

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5214091号
(P5214091)

(45) 発行日 平成25年6月19日 (2013. 6. 19)

(24) 登録日 平成25年3月8日 (2013. 3. 8)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/02 (2006. 01)

H O 1 L 21/02 Z

H O 1 L 21/66 (2006. 01)

H O 1 L 21/66 Y

H O 1 L 21/768 (2006. 01)

H O 1 L 21/90 A

請求項の数 7 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2004-541555 (P2004-541555)
 (86) (22) 出願日 平成15年9月19日 (2003. 9. 19)
 (65) 公表番号 特表2006-501674 (P2006-501674A)
 (43) 公表日 平成18年1月12日 (2006. 1. 12)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2003/029037
 (87) 国際公開番号 W02004/032224
 (87) 国際公開日 平成16年4月15日 (2004. 4. 15)
 審査請求日 平成18年9月11日 (2006. 9. 11)
 審判番号 不服2011-22307 (P2011-22307/J1)
 審判請求日 平成23年10月14日 (2011. 10. 14)
 (31) 優先権主張番号 10/262, 620
 (32) 優先日 平成14年9月30日 (2002. 9. 30)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(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 DEVI
 CES INCORPORATED
 アメリカ合衆国、94088-3453
 カリフォルニア州、サニペール、ピー・
 オウ・ボックス・3453、ワン・エイ・
 エム・ディ・プレイス、メイル・ストップ
 ・68 (番地なし)
 (74) 代理人 100108833
 弁理士 早川 裕司
 (74) 代理人 100162156
 弁理士 村雨 圭介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 測定で求めた電気的特性に基づいて製造プロセスを制御するための方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

操作レシピに従って半導体デバイスの構造を形成するプロセスであって、前記構造の物理的特性と関連するベース目標値を有するプロセスを少なくとも1つ実行するステップと、

前記構造の電気的性能特性を測定するステップと、

測定で求めた前記電気的性能特性と前記電気的性能特性の目標値とを比較するとともに、前記比較に基づいて前記ベース目標値に対するオフセットを決定するステップと、

前記操作レシピのパラメータを決定するための制御モデルを用いて、前記比較に基づいて前記操作レシピの少なくとも1つのパラメータを決定するとともに、前記ベース目標値と前記オフセットとに基づいて前記操作レシピの前記少なくとも1つのパラメータを決定するステップとを有する方法。

【請求項 2】

前記構造を形成するために、それぞれが操作レシピを有する複数のプロセスを実行するステップと、

前記比較に基づいて前記複数のプロセスからなるサブセットの前記操作レシピの少なくとも1つの操作パラメータを決定するステップとをさらに有する請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記構造はコンタクトを備えており、前記電気的性能特性を測定するステップは、接触抵抗パラメータを測定するステップをさらに有する、請求項 1 に記載の方法。

10

20

【請求項 4】

前記構造は、第 1 の操作レシピに従って絶縁層に形成されたコンタクト開口部を含むコンタクトと、第 2 の操作レシピに従って形成された前記コンタクト開口部を覆う第 1 のプロセス層と、第 3 の操作レシピに従って前記第 1 のプロセス層上に形成された第 2 のプロセス層と、第 4 の操作レシピに従って形成され、第 5 の操作レシピに従って導電層の前記コンタクト開口部を超えて延在する部分が除去されるように研磨された、前記コンタクト開口部を実質的に埋め込む導電層と、を有するものであり、

前記電気的性能特性として前記コンタクトの接触抵抗を測定するステップと、

前記比較に基づいて、前記第 1 の操作レシピ、前記第 2 の操作レシピ、前記第 3 の操作レシピ、前記第 4 の操作レシピ、および前記第 5 の操作レシピの少なくとも 1 つの少なくとも 1 つのパラメータを決定するステップと、を有する請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 5】

操作レシピに従って半導体デバイスの構造を形成するプロセスを少なくとも 1 つ実行するように構成されたプロセス装置と、

前記構造の電気的性能特性を測定するように構成された計測装置と、

測定で求めた前記電気的性能特性と前記電気的性能特性の目標値とを比較して、前記操作レシピのパラメータを決定するための制御モデルを用いて、前記比較に基づいて前記操作レシピの少なくとも 1 つのパラメータを決定するように構成されたコントローラと、を備え、

前記コントローラは第 1 のコントローラを備え、前記システムは前記構造の物理的特性に関連するベース目標値に従って前記プロセス装置を制御するように構成された第 2 のコントローラを備え、前記第 1 のコントローラは前記比較に基づいて前記ベース目標値に対するオフセットを決定するようにさらに構成されており、前記第 2 のコントローラは前記ベース目標値および前記オフセットに基づいて前記操作レシピの前記少なくとも 1 つのパラメータを決定するように構成されている、システム。

20

【請求項 6】

前記構造を形成するために複数のプロセスを実行するように構成された複数のプロセス装置をさらに備え、各プロセス装置は操作レシピを有し、前記コントローラは、前記比較に基づいて前記複数のプロセスからなるサブセットの前記操作レシピの少なくとも 1 つの操作パラメータを決定するように構成されている、請求項 5 に記載のシステム。

30

【請求項 7】

前記構造はコンタクトを備えており、前記電気的性能特性は接触抵抗パラメータをさらに含む、請求項 5 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般に半導体デバイス製造の分野に関し、より詳細には、測定で求めた電気的特性に基づいて製造プロセスを制御するための方法および装置に関する。

【背景技術】

【0002】

40

半導体産業では、マイクロプロセッサや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の向上が絶えず追求されている。この傾向は、消費者が、より高信頼で動作する高品質のコンピュータおよび電子装置を求めていることにより一層拍車がかかっている。この需要に応じて、トランジスタなどの半導体デバイスの製造と共に、この種のトランジスタを搭載した集積回路デバイスの製造が絶えず改良されてきた。さらに、代表的なトランジスタの各種部品の製造時の欠陥を低減することにより、1 トランジスタ当たりの総コストのみならず、この種のトランジスタを搭載した集積回路装置のコストが低減できる。

【0003】

一般に、1 ロットのウェハに対して、フォトリソグラフィステッパ、エッチング装置、

50

成膜装置、研磨装置、急速熱処理装置、注入装置などの各種処理装置を使用して一連の処理工程が実行される。過去数年間にわたり、半導体処理装置の基礎となる技術が大きく注目されており、この結果かなりの改善がなされている。しかし、この分野でなされた進歩にかかわらず、現在市販されている処理装置の多くは特定の欠陥を抱えている。なかでも、このような装置は、パラメータの履歴のデータをユーザーフレンドリーな形式で提供できる機能のほか、イベントログ生成、現在の処理パラメータおよびラン（run）全体の処理パラメータのリアルタイムなグラフィック表示、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）での監視など、プロセスデータの高度な監視機能を有さないことが多い。このような機能がないために、スループット、精度、安定性および再現性、処理温度、機械装置のパラメータなどの重要な処理パラメータを最適に制御できないおそれがある。このばらつきは、ラン内のばらつき、ラン間のばらつきおよび装置間のばらつきとして現れ、これらが、製品の品質および性能のばらつきへと広がっていく可能性がある。他方、この種の装置のための理想的な監視および診断システムは、この変動のばらつきを監視する手段と共に、重要なパラメータの制御を最適化する手段を提供する。

10

【0004】

半導体処理ラインの運用を改良するための一手法では、工場規模の制御システムを使用して、各種処理装置の操作を自動制御している。製造装置は、製造フレームワーク、すなわち処理モジュールのネットワークと通信している。各製造装置は、通常は装置インタフェースと接続されている。装置インタフェースは、製造装置と製造フレームワークが通信できるようにするマシンインタフェースに接続されている。マシンインタフェースは、一般に高度プロセス制御（APC）システムの一環をなすことがある。APCシステムは、製造モデルに基づいて制御スクリプトを起動する。この制御スクリプトは、製造プロセスの実行に必要とされるデータを自動的に取得するソフトウェアプログラムであり得る。多くの場合、半導体デバイスは、複数のプロセスのため複数台の製造装置によって段階的に処理され、処理された半導体デバイスの品質に関連するデータが得られる。

20

【0005】

製造プロセス時には、製造中のデバイスの性能に影響を及ぼすさまざまな事象が発生する可能性がある。つまり、製造プロセス工程にばらつきが生じると、デバイス性能にばらつきが生じる。例えば構造（feature）の微小寸法（critical dimension）、ドーピングレベル、接触抵抗、パーティクルによる汚染などの要因は、すべてデバイスの最終性能に潜在的に影響を及ぼし得る。処理のばらつきを低減するために、処理ラインの各種装置が、性能モデルに従って制御される。一般に、制御の対象となる装置には、フォトリソグラフィステップ、研磨装置、エッチング装置および成膜装置が含まれる。処理前および/または処理後の計測データが、装置のプロセスコントローラに供給される。処理後の結果をできる限り目標値に近づけるため、性能モデルと計測で得た情報とに基づいて、処理時間などの操作レシピパラメータがプロセスコントローラによって計算される。このようにばらつきを低減することで、スループットの向上、コストの低減、デバイス性能の向上などを達成でき、これらはすべて収益性の向上を意味する。

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0006】

実行する各種プロセスの目標値は、通常は製造するデバイスの設計値に基づいている。例えば、特定のプロセス層に対し、目標の膜厚が存在することがある。目標膜厚のばらつきを低減するため、成膜装置および/または研磨装置の操作レシピが自動制御され得る。別の例では、トランジスタのゲート電極の微小寸法に対して、その目標値が存在することがある。目標の微小寸法を達成するために、フォトリソグラフィ装置および/またはエッチング装置の操作レシピが自動制御され得る。

【0007】

場合によっては、製造プロセスの比較的最後のほうの段階まで、時には最終試験段階まで、製造したデバイスの性能を求める電氣的測定が実施されない。デバイスの製造時から

50

その性能特性の測定時までにはこのようなタイムラグがあると、製造プロセスを自動制御して性能目標を達成することが困難となる。

【0008】

一般に、製造するデバイスの電氣的性能特性（動作速度、接触抵抗、消費電力など）は、構造の寸法および材料に対して決定した設計値に基づいて、デバイスの物理的特性を制御することによって間接的に制御される。実際のデバイス特性が目標値から外れると、これに呼応して電氣的性能特性が変動する。場合によっては、複数のばらつきの原因が累積的に重なり、完成したデバイスの電氣的性能特性が悪化したり、完全に許容できないレベルにまで低下する。

【0009】

一般に、ある電氣的性能特性の目標を達成するために用いることができる設計値または目標値の組が複数存在し得る。しかし、電氣的性能特性の制御に間接的な方法を用いているため、この目標値は一般に固定である。場合によっては、製造プロセスの1つ以上において、その目標を達成するのが困難なことがある。装置のクリーン度、消耗部品の経過年数などのさまざまな要因が、装置の性能および制御性に影響し得る。このように目標から外れると、完成したデバイスの電氣的性能特性が、間接制御では容易に対処することができない程に悪影響を受ける。

【0010】

本発明は、上記の問題の1つ以上を解決するか少なくとも軽減することを狙ったものである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の一態様は、操作レシピに従って半導体デバイスの構造を形成するプロセスを少なくとも1つ実行するステップを有する方法に見てとれる。この構造の電氣的性能特性が測定される。測定で求めた電氣的性能特性とその電氣的性能特性の目標値とが比較される。この比較に基づいて、操作レシピの少なくとも1つのパラメータが決定される。

【0012】

本発明の別の態様は、プロセス装置、計測装置およびコントローラを備えたシステムに見てとれる。プロセス装置は、操作レシピに従って半導体デバイスの構造を形成するプロセスを少なくとも1つ実行するように構成されている。計測装置は、構造の電氣的性能特性を測定するように構成されている。コントローラは、測定で求めた電氣的性能特性とその電氣的性能特性の目標値とを比較して、この比較に基づいて操作レシピの少なくとも1つのパラメータを決定するように構成される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

添付の図面と併せて下記の説明を読めば、本発明が理解されるであろう。添付の図面においては、同一の参照符号は同じ要素を参照している。

【0014】

本発明は、種々の変形および代替形態を取り得るが、その特定の実施形態が、図面に例として図示され、ここに詳細に記載されているに過ぎない。しかし、この詳細な説明は、本発明を開示した特定の実施形態に限定することを意図するものではなく、反対に、添付の特許請求の範囲によって規定される本発明の趣旨ならびに範囲に含まれるすべての変形例、均等物および代替例を含むことを理解すべきである。

【0015】

本発明の例示的な実施形態を下記に記載する。簡潔を期すために、実際の実装の特徴をすべて本明細書に記載することはしない。当然、実際の実施形態の開発においては、システム上の制約及びビジネス上の制約に適合させるなど、開発の具体的な目的を達するために、実装に固有の判断が数多く必要とされ、この判断は実装によって変わることが理解される。さらに、この種の開発作業は複雑かつ時間がかかるものであるが、本開示の利益を受ける当業者にとって日常的な作業であるということが理解されよう。

【 0 0 1 6 】

図 1 に、例示的な製造システム 10 の簡略ブロック図を示す。図に示した実施形態において、製造システム 10 は半導体デバイスを製造するように適合されている。本発明は、半導体製造施設において実施され得るように記載するが、本発明はこれに限定されず、その他の製造環境に適用することができる。ここに記載する技術は、さまざまなワークや製造物に適用することができ、これには、マイクロプロセッサ、メモリデバイス、デジタル信号処理装置、特定用途向け集積回路 (ASIC : application specific integrated circuit)、またはその他の類似するデバイスが含まれるが、これらに限定されない。この技術は、半導体デバイス以外のワークまたは製造物にも適用することができる。

【 0 0 1 7 】

ネットワーク 20 は製造システム 10 の各種構成要素を相互接続しており、これら各種構成要素が情報を交換できるようにする。例示的な製造システム 10 は、複数の装置 30 ~ 80 を有する。各装置 30 ~ 80 は、ネットワーク 20 とインタフェースするためにコンピュータ (図示せず) に結合され得る。装置 30 ~ 80 は、参照符号の末尾に付加した文字が示すように、似た装置の組に分類される。例えば、装置 30 A ~ 30 C からなる組は、化学的機械研磨装置などの特定の種類の装置を表している。あるウェハまたはロットのウェハは、製造時に装置 30 ~ 80 を通り、各装置 30 ~ 80 は処理フロー内で特定の機能を実行する。半導体デバイス製造環境のための代表的な処理装置には、計測装置、フォトリソグラフィステッパ、エッチング装置、成膜装置、研磨装置、急速熱処理装置、注入装置などが含まれる。装置 30 ~ 80 は、例示のみを目的として階層のないグループ分け (rank and file grouping) で示される。実際の実装においては、装置 30 ~ 80 は、任意の物理的な順序またはグループ分けに編成されていてもよい。さらに、装置 30 ~ 80 が相互に接続されているのではなく、特定のグループ内の装置間の接続がネットワーク 20 への接続であってもよい。

【 0 0 1 8 】

製造実行システム (MES : manufacturing execution system) サーバ 90 は、製造システム 10 の高レベルの操作を指示する。MES サーバ 90 は、製造システム 10 内の各種要素 (すなわちロット、装置 30 ~ 80) の状態を監視し、処理フローを通過する製造物 (例えば半導体ウェハのロット) の流れを制御する。処理フロー内のさまざまな要素および製造物の状態に関連するデータを記憶するためにデータベースサーバ 100 が設けられている。データベースサーバ 100 は、情報を 1 つ以上のデータ記憶装置 110 に記憶し得る。データには、プロセス前およびプロセス後の計測データ、装置の状態、ロットの優先順位などが含まれ得る。

【 0 0 1 9 】

本発明の一部とその詳細な説明は、ソフトウェア、またはコンピュータメモリ内部でのデータビットに対する操作の記号的表記およびアルゴリズムの形で提示される。このような記述および表現は、当業者が、自身の作業の内容を他の当業者に効率的に伝えるために用いられているものである。本明細書において使用する「アルゴリズム」との用語は、通常用いられているのと同義に用いられ、所望の結果に導くための自己矛盾のないシーケンスのことを指す。ステップとは、物理量の物理的操作を必要とするステップである。この物理量は通常、記憶、転送、結合、比較などの操作が可能な光学信号、電気信号または磁気信号の形を取るが、必ずしもこれらに限定されない。主に公共の利用に供するという理由で、これらの信号を、ビット、値、要素、記号、文字、語 (term)、数字などと呼ばば、時として利便性が高いことが知られている。

【 0 0 2 0 】

しかし、上記の全用語ならびに類似の用語は、適切な物理量に対応しており、この物理量に適用される簡便な標識に過ぎないという点を留意すべきである。特段の断りのない限り、もしくは記載内容から明らかな場合、「処理」、「演算」、「計算」、「判定」、「表示」などの用語は、コンピュータシステムのレジスタ内およびメモリ内で物理的電子的量として表されるデータを、コンピュータシステムのメモリ、レジスタ等の情報の記憶装

10

20

30

40

50

置、伝送装置または表示装置内で同様に物理量として表される他のデータへと操作および変換するコンピュータシステムないし類似の電子演算装置の動作および処理を指す。

【0021】

製造システム10に使用するのに適した代表的な情報交換およびプロセス制御フレームワークに、高度プロセス制御（APC：Advanced Process Control）フレームワークがあり、例えば、ケー・エル・エー・テンコール・インコーポレイテッド（K L A T e n c o r , I n c）が提供しているカタリストシステムを使用して実装することができる。カタリストシステムは、半導体製造装置材料協会（S E M I : Semiconductor Equipment and Materials International）のコンピュータ統合生産（C I M : Computer Integrated Manufacturing）フレームワークに準拠したシステム技術を用いており、高度プロセス制御（APC）フレームワークをベースとしている。C I M（S E M I E 8 1 - 0 6 9 9 : C I Mフレームワークドメインアーキテクチャ暫定仕様）およびA P C（S E M I E 9 3 0 - 9 9 9 : C I Mフレームワーク高度プロセス制御コンポーネント暫定仕様）の仕様は、米国カリフォルニア州マウンテンビューに本拠を置くS E M Iから公的に入手可能である。

10

【0022】

図1のさまざまなコンピュータまたはワークステーションにわたって処理機能およびデータ記憶機能が分散されており、一般的な独立した中央情報記憶装置を提供している。当然、本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、コンピュータの台数を変更したり、構成を変更することができる。

20

【0023】

製造システム10は、ワークステーション150で実行されている電気的パラメータコントローラ140をも備える。下記に詳述するように、電気的パラメータコントローラ140は、製造されたデバイスの電気的性能パラメータに関するフィードバックデータを（例えば、計測装置として動作している装置30～80のうちの1台から）受け取り、プロセス装置として動作している1台以上の装置30～80の1つ以上の操作レシピパラメータを決定する。測定される電気的性能パラメータの代表例には、接触抵抗、配線抵抗、駆動電流、消費電力などがある。一般に、「電気的性能特性」との用語は、構造の性能を表す電気的測定値を指す。本発明は、コンタクトの構造と関連する接触抵抗のパラメータを制御するために使用できると説明のために記載したが、本発明の用途はこれに制限されず、本発明は他の電気的性能パラメータに応用することができる。図1の各種要素は独立したものとして示されているが、これらの1つ以上が1つのユニットに統合されていてもよい。

30

【0024】

次に、図2に、図1の製造システム10の一部の簡略ブロック図を示す。プロセス装置200、210、220、230（例えば装置30～80から選択した装置）は、ウェハ240を処理して、当該ウェハにコンタクト開口部を形成する。各プロセス装置200、210、220、230は操作レシピを実行する。コンタクトを形成する際の装置200、210、220、230の機能を、図3A～3Dを参照して記載する。

【0025】

図に示す実施形態では、プロセス装置200は、図3Aに示すように、下層の導電層320（シリサイド、ポリシリコン等）と接点をとるため、絶縁層310（T E O S、l o w - k誘電体等）をエッチングしてコンタクト開口部300を形成するように構成されたエッチング装置200である。コンタクト開口部300の幅は、通常はコンタクト開口部のエッチングに用いた、フォトリジスト層に形成した対応する開口部の幅によって決まるが、エッチング装置200の操作レシピのパラメータ（例えば、エッチング時間、プラズマ電力、圧力、ガス濃度）もコンタクト開口部300の幅に影響する。コンタクト開口部の幅が広い程、完成したコンタクトの接触抵抗が下がる。

40

【0026】

プロセス装置210は、コンタクト開口部300を覆う層を形成するように構成された

50

成膜装置 210 である。図 3 B に示すように、成膜装置 210 は、バリヤ層 330 (チタン、タンタル、窒化タンタル、窒化チタンまたはこれらの組合せなど) を形成してコンタクト開口部 300 を覆うと共に、バリヤ層 330 の上にシード層 340 (例えば、銅の埋め込みには銅、タングステンの埋め込みにはポリシリコン) を形成する。バリヤ層 330 は、コンタクト開口部 300 の埋め込みに使用する材料 (例えば銅) の絶縁層 310 へのエレクトロマイグレーションを低減するのに役立つ。図に示した実施形態では、シード層 340 を形成する前に、コンタクト開口部 300 の底の部分のバリヤ層 330 が除去される (すなわち、記載しない別のプロセス工程を使用する) が、これはすべての実施形態で行われるというわけではない。シード層 340 は、コンタクト開口部を埋め込むための次のめっきプロセスの下地となる。バリアと層 340 の具体的な構成と各種構成要素の膜厚の比率とは、完成品の接触抵抗に影響を及ぼす。例えば、バリヤ層 330 にチタンと窒化チタンが含まれる場合、(2つの層の合計の膜厚は固定されているが) チタンの膜厚に対して窒化チタンの膜厚を減らすと、接触抵抗が下がる。

【0027】

プロセス装置 220 は、図 3 C に示すように、(例えば、電解めっきまたは無電解めっきによって) 導電層 350 (例えば銅) でコンタクト開口部を埋め込むように構成されためっき装置 220 である。温度、溶液の濃度、印加電圧、めっき時間などの各種めっきパラメータが導電層の物理的特性 (例えば結晶粒度) に影響を及ぼし、これがコンタクト開口部の接触抵抗に影響する。一般に、結晶粒度が小さい程、接触抵抗が下がる。

【0028】

プロセス装置 230 は、図 3 D に示すように、導電層 350 の、コンタクト開口部 300 からはみ出している部分を除去するように構成された研磨装置 230 である。研磨時間、ダウンフォース (downforce)、研磨パッド速度、研磨アームの振動の大きさおよび振動数 (oscillation magnitude and frequency)、スラリーの化学組成、温度などの研磨パラメータは、除去される物質の量に影響する。コンタクト開口部 300 内の導電層 350 の一部分 360 が除去される (この現象は「ディッシング」と呼ばれる) と、接触抵抗が上がる。

【0029】

製造システム 10 は、ウェハ 240 に形成された構造の電気的性能パラメータを測定するように構成された計測装置 250 をさらに有する。図に示した実施形態では、計測装置 250 は、完成したコンタクト 370 (図 3 D に示す) の接触抵抗を測定するように構成されている。計測装置 250 は、測定で求めた電気的性能パラメータ (例えば接触抵抗) を電気的パラメータコントローラ 140 に提供する。上記のように、さまざまな操作レシビパラメータが、完成したコンタクト 370 の接触抵抗に影響し得る。電気的パラメータコントローラ 140 は、プロセス装置 200, 210, 220, 230 のうちの 1 台以上とインタフェースして、測定で求めたフィードバックに基づいて操作レシビパラメータのうちの 1 つ以上を決定する。

【0030】

電気的パラメータコントローラ 140 は、操作レシビパラメータを決定するために、制御対象のプロセス装置 200, 210, 220, 230 の制御モデルを使用し得る。この制御モデルは、公知の線形手法または非線形手法を使用して、経験的に作成され得る。制御モデルは、比較的単純な数式ベースのモデル (例えば線形、指数、加重平均など) であっても、状態空間モデル、有限インパルス応答 (FIR: finite impulse response) モデル、ニューラルネットワークモデル、主成分分析 (PCA: principal component analysis) モデル、または潜在的構造に対する射影 (PLS: projection to latent structures) などのより複雑なモデルであってもよい。具体的なモデルの実装は、選択したモデリング手法によって変わり得る。電気的パラメータコントローラ 140 は、制御モデルを用いて、測定で求めた電気的性能パラメータと、その電気的性能パラメータの目標値とを比較することで、完成したコンタクト 370 の接触抵抗のばらつきを低減させる操作レシビパラメータを決定し得る。具体的な制御の流れ (scenario) は、制御対象のプロセス装

10

20

30

40

50

置 30 ~ 80 の種類によって決まる。

【 0 0 3 1 】

計測装置 250 が収集したフィードバックデータを使用して、電氣的パラメータコントローラ 140 が使用する制御モデルが更新され得る。別の計測装置（図示せず）が収集したコンタクト 370 の物理的特性（コンタクト開口部の幅、結晶粒度、平坦度など）に関するほかのフィードバックデータを使用して、制御モデルが更新されてもよい。

【 0 0 3 2 】

図 4 に示す別の実施形態では、プロセス装置 200, 210, 220, 230 のそれぞれが、コンタクト 370 の物理的特性に関して収集されたフィードバックデータに基づいて操作レシピパラメータを制御するプロセスコントローラ 202, 212, 222, 232 を各自有し得る。電氣的パラメータコントローラ 140 は、これらプロセスコントローラ 202, 212, 222, 232 とインタフェースして、コンタクトのレベルで接触抵抗に作用し得る。図には電氣的パラメータコントローラ 140 およびプロセスコントローラ 202, 212, 222, 232 が独立したものとして示されているが、実装によってはこれらの 1 つ以上が 1 つの要素に統合されていてもよい。

【 0 0 3 3 】

プロセスコントローラ 202, 212, 222, 232 は、既定のベース目標値と収集したフィードバックとに基づいて、対応するプロセス装置 200, 210, 220, 230 を制御し、電氣的パラメータコントローラ 140 は、測定で求めた接触抵抗のフィードバックに基づいて、電氣的パラメータコントローラ 140 の制御動作と、プロセスコントローラ 202, 212, 222, 232 のうちの 1 つの制御動作とを連携させ得る。例えば、一実施形態では、電氣的パラメータコントローラ 140 は、プロセスコントローラ 202, 212, 222, 232 が使用するベース目標値に対するオフセットを提供し得る。別の実施形態では、電氣的パラメータコントローラ 140 は、プロセスコントローラ 202, 212, 222, 232 が決定したベースの操作レシピパラメータに対するオフセットを提供し得る。

【 0 0 3 4 】

操作パラメータを調整する実施形態では、測定で求めた接触抵抗が高すぎる場合には、電氣的パラメータコントローラ 140 は、プロセスコントローラ 202 が決定したエッチング装置 200 のベースのエッチング時間にオフセットを加算して、コンタクト開口部のサイズを広げ、以降に処理されるウェハの接触抵抗の低下に作用し得る。

【 0 0 3 5 】

目標値を調整する別の実施形態では、電氣的パラメータ御装置 140 が、コンタクト開口部 300 の幅のベース目標値を変更し、プロセスコントローラ 202 が、この変更に対応するために新しい操作レシピパラメータを決定し得る同様の流れを、各種プロセス装置 200, 210, 220, 230 について上記したように、接触抵抗（あるいは、その他の制御対象の電氣的性能パラメータ）に影響するその他の操作レシピパラメータを変更するように実装してもよい。

【 0 0 3 6 】

トランジスタデバイスのために制御可能な電氣的性能特性の代表例には、ポリシリコンのシート抵抗やゲート電圧がある。電氣的性能の測定のフィードバックに基づいて制御可能なプロセスには、注入、ゲート幅を画定するエッチング、シリサイド形成、ゲートスタック層の膜厚および組成（例えばポリシリコンのドーパント）を得るための堆積がある。

【 0 0 3 7 】

図 5 に、本発明の別の例示的な実施形態による、測定で求めた電氣的性能特性に基づいて製造プロセスを制御するための方法の簡略フロー図を示す。ブロック 500 で、操作レシピに従って半導体デバイスの構造を形成するためのプロセスが少なくとも 1 つ実行される。ブロック 510 で、この構造の電氣的性能特性が測定される。ブロック 520 で、測定で求めた電氣的性能特性とその電氣的性能特性の目標値とが比較される。ブロック 530 で、この比較に基づいて操作レシピの少なくとも 1 つのパラメータが決定される。

【 0 0 3 8 】

電氣的パラメータコントローラ 1 4 0 は、コンタクト 3 7 0 の形成に使用するプロセス装置 2 0 0 , 2 1 0 , 2 2 0 , 2 3 0 のうちの 1 つ以上とインタフェースするため、構造レベルではなく、モジュールレベル（すなわちコンタクト 3 7 0 ）でプロセスを制御することができる。換言すれば、電氣的パラメータコントローラ 1 4 0 は、接触抵抗を直接制御する。所望の接触抵抗値からの逸脱を生じさせることなく、各種プロセス工程に発生するばらつきに対処することができる。

【 0 0 3 9 】

上記に記載した特定の実施形態は例に過ぎず、本発明は、本開示の教示の利益を得る当業者にとって自明の、同等の別法によって変更および実施されてもよい。さらに、ここに記載した構成または設計の詳細が、添付の特許請求の範囲以外によって限定されることはない。このため、上記に記載した特定の実施形態を变形または変更することが可能であり、このような変形例はすべて本発明の範囲ならびに趣旨に含まれることが意図されることが明らかである。したがって、ここに保護を請求する対象は、添付の特許請求の範囲に記載したとおりである。

10

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 0 】

【図 1】本発明の例示的な一実施形態による製造システムの簡略ブロック図である。

【図 2】図 1 の製造システムの一部の簡略ブロック図である。

【図 3 A】図 1 の製造システムによって製造途中の例示的なデバイスの断面図である。

20

【図 3 B】図 1 の製造システムによって製造途中の例示的なデバイスの断面図である。

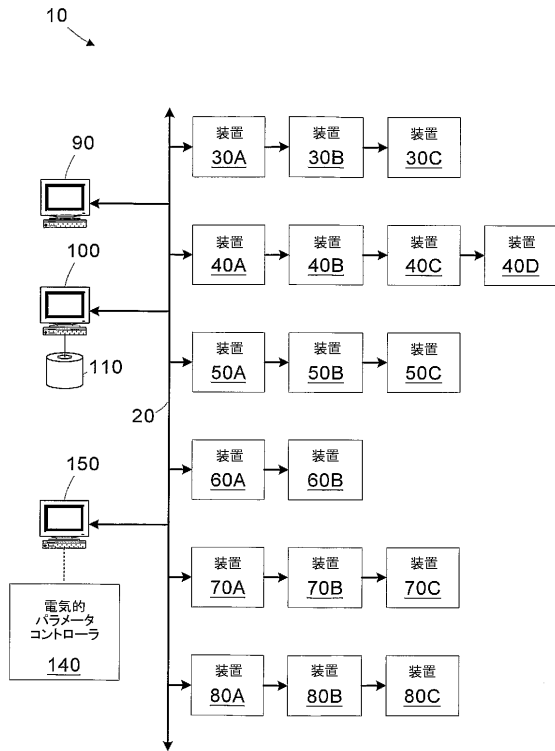
【図 3 C】図 1 の製造システムによって製造途中の例示的なデバイスの断面図である。

【図 3 D】図 1 の製造システムによって製造途中の例示的なデバイスの断面図である。

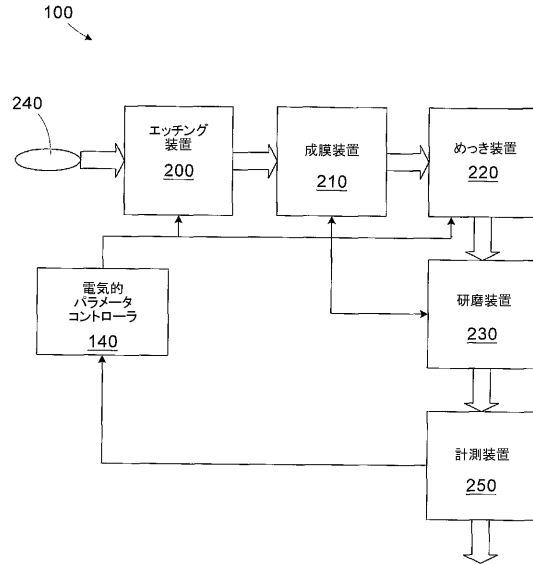
【図 4】図 2 の製造システムの一部の別の実施形態の簡略ブロック図である。

【図 5】測定で求めた電氣的性能特性に基づいて製造プロセスを制御するための方法の簡略フロー図である。

【図 1】



【図 2】



【図 3 A】

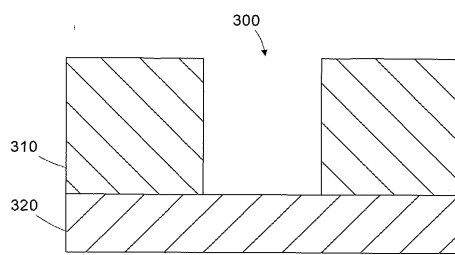


Figure 3A

【図 3 D】

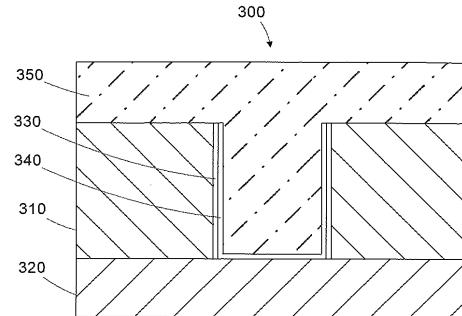


Figure 3C

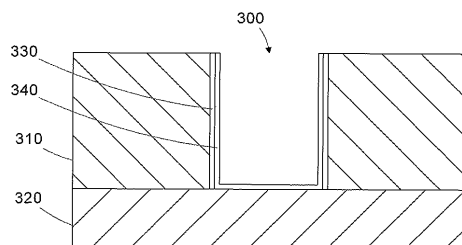


Figure 3B

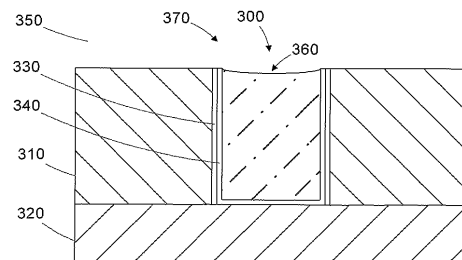
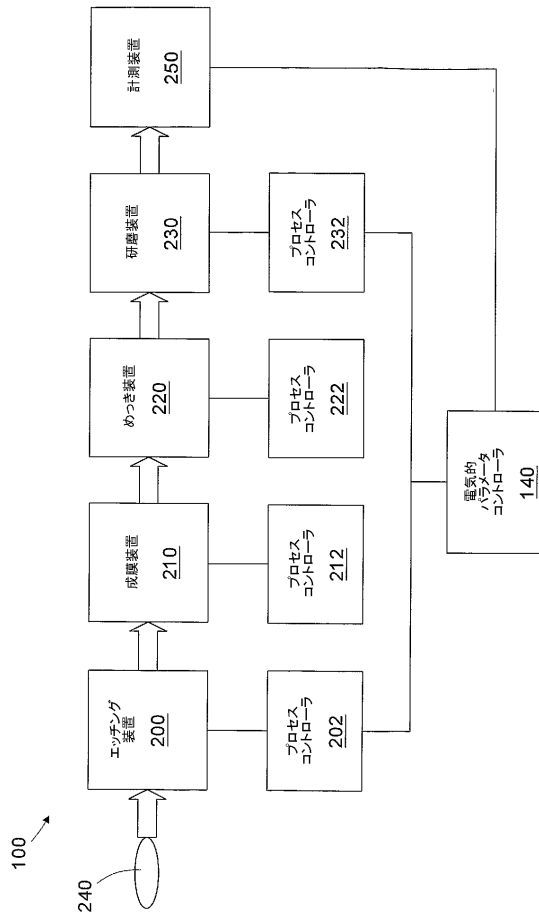
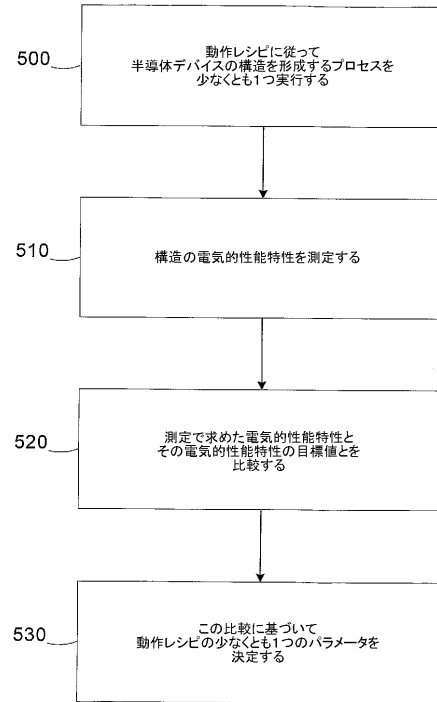


Figure 3D

【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

- (72)発明者 ロバート ジェイ . チョン
アメリカ合衆国、テキサス州 78749、オースティン、ゲイピアン ドライブ 6921
- (72)発明者 ジン ワン
アメリカ合衆国、テキサス州 78703、オースティン、ウェスト 6 ス ストリート ナンバ
ーシー 1628

合議体

審判長 北島 健次

審判官 西脇 博志

審判官 近藤 幸浩

- (56)参考文献 特開2001-196283(JP, A)
特開2000-012638(JP, A)
特開平11-284040(JP, A)
特開平2002-203881(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/02

H01L 21/66