(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第5004396号
(P5004396)
(45)発行日　平成24年8月22日(2012.8.22)　(24)登録日　平成24年6月1日(2012.6.1)

(51)Int.Cl.　　F I
H01L 21/31 (2006.01)　　H01L 21/31　C
C23C 16/52 (2006.01)　　C23C 16/52

請求項の数 14　(全 39 頁)

(21)出願番号　特願2002-19054(P2002-19054)
(22)出願日　平成14年1月28日(2002.1.28)
(65)公開番号　特開2002-334871(P2002-334871A)
(43)公開日　平成14年11月22日(2002.11.22)
審査請求日　平成16年12月16日(2004.12.16)
審判番号　不服2008-12093(P2008-12093/J1)
審判請求日　平成20年5月12日(2008.5.12)
(31)優先権主張番号　09/771203
(32)優先日　平成13年1月26日(2001.1.26)
(33)優先権主張国　米国(US)

(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
ＡＰＰＬＩＥＤ　ＭＡＴＥＲＩＡＬＳ，ＩＮＣＯＲＰＯＲＡＴＥＤ
アメリカ合衆国　カリフォルニア州　９５０５４　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
(74)代理人　100088155
弁理士　長谷川　芳樹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】プラズマプロセスのプラズマ電荷ダメージを低減する方法

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
プロセスチャンバ内で基板上に設けられた金属線の上に酸化膜を堆積させるための方法であって、
（ａ）シリコン源と酸素源とを、第１の期間と、前記第１の期間に後続する第２の期間とにおいて、プロセスチャンバ内に流入させるステップと、
（ｂ）プロセスガスからプラズマを発生させて、前記第１の期間と前記第２の期間とにおいて、前記基板上に設けられた金属線上に膜を堆積させるステップと
を有し、
前記プロセスガスを前記基板の周囲にガスの流れを提供するように配置された側部ガス源を通して、および、前記基板の上面より上にガスの流れを提供するように配置された上部ガス源を通して、前記プロセスチャンバに流入させ、
基板の中心部の方が基板のエッジより先行して前記酸化膜が堆積するように、前記第１の期間において前記シリコン源と前記酸素源とを前記上部ガス源からのみ流入させる方法。
【請求項２】
前記酸化膜はシリコン酸化物を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記プロセスガスには、シランと、酸素を含むガスとが含まれる、請求項１または２に記載の方法。

【請求項４】
前記第２期間において、前記上部ガス源から流入する前記シリコン源の流量は前記側部ガス源から流入する前記シリコン源の流量よりも大きい、請求項１～３のいずれか一項に記載の方法。
【請求項５】
前記プロセスガスが更に、不活性ガスを含む、請求項１～４のいずれか一項に記載の方法。
【請求項６】
前記不活性ガスが、アルゴンである、請求項５に記載の方法。
【請求項７】
基板の周囲にガスの流れを提供するように配置された第１のガスノズルセットと、基板の上面より上にガスの流れを提供するように配置された第２のノズルとを有するチャンバ内に配置した基板上に設けられた金属線の上に酸化膜を堆積させる方法であって、
（ａ）第１の期間と前記第１の期間に後続する第２の期間とにおいて、シリコン源と酸素源とを含むプロセスガスを前記チャンバ内に流入させるステップであって、前記第１の期間においては、前記シリコン源と前記酸素源とを前記第２のノズルのみを通じて流入させ、前記第２の期間においては、前記シリコン源と前記酸素源とを前記第１のノズルセットと前記第２のノズルとを通じて流入させるステップと、
（ｂ）プロセスガスからプラズマを形成し、前記第１の期間と前記第２の期間において、前記金属線の上に酸化膜を堆積させるステップとを有する、方法。
【請求項８】
上部ガス源と側部ガス源とを備えるプロセスチャンバと、プラズマ発生システムと、基板保持器と、前記プロセスチャンバに前記上部ガス源と前記側部ガス源を通してガスを導入するように構成されたガス送出しシステムとを有する基板処理システムに対して、その作動を指示するために組み入れられたコンピュータ読取り可能プログラムを有するコンピュータ読取り可能記憶媒体であって、前記コンピュータ読取り可能プログラムは、
（ａ）シリコン源と酸素源とを含むプロセスガスを、第１の期間と、前記第１の期間に後続する第２の期間とにおいて、前記プロセスチャンバ内に流入させるステップと、
（ｂ）プロセスガスからプラズマを発生させて前記第１の期間と前記第２の期間において基板上に酸化膜を堆積させるステップと、を有し、
前記基板の中心部の方が前記基板のエッジより先行して前記酸化膜が堆積されるように、前記第１の期間において前記シリコン源および前記酸素源が前記上部ガス源からのみ前記プロセスチャンバに流入させるようにした方法に従って、
前記プロセスチャンバ内に配置された前記基板上に設けられた金属線の上に酸化膜を堆積させるように、前記基板処理システムを作動させるための命令を有するコンピュータ読取り可能記憶媒体。
【請求項９】
前記コンピュータ読取り可能プログラムは、前記第２期間において、前記上部ガス源から流入させる前記シリコン源の流量を、前記側部ガス源から流入させる前記シリコン源の流量よりも多くする命令を更に含む、請求項８に記載のコンピュータ読取り可能記憶媒体。
【請求項１０】
基板処理システムであって、
（ａ）上部ガス源と側部ガス源とを備えるプロセスチャンバを画定するハウジングと、
（ｂ）プロセスチャンバに作動的に連結された高密度プラズマ発生システムと、
（ｃ）基板処理中に基板を保持するように構成された基板保持器と、
（ｄ）前記上部ガス源と前記側部ガス源を通してガスをプロセスチャンバに導入するように構成されたガス送出しシステムと、
（ｅ）プロセスチャンバ内で選択された圧力を維持するための圧力制御システムと、
（ｆ）高密度プラズマ発生システムと、ガス送出しシステムと、圧力制御システムとを制

御するための制御装置と、
（ｇ）制御装置に連結されたメモリであって、基板処理システムの作動を指示するためにその中に組み入れられ、
（ｉ）ガス送出しシステムを制御して、シリコン源と酸素源とを含むプロセスガスを、第１の期間と第２の期間とにおいて前記プロセスチャンバ内に流入させるための命令と、
（ii）高密度プラズマ発生システムを制御して、前記第１の期間と前記第１の期間に後続する前記第２の期間とにおいて、前記プロセスガスからプラズマを発生させて前記基板上に設けられた金属線の上に酸化膜を堆積させるための命令とを有し、
前記酸化膜が前記基板の中心部で前記基板のエッジより先行して堆積されるように、前記第１の期間に前記シリコン源と前記酸素源とを前記上部ガス源からのみ前記プロセスチャンバ内に流入させる、コンピュータ読取り可能プログラムを有するコンピュータ読取り可能媒体を有するメモリとを有する基板処理システム。
【請求項１１】
前記プロセスガスには、シランと、酸素を含有するガスとが含まれる、請求項１０に記載の基板処理システム。
【請求項１２】
前記プロセスガスが、不活性ガスを更に含む、請求項１０または１１に記載の基板処理システム。
【請求項１３】
前記不活性ガスが、アルゴンである請求項１２に記載の基板処理システム。
【請求項１４】
前記コンピュータ読取り可能プログラムは、前記第２期間において、前記上部ガス源から流入させる前記シリコン源と前記酸素源の流量を、前記側部ガス源から流入させる前記シリコン源と前記酸素源の流量よりも多くする命令を更に含む、請求項１０から１３のいずれか１つに記載の基板処理システム。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、基板上の集積回路の製造に関する。より具体的に本発明は、プラズマプロセス技術を用いて集積回路を製造する際、プラズマ電荷ダメージを低減するための方法及び装置に関する。
【０００２】
【従来の技術】
最新の半導体デバイスの製作におけるステップの１つは、ガスの化学反応により半導体基板上に薄膜を形成することである。この堆積プロセスは、化学気相成長（「ＣＶＤ」）と呼ばれる。従来の熱ＣＶＤプロセスでは基板表面に反応ガスを供給し、そこでは熱で誘発された化学反応が生じ、所望の膜が生成される。他方、プラズマ強化ＣＶＤ技術は、高周波（「ＲＦ」）エネルギを基板表面付近の反応ゾーンに印加し、それによりプラズマを形成することによって、反応ガスの励起及び／又は解離を促進する。プラズマにおける種の高い反応性は、従来の熱ＣＶＤプロセスに比較して、化学反応を起こすために必要なエネルギを減少させ、したがってこのＣＶＤプロセスに必要な温度を低下させる。これらの利点は、低真空圧で密なプラズマが形成されるので、プラズマ種がいっそうよく反応する高密度プラズマ（「ＨＤＰ」）ＣＶＤ技術によってさらに高められる。
【０００３】
これらのＣＶＤ技術のいずれも、集積回路の製作中に導電性又は絶縁性膜を堆積するために使用することができる。一般的な構成は、図１Ａに示すような一連の金属線上に酸化物材料を堆積することを必要とする。この構成では、金属線２０６は図に対して垂直方向に伸長する。各金属線２０６は、ゲート酸化物２０４によって基板２０２から分離された、下位レベルのゲート２０８に電気的に接続される。

【０００４】
この構造上に膜を堆積するときに起こる荷電効果を説明するために、２つの極端な状態を考慮する。第１状態を図１Ｂに示す。これは一連の金属線２０６上の膜２１０の非常に非共形的な堆積を示す。この成長パターンは「中性流束制限的酸化物成長」(neutral-flux-limited oxide growth)とも呼ばれ、膜２１０の厚さが金属線パターンの表面セグメントに到達する中性前駆物質の流束に比例して増加するときに生じる。堆積層２１０は、金属線２０６の上では、それらの間の間隙の底部又は側壁よりも厚くなる。これは、トポグラフィによる等方性中性前駆物質の幾何学的シャドーイングの結果である。第２の極端な状態は図１Ｃに示す。これは一連の金属線２０６の上の膜２１０の共形的堆積を示す。この成長パターンは「反応速度制限的酸化物成長」(reaction-rate-limited oxidegrowth)と記述することができ、膜の厚さが中性前駆物質の流束から独立しているときに生じる。この非常に理想的な状態では、膜の表面は常に全ての表面で同一である。現実的な堆積プロセスは、図１Ｂ及び図１Ｃによって示した両極端の間で中間的にふるまう。

【０００５】
金属線２０６は、当初は中性であっても酸化物材料の堆積中に電荷を得る。この荷電は、酸化物層の頂部及び側壁を通して発生するトンネル電流、側壁及び底面に沿って発生する表面電流、ならびに基板からゲート酸化物を通した電子トンネルの組合せから生じる。図１Ｄは中性流束制限的成長の、図１Ｅは反応速度制限的成長の、それぞれの酸化物層の堆積中に発生する電流を示す。イオンと電子が形成層を横断する際、両者間の方向性の相違により電位差のパターンが生じ、金属線は電荷の獲得に加えて電位勾配にさらされる。

【０００６】
特に、電子シェーディングは、形成層の上部側壁における負電荷の蓄積につながる一方、方向性イオンは、間隙内の形成表面を正に荷電する。上部側壁における負電位と空隙の底部における正電位との組合せにより、優先的に側壁の方向に偏向する高エネルギイオンは少なくなり、側壁の下部も正電荷を獲得するようになる。表面電流は、閾値より高い表面の電位勾配が存在しないことを保証するが、酸化物層には、特に表面の電位が極値に近づく側壁の頂部及び底部付近には、大きい電界が発生する。

【０００７】
酸化物の電界は、金属線の電位及び酸化物層の各点における厚さにも依存する。図１Ｄに示すように、非共形的酸化物の堆積に結果的により大きい金属線の荷電及び増加するゲート酸化物ダメージを引き起こさせるのは、この厚さ依存性である。図１Ｄ及び図１Ｅの両方において、正のトンネル電流が矢印で示され、矢印の太さは電流の大きさにおおまかに比例する。非共形堆積の場合［図１Ｄ］、大きい正電流が、酸化物の最も薄い側壁底部領域を通して金属線２０６に流れる。酸化物成長の早期ステージ中に、この電流は上部側壁領域からの電子トンネルによって大部分補償され、ゲート酸化物を通る電流は比較的小さい。上部側壁の酸化物の厚さが増加すると、それに対応してそこでの電子トンネル電流が減少し、ゲート酸化物を通る電流が増加して、側壁底部の過剰な電流の流れが補償される。

【０００８】
逆に、共形堆積中［図１Ｅ］には、膜が堆積するときに、膜の厚さは側壁の頂部及び底部で同じ速度で増加し、正及び負のトンネル電流の同時低下を生じる。側壁底部を流れる過剰な電流が無いので、ゲート酸化物の補償電流は小さいまま維持することができる。図１Ｄ及び図１Ｅの両方において、層の厚さは、解説のために誇張されている。電荷ダメージは、堆積された膜が図示した厚さに達するずっと前に引き起こされる。

【０００９】
【発明が解決しようとする課題】
プラズマ強化ＣＶＤ中に破壊電流が生成されるメカニズムのこの記述は、多少図式的である。より完全な分析は、Gyeong S.Hwang andKonstantinos P.Giapis, J.Appl.Phys.84154(1998)に提供されており、全ての目的のためにこれを参照によってここに組み込む。さらに、この記述は堆積中の電流の発生に焦点をおいているが、プラズマ強化エッチングプ

ロセス中には、同様に破壊電流が発生する。その結果、プラズマプロセスを使用して集積回路構造を形成する堆積及びエッチングプロセスは両方とも、例えば側壁の不規則性（切欠き、反りなど）及び／又は潜在的ゲート酸化物劣化によって、微細構造コンポーネントをダメージすることがあり得る。この荷電ダメージは、より高いアスペクト比の構造をエッチングする場合に、より大きくなることが知られている。ここで、アスペクト比とは間隙の幅に対するその高さの比である。また、より高いアスペクト比を持つ構造における堆積プロセスの場合にも、より大きくなると予想される。論理デバイスのいっそう高密度の実装を探究し続ける一環として、限界構造寸法を低下し、かつ同時に、このプロセスのアスペクト比能力を高めるための努力が絶えず行なわれているので、荷電ダメージを低減することのできるプロセスを持つことが望ましい。

【００１０】

【課題を解決するための手段】

先行技術の不利益は、プラズマ堆積プロセス中のプラズマ放電ダメージを低減するための方法により克服される。ウェハ上の堆積がウェハの中心ではエッジよりも先行するように、プロセスチャンバへのガス流を構成することにより、プラズマ電荷ダメージの発生が低減される。そして、一実施形態では、プロセスチャンバ内で基板上に薄膜を堆積するための方法を提供する。この方法は、プラズマを形成するに適した複数の前駆物質ガスを有するプロセスガスを、プロセスチャンバ内に流すステップと、プロセスガスからプラズマを発生させて基板上に薄膜を堆積するステップとを有する。前駆物質ガスは、薄膜が基板のエッジよりも基板の中心の方が先行して堆積されるように、プロセスチャンバ内に流される。

【００１１】

特定の実施形態では、プロセスチャンバは、上部ガス源と側部ガス源を有している。前駆物質ガスの少なくとも１つが、側部ガス源からよりも高い流量比で上部ガス源から流される。１つの実施形態では、各前駆物質ガスは、側部ガス源からよりも高い流量比で上部ガス源から流され、別の実施形態では、各前駆物質ガスが上部ガス源だけより流される。

【００１２】

本発明の方法は、基板処理システムの作動を指示するためにその中に組み入れられたコンピュータ読取り可能プログラムを有するコンピュータ読取り可能な記憶媒体として具体化することができる。このシステムは、プロセスチャンバ、プラズマ発生システム、基板保持器、ガス送出しシステム、及びシステム制御装置を有する。コンピュータ読取り可能プログラムは、上述の実施形態に従って基板処理システムを操作して、プロセスチャンバ内に配置された基板上に薄膜を形成するための命令を有する。

【００１３】

本発明のこれら及びその他の実施形態について、その利点及び特徴と同様、以下の本文及び添付の図面に関連してより詳しく説明する。

【００１４】

【発明の実施の形態】

I．序論

集積回路の製作は一般に、シリコンなどの半導体から作られた円形ウェハ上に行なわれる。ウェハ上に複数のレクティリニアデバイスが矩形配列に形成され、４つの類似形状の円形セグメントが未処理のまま残っている。本発明の実施形態は、ウェハの中心部の被覆から始まりウェハのエッジ方向に向かって堆積を進めるプラズマ堆積プロセスを使用することにより、この回路のプラズマ電荷ダメージの可能性を低減することに関する。ウェハ中心部に初期誘電体膜があるため、破壊荷電が防止される。他の実施形態では、この技術を、堆積プロセスに加えてエッチングプロセス用に適応させる。

【００１５】

II．例示的な基板処理システム

図２Ａは、本発明による誘電体層を堆積することができる、高密度プラズマ化学気相成長（ＨＤＰ－ＣＶＤ）システム１０の一実施形態を示す。システム１０は、チャンバ１３、

真空システム７０、ソースプラズマシステム８０Ａ、バイアスプラズマシステム８０Ｂ、ガス送出しシステム３３、及びリモートプラズマクリーニングシステム５０を有する。

【００１６】

チャンバ１３の上方部分は、酸化アルミニウム又は窒化アルミニウム等のセラミック誘電体材料から作製されたドーム１４を有する。ドーム１４は、プラズマプロセス領域１６の上部境界を画定する。プラズマプロセス領域１６の底部は、基板１７の上面及び基板支持部材１８によって境界を定められる。

【００１７】

ヒータプレート２３とコールドプレート２４がドーム１４の上に置かれ、熱的にドーム１４に結合される。ヒータプレート２３及びコールドプレート２４は、ドーム温度を約１００℃～２００℃の範囲に対して約±１０℃以内に制御することができる。これにより、様々なプロセスに対してドーム温度を最適化することができる。例えば、クリーニング又はエッチングプロセスの場合、堆積プロセスの場合より高い温度にドームを維持することが望ましいかもしれない。ドーム温度の正確な制御はまたチャンバ内のフレーク又は粒子の数をも減少し、堆積層と基板との間の接着を改善する。

【００１８】

チャンバ１３の下方部分は、チャンバを真空システムにつなぐ本体部材２２を有する。基板支持部材１８のベース部分２１は、本体部材２２上に取り付けられ、それと共に連続内部表面を形成する。基板は、ロボットブレード（図示せず）によってチャンバ１３の側部の挿入／取出口（図示せず）を通してチャンバ１３内外に移送される。リフトピン（図示せず）がモータ（図示せず）の制御下で上昇し、次いで下降して、基板を上部ローディング位置５７のロボットブレードから下部処理位置５６に移動させ、そこで基板は基板支持部材１８の基板受容部１９に載置させる。基板受容部分１９は、基板処理中に基板を基板支持部材１８に固定する静電チャック２０を有する。好適な実施形態では、基板支持部材１８は酸化アルミニウム又はアルミニウムセラミック材から作製される。

【００１９】

真空システム７０はスロットルボディ２５を有し、これはツインブレード絞り弁２６を収容し、ゲート弁２７及びターボ分子ポンプ２８に取り付けられる。スロットルボディ２５はガス流に対する最小限の障害を提供し、対称ポンピングを可能にすることに注目されたい。ゲート弁２７はポンプ２８をスロットルボディ２５から隔離することができ、また、絞り弁２６が完全に開いているときの排気流量容量を制限することによって、チャンバ圧力を制御することができる。絞り弁、ゲート弁、及びターボ分子ポンプの構成により、約１ミリトルから約２トルの間のチャンバ圧力の正確かつ安定な制御が可能になる。

【００２０】

ソースプラズマシステム８０Ａは、ドーム１４上に取り付けられた上部コイル２９及び側部コイル３０を有する。対称的接地シールド（図示せず）は、コイル間の電気的結合を低減する。上部コイル２９は上部ソースＲＦ（ＳＲＦ）発生器３２Ａによって付勢される一方、側部コイル３０は側部ＳＲＦ発生器３２Ｂによって付勢され、各コイル毎に独立電力レベル及び周波数の作動が可能になる。この二重コイルシステムにより、チャンバ１３内の半径方向のイオン密度の制御が可能になり、それによりプラズマの均一性が改善される。側部コイル３０及び上部コイル２９は一般的に誘導駆動され、それは相補型電極を必要としない。特定の実施形態では、上部ソースＲＦ発生器３２Ａは公称２ＭＨｚで最高２，５００ワットのＲＦ電力を提供し、側部ソースＲＦ発生器３２Ｂは公称２ＭＨｚで最高５，０００ワットのＲＦ電力を提供する。上部及び側部ＲＦ発生器の動作周波数は、プラズマ発生効率を改善するために、公称動作周波数から（例えばそれぞれ１．７～１．９ＭＨｚ及び１．９～２．１ＭＨｚに）ずらすことができる。

【００２１】

バイアスプラズマシステム８０Ｂは、バイアスＲＦ（「ＢＲＦ」）発生器３２Ｃ及びバイアス照合ネットワーク３２Ｃを有する。バイアスプラズマシステム８０Ｂは基板部分１７を本体部材２２に容量結合し、該部材は相補型電極として作用する。バイアスプラズマシ

ステム８０Ｂは、ソースプラズマシステム８０Ａによって生成されたプラズマ種（例えばイオン）の基板の表面への搬送を増強するように働く。特定の実施形態では、バイアスＲＦ発生器は１３．５６ＭＨｚで最高５，０００ワットまでのＲＦ電力を提供する。

【００２２】

ＲＦ発生器３２Ａ及び３２Ｂは、デジタル制御されるシンセサイザを有し、約１．８～約２．１ＭＨｚの間の周波数範囲で作動する。各発生器は、チャンバ及びコイルから発生器に戻る反射電力を測定するＲＦ制御回路（図示せず）を有し、当業者によって理解される通り、最低反射電力が得られるように動作周波数を調整する。ＲＦ発生器は概して、特性インピーダンスが５０オームの負荷に作動するように設計される。ＲＦ電力は、発生器とは異なる特性インピーダンスを持つ負荷から反射されることがある。これは負荷に移送される電力を低下し得る。さらに、負荷から発生器に反射される電力は、発生器を過負荷状態にして破損するおそれがある。プラズマのインピーダンスは、他の要因もあるが特にプラズマイオン密度によって、５オーム未満から９００オームを超えるまでの範囲に及ぶことがあるので、かつ反射電力は周波数の関数であるので、反射電力によって発生器の周波数を調整することにより、ＲＦ発生器からプラズマに移送される電力が増加し、発生器が保護される。反射電力を低減し、効率を改善する別の方法は、整合ネットワークによるものである。

【００２３】

整合ネットワーク３２Ａ及び３２Ｂは、発生器３２Ａ及び３２Ｂの出力インピーダンスをそれらのそれぞれのコイル２９及び３０と整合させる。ＲＦ制御回路は、負荷が変化したときに発生器を負荷に整合させるために、整合ネットワーク内のコンデンサの値を変化させることによって、両方の整合ネットワークを同調させることができる。ＲＦ制御回路は、負荷から発生器に反射される電力が特定の限度を超えたときに、整合ネットワークを同調させることができる。定整合をもたらし、ＲＦ制御回路が整合ネットワークを同調することを効果的に不能にする１つの方法は、反射電力限度を反射電力の予想値より上に設定することである。これは、整合ネットワークをその最も最近の状態で一定に保持することによって、プラズマを何らかの条件下で安定させるのにも役立つことができる。

【００２４】

他の措置もプラズマを安定化するのに役立つかもしれない。例えば、ＲＦ制御回路を使用して、負荷（プラズマ）に引き渡される電力を決定することができ、また発生器出力電力を増加又は減少して、層の堆積中、引き渡される電力を実質的に一定に維持することができる。

【００２５】

ガス送出しシステム３３は、幾つかの供給源３４Ａ～３４Ｆから、ガス送出し管路３８（その一部だけを図示する）を介して基板を処理するためのチャンバにガスを提供する。当業者には理解される通り、供給源３４Ａ～３４Ｆに使用される実際の供給源、及び送出し管路３８からチャンバへの実際の接続は、チャンバ１３内で実行される堆積及びクリーニングプロセスによって異なる。ガスは、ガスリング３７及び／又はトップノズル４５を通してチャンバ１３内に導入される。図２Ｂは、ガスリング３７の追加詳細を示す、チャンバ１３の簡易部分断面図である。

【００２６】

一実施形態では、第１及び第２ガス源３４Ａ及び３４Ｂ、ならびに第１及び第２ガス流量調節器３５Ａ’及び３５Ｂ’は、ガス送出し管路３８（その一部だけを図示する）を介してガスリング３７内のリングプレナム３６にガスを提供する。ガスリング３７は、基板上にガスの均等な流れを提供する複数のソースガスノズル３９（解説のためにそのうちの１つだけを図示する）を持つ。ノズル長及びノズル角度は、個々のチャンバ内の特定のプロセスに合わせて均一性プロファイル及びガス利用効率を調整することができるように、変化させることができる。好適な実施形態では、ガスリング３７は、酸化アルミニウムセラミックから作製された１２個のソースガスノズルを持つ。

【００２７】

ガスリング３７はまた複数の酸化剤ガスノズル４０（そのうちの１つだけを図示する）を持ち、これは好適な実施形態ではソースガスノズル３９と同一平面上にあり、かつそれより短く、一実施形態では本体プレナム４１からのガスを受容する。幾つかの実施形態では、ガスをチャンバ１３内に噴射する前に、ソースガスと酸化剤ガスを混合しないことが望ましい。他の実施形態では、本体プレナム４１とガスリングプレナム３６との間にアパーチャ（図示せず）を設けることによって、ガスをチャンバ１３内に噴射する前に、酸化剤ガスとソースガスを混合することができる。一実施形態では、第３及び第４ガス源３４Ｃ及び３４Ｄならびに第３及び第４ガス流量調節器３５Ｃ及び３５Ｄ’は、ガス送出し管路３８を介して本体プレナムにガスを提供する。窒素源３４Ｆは、窒素プラズマを利用する処理ステップのために、チャンバへのガスリングの酸化剤ノズルへ窒素ガス（Ｎ２）を提供する。代替的に窒素ガスは、トップノズルなど、他の又は追加の入口を介してチャンバへ送り出すことができる。４３Ｂ（他の弁は図示せず）などの追加弁は、流量調節器からチャンバへのガスを遮断することができる。

【００２８】

可燃性、毒性、又は腐食性ガスを使用する実施形態では、堆積後にガス送り管路内に残っているガスを除去することが望ましい。これは、弁４３Ｂなどの三方弁を用いて、チャンバ１３を送り管路３８Ａから隔離し、送り管路３８Ａを例えば真空フォアライン４４に通気して、達成することができる。図２Ａに示すように、４３Ａ及び４３Ｃなど、他の同様の弁を他のガス送出し管路に組み込むことができる。この三方弁は、非通気ガス送出し管路（三方弁とチャンバとの間）の容積を最小にするために、実行可能な限りチャンバ１３の近くに配置することができる。さらに、二方（オン－オフ）弁（図示せず）を質量流量調節器（「ＭＦＣ」）とチャンバとの間、又はガス源とＭＦＣとの間に配置することができる。

【００２９】

再び図２Ａを参照すると、チャンバ１３はトップノズル４５及びトップ通気口４６をも有する。トップノズル４５及びトップ通気口４６はガスの上部及び側部流量の独立制御を可能にし、これは、膜の均一性を改善し、膜の堆積及びドーピングパラメータの微細調整を可能にする。トップ通気口４６は、トップノズル４５の周囲の環状開口である。一実施形態では、第１ガス源３４Ａはソースガスノズル３９及びトップノズル４５に供給する。ソースノズルＭＦＣ３５Ａ’はソースガスノズル３９に送り出されるガスの量を制御し、トップノズルＭＦＣ３５Ａはトップガスノズル４５に送り出されるガスの量を制御する。同様に、２つのＭＦＣ３５Ｂ及び３５Ｂ’を使用して、供給源３４Ｂなどの単一酸素源からトップ通気口４６及び酸化剤ガスノズル４０の両方への酸素の流量を制御することができる。トップノズル４５及びトップ通気口４６に供給されるガスは、ガスをチャンバ１３内に流入させるまで分離しておくことができ、あるいはガスは、それらをチャンバ１３内に流入させる前に、トッププレナム４８で混合することができる。チャンバの様々な部分に供給するために、同一ガスの別個の供給源を使用することができる。

【００３０】

チャンバコンポーネントから堆積残留物を定期的にクリーニングするために、リモートマイクロ波発生プラズマクリーニングシステム５０を設ける。このクリーニングシステムは、反応器キャビティ５３内でクリーニングガス源３４Ｅ（例えばフッ素分子、三フッ化窒素、他のフルオロカーボン又は同等物）からプラズマを生成するリモートマイクロ波発生器５１を有する。このプラズマから生じる反応種は、アプリケータチューブ５５を介してクリーニングガス供給口５４を通してチャンバ１３に運ばれる。クリーニングプラズマを有するために使用される材料（例えばキャビティ５３及びアプリケータチューブ５５）は、プラズマによる攻撃に対する耐性を持たなければならない。所望のプラズマ種の濃度は反応器キャビティ５３からの距離により低下するので、反応器キャビティ５３と供給口５４との間の距離は、実行可能な限り短く維持しなければならない。クリーニングプラズマをリモートキャビティ内で生成することにより、効率的マイクロ波発生器の使用が可能になり、チャンバコンポーネントは、現場で形成されるプラズマに存在するグロー放電の温

度、放射、又はボンバードにさらされない。したがって、静電チャック２０など、比較的敏感なコンポーネントを、現場プラズマクリーニングプロセスで要求されるようにダミーウェハで被覆するか、又は他の方法で保護する必要がない。

【００３１】

システム制御装置６０はシステム１０の動作を制御する。好適な実施形態では、制御装置６０は、プロセッサ６１に連結されたハードディスクドライブ、フロッピー（登録商標）ディスクドライブ（図示せず）、及びカードラック（図示せず）などのメモリ６２を有する。カードラックは、シングルボードコンピュータ（ＳＢＣ）（図示せず）、アナログ及びデジタル入力／出力ボード（図示せず）、インタフェースボード（図示せず）、及びステッパモータコントローラボード（図示せず）を有することができる。システム制御装置は、ボード、カードケージ、及びコネクタの寸法及び種類を定義するVersa Modular European（「ＶＭＥ」）規格に準拠する。ＶＭＥ規格はまた、バス構造を１６ビットデータバス及び２４ビットアドレスバスを持つものとして定義する。システム制御装置３１は、ハードディスクドライブに格納されたコンピュータプログラムの制御下で、又は取外し可能なディスクに格納されたプログラムなど、他のコンピュータプログラムを通して作動する。コンピュータプログラムは、例えば特定の処理のタイミング、ガスの混合、ＲＦ電力レベル、及び他のパラメータを指図する。ユーザとシステム制御装置との間のインタフェースは、図２Ｃに示すように、陰極線管（「ＣＲＴ」）６５などのモニタ及びライトペン６６による。

【００３２】

図２Ｃは、図２Ａの例示的ＣＶＤプロセスチャンバと共に使用される例示的システムユーザインタフェースの部分の図である。システム制御装置６０は、コンピュータ読取り可能メモリ６２に結合されたプロセッサ６１を有する。メモリ６２はハードディスクドライブであることが好ましいが、メモリ６２は、ＲＯＭ、ＰＲＯＭなどのような他の種類のメモリとすることができる。

【００３３】

システム制御装置６０は、メモリ６２内のコンピュータ読取り可能フォーマットで格納されたコンピュータプログラム６３の制御下で作動する。コンピュータプログラムは、特定のプロセスのタイミング、温度、ガス流量、ＲＦ電力レベル、及びその他のパラメータを指図する。ユーザとシステム制御装置との間のインタフェースは、図２Ｃに示すように、ＣＲＴモニタ６５及びライトペン６６による。好適な実施形態では、２つのモニタ６５及び６５Ａ、ならびに２つのライトペン６６及び６６Ａを使用して、１つ（６５）をオペレータ用にクリーンルームの壁に取り付け、もう１つ（６５Ａ）をサービス技術者用に壁の背後に取り付ける。両方のモニタは同じ情報を同時に表示するが、１つのライトペン（例えば６６）だけが使用可能状態である。特定の画面又は機能を選択するために、オペレータはディスプレイ画面の一領域に触れ、ペンのボタン（図示せず）を押す。触れた領域は、例えばその色を変えるか、又は新しいメニューを表示することによって、ライトペンによって選択されていることを確認する。

【００３４】

コンピュータプログラムコードは、６８０００アセンブリ言語、Ｃ、Ｃ＋＋、又はパスカルなど、いずれかの従来のコンピュータ読取り可能プログラミング言語で書くことができる。従来のテキストエディタを使用して、適切なプログラムコードを単一ファイル又は複数のファイルに入力するか、又はコンピュータのメモリシステムなど、コンピュータ読取り可能媒体に格納又は組み入れられる。入力されたコードテキストが高水準言語である場合、コードはコンパイルされ、結果として得られるコンパイラコードが次に、予めコンパイルされたウィンドウライブラリルーチンの目的コードとリンクされる。リンクされたコンパイル目的コードを実行するために、システムユーザは目的コードを呼び出して、コンピュータシステムにコードをメモリにロードさせる。ＣＰＵはメモリからコードを読み取り、コードを実行して、プログラム内で識別されたタスクを実行する。

【００３５】

図２Ｄは、コンピュータプログラム１００の階層的制御構造の解説的ブロック図を示す。ユーザは、ライトペンインタフェースを使用することによって、ＣＲＴモニタ上に表示されるメニュー又は画面に応答して、プロセスセット番号及びプロセスチャンバ番号をプロセス選択サブルーチン１１０に入力する。プロセスセットは特定のプロセスを実行するために必要なプロセスパラメータの予め決められたセットであり、予め定められたセット番号で識別される。プロセス選択サブルーチン１１０は、所望のプロセスを実行するために、（ｉ）マルチチャンバシステム内の所望のプロセスチャンバ、及び（ii）プロセスチャンバを作動させるために必要な所望のセットのプロセスパラメータを識別する。特定のプロセスを実行するためのプロセスパラメータは、プロセスガスの組成及び流量、温度、圧力、ＲＦ電力レベル及びチャンバドーム温度のようなプラズマ状態などの条件に関係し、レシピの形でユーザに提供される。レシピによって指定されたパラメータは、ライトペン／ＣＲＴモニタインタフェースを利用して入力される。

【００３６】

プロセスを監視するための信号は、システム制御装置６０のアナログ及びデジタル入力ボードによって提供され、プロセスを制御するための信号は、システム制御装置６０のアナログ及びデジタル出力ボード上に出力される。

【００３７】

プロセスシーケンササブルーチン１２０は、識別されたプロセスチャンバ及びプロセス選択サブルーチン１１０からのプロセスパラメータのセットを受け入れるため、及び様々なプロセスチャンバの作動を制御するためのプログラムコードを有する。複数のユーザがプロセスセット番号及びプロセスチャンバ番号を入力することができ、あるいは単独のユーザが複数のプロセスセット番号及びプロセスチャンバ番号を入力することができ、シーケンササブルーチン１２０は選択されたプロセスを所望の順序にスケジュールする。好ましくは、シーケンササブルーチン１２０は、（ｉ）プロセスチャンバの作動を監視して、チャンバが使用されているかどうかを決定するステップと、（ii）使用されているチャンバ内でどのプロセスが実行されているかを決定するステップと、（iii）プロセスチャンバの利用可能性及び実行されるプロセスの種類に基づいて所望のプロセスを実行するステップとを実行するためのプログラムコードを有する。ポーリングなど、プロセスチャンバを監視する従来の方法を使用することができる。どのプロセスを実行するかをスケジュールするときに、シーケンササブルーチン１２０は、各々の特定のユーザ入力要求の「年齢」、又は選択されたプロセスのための所望のプロセス条件と比較した使用されるプロセスチャンバの現在の状態、又はスケジューリング優先順位を決定するためにシステムプログラマが含めることを希望する他の関連要因を考慮に入れるように設計することができる。

【００３８】

シーケンササブルーチン１２０がどのプロセスチャンバとプロセスセットの組合せを次に実行するかを決定した後、シーケンササブルーチン１２０は、特定のプロセスセットパラメータをチャンバ管理サブルーチン１３０Ａ～Ｃに渡すことによって、プロセスセットの実行を開始し、チャンバ管理サブルーチンは、シーケンササブルーチン１２０によって送られたプロセスセットに従って、チャンバ１３及びおそらく他のチャンバ（図示せず）における複数の処理タスクを制御する。

【００３９】

チャンバコンポーネントサブルーチンの例として、基板配置サブルーチン３４０、プロセスガス制御サブルーチン１５０、圧力制御サブルーチン１６０、及びプラズマ制御サブルーチン１７０がある。当業者は、チャンバ１３内で実行するためにどのプロセスが選択されるかによって、他のチャンバ制御サブルーチンを含めることができることを認識されるであろう。動作中、チャンバ管理者サブルーチン１３０Ａは、実行される特定のプロセスセットに従って、プロセスコンポーネントサブルーチンを選択的にスケジュールし、又は呼び出す。チャンバ管理サブルーチン１３０Ａは、シーケンササブルーチン１２０がプロセスチャンバ及び実行されるプロセスセットをスケジュールするのと同じ要領で、プロセスコンポーネントサブルーチンをスケジュールする。一般的に、チャンバ管理サブルーチ

ン１３０Ａは、様々なチャンバコンポーネントを監視するステップと、実行すべきプロセスセットのプロセスパラメータに基づいて、どのコンポーネントを作動させる必要があるかを決定するステップと、監視及び決定ステップに応答して、チャンバコンポーネントサブルーチンの実行を引き起こすステップを有する。

【００４０】

特定のチャンバコンポーネントサブルーチンの作動について今から、図２Ａ及び図２Ｄを参照しながら説明する。基板配置サブルーチン１４０は、基板を基板支持部材１８にロードするために使用されるチャンバコンポーネントを制御するためのプログラムコードを有する。基板配置サブルーチン１４０はまた、他の処理が完了した後で、例えばマルチチャンバシステム内のプラズマ励起ＣＶＤ（「ＰＥＣＶＤ」）反応器やその他の反応器からチャンバ１３への基板の移送をも制御する。

【００４１】

プロセスガス制御サブルーチン１５０は、プロセスガスの組成及び流量を制御するためのプログラムコードを持つ。サブルーチン１５０は、安全遮断弁の開閉位置を制御し、また所望のガス流量を得るために質量流量調節器をも上下動させる。プロセスガス制御サブルーチン１５０を含めて、全てのチャンバコンポーネントサブルーチンは、チャンバ管理サブルーチン１３０Ａによって呼び出される。サブルーチン１５０はチャンバ管理サブルーチン１３０Ａから所望のガス流量に関連するプロセスパラメータを受け取る。

【００４２】

一般的に、プロセスガス制御サブルーチン１５０はガス供給管路を開き、反復的に（ｉ）必要な質量流量調節器を読み取り、（ii）読取値をチャンバ管理サブルーチン１３０Ａから受け取った所望の流量と比較し、（iii）ガス供給管路の流量を必要に応じて調整する。さらに、プロセスガス制御サブルーチン１５０は、ガス流量が危険な流量でないかを監視し、かつ危険な状態が検出されたときに安全遮断弁を起動するためのステップを有することができる。

【００４３】

一部のプロセスでは、反応プロセスガスが導入される前に、チャンバ内の圧力を安定させるために、アルゴンなどの不活性ガスがチャンバ１３内に流入される。これらのプロセスの場合、プロセスガス制御サブルーチン１５０は、チャンバ内の圧力を安定させるために必要な時間の量だけ、不活性ガスをチャンバ１３内に流入させるステップを有するようにプログラミングされる。次いで、上述のステップを実行することができる。

【００４４】

さらに、プロセスガスを液体前駆物質、例えばテトラエチルオルトシラン（ＴＥＯＳ）から蒸発させる場合、プロセスガス制御サブルーチン１５０は、バブラ組立体内で液体前駆物質内にヘリウムなどの送出しガスをバブリングするか、あるいは液体噴射弁にヘリウムを導入するステップを有することができる。この型のプロセスでは、プロセスガス制御サブルーチン１５０は送出しガスの流れ、バブラ内圧力、及びバブラ温度を制御して所望のプロセスガス流量を得る。上述の通り、所望のプロセスガス流量は、プロセスパラメータとしてプロセスガス制御サブルーチン１５０に転送される。

【００４５】

さらに、プロセスガス制御サブルーチン１５０は、任意のプロセスガス流量に必要な値を有する格納されたテーブルにアクセスすることによって、所望のプロセスガス流量のために必要な送出しガス流量、バブラ圧力、及びバブラ温度を得るためのステップを有する。ひとたび必要な値が得られると、送出しガス流量、バブラ圧力、及びバブラ温度は監視され、必要な値と比較され、それに従って調整される。

【００４６】

プロセスガス制御サブルーチン１５０はまた、独立ヘリウム制御（ＩＨＣ）サブルーチン（図示せず）により、ウェハチャックの内部及び外部通路内のヘリウム（Ｈｅ）などの伝熱ガスの流れをも制御することができる。このガス流は、基板をチャックに熱的に連結する。一般的なプロセスでは、ウェハはプラズマ及び層を形成する化学反応によって加熱さ

れ、Ｈｅはチャックを通して基板を冷却する。チャックは水冷することができる。これにより、基板は、基板に予め存在する特徴をダメージする温度より低く維持される。

【００４７】

圧力制御サブルーチン１６０は、チャンバの排気部分にある絞り弁２６の開口の大きさを調整することによって、チャンバ１３内の圧力を制御するためのプログラムコードを有する。絞り弁のあるチャンバを制御する方法は基本的に少なくとも２つある。第１の方法は、チャンバの圧力を中でも特に全プロセスガス流量、プロセスチャンバの大きさ、及びポンピング容量に関連するように特徴付けることを頼みにする。第１の方法は、絞り弁２６を固定位置に設定する。絞り弁２６を固定位置に設定する結果として、最終的に定常圧力が得られる。

【００４８】

代替的に、チャンバ圧力を例えばマノメータにより測定することができ、制御点がガス流量及び排気能力によって設定される境界内にあることを想定して、絞り弁２６の位置を圧力制御サブルーチン３６０に従って調整することができる。前者の方法は、後者に関連する測定、比較、及び計算が呼び出されないので、結果的により迅速にチャンバ圧力を変化させることができる。前者の方法は、チャンバ圧力の精密な制御が要求されない場合に望ましく、他方、後者の方法は、層の堆積中のように正確、繰返し可能、かつ安定した圧力が望まれる場合に望ましい。

【００４９】

圧力制御サブルーチン１６０が呼び出されるときに、所望又は目標の圧力レベルがチャンバ管理サブルーチン１３０Ａからパラメータとして受け取られる。圧力制御サブルーチン１６０は、チャンバに接続された１つ又はそれ以上の従来の圧力マノメータを読み取ることによってチャンバ１３内の圧力を測定し、測定値を目標圧力と比較し、目標圧力に対応する格納された圧力テーブルから比例、積分、及び微分（ＰＩＤ）値を得て、圧力テーブルから得られたＰＩＤ値に従って絞り弁２６を調整する。代替的に、圧力制御サブルーチン１６０は特定の開口の大きさに絞り弁２６を開閉して、チャンバ１３内の圧力を所望の圧力又は圧力範囲に調整することができる。

【００５０】

プラズマ制御サブルーチン１７０は、ＲＦ発生器３２Ａ及び３２Ｂの周波数及び電力出力設定を制御するため、及び整合ネットワーク３２Ａ及び３２Ｂを同調させるためのプログラムコードを有する。プラズマ制御サブルーチン３７０は、前述したチャンバコンポーネントサブルーチンと同様に、チャンバ管理サブルーチン３３０Ａによって呼び出される。

【００５１】

上述のサブシステム及びルーチンの一部又は全部を組み込むことのできるシステムの一例として、カリフォルニア州サンタクララのアプライド・マテリアルズ社によって製造され、本発明を実践するように構成されたＵＬＴＩＭＡシステムがある。このタイプのシステムの詳細は、１９９６年７月１５日出願、 発明者がFred .C. Redeker, Farhad Moghadam, Hirogi Hanawa,Tetsuya Ishikawa, Dan Maydan, Shijian Li, Brian Lue, Robert Steger, Yaxin Wang, Manus Wong,andAshokSinha、標題"Symmetric Tunable Inductively-CoupledHDP-CVD Reactor" の米国特許出願第０８／６７９，９２７号に開示されており、その開示を参照によってここに組み込む。上述のシステムは、例示の目的で挙げたものである。適切な従来の基板処理システム及びコンピュータ制御システムを選択して本発明を実現することは、当業者にとって日常的な作業手順技術の問題である。

【００５２】

図２Ｅは、本発明に従って処理システム用の種々の異なる構成をいかに使用することができるかを概略的に示す。図の左側の欄はシステムの側面図を示し、右側の欄は平面図を示す。図２Ａに詳細に示すシステムの構造は、図２Ｅの（１）部に対応する。チャンバ１３は基板受容部分１９を有し、ガス源は、側部ガス源として作用するように構成されたソースガスノズル３９及び上部ガス源として作用するように構成されたトップノズル４５があるように構成される。ここで使用する場合、「上部ガス源」とは、基板受容部分より上に

ガスの供給を提供するように構成されたガス源を指し、「側部ガス源」とは、基板受容部分の周囲にガスの供給を提供するように構成されたガス源を指す。

【００５３】

したがって、代替構成を図２Ｅの（２）部に示す。ここでは、コンポーネントはシングルアクセント符号付きで表わされる。この構成では、チャンバ１３’内のソースガスノズル３９’は、基板受容部分１９’の周囲にガス供給を提供するように構成されているので、側部ガス源として作用する。同様に、ノズル４５’は、基板受容部分１９’の上にガスの供給を提供するので、上部ガス源として作用する。ガス供給がチャンバの頂部から直接入るように上部ガス源を構成しなければならないという要件は無い。

【００５４】

別の代替構成を図２Ｅの（３）部に示す。ここでは、コンポーネントはダブルアクセント符号付きで表わされる。この場合、側部ガス源は、ガスの供給を基板受容部分１９”の周囲に提供するために、チャンバ内のより短くかつより低いノズル３９”として提供される。上部ガス源は、基板受容部分１９”より上にガスの供給を提供するために、チャンバ内のより長くかつより高い平行ノズル４５”として提供される。この構成では、上部及び側部ガス源の間に中間ノズルも提供され、基板受容部分１９”の周囲の上及びその方向の相対ガス流量に影響するように使用することができる。

【００５５】

当業者は、ここで示した特定の設計以外に、上部及び側部ガス源を提供するための多くの他の代替構成を思い付くであろう。本発明は、この代替構成と共に容易に使用することができる。

【００５６】

III.例示的な構造

図３は、本発明の使用に従って作製することのできる集積回路５００の簡易断面図を示す。図示する通り、集積回路５００はＮＭＯＳ及びＰＭＯＳトランジスタ５０３及び５０６を有し、これらは、シリコンの局所的酸化（「ＬＯＣＯＳ」）又は他の技術によって形成されるフィールド酸化物領域５２０によって、相互に分離され、電気的に絶縁される。代替的に、トランジスタ５０３及び５０６は、トランジスタ５０３及び５０６が両方ともＮＭＯＳであるか、両方ともＰＭＯＳである場合、溝トレンチ分離（図示せず）によって相互に分離され、電気的に絶縁されることがある。各トランジスタ５０３及び５０６はソース領域５１２、ドレイン領域５１５、及びゲート領域５１８を有する。

【００５７】

プリメタル誘電体（ＰＭＤ）層５２１はトランジスタ５０３及び５０６を金属層５４０から分離し、金属層５４０とトランジスタとの間の接続をコンタクト５２４によって行なう。金属層５４０は、集積回路５００に含まれる４つの金属層５４０、５４２、５４４、及び５４６のうちの１つである。各金属層５４０、５４２、５４４、及び５４６は、それぞれの中間誘電体（ＩＭＤ）層５２７、５２８、又は５２９によって隣接する金属層から分離される。ＩＭＤ層５２７、５２８、又は５２９のいずれか又は全部を、本発明の実施形態に従って堆積することができる。隣接する金属層は選択された開口でビア５２６によって接続される。金属層５４６の上には、平坦化パッシベーション層５３０が堆積される。

【００５８】

簡素化した集積回路５００は、解説目的のためだけのものであることを理解されたい。当業者は、マイクロプロセッサ、アプリケーション特定的集積回路（ＡＳＩＣ）、メモリデバイス等、他の集積回路の製作に関連して、本発明の使用を実現することができるであろう。さらに、本発明は、ＰＭＯＳ、ＮＭＯＳ、ＣＭＯＳ、バイポーラ、又はＢｉＣＭＯＳデバイスに適用することができる。

【００５９】

【実施例】

IV.実験結果

中心部先行堆積をエッジ先行堆積と比較するように設計されたレシピを使用して、プラズ

マ電荷ダメージの発生を、ドープしていないケイ酸塩ガラス（ＵＳＧ）のＨＤＰ－ＣＶＤ堆積の場合で比較した。したがって、レシピは、SiH_4及びO_2を前駆物質ガスとして、圧力を安定させるためのＡｒと一緒に堆積チャンバに提供することを有する。当業者には理解されるように、テトラエチルオルトシラン（ＴＥＯＳ）又はSiF_4等、他の前駆物質ガスをシリコン源として使用することができる。さらに、中心部先行堆積法は、フッ素化ケイ酸塩ガラス（ＦＳＧ）を有する他の酸化物を堆積する場合、前駆物質ガスの適切な選択によって、プラズマ電荷ダメージを低減するために使用することができる。

【００６０】

ｉ．実験の準備

プラズマの診断研究には、ラングミュアプローブが一般的に使用される。ラングミュアプローブの設置の略図を図４に示す。ラングミュアプローブ３０２は、接地されたアルミニウムチューブ３０８によって被覆されたセラミック外装３０６内のタングステンワイヤ３０４から成る。プローブ３０２は、測定値を収集するためにプロセスチャンバ１３内に挿入され、測定値は遮蔽ケーブル３１２を通してプロッタ３１０に伝送される。プラズマプローブ３０２の先端に酸化物が蓄積すると時間依存容量性分圧器の形成を招き、プローブ信号の強度が低下するので、ＨＤＰ－ＣＶＤチャンバによって提供される堆積環境でラングミュアプローブ３０２を使用するには、特定の適応が必要である。したがってプローブ信号がプラズマ電位及びプローブ先端に堆積された酸化物の量の両方の関数であるという事実に対処するために、各堆積後に、こうして集められるイオン電流が時間と共に飽和するまで、アルゴンプラズマ内で先端に負バイアスを印加することによってワイヤをクリーニングした。次いで、プローブ３０２を適切な位置（例えばウェハの中心部又はエッジ）に移動させることによって測定を行ない、一貫してきれいなプローブで測定が行なわれるようにこの手順を繰り返した。

【００６１】

ｉｉ．エッジ先行プロセスレシピと中心部先行プロセスレシピ

使用したプロセスレシピ２つを、表１（エッジ先行レシピ）及び表２（中心部先行レシピ）に纏めた。各レシピには８つのステップが示されている。特定の表要素に２つの数字が挙げられている場合、最初の数字は側部源（つまり側部コイル又は側部ガス源）からの値を表わし、＋符号の後に続く値は上部源（つまり上部コイル又は上部ガス源）からの値を表わす。最初の列は、ステップの条件が有効である時間の長さを示す。２列目は絞り弁２６の位置を指定する。「ＴＣＬ」は絞り弁２６が閉じていることを意味し、「ＴＶ１００」は絞り弁２６が１００ステップに配置されることによって部分的に開いていることを意味し（約１２％開いていることに対応する）、「ＴＦＯ」は、絞り弁２６が完全に開いていることを意味する。第３列及び第４列はそれぞれ、ソース及びバイアスＲＦ電力をｋＷ単位で指定する。これらの例示的レシピのどちらでも、バイアス電力は印加されない。残りの列は、プロセスチャンバ１３へのガスの流量をｓｃｃｍ単位で指定する。アルゴンが最初にプロセスチャンバ１３に導入され、その後に酸素分子が続き、最後にシランが続く。エッジ先行及び中心部先行レシピは、中心部先行レシピではステップ７で酸素及びシランの流量が上部からだけ導入され側部からは導入されない点を除いて同じである。

【００６２】

【表１】

ステップ	1	2	3	4	5	6	7	8
時間(s)	2	15	2	1	1	20	2	6
圧力	TCL	TCL	TCL	TV100	TFO	TFO	TFO	TFO
SRF (kW)	0	0	1.0	1.0+2.0	1.0+2.0	1.3+2.8	1.3+3.1	1.3+3.1
BRF (kW)	0	0	0	0	0	0	0	0
F(Ar) (sccm)	16+180	16+180	16+180	16+110	16+110	16+110	16+110	16+110
F(O_2) (sccm)	0	0	0	0	0+30	16+110	16+110	16+110
F(SiH_4)	0	0	0	0	0	0	3+30	9+53

【表２】

ステップ	1	2	3	4	5	6	7	8
時間(s)	2	15	2	1	1	20	2	6
圧力	TCL	TCL	TCL	TV100	TFO	TFO	TFO	TFO
SRF (kW)	0	0	1.0	1.0+2.0	1.0+2.0	1.3+2.8	1.3+3.1	1.3+3.1
BRF (kW)	0	0	0	0	0	0	0	0
F(Ar) (sccm)	16+180	16+180	16+180	16+110	16+110	16+110	16+110	16+110
F(O_2) (sccm)	0	0	0	0	0+30	16+110	0+45	16+110
F(SiH_4)	0	0	0	0	0	0	0+25	9+53

【００６３】
「エッジ先行」及び「中心部先行」としてのこれらの２つのレシピの特徴は、それぞれ図５Ａ及び図５Ｂに示すように、プラズマプローブトレースによって確認される。各レシピに対し、ウェハの中心部ではエッジよりプラズマ電位が高いことを指図するチャンバ対称の考慮事項と矛盾せず、ウェハのエッジの信号（破線）は中心信号（実線）より低い。トレースは、加熱開始及びその後の２４秒時点でのシランの導入を明瞭に示す。約２８秒後のトレースの安定した単調な減衰は、プローブの酸化物の被覆によるものである。プラズマの変動の正確な計量は、この減衰の前に、特に酸化物がプローブに蓄積するのに充分な時間が無かったシラン導入後の１秒間に見ることができる。

【００６４】
図５Ａは、ウェハ中心部のプラズマの応答が、ウェハエッジのプラズマのそれより約０．４秒遅れることを示す。この挙動は図５Ｂでは逆転し、シランのチャンバへの導入が最初に中心のトレースに影響し、エッジのトレースは約０．６秒遅れている。したがって、異なるプロセスレシピを使用して、特性的に異なる「エッジ先行」及び「中心部先行」堆積プロセスを生み出すことができる。エッジ先行堆積中には、シランの到着によって生じる擾乱が、ウェハのエッジから内側に向かって進むが、中心部先行レシピを使用するときは、ウェハの中心部から外側に向かって進む。

【００６５】
iii.エッジ先行堆積と中心部先行堆積のデバイスダメージ効果

異なる型の堆積のデバイスダメージ特性に対する効果は、図６を参照して理解することができる。前世代の集積回路生産技術ではデバイスダメージの結果克服しがたい問題に苦しめられることはなかったものの、本発明により更に、デバイスのダメージ率を低減することによって全体的なデバイスの歩留まりを改善することができる。図６Ａに、エッジ先行堆積の略図を示す。示した特定の時間には、材料は外側領域６０２に堆積され、内側領域６０６には堆積されていない。環状領域６０４は、堆積プロセスの最先端を表わしており、そこでは厚さのかなりの変動が予想される。図６Ｂは、中心部先行堆積の場合の特定の時間における同様の状況を示す。この場合、内側領域６１６が材料で被覆され、外側領域６１２は被覆されておらず、中間環状領域６１４は堆積の最先端で大きい厚さの変動を示すことが予想される。

【００６６】

注目すべきことは、中間環状領域６０４の面積が、エッジ先行堆積中には時間の減少関数であるが、中心部先行堆積中には、中間環状領域６１４の面積が時間の増加関数である、ということである。その結果、円形ウェハ上のデバイスの各ゲート構造を通る電流が、エッジ先行堆積の場合は時間の関数として増加する傾向があるが、中心部先行堆積の場合は減少する傾向がある。したがって、中心部先行堆積のプロセスは、堆積勾配から生じる破壊的に大きい電流からデバイスを保護する。図６Ｃに例示するように、側部供給源６２２及び６２４が使用されるときには、ウェハのおおまかに楕円形の領域６２６でデバイスのダメージが発生する。実務的に完全に均等な堆積を達成することが不可能なので、中心部先行堆積を使用すると、シラン導入ステップから生じる擾乱をウェハのエッジ付近のより大きい領域全体に消散させるように作用する。

【００６７】

この単純な概略的説明は、表１及び表２に詳述した例示的エッジ先行及び中心部先行レシピを用いた実際の測定によって確認される。膜の厚さのマップを、中心部先行及びエッジ先行レシピについてそれぞれ図７Ａ及び図７Ｂに再現する。これらのグラフは、初期酸化物堆積がシラン導入ステップのガス流量の関数であることを示す。上部シラン及び酸素源をレシピの一部分に独占的に使用した場合、堆積パターンは中心部が厚くなり、図７Ａに中心部からエッジの約４５０Åの厚さ範囲を示す。頂部及び側部両方のシラン源を使用した場合、厚さ変動はより小さく、図７Ｂでは約１００Åである。この厚さ変動に言及するときに、それらは約１μｍのベース厚さに対する厚さ変動を表わすことは理解されたい。

【００６８】

バルク膜プラズマダメージ監視（「ＰＤＭ」）の結果を、図８Ａ及び図８Ｂに示す。ＰＤＭはトポグラフィ依存ダメージメカニズムを測定しないブランケット膜ダメージ試験法であるが、それは高い界面電荷を生じる高い表面電荷電圧に関する情報を提供する。２つのレシピについて、シラン導入ステップ中に、上部及び側部ＲＦ電力を１．３ｋＷにして、表面電圧V_{PDM}を測定した。図８Ａで明らかな通り、中心部先行レシピを使用したとき、V_{PMD}の範囲は約０．４１Ｖである。エッジ先行レシピを使用したときは、図８Ｂから分かるように、範囲は２倍以上大きく、約０．９１Ｖである。したがって、中心部先行レシピは表面電圧勾配の低下をもたらす。エッジ先行レシピによって生じる高い表面電荷電圧は、中心部先行レシピを使用したときより、ウェハの中心付近におけるトラップ電荷が多いことを示す。

【００６９】

堆積の時間依存面を、エッジ先行及び中心部先行レシピについてそれぞれ図９Ａ及び図９Ｂに示す。Ｏｃｅａｎ Ｏｐｔｉｃｓ １０００分光計により光学測定を行い、シラン、酸素、及びアルゴン濃度の時間依存性を決定した。水素管路の強度をシランの存在の標識として使用して、水素（２８８ｎｍ）、酸素（７７６ｎｍ）、及びアルゴン（６０３ｎｍ）の３つの放出管路の強度を時間の関数として決定した。図９Ａ及び図９Ｂにおいて、時間ｔ～０におけるプラズマストライク、O_2の導入、及びシランの導入は全て容易に認められる。水素のトレースは、水素の放出がその最終値の５０％に達するまでにかかる時間の比較を可能にし、それはシランの拡散及び細分化（及びその結果発生し、放出を分光計に

よって検出できる水素原子のリリース）のタイムスケールを推定する。エッジ先行堆積レシピの場合、この時間は約１秒である。中心部先行堆積レシピの場合、水素トレースは第２シランステップで側部水素源が始動するときまで増大しないが、約半分の時間で最終値の５０％に達する。したがって、中心部先行レシピを使用するときに、シランはより高速に細分化し、拡散する。

【００７０】

ウェハのエッジ及び中心部で測定されたプラズマプローブ信号を、エッジ先行及び中心部先行レシピについてそれぞれ図１０Ａ及び図１０Ｂに示す。簡単に比較するために、信号はそれらのそれぞれの加熱ステップ時点のレベルに正規化されている。前に述べた通り、新しい供給ガスがチャンバ内に拡散するときの遷移期間後の信号レベルは、どれだけの酸化物がプローブ先端に蓄積したかの尺度である。酸化物層における電圧に対するプローブ電圧の依存性は、図１０Ｃに示すモデル回路図により理解することができる。堆積した酸化物における電圧は、酸化物のキャパシタンスCoxide 及びオシロスコープのキャパシタンスCscope で分割される。

【数１】

$$V_{out} = \frac{V_{oxide}}{C_{scope}}\left(\frac{1}{C_{oxide}} + \frac{1}{C_{scope}}\right)^{-1}$$

【００７１】

これはCoxide が減少すると、Vout が減少する結果につながる。［Coxide ＜Cscope の限度内で、Vout ～Voxide Coxide であることに注意されたい］。酸化物の電圧Voxide はそれ自体、外装のキャパシタンスを通してプラズマ電位Vplasma に関係する。したがって、堆積した酸化物の厚さが増加すると、容量性プローブの出力は増加する。

【００７２】

図１０Ａは、エッジ先行堆積レシピを使用した場合、ウェハエッジ及びウェハ中心部で酸化物が均等に形成することを示す。中心部でより早い信号の減衰を示す図１０Ｂとの比較により、中心部先行レシピの堆積が実際に中心部で早いことが確認される。これらの結果はさらに、中心部先行レシピがウェハの中心部で堆積の増加を生じることを示す図７Ａ及び図７Ｂのデータと矛盾しない。

【００７３】

したがって、中心部先行堆積を達成する１つの方法が、上部源に優先して１つのレシピステップで前駆物質ガスを供給することであることは明らかである。また、この中心部先行堆積は、それ以外は同様であるエッジ先行堆積レシピと比較したとき、プラズマ電荷ダメージのレベルを低減することも明らかである。反応設計は電流の方向性を制御するので、中心部先行プロセスはエッチングプロセスでも使用することができる。

【００７４】

以上の説明を読んだ後、当業者には中心部先行堆積を使用する他のレシピが思い付くであろう。本発明の精神から逸脱することなく、他の変形も明らかであろう。これらの均等物及び代替物を本発明の範囲内に含めるつもりである。したがって、本発明の範囲は、記述した実施形態に限定されず、請求の範囲の記載によって定義されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【図１Ａ】幾つかの金属線を持つデバイス構造の略断面図である。

【図１Ｂ】中性流束制限酸化物成長によって生成される金属線上の非共形堆積を示すデバイス構造の断面図である。

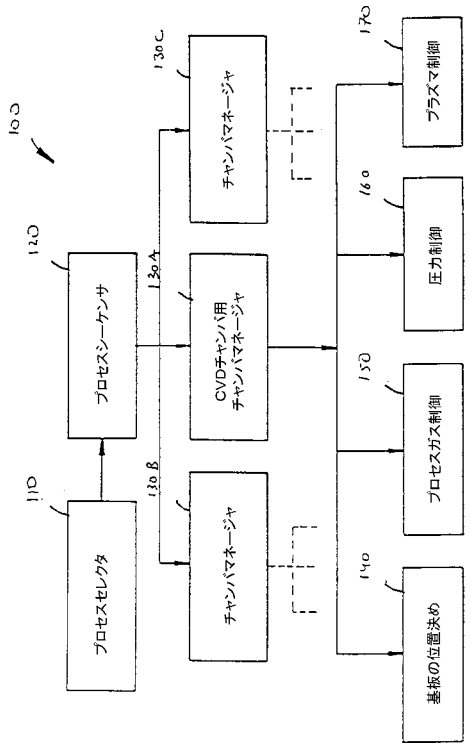
【図１Ｃ】反応速度制限酸化物成長によって生成される金属線上の共形堆積を示すデバイス構造の断面図である。

【図１Ｄ】非共形堆積によって誘発されるトンネル電流を示すデバイス構造の単一金属線の断面図である。

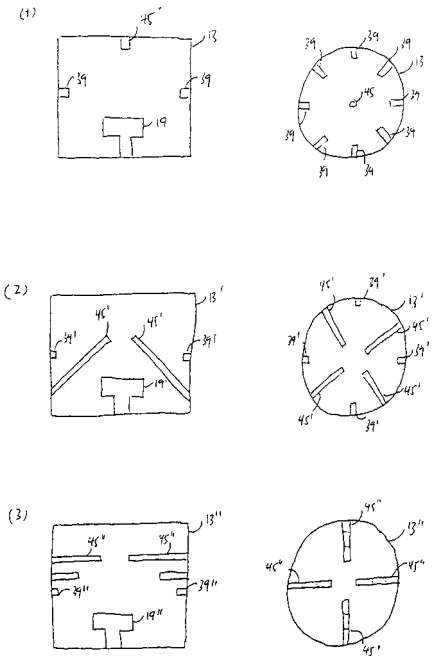
【図１Ｅ】共形堆積によって誘発されるトンネル電流を示すデバイス構造の単一金属線の

断面図である。
【図２Ａ】本発明による高密度プラズマ化学気相成長システムの一実施形態の簡易図である。
【図２Ｂ】図２Ａの例示的ＣＶＤプロセスチャンバと共に使用することができるガスリングの簡易断面図である。
【図２Ｃ】図２Ａの例示的ＣＶＤプロセスチャンバと共に使用することができるモニタ及びライトペンの簡易図である。
【図２Ｄ】図２Ａの例示的ＣＶＤプロセスチャンバを制御するために使用される例示的プロセス制御コンピュータプログラム製品の流れ図である。
【図２Ｅ】本発明の実施形態と共に使用できる様々なプロセスチャンバ構成の例の略図である。
【図３】本発明の方法に従って製造された半導体デバイスの簡易断面図である。
【図４】ＨＤＰチャンバ内のプラズマ特性を測定するように構成されたラングミュアプローブの略図である。
【図５Ａ】エッジ先行堆積を使用するＨＤＰレシピのプラズマプローブ信号結果のグラフ比較を示す。
【図５Ｂ】中心部先行堆積を使用するＨＤＰレシピのプラズマプローブ信号結果のグラフ比較を示す。
【図６Ａ】エッジ先行ウェハ堆積がどのように進行するかを示す略図である。
【図６Ｂ】中心部先行ウェハ堆積がどのように進行するかを示す略図である。
【図６Ｃ】エッジ先行ウェハ堆積を使用したときのデバイスのダメージ分布を示す。
【図７Ａ】中心部先行堆積により堆積された膜の厚さの等高線図である。
【図７Ｂ】エッジ先行堆積により堆積された膜の厚さの等高線図である。
【図８Ａ】中心部先行堆積の場合のバルク膜プラズマダメージ監視結果を示す。
【図８Ｂ】エッジ先行堆積の場合のバルク膜プラズマダメージ監視結果を示す。
【図９Ａ】酸素７７７ｎｍ（実線）、水素２８８ｎｍ（長い破線）、及びアルゴン６０３ｎｍ（短い破線）励起線についてエッジ先行堆積中に経時的に行なわれた光学分光測定の結果を示す。
【図９Ｂ】酸素７７７ｎｍ（実線）、水素２８８ｎｍ（長い破線）、及びアルゴン６０３ｎｍ（短い破線）励起線について中心部先行堆積中に経時的に行なわれた光学分光測定の結果を示す。
【図１０Ａ】エッジ先行堆積により堆積されているウェハのエッジ及び中心部で行なわれたプラズマプローブ測定の結果を示す。
【図１０Ｂ】中心部先行堆積により堆積されているウェハのエッジ及び中心部で行なわれたプラズマプローブ測定の結果を示す。
【図１０Ｃ】酸素堆積特性の概略的な電気モデルを示す。
【符号の説明】
１０…高密度プラズマ化学気相成長（ＨＤＰ－ＣＶＤ）システム、１３…プロセスチャンバ、１４…ドーム、１６…プラズマプロセス領域、１７…基板、１８…基板支持部材、２３…ヒータプレート、２４…コールドプレート、３３…ガス送出しシステム、５０…リモートプラズマクリーニングシステム、７０…真空システム、８０Ａ…ソースプラズマシステム、８０Ｂ…バイアスプラズマシステム。

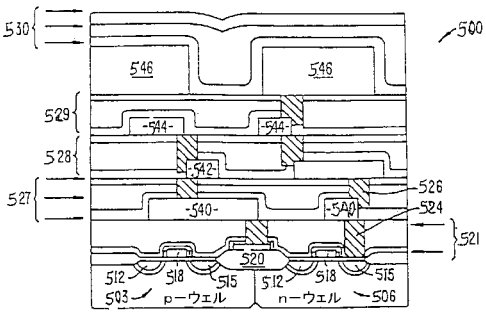
【図２Ｄ】


100
110
プロセスセレクタ
120
プロセスシーケンサ
130A
CVDチャンバ用
チャンバマネージャ
130B
チャンバマネージャ
130C
チャンバマネージャ
150
プロセスガス制御
160
圧力制御
170
プラズマ制御
140
基板の位置決め

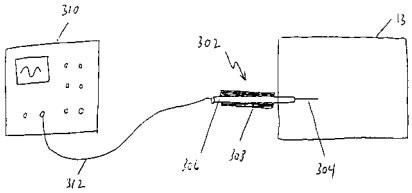
【図２Ｅ】


(1)
(2)
(3)

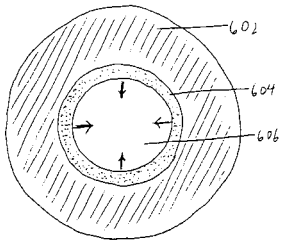
【図３】


500
530
546
529
544
528
542
527
540
526
524
521
520
512
518
515
503
pーウェル
nーウェル
506

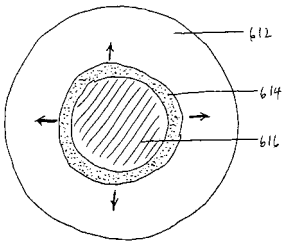
【図４】


310
302
13
312
306
308
304

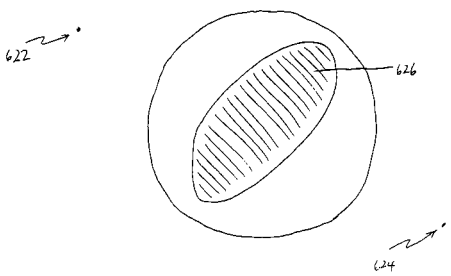
【図６Ａ】



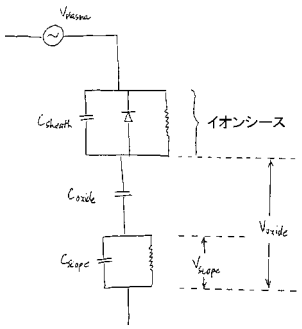
【図６Ｂ】



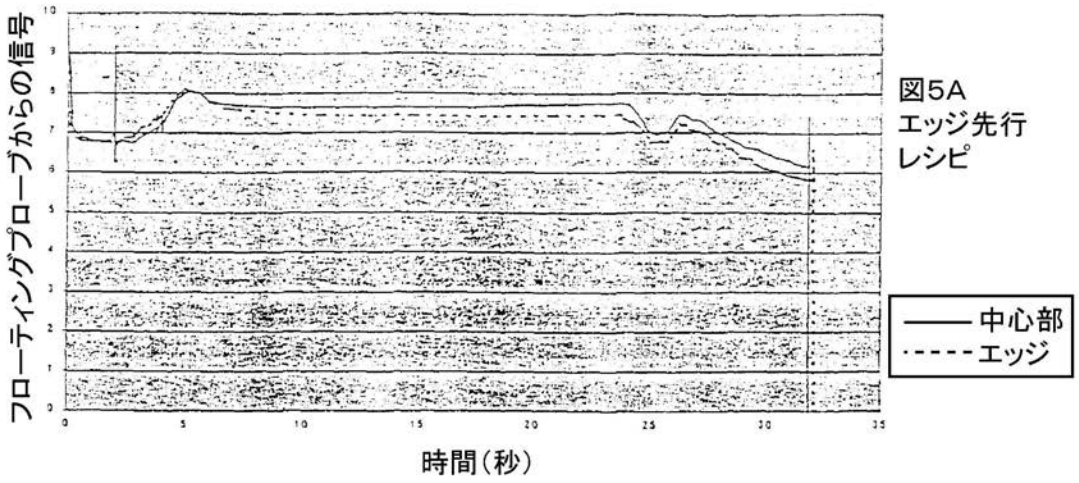
【図６Ｃ】



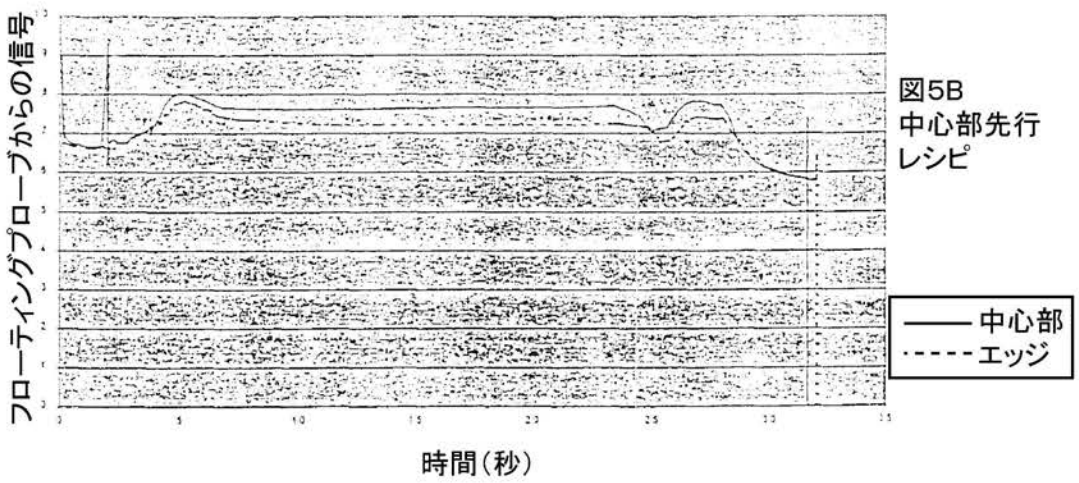
【図１０Ｃ】



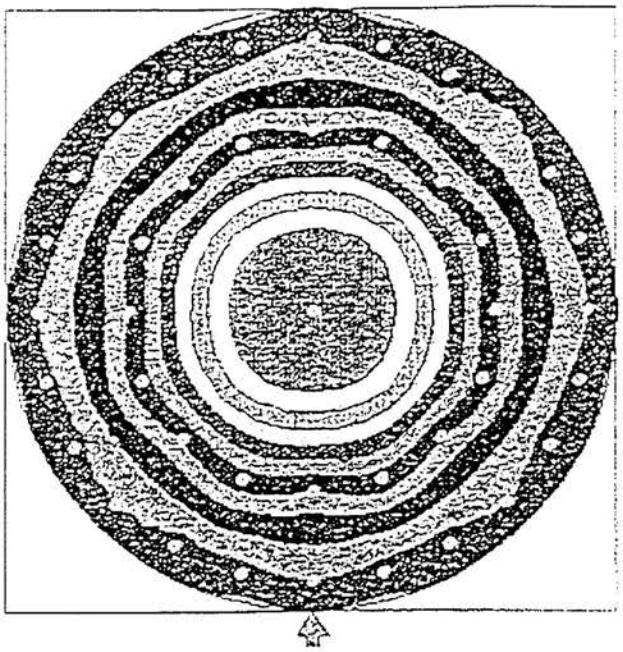
【図１Ａ】



【図１Ｂ】



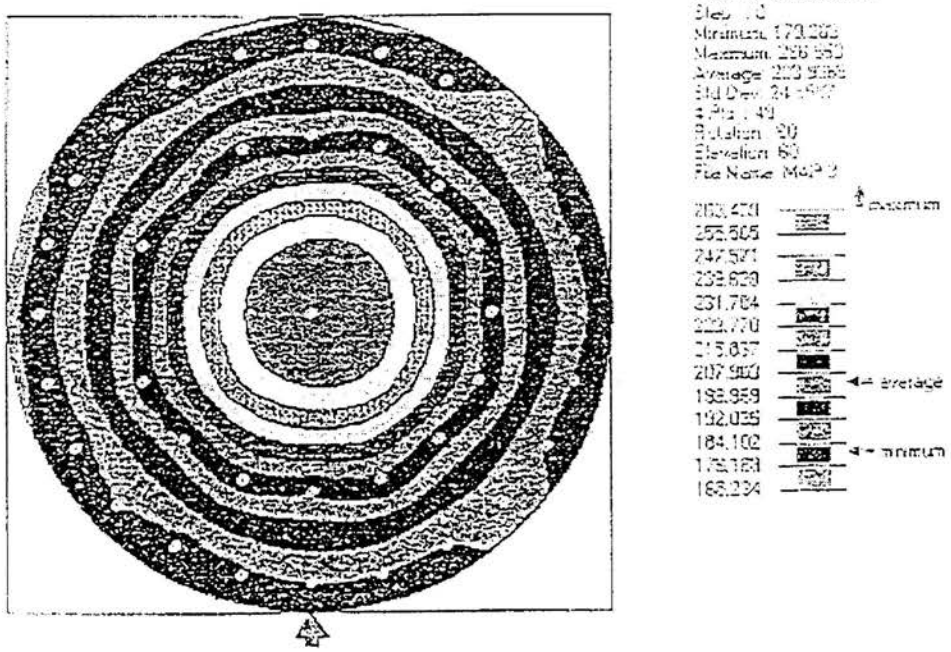
【図１Ｃ】



中心部先行堆積

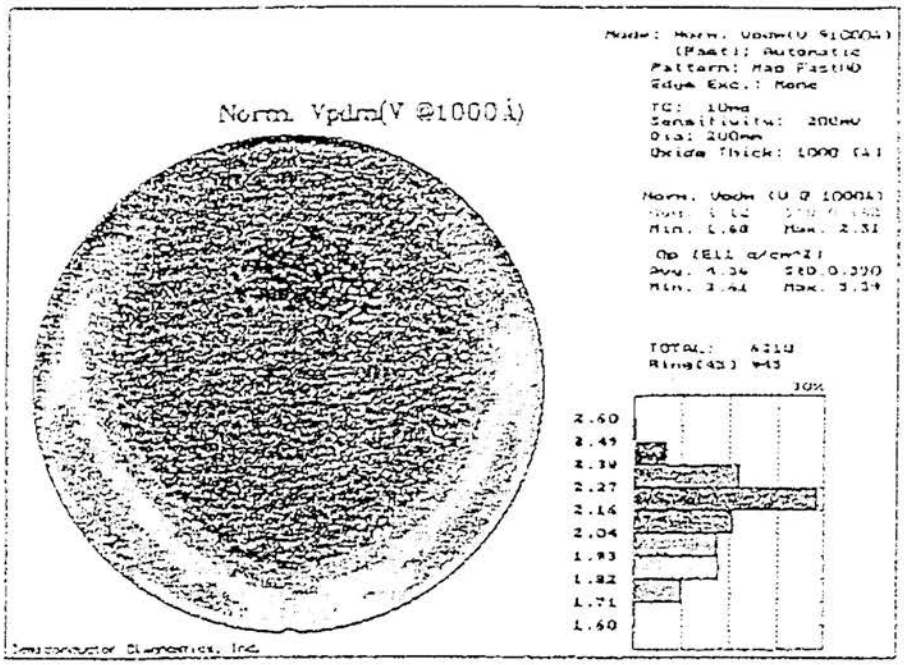


【図１Ｄ】



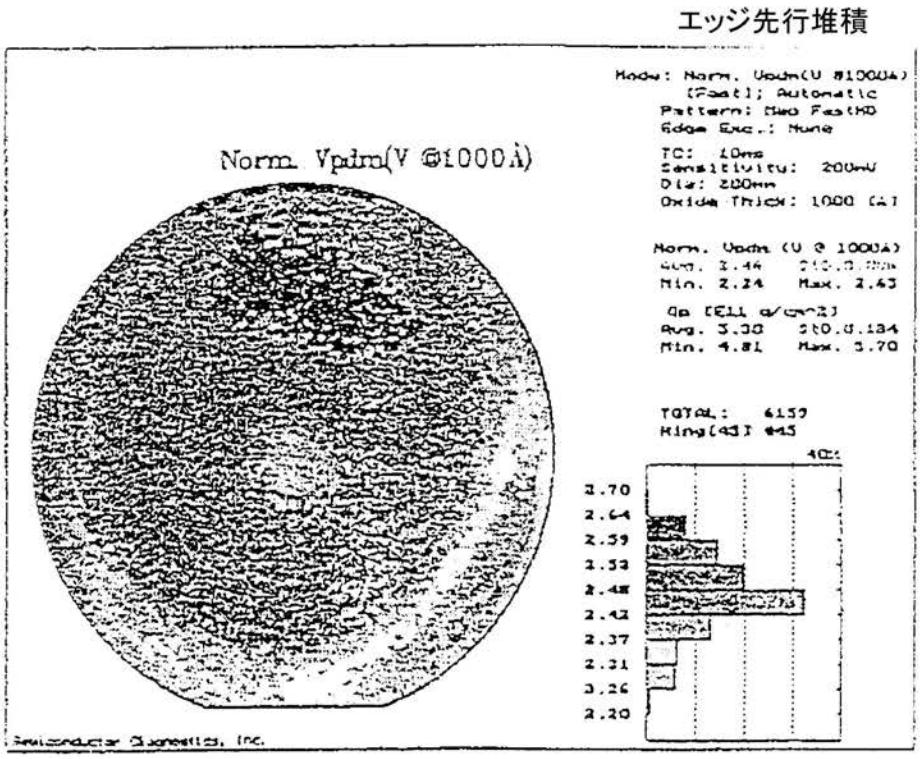
【図１Ｅ】

中心部先行堆積

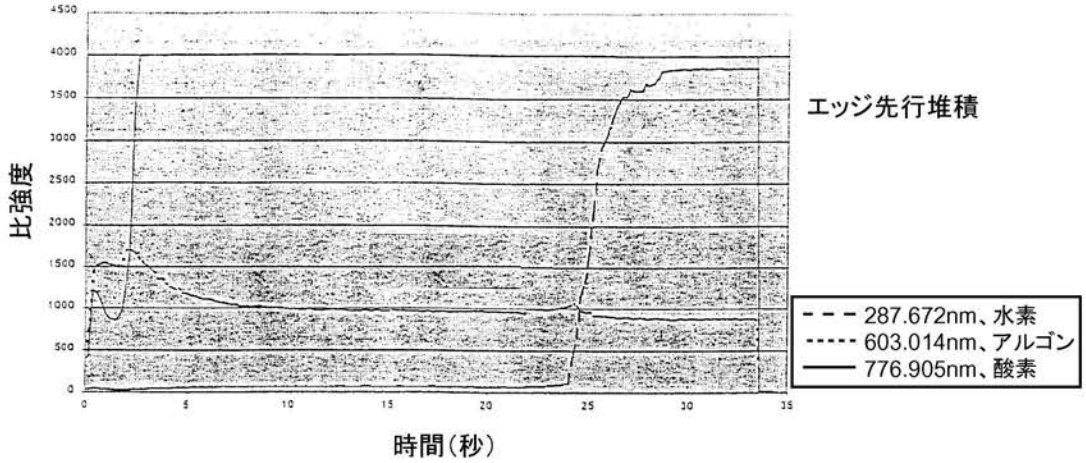

Norm. Vpdm(V @1000Å)
Mode: Norm. Vpdm(V @1000Å)
(Past): Automatic
Pattern: Map Past(N)
Edge Exc.: None
TC: 10mm
Sensitivity: 200mV
Dia: 200mm
Oxide Thick: 1000 (Å)
Norm. Vpdm (V @ 1000Å)
Min. 1.60 Max. 2.31
Op (E11 e/cm^2)
Avg. 4.34 Std.0.390
Min. 3.41 Max. 5.34
TOTAL: 4310
Ring(43) 943
30%
2.60
2.49
2.38
2.27
2.16
2.04
1.93
1.82
1.71
1.60

【図２Ａ】

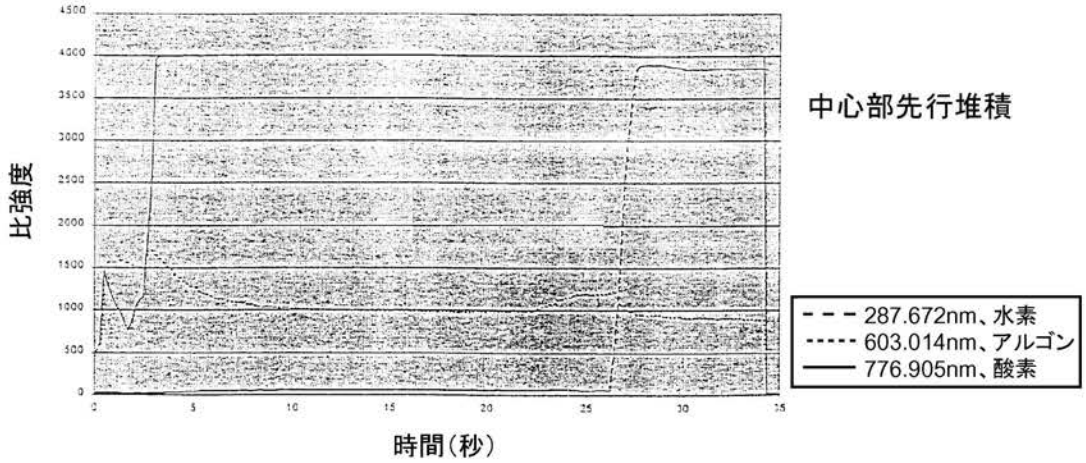
エッジ先行堆積


Norm. Vpdm(V @1000Å)
Mode: Norm. Vpdm(V @1000Å)
[Fast]; Automatic
Pattern: Map FastHD
Edge Exc.: None
TC: 10ms
Sensitivity: 200mV
Dia: 200mm
Oxide Thick: 1000 [Å]
Norm. Vpdm (V @ 1000Å)
Min. 2.24 Max. 2.63
Avg. 3.30 Min. 4.81 Max. 3.70
TOTAL: 6159
Ring[43] #45
2.70
2.64
2.59
2.53
2.48
2.42
2.37
2.31
2.26
2.20
Semiconductor Diagnostics, Inc.

【図２Ｂ】



【図２Ｃ】



【図５Ａ】

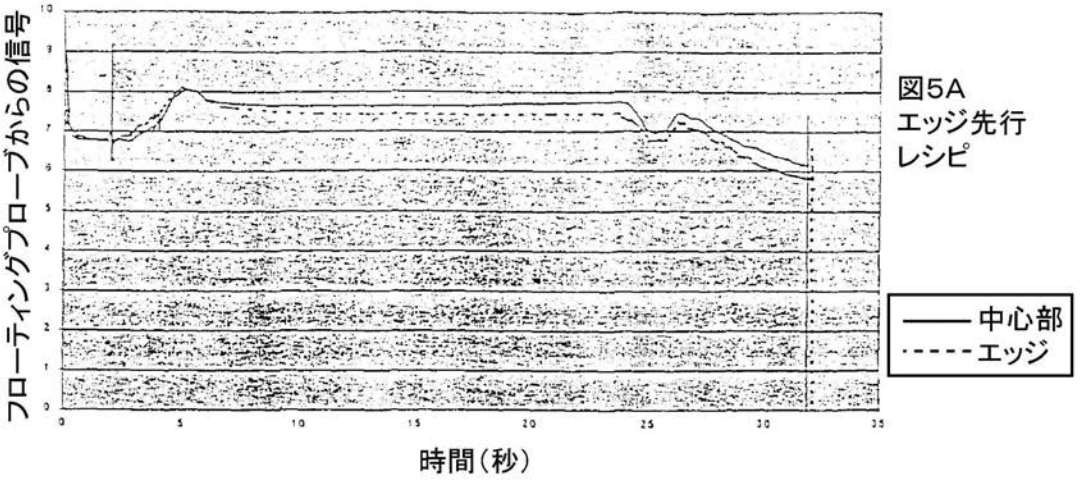


図5A
エッジ先行
レシピ

【図５Ｂ】

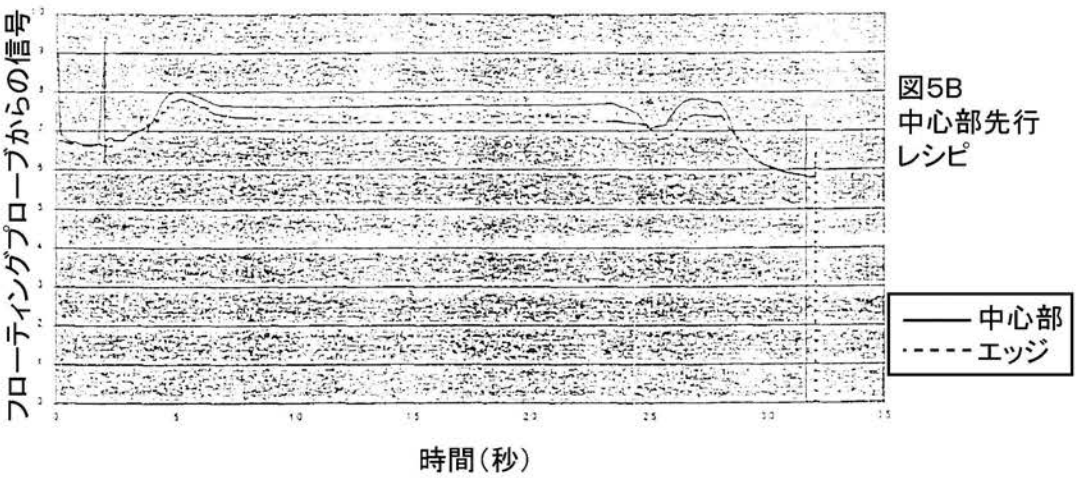
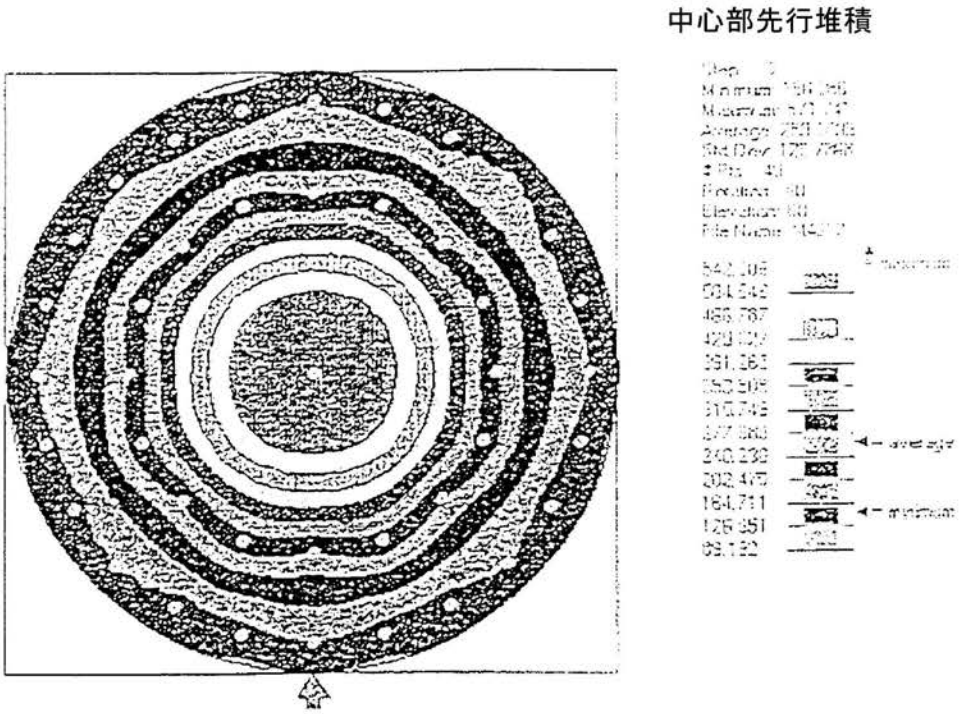
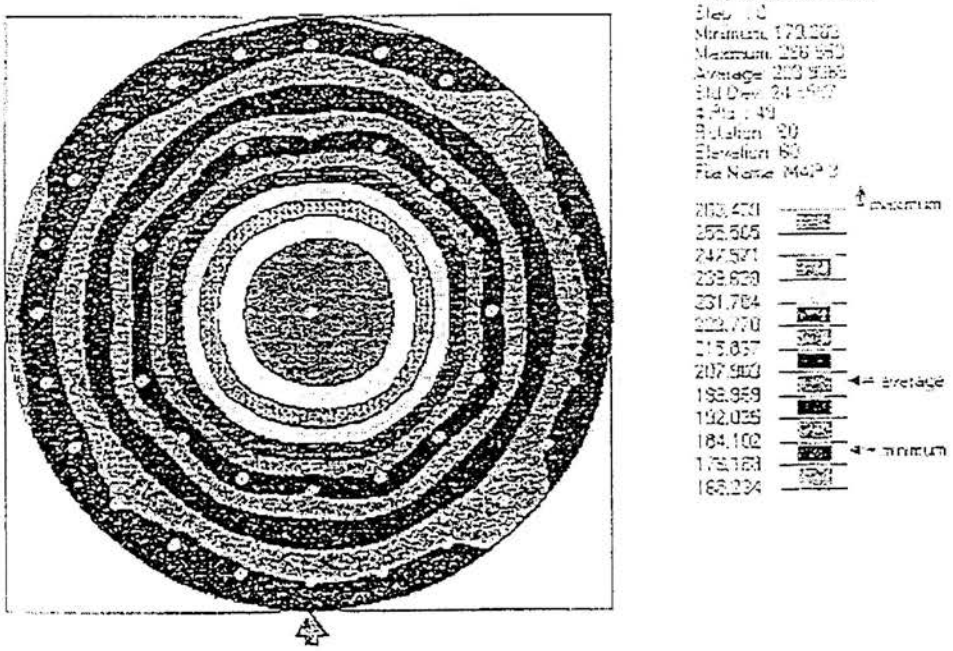


図5B
中心部先行
レシピ

【図７Ａ】

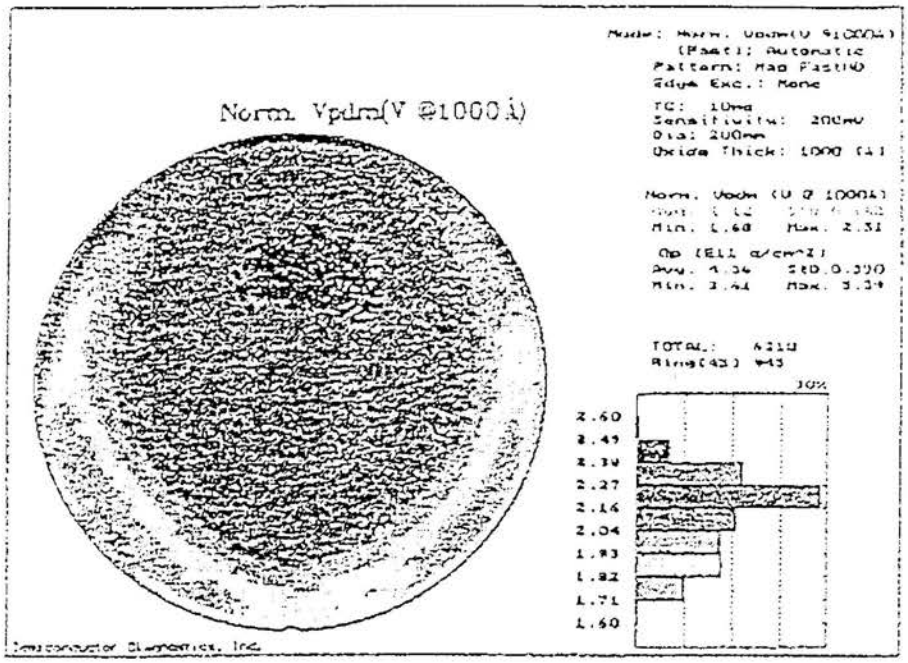


【図７Ｂ】

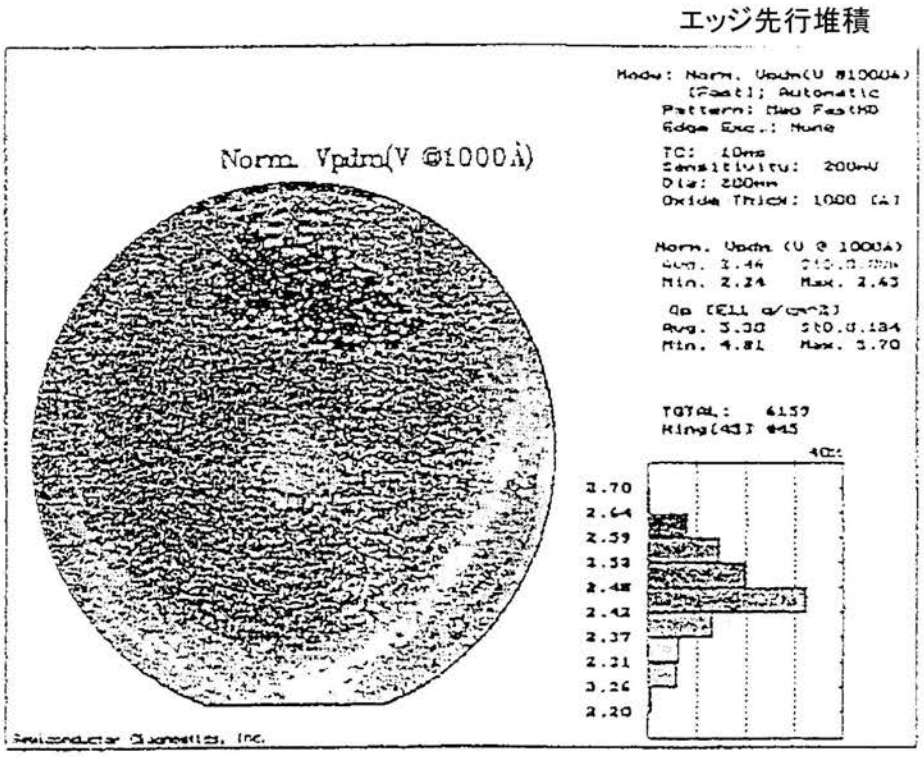


【図８Ａ】

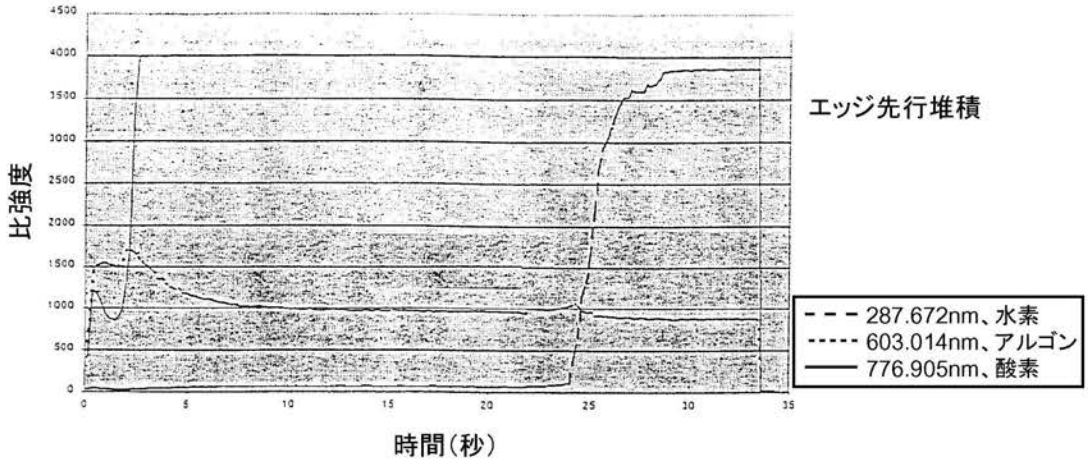
中心部先行堆積


Norm. Vpdm(V @1000Å)
Pattern: Map FastHD
Edge Exc.: None
TC: 10ms
Sensitivity: 200mV
Dia: 200mm
Oxide Thick: 1000 (Å)
Min. 1.68
Max. 2.31
TOTAL:
2.60
2.49
2.38
2.27
2.16
2.04
1.93
1.82
1.71
1.60

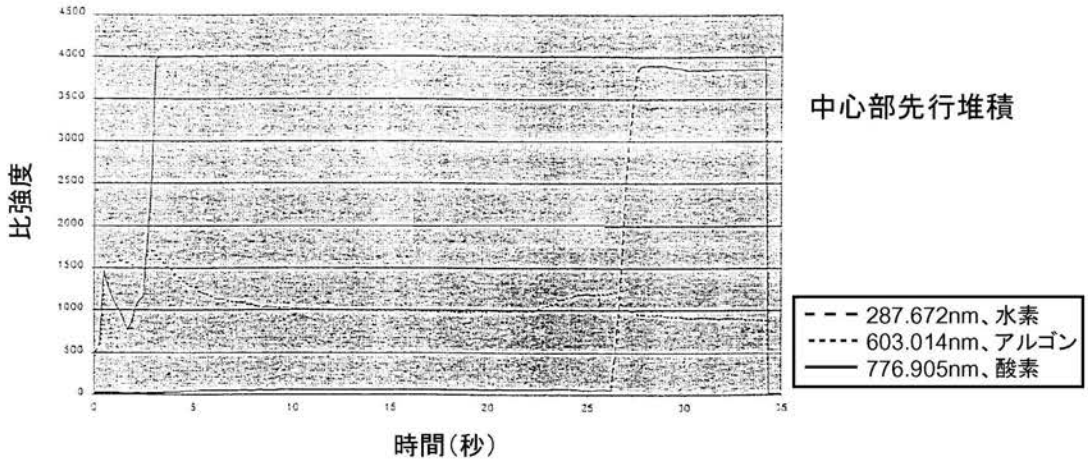
【図８Ｂ】


エッジ先行堆積
Norm. Vpdm(V @1000Å)
Mode: Norm. Vpdm(V @1000Å)
[Fast]; Automatic
Pattern: Geo Fast40
Edge Exc.: None
TC: 10ms
Sensitivity: 200mV
Dia: 200mm
Oxide Thick: 1000 [Å]
Norm. Vpdm (V @ 1000Å)
Min. 2.24 Max. 2.43
Qp [E11 e/cm^2]
Avg. 3.00 Std.d.134
Min. 4.81 Max. 3.70
TOTAL: 6159
Ring[43] 445
3.70
2.64
2.59
2.53
2.48
2.42
2.37
2.31
2.26
2.20

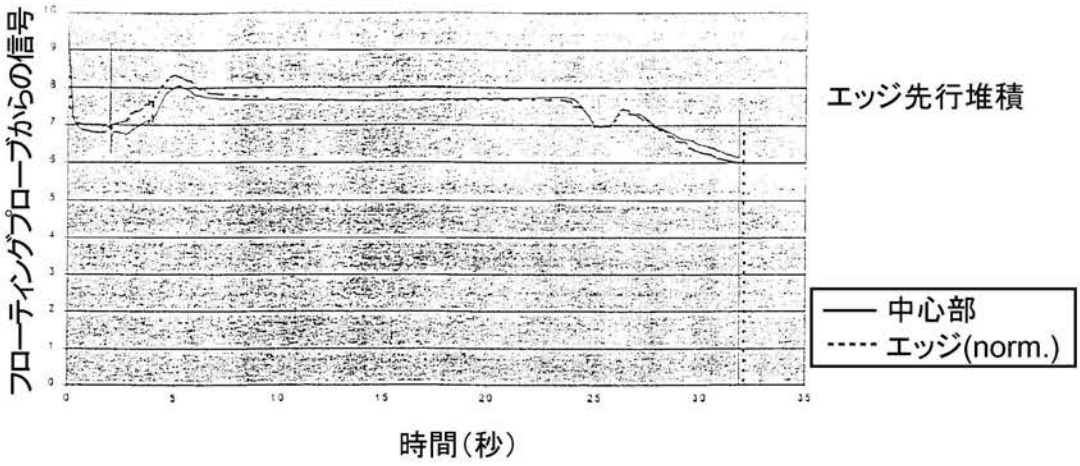
【図９Ａ】



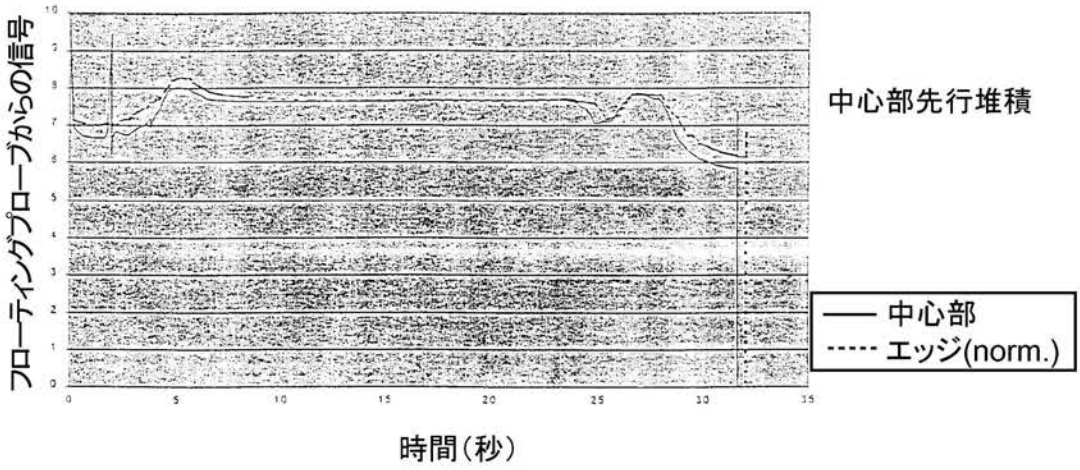
【図９Ｂ】


比強度
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
0
5
10
15
20
25
30
35
時間（秒）
中心部先行堆積
287.672nm、水素
603.014nm、アルゴン
776.905nm、酸素

【図１０Ａ】



【図１０Ｂ】



フロントページの続き

(74)代理人 100094318
弁理士 山田 行一
(74)代理人 100107456
弁理士 池田 成人
(72)発明者 テツヤ イシカワ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サンタ クララ, ブロッサム ドライヴ ８７３
(72)発明者 アレクサンドロス ティー. デモス
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ラモン, パイン リッジ ドライヴ ４０９
(72)発明者 スオンーミー チョ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サンタ クララ, サラトガ アヴェニュー １２１
アパートメント ナンバー ４１１６
(72)発明者 フェン ガオ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, マウンテン ヴュー, ビー グラッディーズ アヴェニュー １１０
(72)発明者 カヴェ エフ. ナイアズィ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サンタ クララ, オーク グローヴ ４４０ ナンバー３０８
(72)発明者 有賀 美知雄
日本国千葉県印旛郡富里町日吉１－２８－１５

合議体
審判長 藤原 敬士
審判官 川村 健一
審判官 加藤 浩一

(56)参考文献 特開２００１－３０８０８６（ＪＰ，Ａ）
特開平７－６６２９１（ＪＰ，Ａ）
特開平８－２０３６９４（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－３２１６１３（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－２９０８８５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)
H01L 21/31
C23C 16/52
H01L 21/3065