

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5063846号
(P5063846)

(45) 発行日 平成24年10月31日(2012.10.31)

(24) 登録日 平成24年8月17日(2012.8.17)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 21/02 (2006.01) H O 1 L 21/02 Z

請求項の数 20 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2001-550802 (P2001-550802)	(73) 特許権者	591016172
(86) (22) 出願日	平成12年12月4日 (2000.12.4)		アドバンスト・マイクロ・ディバイズ・
(65) 公表番号	特表2003-519922 (P2003-519922A)		インコーポレイテッド
(43) 公表日	平成15年6月24日 (2003.6.24)		ADVANCED MICRO DEVI
(86) 国際出願番号	PCT/US2000/032948		CES INCORPORATED
(87) 国際公開番号	W02001/050522		アメリカ合衆国、94088-3453
(87) 国際公開日	平成13年7月12日 (2001.7.12)		カリフォルニア州、サニibel、ピー・
審査請求日	平成19年11月16日 (2007.11.16)		オウ・ボックス・3453、ワン・エイ・
(31) 優先権主張番号	09/477,464		エム・ディ・プレイス、メイル・ストップ
(32) 優先日	平成12年1月4日 (2000.1.4)		・68 (番地なし)
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100064746
前置審査			弁理士 深見 久郎
		(74) 代理人	100085132
			弁理士 森田 俊雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超小型電子機器製造において最適な加工ターゲットを定めるための方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

製造方法であって、
 複数の加工ステップでワークピースを加工し、
 前記ワークピースが完全に加工された後に、前記複数の加工ステップで前記ワークピースに対して行なわれる加工に特有のパラメータを測定し、
 前記パラメータの測定、および、測定されたパラメータの各々に関連付けられたデータセットの少なくとも一部をパラメータ特徴モデリングプロセスに対する少なくとも1つの入力として使用することに応答して、当該パラメータ特徴モデリングプロセスを行ない、
 前記パラメータ特徴モデリングプロセスに基づいて出力信号を形成し、
 前記出力信号に基づいて、前記複数の加工ステップの少なくとも1つで行なわれる前記加工のためのターゲット値を設定することを含む、方法。

【請求項 2】

前記特有のパラメータの測定は、トランジスタのウェハ電気テスト(WET)パラメータ値の測定を含む、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

測定された前記特有のパラメータに対応する前記出力信号の形成は、測定されたWETパラメータ値をトランジスタモデルへの入力として用いることを含む、請求項2に記載の方法。

【請求項 4】

10

20

前記出力信号に基づく、前記加工ステップで行なわれる前記加工のための前記ターゲット値の設定は、前記トランジスタモデルを反転して、前記測定されたW E Tパラメータ値を仕様値のそれぞれの範囲内にもってくるのに必要な、前記複数の加工ステップの少なくとも1つで行なわれる前記加工の変更を規定することを含む、請求項3に記載の方法。

【請求項5】

前記トランジスタモデルを反転して、前記複数の加工ステップの少なくとも1つで行なわれる前記加工の変更を規定することは、前記測定されたW E Tパラメータ値を前記仕様値のそれぞれの範囲内にもってくるのに必要な、前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成されるフィーチャの臨界寸法の変更を規定することを含む、請求項4に記載の方法。

10

【請求項6】

前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成される前記フィーチャの前記臨界寸法の変更の規定は、M O Sトランジスタのポリゲートライン幅の臨界寸法の変更を規定することを含む、請求項5に記載の方法。

【請求項7】

前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成される前記フィーチャの前記臨界寸法の変更の規定は、M O Sトランジスタのソース/ドレイン領域と構造層との接合深さの臨界寸法の変更を規定することを含む、請求項5に記載の方法。

【請求項8】

前記トランジスタモデルを反転して、前記複数の加工ステップの少なくとも1つで行なわれる前記加工の変更を規定することは、前記測定されたW E Tパラメータ値を前記仕様値のそれぞれの範囲内にもってくるのに必要な、前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成されるフィーチャのドーピングレベルの変更を規定することを含む、請求項4に記載の方法。

20

【請求項9】

前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成される前記フィーチャの前記ドーピングレベルの変更の規定は、M O Sトランジスタのソース/ドレイン領域のドーピングレベルの変更を規定することを含む、請求項8に記載の方法。

【請求項10】

前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成される前記フィーチャの前記ドーピングレベルの変更の規定は、M O Sトランジスタの薄くドーブされたドレイン(L D D)領域のドーピングレベルの変更を規定することを含む、請求項8に記載の方法。

30

【請求項11】

前記トランジスタモデルを反転して、前記複数の加工ステップの少なくとも1つで行なわれる前記加工の変更を規定することは、前記測定されたW E Tパラメータ値を前記仕様値のそれぞれの範囲内にもってくるのに必要な、前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成されるフィーチャのドーピングレベルの変更を規定することを含む、請求項5に記載の方法。

【請求項12】

前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成される前記フィーチャの前記臨界寸法の変更の規定は、M O Sトランジスタのポリゲートライン幅の臨界寸法の変更を規定することを含む、請求項11に記載の方法。

40

【請求項13】

前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成される前記フィーチャの前記臨界寸法の変更の規定は、M O Sトランジスタのソース/ドレイン領域と構造層との接合深さの臨界寸法の変更を規定することを含む、請求項11に記載の方法。

【請求項14】

前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成される前記フィーチャの前記ドーピングレベルの変更の規定は、M O Sトランジスタのソース/ドレイン領域のドーピングレベルの変更を規定することを含む、請求項11に記載の方法。

50

【請求項 15】

前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成される前記フィーチャの前記ドーピングレベルの変更の規定は、MOSトランジスタの薄くドーピングされたドレイン(LDD)領域のドーピングレベルの変更を規定することを含む、請求項11に記載の方法。

【請求項 16】

前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成される前記フィーチャの前記ドーピングレベルの変更の規定は、MOSトランジスタのソース/ドレイン領域のドーピングレベルの変更を規定することを含む、請求項12に記載の方法。

【請求項 17】

前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成される前記フィーチャの前記ドーピングレベルの変更の規定は、MOSトランジスタの薄くドーピングされたドレイン(LDD)領域のドーピングレベルの変更を規定することを含む、請求項12に記載の方法。

10

【請求項 18】

前記複数の加工ステップの少なくとも1つで形成される前記フィーチャの前記ドーピングレベルの変更の規定は、MOSトランジスタのソース/ドレイン領域、またはMOSトランジスタの薄くドーピングされたドレイン(LDD)領域のドーピングレベルの少なくとも一方の変更を規定することを含む、請求項13に記載の方法。

【請求項 19】

コンピュータによって実行されると、ワークピースを製造するための方法を行なう命令でエンコードされるコンピュータ読出可能プログラム記憶装置であって、前記方法は、

20

複数の加工ステップでワークピースを加工し、

前記ワークピースが完全に加工された後に、前記複数の加工ステップで前記ワークピースに対して行なわれる加工に特有のパラメータを測定し、

前記パラメータの測定、および、測定されたパラメータの各々に関連付けられたデータセットの少なくとも一部をパラメータ特徴モデリングプロセスに対する少なくとも1つの入力として使用することに応答して、当該パラメータ特徴モデリングプロセスを行ない、

前記パラメータ特徴モデリングプロセスに基づいて出力信号を形成し、

前記出力信号に基づいて、前記加工ステップで行なわれる前記加工のためのターゲット値を設定することを含む、コンピュータ読出可能プログラム記憶装置。

30

【請求項 20】

装置であって、

複数の加工ステップでワークピースを加工するための手段と、

前記ワークピースが完全に加工された後に、前記複数の加工ステップで前記ワークピースに対して行なわれる加工に特有のパラメータを測定するための手段と、

前記パラメータの測定、および、測定されたパラメータの各々に関連付けられたデータセットの少なくとも一部をパラメータ特徴モデリングプロセスに対する少なくとも1つの入力として使用することに応答して、当該パラメータ特徴モデリングプロセスを行なうための手段と、

前記パラメータ特徴モデリングプロセスに基づいて出力信号を形成するための手段と、

前記出力信号に基づいて、前記加工ステップで行なわれる前記加工のためのフィードバックとしてターゲット値を設定するための手段とを含む、装置。

40

【発明の詳細な説明】**【0001】****【技術分野】**

この発明は、半導体製造技術に一般的に関し、より特定的には、半導体製造の監視および最適化のための方法に関する。

【0002】**【背景技術】**

半導体業界内では、たとえば、マイクロプロセッサ、メモリデバイスなどの集積回路デバイスの品質、信頼性およびスループットを向上させる取組みが常に行なわれている。この

50

取組みは、より高い信頼性をもって動作する、より高品質のコンピュータおよび電子デバイスに対する消費者の要求によって推進されている。これらの要求の結果、たとえばトランジスタなどの半導体デバイスの製造と、そのようなトランジスタを組入れる集積回路デバイスの製造とにおいて、絶え間なく改良がもたらされてきた。さらに、典型的なトランジスタの構成要素の製造における欠点を減らすことによって、トランジスタ当りの全体的コストと、そのようなトランジスタを組入れる集積回路デバイスのコストとが低下している。

【 0 0 0 3 】

半導体加工ツールの基礎となる技術は、過去数年間ますます注目を集めており、その結果、かなりの洗練がもたらされた。しかしながら、この分野で達成された進歩にもかかわらず、現在市販されている加工ツールの多くはある欠点を有している。特に、そのようなツールは、ユーザが利用しやすいフォーマットでの履歴パラメータデータおよび現在の加工パラメータとラン全体の加工パラメータとの両者のイベントロギング的リアルタイムグラフィカルディスプレイを提供できることならびに、リモート、すなわちローカルサイトおよびワールドワイドなモニタなどの、高度なプロセスデータモニタ能力に欠けていることがしばしばである。これらの欠点は、スループット精度、安定性および反復性、加工温度、ツールの機械的パラメータなどの、臨界加工パラメータの最適でない制御をもたらし得る。ラン内のばらつき、ランごとのばらつきおよびツールごとのばらつきとして、この変動性が顕在化し、これが製品品質および性能の偏りに伝わり得る一方で、そのようなツール向けの理想的なモニタおよび診断システムには、この変動性をモニタする手段と、臨界パラメータの制御を最適化するための手段とが設けられている。

【 0 0 0 4 】

パラメータのうちモニタおよび制御が有用なものは、臨界寸法 (C D)、トランジスタ (および他の半導体デバイス) のドーピングレベルおよびフォトリソグラフィにおけるオーバーレイエラーである。C Dとは、特定の加工装置が作製可能であろう最小フィーチャサイズである。たとえば、金属酸化物半導体電界効果トランジスタ (M O S F E T または M O S トランジスタ) 用の多結晶 (ポリシリコンまたはポリ) ゲートラインの最小幅 w は、そのようなトランジスタを有する半導体デバイスの 1 つの C D に対応し得る。同様に、接合深さ d_j (ドーパされた基板内に形成される濃くドーパされたソース/ドレイン領域の底部までの、ドーパされた基板の表面から下の深さ) は、M O S トランジスタなどの半導体デバイスの別の C D であろう。ドーピングレベルは半導体デバイスに注入されるイオンの量に依存し得る。その量は、典型的に $k e V$ で与えられるイオン注入エネルギーでの平方センチメートル当りのイオンの数で与えられるのが典型的である。

【 0 0 0 5 】

しかしながら、半導体および超小型電子デバイス製造において、C D およびドーピングレベルを正確に制御して、デバイスの性能および歩留まりを最適化するには、伝統的な統計プロセス制御 (S P C) 技術では不十分なことがしばしばある。典型的に、S P C 技術は、C D、ドーピングレベルおよび/またはフォトリソグラフィにおけるオーバーレイエラーに対して、ターゲット値およびターゲット値付近の広がりを設定する。次に S P C 技術は、それぞれのターゲット値を自動的に調節したり適合したりせずにターゲット値からの偏差を最小化して、たとえば、ウェハ電気テスト (wafer electrical test) (W E T) 測定特徴で測定されるように、半導体デバイスの性能を最適化および/または半導体デバイスの歩留まりとスループットとを最適化しようとする。さらに、ターゲット値付近の適合的でないプロセス広がりをむやみに最小化しても、プロセスの歩留りおよびスループットは向上しないであろう。

【 0 0 0 6 】

この発明は、上述の問題の 1 つ以上を克服するまたは少なくともその影響を低減することに向けられる。

【 0 0 0 7 】

【 発明の開示 】

10

20

30

40

50

この発明の１つの局面では、製造方法が提供される。この方法は、加工ステップでワークピースを加工するステップと、加工ステップでワークピースに対して行なわれる加工に特有のパラメータを測定するステップと、測定された特徴パラメータに対応する出力信号を形成するステップとを含む。この方法は、出力信号に基づいて、加工ステップで行なわれる加工のためのターゲット値を設定するステップも含む。

【 0 0 0 8 】

この発明の別の局面では、コンピュータ読出可能プログラム記憶装置が提供され、これは、コンピュータによって実行されるときに方法を行なう命令でエンコードされる。この方法は、加工ステップでワークピースを加工するステップと、加工ステップでワークピースに対して行なわれる加工に特有のパラメータを測定するステップと、測定された特徴パラメータに対応する出力信号を形成するステップとを含む。この方法は、出力信号に基づいて、加工ステップで行なわれる加工のためのターゲット値を設定するステップも含む。

10

【 0 0 0 9 】

この発明のさらに別の局面では、方法を行なうようにプログラムされるコンピュータである。この方法は、加工ステップでワークピースを加工するステップと、加工ステップでワークピースに対して行なわれる加工に特有のパラメータを測定するステップと、測定された特徴パラメータに対応する出力信号を形成するステップとを含む。この方法は、出力信号に基づいて、加工ステップで行なわれる加工のためのターゲット値を設定するステップも含む。

【 0 0 1 0 】

20

この発明は、添付の図面と関連して以下の説明を参照することによって理解されるであろう。図面中では、参照番号中の最も左の有効桁が、それぞれの参照番号が現れる最初の図面を表わしている。

【 0 0 1 1 】

なお、図 1 から図 1 3 は、この発明に従う製造方法のさまざまな実施例を概略的に示すものである。

【 0 0 1 2 】

この発明はさまざまな変更例および代替的な形が可能であり、その特定の実施例が図面に例示の目的のために示され、本明細書中に詳細に説明される。しかしながら、特定の実施例の本明細書中の説明が、開示された特定の形態にこの発明を限定することを意図するものではなく、反対に、その意図は、添付の請求項によって規定されるように、この発明の精神および範囲内のすべての変更例、均等物および代替例を含むことを理解されたい。

30

【 0 0 1 3 】

【発明を実行するためのモード】

この発明の例示的な実施例が以下に説明される。明瞭さのために、実際の実現例のすべての特徴が本明細書中で説明されるわけではない。当然ながら、いずれのそのような実際の実現例の開発においても、実現例によって異なるシステム関連および業務関連の制約の順守など、開発者の特定の目標を達成するための数多くの実現例特有の決定をなさなければならないことが認められる。さらに、そのような開発努力は複雑でありかつ時間がかかるものであり得るが、それにもかかわらず、この開示から利益を得る当業者にとっては日常業務であることが認められる。

40

【 0 0 1 4 】

この発明に従う製造方法の例示的な実施例が図 1 から図 1 3 に示される。図 1 に示されるように、たとえば、１つもしくはそれ以上のプロセス層および／もしくはＭＯＳトランジスタなどの半導体デバイスがその上に配置される半導体基板またはウェハなどのワークピーク 1 0 0 が加工ステップ j 1 0 5 に配送される。ここで j は、j = 1 から j = N までのいずれの値も有し得る。完成したワークピーク 1 0 0 を形成するのに用いられる、マスキング、エッチング、材料の堆積などの加工ステップの総数 N は、N = 1 からほぼいずれの有限の値までの範囲に及び得る。

【 0 0 1 5 】

50

図2に示されるように、ワークピース100は加工ステップj105から送られ、測定ステップj110に配送される。測定ステップj110で、ワークピース100は、ある計測法または測定ツール(図示せず)に、前の加工ステップ(加工ステップj105など、ここでjはj=1からj=Nまでのいずれの値も有し得る)のいずれにおいても行なわれる加工に特有の1つ以上のパラメータを測定させることによって測定される。測定ステップj110での測定値は、測定ステップj110で測定された1つ以上の特徴パラメータを示す走査データ115を発生する。図2に示されるように、(j<Nの場合)ワークピース100上で行なうべきさらなる加工が存在すれば、ワークピース100は測定ステップj110から送られ、さらなる加工のために加工ステップj+1140に配送され、次に加工ステップj+1140からさらに送られ得る。

10

【0016】

さまざまな例示的な実施例では、さらなる加工は存在せず(j=N)、測定ステップj=N110は、半導体デバイスおよび/もしくは複数のデバイスならびに/またはワークピース100上に形成されるプロセス層のウェハ電気テスト(WET)であり得る。WETは、たとえば、ワークピース100上に形成されるMOSトランジスタの電流および/もしくは電圧応答ならびに/またはワークピース100上に形成されるMOSトランジスタの要素のキャパシタンスおよび/もしくは抵抗を測定し得る。たとえば、ワークピース100上に形成されるMOSトランジスタの飽和ドレイン-ソース電流 I_{dsat} は、ワークピース100上に形成されるMOSトランジスタがどのくらいの速さで「オン」から「オフ」状態にスイッチされ得るかの指標として測定され得る。

20

【0017】

図3に示されるように、走査データ115は測定ステップj110から送られ、特徴パラメータモデル化ステップ120に配送される。特徴パラメータモデル化ステップ120では、測定ステップj110で測定された1つ以上の特徴パラメータが特徴パラメータモデルに入力され得る。特徴パラメータモデルは、測定ステップj110で測定された1つ以上の特徴パラメータを、以前の加工ステップ(加工ステップj105など、ここでjはj=1からj=Nまでのいずれの値も有し得る)のいずれにおいても行なわれる加工を特定する1つ以上のパラメータにマッピングし得る。特徴パラメータモデル化ステップ120で走査データ115を特徴パラメータモデルに配送することで、出力信号125が発生する。

30

【0018】

図4に示されるように、出力信号125は特徴パラメータモデル化ステップ120から送られ、ターゲット値設定ステップ130に配送される。ターゲット値設定ステップ130では、特徴パラメータモデルを反転して、測定ステップj110で測定される1つ以上の特徴パラメータ値を仕様値の範囲内にもってこさせる必要がある、以前の加工ステップ(加工ステップj105など、ここでjはj=1からj=Nまでのいずれの値も有し得る)のいずれにおいても行なわれる加工の1つ以上の変更を規定し得る。

【0019】

ターゲット値設定ステップ130での(出力信号125に基づく)特徴パラメータモデルの反転は、以前の加工ステップ(加工ステップj105など、ここでjはj=1からj=Nまでのいずれの値も有し得る)のいずれにおいても行なわれる加工を調節する必要性を技術者に警告するのに用い得る。技術者はまた、たとえば、特徴パラメータモデル化ステップ120でモデル化された特徴パラメータのタイプを変更して、発生される出力信号125に影響を及ぼし得る。

40

【0020】

図5に示されるように、フィードバック制御信号135は、ターゲット値設定ステップ130から加工ステップj105に送られて、加工ステップj105で行なわれる加工を調節し得る。さまざまな代替的な例示的な実施例(図示せず)では、フィードバック制御信号135は、ターゲット値設定ステップ130から以前の加工ステップ(加工ステップj105と同様のもの、ここでjはj=1からj=Nまでのいずれの値も有し得る)のい

50

れかに送られ、以前の加工ステップのいずれにおいても行なわれる加工を調節し得る。

【 0 0 2 1 】

図 6 に示されるように、フィードバック制御信号 1 3 5 に加えておよび / またはその代わりに、ターゲット値設定ステップ 1 3 0 からプロセス変更および制御ステップ 1 5 0 にターゲット値 1 4 5 を送り得る。プロセス変更および制御ステップ 1 5 0 では、ターゲット値 1 4 5 を高レベル監視制御ループで用い得る。その後、図 7 に示されるように、プロセス変更および制御ステップ 1 5 0 から加工ステップ j 1 0 5 にフィードバック制御信号 1 5 5 を送り、加工ステップ j 1 0 5 で行なわれる加工を調節し得る。さまざまな代替的な例示的な実施例 (図示せず) では、フィードバック制御信号 1 5 5 は、プロセス変更および制御ステップ 1 5 0 から前の加工ステップ (加工ステップ j 1 0 5 と同様のもの、ここで j は j = 1 から j = N までのいずれの値も有し得る) のいずれかに送られて、前の加工ステップのいずれにおいても行なわれる加工を調節し得る。さまざまな例示的な実施例では、各動作または加工ステップ j 1 0 5、なお j は j = 1 から j = N までのいずれの値も有し得る、で行なわれた測定および可逆トランジスタモデルと関連して、最終 W E T 測定からの出力信号を用いて、監視的態様で 1 つ以上の加工ステップ j 1 0 5 で設定値を変更し、それによりその後の生産を W E T 測定ターゲット値のより近くに駆動する。

【 0 0 2 2 】

さまざまな例示的な実施例では、上述のように、さらなる加工は存在せず (j = N)、測定ステップ j = N 1 1 0 は、半導体デバイスおよび / もしくは複数のデバイスならびに / またはワークピース 1 0 0 上に形成されるプロセス層のウェハ電気テスト (W E T) であり得る。W E T は、たとえば、ワークピース 1 0 0 上に形成される M O S トランジスタの電流および / もしくは電圧応答ならびに / またはワークピース 1 0 0 上に形成される M O S トランジスタの要素のキャパシタンスおよび / もしくは抵抗を測定し得る。図 8 に示されるように、金属酸化物半導体電界効果トランジスタ (M O S F E T または M O S トランジスタ) 8 0 0 は、ドーフトシリコンなどの半導体基板 8 0 5 上に形成され得る。M O S トランジスタ 8 0 0 は、半導体基板 8 0 5 上に形成された、ゲート酸化物 8 1 5 上に形成されたドーフトポリゲート 8 1 0 を有し得る。ドーフトポリゲート 8 1 0 およびゲート酸化物 8 1 5 は、誘電体スペーサ 8 2 5 により、M O S トランジスタ 8 0 0 の N⁺ドーブされた (P⁺ドーブされた) ソース / ドレイン領域 8 2 0 から分離され得る。誘電スペーサ 8 2 5 は、N⁻ドーブされた (P⁻ドーブされた) 薄くドーブされたドレイン (L D D) 領域 8 3 0 上に形成され得る。

【 0 0 2 3 】

N⁻ドーブされた (P⁻ドーブされた) L D D 領域 8 3 0 は、典型的に、M O S トランジスタ 8 0 0 の N⁺ドーブされた (P⁺ドーブされた) ソース / ドレイン領域 8 2 0 の近くに見られる最大チャネル電界の大きさを減じ、それにより、関連のホットキャリア効果を低減するように設けられる。M O S トランジスタ 8 0 0 の N⁺ドーブされた (P⁺ドーブされた) ソース / ドレイン領域 8 2 0 に対する、N⁻ドーブされた (P⁻ドーブされた) L D D 領域 8 3 0 のより低い (またはより薄い) ドーピングは、M O S トランジスタ 8 0 0 の N⁺ドーブされた (P⁺ドーブされた) ソース / ドレイン領域 8 2 0 の近くに見られる最大チャネル電界の大きさを減じるが、N⁻ドーブされた (P⁻ドーブされた) L D D 領域 8 3 0 のソース - ドレイン抵抗を増大させてしまう。

【 0 0 2 4 】

チタン (T i) 金属層 (図示せず) は、M O S トランジスタ 8 0 0 上に一面に堆積され (blanket-deposited)、次に、約 1 5 - 6 0 秒にわたる時間の間、約 4 5 0 - 8 0 0 にわたる温度で行なわれる初期高速熱アニール (R T A) プロセスを受けたであろう。N⁺ドーブされた (P⁺ドーブされた) ソース / ドレイン領域 8 2 0 およびドーフトポリゲート 8 1 0 などの活性区域 8 4 5 の表面 8 4 0 では、露出した S i は、加熱されると T i 金属と反応して、活性区域 8 4 5 の表面 8 4 0 上にチタンシリサイド (T i S i₂) 層 8 3 5 を形成する。T i 金属は、加熱されても、誘電体スペーサ 8 2 5 と反応するとは考えられない。T i 金属の湿性化学性 (wet chemical) ストリップは、T i 金属層 2 3 5 の過剰

10

20

30

40

50

な未反応部分（図示せず）を除去し、活性区域 845 の表面 840 におよびその下のみに、自己整列シリサイド化（サリサイド化） $TiSi_2$ 層 835 を残す。次に、サリサイド化 $TiSi_2$ 835 は、約 10 - 60 秒にわたる時間の間、約 800 - 1000 にわたる温度で行なわれる最終 RTA プロセスを受け得る。

【0025】

図 8 に示されるように、MOS トランジスタ 800 はいくつかの加工パラメータによって特定され得る。たとえば、ドープトポリゲート 810 は幅 w を有し得、これは次にチャネル長さ L を決定する。チャネル長さ L は、N-MOS (P-MOS) トランジスタ 800 のためにゲート酸化物 815 下に形成される 2 つの金属 N^+-P (P^+-N) 接合の間の距離であり、2 つの金属 N^+-P (P^+-N) 接合は、 N^+ ドープされた (P^+ ドープされた) LDD 領域 830 と半導体基板 805 との間に存在する。さらに、 N^+ ドープされた (P^+ ドープされた) ソース/ドレイン領域 820 下の (接合深さ d_j を有する) 別の接合が、 N^+ ドープされた (P^+ ドープされた) ソース/ドレイン領域 820 と半導体基板 805 との間に形成され得る。半導体基板 805 は、N 型 (P 型) 半導体基板 805 に対して、平方センチメートル当りのイオンの数で典型的に与えられるドナー (アクセプタ) 不純物の濃度を反映するドーピングレベル (N_D (N_A)) を有し得る。さらに、 N^+ ドープされた (P^+ ドープされた) ソース/ドレイン領域 820 および N^+ ドープされた (P^+ ドープされた) LDD 領域 830 は各々が、それぞれのドーピングレベル N_{D+} および N_{D-} (N_{A+} および N_{A-}) を有し得る。それぞれのドーピングレベルは、 N^+ ドープされた (P^+ ドープされた) ソース/ドレイン領域 820 および N^+ ドープされた (P^+ ドープされた) LDD 領域 830 に注入されるイオンの量に依存し得る。その量は、典型的に keV で与えられるイオン注入エネルギーでの平方センチメートル当りのイオンの数で与えられるのが典型的である。さらに、ゲート酸化物 815 は厚み t_{ox} を有し得る。

【0026】

測定ステップ 110 で行なわれる、半導体デバイスおよび/もしくは複数のデバイスならびに/またはワークピース 100 上に形成されるプロセス層のウェハ電気テスト (WET) は、たとえば、ワークピース 100 上に形成される MOS トランジスタ 800 の電流および/もしくは電圧応答ならびに/またはワークピース 100 上に形成される MOS トランジスタ 800 の要素のキャパシタンスおよび/もしくは抵抗を測定し得る。たとえば、ワークピース 100 上に形成される MOS トランジスタの飽和ドレイン - ソース電流 I_{dsat} は、ワークピース 100 上に形成される MOS トランジスタがどのくらいの速さで「オン」から「オフ」状態にスイッチされ得るかの指標として測定され得る。同様に、ワークピース 100 上に形成される MOS トランジスタ 800 の WET は、ドレイン電圧 V_D 、ゲート電圧 V_G および/または基板電圧 (もしくはバイアス) V_{BS} の異なる値でドレイン - ソース電流 I_D を測定し得る。ドレイン電圧 V_D の変化によるドレイン - ソース電流 I_D の変化を測定することにより、一定のゲート電圧 V_G で、チャネルコンダクタンス g_D が

【0027】

【数 1】

$$g_D = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_D} \right|_{V_G = \text{const}} = \frac{Z}{L} \mu_n C_i (V_G - V_T)$$

【0028】

から定められ得る。式中、 Z は (図 8 の MOS トランジスタ 800 の平面に対して垂直方向の) チャネル幅であり、 μ_n は ($E = V_D / L$ がドレイン/ソースを横切る電界であるとき、 $v_{ndrift} = \mu_n E$ による電子のドリフト速度 v_{ndrift} に関する) 電子の移動度であり、 C_i は、単位面積当りのキャパシタンスであり ($C_i = \epsilon_{ox} / t_{ox}$ 、式中 ϵ_{ox} (4 はゲート酸化物 815 の誘電率である)、 V_T は、MOS トランジスタ 800 のしきい値電圧である。同様に、ゲート電圧 V_G の変化によるドレイン - ソース電流 I_D の変化を測定することにより、一定のドレイン電圧 V_D で、相互コンダクタンス g_m が

10

20

30

40

50

【 0 0 2 9 】

【 数 2 】

$$g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial V_G} \right|_{V_D = \text{const}} = \frac{Z}{L} \mu_n C_i V_D$$

【 0 0 3 0 】

から定められ得る。ここで、ドレイン電圧 V_D に対するドレイン - ソース電流 I_D の線形領域を用いると、ここで、 $V_D \ll (V_G - V_T)$ に対して

【 0 0 3 1 】

10

【 数 3 】

$$I_D \approx \left(\frac{Z}{L} \right) \mu_n C_i (V_G - V_T) V_D$$

【 0 0 3 2 】

であり、しきい値電圧 V_T は

【 0 0 3 3 】

【 数 4 】

20

$$V_T = 2\psi_B + \frac{\sqrt{2\epsilon_s q N_A (2\psi_B)}}{C_i}$$

【 0 0 3 4 】

で与えられる。式中、 ψ_B は、ドープトポリゲート 810 のフェルミレベル E_F と P 型半導体基板 805 の真性 (フラットバンド) フェルミレベル E_{Fi} との間の電位差であり、 ϵ_s は P 型半導体基板 805 の誘電率であり、 q は電子に対する電荷の絶対値であり ($q = 1.60218 \times 10^{-19}$ クーロン)、ドーピングレベル N_A は P 型半導体基板 805 のアクセプタ不純物の濃度を反映する。一般的に、有効ドレイン - ソース電流 I_D は、それら自身がさまざまな他の変数などの関数であり得るさまざまな変数の複雑関数であり得る。すなわち、 $I_{D, \text{eff}} = f(V_T, L_{\text{eff}}, \dots)$ かつ $I_{D, \text{eff}} = f(V_T, L_{\text{eff}}, \dots) = f(V_T, L_{\text{eff}}(\text{ゲートCD, スペーサ幅}, \dots), \dots)$ である。

30

【 0 0 3 5 】

【 数 5 】

さまざまな例示的な実施例では、インラインプロセス計測法を用いて得られる特徴パラメータ \underline{y}_α 、ここで $\alpha = 1$ から $\alpha = m$ 、は、マッピング $T^{-1}(\underline{y}_\alpha) = \underline{x}_\beta$ により、完成したワークピース 100 において、測定された WET 値 \underline{x}_β 、ここで $\beta = 1$ から $\beta = n$ 、にマッピングされ得る。特徴パラメータ \underline{y}_α 、ここで $\alpha = 1$ から $\alpha = m$ 、は、各々が s の成分を有する m のベクトルとしてまたはすなわち、その m の列が m のベクトル \underline{y}_α 、ここで $\alpha = 1$ から $\alpha = m$ 、である $s \times m$ の行列 $Y_{s \times m}$ として表わされ得る。

$$Y_{s \times m} = (\underline{y}_\alpha) = (\underline{y}_1 \quad \cdots \quad \underline{y}_m) = (y_{\beta\alpha}) = \begin{pmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{s1} & \cdots & y_{sm} \end{pmatrix}$$

10

同様に、測定された WET 値 \underline{x}_β 、ここで $\beta = 1$ から $\beta = n$ 、は、各々が t の成分を有する n のベクトルとしてまたはすなわち、その n の列が n のベクトル \underline{x}_β 、ここで $\beta = 1$ から $\beta = n$ 、である $t \times n$ の行列 $X_{t \times n}$ として表わされ得る。

$$X_{t \times n} = (\underline{x}_\beta) = (\underline{x}_1 \quad \cdots \quad \underline{x}_n) = (x_{\beta\alpha}) = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{t1} & \cdots & x_{tn} \end{pmatrix}$$

20

さまざまな例示的な実施例では、マッピング $T^{-1}(\underline{y}_\alpha) = \underline{x}_\beta$ は、 $s \times m$ の行列 $Y_{s \times m}$ を、左側を $t \times s$ の行列 $L_{t \times s}$ でおよび右側を $m \times n$ の行列 $R_{m \times n}$ で乗算したものとして表わされ得る。

$$L_{t \times s} Y_{s \times m} R_{m \times n} = X_{t \times n} = \begin{pmatrix} l_{11} & \cdots & l_{1s} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{t1} & \cdots & l_{ts} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{s1} & \cdots & y_{sm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{t1} & \cdots & x_{tn} \end{pmatrix}$$

【 0 0 3 6 】

30

【 数 6 】

完成したワークピース 100 における、測定された WET 値 \underline{x}_β 、ここで $\beta = 1$ から $\beta = n$ 、への、インラインプロセス計測法を用いて得られた特徴パラメータ \underline{y}_α 、ここで $\alpha = 1$ から $\alpha = m$ 、のマッピング $T^{-1}(\underline{y}_\alpha) = \underline{x}_\beta$ をオンラインで用いて、完成したワークピース 100 を WET スクラップにし得る加工のずれを検出および／または訂正することにより、無駄になる材料を減らしかつ、訂正されて完成したワークピース 100 のスループットを向上させ得る。たとえば、さまざまな例示的な実施例では、マッピング $T^{-1}(\underline{y}_\alpha) = \underline{x}_\beta$ を反転し、すなわち $\underline{y}_\alpha = T(\underline{x}_\beta)$ とし、測定ステップ j 110 で測定された 1 つ以上の特徴パラメータ値 \underline{y}_α 、ここで $\alpha = 1$ から $\alpha = m$ 、を仕様値の範囲内に持ってこさせる必要がある、前の加工ステップ（加工ステップ j 105 など、ここで j は $j = 1$ から $j = N$ までのいずれの値も有し得る）のいずれにおいても行なわれる加工の 1 つ以上の変更を規定し得る。

40

【 0 0 3 7 】

50

【数 7】

さまざまな例示的な実施例では、部分最小2乗（PLS）モデリングを用いて、インラインプロセス計測法を用いて得られる特徴パラメータ \underline{y}_α 、ここで $\alpha = 1$ から $\alpha = m$ 、の、完成したワークピース100の予測されたWETの結果として生じる値 \underline{x}_β 、ここで $\beta = 1$ から $\beta = n$ 、へのマッピング $T^{-1}(\underline{y}_\alpha) = \underline{x}_\beta$ を行ない得る。さまざまな代替的な例示的な実施例では、主成分解析（PCA）モデリングを用いて、インラインプロセス計測法を用いて得られる特徴パラメータ \underline{y}_α 、ここで $\alpha = 1$ から $\alpha = m$ 、の、完成したワークピース100の予測されたWETの結果として生じる値 \underline{x}_β 、ここで $\beta = 1$ から $\beta = n$ 、へのマッピング $T^{-1}(\underline{y}_\alpha) = \underline{x}_\beta$ を行ない得る。

10

【0038】

この発明の1つの例示的な実施例では、特徴の計測は、ワークピース（ワークピース100など）の所与のロットに対してまたは各ロット内の特定のワークピースに対して、各動作においてまたは加工ステップ（加工ステップj105など、ここでjはj=1からj=Nまでのいずれの値も有し得る）において行なわれ得、行なわれた特徴計測の結果はデータベースに記憶され得る。場合によっては、データベースに記憶されたデータは、所与の動作または加工ステップ（加工ステップj105など、ここでjはj=1からj=Nまでのいずれの値も有し得る）での、特定の加工ツール向けの最新の特徴付けまたは「性格付け」（qualification）データであろう。これは、高速熱アニール（RTA）後の膜抵抗率測定の場合など、ワークピース上で行なう特定のプロセスの直接計測が不正確または実行不可能である場合に特に当てはまる。そのような場合、パターンニングされていないウェハ基板または他の非製品またはテストウェハからの特徴付けまたは「性格付け」データを、その所与のロットに対して特徴プロセス情報として記憶し得る。

20

【0039】

これらの計測データ結果は、トランジスタモデル $T(i) = o$ に必要な入力を完全に特定する入力ベクトル i （ここで $i = i_1, i_2, i_3, \dots, i_j, \dots, i_N$ ）として表わされ得る。入力ベクトル i の成分の各々は、計測ツールが行なう測定の関数であり得る。たとえば、単純化された入力ベクトル i （ここで $i = i_1$ および i_2 ）は、それぞれポリおよびソース/ドレイン領域で計測ツールが測定する抵抗率測定値 poly および source/drain の関数であり得るため、 $i_1(\text{poly})$ および $i_2(\text{source/drain})$ は、それぞれポリドーピング濃度およびソース/ドレイン領域ドーピング濃度である。ポリドーピングおよびソース/ドレイン領域ドーピング濃度 $i_1(\text{poly})$ および $i_2(\text{source/drain})$ はそれぞれ、トランジスタモデルの中に直接に入れてもよいが、一方、それぞれの抵抗率測定値 poly および source/drain はトランジスタモデルの中に直接に入れられないであろう。

30

【0040】

そのようなトランジスタモデルは技術分野で周知であり、さまざまな商用ベンダおよび商業目的でない学術的ソースからシミュレーションソフトウェアとして入手可能である。この発明のさまざまな例示的な実施例で用いられるトランジスタモデルは、ベクトル o （ここで $o = o_1, o_2, o_3, \dots, o_k, \dots, o_M$ ）として表わされ得る出力を発生する。トランジスタモデルからの出力 o は、トランジスタの、対応する値を有し得るかまたは、対応する値にマッピングされ得るかまたは、対応する値と関連付けられ得、かつ、ウェハ電気テスト（WET）での、（加工ステップN105の後のワークピース100などの）完成した製品ワークピース上のテスト構造が測定する他の電磁的パラメータ値を有し得る。

40

【0041】

これらの対応する値は、測定されたWET値のベクトル m （ここで $m = m_1, m_2, m_3,$

50

... , m_k , ... , m_M) として表わされ得、測定された W E T 値 m はマッピングされおよび / またはトランジスタモデル出力 o と関連付けられることにより、 $m = F (o)$ および $F^{-1} (m) = o$ となる。これらの対応する値は、それぞれの W E T エラー値分だけそれらのそれぞれの W E T ターゲット値から異なり得る。特定された W E T ターゲット値はベクトル t (ここで $t = t_1 , t_2 , t_3 , \dots , t_k , \dots , t_M$) として表わされ得、W E T エラー値はベクトル e (ここで $e = e_1 , e_2 , e_3 , \dots , e_k , \dots , e_M$) として表わされ得る。ここで $e = m - t$ である (したがって $k = 1$ から $k = M$ の場合、 $e_k = m_k - t_k$ である)。このエラー $e = m - t$ を低減するおよび / または排除するため、 $m^{corr} = m - e = t$ となるように訂正 W E T 値 m^{corr} を規定し得る。この訂正 W E T 値 m^{corr} を用いて、 $o^{corr} = F^{-1} (m^{corr})$ または $o^{corr} = F^{-1} (m - e)$ または $o^{corr} = F^{-1} (t)$ で与えられる、訂正トランジスタモデル出力 o^{corr} を規定し得る。

10

【 0 0 4 2 】

訂正トランジスタモデル出力 o^{corr} は反転トランジスタモデルに入力されて、それぞれの訂正トランジスタモデル入力 $i^{corr} = T^{-1} (o^{corr}) = T^{-1} (F^{-1} (t))$ を生成し得る。さまざまな例示的な実施例では、トランジスタモデルは、トライアル・アンド・エラー入力値 i^{approx} を用いて、 $T (i^{approx}) = o^{corr}$ となるように所望の訂正トランジスタモデル出力 o^{corr} を予め設定された限界内に発生する入力ベクトルを識別するまで、反復実行によって反転され得る。次に、訂正トランジスタモデル入力 i^{corr} を、動作または加工ステップでのレシピに対する変更または訂正として、ウェハ製造ライン中の関連の N の個別の動作または加工ステップ (加工ステップ j 1 0 5 など、ここで j は $j = 1$ から $j =$

20

【 0 0 4 3 】

この発明のさまざまな代替的な例示的な実施例では、少なくとも 1 つのサブモデルを設け得、トランジスタモデルが必要とする入力 i に、動作または加工ステップ (加工ステップ j 1 0 5 など、ここで j は $j = 1$ から $j = N$ までのいずれの値も有し得る) でのレシピ変数をマッピングする。各々のそのようなサブモデルも上述のフィードバックモードで反転されなければならない。

【 0 0 4 4 】

たとえば、イオン注入加工ステップ j 1 0 5 では、イオン注入サブモデルに入力されるレシピ変数は、注入電流、量、角度および種を含み得る。イオン注入サブモデルは、トランジスタモデルに入れられ得るドーピングプロファイル \underline{i}_j を生成し得る。W E T 測定の後、上述のように \underline{i}_j^{corr} を生成し得、 \underline{i}_j^{corr} を反転イオン注入サブモデルに入れ、連続して加工されたワークピーク 1 0 0 の W E T 測定値をそれらのそれぞれのターゲット値により近づけるのに必要な、注入電流、量、角度および / または種に対する必要な変更などの、イオン注入動作または加工ステップ j 1 0 5 でのイオン注入レシピに対する必要な変更または訂正を生成し得る。

30

【 0 0 4 5 】

この発明のさらに他のさまざまな例示的な実施例では、1 つ以上の加工ステップ (加工ステップ j 1 0 5 など、ここで j は $j = 1$ から $j = N$ までのいずれの値も有し得る) におけるレシピ変数の許容される変化量に対する制約が実現され得る。たとえば、ゲートの臨界寸法は、高いおよび低い値の間にあるように制約され得る。これに代えて、所与の制御移動および / または所与の時間量の変化量が制約され得る。

40

【 0 0 4 6 】

この発明のまた他のさまざまな例示的な実施例では、重み付けおよび / またはペナルティは、1 つ以上の加工ステップ (加工ステップ j 1 0 5 など、ここで j は $j = 1$ から $j = N$ までのいずれの値も有し得る) に適用される 1 つ以上の制御移動の間に、どの変数および / または複数の変数が、操作される他の変数に対して優先的に操作されるかを決定し得る。たとえば、さまざまな例示的な実施例では、ソース / ドレイン領域のドーピングレベル

50

を調節するよりも、ゲート臨界寸法を調節することがより好ましいことがあると、ゲート臨界寸法変数は、ドーピングレベル変数よりも大きな重みを有し得る。同様に、さまざまな代替的な実施例では、ゲート臨界寸法を調節するよりもソース/ドレイン領域のドーピングレベルを調節する方がより好ましいことがあると、ゲート臨界寸法変数は、ドーピングレベル変数よりも、それに関連するより大きなペナルティを有し得る。

【0047】

この発明のさまざまな代替的な例示的な実施例では、トランジスタモデルの入力 i および/もしくは出力 o を適切に重み付け得るに/または、トランジスタモデルをパラメータ化する変数および/もしくは関数を好適に重み付け得るので、トランジスタモデルの出力 o および/または予測は WET 測定値の対応する値によりよく一致する。好ましくはこれらの重み付けを入力 i に適用し得る。これに代えて、これらの重み付けを出力 o に適用し得る。さらに、これらの重み付けは、制御機構の一部として、WET 測定値へのトランジスタモデルデータの一致を向上させるように更新されおよび/または適合され得る。

10

【0048】

この発明のさらに他のさまざまな例示的な実施例では、フィードフォワード法が適用され得る。公称からずれる、1つ以上の加工ステップ（加工ステップ j 105 など、ここで j は $j = 1$ から $j = N$ までのいずれの値も有し得る）からのプロセス結果を、まだ行なわれていないプロセスステップの公称値とともにトランジスタモデルに適用し得る。次に、トランジスタモデル出力の公称からのずれを、上述のようにエラーの尺度として用いてもよくかつ、その後のステップのレシピに対する望ましい変更を定めるのに用いてもよい

20

【0049】

【数8】

上に与えられたものなどの、ベクトル x （ここで \underline{x}_β について $\beta = n = 1$ ）で一般的に表わされる WET 測定値は、一般的に関数 $T(x)$ で表わされる MOS トランジスタモデルに入れられ得る。これは、WET 測定値 x を、加工ステップ j 105、なお j は $j = 1$ から $j = N$ までのいずれの値も有し得る、の少なくとも1つで行なわれる加工に特有の、ベクトル y （ここで \underline{y}_α について $\alpha = m = 1$ ）で一般的に表わされる1組のパラメータにマッピングするため、 $T(x) = y$ である。トランジスタモデルは反転され、一般的に関数 $T^{-1}(y) = x$ で表わされ得る。これは特徴加工パラメータ y を WET 測定値 x にマッピングするものである。

30

【0050】

たとえば、MOS トランジスタモデル関数 $T(x)$ の1つの例示的な実施例は、（ドーブトポリゲート 810 の幅 w に関する）最小チャネル長さ L_{min} を与える。これについて、長チャネルサブしきい値挙動を観察することができる。この例示的な実施例では、MOS トランジスタモデル関数 $T(x)$ は、単純な経験的關係、すなわち $L_{min} = 0.4 [d_j t_{ox} (W_s + W_D)^2]^{1/3}$ によって、 μm で測定される最小チャネル長さ L_{min} を与える。式中、接合深さ d_j は μm で測定され、ゲート酸化物 815 の厚み t_{ox} は 単位の数値であり（したがって寸法が決まる）、かつ $(W_s + W_D)$ は、これも μm で測定される、それぞれソースおよびドレインの空乏深さの和である。1次元階段型接合式では、ソースの空乏深さ W_s は

40

【0051】

【数9】

$$W_S = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{qN_A}(V_{bi} + V_{BS})}$$

【 0 0 5 2 】

によって与えられ得、かつ、ドレイン空乏深さ W_D は

【 0 0 5 3 】

【 数 1 0 】

$$W_D = \sqrt{\frac{2\epsilon_s}{qN_A}(V_D + V_{bi} + V_{BS})}$$

10

【 0 0 5 4 】

で与えられ得る。式中、 V_{bi} は接合のビルトイン電圧である。

MOSトランジスタモデル関数 $T(x)$ の別の例示的な実施例は、より複雑な経験的關係によって最小チャネル長さ L_{min} を与える。すなわち、 $L_{min} = A f_1(V_T / V_D) [f_2(t_{ox}) + B] [f_3(W_S + W_D) + C] [f_4(d_j) + D]$ である。式中、 $i = 1, 2, 3, 4$ である関数 f_i および定数 A, B, C, D は、最小チャネル長さ L_{min} のこの式をデバイスシミュレーションに当てはめることによって定められ得る。たとえば、 $f_1(V_T / V_D) = (V_T / V_D)^{-0.37}$ 、 $f_2(t_{ox}) = t_{ox}$ 、 $f_3(W_S + W_D) = W_S + W_D$ 、 $f_4(d_j) = d_j$ 、 $A = 2.2 \mu m^{-2}$ 、 $B = 0.012 \mu m$ 、 $C = 0.15 \mu m$ および $D = 2.9 \mu m$ は、よい適合を与えているように思われる。この例示的な実施例では、反転MOSトランジスタモデル関数 $T^{-1}(y)$ は、たとえば、より複雑な経験的關係により、ドレイン電圧 V_D によるしきい値電圧 V_T の変化(V_T / V_D)を与える。すなわち、 $V_T / V_D = f_1^{-1}(L_{min} / \{A [f_2(t) + B] [f_3(W_S + W_D) + C] [f_4(d_j) + D]\})$ である。 $f_1(V_T / V_D) = (V_T / V_D)^{-0.37}$ である適合については、たとえば $f_1^{-1}(y) = (y)^{-1/(0.37)}$ である。

20

【 0 0 5 5 】

さまざまな例示的な実施例では、技術者は、ユーザが利用しやすいフォーマットで履歴のパラメータデータならびに現在の加工パラメータおよびラン全体の加工パラメータの両者のイベントロギング的リアルタイムグラフィカルディスプレイを提供できることならびに、リモート、すなわちローカルサイトおよびワールドワイドなモニタなどの、高度なプロセスデータモニタ能力を与えられ得る。これらの能力により、スループット精度、安定性および反復性、加工温度、ツールの機械的パラメータなどの臨界加工パラメータのより最適な制御がもたらされ得る。臨界加工パラメータのこのより最適な制御がこの変動性を低減する。この変動性の減少は、より少ないラン内のばらつき、より少ないランごとのばらつきおよびより少ないツールごとのばらつきとして現われる。伝播し得るこれらのばらつきの数のこの減少は、製品品質および性能における偏りがより少なくなることを意味する。この発明に従う製造方法のそのような例示的な実施例では、この変動性をモニタしかつ臨界パラメータの制御を最適化するモニタおよび診断システムが提供され得る。

30

40

【 0 0 5 6 】

図9は、この発明に従って実践される方法900の1つの特定の実施例を図示する。図10は1つの特定の装置1000を図示し、これを用いて方法900を実践し得る。明瞭さのためにおよびこの発明の理解をより深めるため、方法900は装置1000の文脈で開示される。しかしながら、この発明はそのように限定されるものではなく、以下にさらに説明されるように幅広い変形を許すものである。

【 0 0 5 7 】

図9と図10との両者を参照して、ワークピースまたはウェハ1005のバッチまたはロットがMOSFET加工ツール1010によって加工されている。MOSFET加工ツール1010は、それが必要な制御能力を含む限りは、イオン注入器、プロセス層堆積およ

50

び／またはエッチングツール、フォトリソグラフィツールなど、技術分野で公知のいずれのMOSFET加工ツールであってもよい。MOSFET加工ツール1010は、この目的のためにMOSFET加工ツールコントローラ1015を含む。MOSFET加工ツールコントローラ1015の性質および機能は実現例に特有のものである。

【0058】

たとえば、MOSFET加工ツールコントローラ1015は、MOSFET加工レシピ制御入力パラメータなどのMOSFET加工制御入力パラメータを制御し得る。図8に示されるように、MOSトランジスタ800は、いくつかの加工パラメータによって特定され得る。たとえば、ドープトポリゲート810は幅 w を有し得、これは次にチャネル長さ L を定める。チャネル長さ L は、 N -MOS(P -MOS)トランジスタ800のためのゲート酸化物815の下に形成される2つの金属 N^+ - P (P^+ - N)接合の間の距離である。2つの金属 N^+ - P (P^+ - N)接合は、 N^+ ドープされた(P^+ ドープされた)LDD領域830と半導体基板805との間にある。さらに、 N^+ ドープされた(P^+ ドープされた)ソース/ドレイン領域820下の(接合深さ d_j を有する)別の接合が、 N^+ ドープされた(P^+ ドープされた)ソース/ドレイン領域820と半導体基板805との間に形成され得る。半導体基板805は、 N 型(P 型)半導体基板805について平方センチメートル当りのイオンの数で典型的に与えられるドナー(アクセプタ)不純物の濃度を反映するドーピングレベル N_D (N_A)を有し得る。さらに、 N^+ ドープされた(P^+ ドープされた)ソース/ドレイン領域820および N^+ ドープされた(P^+ ドープされた)LDD領域830は、各々がそれぞれドーピングレベル N_{D+} および N_{D-} (N_{A+} および N_{A-})を有し得る。それぞれのドーピングレベルは、 N^+ ドープされた(P^+ ドープされた)ソース/ドレイン領域820および N^+ ドープされた(P^+ ドープされた)LDD領域830に注入されるイオンの量に依存し得る。その量は、典型的に keV で与えられるイオン注入エネルギーでの平方センチメートル当りのイオンの数で与えられるのが典型的である。さらに、ゲート酸化物815は厚み t_{ox} を有し得る。図10には4つのワークピース1005が示されるが、ワークピースまたはウェハのロット、すなわち「ウェハロット」は、1から任意の有限の数までのいずれの実験的な数のウェハであってもよい。

【0059】

ボックス920に示されるように、方法900は、MOSFET加工ツール1010中のワークピース1005に対して行なわれるMOSFET加工に特有のパラメータを測定することによって始まる。特徴パラメータの性質、アイデンティティおよび測定は、非常に実現例に特有でありかつツールに特有ですらある。たとえば、プロセスパラメータをモニタする能力は、ツールによってある程度異なる。より高い感知能力により、識別され測定される特徴パラメータのより広い許容範囲と、これが行なわれる態様とが許され得る。これに対して、より低い感知能力はこの許容範囲を制限し得る。たとえば、ゲートポリエッチMOSFET加工ツールは、計測ツール(図示せず)を用いて、ワークピース1005のゲート臨界寸法および／またはロット中のワークピース1005のゲート臨界寸法の平均を読取る。ワークピース1005のゲート臨界寸法および／またはロット中のワークピース1005のゲート臨界寸法の平均は、MOSFET加工ツール1010でワークピースに対して行なわれるMOSFET加工に特有のパラメータの例示的な例である。

【0060】

図10を参照して、この特定の実施例では、MOSFET加工プロセス特徴パラメータは、ツールセンサ(図示せず)によって測定されおよび／またはモニタされる。これらのツールセンサの出力は、線1020を介してコンピュータシステム1030に伝送される。コンピュータシステム1030はこれらのセンサ出力を分析して特徴パラメータを識別する。

【0061】

図9に戻って、特徴パラメータを一旦識別しかつ測定すると、方法900は、ボックス930に示されるように、測定されかつ識別された特徴パラメータをモデル化することにより先に進む。図10のコンピュータシステム1030は、この特定の実施例では、特徴パ

10

20

30

40

50

ラメータをモデル化するようにプログラムされる。このモデル化が行なわれる態様は実現例特有である。

【 0 0 6 2 】

図 10 の実施例で、データベース 1 0 3 5 は、どの特徴パラメータが測定されるかに依存して、潜在的に適用され得る複数のモデルを記憶する。したがって、この特定の実施例は、測定され得る特徴パラメータのアプリオリな知識をいくらか必要とする。次にコンピュータシステム 1 0 3 0 は、測定された特徴パラメータを適用すべき潜在的モデルのデータベース 1 0 3 5 から適切なモデルを抽出する。データベース 1 0 3 5 が適切なモデルを含まなければ、特徴パラメータは無視され得るかまたは、そのようにプログラムされていればコンピュータシステム 1 0 3 0 がそれを作り出そうと試み得る。データベース 1 0 3 5 は、光ディスク 1 0 4 0、フロッピー (R) ディスク 1 0 4 5 またはコンピュータシステム 1 0 3 0 のハードディスクドライブ (図示せず) などのいずれの種類のコンピュータ読出可能プログラム記憶媒体に記憶されてもよい。データベース 1 0 3 5 はまた、コンピュータシステム 1 0 3 0 とインターフェイスする別個のコンピュータシステム (図示せず) に記憶されてもよい。

10

【 0 0 6 3 】

測定された特徴パラメータのモデル化は、代替的な実施例では異なって実現され得る。たとえば、コンピュータシステム 1 0 3 0 は、何らの形の人工知能を用いてプログラムされて、センサ出力およびコントローラ入力を分析し、リアルタイム実現例でオンザフライでモデルを作り出し得る。この方策は、データベース 1 0 3 5 が適切なモデルを有しない特徴パラメータを測定し識別する、図 10 に図示されかつ上述された実施例に付属する有用なものであろう。

20

【 0 0 6 4 】

次に、図 9 の方法 9 0 0 は、ボックス 9 4 0 に示されるように、モデルを適用して MOS F E T 加工制御入力パラメータを変更することによって先に進む。実現例に依存して、モデルの適用は、M O S F E T 加工制御入力パラメータの新たな値または既存の M O S F E T 加工制御入力パラメータへの訂正のいずれかを生じ得る。次に、新たな M O S F E T 加工制御入力が、モデルが生じる値から与えられ、線 1 0 2 0 を介して M O S F E T 加工ツールコントローラ 1 0 1 5 に伝送される。次に、M O S F E T 加工ツールコントローラ 1 0 1 5 は、新たな M O S F E T 加工制御入力に従って、その後の M O S F E T 加工プロセス動作を制御する。

30

【 0 0 6 5 】

いくつかの代替的な実施例は、フィードバックの形態を用いて特徴パラメータのモデル化を改良し得る。このフィードバック実現例は、ツールの感知能力および経済性を含むいくつかの異なる事実に依存する。これを行なう 1 つの技術は、モデルの実現例の少なくとも 1 つの影響をモニタすることと、モニタされた影響に基づいてモデルを更新することとであらう。更新もモデルに依存し得る。たとえば、線形モデルは、すべての他のファクタが同じならば、非線形モデルが必要とするのとは異なる更新を必要とし得る。

【 0 0 6 6 】

上記説明から明らかなように、この発明のいくつかの特徴はソフトウェアで実現される。たとえば、図 9 のボックス 9 2 0 - 9 4 0 に示されたステップは、例示的な実施例では、全体がまたは一部がソフトウェアで実現される。したがって、この発明のいくつかの特徴は、コンピュータ読出可能プログラム記憶媒体にエンコードされる命令として実現される。プログラム記憶媒体は、特定の実現例に好適ないずれのタイプのものであってもよい。しかしながら、プログラム記憶媒体は典型的には、フロッピー (R) ディスク 1 0 4 5 もしくはコンピュータ 1 0 3 0 のハードディスクドライブ (図示せず) などの磁気的なものまたは光ディスク 1 0 4 0 などの光学的なものである。コンピュータがこれらの命令を実行すると、命令は開示された機能を実行する。コンピュータは、コンピュータ 1 0 3 0 などのデスクトップコンピュータであってもよい。しかしながら、コンピュータは、代替的に、M O S F E T 加工ツール 1 0 1 0 に埋込まれるプロセッサであってもよい。コンピ

40

50

ュータは、さまざまな他の実施例では、ラップトップ、ワークステーションまたはメインフレームであってもよい。この発明の範囲は、この発明の実施例が実現され得るプログラム記憶媒体またはコンピュータのタイプまたは性質によって限定されるものではない。

【0067】

このように、本明細書中の詳細な説明のいくつかの部分は、アルゴリズム、関数、技術および/またはプロセスの観点から提示されるまたは提示され得る。これらの観点により、当業者は、他の当業者に彼らの研究の実質を最も効果的に伝えることができる。これらの観点は、ここでは一般的に、所望の結果をもたらす一貫したステップのシーケンスであると考えられる。このステップは、物理量の物理的操作を必要とするものである。必須ではないものの、通常これらの量は、記憶、転送、組合せ、比較およびその以外の方法で操作可能な電磁信号の形をとる。

10

【0068】

時には、主に一般的使用という理由のために、これらの信号を、ビット、値、要素、シンボル、キャラクタ、項、数などと称することが好都合であることがわかっている。これらおよび同様の用語のすべては、適切な物理量と関連するものとされかつ、これらの量および作用に当てられる単なる好都合な標識である。特に言及されなければまたは説明から明らかであろうように、本明細書中で用いられる、「加工」「算出」「計算」「決定」「ディスプレイ」などの用語は、コンピュータシステムのレジスタおよび/もしくはメモリ内の物理(電磁)量として表わされるデータを操作しかつ、それを、コンピュータシステムのメモリおよび/もしくはレジスタおよび/もしくは他のそのような情報記憶、伝送および/もしくはディスプレイ装置内の物理量として同様に表わされる他のデータに変換する、コンピュータシステムまたは同様の電子および/もしくは機械計算装置のプロセスおよび作用を指す。

20

【0069】

例示的な装置の構造

図10の装置1000の例示的な実施例1100が図11-12に図示される。ここで、装置1100は高度プロセス制御(APC)システムの一部を含む。図11-12はそれぞれ装置1100の概念化された構造的かつ機能的ブロック図である。MOSFET加工ツール1110上で、ウェハ1105のロットに対して、1組の加工ステップが行なわれる。装置1100はAPCシステムの一部であるため、ウェハ1105はランごとに加工される。したがって、プロセス調節は、ランレベルでの測定または平均に基づいて、ランの持続時間にわたって行なわれかつ一定に保持される。「ラン」は、ロット、ロットのバッチまたは個々のウェハですらあり得る。

30

【0070】

この特定の実施例では、ウェハ1105はMOSFET加工ツール1110によって加工され、プロセス中のさまざまな動作は、MOSFET加工ツール1110とワークステーション1130との間の線1120上の複数のMOSFET加工制御入力信号によって制御される。この実施例のための例示的なMOSFET加工制御入力は、ゲート臨界寸法、ソース/ドレイン接合深さ、ドーピングプロファイルなどのためのものを含み得る。上述のようにおよび図8に示されるように、MOSTランジスタ800はいくつかの加工パラメータによって特定され得る。たとえば、ドーフトポリゲート810は幅 w を有し得、これは次にチャンネル長さ L を定める。チャンネル長さ L は、 $N-MOS(P-MOS)$ ランジスタ800のためのゲート酸化物815の下に形成される2つの金属 $N^+-P(P^--N)$ 接合の間の距離である。2つの金属 $N^+-P(P^--N)$ 接合は、 N^+ ドーブされた(P^+ ドーブされた) LDD 領域830と半導体基板805との間にある。さらに、 N^+ ドーブされた(P^+ ドーブされた)ソース/ドレイン領域820の下(接合深さ d_j を有する)別の接合は、 N^+ ドーブされた(P^+ ドーブされた)ソース/ドレイン領域820と半導体基板805との間に形成され得る。半導体基板805は、 N 型(P 型)半導体基板805について平方センチメートル当りのイオンの数で典型的に与えられるドナー(アクセプタ)不純物の濃度を反映するドーピングレベル $N_D(N_A)$ を有し得る。さらに、 N^+ ドーブ

40

50

された (P^+ ドーピングされた) ソース/ドレイン領域 820 および N^- ドーピングされた (P^- ドーピングされた) LDD 領域 830 は各々、それぞれのドーピングレベル N_{D+} および N_{D-} (N_{A+} および N_{A-}) を有し得る。それぞれのドーピングレベルは、 N^+ ドーピングされた (P^+ ドーピングされた) ソース/ドレイン 820 および N^- ドーピングされた (P^- ドーピングされた) LDD 領域 830 に注入されるイオンの量に依存し得る。その量は、典型的に keV で与えられるイオン注入エネルギーでの平方センチメートル当りのイオンの数で与えられるのが典型的である。さらに、ゲート酸化物 815 は厚み t_{ox} を有し得る。

【0071】

MOSFET 加工ツール 1110 のプロセスステップが完了すると、MOSFET 加工ツール 1110 で加工中の半導体ウェハ 1105 はレビューステーション 1117 で検査される。MOSFET 加工制御入力是一般的に半導体ウェハ 1105 の特徴パラメータに影響を及ぼし、したがって、ウェハ 1105 に対して MOSFET 加工ツール 1110 が行なう作用の変動性および特性に影響を及ぼす。ウェハ 1105 のロットのラン後の検査から一旦エラーを判定すると、線 1120 上の MOSFET 加工制御入力は、ウェハ 1105 のロットのその後のランに対して変更される。線 1120 上の制御信号の変更は、MOSFET 加工ツール 1110 の次のプロセスステップを改良するように設計される。この変更は、図 9 に示された方法 900 の 1 つの特定の実施例に従って行なわれ、以下により詳述される。MOSFET 加工ツール 1110 のための関連の MOSFET 加工制御入力信号が一旦更新されると、新たな設定を有する MOSFET 加工制御入力信号が半導体デバイスのその後のランに用いられる。

【0072】

図 11 および 12 の両者をここで参照して、MOSFET 加工ツール 1110 は、加工モジュールのネットワークを含む製造フレームワークと通信する。1 つのそのようなモジュールは、コンピュータ 1140 に常駐する APC システムマネージャ 1240 である。加工モジュールのこのネットワークが APC システムを構成する。MOSFET 加工ツール 1110 は一般的に、機器インターフェイス 1210 とセンサーインターフェイス 1215 とを含む。マシンインターフェイス 1230 はワークステーション 1130 に常駐する。マシンインターフェイス 1230 は、たとえば APC システムマネージャ 1240 などの APC フレームワークと機器インターフェイス 1210 との間のギャップの橋渡しをする。したがって、マシンインターフェイス 1230 は MOSFET 加工ツール 1110 と APC フレームワークとをインターフェイスし、マシンのセットアップ、活性化、モニタおよびデータ収集をサポートする。センサーインターフェイス 1215 は適切なインターフェイス環境を与えて、LabView (R) またはその他のセンサーバスのデータ獲得ソフトウェアなどの外部センサーと通信する。マシンインターフェイス 1230 とセンサーインターフェイス 1215 の両者とも (通信規格などの) 1 組の機能性を用いて、用いるべきデータを収集する。機器インターフェイス 1210 およびセンサーインターフェイス 1215 は、線 1120 を介して、ワークステーション 1130 に常駐するマシンインターフェイス 1230 と通信する。

【0073】

より特定的には、マシンインターフェイス 1230 は、機器インターフェイス 1210 からコマンド、ステータスイベントおよび収集データを受取り、必要に応じて、これらを他の APC コンポーネントおよびイベントチャネルに転送する。次に、APC コンポーネントからの応答は、マシンインターフェイス 1230 によって受取られ、機器インターフェイス 1210 に再ルーティングされる。マシンインターフェイス 1230 はまた、必要に応じてメッセージおよびデータを再フォーマットおよび再構築する。マシンインターフェイス 1230 は、APC システムマネージャ 1240 内でスタートアップ/シャットダウン手順をサポートする。それは APC データコレクタとしても働き、機器インターフェイス 1210 が収集したデータをバッファし、適切なデータ収集信号を発する。

【0074】

図示された特定の実施例では、APC システムは工場全体のソフトウェアシステムである

が、これがこの発明の実践に必要なわけではない。この発明が教示する制御戦略は、工場のフロアの事実上どの半導体MOSFET加工ツールにも適用可能である。実際に、この発明は、同じ工場または同じ作製プロセス中の複数のMOSFET加工ツール上で同時に用い得る。APCフレームワークはプロセス性能のモニタおよびリモートアクセスを可能にする。さらに、APCフレームワークを利用することにより、ローカルドライブへのデータ記憶よりもデータ記憶がより好都合でより柔軟でかつより安価になり得る。しかしながら、いくつかの代替的な実施例では、この発明をローカルドライブで用いてもよい。

【0075】

例示的な実施例は、多数のソフトウェアコンポーネントを用いて、この発明をAPCフレームワーク上に展開する。APCフレームワーク内のコンポーネントに加えて、制御システムに含まれる半導体MOSFET加工ツールの各々ごとにコンピュータスクリプトが書かれる。制御システム中の半導体MOSFET加工ツールが半導体製造工場で始動されると、半導体MOSFET加工ツールは一般的にスクリプトを呼出して、MOSFET加工ツールコントローラが必要とする作用を開始する。制御方法は、これらのスクリプトを用いて、一般的に規定されかつ実行される。これらのスクリプトの展開は、制御システムの展開のかなりの部分を含み得る。

【0076】

この特定の実施例では、MOSFET加工動作を制御するのに含まれるタスクを行なういくつかの別個のソフトウェアスクリプトが存在する。レビューステーション1117およびMOSFET加工ツールコントローラ1115を含むMOSFET加工ツール1110のためのスクリプトが1つ存在する。また、レビューステーション1117からの実際のデータ捕捉を扱うスクリプトと、他のスクリプトのいずれもが参照し得る共通の手順を含む別のスクリプトとも存在する。APCシステムマネージャ1240用のスクリプトも存在する。しかしながら、スクリプトの正確な数は実現例特有であり、代替的な実施例は他の数のスクリプトを用い得る。

【0077】

例示的な装置の動作

図13は図9の方法900の1つの特定の実施例1300を図示する。方法1300は図11-12に図示された装置1100を用いて実践され得るが、この発明はそうに限定されるものではない。方法1300は、図13に示された機能を実行し得るいずれの装置を用いて実践されてもよい。さらに、図9の方法900は、図13の方法1300の代替の実施例で実践されてもよい。

【0078】

ここで図11-13のすべてを参照して、方法1300は、ボックス1310に示されるように、MOSFET加工ツール1110などのMOSFET加工ツールを介してウェハ1105のロットを加工することによって始まる。この特定の実施例では、MOSFET加工ツール1110は、マシンインターフェイス1230および機器インターフェイス1210を介して、APCシステムマネージャ1240による加工のために初期化されている。この特定の実施例では、MOSFET加工ツール1110を走らせる前に、APCシステムマネージャスクリプトを呼出してMOSFET加工ツール1110を初期化する。このステップで、スクリプトはMOSFET加工ツール1110の識別番号と、ウェハ1105のロット番号とを記録する。次に、ロット番号に対してデータ記憶1160中に識別番号を記憶する。APCData呼出しならびにSetupおよびStartMachine呼出しなどのスクリプトの残余は、マシンにデフォルト設定を使わせるために、ブランクまたはダミーデータで表わされる。

【0079】

この初期化の一部として、MOSFET加工制御のための初期設定値が、線1120を介してMOSFET加工ツールコントローラ1115に与えられる。これらの初期設定値は、技術分野で公知のいずれの好適な態様で定められかつ実現されてもよい。図示される特

10

20

30

40

50

定の実施例では、M O S F E T加工制御は制御スレッドによって実現される。各制御スレッドは別個のコントローラのように働き、さまざまなプロセス条件によって差別化される。M O S F E T加工制御については、制御スレッドは異なる条件の組合せによって分離される。これらの条件は、たとえば、現在ウェハロットを加工している半導体M O S F E T加工ツール1110、半導体製品、半導体製造動作および以前に半導体ウェハロットを加工した1つ以上の半導体加工ツール（図示せず）を含み得る。

【0080】

異なるプロセス条件が異なってM O S F E T加工エラーに影響を及ぼすために、制御スレッドは分離される。プロセス条件の各々をそれ自身の対応する制御スレッドに分離することにより、M O S F E T加工エラーは、制御スレッド中のその後の半導体ウェハロットを加工する条件をより正確に写したものとなり得る。エラー測定はより関連性が高いため、エラーに基づくM O S F E T加工制御入力信号に対する変更がより適切であろう。

10

【0081】

M O S F E T加工制御機構のための制御スレッドは、現在のM O S F E T加工ツール、現在の動作、現在のロットのための製品コードおよび前の加工ステップでの識別番号に依存する。最初の3つのパラメータは一般的に、M O S F E T加工ツール1110からスクリプトに伝えられる文脈情報の中に見られる。4番目のパラメータは、一般的に、ロットが予め加工されるときに記憶される。すべての4つのパラメータを一旦規定すると、それらを組合せて制御スレッド名を形成する。すなわち、M O S P 0 2 _ _ O P E R 0 1 _ _ P R O D 0 1 _ _ M O S P 0 1 は制御スレッド名の一例である。制御スレッド名はまた、データ記憶1160の中に、ウェハロット番号に対応して記憶される。

20

【0082】

ロットが一旦制御スレッド名と関連づけられると、その制御スレッドに対する初期設定は一般的にデータ記憶1160から検索される。情報が呼出されるとき、少なくとも2つの可能性が存在する。1つの可能性は、現在の制御スレッド名で記憶された設定が存在しない場合である。これは、制御スレッドが新しい場合または情報が失われたもしくは削除された場合に起こり得る。こうした場合、スクリプトは、それと関連のエラーがないものとして制御スレッドを初期化し、M O S F E T加工エラーのターゲット値をM O S F E T加工制御入力設定として用いる。コントローラがデフォルトマシン設定を初期設定として用いることが好ましい。いくつかの設定を仮定することにより、M O S F E T加工エラーは、フィードバック制御を容易にするために、制御設定に戻して関連づけられ得る。

30

【0083】

別の可能性は、初期設定が制御スレッド名で記憶されている場合である。この場合、現在のウェハロットと同じ制御スレッド名で1つ以上のウェハロットが加工されており、また、レビューステーション1117を用いてM O S F E T加工エラーも測定されている。この情報が存在するとき、M O S F E T加工制御入力信号設定がデータ記憶1160から検索される。次にこれらの設定はM O S F E T加工ツール1110にダウンロードされる。

【0084】

ウェハ1105はM O S F E T加工ツール1110によって加工される。図示された実施例では、これは、誘電膜または層のエッチおよび/または堆積および/またはエッチ/堆積を含む。ウェハ1105は、M O S F E T加工ツール1110に対するそれらのM O S F E T加工の後にレビューステーション1117上で測定される。レビューステーション1117は、ウェハが加工された後に多数のエラーについてウェハ1105を検査する。レビューステーション1117の器具が生成したデータは、センサーインターフェイス1215および線1120を介してマシンインターフェイス1230に伝えられる。レビューステーションのスクリプトは、データ収集のための多数のA P Cコマンドによって始まる。次に、レビューステーションスクリプトはそれ自身を定位置にロックし、データ入手可能スクリプトを活性化する。このスクリプトは、レビューステーション1117からA P Cフレームワークへの実際のデータ転送を容易にする。一旦転送が完了すると、スクリプトは終了し、レビューステーションスクリプトのロックを解除する。次にレビューステ

40

50

ーション 1 1 1 7 との対話が一般的に完了する。

【 0 0 8 5 】

この開示による利益を有する当業者には認められるように、レビューステーション 1 1 1 7 が生成するデータは使用のために前処理する必要がある。K L A レビューステーションなどのレビューステーションは、制御エラーを測定するための制御アルゴリズムを与える。この特定の実施例では、エラー測定値の各々は、直接的な態様で線 1 1 2 0 上の M O S F E T 加工制御入力信号の 1 つに対応する。エラーを用いて M O S F E T 加工制御入力信号を訂正可能になる前に、ある量の前処理が一般的に完了する。

【 0 0 8 6 】

たとえば、前処理は、アウトライアー拒否を含み得る。アウトライアー拒否は、プロセスの履歴性能に照らして、受取ったデータが妥当であることを確実にする全体的なエラーチェックである。この手順は、M O S F E T 加工エラーの各々をその対応する予め定められた境界パラメータとを比較するステップを含む。1 つの実施例では、予め定められた境界の 1 つを超えたとしても、半導体ウェハロット全体からのエラーデータが一般的に拒否される。

【 0 0 8 7 】

アウトライアー拒否の限界を定めるため、何千もの実際の半導体製造作製（ファブ）データ点が収集される。次に、この収集されたデータ中の各エラーパラメータごとの標準偏差が計算される。1 つの実施例では、アウトライアー拒否のために、予め定められた境界として（プラスとマイナスの両者の）標準偏差の 9 倍が一般的に選ばれる。これは主に、プロセスの通常の動作条件を大きく外れる点のみを確実に拒否するために行なわれた。

【 0 0 8 8 】

前処理はデータも平滑化し得る。これはフィルタリングとしても公知である。エラー測定値はある量のランダムさを有しやすいためにエラーの値が大きく偏るため、フィルタリングが重要である。レビューステーションのデータをフィルタリングすることにより、M O S F E T 加工制御入力信号設定におけるエラーのより正確な評価がもたらされる。1 つの実施例では、M O S F E T 加工制御機構は、指数重みづけ移動平均（E W M A）フィルタとして公知のフィルタリング手順を用いるが、他のフィルタリング手順をこの文脈で利用することができる。

【 0 0 8 9 】

E W M A フィルタの 1 つの実施例が式（ 1 ）で表わされる。

$$A V G_N = W * M_C + (1 - W) * A V G_P \quad (1)$$

式中、

【 0 0 9 0 】

【 数 1 1 】

$A V G_N \equiv$ 新たな E W M A 平均

$W \equiv$ 新たな平均の重み付け（ $A V G_N$ ）

$M_C \equiv$ 現在の測定値

$A V G_P \equiv$ 以前の E W M A 平均

【 0 0 9 1 】

重みは、フィルタリングの量を制御するのに用い得る調節可能なパラメータであり、一般的に 0 と 1 との間にある。重みは現在のデータ点の正確さの信頼度を表わす。測定が正確であると考えられる場合、重みは 1 に近い。プロセス中にかなりの量の変動が存在すれば、0 により近い数字が適切であろう。

【 0 0 9 2 】

1 つの実施例では、E W M A フィルタリングプロセスを利用するための少なくとも 2 つの

技術が存在する。第1の技術は、上述のように、以前の平均、重みおよび現在の測定値を用いる。第1の実現例を用いる利点は、利用しやすさおよび最小データ記憶である。第1の実現例を用いる欠点の1つは、この方法が一般的にプロセス情報をあまり保持しないことである。さらに、この態様で計算される以前の平均は、それに先立つあらゆるデータ点から構成されるが、これは望ましくないであろう。第2の技術はデータのうちいくつかのみを保持し、その都度生データから平均を計算する。

【0093】

半導体製造工場の製造環境はいくつかの独自の課題を提示する。MOSFET加工ツールによって半導体ウェハロットを加工する順序が、レビューステーションでそれらを読み出す順序と対応しないことがある。これは、データ点がシーケンスを外れてEWMA平均に加えらることに繋がり得る。半導体ウェハロットを1度よりも多く分析してエラー測定値を検証してもよい。データ保持がない場合、両者の読取りがEWMA平均に寄与するが、これは望ましくない特徴であろう。さらに、制御スレッドのいくつかは低いボリュームを有し得るが、これにより以前の平均が古くなってしまい、したがってMOSFET加工制御入力信号設定におけるエラーを正確に表わすことができないであろう。

【0094】

MOSFET加工ツールコントローラ1115は、この特定の実施例では、限られたデータ記憶を用いて、EWMAフィルタされたエラーを計算する。すなわち第1の技術である。ロット番号、ロットが加工された時間および多数のエラー推定を含むウェハロットデータは、制御スレッド名でデータ記憶1160に記憶される。新たな1組のデータが収集されると、データのスタックがデータ記憶1160から検索されかつ分析される。加工中の現在のロットのロット番号がスタック中のものと比較される。そこに存在するデータのいずれかとロット番号とが一致すれば、エラー測定値が置換えられる。一致しなければ、ロットが加工された期間に従って、現在のスタックにデータ点が時系列順に加えらる。1つの実施例では、128時間よりも古いスタック内のいずれのデータ点も除去される。上述のステップが一旦完了すると、新たなフィルタ平均が計算され、データ記憶1160に記憶される。

【0095】

こうして、データが収集されかつ前処理され、次に加工されて、MOSFET加工制御入力信号設定中の現在のエラーの推定を生成する。まず、上述のアウトライアー拒否基準を実行するコンパイルされたMatlab(R)プラグインにデータが伝えらる。プラグインインターフェイスへの入力は、多数のエラー測定値および境界値を含むアレイである。プラグインインターフェイスからの戻りは単一のトグル変数である。0でない戻りは、拒否基準に満たなかったことを示し、それ以外では変数はデフォルト値である0を戻し、スクリプトはプロセスを継続する。

【0096】

アウトライアー拒否が完了した後、データはEWMAフィルタリング手順に伝えらる。ロットと関連の制御スレッド名のためのコントローラデータが検索され、ロットデータのスタック上の関連動作のすべてが実行される。これは、冗長データを置換えることまたはより古いデータを除去することを含む。一旦データスタックの準備が十分に整うと、それはエラー値に対応する時間昇順アレイにパース解析される。これらのアレイは、実行に必要なパラメータのアレイとともにEWMAプラグインに与えらる。1つの実施例では、プラグインからの戻りはフィルタされた6つのエラー値を含む。

【0097】

図13に戻って、データ前処理は、ボックス1320に示されるように、最終WET測定ステップでワークピース1105WET値を測定することを含む。公知の潜在的特徴パラメータは、特徴データパターンによって識別され得るかまたは、MOSFET加工制御への公知の変更の結果として識別され得る。ゲート臨界寸法の変更が、上に与えられたエッチ/堆積された誘電膜の堆積の変動性にどのように影響を及ぼすかの例は、この後者のカテゴリに入る。

10

20

30

40

50

【0098】

制御プロセスの次のステップは、MOSFET加工ツール1110のMOSFET加工ツールコントローラ1115の新たな設定を計算することである。現在のウェハロットに対応する制御スレッドの前の設定がデータ記憶1160から検索される。このデータは現在の組のMOSFET加工エラーと対にされる。新たな設定は、コンパイルされたMatlab(R)プラグインを呼出すことによって計算される。このアプリケーションは多数の入力を組入れ、別個の実行コンポーネントで計算を行ない、多数の出力をメインスクリプトに戻す。一般的に、Matlab(R)プラグインの入力は、MOSFET加工制御入力信号設定、レビューステーションエラー、制御アルゴリズムに必要なパラメータのレイアウトおよび現在未使用のフラグエラーである。Matlab(R)プラグインの出力は、上述のコントローラアルゴリズムに従うプラグインで計算された新たなコントローラ設定である。

10

【0099】

制御作用の実際の形態および範囲を一般的に定めるMOSFET加工プロセス技術者または制御技術者がパラメータを設定することができる。それらは、しきい値、最大ステップサイズ、コントローラ重みおよびターゲット値を含む。新たなパラメータ設定が一旦計算されると、スクリプトはデータ記憶1160にその設定を記憶し、それにより、MOSFET加工ツール1110は、加工すべき次のウェハロットのためにそれらを検索することができる。この発明が教示する原則は他のタイプの製造フレームワークで実現可能である。

20

【0100】

再び図13に戻って、新たな設定の計算は、ボックス1330に示されるように、MOSFET加工レシピパラメータの関数としてワークピース1105WET値をモデル化することを含む。このモデル化は、Matlab(R)プラグインによって行なわれ得る。この特定の実施例では、公知の潜在的特徴パラメータのみがモデル化され、モデルはマシンインターフェイス1230がアクセスするデータベース1135に記憶される。データベース1135は、示されるように、ワークステーション1130にまたはAPCフレームワークの何らかの他の部分に常駐し得る。たとえば、モデルは、代替的な実施例では、APCシステムマネージャ1240が管理するデータ記憶1160に記憶され得る。モデルは一般的に数学モデルである。すなわち、MOSFET加工レシピ制御の変更が最終WETにおけるWET測定およびMOSFET加工性能などにどのように影響を及ぼすかを説明する式である。上に与えられたさまざまな例示的な実施例に説明されたトランジスタモデルおよび/または加工ステップサブモデルがそのようなモデルの例である。

30

【0101】

用いられる特定のモデルは、特定のMOSFET加工ツール1110およびモデル化される特定の特徴パラメータに依存して、実現例特有である。モデルにおける関係が線形であるかまたは非線形であるかは、含まれる特定のパラメータに依存する。

【0102】

次に、新たな設定は、MOSFET加工ツールコントローラ1115に伝送され、それによって適用される。したがって、ここで図13に戻って、ワークピース1105WET値が一旦モデル化されると、ボックス1340に示されるように、モデルは、少なくとも1つのMOSFET加工レシピ制御入力パラメータを変更するのに適用される。この特定の実施例では、マシンインターフェイス1230がデータベース1135からモデルを検索し、それぞれの値をプラグインし、MOSFET加工レシピ制御入力パラメータの必要な変更を定める。次にこの変更は、マシンインターフェイス1230により、線1120を介して機器インターフェイス1210に通信される。次に機器インターフェイス1210がこの変更を実現する。

40

【0103】

この実施例はさらに、モデルが更新されることを提供する。これは、図13のボックス1350-1360に示されるように、MOSFET加工レシピ制御入力パラメータを変更

50

することの少なくとも１つの影響をモニタすること（ボックス１３５０）と、モニタされた影響に基づいて、適用されたモデルを更新すること（ボックス１３６０）とを含む。たとえば、ＭＯＳＦＥＴ加工ツール１１１０の動作のさまざまな局面は、ＭＯＳＦＥＴ加工ツール１１１０が古くなるにつれて変化する。特徴パラメータ（たとえば、ワークピース１１０５のゲート臨界寸法）測定の結果として実現されるＭＯＳＦＥＴ加工レシピ変更の影響をモニタすることにより、必要な値を更新して、より優れた性能をもたらすことができる。

【０１０４】

上記のように、この特定の実施例がＡＰＣシステムを実現する。したがって、変更はロットの「間」に実現される。ボックス１３２０－１３６０に示される作用は、現在のロットを加工した後および第２のロットを加工する前に、図１３のボックス１３７０に示されるように実現される。しかしながら、この発明はそのように限定されるものではない。さらに、上記のように、ロットは１から数千（または実際にはいずれの有限な数）までのいずれの実際的な数のウェハを構成してもよい。「ロット」を構成するものは実現例特有であり、したがって、更新が行なわれる作製プロセス中の点は実現例によって異なる。

10

【０１０５】

この発明に従う製造方法の、上に開示された実施例のいずれによっても、測定ツールおよび／またはウェハ電気テスト（ＷＥＴ）から送られるパラメータ測定の中央値および広がりを用いることでマニュアルでおよび／または自動的に監視的加工調節を行ない、歩留まりを向上させおよび／またはよりよく制御できるようになる。さらに、この発明に従う製造方法の、上に開示された実施例のいずれによっても、向上したデバイスの正確さおよび精度、向上した効率および向上したデバイス歩留まりを備える半導体デバイス作製が可能になり、能率化され単純化されたプロセスフローが可能になり、それにより複雑さを減じかつ製造プロセスのコストを低下させ、スループットを向上させる。

20

【０１０６】

上に開示された特定の実施例は例示のみのものであり、この発明は、本明細書中の教示の利益を有する当業者には明らかな、異なるがしかし均等な態様で変更されかつ実践され得る。さらに、添付の請求項に記載のもの以外の、本明細書中に示された構成または設計の詳細に対していかなる限定も意図されるものではない。したがって、上に開示された特定の実施例が変形されたりまたは変更されたりしてもよく、すべてのそのような変形はこの発明の精神および範囲内にあると考えられることが明らかである。したがって、本明細書中で求められる保護範囲は添付の請求項に述べられるとおりである。

30

【図面の簡単な説明】

【図１】 この発明に従う製造方法のさまざまな実施例のフローチャートを概略的に示す図である。

【図２】 この発明に従う製造方法のさまざまな実施例のフローチャートを概略的に示す図である。

【図３】 この発明に従う製造方法のさまざまな実施例のフローチャートを概略的に示す図である。

【図４】 この発明に従う製造方法のさまざまな実施例のフローチャートを概略的に示す図である。

40

【図５】 この発明に従う製造方法のさまざまな実施例のフローチャートを概略的に示す図である。

【図６】 この発明に従う製造方法のさまざまな実施例のフローチャートを概略的に示す図である。

【図７】 この発明に従う製造方法のさまざまな実施例のフローチャートを概略的に示す図である。

【図８】 この発明に従う製造方法のさまざまな実施例でテストされるＭＯＳトランジスタの代表のＭＯＳトランジスタを概略的に示す図である。

【図９】 この発明に従って実践される半導体デバイス製造方法を概略的に示す図である

50

。

【図 10】 この発明に従う、M O S F E T 加工ツールを用いて、複数の制御入力信号を用いて加工されるワークピースを概略的に示す図である。

【図 11】 図 10 のプロセスおよびツールの 1 つの特定の実施例を概略的に示す図である。

【図 12】 図 10 のプロセスおよびツールの 1 つの特定の実施例を概略的に示す図である。

【図 13】 図 11 - 図 12 のプロセスおよびツールを用いて実践され得るような、図 9 の方法の 1 つの特定の実施例を概略的に示す図である。

【図 1】

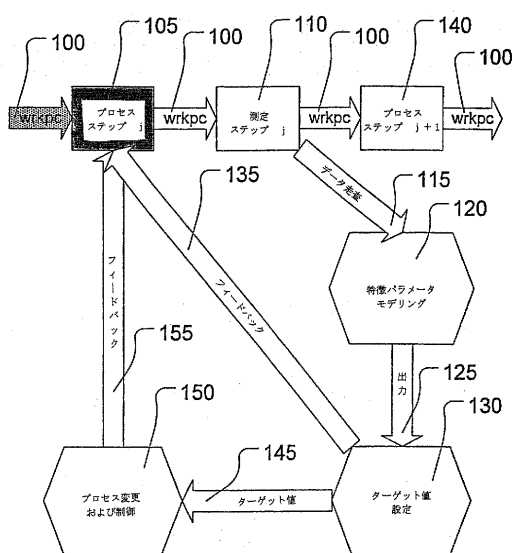


Figure 1

【図 2】

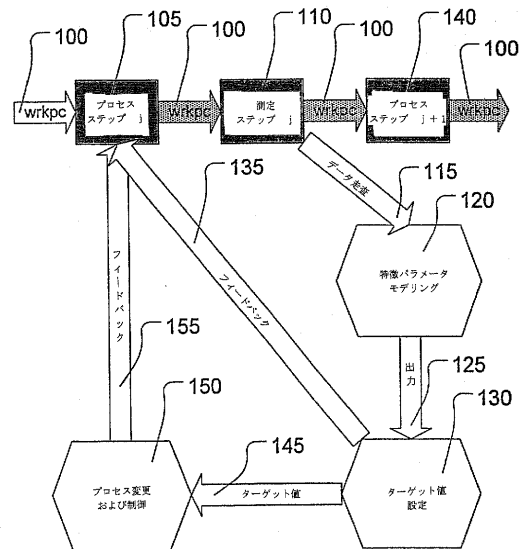


Figure 2

【図 3】

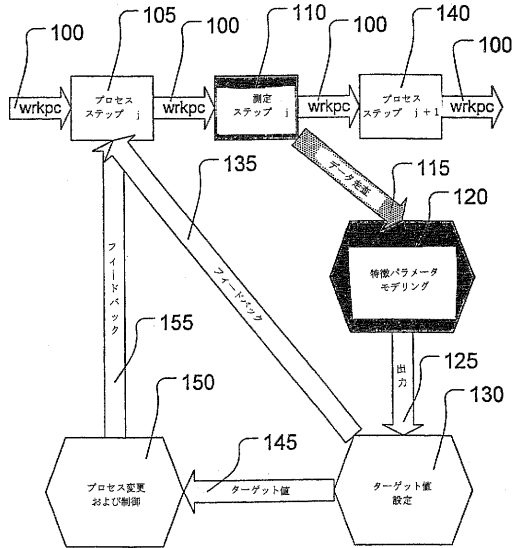


Figure 3

【図 4】

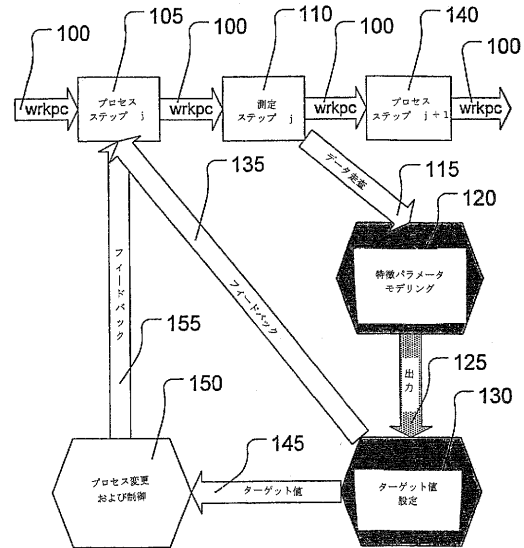


Figure 4

【図 5】

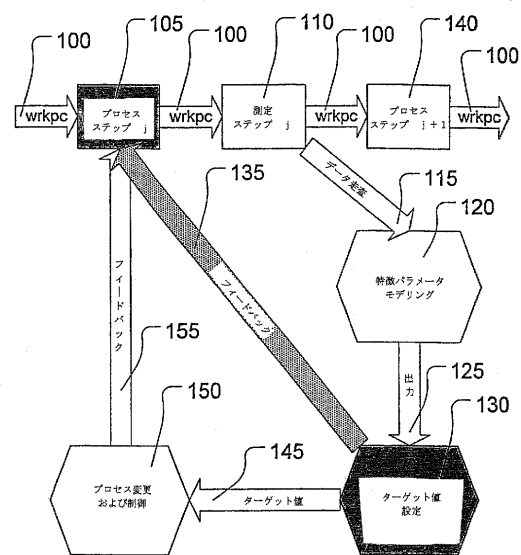


Figure 5

【図 6】

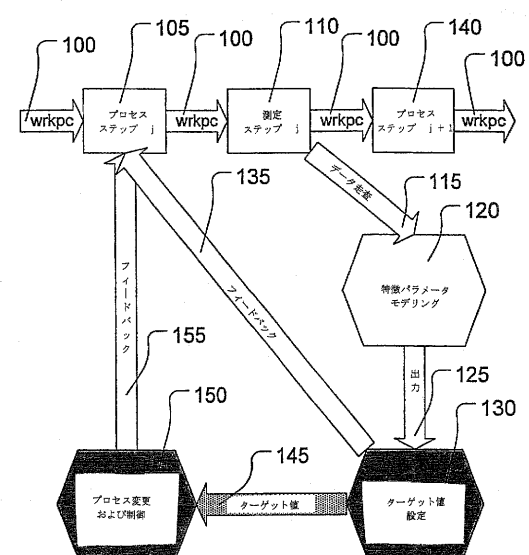


Figure 6

【図 7】

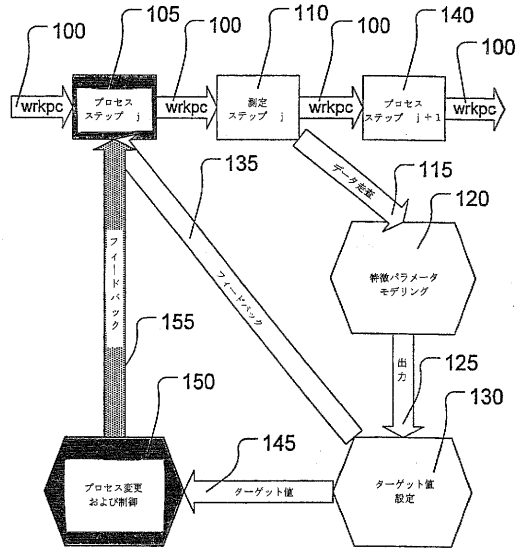


Figure 7

【図 8】

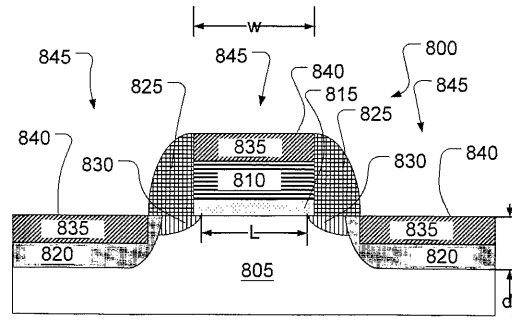


Figure 8

【図 9】

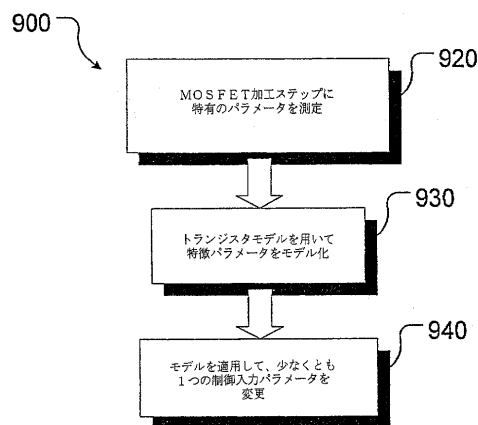


Figure 9

【図 11】

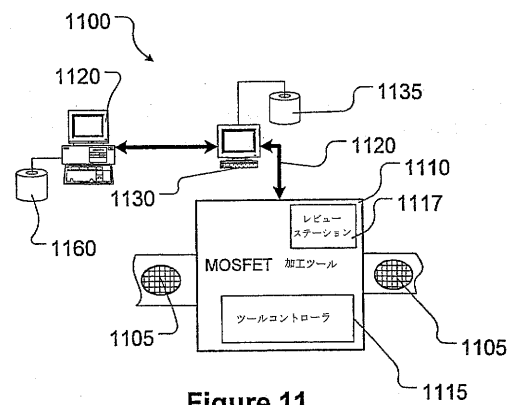


Figure 11

【図 10】

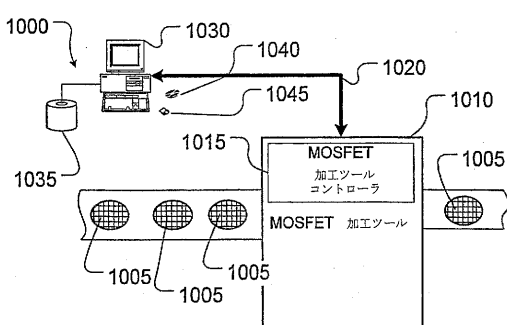


Figure 10

【図 12】

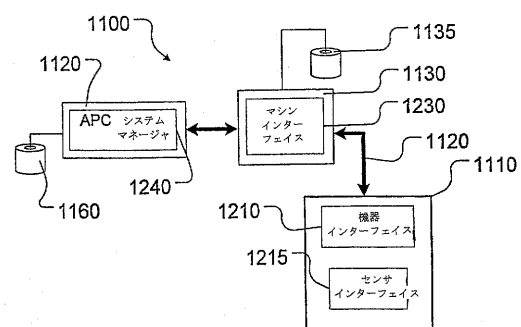


Figure 12

【図 13】

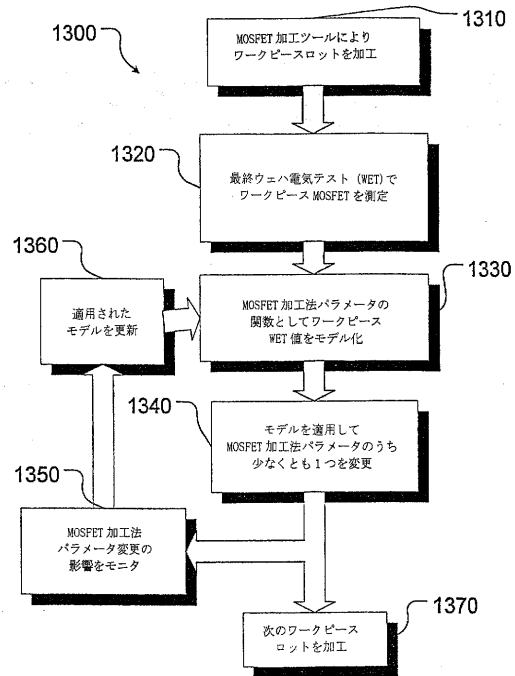


Figure 13

フロントページの続き

(74)代理人 100083703

弁理士 仲村 義平

(74)代理人 100096781

弁理士 堀井 豊

(72)発明者 トブラク, アンソニー・ジェイ

アメリカ合衆国、 7 8 7 3 1 テキサス州、オースティン、ウォルナット・クレイ、 4 0 2 3

(72)発明者 ミラー, マイケル・エル

アメリカ合衆国、 7 8 6 1 3 テキサス州、セダー・パーク、リトル・エルム・トレイル、 2 6 1
4

(72)発明者 ソンダーマン, トーマス

アメリカ合衆国、 7 8 7 1 7 テキサス州、オースティン、ブラエスゲイト・ドライブ、 1 6 0 1
0

審査官 田代 吉成

(56)参考文献 特開昭 6 3 - 1 7 4 3 3 1 (J P , A)

特開昭 5 5 - 1 5 0 2 2 1 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01L 21/02