

(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.

H01L 21/02 (2006.01)

F 1

H01L 21/02

Z

請求項の数 20 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2001-550802 (P2001-550802)  
 (86) (22) 出願日 平成12年12月4日 (2000.12.4)  
 (65) 公表番号 特表2003-519922 (P2003-519922A)  
 (43) 公表日 平成15年6月24日 (2003.6.24)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2000/032948  
 (87) 國際公開番号 WO2001/050522  
 (87) 國際公開日 平成13年7月12日 (2001.7.12)  
 審査請求日 平成19年11月16日 (2007.11.16)  
 (31) 優先権主張番号 09/477,464  
 (32) 優先日 平成12年1月4日 (2000.1.4)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

前置審査

(73) 特許権者 591016172  
 アドバンスト・マイクロ・ディバイシズ・  
 インコーポレイテッド  
 ADVANCED MICRO DEVICES INCORPORATED  
 アメリカ合衆国、94088-3453  
 カリフォルニア州、サンノイベイル、ビィ・  
 オウ・ボックス・3453、ワン・エイ・  
 エム・ディ・ブレイス、メイル・ストップ  
 ・68 (番地なし)  
 (74) 代理人 100064746  
 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、MOS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、MOS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、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、MOSトランジスタの薄くドープされたドレイン（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さらに含む、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、MOS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、MOS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、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プされたドレイン（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プされたドレイン（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プされたドレイン（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。

**【請求項 20】**

30

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も、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。

10

#### 【 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  $d_j$  ( ドープされた基板内に形成される濃くドープされたソース / ドレイン領域の底部までの、ドープ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  $k \text{ eV}$  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。

20

#### 【 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。

30

#### 【 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。

40

#### 【 0 0 0 7 】

#### 【発明の開示】

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。

【0008】

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

【0009】

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。

【0010】

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。20

【0011】

なお、図1から図13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。

【0012】

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

【0013】

【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

【0014】

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13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チ100が加工ステップj105に配達される。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チ100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。

【0015】

10

20

30

40

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+1 140に配送され、次に加工ステップj+1 140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=N 110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)のいず

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。

#### 【0021】

図6に示されるように、フィードバック制御信号135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130からプロセス変更および制御ステップ150にターゲット値145を送り得る。プロセス変更および制御ステップ150では、ターゲット値145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150から加工ステップj105にフィードバック制御信号155を送り、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155は、プロセス変更および制御ステップ150から前の加工ステップ(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j105、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WET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j105で設定値を変更し、それによりその後の生産をWET測定ターゲット値のより近くに駆動する。

10

#### 【0022】

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-110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／またはワーカピース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、ワーカピース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／またはワーカピース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。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(MOSFETまたはMOSトランジスタ)800は、ドープトシリコンなどの半導体基板805上に形成され得る。MOSトランジスタ800は、半導体基板805上に形成された、ゲート酸化物815上に形成されたドープトポリゲート810を有し得る。ドープトポリゲート810およびゲート酸化物815は、誘電体スペーサ825により、MOSトランジスタ800のN<sup>+</sup>ドープされた(P<sup>+</sup>ドープされた)ソース／ドレイン領域820から分離され得る。誘電スペーサ825は、N<sup>-</sup>ドープされた(P<sup>-</sup>ドープされた)薄くドープされたドレイン(LDD)領域830上に形成され得る。

20

#### 【0023】

N<sup>-</sup>ドープされた(P<sup>-</sup>ドープされた)LDD領域830は、典型的に、MOSトランジスタ800のN<sup>+</sup>ドープされた(P<sup>+</sup>ドープされた)ソース／ドレイン領域820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。MOSトランジスタ800のN<sup>+</sup>ドープされた(P<sup>+</sup>ドープされた)ソース／ドレイン領域820に対する、N<sup>-</sup>ドープされた(P<sup>-</sup>ドープされた)LDD領域830のより低い(またはより薄い)ドーピングは、MOSトランジスタ800のN<sup>+</sup>ドープされた(P<sup>+</sup>ドープされた)ソース／ドレイン領域820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<sup>-</sup>ドープされた(P<sup>-</sup>ドープされた)LDD領域830のソース-ドレイン抵抗を増大させてしまう。

30

#### 【0024】

チタン(Ti)金属層(図示せず)は、MOSトランジスタ800上に一面に堆積され(blanket-deposited)、次に、約15-60秒にわたる時間の間、約450-800にわたる温度で行なわれる初期高速熱アニール(RTA)プロセスを受けたであろう。N<sup>+</sup>ドープされた(P<sup>+</sup>ドープされた)ソース／ドレイン領域820およびドープトポリゲート810などの活性区域845の表面840では、露出したSiは、加熱されるとTi金属と反応して、活性区域845の表面840上にチタンシリサイド(TiSi<sub>2</sub>)層835を形成する。Ti金属は、加熱されても、誘電体スペーサ825と反応するとは考えられない。Ti金属の湿性化学性(wet chemical)ストリップは、Ti金属層235の過剰

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 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<sub>2</sub>層 835 を残す。次に、サリサイド化 TiSi<sub>2</sub> 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 R T A 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<sup>-</sup>-P (P<sup>-</sup>-N) 接合の間の距離であり、2 つの金属 N<sup>-</sup>-P (P<sup>-</sup>-N) 接合は、N<sup>-</sup>ドープされた (P<sup>-</sup>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<sup>+</sup>ドープされた (P<sup>+</sup>ドープされた) ソース / ドレイン領域 820 下の（接合深さ d<sub>j</sub> を有する）別の接合が、N<sup>+</sup>ドープされた (P<sup>+</sup>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<sub>D</sub> (N<sub>A</sub>)) を有し得る。さらに、N<sup>+</sup>ドープされた (P<sup>+</sup>ドープされた) ソース / ドレイン領域 820 および N<sup>-</sup>ドープされた (P<sup>-</sup>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<sub>D+</sub> および N<sub>D-</sub> (N<sub>A+</sub> および N<sub>A-</sub>) を有し得る。それぞれのドーピングレベルは、N<sup>+</sup>ドープされた (P<sup>+</sup>ドープされた) ソース / ドレイン領域 820 および N<sup>-</sup>ドープされた (P<sup>-</sup>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<sub>ox</sub> 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<sub>dsat</sub> 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<sub>D</sub>、ゲート電圧 V<sub>G</sub> および / または基板電圧 (もしくはバイアス) V<sub>BS</sub> の異なる値でドレイン - ソース電流 I<sub>D</sub> を測定し得る。ドレイン電圧 V<sub>D</sub> の変化によるドレイン - ソース電流 I<sub>D</sub> の変化を測定することにより、一定のゲート電圧 V<sub>G</sub> で、チャネルコンダクタンス g<sub>D</sub> が

#### 【0027】

##### 【数 1】

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

#### 【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<sub>n</sub> は (E = V<sub>D</sub> / L がドレイン / ソースを横切る電界であるとき、V<sub>ndrift</sub> = μ<sub>n</sub> E による電子のドリフト速度 V<sub>ndrift</sub> に関する) 電子の移動度であり、C<sub>i</sub> は、単位面積当りのキャパシタンスであり (C<sub>i</sub> = t<sub>ox</sub> / t<sub>ox</sub>、式中 t<sub>ox</sub> (4 はゲート酸化物 815 の誘電率である)、V<sub>T</sub> 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<sub>G</sub> の変化によるドレイン - ソース電流 I<sub>D</sub> の変化を測定することにより、一定のドレイン電圧 V<sub>D</sub> で、相互コンダクタンス g<sub>m</sub> が

10

20

30

40

50

【0029】

【数2】

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

【0030】

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、 $V_D < < (V_G - V_T)$  に対して

【0031】

10

【数3】

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

【0032】

であり、しきい値電圧  $V_T$  は

【0033】

【数4】

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

20

【0034】

で与えられる。式中、 $\psi_B$  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、 $\varepsilon_s$  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、 $I_{D,eff} = f(V_T, L_{eff}, \dots)$  かつ  $I_{D,eff} = f(V_T, L_{eff}, \dots) = f(V_T, L_{eff} (ゲートCD, スペーサ幅, \dots), \dots)$  である。

30

【0035】

【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  $\underline{y}_\alpha$ 、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  $\underline{x}_\beta$ 、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  $\underline{y}_\alpha$ 、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  $\underline{y}_\alpha$ 、ここで  $\alpha = 1$  から  $\alpha = m$ 、である  $s \times m$  の行列  $\underline{Y}_{s \times m}$  として表わされ得る。

$$\underline{Y}_{s \times m} = (\underline{y}_\alpha) = (y_1 \ \cdots \ y_m) = (y_{\beta\alpha}) = \begin{pmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{s1} & \cdots & y_{sm} \end{pmatrix} \quad 10$$

同様に、測定されたWET 値  $\underline{x}_\beta$ 、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  $\underline{x}_\beta$ 、ここで  $\beta = 1$  から  $\beta = n$ 、である  $t \times n$  の行列  $\underline{X}_{t \times n}$  として表わされ得る。

$$\underline{X}_{t \times n} = (\underline{x}_\beta) = (x_1 \ \cdots \ x_n) = (x_{\beta\alpha}) = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{t1} & \cdots & x_{tn} \end{pmatrix} \quad 20$$

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  $\underline{Y}_{s \times m}$  を、左側を  $t \times s$  の行列  $\underline{L}_{t \times s}$  および右側を  $m \times n$  の行列  $\underline{R}_{m \times n}$  で乗算したものとして表わされ得る。

$$\underline{L}_{t \times s} \underline{Y}_{s \times m} \underline{R}_{m \times n} = \underline{X}_{t \times n} = \begin{pmatrix} l_{11} & \cdots & l_{1s} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ l_{n1} & \cdots & l_{ns} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{s1} & \cdots & y_{sm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \cdots & r_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{t1} & \cdots & x_{tn} \end{pmatrix}$$

## 【0036】

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  $\underline{x}_\beta$ 、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  $\underline{y}_\alpha$ 、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いずれを検出および／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  $\underline{y}_\alpha$ 、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。

## 【0037】

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  $\underline{y}_\alpha$ 、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  $\underline{x}_\beta$ 、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  $\underline{y}_\alpha$ 、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  $\underline{x}_\beta$ 、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 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）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 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）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、高速熱アーナー（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、 $i_1(poly)$  および  $i_2(source/drain)$  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  $i_1(poly)$  および  $i_2(source/drain)$  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 N 105 の後のワークピース 100 などの）完成了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

$\dots, m_k, \dots, m_M$ ) 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、 $m^{\text{corr}} = m - e = t$  となるように訂正 W E T 値  $m^{\text{corr}}$  を規定し得る。この訂正 W E T 値  $m^{\text{corr}}$  を用いて、 $o^{\text{corr}} = F^{-1}(m^{\text{corr}})$  または  $o^{\text{corr}} = F^{-1}(m - e)$  または  $o^{\text{corr}} = F^{-1}(t)$  で与えられる、訂正トランジスタモデル出力  $o^{\text{corr}}$  を規定し得る。10

#### 【 0 0 4 2 】

訂正トランジスタモデル出力  $o^{\text{corr}}$  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  $i^{\text{corr}} = T^{-1}(o^{\text{corr}}) = T^{-1}(F^{-1}(t))$  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  $i^{\text{approx}}$  を用いて、 $T(i^{\text{approx}}) = o^{\text{corr}}$  となるように所望の訂正トランジスタモデル出力  $o^{\text{corr}}$  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  $i^{\text{corr}}$  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  $j_{105}$  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) のうちいずれかまたはすべてに適用し得る。さまざまな例示的な実施例では、全訂正を適用する。さまざまな代替的な例示的な実施例では、「減衰不足の」 (underdamped) 制御移動 (move) として部分訂正を適用する。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  $j_{105}$  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  $j_{105}$  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  $\underline{i}_j^{\text{corr}}$  を生成し得、 $\underline{i}_j^{\text{corr}}$  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  $100$  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を、イオン注入動作または加工ステップ  $j_{105}$  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  $j_{105}$  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) 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  $j_{105}$  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) 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ならばに / 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 W E T 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 <sup>10</sup> 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、W E T 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。

#### 【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  $j = 1 \sim 5$  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）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ため、識別されるエラーは完全にまたは少なくとも部分的に補償され得る。<sup>20</sup>

#### 【0049】

##### 【数8】

上に与えられたものなどの、ベクトル  $x$ （ここで  $x_\beta$  について  $\beta = n = 1$ ）で一般的に表わされるW E T 測定値は、一般的に関数  $T(x)$  で表わされるM O Sトランジスタモデルに入れられ得る。これは、W E T 測定値  $x$  を、加工ステップ  $j = 1 \sim 5$ 、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  $y_\alpha$  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。<sup>30</sup> 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W E T 測定値  $x$  にマッピングするものである。

#### 【0050】

たとえば、M O S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、（ドープトポリゲート 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、M O Sトランジスタモデル関数  $T(x)$  は、単純な経験的関係、すなわち  $L_{min} = 0.4 [d_j t_{ox} (W_S + W_D)^2]^{1/3}$  によって、 $\mu m$  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  $\mu m$  で測定され、ゲート酸化物 815 の厚み  $t_{ox}$  は 単位の数の数値であり（したがって寸法が決まる）、かつ  $(W_S + W_D)$  は、これも  $\mu m$  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 <sup>40</sup>

#### 【0051】

##### 【数9】

$$W_s = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s}{qN_A} (V_{bi} + V_{BS})}$$

【0052】

によって与えられ得、かつ、ドレイン空乏深さ  $W_D$  は

【0053】

【数10】

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

10

【0054】

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、より複雑な経験的関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、より複雑な経験的関係により、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

【0055】

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的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はらつき、より少ないランごとのはらつきおよびより少ないツールごとのはらつきとして現われる。伝播し得るこれらのは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

【0056】

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。

40

【0057】

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<sup>-</sup>-P(P<sup>-</sup>-N)接合の間の距離である。2つの金属N<sup>-</sup>-P(P<sup>-</sup>-N)接合は、N<sup>-</sup>ドープされた(P<sup>-</sup>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<sup>+</sup>ドープされた(P<sup>+</sup>ドープされた)ソース／ドレイン領域820下の(接合深さd<sub>j</sub>を有する)別の接合が、N<sup>+</sup>ドープされた(P<sup>+</sup>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<sub>D</sub>(N<sub>A</sub>)を有し得る。さらに、N<sup>+</sup>ドープされた(P<sup>+</sup>ドープされた)ソース／ドレイン領域820およびN<sup>-</sup>ドープされた(P<sup>-</sup>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<sub>D+</sub>およびN<sub>D-</sub>(N<sub>A+</sub>およびN<sub>A-</sub>)を有し得る。それぞれのドーピングレベルは、N<sup>+</sup>ドープされた(P<sup>+</sup>ドープされた)ソース／ドレイン領域820およびN<sup>-</sup>ドープされた(P<sup>-</sup>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<sub>x</sub>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際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あつ測定すると、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1035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при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1030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1035から適切なモデルを抽出する。データベース1035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1030がそれを作り出そうと試み得る。データベース1035は、光ディスク1040、フロッピー(R)ディスク1045またはコンピュータシステム1030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み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1035はまた、コンピュータシステム1030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1030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1035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900は、ボックス940に示されるように、モデルを適用してMOSFET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、MOSFET加工制御入力パラメータの新たな値または既存のMOSFET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MOSFET加工制御入力が、モデルが生じる値から与えられ、線1020を介してMOSFET加工ツールコントローラ1015に伝送される。次に、MOSFET加工ツールコントローラ1015は、新たなMOSFET加工制御入力に従って、その後のMOSFET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であろう。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920-940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、コンピュータ読み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1045もしくはコンピュータ1030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1040などの光学的なものであろう。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1030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、MOSFET加工ツール1010に埋込まれるプロセッサであってもよい。コンピ

40

50

ユータは、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单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、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<sup>-</sup>-P（P<sup>-</sup>-N）接合の間の距離である。2つの金属N<sup>-</sup>-P（P<sup>-</sup>-N）接合は、N<sup>-</sup>ドープされた（P<sup>-</sup>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<sup>+</sup>ドープされた（P<sup>+</sup>ドープされた）ソース／ドレイン領域820の下の（接合深さd<sub>j</sub>を有する）別の接合は、N<sup>+</sup>ドープされた（P<sup>+</sup>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<sub>D</sub>（N<sub>A</sub>）を有し得る。さらに、N<sup>+</sup>ドープ

40

50

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、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 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  $k\text{eV}$  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 加工制御入力は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。

10

20

#### 【 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 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ースペー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。

30

#### 【 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。

40

#### 【 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

50

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ストラテジは、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。

10

#### 【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。

20

#### 【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、この発明はそのよ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。

30

#### 【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。

40

#### 【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

50

定の実施例では、MOSFET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。MOSFET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MOSFET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MOSFET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、MOSFET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MOSFET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】

MOSFET加工制御機構のための制御スレッドは、現在のMOSFET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、MOSFET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、MOSP02\_OPER01\_PROD01\_MOSP01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、MOSFET加工エラーのターゲット値をMOSFET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、MOSFET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MOSFET加工エラーも測定されている。この情報が存在するとき、MOSFET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MOSFET加工ツール1110にダウンロードされる。

#### 【0084】

ウェハ1105はMOSFET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、MOSFET加工ツール1110に対するそれらのMOSFET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APC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APC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4050

ーション 1117との対話が一般的に完了する。

**【0085】**

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 1117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。KLA 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 1120 上の MOSFET 加工制御入力信号の 1 つに対応する。エラーを用いて MOSFET 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。

**【0086】**

たとえば、前処理は、アウトライア拒否を含み得る。アウトライア拒否は、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の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、MOSFET 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。

10

**【0087】**

アウトライア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われた。

20

**【0088】**

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、MOSFET 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、MOSFET 加工制御機構は、指数重みづけ移動平均（EWMA）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。

**【0089】**

30

EWMA フィルタの 1 つの実施例が式（1）で表わされる。

$$AVG_N = W^* M_C + (1 - W)^* AVG_P \quad (1)$$

式中、

**【0090】**

**【数11】**

$AVG_N \equiv$  新たな EWMA 平均

$W \equiv$  新たな平均の重み付け ( $AVG_N$ )

$M_C \equiv$  現在の測定値

40

$AVG_P \equiv$  以前の EWMA 平均

**【0091】**

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 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。

**【0092】**

1 つの実施例では、EWMA 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

50

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、この様式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平均に加えられ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、両者の読み取りが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。

10

#### 【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れる。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。

20

#### 【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リ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れる。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。

30

#### 【0096】

アウトライアーリ否が完了した後、データはEWMAフィルタリング手順に伝えられる。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ズ解析される。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れる。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。

40

#### 【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。

50

**【 0 0 9 8 】**

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アレイ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

**【 0 0 9 9 】**

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

**【 0 1 0 0 】**

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

**【 0 1 0 1 】**

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。

**【 0 1 0 2 】**

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

**【 0 1 0 3 】**

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く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

。

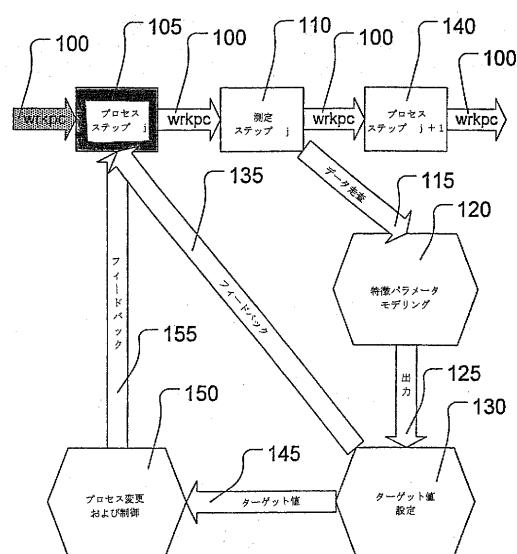
【図10】 この発明に従う、MOSFET加工ツールを用いて、複数の制御入力信号を用いて加工されるワークピースを概略的に示す図である。

【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】



【図2】

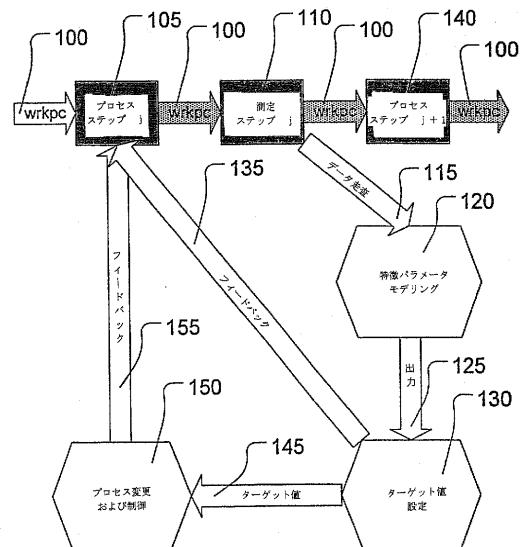
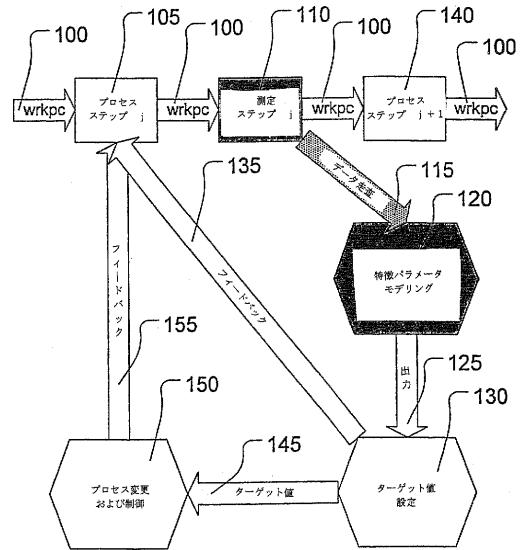


Figure 1

Figure 2

【図3】



【図4】

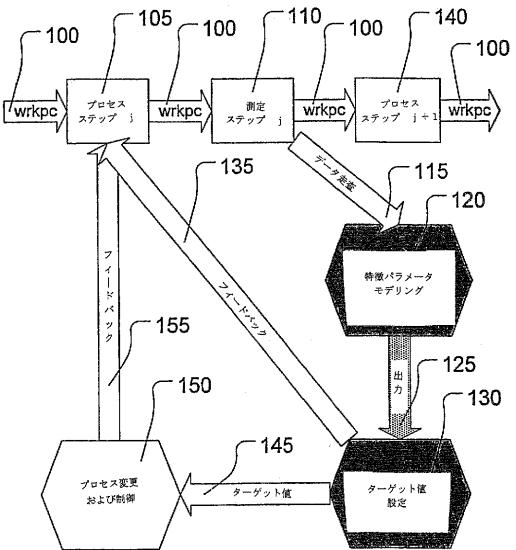
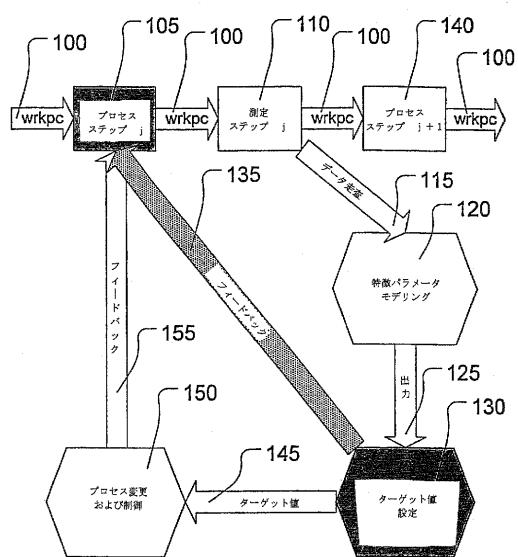


Figure 3

Figure 4

【図5】



【図6】

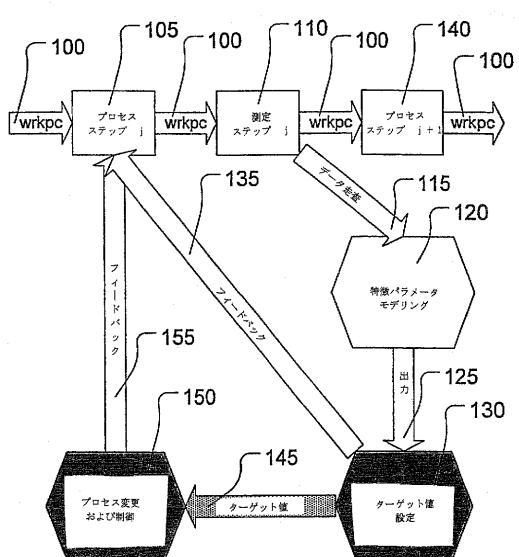
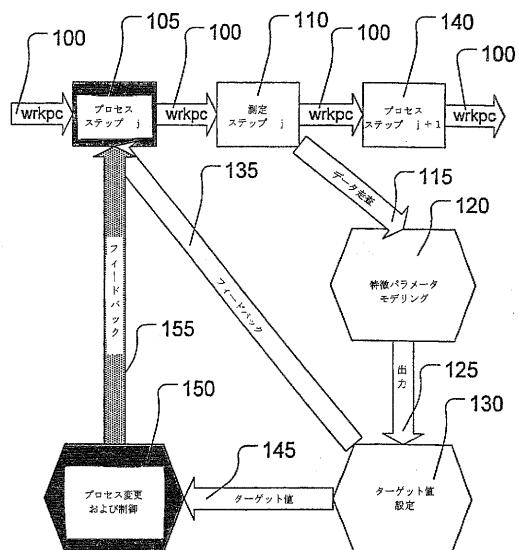


Figure 5

Figure 6

【図7】



【図8】

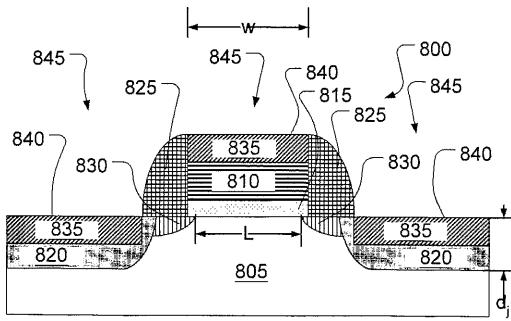


Figure 8

Figure 7

【図9】

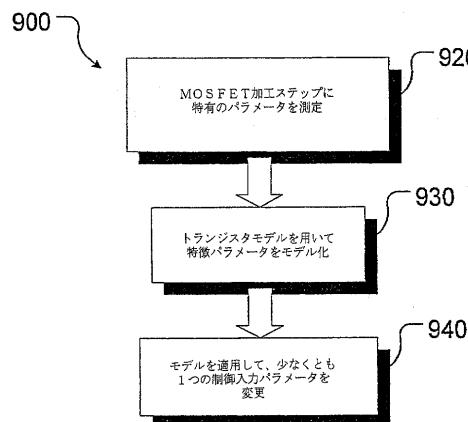


Figure 9

【図11】

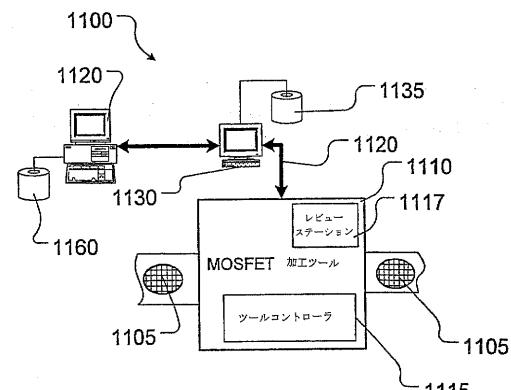


Figure 11

【図10】

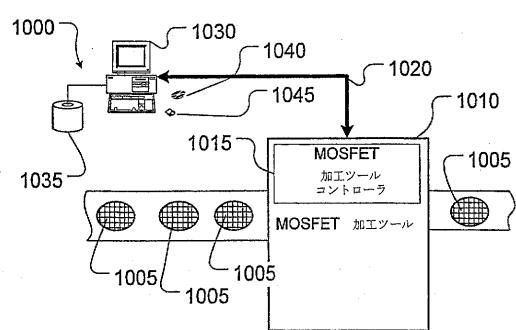


Figure 10

【図12】

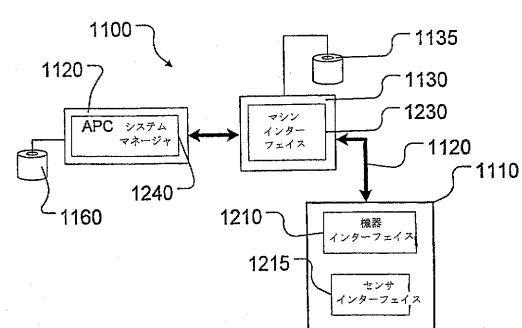


Figure 12

【図13】

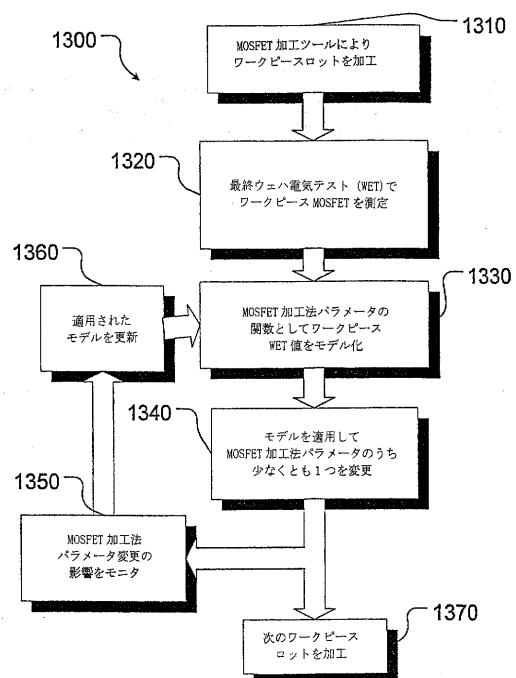


Figure 13

---

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 トプラク, アンソニー・ジェイ

アメリカ合衆国、78731 テキサス州、オースティン、ウォルナット・クレイ、4023

(72)発明者 ミラー,マイケル・エル

アメリカ合衆国、78613 テキサス州、セダー・パーク、リトル・エルム・トレイル、261  
4

(72)発明者 ソンダーマン, トーマス

アメリカ合衆国、78717 テキサス州、オースティン、ブラエスゲイト・ドライブ、1601  
0

審査官 田代 吉成

(56)参考文献 特開昭63-174331(JP,A)

特開昭55-150221(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/02