

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6941169号
(P6941169)

(45) 発行日 令和3年9月29日(2021.9.29)

(24) 登録日 令和3年9月7日(2021.9.7)

(51) Int.Cl.

F 1

G 05 B 19/418 (2006.01)
H 01 L 21/02 (2006.01)G 05 B 19/418
H 01 L 21/02Z
Z

請求項の数 17 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2019-521014 (P2019-521014)
 (86) (22) 出願日 平成29年10月19日 (2017.10.19)
 (65) 公表番号 特表2019-537788 (P2019-537788A)
 (43) 公表日 令和1年12月26日 (2019.12.26)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2017/057467
 (87) 國際公開番号 WO2018/075814
 (87) 國際公開日 平成30年4月26日 (2018.4.26)
 審査請求日 令和2年10月5日 (2020.10.5)
 (31) 優先権主張番号 15/299,616
 (32) 優先日 平成28年10月21日 (2016.10.21)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(73) 特許権者 500049141
ケーレルエー コーポレイション
アメリカ合衆国 カリフォルニア ミルピ
タス ワン テクノロジー ドライブ
(74) 代理人 110001210
特許業務法人 Y K I 国際特許事務所
(72) 発明者 ピアジーニ カレン
アメリカ合衆国 カリフォルニア ワトソ
ンビル リリー ウェイ 91
(72) 発明者 マンティプリー ブライアント
アメリカ合衆国 カリフォルニア マウン
テン ビュー フレデリック コート 1
19

早期審査対象出願

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】全測定不確かさの定量化および低減

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の製造ツールおよび複数の検査または計測ツールと電子通信するインターフェースと、

前記インターフェースと電子通信するプロセス制御ユニットと、
を備え、前記プロセス制御ユニットが、

前記複数の製造ツールおよび前記複数の検査または計測ツールから、前記製造ツール
を使用して製造された1つ以上のデバイスの測定値を含む生産データを受け取り、

前記複数の検査または計測ツールの平均値間の変動の標準偏差であるツール間標準偏差
およびプロセスの全変動の標準偏差である全標準偏差を推定するために、統計的検定と
しての分散成分分析を、前記生産データに対して実行し、

前記生産データに対する全測定不確かさ(TMU)を算出し、
製造ステップ毎のTMUを比較し、

前記生産データについてのTMU管理限界影響(CL1)を算出し、TMU CL1
が、全プロセスの標準偏差および測定標準偏差に基づき管理限界幅についての測定不確か
さの影響を表し、

製造ステップ毎のTMU CL1を比較し、

前記製造ツールの少なくとも1つあるいは前記検査または計測ツールの少なくとも1
つの設定を、TMUによる前記製造ステップの前記比較およびTMU CL1による前記
製造ステップの前記比較に基づき決定し、

10

20

前記製造ツールの少なくとも 1 つあるいは前記検査または計測ツールの少なくとも 1 つの前記設定を、 T M U による前記製造ステップの前記比較および T M U C L I による前記製造ステップの前記比較に基づき調整する命令を送信する、

ように構成され、

前記プロセス制御ユニットが、 T M U による前記製造ステップのリストを記憶するよう構成された電子データ記憶ユニットを備える、システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のシステムであって、

前記プロセス制御ユニットが、

処理装置と、

10

前記処理装置および前記電子データ記憶ユニットと電子通信する通信ポートと、
を含む、システム。

【請求項 3】

請求項 1 に記載のシステムであって、

前記デバイスが半導体ウェーハである、システム。

【請求項 4】

請求項 1 に記載のシステムであって、

前記プロセス制御ユニットがさらに、

前記製造ツールのうちの 1 つの製造ツールあるいは前記検査または計測ツールのうちの 1 つの検査または計測ツールからテストビーケルに対する測定データを受け取り、

20

精度の標準偏差を推定するために、前記分散成分分析を、前記測定データに対して実行し、

精度に関する T M U 、全 T M U 、精度に関する T M U C L I および全 T M U C L I を算出し、

前記測定データ毎の T M U または T M U C L I を比較する

ように構成される、システム。

【請求項 5】

請求項 4 に記載のシステムであって、

前記プロセス制御ユニットがさらに、前記測定データの前記比較に基づいて、前記製造ツールの 1 つまたは前記検査または計測ツールの 1 つを調整するように構成される、システム。

30

【請求項 6】

請求項 1 に記載のシステムであって、

前記インターフェースがセキュアードサーバである、システム。

【請求項 7】

請求項 1 に記載のシステムであって、

前記プロセス制御ユニットがさらに、

連続的に前記分散成分分析を実行し、

前記 T M U を算出し、

前記製造ステップ 毎の T M U を比較する、

40

ように構成される、システム。

【請求項 8】

請求項 1 に記載のシステムであって、

前記プロセス制御ユニットがさらに、

前記製造ツールの少なくとも 1 つあるいは前記検査または計測ツールの少なくとも 1 つの前記設定を、 T M U および T M U C L I による前記製造ステップ 毎の前記比較に基づき調整する、

ように構成される、システム。

【請求項 9】

複数の製造ツールおよび複数の検査または計測ツールから、前記製造ツールを使用して

50

製造された 1 つ以上のデバイスの測定値を含む生産データを、処理装置において受け取ることと、

前記処理装置を使用して、前記複数の検査または計測ツールの平均値間の変動の標準偏差であるツール間標準偏差およびプロセスの全変動の標準偏差である全標準偏差を推定するために、統計的検定としての分散成分分析を、前記生産データに対して実行することと、

前記処理装置を使用して、前記生産データに対する全測定不確かさ (T M U) を算出することと、

前記処理装置を使用して、製造ステップ毎に T M U を比較することと、

前記処理装置を使用して、前記生産データに対する T M U 管理限界影響 (C L I) を算出しつつ、T M U C L I が、全プロセスの標準偏差および測定標準偏差に基づき管理限界幅についての測定不確かさの影響を表し、

前記処理装置を使用して、製造ステップ毎に T M U C L I を比較することと、

前記処理装置を使用して、T M U および T M U C L I による前記製造ステップ毎の前記比較に基づいて、前記製造ツールのうちの少なくとも 1 つの製造ツールあるいは前記検査または計測ツールのうちの少なくとも 1 つの検査または計測ツールについての設定を決めることと、

T M U および T M U C L I による前記製造ステップ毎の比較に基づき、前記処理装置を使用して、前記製造ツールの少なくとも 1 つあるいは前記検査または計測ツールの少なくとも 1 つの前記設定を調整する命令を送信すること、

を含む、方法。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の方法であって、

前記デバイスが半導体ウェーハである、方法。

【請求項 11】

請求項 9 に記載の方法であって、

前記製造ツールのうちの 1 つの製造ツールあるいは前記検査または計測ツールのうちの 1 つの検査または計測ツールからテストビーケルに対する測定データを、前記処理装置において受け取ることと、

前記処理装置を使用して、精度の標準偏差を推定するための前記分散成分分析を、前記測定データに対して実行することと、

前記処理装置を使用して、精度に関する T M U 、全 T M U 、精度に関する T M U C L I および全 T M U C L I を算出することと、

前記処理装置を使用して、前記測定データ毎の T M U または T M U C L I を比較すること、

をさらに含む、方法。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の方法であって、

前記測定データの前記比較に基づいて、前記製造ツールの 1 つまたは前記検査または計測ツールの 1 つを調整することをさらに含む、方法。

【請求項 13】

請求項 9 に記載の方法であって、

前記分散成分分析を実行すること、前記 T M U を算出すること、および前記製造ステップ毎に T M U を比較することが連続的に実行される、方法。

【請求項 14】

請求項 9 に記載の方法であって、

T M U および T M U C L I による前記製造ステップ毎の比較に基づき、前記処理装置を使用して、前記製造ツールの少なくとも 1 つあるいは前記検査または計測ツールの少なくとも 1 つの前記設定を調整すること、

をさらに含む方法。

10

20

30

40

50

【請求項 15】

非一時的コンピュータ可読記憶媒体であって、

複数の製造ツールおよび複数の検査または計測ツールからの生産データに対して統計的検定としての分散成分分析を実行するステップであり、前記生産データが、前記製造ツールを使用して製造された1つ以上のデバイスの測定値を含み、前記分散成分分析が、前記複数の検査または計測ツールの平均値間の変動の標準偏差であるツール間標準偏差およびプロセスの全変動の標準偏差である全標準偏差を推定する、ステップと、

前記生産データに対する全測定不確かさ(TMU)を算出するステップと、

製造ステップ毎に TMU を比較するステップと、

前記生産データに対する TMU 管理限界影響(CLI)を算出し、 TMU CLI が、
全プロセスの標準偏差および測定標準偏差に基づき管理限界幅についての測定不確かさを表すステップと、

製造ステップ毎に TMU CLI を比較するステップと、

TMU および TMU CLI による前記製造ステップ毎の前記比較に基づいて、前記製造ツールのうちの少なくとも1つの製造ツールあるいは前記検査または計測ツールのうちの少なくとも1つの検査または計測ツールについての設定を決めるステップと、

TMU および TMU CLI による前記製造ステップ毎の比較に基づき、前記製造ツールの少なくとも1つあるいは前記検査または計測ツールの少なくとも1つの前記設定を調整する命令を送信するステップ、

を含むステップを1つ以上のコンピューティングデバイス上で実行するための1つ以上のプログラムを含む、非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

【請求項 16】

請求項15に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体であって、前記ステップがさらに、

前記製造ツールのうちの1つの製造ツールあるいは前記検査または計測ツールのうちの1つの検査または計測ツールからテストピークルに対する測定データを受け取るステップと、

精度の標準偏差を推定するための前記分散成分分析を、前記測定データに対して実行するステップと、

精度に関する TMU 、全 TMU 、精度に関する TMU CLI および全 TMU CLI を算出するステップと、

前記測定データ毎に TMU または TMU CLI を比較するステップと、

前記 TMU または TMU CLI の比較に基づき、前記製造ツールの少なくとも1つあるいは前記検査または計測ツールの少なくとも1つの設定を調整する命令を送信するステップと、

を含む非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

【請求項 17】

請求項15に記載の非一時的コンピュータ可読記憶媒体であって、前記ステップがさらに、

TMU および TMU CLI による前記製造ステップ毎の比較に基づき、前記製造ツールの少なくとも1つあるいは前記検査または計測ツールの少なくとも1つについての前記設定を調整するステップを含む、非一時的コンピュータ可読記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、製造に対するプロセス制御に関する。

【背景技術】

【0002】

最新技術の製品は最新のハイテク経済の基本的部分となっているため、それらの製品の品質はますます重要になっている。ハイテク経済の需要を満たすため、製造業者は、品質

10

20

30

40

50

管理および再現性に焦点を合わせ続けている。プロセス制御は、製造プロセスにおいて最も一貫した製品特性を生み出すために使用される。品質管理は、複雑な製造またはその他情報に敏感な製造が実行される生産ラインにおいて不可欠である。

【0003】

劣等な品質管理は、製造された製品に強烈な影響を及ぼしうる。不適切なまたは不十分なプロセス制御は、使用者にとって価値の低いまたは使い物にならない製品をもたらしうる。使い物にならない製品に対して製造コストを支払い、許容される製品に対する利益を得る機会を喪失し、または仕様に合わない製品の低い販売価格によって収益を失う可能性があるため、製造業者は、劣等なプロセス制御によって負の影響を受ける。したがって、プロセス制御は、製造業者の事業が存続するのかそれとも失敗に終わるのかに影響を及ぼしうる。

10

【0004】

製造環境は、低い全測定不確かさ (total measurement uncertainty : TMU) を有する測定システムを必要としている。測定不確かさは、測定量に起因する値の分散 (dispersion) を特徴づける。TMUは、測定値を得るために使用されているツールの精度、および可能な一群の測定ツールのツール間マッチング (tool-to-tool matching) に依存しうる。

【0005】

複雑な製造環境では多くの変量が同時に変動する。本明細書では半導体環境に言及するが、原理は任意の製造環境に対して一般的である。例えば、半導体製造環境では、プロセスレシピ (process recipe)、測定ツールレシピ、全体プロセス正常性 (overall process health)、測定ツール正常性および他のパラメータのような変量が全て変動する。製造設備の測定値変動をモニタリングして、時間の経過に伴って変動が悪化していないことを保証する技法を提供することは、製造業者にとって有益となりうる。シフト (shift) が検出された場合には、検出されたシフトに対処するために迅速に対応することができる。

20

【0006】

半導体製造環境における過大な測定値変動の懸念に対処する方法はいくつか存在する。しかしながら、最適な測定システムモニタリング法に関して、半導体製造業者とツール製造業者の意向は通常、一致しない。半導体製造業者は、測定システムに対する製造要件を満たすモニタリング方法を使用し、通常は、自然に生じる生産データ (production data) を使用して測定システムの正常性を測定することができる。例えば、全ての生産製造データを使用することができる。一般に、基準ウェーハデータの代わりに生産ウェーハデータが使用される。マッチング結果を連続的に測定することができる。半導体製造業者の技法は、箱ひげ図 (box plot)、生産からの単純な平均および標準偏差、生産の統計的検定 (例えば分散分析 (analysis of variance : ANOVA)、t検定)、またはある種の「ゴールデンウェーハ (golden wafer)」もしくは基準ウェーハの統計的検定 (例えばANOVA、t検定) を含むことができる。対照的に、(半導体製造業者が使用している機器を販売しおよび/またはそれに対するサービスを提供する)ツール製造業者は、測定をプロセス変動から分離するためにクリーンな実験に焦点を合わせる傾向がある。それらの実験は、生産量が増大しても警報百分率を増大させない可能性がある。マッチングに関係した警報のパーセントは、精度が向上しても増大しない可能性があり、その逆もまた真である。ツール製造業者の技法は、仕様に対する基準ウェーハのマッチング研究およびデイリーモニタ (daily monitor) を含むことができる。したがって、半導体製造業者のモニタリング法とツール製造業者のモニタリング法は整合しない。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】米国特許第6738682号

40

50

【特許文献 2】米国特許出願公開第 2003 / 0079121 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

したがって、改良されたプロセス制御技法が求められている。

【課題を解決するための手段】

【0009】

第 1 の実施形態ではシステムが提供される。このシステムは、インターフェースと、このインターフェースと電子通信するプロセス制御ユニットとを備える。インターフェースは、複数の製造ツールおよび複数の検査または計測ツールと電子通信する。プロセス制御ユニットは、複数の製造ツールおよび複数の検査または計測ツールから生産データを受け取り、生産データに対して分散成分分析 (variance components analysis) を実行し、生産データに対する全測定不確かさ (TMU) を算出し、製造ステップを TMU により比較するように構成されている。生産データは、製造ツールを使用して製造された 1 つ以上のデバイスの測定値を含む。分散成分分析は、ツール間標準偏差および全標準偏差を推定するように構成されている。プロセス制御ユニットは、TMU による製造ステップのリストを記憶するように構成された電子データ記憶ユニットを備える。デバイスは半導体ウェーハとすることができます。プロセス制御ユニットは、処理装置と、この処理装置および電子データ記憶ユニットと電子通信する通信ポートとを含むことができる。インターフェースはセキュアードサーバ (secured server) とすること 10 ができる。

【0010】

プロセス制御ユニットをさらに、生産データに対する TMU 管理限界影響 (control limit impact : CLI) を算出し、製造ステップを TMU CLI により比較するように構成することができる。

【0011】

プロセス制御ユニットをさらに、製造ステップの比較に基づいて、製造ツールのうちの少なくとも 1 つの製造ツールあるいは検査または計測ツールのうちの少なくとも 1 つの検査または計測ツールを調整するように構成することができる。

【0012】

プロセス制御ユニットをさらに、製造ツールのうちの 1 つの製造ツールあるいは検査または計測ツールのうちの 1 つの検査または計測ツールからテストビークル (test vehicle) に対する測定データを受け取り、測定データに対して分散成分分析を実行し、精度に関する TMU、全 TMU、精度に関する TMU CLI および全 TMU CLI を算出し、測定データに対する結果を TMU または TMU CLI により比較するように構成することができる。この分散成分分析は、精度の標準偏差を推定することができる。プロセス制御ユニットをさらに、測定データに対する結果の比較に基づいて、製造ツールまたは検査ツールを調整するように構成することができる。

【0013】

プロセス制御ユニットをさらに、連続的に分散成分分析を実行し、TMU を算出し、製造ステップを比較するように構成することができる。

【0014】

第 2 の実施形態では方法が提供される。この方法は、複数の製造ツールおよび複数の検査または計測ツールから生産データを、処理装置において受け取ること、処理装置を使用して、生産データに対して分散成分分析を実行すること、処理装置を使用して、生産データに対する全測定不確かさ (TMU) を算出すること、ならびに処理装置を使用して、製造ステップを TMU により比較することを含む。生産データは、製造ツールを使用して製造された 1 つ以上のデバイスの測定値を含む。分散成分分析は、ツール間標準偏差および全標準偏差を推定する。デバイスは半導体ウェーハとすることができます。

【0015】

10

20

30

40

50

この方法は、処理装置を使用して、生産データに対する TMU 管理限界影響 (CL_I) を算出すること、および処理装置を使用して、製造ステップを TMU CL_I により比較することをさらに含むことができる。

【0016】

この方法は、製造ステップの比較に基づいて、製造ツールのうちの少なくとも 1 つの製造ツールあるいは検査または計測ツールのうちの少なくとも 1 つの検査または計測ツールを調整することをさらに含むことができる。

【0017】

この方法は、製造ツールのうちの 1 つの製造ツールあるいは検査または計測ツールのうちの 1 つの検査または計測ツールからテストビークルに対する測定データを、処理装置において受け取ること、処理装置を使用して、測定データに対して分散成分分析を実行すること、処理装置を使用して、精度に関する TMU、全 TMU、精度に関する TMU CL_I および全 TMU CL_I を算出すること、ならびに処理装置を使用して、測定データに対する結果を TMU または TMU CL_I により比較することをさらに含むことができる。この分散成分分析は精度の標準偏差を推定する。この方法は、測定データに対する結果の比較に基づいて、製造ツールまたは検査ツールを調整することをさらに含むことができる。

10

【0018】

分散成分分析、TMU の算出および製造ステップの比較を連続的に実行することができる。

20

【0019】

第 3 の実施形態では、非一時的コンピュータ可読記憶媒体が提供される。この非一時的コンピュータ可読記憶媒体は、以下のステップを 1 つ以上のコンピューティングデバイス上で実行するための 1 つ以上のプログラムを含む。これらのステップは、複数の製造ツールおよび複数の検査または計測ツールからの生産データに対して分散成分分析を実行するステップ、生産データに対する全測定不確かさ (TMU) を算出するステップ、ならびに製造ステップを TMU により比較するステップを含む。生産データは、製造ツールを使用して製造された 1 つ以上のデバイスの測定値を含む。分散成分分析は、ツール間標準偏差および全標準偏差を推定する。

30

【0020】

これらのステップは、生産データに対する TMU 管理限界影響 (CL_I) を算出するステップ、および製造ステップを TMU CL_I により比較するステップをさらに含むことができる。

【0021】

これらのステップは、製造ツールのうちの 1 つの製造ツールあるいは検査または計測ツールのうちの 1 つの検査または計測ツールからテストビークルに対する測定データを受け取るステップ、測定データに対して分散成分分析を実行するステップ、精度に関する TMU、全 TMU、精度に関する TMU CL_I および全 TMU CL_I を算出するステップ、ならびに測定データに対する結果を TMU または TMU CL_I により比較するステップをさらに含むことができる。この分散成分分析は、精度の標準偏差を推定することができる。

40

【0022】

これらのステップは、結果の比較に基づいて、製造ツールあるいは検査または計測ツールのうちの 1 つのツールを調整するステップをさらに含むことができる。

【0023】

本開示の性質および目的のより完全な理解のために、添付図面に関して書かれた以下の詳細な説明を参照すべきである。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図 1】本開示に基づくプロセスの一実施形態の流れ図である。

50

【図2】本開示に基づくシステムインテグレーションの一実施形態のブロック図である。

【図3】半導体製造におけるプロセス制御の一例を示す図である。

【図4】測定ステップによる優先順位の例示的なパレート図(Pareto)である。

【図5】TMU管理限界影響を示す例示的な図である。

【図6】本開示に基づく一実施形態を使用した例を示す図である。

【図7】本開示に基づく一実施形態を使用した例を示す図である。

【図8】本開示に基づく一実施形態を使用した例を示す図である。

【図9】本開示に基づく一実施形態を使用した例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

10

特許請求する主題をある種の実施形態に関して説明するが、本明細書に記載された利益および特徴の全ては提供しない実施形態を含む他の実施形態も本開示の範囲に含まれる。本開示の範囲から逸脱することなく、さまざまな構造的変更、論理的変更、処理ステップの変更および電子的変更を実施することができる。したがって、本開示の範囲は、添付の特許請求の範囲に対する参照のみによって定義される。

【0026】

20

本発明の方法のそれぞれのステップは、本明細書にさらに記載されたとおりに実行することができる。それらの方法はさらに、本明細書に記載されたプロセス制御ユニットおよび/またはコンピュータサブシステムもしくはシステムによって実行することができる他のステップを含むことができる。それらのステップは、1つ以上のコンピュータシステムによって実行される。この1つ以上のコンピュータシステムは、本明細書に記載された任意の実施形態に従って構成することができる。加えて、上述の方法は、本明細書に記載された任意のシステム実施形態によって実行することができる。

【0027】

本明細書に開示された実施形態は、半導体製造に関して開示されている。しかしながら、本明細書に開示された技法を、電子製品、自動車、化学製品、医薬品、航空機または生医学デバイスに対する製造設定を含む他の製造設定に適用することもできる。

【0028】

30

図3に一例が示されている。図3の例は半導体製造に関するが、この例は、複雑および/または苛酷な他の製造環境にも適用可能でありうる。図3において、半導体製造業者は、ほぼ完璧な標準(standards)を有する測定ツールを望んでいる。入手可能な最良のツール(第1の測定ツール)が設置される。後に第2の測定ツールが設置される。半導体製造業者は、測定平均値(すなわちツール間マッチング)が同様であること、および測定誘導性のツール内変動(すなわち精度)が小さいことなどに関して、第1のツールと第2のツールとが同様に機能することを望んでいる。しかしながら、第2の測定ツールは、製造ツール生産プロセスに対する+/-3シグマ管理限界幅のわずかな増大(多数のツール、パネル「A」)を引き起こす平均値のシフト、または管理限界幅のより大きな増大(多数のツール、パネル「B」)を引き起こす平均値のより大きなシフトを有することがある。管理幅の増大は、真のプロセスシフトを検出する感度を低減させる。ツールと処理ステップの可能な数百の組合せをモニタリングする場合には、これらの測定システム影響を定量化し、優先順位を付けることが難しいことがありうる。

40

【0029】

半導体製造業者は一般に、全ての測定ステップにわたって全ての測定システムが正常であることを望む。ゴールデンおよびシルバー試験ウェーハの使用は、ツール内およびツール間の測定値変動をモニタリングする一般的な手法だが、この手法は資源と時間の両方を消費する。その代わりに、半導体製造業者は一般に、連続的な生産測定値および試験ウェーハよりも速い結果を求めている。

【0030】

しかしながら、生産測定値の使用は問題を引き起こしやすい。製造業者は、生産管理図(production control chart)上に示されたプロセス変動の全

50

標準偏差のある割合、例えば 0.1 または 0.3 などの割合よりも大きなツール間変動をプロセスの測定ステップが有する生産モニタを使用しようとすることがある。この技法は、他の測定ステップよりも少數の生産ユニットを有する測定ステップに対して不釣合いに警報を出すことがある。例えば、5つの測定ステップが全て、式 1 に示されているように、その用途に使用される相互に交換可能な 3 つの測定ツール間で、同じレベルの真の測定ツール間変動を有する。

【数 1】

$$\frac{\sigma(\mu(\text{ツール } 1), \mu(\text{ツール } 2), \mu(\text{ツール } 3))}{\sigma(\text{全プロセス})} \quad \text{式 1}$$

10

【0031】

式 1 の分母は、生産管理図上の全プロセスの標準偏差であり、分子は、無限のサンプルサイズ (sample size) に対する真のツール平均値 ($\mu(\text{ツール } i)$) の真の長期標準偏差 () である。5つの測定ステップがこのように同様であるが、サンプルサイズが異なっている場合、すなわち、一部の測定ステップがより小さなサンプルサイズを有し、一部の測定ステップがより大きなサンプルサイズを有する場合、少�数回のプロセスラン (process run) を有する測定ステップは、ツールサンプル平均値 'm' の見かけの最大測定サンプル偏差 's' を有する測定ステップとして含意される傾向がある。概して、ツール平均値のサンプル分散 s^2 ($m(\text{ツール } 1), m(\text{ツール } 2), m(\text{ツール } 3)$) はそれ自体が、ツール平均値の真の変動に依存するだけでなく、ツール内サンプルサイズ N (ツール内) にも依存する確率変数である。見やすくするため、式中ではツール内 (within-tool) が「ツール内 (within tool)」として示されている。ツール内サンプルサイズが一定の場合、サンプル分散 s^2 の期待値は次式 2 のように表すことができる。

$$\text{期待値 } [s^2(m(\text{ツール } 1), m(\text{ツール } 2), m(\text{ツール } 3))] = (\mu(\text{ツール } 1), \mu(\text{ツール } 2), \mu(\text{ツール } 3)) + (\text{ツール内})^2 / N(\text{ツール内}) = \text{ツール平均値の真の標準偏差} + \text{ランダムサンプリング誤差} \quad \text{式 2}$$

20

【0032】

サンプルサイズが大きいほど、ランダムサンプリング誤差は小さくなる。反対に、サンプルサイズが小さいほど、平均値のランダム期待分散は大きくなる。これは、測定システム自体によって引き起こされたものではなく、ランダムサンプリング変動の単なる副作用である。本明細書に開示された TMU モニタは、小さなサンプルサイズまたは大きなプロセスサンプルサイズに対して悲観的ではない。

30

【0033】

生産測定値とともに時に使用される別の技法が、統計的 p 値技法である。上記の例では、分散分析などの統計的検定を用いて 5 つの測定ステップを分析して、3 つの測定ツール間の生産平均値が等しいという仮説を検定することができる。確率 (または「p 値」) < を、ランダム機会を超える系統的効果の証拠として使用することができる。は通常 0.05 である。この技法は、ツール間に検出可能な差があるかどうかを判定することができるが、どの測定ステップが最も大きな問題を有するのかの優先順位付けには役立たない。他の因子が全て一定に維持されている場合には、最も大きなサンプルサイズを有するレシピ / 測定ステップ組合せが最も小さな p 値を有する。これらの組合せが、測定ツール変動に関して他の測定ステップよりも劣っているわけではない (おそらくははるかに優れている) 場合であっても、潜在的問題として、それらのレシピ / 測定ステップ組合せに対する注意が喚起される。本明細書に開示された TMU モニタは統計的 p 値技法の欠点を回避することができ、サンプルサイズが変動する測定ステップにわたって、測定システム影響のロバストなランク付けを提供することができる。

40

【0034】

検定対象のシリコンウェーハまたは他の製品などの検定下の 1 つ以上のユニットを用いて、アドホックな (ad hoc) 測定値再現性研究を実行することができる。分散のラ

50

ンダム効果分析を実施して、ツール間およびツール内変動のロバストな推定値を生成することができる。ツール間およびツール内変動性の不偏推定値 (unbiased estimate) を推定することができる。しかしながら、アドホックな実験では、材料の範囲が限定されることがある。自然生産環境において材料は変化するため、その材料に対する測定ツールの感度も変化する可能性がある。検定に使用された製品はもはや適用可能ではなく、および / またはツール状態は変化しているため、ツール間測定値変動は、検出されることなくさらに悪化しうる。アドホックな実験は一般に、時間の経過に伴う、製品およびツールに対する微細な変化を反映することができない。生産データが使用されるため、本明細書に開示された TMU モニタは、アドホックな検定の欠点を回避することができる。

10

【0035】

本明細書に開示された TMU モニタは、半導体製造環境または他の製造環境内で使用することができるロバストなインジケータである。ツール測定値変動を定量化するため、およびツールの問題を見つけるのに役立てるために、生産データが使用される。さらに、パレート図を用いて測定値の相対的な影響をレシピ間で分析することができる。

【0036】

以後、全測定不確かさを %TMU または単に TMU と称する。絶対 TMU および %TMU は次のように定義することができる。

【数2】

$$\text{絶対TMU} = \sigma(\text{測定}) = \sqrt{\sigma(\text{精度})^2 + \sigma(\text{ツール間})^2} \quad \text{式3}$$

20

【数3】

$$\%TMU = \frac{\sigma(\text{測定})}{\sigma(\text{全プロセス})} = \frac{\sqrt{\sigma(\text{精度})^2 + \sigma(\text{ツール間})^2}}{\sigma(\text{全プロセス})} \quad \text{式4}$$

【0037】

上式 3 および 4 において σ は標準偏差である。 σ は、分散成分分析技法を使用して生成することができる。

30

【0038】

%TMU は正規化された目盛りを使用するため、製造業者は、絶対 TMU よりも %TMU の方を好むことがある。生産管理図の標準偏差を使用して測定値変動の全標準偏差（全プロセス）を推定するために、生産データを使用することができる。生産のために生産されたユニット上で測定された測定値は「生産データ」と呼ばれ、生産データを使用して、プロセスの全変動を推定する。これらの生産データは、物理測定値（例えば厚さ、平面度）、品質測定値（例えば粒子または欠陥が存在するかどうか）、または生産中に測定された他の測定値とすることができます。生産データの全標準偏差（全プロセス）は、真のプロセス変動と測定システム変動の両方を含みうる。（全プロセス）は、生産管理図において可視の変動として表される。生産データはさらに、測定ツール平均値間の真の変動の標準偏差（ツール間）を推定するために使用される。見やすくするために、式中ではツール間（tool-to-tool）が「ツール間（tool-to-tool）」として示されている。ツール平均値間の観察される単純な標準偏差の代わりに、ランダム効果分散成分分析を使用して、期待ランダムサンプリング誤差を調整する真の標準偏差（ツール間）の不偏推定値を提供することができる。このように、開示された技法は、大小のサンプルサイズバイアスに対してロバストである。

40

【0039】

さらに、基準モニタなどのテストビーケルを使用して、単一の生産ユニット上の単一の測定ツールの時間の経過に伴う測定値の標準偏差を推定することができる。この標準偏差は（精度）と呼ばれる。半導体製造では、基準モニタを基準ウェーハとすることができます

50

る。他の産業では、基準モニタを、モニタリングに使用される別のデバイスとすることができる。試験ウェーハをランするのに比較的大きな費用がかかることがあり、(精度)は、より影響が少ない変動源であることがあるため、(精度)の推定を、測定ステップの小さなサンプルに低減させることができ、(ツール間)の推定を、全ての生産ステップに対して実行することができる。一例が図6～9に示されている。

【0040】

式3の絶対TMUの公式は、原単位(例えば、 μm 、欠陥数、 mm など)の全測定値変動を表し、または式4の%TMUなど、無単位(unitless)(例えば単位にわたり正規化された百分率)となりうる。この無単位尺度は、それぞれが異なるプロセス平均値および標準偏差を有する多くの層にわたる比較を可能にするという利点を有し、これを用いて、どの測定ステップが最も大きな%TMUを有するのかを判定することができる。10

【0041】

上記の式において σ は標準偏差である。 σ は、ロバストな分散成分分析技法を使用して生成することができる。%TMUは、測定値変動のツール間部分だけを使用して計算することができ(%TMU(ツール間))、測定値変動のツール内源だけを用いて計算することができ(%TMU(精度))、またはその両方を用いて計算することができる(%TMU(全))。 σ (測定)は、上に示されたツール間測定値変動とツール内測定値変動の両方を含む項であることに留意されたい。20

【0042】

管理限幅に対する測定不確かさの影響は、下式5に定義されたTMU管理限界影響メトリック(metric)(TMU CLI)を用いて表すことができる。

【数4】

$$TMU\text{ CLI} = 1 - \frac{\sqrt{\sigma(\text{全プロセス})^2 - \sigma(\text{測定})^2}}{\sigma(\text{全プロセス})} \quad \text{式5}$$

【0043】

TMU CLIは、TMUによる製造業者のTMUプロセス限界の増大を表す。例えば、(全プロセス)が10単位と推定され、(測定)が3単位である場合、%TMUは0.3、TMU CLIは0.046すなわち4.6%である。全測定不確かさに起因するプロセス管理限幅の4.6%の増大が存在する可能性がある。これは図5にも示されている。30

【0044】

TMUおよびTMU CLIは、プロセス制御に対するツールの影響を記述するのに役立ちうる。これらはともに、製造ステップにわたる測定システム相対変動の同様のランク付けを提供することができるため、どちらも使用することができる。したがって、TMUおよびTMU CLIの使用は、リアルタイムモニタを希望する製造業者と、サンプルサイズ変動による警報を過度に出さない方法を希望するツール製造業者の両者の懸念に対処することができる。%TMUおよびTMU CLIは、製造ステップにわたって相対的な影響を測定するという追加の利益を提供する。製造測定値は例えば、抵抗率、平面度、厚さ、汚染、均一性、深度プロファイル、エッティング選択性、微小寸法または他の測定値を含むことができる。製造測定値は一般に、製造プロセスにおいて測定された測定値である。40

【0045】

図6～9は一例を示す。図6および8には、生産時に、層ごと堆積プロセスにおいて膜の厚さに関して測定された4つの仮説測定ステップが示されている。「真の」測定寄与およびそれに対するそれらの相対サイズが示されている。生産の全ての処理ステップにおいて全てのユニットが測定されるわけではないため、これらの4つの測定ステップにおけるサンプルサイズは等しくないことがある。より小さなサンプルサイズを有するステッ50

10
プは、より幅の広いランダムプロセス変動を有しうる。このランダムプロセス変動によって、測定ツールは、概して、実際の測定ツールとは異なって見えることがありうる。補正が適用されない場合、測定ツール平均値の観察された単純な標準偏差に基づくTMUは、ツール間の眞の測定不確かさを過大評価しうる。この例から、分散成分に基づく%TMUは、概して、現実にマッチしうる公平な評価を提供する。しかしながら、単純な標準偏差が%TMU公式に代入された場合には、単純な標準偏差が、前述のランダムサンプリング誤差の影響を受けるため、単純な標準偏差は概してバイアスされ、可変サンプルサイズの測定ステップにわたって不正確なランク付けを返す。したがって、ランダムサンプリング変動に対する補正のない観察された標準偏差の使用は、測定ステップを用いた測定ステップにわたる不正確な結論につながる可能性がある。

【0046】

テストビーケルの使用は比較的に大きな費用がかかり、ツール間変動はしばしば、精度変動よりも大きな搅乱ノイズ(*nuisance noise*)源であるため、テストビーケルの使用は選択的に使用することができる。例えば、製造業者は、測定ツールタイプごとに1つ以上の測定ステップを選択して、定期的に精度を評価することができる。ツール間変動と精度変動の両方を測定する測定ステップに関しては、それらの全影響を評価することができる。

【0047】

一実施形態では、ある期間の間、既存の生産データを分析する。この期間は、毎月、毎週または他の期間とすることができます。変動源は、ロバストな分散成分分析を使用して分割される。分散成分は通常、実験データに適用される。ロットにわたってモニタリングする場合、異常値のロバストネス、および関連する場合には小体積に対処することができる。

【0048】

製造ステップごとに、その測定ツールタイプを使用してTMU(例えば%TMU)および/またはTMU_CLIを算出することができる。

【0049】

改良を後押しすることができるランク付けを実行することができる。高いTMUを有する製造ステップを調査のためにランク付けすることができる。例えばTMUの向上を後押しすることができる。

【0050】

40
図1は、プロセス100の一実施形態の流れ図である。生産データを受け取る101。この生産データは、複数の製造ツールおよび/または複数の検査もしくは計測ツールからのものとすることができます。生産データは、製造ツールを使用して製造され、1つの検査または計測ツールで調査された半導体ウェーハなどのデバイスに関するものとすることができます。例えば、製造プロセスの10のステップにおいて一組の同等の膜厚測定のツールを使用して膜厚を測定する場合には、ステップごとに、全生産膜厚標準偏差を、ツール間測定値変動とツール内測定値変動とに分割することができる。この分析を実施するため、生産データに対して分散成分分析を実行する(102)。この分散成分分析は、ツール間標準偏差、全プロセス標準偏差または他の標準偏差を推定する。生産データに対するTMUを算出する(103)。製造ステップをTMUにより比較する(104)。例えば、TMUによって、例えばTMUによるリストティングまたはランク付けによって、製造ステップを比較することができる。

【0051】

方法100はさらに、処理装置を使用して、生産データに対するTMU管理限界影響(CLI)を算出し、製造ステップをTMU_CLIによりランク付けすることを含むことができる。ランク付けは、製造に対する影響により補正処置に優先順位を付けるためのメトリックとして使用することができる。例えば、10個の製造ステップが膜厚測定値を有し、それらの10のステップに関して、%TMU(またはTMU_CLI)を使用して膜厚測定値の影響に優先順位が付けられた場合、最も大きな%TMUを有する測定ステップ

10

20

30

40

50

を、可能な改良に関して調べることができる。それらの改良のうちのどの改良が、全体プロセス制御に対する最大の利益を製造業者に提供するのかによって、それらの改良をランク付けすることができる。製造業者は、それよりも下であれば%TMUが望ましいレベルにあり、それよりも上であれば製造業者が反応することを望むターゲットを欲することがある。このようなターゲットは産業によってまたは用途によって異なる。このようにすると、特別な基準ウェーハのようなテストピークルを必要とすることなしに、および小さなまたは大きなサンプルサイズに関してペナルティを受ける必要なしに、生産測定値を使用して、測定ツール間相対影響を決定することができる。

【数5】

$$\%TMU(\text{ツール間}) = \frac{\sigma(\text{ツール間})}{\sigma(\text{全プロセス})} \quad \text{式6}$$

10

【数6】

$$TMU\text{ CLI}(\text{ツール間}) = 1 - \frac{\sqrt{\sigma(\text{全プロセス})^2 - \sigma(\text{ツール間})^2}}{\sigma(\text{全プロセス})} \quad \text{式7}$$

【数7】

$$\%TMU(\text{精度}) = \frac{\sigma(\text{精度})}{\sigma(\text{全プロセス})} \quad \text{式8}$$

20

【0052】

別の例では、特定のツールの精度変動または測定ツール内変動を分析することができる。生産測定値は、時間の経過に伴うプロセス変動と時間の経過に伴う測定ツール精度変動とを混同するため、この分析では、生産測定値を使用しないことができる。方法100は、テストピークルに対する測定データを測定ツールから、例えば検査または計測ステップから受け取ることを含むことができる。これは、測定システムの正常性の定期的なモニタとして実行することができる。基準ウェーハなどのテストピークルを使用して、測定データを取得することができる。分散成分分析を実行して、標準偏差または精度を推定することができる。%TMU(精度)、TMU CLI(精度)、全体%TMUおよび全体TMU CLIを算出することができる。結果を使用して、測定ステップをTMUまたはTMU CLIによりランク付けすることができる。例えば、図4は、さまざまな測定ステップに対する優先順位付けされた改良の例示的なパレート図を示す。より高いTMUを有する測定ステップを調整することにより、製造方法の全体プロセス制御に対する最大の改良を提供することができる。別の例では、図5が、TMU CLIによる例示的なランク付けを示している。より高いTMU CLIを有する測定ステップまたはツールを調整することにより、製造方法の全体プロセス制御に対する最大の改良を提供することができる。

30

【0053】

生産データまたは測定データを用いたTMUによる製造ステップの比較(例えばリストイングまたはランク付け)に基づいて、1つ以上の製造ツールおよび/または1つ以上の検査もしくは計測ツールを調整することができる。

40

【0054】

方法100のステップは、例えば図2の処理装置205などの処理装置を使用して実行することができる。分散成分分析、TMUの算出、および製造ステップに関するTMUの比較を連続的に実行することができる。

【0055】

特定の例では、膜厚に対するツール間プロセス制御が実行される。膜厚に関係した全ての測定ステップの生産データが分析される。ロバストな分散成分分析を使用して、標準偏差からツール間標準偏差を分離することができる。この分析は、どの測定ステップが最も問題であるのか、またはどの測定ステップの欠陥が最も多いのかを示すことができる。製

50

造業者は、TMU（ツール間）および%TMU（ツール間）のツール間マッチング成分を測定するために測定ステップをモニタリングし、ランク付けすることだけに興味を示すことがある。ツール間マッチング成分は、生産データに基づいて分析することができ、測定システム内の測定値変動の最大の攪乱源となりうる。製造業者はさらに、ツール間マッチング成分を精度成分と組み合わせてTMUを得ることを欲することがある。2、3のステップに対する精度が所望の場合には、生産方法および設定を使用して単一の生産ウェーハを保持し、繰り返し測定することができる。このデータを使用して、精度成分のTMUを定期的にモニタリングすることができる。このようにして、精度成分とツール間成分とを組み合わせて全体TMUとすることができます。

【0056】

10

ウェーハデータ収集を使用して、選択されたステップにおける精度をモニタリングすることができる。例えば、デイリーテストビーカーを使用することができる。ロバストな分散成分分析を実行することができる。精度の標準偏差を推定することができる。精度のTMU、全TMU、精度のTMU_CLIおよび全TMU_CLIを算出することができる。この種のデータ収集は、テストビーカーおよび追加の時間を必要とするため、この種のデータ収集は、少数の測定ステップに対して使用するものとし、全体ランク付けスキームの部分としないことができる。

【0057】

図2は、システムインテグレーションの一実施形態のブロック図である。システム200は、複数の製造ツール201および複数の検査または計測ツール202と電子通信するインターフェース203を含む。インターフェース203は例えばセキュアードサーバとすることができます。インターフェース203は、プロセス制御ユニット204と電子通信する。プロセス制御ユニット204は、処理装置205と、処理装置205と電子通信する通信ポート206と、処理装置205と電子通信する電子データ記憶ユニット207とを有することができる。

20

【0058】

製造ツール201の例は、堆積ツール、イオン注入ツール、エッティングツール、リソグラフィツールまたは化学機械研磨ツールを含む。検査または計測ツール202の例は、走査電子顕微鏡、欠陥検出ツール、欠陥調査ツール、膜厚測定ツール、表面プロファイル測定ツール、抵抗率測定ツール、オーバレイ計測または微小寸法測定ツールを含む。他のタイプの製造ツールおよび検査または計測ツールも可能である。例えば、製造されたデバイスが生医学デバイスまたは電子装置である場合には、異なる製造ツールおよび検査または計測ツールを使用することができる。

30

【0059】

プロセス制御ユニット204は、複数の製造ツール201および複数の検査または計測ツール202から生産データを、例えばインターフェース203を介して受け取るように構成されている。生産データは、製造ツール201を使用して製造されたデバイスに関するものとすることができます。このデバイスは例えば半導体ウェーハとすることができます。プロセス制御ユニット204はさらに、図1の方法100のステップを実行するように構成することができる。電子データ記憶ユニット207は、TMUによる製造ステップのランク付けまたは他の分析を記憶するように構成することができる。

40

【0060】

プロセス制御ユニット204は、製造ツール201のうちの少なくとも1つの製造ツール201あるいは検査または計測ツール202のうちの少なくとも1つの検査または計測ツール202を、製造ステップの比較に基づいて調整するように構成することができる。例えば、ツール上の設定を変更することができ、材料入力を変更することができ、レシピを変更することができ、またはプロセスのドリフトに対処することができる。

【0061】

ハードウェア、ソフトウェアおよびファームウェアの任意の組合せによって実際にプロセス制御ユニット204を実施することができることを理解すべきである。さらに、本明

50

細書に記載された機能を1つのユニットによって実行すること、または本明細書に記載された機能を異なる構成要素間で分割し、それぞれの構成要素を、ハードウェア、ソフトウェアおよびファームウェアの任意の組合せによって実施することもできる。本明細書に記載されたさまざまな方法および機能をプロセス制御ユニット204が実施するためのプログラムコードまたは命令を、電子データ記憶ユニット207内、プロセス制御ユニット204内、プロセス制御ユニット204外またはこれらの組合せのメモリなどのコントローラ可読記憶媒体に記憶することができる。

【0062】

製造ツール201および／あるいは検査または計測ツール202によって生成された出力をプロセス制御ユニット204が受け取ることができるような態様で、プロセス制御ユニット204を、適当な手法で（例えば「有線」および／または「無線」伝送媒体を含む1つ以上の伝送媒体を介して）システム200の構成要素に結合することができる。この出力を使用していくつかの機能を実行するように、プロセス制御ユニット204を構成することができる。例えば、この出力を使用して分析の結果を送信または表示するように、プロセス制御ユニット204を構成することができる。別の例では、この出力を、分析することなしに、電子データ記憶ユニット207または別の記憶媒体に送信するように、プロセス制御ユニット204を構成することができる。プロセス制御ユニット204はさらに、本明細書に記載されたとおりに構成することができる。

【0063】

本明細書に記載されたプロセス制御ユニット204、他のシステムまたは他のサブシステムは、パーソナルコンピュータシステム、イメージコンピュータ、メインフレームコンピュータシステム、ワークステーション、ネットワーク機器、インターネット機器または他のデバイスを含むさまざまな形態をとることができる。プロセス制御ユニット204は一般に、メモリ媒体からの命令を実行する1つ以上の処理装置を有することができる。サブシステムまたはシステムはさらに、並列処理装置など、当技術分野で知られている適当な処理装置を含むことができる。加えて、サブシステムまたはシステムは、高速処理のプラットホームおよびソフトウェアを、独立型のツールまたはネットワーク化されたツールとして含むことができる。

【0064】

システムが2つ以上のサブシステムを含む場合には、それらの異なるサブシステム間で画像、データ、情報、命令などを送信することができるような態様で、それらのサブシステムを互いに結合することができる。例えば、当技術分野で知られている適当な有線および／または無線伝送媒体を含む適当な伝送媒体によって、1つのサブシステムを追加のサブシステムに結合することができる。このような2つ以上のサブシステムを、共用コンピュータ可読記憶媒体（図示せず）によって効果的に結合することもできる。

【0065】

追加の実施形態は、プログラム命令を記憶した非一時的コンピュータ可読媒体に關し、このプログラム命令は、プロセス制御ユニット上または他のコントローラ上で、コンピュータによって実施される本明細書に開示されたプロセス制御法を実行するように実行可能である。具体的には、図2に示されているように、プロセス制御ユニット204上で実行可能なプログラム命令を含む非一時的コンピュータ可読媒体を、電子データ記憶ユニット207または他の記憶媒体が含むことができる。コンピュータによって実施されるこの方法は、本明細書に記載された任意の方法の任意のステップを含むことができる。

【0066】

本明細書に記載された方法などの方法を実施するプログラム命令は、コンピュータ可読媒体、例えば電子データ記憶ユニット207内のコンピュータ可読媒体または他の記憶媒体上に記憶することができる。コンピュータ可読媒体は、磁気もしくは光ディスク、磁気テープまたは当技術分野で知られている他の適当な非一時的コンピュータ可読媒体などの記憶媒体とすることができます。

【0067】

10

20

30

40

50

プログラム命令は、とりわけ、手順ベースの技法、構成要素ベースの技法および／またはオブジェクト指向の技法を含むさまざまな手法のうちの任意の手法で実施することができる。例えば、このプログラム命令は、ActiveXコントロール、C++オブジェクト、JavaBeans(登録商標)、Microsoft Foundation Classes(「MFC」)、SSE(Streaming SIMD Extension)または他の技術もしくは方法を所望のとおりに使用して実施することができる。

【0068】

独立式のTMU実験または臨時の試験ウェーハモニタ測定を使用してアドホックで正常性をモニタリングする代わりに、TMUを長期正常性モニタとして使用して、測定システムの正常性を反映することができる。例えば、このプロセス制御ユニットは生産データを連続的にモニタリングすることができる。 10

【0069】

測定システムハードウェアおよび／または測定レシピの改良の機会に優先順位を付けるための相対目盛りを有するように、統計的プロセス制御(statistical process control:SPC)図の全シグマによってTMUを正規化することができる。いくつかの測定ステップに対するより高い%TMU(例えば40%)は、より低い%TMU(例えば10%)よりも大きな相対測定ツール標準偏差を示しうる。

【0070】

ソフトウェアを使用して、例えばTMU測定内ステップのローリング傾向を示すレポート、および測定ステップにわたるパレート図を生成することができる。このレポートは、例えツールセットおよび測定ステップによることができる。 20

【0071】

さらに、分析に基づいて1つ以上のツールにフィードバックを提供することができる。高TMU測定ステップに関して、使用者は、問題を解決するために、可能なハードウェアまたはソフトウェア関連物を見つけることができる。

【0072】

特定の製造ツールと特定の検査または計測ツールとを一緒に一貫して使用することができる。マッチングにおけるバイアスを防ぐために、チャンバおよびツールの使用をランダム化することができる。これは、専用ツールがTMUの使用に影響を及ぼしうるためである。極端に言うと、プロセスツール(A、B、C)が測定ツール(A、B、C)に対して1対1の形で専用である場合、プロセスツール変動は測定ツール変動と完全に混同される。ランダムスキームがサポートされているときには、製造ツール正常性から独立して測定ツール正常性の尺度が存在する。そのため、専用システムに対するTMUが、さまざまな影響を分離することができなくてもよい。しかしながら、ある種の状況では、専用システムに対するTMUが製造業者によって依然として使用される。 30

【産業上の利用可能性】

【0073】

2、3の測定ステップだけではなく全ての測定ステップをモニタリングする標準化された技法を提供することによって、半導体製造業者または複雑な製品の他の製造業者に利益が提供される。複雑な製品は多数の測定ステップを有しうる。1つの測定ステップにおける欠陥は、別の測定ステップに容易に影響を与えることができる。全ての測定ステップをモニタリングすることによって、製造プロセス全体の理解をより十分にすることが可能になりうる。 40

【0074】

本明細書に開示された技法は、生産製造データを使用してロバストな分散成分分析を計算する。この生産製造データは実際の生産条件を反映するため、生産製造データは、設計された実験よりも良好な結果を与える。この分析で使用される入力データは、任意の製造ツールから提供することができる。この分析は、自動的および／またはリアルタイムで実行することができる。

【0075】

10

20

30

40

50

%TMUおよびTMU_CLIの使用は、実際のプロセス変動に対する影響に焦点を合わせることができる。したがって、低いTMUを有する測定ステップに対する作業はおそらく管理図に対する顕著な影響につながらない。このことは、プロセス制御の問題に対処する際に製造業者をより効率的にするのに役立つ。

【0076】

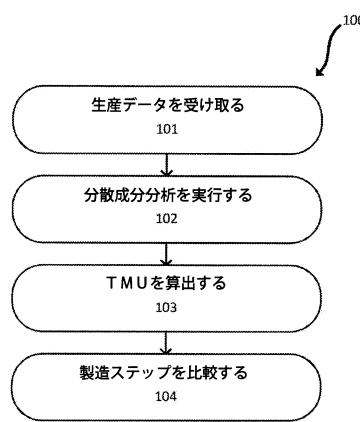
TMUの使用はさらに、生産におけるより積極的なレシピをサポートする潜在的技法を提供する。実際のマッチング問題を有する低捕捉率レシピを特定することができる。このことは、実際の生産データに対する協力を可能にすることができます。これはさらに、生産結果を検査するための完全なフィードバックループを用いて改良を後押しすることができる。

10

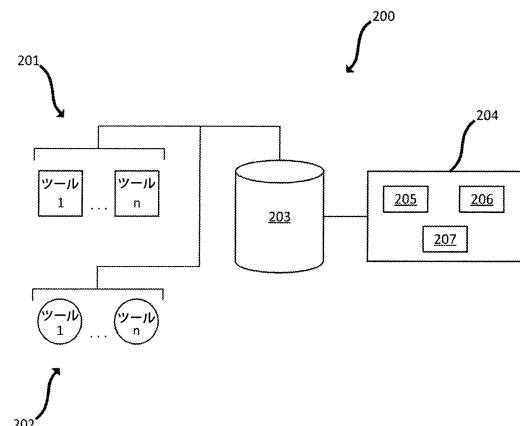
【0077】

1つ以上の特定の実施形態について本開示を説明したが、本開示の範囲から逸脱することなく本開示の他の実施形態を実施することができますが理解される。したがって、本開示は、添付の特許請求の範囲およびその合理的な解釈のみによって限定されるとみなされる。

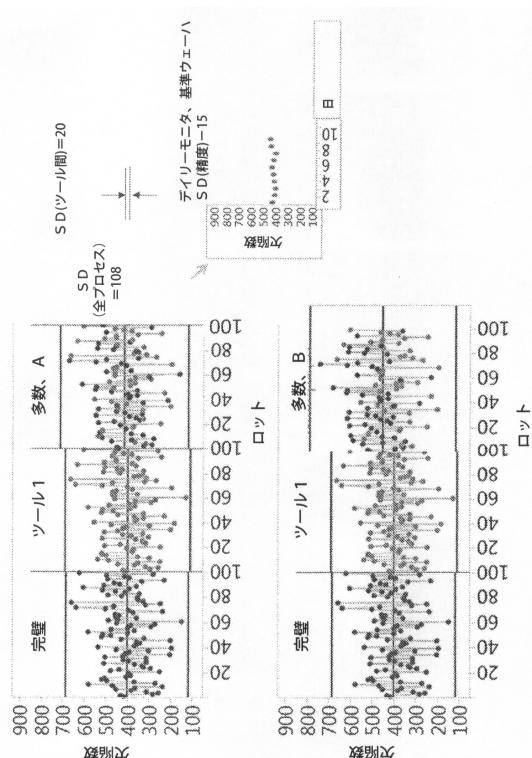
【図1】



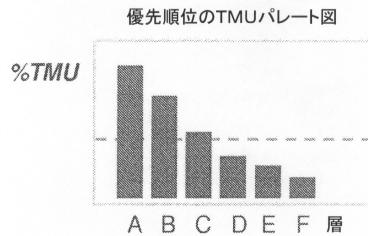
【図2】



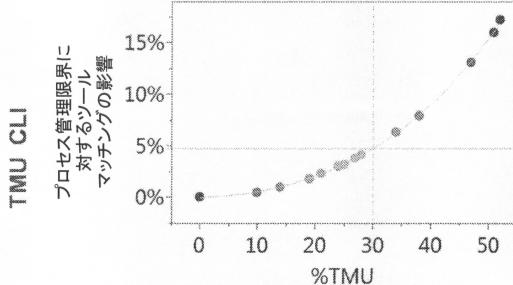
【図3】



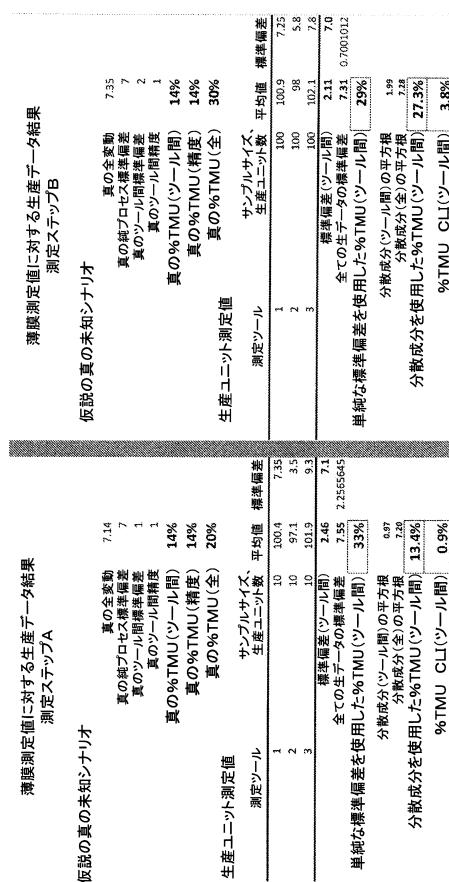
【図4】



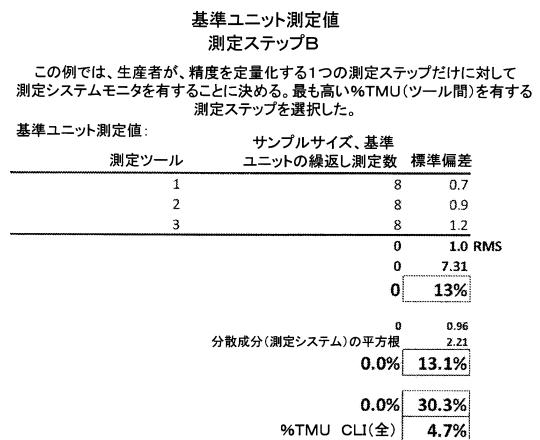
【図5】



【図6】



【図7】

基準ユニット測定値
測定ステップB

この例では、生産者が、精度を定量化する1つの測定ステップだけに対して測定システムモニタを有することに決める。最も高い%TMU(ツール間)を有する測定ステップを選択した。

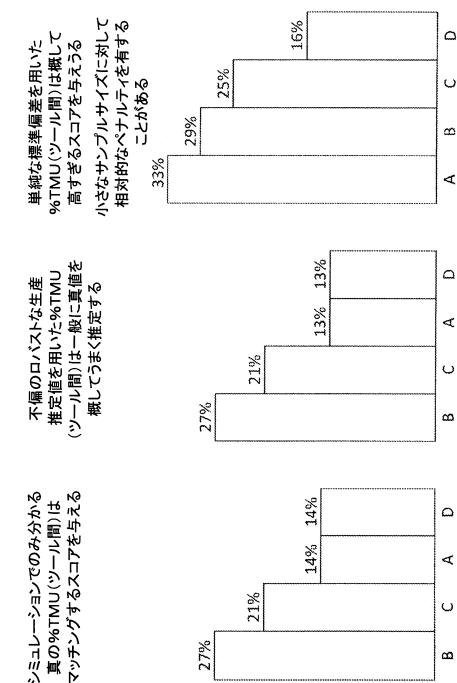
基準ユニット測定値:			
測定ツール	サンプルサイズ、基準 ユニットの繰返し測定数	標準偏差	
1	8	0.7	0.96% RMS
2	8	0.9	2.21% RMS
3	8	1.2	7.31% RMS
	0	1.0	13.1% RMS
	0	0	30.3% RMS
	0	0	4.7% RMS

分散成分 (測定システム) の平方根	0.96% RMS
分散成分 (ツール間) の平方根	2.21% RMS
分散成分 (全) の平方根	7.31% RMS
%TMU CLI(全)	4.7% RMS

【図8】

薄膜測定値に対する生産データ結果 測定ステップC					
仮説の真の未知シナリオ					
真の全変動					
真の純プロセス標準偏差					
7					
真のツール間標準偏差					
1.5					
真のツール間標準偏差					
1					
真のツール間標準偏差					
14%					
真の%TMU(精度)					
14%					
真の%TMU(全)					
20%					
生産ユニット測定値					
サンプルサイズ、平均値、標準偏差					
生産ユニット数					
測定ツール	1	50	100.7	7.25	
	2	50	98.4	5.8	
	3	50	101.9	7.8	
標準偏差(ツール間)					
7.0					
0.990936					
単純な標準偏差差を使用した%TMU(ツール間)					
25%					
分散成分(ツール間)の平方根					
1.48					
分散成分(ツール間)の平方根					
20.5%					
%TMU CLL(ツール間)					
2.2%					

【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 ジャヤンタ ラオ ラビチャンダー
インド バンガロール マージェッショナルヤ ウィンドトンネル ロード エスアール レイア
ウト 7エイ
(72)発明者 ターン ゲイリー
アメリカ合衆国 カリフォルニア サン ノゼ アデライン アベニュー 342

審査官 松本 泰典

(56)参考文献 米国特許出願公開第2013/0245806(US, A1)
米国特許出願公開第2011/0060441(US, A1)
特表2006-510912(JP, A)
特開2007-003528(JP, A)
特開2016-076010(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 19/418
H01L 21/02