小限に抑える導電性のシールドを更に備えることを特徴とする請求項 3 3 に記載の噴射器。

【請求項 3 7】

前記システムは、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。

【請求項 3 8】

前記基板の前記露出面は、プラズマエッチングされることを特徴とする請求項 1 5 に記載の方法。

【請求項 3 9】

前記軸外排気口はそれぞれ離れて周囲に配置され、前記軸外排気口の総数は 3 又は 4 であることを特徴とする請求項 4 に記載のシステム。

【請求項 4 0】

前記軸外排気口はそれぞれ離れて周囲に配置され、前記軸外排気口の総数は 3 又は 4 で

10

20

30

40

50

あることを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 41】

前記軸外排気口は、それぞれ 45° 離れて配置されることを特徴とする請求項 4 に記載のシステム。

【請求項 42】

前記軸外排気口は、それぞれ 45° 離れて配置されることを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体ウェハ等の半導体基板のためのプラズマ処理システム内の基板に反応物を分配するためのシステム及び方法に関する。特に、本発明は、処理の均一性及び効率を最大限に高めるために基板中央の上方の局所的な領域からガスを噴射するためのシステム及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

真空処理チャンバは、一般的に、処理ガスを真空チャンバに供給して、ガスに無線周波(RF)電界を印加することによって、基板上の材料をエッチングしたり基板上に化学気相成長(CVD)をしたりするために用いられる。処理ガスをチャンバ内に噴射する方法は、基板表面の上方の化学的な反応種(chemically reactive species)の分布に大きな影響を与え、その結果プロセス全体に影響を与えうる。シャワーヘッドガス噴射及び拡散輸送(diffusive transport)システムは、基板上方における処理ガスの均一な分布を確保するために一般的に使用される。誘導結合プラズマエッチングチャンバの場合では、例えば、エッチングされるフィーチャ(feature)の進行は、基板上方のこれらの反応種の空間に依存する密度(spatially dependent density)及び基板に照射する高エネルギーイオンの分布によって、主に支配される。

【0003】

Roppel et al.の米国特許番号 4,691,662号は、エッチング及び成膜のためのデュアルプラズママイクロ波装置(dual plasma microwave apparatus)を開示している。ここでは、処理ガスは、基板の一部の上に延びる処理チャンバの側壁の上に取り付けられた導管(conduits)によって与えられる。Suzuki et al.の米国特許番号 5,522,934号は、基板に実質的に垂直な方向に複数のレベルで配置された複数のガス供給ノズルを含むガス噴射装置を開示している。ここでは、不活性(処理ガスではなく)ガスがチャンバの天井の中央を通して噴射される。上部レベルにおけるガス供給ノズルは、下部レベルにおけるガス供給ノズルよりも基板中央に向かってさらに延びている。噴射孔は、ガス供給ノズルの末端に配置される。これらのシステムは、基板上方の領域に処理ガスを分配する場合に効果的である。しかしながら、導管は、基板と主たるイオン生成領域との間で基板表面の上方に延びるので、イオンが生成領域から基板に向かって拡散するときに、導管が基板表面上へ不均一なイオンの影を落とす(cast shadows of ion nonuniformity)。これによって、エッチング及び成膜の均一性の好ましくない低下がもたらされうる。

【0004】

他の手法は、基板表面の上方まで延びないガス供給導管を用いるものである。"Electron Cyclotron Resonance Microwave Discharges for Etching and Thin-film Deposition," J. Vacuum Science and Technology A, Vol. 7, pp. 883-893 (1989) by J. Asmussenは、基板エッジまでだけに延びる導管を示している。"Low-temperature Deposition of Silicon Dioxide Films from Electron Cyclotron Resonant Microwave Plasmas," J. Applied Physics, Vol. 65, pp. 2457-2463 (1989) by T. V. Herak et al.は、別々の処理ガスを与える複数のガス噴射導管を含むプラズマCVDツールを示している。ガス供給孔が基板支持体の周辺部の直ぐ外側及び導管の末端に位置した状態で、1セットの導管が下部のチャンバ壁に取り付けられる。これらの導管装置は、導管の

10

20

30

40

50

端部を加熱する結果として、プロセスドリフトの問題を引き起こす場合がある。

【 0 0 0 5 】

"New Approach to Low Temperature Deposition of High - quality Thin Films by Electron Cyclotron Resonance Microwave Plasmas," J. Vac.Sci.Tech, B, Vol. 10, pp. 2170 - 2178 (1992) by T. T. Chau et al.は、基板支持体の周辺部の直上及び外側に配置された、下部のチャンバ壁に取り付けられたガス吸気口の導管 (gas inlet conduit) を含むプラズマCVDツールを示している。導管は曲がっているため、噴射軸は基板に実質的に平行である。付加的な水平の導管が第2の処理ガスのために提供される。ガス噴射孔は、導管の末端に位置する。噴射器チューブの末端に配置された孔を持つ噴射器は、比較的小さなバッチ (例えば、100以下) の基板を処理した後に、詰まりやすいか

10

【 0 0 0 6 】

この噴射器孔の目詰まりは、必要なメンテナンスによるツールの休止時間に対し、経済的に見て非効率的であることに加えて、反応物の不均一な分布、基板の不均一な成膜又はエッチング、成膜又はエッチング速度全体におけるシフトがもたされ、有害である。音速又は超音速で処理ガスを噴射することによって処理均一性を改善する様々なシステムが提案されており、例えば、本願と同じ出願人のNi et al.の米国特許第6,230,651号では、基板中央に向けられた単一のノズルが開示されている。他の方法は、超音速の噴射を作り出すように設計された小さな孔の分布を有するシャワーヘッド装置を利用している。この第2のデザインは、基板上方の反応性の中性粒子 (reactive neutral) 密度を改善

20

【 0 0 0 7 】

Hassan et al.の米国特許第4,270,999号は、プラズマエッチング及び成膜アプリケーションのための処理ガスを音速で噴射する利点を開示している。Hassan et al.は、ノズルに音速で到達することによって、大きな渦巻き (highly swirled) を発生させるノズルの真空端 (vacuum terminus) からの爆発的な放射 (explosive discharge)、及び、基板を取り囲む反応領域におけるガス分子の均一な分布を促進することを言及している。Fairbairn et al.の米国特許第5,614,055号は、基板上に横たわる領域に向かって、超音速で反応物ガスをスプレーする細長い超音速スプレーノズルを開示している。これらのノズルはチャンバ壁から基板に向かって延びており、各ノズルの先端は末端にガス分配孔を持っている。

30

【 0 0 0 8 】

Asmussen et al.の米国特許第4,943,345号は、励起ガスを基板に向けるための超音速ノズルを含むプラズマCVD装置を開示している。Eres et al.の米国特許第5,164,040号は、CVDのためのパルス上の超音速ジェットを開示している。これらのシステムは、処理の均一性を改善することを意図しているが、それらは上述の欠点、すなわち噴射器の末端における孔の目詰まりの影響を受け、基板上の膜の均一性に悪影響を及ぼしうる。

【 0 0 0 9 】

複数の噴射ノズルを用いて処理ガスを噴射することによって処理の均一性を改善するいくつかのシステムが提案されている。本願と同じ出願人のMcMillin et al.の米国特許第6,013,155号は、RFプラズマ処理システムを開示しており、ここでは、チューブ末端に見られる電気力線が密に集中したところから離れて配置された孔を介して、噴射器チューブを通してガスが供給されている。この装置は、孔が処理副生成物のビルドアップ (build-up) が発生する領域から離れて配置されているため、孔の目詰まりを最小限にしている。

40

【 0 0 1 0 】

Moslehi et al.の米国特許第4,996,077号は、非プラズマガス (non-plasma gases) の均一な分布を提供するために、基板の周辺部付近に配置されたガス噴射器を含む

50

電子サイクロトロン共鳴(ECR)装置を開示している。非プラズマガスは、パーティクル汚染を低減するために噴射され、噴射器が処理基板表面上に非プラズマガスを導くように方向付けられている。

【0011】

Miyazaki et al.の米国特許第5,252,133号は、縦軸に沿って複数のガス噴射孔を有する垂直なガス供給チューブを含む複数ウェハ・非プラズマ(multi-wafer non-plasma) CVD装置を開示している。この噴射孔は、複数の基板を支持するウェハポートの縦方向の側面に沿って延びて、ガスをチャンバ内に導入する。同様に、Shishiguchi et al.の米国特許第4,992,301号は、チューブの長さ方向に沿ってガス放出孔を有する複数の垂直なガス供給チューブを開示している。

10

【0012】

Singh et al.の米国特許第6,042,687号は、2個の独立したガス供給部を有するシステムを示している。第1の供給部は、基板に向かってガスを噴射し、第2の供給部は基板の周辺部にガスを噴射する。ガス供給部は、別々の組立部品(separate assemblies)で示され、異なるガス混合物を運ぶ別々のガス供給ラインから与えられる。独立したガス源及び独立したガス流量制御部を備える他のシステムが米国特許第5,885,358号及び同5,772,771号に開示されている。

【0013】

産業のトレンドが基板サイズの増大に向かうにつれて、エッチング及び成膜の均一性を確保するための方法及び装置がますます重要になっている。これは、フラットパネルディスプレイのプロセスで特に顕著である。従来のシャワーヘッドガス噴射システムは、基板中央にガスを分配することができるが、基板近傍に孔を配置することによって、均一性の望ましくない低下がもたらされるために、チャンバの高さを下げなければならない。ラジアルガス噴射システム(radial gas injection systems)では、例えば、フラットパネルのプロセスで典型的に見られる大面積の基板中央に、適切に処理ガスを供給することができないかもしれない。これは、プラズマ処理システムで一般的に見られる底面でポンプされたチャンバデザイン(bottom-pumped chamber designs)では特にそうだと言える。

20

【0014】

上記のFairbairn et al.の特許はまた、噴射器孔が反応室の天井に配置されたシャワーヘッド噴射システムを開示している。このシャワーヘッドシステムは、孔の目詰まりを低減するために、複数の埋め込み磁石(embedded magnets)をさらに含む。Tokuda et al.の米国特許第5,134,965号は、処理ガスが処理チャンバの天井の吸気口を通して噴射される処理システムを開示している。ガスは、高密度プラズマ領域に向けて供給される。

30

【0015】

上記のシステムに加えて、Hegedusの米国特許第4,614,639号は、処理ガスが上壁にフレア端(flared end)を持つ中央ポートとチャンバの周辺近傍の複数のポートによって供給される平行平板反応室を開示している。米国特許第5,525,159号(Hama et al.)、同5,529,657号(Ishii)、同5,580,385号(Paranjpe et al.)、同5,540,800号(Qian)及び同5,531,834号(Ishizuka et al.)は、シャワーヘッドによって処理ガスが供給され、チャンバ内に誘導結合されたプラズマを生成するアンテナによってパワーが与えられるプラズマチャンバ装置を開示している。基板全体にわたってガスを均一に供給するための装置及びシステムは、米国特許第6,263,829号、同6,251,187号、同6,143,078号、同5,734,143号及び同5,425,810号に開示されている。

40

【0016】

これまでの開発にかかわらず、ガス供給孔の目詰まり及び処理副生成物のビルドアップを防止し、基板上方の対流輸送(convective transport)を改善する一方で、基板のRF(radio frequency)プラズマ処理の均一性及び成膜を最適化することが依然として求められている。

50

【発明の開示】

【0017】

発明の要約

本発明は、プラズマ処理チャンバと、前記プラズマ処理チャンバに接続される真空ポンプと、前記プラズマ処理チャンバの内部において、その上で基板が処理される基板支持体と、前記基板支持体に面する内面を有する誘電体部材であって、前記処理チャンバの壁を形成する誘電体部材と、前記プラズマ処理チャンバの内部にその末端が晒されるように、前記誘電体部材を通して延びるガス噴射器 (gas injector) であって、複数のガス排気口 (gas outlet) を有し、少なくとも前記複数のガス排気口のいくつかの間で独立して変化する流量で処理ガスを供給するガス噴射器と、前記誘電体部材を通して R F エネルギーを誘導結合し、前記処理ガスにエネルギーを与えてプラズマ状態にして前記基板を処理する R F エネルギー源と、を含むプラズマ処理システムを提供する。本システムは、高密度プラズマ化学気相成長システム又は高密度プラズマエッチングシステムであることが望ましい。

10

【0018】

前記 R F エネルギー源は、R F アンテナを含み、前記ガス噴射器は、前記プラズマ処理チャンバ内の第 1 のプラズマ発生領域に向けて前記処理ガスを噴射することができる。前記ガス排気口は、前記ガス噴射器の軸方向の端面に配置され、これによって複数のガス排気口領域を形成する。例えば、前記ガス排気口は、前記基板の露出面に垂直な軸方向に延びる中央ガス排気口 (軸上領域) と、前記軸方向に対して鋭角をなして延びる複数の斜軸式ガス排気口 (軸外領域) と、を含むことができる。前記噴射器の排気口は、前記基板上方の反応種の均一性を改善するように配置される。単一ガス供給は分割されて、それぞれの噴射領域に供給を行う。

20

【0019】

ガス噴射器は、可変流量制限装置を用いた 1 つ以上の噴射器の排気口の間で分割され、分離された各ガスラインが異なる噴射領域に供給を行う。可変流量制限装置の設定を独立に変化させることによって、可変サイズのジェットを処理チャンバの軸に対して異なる角度で作出するために複数の領域を通る流れの比率が変更されうる。軸上及び軸外噴射間のこのバランスは、ノズル先端からの対流の流れの場の下向きの流れ (convective flow field downstream) を決定する。この流れの場は、対流成分及び拡散成分を含むチャンバ内の全ての流れを変更するために使用されうる。その結果、処理均一性を改善する目的のために、反応種 (reactive species) の空間密度の依存性を調節することができる。

30

【0020】

ガス噴射器は、亜音速 (subsonic)、音速 (sonic) 又は超音速 (supersonic) で処理ガスを噴射することができる。1 つの実施形態では、ガス噴射器は、誘電体ウィンドウの内面と同一平面上にある平面に軸方向端面を含む。別の実施形態では、ガス噴射器は、誘電体ウィンドウに取外し可能に取り付けられ、及び/又は、処理ガスをチャンバの中央領域に供給する。ガス排気口は、様々な構成及び/又は空間配置を持つことができる。例えば、ガス噴射器は閉じた末端を含み、基板の露出面に平行な平面に対して鋭角を成して処理ガスを供給するようにガス排気口が方向付けられうる。ガス噴射器が誘電体ウィンドウの開口部に取外し可能に取り付けられる場合では、少なくとも 1 個の O リングがガス噴射器と誘電体ウィンドウとの間で真空シールを提供する。

40

【0021】

本発明はまた、処理チャンバの壁を形成する誘電体部材の内面が基板支持体に面する状態で、該処理チャンバ内の該基板支持体上に基板を配置する工程と、前記処理チャンバ内に処理ガスを供給する複数のガス排気口を有するガス噴射器の末端が前記処理チャンバ内部に露出するように、前記処理チャンバ内に前記誘電体部材を通して延びる該ガス噴射器から処理ガスを供給する工程と、前記ガス排気口の少なくとも 1 つに対する前記処理ガスの流量は、前記ガス排気口の少なくとも他の 1 つに対する前記処理ガスの流量とは独立して制御する工程と、前記処理チャンバ内の前記誘電体部材を通して R F エネルギー源によって生成された R F エネルギーを誘導結合することによって、前記処理ガスにエネルギーを与え

50

てプラズマ状態にする工程であって、前記処理ガスがプラズマ状態で前記基板の露出面と反応する工程と、を含む基板をプラズマ処理する方法をも提供する。本発明の好適な実施形態によれば、噴射器の排気口の孔は、単一のガス源によって供給される複数のガス供給ラインによって供給される。各供給ラインを通る全ての流れの一部は、例えば、プラズマチャンバの外側に配置されるバルブと絞り部 (throttling elements) のネットワーク等の制御バルブ構成を用いて変更されうる。したがって、チャンバ内の流れのパターンは、噴射器内の各噴射領域に対するコンダクタンスの比率を変えることによって調節される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

好適な実施形態の詳細な説明

本発明は、エッチング又はCVD等による基板のプラズマ処理のための改善されたガス噴射システムを提供するものである。本噴射システムは、シリコン、ハロゲン(例えば、F、Cl、Br等)、酸素、水素、窒素等を含むガス等のガスを噴射するために使用されうる。本噴射システムは、単独又は他の反応性/不活性ガス供給装置と共に使用されうる。

【0023】

本発明の好適な実施形態によれば、ガス噴射装置は、誘導結合プラズマチャンバに提供される。好適な装置では、ガス噴射器はチャンバの上壁の中央に配置され、1つ以上のガス排気口が処理すべきウェハ又はフラットパネルディスプレイ等の半導体基板の上方のチャンバ内に処理ガスを導く (direct)。本発明に係るガス噴射器は、中央からエッジまでの均一性、エッチング又は成膜の平均的な特性 (例えば、クリティカルディメンジョン (CD)、CDバイアス、プロファイル及び/又はプロファイルマイクロローディング (profile microloading)) を改善することができる。

【0024】

誘導結合プラズマエッチングチャンバ内へ処理ガスを噴射する方法は、基板表面の上方の化学的に反応性の化学種 (species) の分布に影響を与える。エッチングされるフィーチャ (features) の進行 (evolution) は、基板上方のこれらの反応種 (reactive species) の空間に依存する密度と、基板に照射する高エネルギーイオンの分布によって主に決定される。本発明は、処理性能を改善する方法であって、処理基板中央の上方の局所的な領域からガスを噴射するための方法に関する。

【0025】

処理性能は、エッチング速度、フォーチャ幅及びプロファイル (feature width and profile)、パターン転写 (pattern transfer) の忠実度 (fidelity) 及びパターン転写の均一性によって測定されうる。改善された性能は、異なるサイズのジェットを作り出すように設計された噴射器の排気口間の処理ガス噴射を、処理チャンバの軸に対して異なる角度で区分すること、例えば、噴射器の排気口が基板上方の反応種の均一性を改善するように配置されることによって、実現されうる。最適なガス噴射及びそれによる最適なプロセス性能は、噴射器の排気口を通る流れの比率を調整することによって、実現されうる。好適な実施においては、軸上排気口及び軸外排気口を通る流れの比率が変化されうる。軸上噴射と軸外噴射との間におけるこのバランスは、ノズル先端から下流の対流の流れの場 (convective flow field) を決定する。この流れの場は、対流成分及び拡散成分を含むチャンバ内の全ての流れを変更するために使用されうる。その結果、反応種 (reactive species) の空間密度の依存性を調節することができる。結果として、本噴射方法は調整可能であり、さらに、排気口を通して処理ガスの少なくともミニмумフロー (minimum flow) を維持することによって、チャンバの内部で生成されたプラズマ種の拡散を通して、噴射器及びガス噴射ラインの多くの汚染を最小化する。例えば、排気口を通してチョークドフロー (choked flow) を維持することが望ましいであろう。また、本噴射方法は、最適化された性能のために単一セットのハードウェアを用いてガス噴射を調整する能力を提供する。例えば、最適な均一性のために軸上及び軸外の流れの異なる比率を要求する、異なるエッチングアプリケーション (及びエッチングアプリケーション内の異なる方法ステップ (recipe steps)) に対して、本ガス噴出方法は、ツールを変えることなくこの比率を変

10

20

30

40

50

更することができる。

【0026】

ガス排気口は、チャンバの上壁の下方、同一平面上 (flush) 又は上方にあるガス噴射器の表面に提供されうる。例えば、ガス噴射器は、側壁にガス排気口を持つ円筒状の部材と、その軸方向の端部における単一のガス排気口とを備え、前記ガス排気口は、上壁と半導体基板の露出面との間に配置されうる。

【0027】

本発明によれば、上部のチャンバ壁の中央に配置された単一のガス噴射器を用いて、改善されたエッチング結果が得られる。しかしながら、1つ以上のガス噴射器が、特に、誘電体層又はウィンドウ (window) によってチャンバの内部から分離されたアンテナによってプラズマ生成される場合及び/又はチャンバが大きな基板又は複数の基板を処理するために用いられる場合には、チャンバの上壁に設置されうる。

10

【0028】

ガス排気口の数及び/又はガス排気口からのガス流の噴射角度は、特定の基板処理方式で所望のガス分布を提供するために選択することができる。例えば、単一のウェハ処理の場合では、チャンバ内の排気口の数、サイズ、噴射角度及び/又は位置は、RFエネルギーをチャンバ内に誘導結合するために用いられる特定のアンテナデザイン (antenna design)、上壁と基板の露出面との間のギャップ、及び基板上で行われるエッチング処理に適合させることができる。

【0029】

20

図1は、本願の譲受人 (assignee) であるラムリサーチコーポレーションによって製造された、TCP9100 (登録商標) 等のプラズマエッチング反応室10を示す図である。本発明によれば、ガス噴射器は、誘電体ウィンドウを通して延びる開口部に取り付けられる。真空処理チャンバ10は、静電チャック16を介して基板13に静電クランプ力を与えるだけでなくその上に支持される基板へRFバイアスを与える基板ホルダ12と、Heで裏面冷却される間に基板上方の領域にプラズマを閉じ込めるフォーカスリング14と、を含む。適当なRF源によってパワーが与えられるアンテナ18等のチャンバ内で高密度 (例えば、 $10^{11} - 10^{12}$ ions/cm³) プラズマを維持するためのエネルギー源、及び、これに対応するRFインピーダンスマッチング回路19は、高密度プラズマを提供するためにRFエネルギーをチャンバ10内に誘導結合する。チャンバは、所望の圧力 (例えば、50 mTorr 以下、典型的には1 - 20 mTorr 以下) にチャンバ内部を維持するために、排気口15に接続された適当な真空ポンプ装置 (不図示) を含む。一定の厚さを持つ実質的に平面な誘電体ウィンドウ20は、アンテナ18と処理チャンバ10の内部との間に提供され、処理チャンバ10の上に真空壁 (vacuum wall) を形成する。ガス噴射器22は、ウィンドウ20の開口部に設けられ、処理チャンバ10にガス供給部23によって供給される処理ガスを送るための円形の孔 (不図示) 等の複数のガス排気口を含む。オプションの (optional) 円錐又は筒状のライナー30は、ウィンドウ20から延びて、基板ホルダ12を取り囲む。

30

【0030】

動作中は、ウェハ等の半導体基板は、基板ホルダ12上に配置され、典型的には、Heで裏面冷却されるときに静電クランプ、機械的なクランプ又はその他のクランプ機構によって所定の位置に保持される。そして、ガス噴射器22に処理ガスを通すことによって、処理ガスが真空処理チャンバ10に供給される。図1に示すように、ウィンドウ20は平面で一定の厚さであってもよいし、非平面及び/又は不均一な厚さの構成等の他の構成を持ってもよい。高密度プラズマは、適当なRFパワーをアンテナ18に供給することによって、基板とウィンドウとの間の空間で点火されうる。個々の基板のエッチングが完了した後に、処理基板はチャンバから取り除かれ、他の基板を処理するために他の基板がチャンバ内に搬送される。

40

【0031】

ガス噴射器22は、ウィンドウと同一又は異なる材料を含む分離した部材を備えること

50

ができる。例えば、ガス噴射器は、アルミニウム又はステンレス、クォーツ (quartz)、アルミナ (alumina)、窒化シリコン (silicon nitride)、炭化シリコン (silicon carbide) 等の誘電材料で作られてもよい。好適な実施の形態によれば、ガス噴射器は、ウィンドウの開口部に取外し可能に取り付けられる。しかしながら、ガス噴射器はまた、ウィンドウと一体であってもよい。例えば、ガス噴射器は、ウィンドウの開口部に蝋付けされるか (brazed)、焼結されるか (sintered) さもなければ接着されうる。或いは、ガス噴射器は、ウィンドウ内に機械加工されるか (machined) さもなければ形成されうる。例えば、ガス噴射器がウィンドウの形状にデザインされた状態で、 Al_2O_3 又は Si_3N_4 等のセラミックの粉を焼結させることによって、ウィンドウが形成されうる。

【0032】

図2a-bは、噴射器22がマルチゾーンガス噴射を提供する本発明の実施の形態を示す図である。本実施形態に示されるように、噴射器22は、処理ガスが基板表面に垂直な軸方向に供給される第1の領域に処理ガスを供給する軸上噴射排気口24と、処理ガスが基板に垂直ではない斜め方向に供給される第2の領域に処理ガスを供給する軸外噴射排気口26と、を含む。両方の領域には、同じ処理ガス (例えば、1つ以上の処理ガスが混合されたガス多岐管からの処理ガス) が供給されうる。例えば、メインガス供給部32は、T-コネクタ34で分割されて、両方の噴射領域に供給を行うことができる。各ラインのガス流を制御するために、異なった噴射領域に供給を行う別々のガスラインの各々に、可変流量制限装置36a、36b等のフローコントローラ (flow controllers) が配置されうる。装置36a、36bは、マニュアルで設定されてもよいし、適当な電子制御によって自動的に操作されてもよい。可変流量制限装置36a、36bの設定を独立に変化させることによって、2つの排気口24、26を通る流れの比率を変えることができる。他の実施では、複数の排気口及び可変流量制限バルブ及び/又は固定されたりストリクター (restrictors) とバルブとのネットワークを含み、各噴射領域への全コンダクタンスが1つ以上の予め設定された、動的に制御される値に調整されうる。

【0033】

図2aの実施形態では、中央孔25の延長 (continuation) として中央ガス噴射排気口が示されており、これによって孔/排気口24、25が干渉計測 (interferometry measurements) に使用されうる。例えば、孔25の上端は、本願に参照により組み込まれる米国特許第6,052,176に開示されたランプ、分光器、光ファイバ及びレンズ装置等の放射能測定装置29と通信するように構成されたウィンドウ27によってシールされる。そのような装置では、軸上排気口は軸外排気口より大きな直径を持ち、例えば、軸上排気口は直径1cmであり、軸外排気口は直径1mmである。図2bの実施形態では、軸上排気口は、孔25より小さい直径を持つ。所望のガス流れ分布 (gas flow distribution) を実現するために、軸上排気口と軸外排気口の相対的なサイズを選択することができる。例えば、軸外排気口の総断面積は、軸上排気口の総断面積より少なくても、等しくても、大きくてもよい。

【0034】

本発明の実施形態によれば、噴射器は、噴射器のガス通路内でのプラズマ点火を最小限にする導電性のシールドを備えてもよい。噴射器がクォーツ等の非導電性材料で作られる場合では、アンテナによって生じる電界によって噴射器内にプラズマ放電が持続する。噴射器内に生じる反応種によって、噴射器内部で望ましくない成膜又はエッチングが生じるかもしれない。したがって、図2cを参照すれば、放電の持続を最小限に抑えるために、噴射器22が導電性のシールド40を備えてもよいし、導電性のフィルムでコーティングされてもよい。導電性のシールドは、噴射器の外側表面、例えば、噴射器の側壁に沿って配置されうる。シールドは、噴射器のガス通路内でのプラズマ点火及び/又はプラズマの維持を抑えるために、噴射器内の電界を大幅に低減することができる。図2cに示されるように、導電性のシールド40は、環状リング又は開放型の筒状ジャケット等の管状の部材として設計されうる。シールドは、噴射器の側面及び/又は上端 (例えば、40') の上に随意的に (optionally) 導電性のコーティングを備えることができる。導電性のジャケッ

10

20

30

40

50

ト (conducting jacket) は、他の接地された又は R F 駆動された導電性表面との近さによって、噴射器内の電界強度を弱めるために、電氣的に接地されたりフローティングにされたりしてもよい。

【 0 0 3 5 】

図 3 a - c は、噴射器の流れの比率が、ウィンドウ 2 0 の開口部に取り付けられたガス噴射器 2 2 を含む誘導結合プラズマ反応室内の反応種の密度に及ぼす影響を示す図である (反応物の密度曲線の増加方向は矢印 A によって示され、生成物質の密度曲線の増加方向は矢印 B によって示される)。図 3 a では、流量制限装置 (不図示) は、ガス供給の大部分が軸上排気口を通るように設定される。図 3 b では、流量制限装置 (不図示) は、ガス供給の大部分が軸外排気口を通るように設定される。図 3 c では、軸上排気口及び軸外排気口を通る供給ガスの流れの比率は、反応物 (reactant) と生成反応種 (product reactive species) の両方に対して、平坦な密度曲線を作り出すように調整される。これらの図は、噴射流れ分布 (injection flow distribution) とプラズマ生成/密度プロファイルとの間の相互作用を説明するものではない。反応物利用率 (reactant utilization) の影響も示されていない。このような相互作用が存在することによって、基板上方のプラズマ及び反応性の中性粒子 (reactive neutral) 密度のプロファイルに影響を与えると仮定することも妥当である。1 つ以上のプラズマ及び反応種の均一性を最適化するように噴射器の排気口を通る流れの比率が選択されうる。

【 0 0 3 6 】

好適な実施の形態によれば、ガス噴射器は、単一の軸上排気口及び複数の軸外排気口 (例えば、3 つの排気口が 120° 離れて配置され、4 つの排気口が 90° 離れて配置される等) を含む。排気口装置は、ポリシリコンエッチングプロセス又はアルミニウムエッチングプロセスに役に立つ。例えば、軸外排気口は、 45° 離れて配置され、軸の端部の外側周辺部から延びるテーパ状の側面上に配置されうる。軸外の角度は、軸方向に対して鋭角、直角又は鈍角を成しうる。軸外排気口の好適な角度は、軸方向に対して $10^\circ \sim 90^\circ$ 、より好適には $10^\circ \sim 60^\circ$ である。

【 0 0 3 7 】

ガス噴射器に対して最適な固定装置は、取外し可能な固定装置である。例えば、ガス噴射器は、適当なクランプ装置によってウィンドウにネジ止めされるか又はウィンドウにクランプされうる。好適な取外し可能な固定装置は、ガス噴射器がウィンドウとガス噴射器との間に 1 つ以上の O リングだけを用いてウィンドウに単純にスライド可能なように取り付けられるものである。例えば、O リングは、ガス噴射器とウィンドウの開口部との間にシールを提供するために、ガス噴射器の下部周辺の溝に提供されうる。必要に応じて、ガス噴射器とウィンドウの外側表面との間にシールを提供するために、他の O リングがガス噴射器の上部の溝 (不図示) に提供されてもよい。

【 0 0 3 8 】

このガス噴射器によって、操作者は、プラズマエッチング反応室のための処理ガス供給装置を変更して、反応室内のガス分布を最適化することができる。例えば、アルミニウムのプラズマエッチングでは、エッチングされる基板に処理ガスを直接向けるよりも処理ガスをプラズマに分配する方が望ましい。ポリシリコンのプラズマエッチングでは、処理ガスをプラズマに分配して、エッチングされる基板に処理ガスを直接向けることが望ましい。更に最適なのは、ウィンドウの内面の下方へ所望の距離を拡張するガス噴射器の選択及び/又は特殊なガス排気口装置を含むことであろう。すなわち、エッチングプロセスやガス排気口の数によって、ガス排気口の位置は、ガス排気口の噴射角度だけでなく、ガス噴射器の軸の端部上及び/又は側面に沿って等、最適なエッチング結果が得られるように選択されうる。例えば、噴射角度は、大きいサイズ基板の基板であるほど大きいことが望ましい。

【 0 0 3 9 】

ガス噴射器は、所望の分配方法でガスが供給されるように、処理ガスをチャンバ内部に噴射することによって、アルミニウムをプラズマエッチングするために用いられうる。例

えば、処理ガスは、 Cl_2 と BCl_3 の混合物、 Cl_2 と N_2 と BCl_3 の混合物、 Cl_2 と N_2 の混合物を100～500 sccm含んでもよい。

【0040】

ガス噴射器はまた、ガスが所望の分配方法で供給されるように、処理ガスをチャンバ内部に噴射することによってポリシリコンをプラズマエッチングするために用いられうる。例えば、処理ガスは、He等のキャリア(carrier)及び/又は O_2 等の添加の有無にかかわらず、 Cl_2 とHBrの混合物、 Cl_2 のみ、又は、HBrのみを100～500 sccm含んでもよい。

【0041】

半導体基板を処理する場合には、基板は、処理チャンバ10に挿入されて、機械的又は静電クランプによって基板支持体にクランプされる。基板は、処理チャンバ内の処理ガスにエネルギーを与えて高密度プラズマにすることによって、処理チャンバ内で処理される。エネルギー源は、チャンバ内に高密度(例えば、 $10^9 - 10^{12}$ ions/cm³、望ましくは $10^{10} - 10^{12}$ ions/cm³)プラズマを保つ。例えば、適当なRF及び適当なRFインピーダンスマッチング回路によってパワーが与えられる平面の多重巻きスパイラルコイル(spiral coil)、非平面多重巻きコイル、又は他の形状を持つアンテナ等のアンテナ18は、チャンバにRFエネルギーを誘導結合して高密度プラズマを発生する。しかしながら、ECR、平行平板、ヘリコン、ヘリカル反応室等の他のプラズマ源によって、プラズマを発生させてもよい。チャンバは、所望の圧力(例えば、5 Torr以下、望ましくは1 - 100 mTorr以下)にチャンバの内部を維持するために適当な真空ポンプ装置を含んでもよい。一定の厚さの平面の誘電体ウィンドウ20又は非平面の誘電体ウィンドウ等の誘電体ウィンドウは、アンテナ18と処理チャンバ10内部との間に提供されて、処理チャンバ10の上端で壁を形成する。

【0042】

チャンバへ処理ガスを供給するガス供給部は、上述のガス噴射器を含む。処理ガスは、反応ガス及びアルゴン等の随意的なキャリアガスを含む。小さい孔(orifice)のサイズとガス排気口の数によって、ガス噴射器とチャンバ内部との間に大きな圧力差が作り出されうる。例えば、ガス噴射器を1 Torrを超える圧力で用い、チャンバ内部を約10 mTorrの圧力で用いると、その圧力差は約100 : 1である。これによって、ガス排気口にチョークドソニックフロー(choked, sonic flow)をもたらす。必要があれば、各排気口で超音速の流れを供給するように、ガス排気口の内側の孔の形状が付けられうる。

【0043】

音速で処理ガスを注入することによってプラズマがガス排気口に入り込むことを防止する。ドープされた又はノンドープの二酸化シリコン等の材料の成膜の場合では、このような設計は、 SiH_4 等のプラズマで分解されるガスがチャンバの内部から噴射器に入るのを防止する。これによって、その後にガス排気口内にアモルファスシリコンの残留物が形成されることを防止することができる。本実施形態に係るプラズマ処理システムによって、基板上方にシリコンを含む処理ガスを終結させ、処理ガスを基板の特定の領域に優先的に方向付けることによって、従来のガス分配システムに比べて、基板上での成膜速度が増大し均一性が改善されうる。

【0044】

本発明によれば、フォトリジストを含めて、アルミニウム等の金属、ポリシリコン等の導電性の半導体材料、及び二酸化シリコン(silicon dioxide)等の誘電材料のエッチング均一性、並びに、ハロゲン及びハロゲンベース(halocarbon based)の化学物質を用いた下層材料に対する選択性が改善されうる。一方、誘電体ウィンドウ中又は誘電体ウィンドウの下に組み込まれたシャワーヘッドを通す従来の噴射は、基板全体にわたって不均一なエッチングをもたらす。例えば、「中央のレジストのエッチングが速いこと」は、エッチングされたフィーチャとプロファイルの制御の悪化と、基板中央とエッジのフィーチャの違いをもたらす。さらに、シャワーヘッド上のポリマーの形成によって、基板上に望ましくないパーティクルのフレーキング及び汚染をもたらす。シャワーヘッド装置に関連

10

20

30

40

50

する他の問題としては、ウィンドウ全体にガスを供給するためのサンドイッチ型構造の提供、温度制御、シャワーヘッドのガス/プラズマ浸食の影響、シャワーヘッドガス排気口でのプラズマ点火、又はシャワーヘッドとその上に横たわるウィンドウとの間のギャップ、プロセスの再現性の欠如、及びプロセスドリフト等に関係する追加コストが挙げられる。一方、ガス噴射リングを介したエッジ噴射によって、チャンバ壁上に「エッジのエッチングが速いこと」及びポリマーの成膜 (polymer deposition) をもたらしすることができる。酸化物に対するフォトリソの選択性は、これらの場合では典型的には 1 ~ 4 に過ぎないが、5 ~ 10 が望ましいであろう。本発明に係る本発明に係るガス噴射器は、酸化物に対するフォトリソの選択性が少なくとも 5、好適には 10 以上となるのと同時に、レジストのエッチング速度の均一性を改善する (典型的には、6% 3) ことができる。本発明の好適な噴射設計の結果、原子の塩素 (chlorine) 及びフッ素 (fluorine) 等のエッチング種、並びに、CF、CF₂、CF₃ 等の C_xF_yH_z ガス等の重合種 (polymerizing species) を共に含んだ、基板表面への反応性中間物 (reactive intermediate) 及び化学ラジカル (chemical radicals) のフラックス (flux) がより均一となる。

【0045】

基板サイズが増加するにつれて、中央へのガス供給の要求が高まる。ガスリング装置からガスを供給する噴射システムは、典型的には、フラットパネルプロセスに見られる大面積の基板中央に適切に処理ガスを供給することができない。これは、プラズマ処理システムに一般的に見られる底面でポンプされたチャンバデザイン (bottom-pumped chamber designs) では特にそうだと言える。プラズマエッチングの場合では、本発明に係る中央ガス供給 (center gas feeding) がなされなければ、エッチング副生成物が基板中央の上方で停滞し、この場合、輸送が基本的に拡散のみを通して行われる。これによって、基板全体に望ましくない不均一なエッチングがもたらされる。本発明によれば、処理ガスは、基板中央に面して近接するプラズマ領域内に噴射される。例えば、ガス噴射器のガス排気口は、ガス排気口がプラズマ中に沈む (immersed) ように、ウィンドウの内面の十分下方に配置されうる。ガス排気口は、均一なエッチング又は成膜速度を確保するために、イオン及び中性種 (neutral species) が適切に拡散するように配置されることが望ましい。従って、ガス噴射器は、TCP (登録商標) コイルによって誘起される方位角の電界 (azimuthal electric field) がゼロに落ちる領域に配置されうる。この領域は、プラズマ生成領域の外乱 (perturbations) を最小化する。さらに、ガス噴射器がチャンバの天井と基板との間の距離の約 80% 以下等の適当な距離に沈められる (immersed) ことが望ましい。これによって、チャンバの上部の領域からのイオン拡散がガス噴射器の直下におけるより低いイオン密度を満たすのに、十分なスペースを確保することができる。これは、基板へのイオンの流れの中で、ガス噴射器の如何なる「影」も最小化するであろう。

【0046】

沈められたガス噴射器を使用することによって、中央のガス供給位置及びチャンバのアスペクト比を独立して選択することができる。これによって、処理ガスの効率的な利用率を可能にし、プラズマ均一性に対する妨害 (disturbance) を最小限にして、大面積の基板の中央領域への処理ガスの供給を改善する。また、基板の近傍にガス排気口を配置することによって、基板の直上の領域での拡散輸送 (diffusive transport) に関連して対流輸送 (convective transport) が増大するため、この構成は有利である。反応物 (reactant) の供給が改善することに加えて、ガス噴射器は、基板領域の外側のエッチング副生成物の効率的な輸送を容易にし、特に、アルミニウムのエッチング等の化学的に行われるアプリケーションにおいて、エッチングの均一性及びプロファイルの制御に良い影響を与える。

【0047】

ガス排気口は、その全体の長さに沿って一定の直径、又は、円錐形に先細りした (conically tapered)、フレア表面 (flared surfaces) 若しくは放射状に曲線を描いた表面 (radially contoured surfaces) 等の他の形状等の任意の所望の形状を持つことができる。ガス排気口は、基板に直接向ける場合を含めて、基板に対して鋭角を成すように、基

板に平行に、上部のプラズマ境界面の後ろに向けて（ノズルの縦軸に対して斜めの角度で）又はこれらの組み合わせによって、ガスを任意の方向に噴射するように方向付けることができる。大面積の基板全体にわたる均一なエッチング及び成膜速度を容易にするために、基板表面上の化学ラジカル（chemical radicals）及び反応性中間種（reactive intermediate species）の均一なフラックスを実現することが望ましい。また、必要があれば、基板の周辺部の近傍、又は、他のチャンバ壁から追加のガス噴射装置が設けられてもよい。

【 0 0 4 8 】

先端付近での局所的な電界の増大を低減するために、ガス噴射器の末端には尖った角（sharp corners）が存在しないことが望ましい。しかしながら、そのような電界の増大が

10

【 0 0 4 9 】

実施例 1

ポリシリコンのエッチングの深さの統計データ（平均、標準偏差及び分布範囲（range））が軸上：軸外ガス流量比の関数として測定された。図 4 a - c は、ゲートのエッチングプロセスに対するエッチングプロファイルを示す図であり、図 4 a はより高い軸上ガス噴射の効果を示す図であり、図 4 c はより高い軸外噴射の効果を示す図である。軸上の流れ条件（on-axis flow conditions）は、 $212.9 \pm 4.7 \text{ nm} (\pm 2.2\%)$ のエッチング深さ及び $18.3 \text{ nm} (\pm 1.4\%)$ の分布範囲を顕著に与えた（図 4 a のポリシリコンのエッチング結果を参照）。軸外の流れ条件（off-axis flow conditions）は、 $212.6 \pm 5.3 \text{ nm} (\pm 2.5\%)$ のエッチング深さ及び $22.3 \text{ nm} (\pm 1.7\%)$ の分布範囲を顕著に与えた（図 4 c のポリシリコンのエッチング結果を参照）。対照的に、混合ガス流条件は（mixed gas flow condition）、エッチングの均一性に顕著な改善を与えた（図 4 b のポリシリコンのエッチング結果を参照）。混合流れ条件（mixed flow conditions）では、平均エッチング深さは、 $213.5 \pm 2.3 \text{ nm} (\pm 1.1\%)$ であり、わずか $7.7 \text{ nm} (\pm 0.6\%)$ の分布範囲であった。ポリシリコンのエッチングは、全流量が 420 sccm で $\text{Cl}_2/\text{HBr}/\text{O}_2$ の流れ混合物（flow mixture）をチャンバ圧 10 mT で用いた。RF アンテナ（上端）のパワーは 800 W であり、下部電極に -155 V のバイアスがかけられた。噴射器の角度は 60° であった。

20

【 0 0 5 0 】

30

実施例 2

シリコンのエッチングの深さの統計データ（平均、標準偏差及び分布範囲（range））が軸上：軸外ガス流量比の関数として測定された。図 5 a - c は、ゲートのエッチングプロセスに対するエッチングプロファイルを示す図であり、図 5 a はより高い軸上ガス噴射の効果を示す図であり、図 5 c はより高い軸外噴射の効果を示す図である。軸上の流れ条件（on-axis flow conditions）は、 $1299 \text{ A} \pm 27 \text{ A} (\pm 2.1\%)$ のエッチング深さ及び $74 \text{ A} (\pm 1.0\%)$ の分布範囲を顕著に与えた（図 5 a のポリシリコンのエッチング結果を参照）。混合ガス流条件は（mixed gas flow condition）、 $1295 \text{ A} \pm 23 \text{ A} (\pm 1.8\%)$ のエッチング深さ及び $76 \text{ A} (\pm 1.0\%)$ の分布範囲を与えた（図 5 b のポリシリコンのエッチング結果を参照）。軸外の流れ条件（off-axis flow conditions）では、エッチングの均一性に顕著な改善が生じた（図 5 c のポリシリコンのエッチング結果を参照）。軸外の流れ条件（off-axis flow conditions）では、 $1272 \text{ A} \pm 14 \text{ A} (\pm 1.1\%)$ の平均エッチング深さ及び $41 \text{ A} (\pm 0.53\%)$ の分布範囲であった。シリコンのエッチングは、 $\text{Cl}_2/\text{HBr}/\text{O}_2$ の流れ混合物をチャンバ圧 40 mT で下部電極温度が 60° で用いた。RF アンテナ（上端）のパワーは 1200 W であり、下部電極に -320 V のバイアスがかけられた。噴射器の角度は 45° であった。

40

【 0 0 5 1 】

実施例 3

図 6 a - b は、2 つの異なるガスの流量比に対してエッチング前後の差として、ゲートのクリティカルディメンジョン（CD）の変化を示す図である。図 6 b に示される軸外の流

50

れの増加と比較して、軸上の流れの増加が図 6 a に示されている。調整可能な噴射を用いることによって、より優れた CD の均一性がもたらされる。特に、図 6 a に示される結果は、 -3.9 nm の平均 CD 変動、 2.1 nm の標準偏差 7.5 nm の分布範囲を与えたが、図 6 b に示される結果は、 -3.4 nm の CD 変動、 1.6 nm の標準偏差及び 5.9 nm の分布範囲を与えた。

【0052】

実施例 4

図 7 a - b は、2 つの異なるガスの流量比に対してエッチング前後の差として、フォトリジストのトリム (trim) の CD の変化を示す図である。調整可能な噴射を用いることによって、より優れた CD の均一性がもたらされる。処理は、全流量が 100 sccm で Cl_2/O_2 の流れ混合物をチャンバ圧 5 mT で下部電極温度が 60°C で用いた。RF アンテナ (上端) のパワーは 385 W であり、下部電極に -34 V のバイアスがかけられた。噴射器の角度は 45° であった。特に、図 7 a に示される結果は、 -49.3 nm の平均 CD 変動、 2.5 nm の標準偏差、 9.1 nm の分布範囲を与えたが、図 7 b に示される結果は、 -47.6 nm の CD 変動、 2.0 nm の標準偏差及び 7.5 nm の分布範囲を与えた。

【0053】

実施例 5

図 8 a - b は、2 つの異なるガスの流量比に対してエッチング前後の差として、ポリシリコンゲートのクリティカルディメンジョン (CD) の変化を示す図である。FIG. 8 a は、平均 CD 変動は、ガス流量の比率を単に調整することによって調整されうること示している。 $\text{Cl}_2/\text{HBr}/\text{He}/\text{O}_2$ 混合物を用いた 2 段階のプロセスが用いられた。ステップ 1 では、全流量 400 sccm でチャンバ圧は 15 mT 、アンテナ (上端 / 誘導) パワーは 575 W 、そして下部電極のセルフバイアスは -138 V であった。ステップ 2 では、全流量 575 sccm でチャンバ圧は 30 mT 、アンテナ (上端 / 誘導) パワーは 750 W 、そして下部電極のセルフバイアスは -80 V であった。特に、図 8 a に示される結果は、 0.1 nm の平均 CD 変動、 2.4 nm の標準偏差、 9.5 nm の分布範囲を与えたが、図 8 b に示される結果は、 13.3 nm の CD 変動、 2.4 nm の標準偏差及び 8.9 nm の分布範囲を与えた。

【0054】

上述のように、本発明の原理、好適な実施形態及び動作モードが示された。しかしながら、本発明は、説明した特定の実施形態に制限されるものとして理解されるべきではない。したがって、上述の実施の形態は、限定的ではなく例示的であるとみなすべきであり、当業者であれば、特許請求の範囲によって定められた本発明の範囲を逸脱しない限り、これらの実施の形態において諸々の変形物がなされうることが分かるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0055】

【図 1】図 1 は、本発明に係るプラズマ処理システムを示す図である。

【図 2 a】図 2 a - b は、両方の噴射領域に独立してガスを供給するように分割された単一のメインガス供給部によって処理ガスが供給される二領域の噴射器を詳細に示す図である。

【図 2 b】図 2 a - b は、両方の噴射領域に独立してガスを供給するように分割された単一のメインガス供給部によって処理ガスが供給される二領域の噴射器を詳細に示す図である。

【図 2 c】図 2 c は、導電性の外側ジャケットを備える二領域噴射器を示す図である。

【図 3 a】図 3 a - c は、本発明に係るガス噴射装置を用いた誘導結合プラズマ反応室におけるガス分配の効果を示す図である。

【図 3 b】図 3 a - c は、本発明に係るガス噴射装置を用いた誘導結合プラズマ反応室におけるガス分配の効果を示す図である。

【図 3 c】図 3 a - c は、本発明に係るガス噴射装置を用いた誘導結合プラズマ反応室におけるガス分配の効果を示す図である。

【図 4 a】図 4 a - c は、ゲートエッチングプロセスを用いたポリシリコン全体のエッチン

10

20

30

40

50

グ速度に対する流量比の影響を示す図である。

【図4b】図4a-cは、ゲートエッチングプロセスを用いたポリシリコン全体のエッチング速度に対する流量比の影響を示す図である。

【図4c】図4a-cは、ゲートエッチングプロセスを用いたポリシリコン全体のエッチング速度に対する流量比の影響を示す図である。

【図5a】図5a-cは、シャロートレンチ素子分離プロセスを用いたシリコン全体のエッチング速度に対する流量比の影響を示す図である。

【図5b】図5a-cは、シャロートレンチ素子分離プロセスを用いたシリコン全体のエッチング速度に対する流量比の影響を示す図である。

【図5c】図5a-cは、シャロートレンチ素子分離プロセスを用いたシリコン全体のエッチング速度に対する流量比の影響を示す図である。

10

【図6a】図6a-b及び図7a-bは、流量比を調整することによって、ポリシリコンゲート及び加工された(trimmed)フォトレジストマスクに対するクリティカルディメンジョンの均一性の改善を示す図である。

【図6b】図6a-b及び図7a-bは、流量比を調整することによって、ポリシリコンゲート及び加工された(trimmed)フォトレジストマスクに対するクリティカルディメンジョンの均一性の改善を示す図である。

【図7a】図6a-b及び図7a-bは、流量比を調整することによって、ポリシリコンゲート及び加工された(trimmed)フォトレジストマスクに対するクリティカルディメンジョンの均一性の改善を示す図である。

20

【図7b】図6a-b及び図7a-bは、流量比を調整することによって、ポリシリコンゲート及び加工された(trimmed)フォトレジストマスクに対するクリティカルディメンジョンの均一性の改善を示す図である。

【図8a】図8a-bは、処理ガスの流量比を調整することによって、調整されうる平均エッチング特性を示す図である。

【図8b】図8a-bは、処理ガスの流量比を調整することによって、調整されうる平均エッチング特性を示す図である。

【図 1】

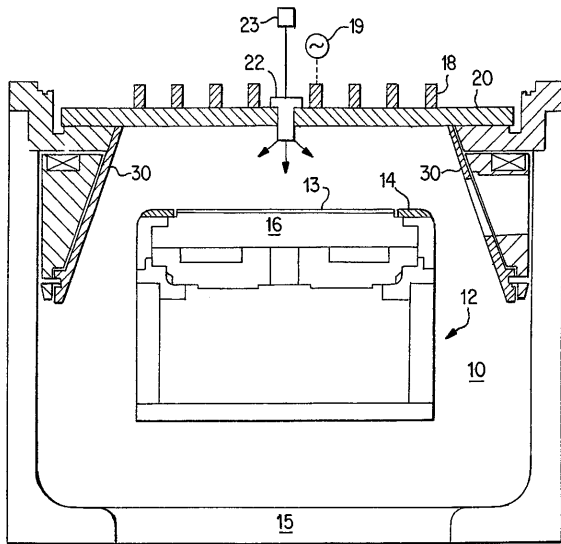


FIG. 1

【図 2 b】

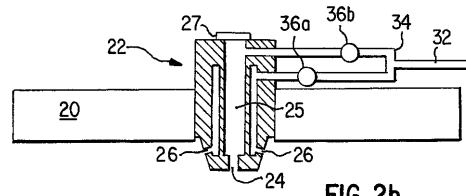


FIG. 2b

【図 2 c】

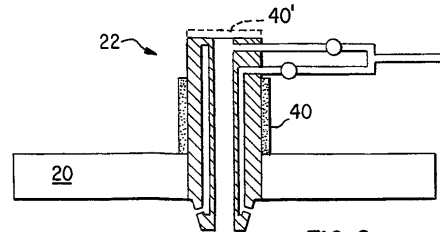


FIG. 2c

【図 2 a】

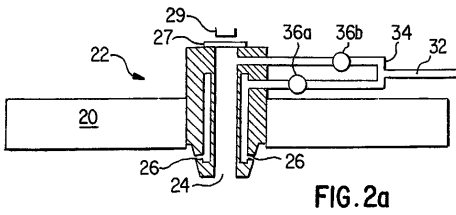


FIG. 2a

【図 3 a】

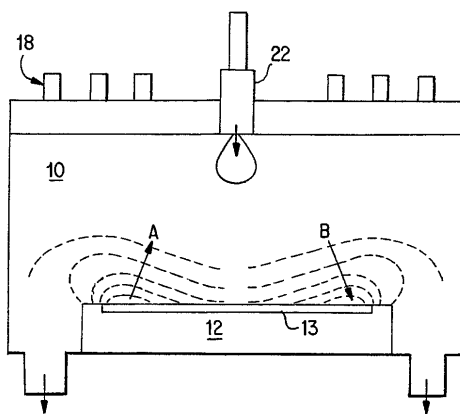


FIG. 3a

【図 3 b】

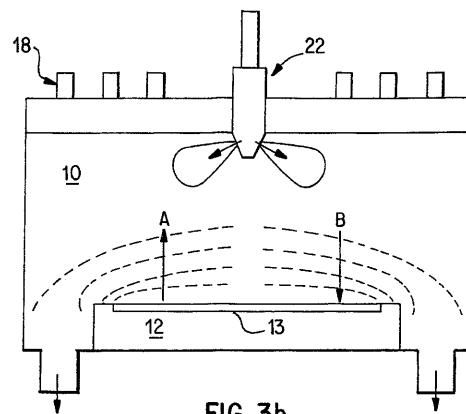


FIG. 3b

【図 3 c】

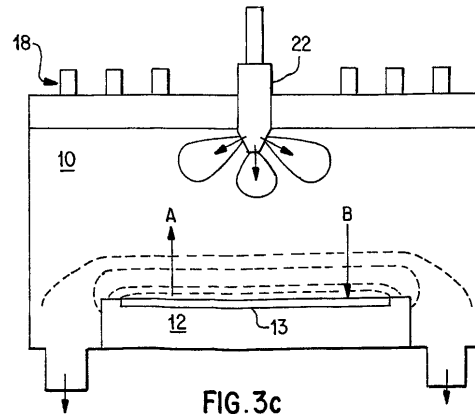


FIG. 3c

【図 4 a】

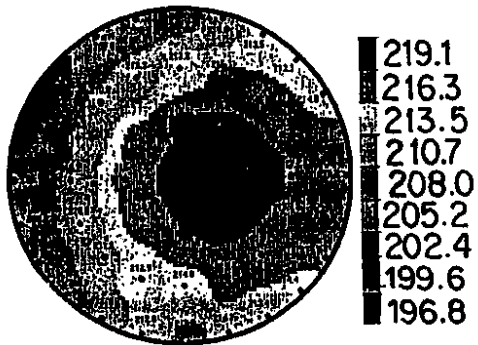


FIG. 4a

【図 4 b】

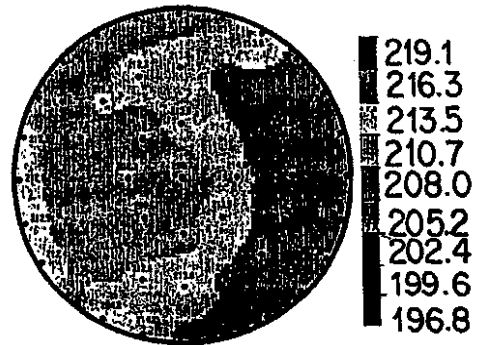


FIG. 4b

【図 4 c】

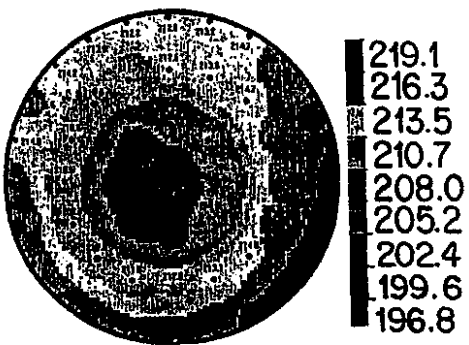


FIG. 4c

【図 5 a】

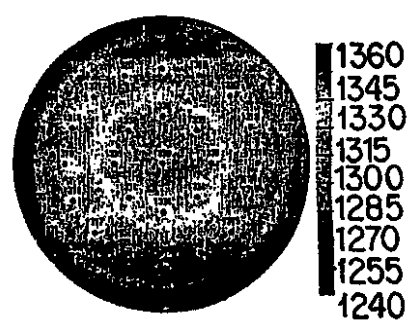


FIG. 5a

【図 5 b】

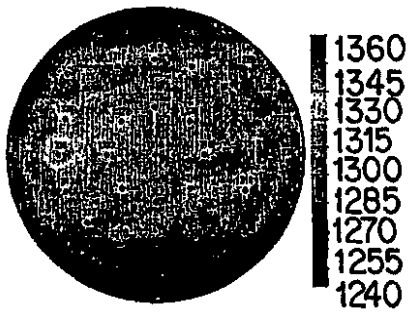


FIG. 5b

【図 5 c】

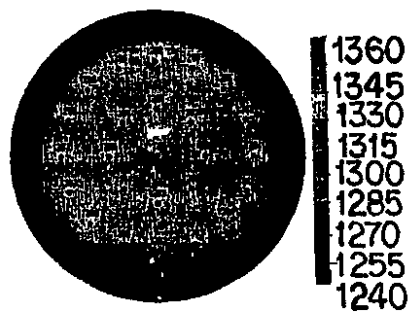


FIG. 5c

【図 6 a】

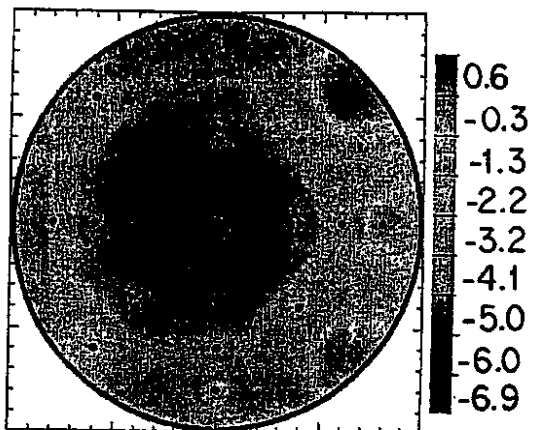


FIG. 6a

【図 6 b】

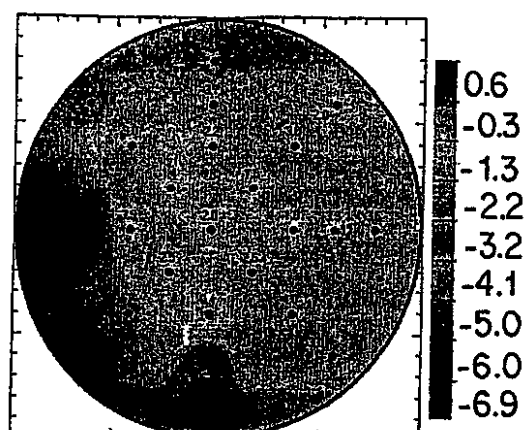


FIG. 6b

【図 7 a】

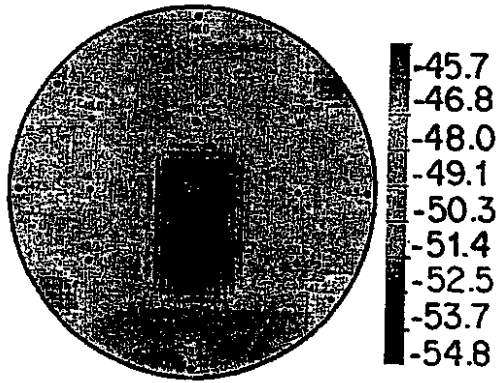


FIG. 7a

【図 7 b】

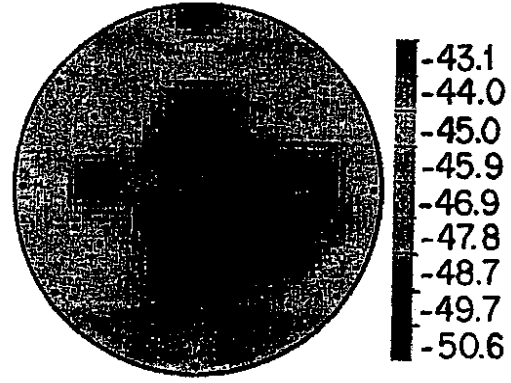


FIG. 7b

【図 8 a】

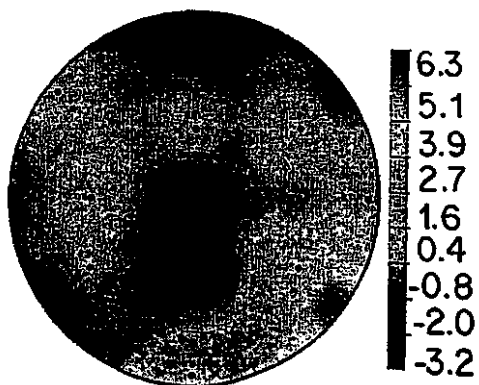


FIG. 8a

【図 8 b】

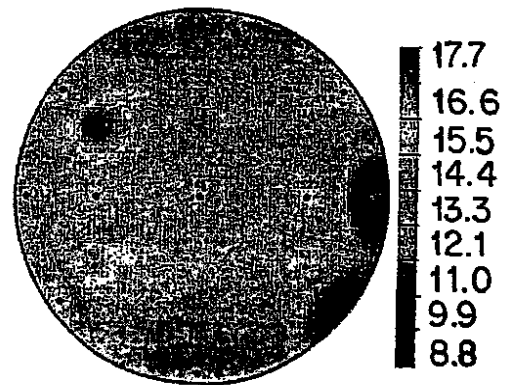


FIG. 8b

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
H 0 1 L 21/3065 (2006.01) H 0 1 L 21/302 1 0 1 G
H 0 5 H 1/46 (2006.01) H 0 5 H 1/46 L

(74)代理人 100130409

弁理士 下山 治

(74)代理人 100134175

弁理士 永川 行光

(74)代理人 100146293

弁理士 西川 恵雄

(72)発明者 クーパーバーク, デヴィッド, ジェイ.

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 0 5 4 9, マウント キスコ, ドッグウッド ロード
1 4

(72)発明者 ヴァヘディ, ヴァヒド

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 7 0 6, アルバニー, ボセン アベニュー 1 5 0
3

(72)発明者 ラット, ダグラス

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 0 5 4, サンタ クララ, オーク グローブ ドラ
イブ 4 7 0 # 1 0 1

(72)発明者 シング, ハーミート

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 7 0 9, バークレー, シャタック アベニュー 1
7 0 9 # 3 2 1

(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

合議体

審判長 藤原 敬士

審判官 加藤 友也

審判官 田村 耕作

(56)参考文献 特表 2 0 0 2 - 5 3 4 7 9 7 (J P , A)

特表 2 0 0 2 - 5 4 0 6 2 5 (J P , A)

特開昭 6 1 - 1 0 0 9 3 5 (J P , A)

特開平 8 - 1 5 8 0 7 2 (J P , A)

特表 2 0 0 2 - 5 1 3 8 6 3 (J P , A)

特開 2 0 0 2 - 1 5 8 1 8 0 (J P , A)

特開昭 6 3 - 7 9 3 2 8 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

C23C16/00-16/507

C23F4/00

H01J37/32

H01L21/205

H01L21/3065

H05H1/46