

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4505786号
(P4505786)

(45) 発行日 平成22年7月21日(2010.7.21)

(24) 登録日 平成22年5月14日(2010.5.14)

(51) Int.Cl. F I
H O 1 L 21/66 (2006.01)
H O 1 L 21/66 P
H O 1 L 21/66 Z

請求項の数 9 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2003-500963 (P2003-500963)
(86) (22) 出願日 平成14年4月2日(2002.4.2)
(65) 公表番号 特表2004-528722 (P2004-528722A)
(43) 公表日 平成16年9月16日(2004.9.16)
(86) 国際出願番号 PCT/US2002/012827
(87) 国際公開番号 W02002/097878
(87) 国際公開日 平成14年12月5日(2002.12.5)
審査請求日 平成17年3月30日(2005.3.30)
(31) 優先権主張番号 09/865,286
(32) 優先日 平成13年5月25日(2001.5.25)
(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 DEVI
CES INCORPORATED
アメリカ合衆国、94088-3453
カリフォルニア州、サニペイル、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 100132207
弁理士 太田 昌孝

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 プロセス層の共形性を決定する方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、この基板上に堆積された側壁を有するスタックとを含むグレーティング構造、およびこのグレーティング構造上に形成されたプロセス層を有するウェハを提供するステップと、

光源で、前記グレーティング構造を覆うプロセス層の少なくとも一部分を照らすステップと、

反射プロファイルを生成するために、前記グレーティング構造および前記プロセス層の照らされた部分から反射された光を測定するステップと、

前記生成された反射プロファイルを基準反射プロファイルのライブラリと比較し、前記側壁上に堆積された前記プロセス層の厚さと前記基板上に堆積された前記プロセス層の厚さとの比率を決定することによって、プロセス層の共形性を決定するステップと、を含む

、

プロセス層の共形性を決定する方法。

【請求項 2】

前記生成された反射プロファイルを基準反射プロファイルのライブラリと比較するステップであって、各基準反射プロファイルが、関連する共形性の判定基準を有しているステップと、

前記生成された反射プロファイルに最も近い基準反射プロファイルを選択するステップと、

10

20

前記選択された基準反射プロファイルに関連する前記共形性の判定基準に基づいて、前記プロセス層の共形性を決定するステップと、をさらに含む、

請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記反射プロファイルを生成するステップは、前記反射光の強度と位相の少なくとも一方に基づいて、前記反射プロファイルを生成するステップを含む、

請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

前記プロセス層の共形性を決定するステップは、

前記生成された反射プロファイルを、ターゲット反射プロファイルと比較するステップと、

前記生成された反射プロファイルと、前記ターゲット反射プロファイルとの比較に基づいて、前記プロセス層の共形性を決定するステップと、をさらに含む、

請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】

前記決定された共形性に基づいて、処理ツールの操作レシピの少なくとも一つのパラメータを決定するステップをさらに含む、

請求項 1 記載の方法。

【請求項 6】

基板と、この基板上に堆積された側壁を有するスタックとを含むグレーティング構造およびグレーティング構造上に形成されるプロセス層を有するウェハを受け取るように構成された、測定ツールであって、

前記グレーティング構造を覆う前記プロセス層の少なくとも一部分を照らすように構成された光源と、

反射プロファイルを生成するために、前記グレーティング構造および前記プロセス層の照らされた部分から反射された光を測定するように構成された検出器と、

前記生成された反射プロファイルを基準反射プロファイルのライブラリと比較し、前記側壁上に堆積された前記プロセス層の厚さと前記基板上に堆積された前記プロセス層の厚さとの比率を決定することによって、前記プロセス層の共形性を決定するように構成されたデータ処理ユニットとを有する、

測定ツール。

【請求項 7】

前記データ処理ユニットは、さらに、前記生成された反射プロファイルを基準反射プロファイルのライブラリと比較するように構成されており、

関連する共形性の判定基準を有する各基準反射プロファイルは、前記生成された反射プロファイルに最も近い基準反射プロファイルを選択し、前記選択された基準反射プロファイルに関連する前記共形性の判定基準に基づいて、前記プロセス層の共形性を決定する、

請求項 6 記載の測定ツール。

【請求項 8】

前記検出器は、前記反射光の強度と位相の少なくとも一方に基づいて、前記反射プロファイルを生成するように構成されている、

請求項 6 記載の測定ツール。

【請求項 9】

前記データ処理ユニットは、さらに、前記生成された反射プロファイルをターゲット反射プロファイルと比較し、前記生成された反射プロファイルと前記ターゲット反射プロファイルとの比較に基づいて、前記プロセス層の共形性を決定するように構成されている、

請求項 6 記載の測定ツール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、半導体デバイスの製造分野、特に、プロセス層の共形性を決定する方法および装置に関する。

【背景技術】

【0002】

US-A-5 867 276は、波長幅の広い、非破壊光波測定のための方法と装置を開示する。これに記載された技術は、フォトレジストのライン、金属、絶縁体または半導体材料を含んだ、下に薄膜を有するサンプルを照らすことと、そのサンプルから回折ビームを分析するために分光計を使用することを含む。回折波の特徴は、そのラインの幅、高さ、そして側壁の角度のようなパラメータを決定するのに使用することができる。

US-A-4 600 597は、半導体基板上の、スピコートされた薄膜の輪郭を決定する方法と装置を開示する。この方法は、多数の、絶縁した平行なラインを、基板の表面の平らな部分上に形成し、このようなラインを測定することを含む。その後は、スピコートされた、粘着性がある物質の薄膜が、ラインと基板の上に形成され、それから、ステップの高さが寸法測定装置 (profilometer) で測定される。このステップの高さは、スピコートされた薄膜の平坦化の輪郭を決定するために、それぞれのラインで測定される。

US-A-5 393 624は、超マイクロパターンの電極で半導体デバイスを製造する方法について開示する。光がレジスト膜上に投影され、平らな領域から反射された光が、レジスト膜の厚みを測定するために検出される。後続の処理ステップは、測定された厚みに基づいて制御されるので、その電極は、所望の幅を有する。

半導体集積回路デバイスはマイクロプロセッサを含む多数のアプリケーションで使

用される。
一般に半導体デバイスの性能は、その密度および形成されたデバイスの速度の両方による。その性能に大きな影響を及ぼす半導体デバイスの共通の要素は、トランジスタである。

ゲート長さおよびチャネル長さのような設計の特徴は、堅実に、より高い実装密度を達成し、かつデバイスの性能を改良するために減少している。

電界効果トランジスタの設計の迅速な進歩は、トランジスタが二進法のスイッチングモードで操作されるエレクトロニクスの分野での種々様々な働きに影響を与えている。

マイクロプロセッサその他同種のもののような複雑なデジタル回路は、特に速くスイッチングするトランジスタを必要とする。

従って、チャネル長さまたはゲート長さ寸法と一般に呼ばれる電界効果トランジスタのドレイン領域とソース領域の間の距離を縮小して、スイッチング・ゲート電圧が印加された後すぐに、ソースとドレイン電極間に導通チャネルが形成されるように、さらに、チャネルの電気抵抗を低下させるようにする。

【0003】

トランジスタ構造は、一般的に幅寸法と呼ばれるトランジスタの縦の寸法が $20\ \mu\text{m}$ まで拡張する一方、ドレインとソースの領域間の距離、すなわち、チャネル長さが $0.2\ \mu\text{m}$ またはそれより少ない値まで縮小し得るように作られている。

チャネル長さが、ソース - ドレインラインの所望のスイッチング特性を得るべく縮小されるとともに、ゲート電極の長さも縮小される。

【0004】

トランジスタは、一連のステップを通じて形成される。

一般的なトランジスタ構造 100 を、図 1 A と図 1 B を参照して説明する。

最初に、浅いトレンチ分離領域 105 が、基板 110 にトレンチをエッチングし、その後、適切な絶縁材料 (例えば、二酸化ケイ素) でトレンチを埋めることによって、基板 110 に形成される。

次に、ゲート絶縁層 115 が、トレンチ分離領域 105 間の基板 110 の上に形成される。

このゲート絶縁層 115 は種々の材料で構成することができるが、一般的には、熱処理により成長した二酸化ケイ素の層で構成される。

その後、トランジスタ 100 のゲート電極 120 は、ゲート電極材料、一般的にポリシリコンの層をゲート絶縁層 115 の上に形成するステップ、ゲート電極 120 を定義するために既知のフォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を使用して、ゲート電極材料の層をパターン化するステップによって、一般的に形成される。

もちろん、このような何百万ものゲート電極 120 が、このパターン化するプロセスの間に基板 110 の全表面で形成されている。

【0005】

トランジスタ 100 の能動領域を形成するために、一連のインプラントが行われる。それによって、様々なドーパント原子を基板に注入することができる。

一般的には、トランジスタの小さな寸法から発生するショートチャネル効果を減少させるためにハロ(halo)インプラントが行われる。また、トランジスタ 100 の結合キャパシタンスを小さくするために LDD (lightly doped drain) または追加のインプラントが行なわれる。

その後、比較的高濃度のドーパント原子が、ソース/ドレイン領域の形成を完了するために、基板の中に注入されてもよい。

この「後の」インプラントは、ソース/ドレイン・インプラントと呼ばれることもある。

スペーサ 125 は、いくつかのインプラント領域の位置を制御するために、ゲート電極 120 について形成される。

スペーサ 125 を形成するために、絶縁材料(例えば、二酸化ケイ素)の層 130 が、基板 110 およびゲート電極 120 の上に形成される。

絶縁層 130 は、基板 110 が露出するまで、スペーサ 125 を形成するためにゲート電極 120 に隣接する絶縁層 130 の一部を完全に残すように、非等方性エッチングされる。

続いて、図示しない第二スペーサが、ソース/ドレイン・インプラントの境界を定義するために、スペーサ 125 上に形成され得る。

一般的には、図示しない第二スペーサは、同じ方法で、窒化ケイ素の層を使用して形成される。

【0006】

スペーサ 125 の最終的な幅は、少なくとも部分的には、ゲート電極 120 の側壁(サイドウォール) 135 上に堆積された絶縁層 130 の一部の厚みによって決定される。

スペーサ 125 を形成するエッチング・プロセスを終えるのに必要な時間は、基板 110 およびゲート電極の上表面 140 上に堆積された絶縁層 130 の部分の厚みによる。

【0007】

絶縁層 130 のような、層の共形性は、水平な領域の堆積物(deposition)の厚み「Y」(つまり、基板 110 と平行である堆積物の厚み)に対する側壁の堆積物の厚み「X」(つまり、基板 110 に垂直である堆積物の厚み)の間の比率として定義される。

堆積層の共形性は、堆積されている材料、および下部構造の密度によって異なる。

一般的に低密度の構造物上に堆積したプロセス層は、より高い共形性を示す。この層の共形性は、最終的にスペーサ 125 の幅に影響を与える。

一般的に共形性は、実際のデバイス製造時ではなく、そのプロセスの特徴付けの段階に調査される。

堆積した薄膜の共形性を決定するために一般に用いられている検査技術は、破壊的な断面技術である。

【0008】

生産工程中の堆積プロセスにおける通常のばらつきは、堆積した層の共形性に影響し得る。

生産ラインの中では、共形性を監視することはできないので、そのばらつきは他の処理ステップにまで伝播する。

例えば、絶縁層 130 の共形性におけるばらつきは、スペーサ 125 の幅のばらつき、

10

20

30

40

50

およびインプラント領域のサイズおよび間隔に対応するばらつきを引き起こすことがある。インプラント領域におけるばらつきは、完成したデバイスの性能のばらつきを引き起こす可能性がある。

一般に、ばらつきが大きくなると、スループット、収量（イールド）および収益性を減少させる。

【 0 0 0 9 】

本発明は、上述に記載した一またはそれ以上の問題点を、克服または少なくともその影響を減少させるためのものである。

【 発明の開示 】

【 0 0 1 0 】

本発明の一つの態様は、プロセス層の共形性を決定する方法である。

この方法は、グレーティング（grating）構造およびグレーティング構造上に形成されたプロセス層を有するウェハを提供するステップ、光源で、グレーティング構造を覆うプロセス層の少なくとも一部分を照らすステップ、反射プロファイルを生成するために、グレーティング構造およびプロセス層の照らされた部分から反射された光を測定するステップ、そして反射プロファイルに基づいてプロセス層の共形性を決定するステップ、を含む。

【 0 0 1 1 】

本発明の別の態様は、グレーティング構造およびグレーティング構造の上に形成されるプロセス層を有するウェハを受け入れるように構成されている測定ツールである。

測定ツールは、光源、検出器およびデータ処理ユニットを含む。

光源は、グレーティング構造を覆うプロセス層の少なくとも一部分を照らすように構成されている。

検出器は、反射プロファイルを生成するために、グレーティング構造およびプロセス層の照らされた部分から反射された光を測定するように構成されている。

データ処理ユニットは、生成された反射プロファイルに基づいてプロセス層の共形性を決定するように構成されている。

【 0 0 1 2 】

本発明は、添付の図面と共に、詳細な説明を参照することによって理解することができる。図面中、類似する参照符号は、類似する要素を示す。

本発明は、様々な変形および代替形態をとることが可能であるが、この中の特定の実施例を図面に記載した例で示し、詳細に説明する。

しかしながら、本図面および詳細な説明は、発明を開示された特定の形式に制限するものではない。それどころか、添付の請求項によって定義されるような本発明の趣旨およびその範囲内にある修正例、均等物および代替物に及ぶ。

【 本発明の実施形態 】

【 0 0 1 3 】

本発明の一例となる実施形態について、以下に説明する。

明確化のために、実製品のすべての特徴点が、この明細書に記述されるとは限らない。

このような実製品の開発では、開発者の特別の目的を達成するために、実施の度に变化する、システムおよびビジネスに関連するような制限に応じて、実施に特有の多数の決定を下さなければならない。

さらに、そのような開発努力は、複雑で時間を消費する可能性があるが、それにも拘わらず、この開示から利益を受ける技術分野における当業者にとってはそれが定例のことである。

【 0 0 1 4 】

図 2 は、本発明の一例となる実施形態に従って、ウェハ 205 を処理するための一例となる処理ライン 200 の簡略図である。

処理ライン 200 は、ウェハ 205 にプロセス層を堆積するための堆積ツール 210 を有する。

10

20

30

40

50

図示された実施例では、プロセス層は、例えば、二酸化ケイ素または窒化ケイ素からなり、グレーティング構造（例えば、ゲート電極）の上に形成される絶縁層とすることができる。

様々な組成のプロセス層を堆積するための個々の技術は、当業者に周知である。堆積ツール 210 として使用するにふさわしい一般的なツールは、カリフォルニア州のサンノゼの株式会社である、Novellus システムズ社によって提示された「コンセプト 2」のような、プラズマ CVD (PE-CVD) ツールである。

堆積ツール 210 の堆積操作におけるばらつき、およびプロセス層の基礎となるウェハ 205 上で形成された構造のジオメトリにおけるばらつきは、前述したようなプロセス層の共形性におけるばらつきを引き起こし得る。

【0015】

処理ライン 200 は、ウェハ 205 の上に形成されたプロセス層の共形性を測定するようにされた非破壊光波測定 (scatterometry) ツール 220 を含む。

一般に、非破壊光波測定ツール 220 は、楕円偏光計または反射率計のようなオプティカル・ハードウェア、および、オプティカル・ハードウェアによって収集されたデータを処理する非破壊光波測定ソフトウェア・アプリケーションが搭載されたデータ処理ユニットを含む。

例えば、オプティカル・ハードウェアは、カリフォルニア州のフリーモントの Thermawave 社によって提供される「スペクトル偏光解析器」を備えたモデル OP5230 または OP5240 を含んでいてもよい。

データ処理ユニットは、東京エレクトロンアメリカ社の全額出資の子会社である、テキサス州のオースティンの会社である Timbre テクノロジーズによって製造され、Thermawave 社によって販売される プロファイル・アプリケーションサーバを含んでいてもよい。

【0016】

非破壊光波測定ツール 220 は、堆積ツール 210 の外部にあってもよいし、またはその代わりに、非破壊光波測定ツール 220 は、堆積ツール 210 内にインストールされていてもよい。

プロセス・コントローラ 230 は、堆積されたプロセス層の測定された共形性に基づいて、処理ライン中の他のツールの動作を制御するために提供される。

処理ラインは、さらに、スペーサ・エッチング・プロセスのようなプロセス層上で追加の処理ステップを行なうためのエッチング・ツール 240 を含んでいる。エッチング・ツール 240 として使用するにふさわしい一般的なツールは、カリフォルニア州のフリーモントの Lam リサーチ株式会社によって提供される、Rainbow エッチングシステムである。

【0017】

プロセス・コントローラ 230 は、堆積ツール 210 にフィードバック情報を供給し、続いて処理されるウェハ 205 の堆積プロセスの共形性を改良するために、その操作レシピ (operating recipe) を調節することができる。

プロセス・コントローラは、さらに、非破壊光波測定ツール 220 によって測定されている、現在のウェハ 205 に対するエッチング操作を制御するためにエッチング・ツール 240 にフィードフォワード情報を供給することができる。

これらのフィードバック制御およびフィードフォワード制御の技術について、以下に詳述する。

【0018】

図示された実施例では、プロセス・コントローラ 230 は、上述した機能をソフトウェアで実行すべくプログラムされたコンピュータである。

しかしながら、当業者に認識されるように、特定の機能を実行するように設計されたハードウェア制御装置が使用されてもよい。

さらに、プロセス・コントローラ 230 によって実行される機能は、ここに記述されるように、システムの全体にわたって設置された複数のコントローラ・デバイスによって実行されてもよい。

10

20

30

40

50

また、プロセス・コントローラ 230 は、スタンド・アロンのコントローラでもよいし、堆積ツール 210 のようなツールまたは非破壊光波測定ツール 220 に統合されていてもよいし、または、集積回路製造設備中の操作を制御するシステムの一部であってもよい。

【0019】

発明の一部および対応する詳細な説明はソフトウェア、つまりアルゴリズムおよびコンピュータメモリ内のデータ・ビットによるオペレーションのシンボリックな表現の形式で説明される。

これらの記載と表現は、当業者が他の当業者に、効率的に作用の内容を伝達するものである。

10

ここで使用されている用語であるアルゴリズムは、一般的に、所望の結果に結びつくステップの自己矛盾がないシーケンスと考えられる。

このステップとは、物理量の物理的な操作を伴うものである。

必ずではないが、通常、これらの量は格納すること、転送すること、組み合わせること、比較すること、または操作することができる光学的な信号、電氣的な信号、または磁気信号の形式をとる。

主に慣用的な理由により、これらの信号を、ビット、値、要素、記号、文字、用語、数またはその他同種のものとして呼ぶことは、時に便利である。

【0020】

しかし、これらの言葉および同類語は、適切な物理量に対応付けられており、これらの量に使用された単に便利な標識である。

20

もし、特に提示されなかったならば、または議論から明白なように、「処理すること」または「コンピュータで計算すること」または「計算すること」、または「決定すること」または「表示すること」または同種の用語は、コンピュータシステムまたはその他の情報記憶装置のレジスタおよびメモリ内の物理的電子量として表されるデータを、コンピュータシステムメモリまたはレジスタ、送信装置、または表示装置内の物理量として同様に表わされる他のデータに操作、変換するコンピュータシステムまたは同様の電子計算機の動作およびプロセスに関連する。

【0021】

上述したように、プロセス・コントローラ 230 の機能を実行することができるようになって一般的ソフトウェア・システムは、KLA-Tencor社によって提供されるCatalystシステムである。

30

Catalystシステムは、SEMI (Semiconductor Equipment and Materials International) ・CIM (Computer Integrated Manufacturing) フレームワークのシステム技術を使用し、APC (Advanced Process Control) フレームワークに基づく。

CIM (SEMI E81-0699: CIMフレームワークのドメインアーキテクチャの暫定仕様) および APC (SEMI E93-0999: CIMフレームワークのプロセス制御コンポーネントの暫定仕様) の仕様は、SEMI から公に利用可能である。

【0022】

一実施例では、非破壊光波測定ツール 220 は、生産中のデバイスに形成された構造上で観察されるプロセス層の共形性を測定する。

40

例えば、非破壊光波測定ツール 220 は、ゲート電極のまわりに絶縁のスペーサを形成するためのゲート電極上に堆積された絶縁材料 (例えば二酸化ケイ素または窒化ケイ素) の層の共形性を測定する。

構造のジオメトリまたは下部構造物の存在によって、非破壊光波の測定が妨害される場合がある。

従って、ウェハ 205 上に形成された構造 (例えば、ゲート電極) と同じ一般的な構成を有するテスト構造物を使用してよい。

テスト構造物は、通常はデバイスを形成するために使用されないウェハ 205 の領域、例えば、一般的に識別コードが罫書きされる周囲領域、または生産ダイ間のスクライプ・

50

ライン中に形成されてもよい。

【 0 0 2 3 】

図 3 には、ウェハ 2 0 5 上のテスト構造として使用され得る一般的なグレーティング構造 3 0 0 が示される。

グレーティング構造 3 0 0 は、ウェハ 2 0 5 上に形成された生産デバイスに含まれる構造と同じ一般的な構造（例えば、ジオメトリ、材料、高さなど）を有する。

プロセス層 3 1 0 は、グレーティング構造 3 0 0 の上に形成される。

図示された実施例では、グレーティング構造 3 0 0 は、基板 3 3 0 上に形成されたスタック 3 2 0 を含む。

スタック 3 2 0 は、ゲート絶縁層 3 4 0 と、ウェハ 2 0 5 上のデバイスの実際のトランジスタのゲート電極を形成するために使用される同じプロセス層のパターン化により形成されるポリシリコン・ゲート電極 3 5 0 を含む。

【 0 0 2 4 】

図 4 は、グレーティング構造 4 0 0、およびグレーティング構造を覆うプロセス層 4 1 0 を有するウェハ 2 0 5 を装着した、非破壊光波測定ツール 2 2 0 の簡略図である。

グレーティング構造 4 0 0 は、そのウェハ 2 0 5（S T I 構造物は、図 4 には図示しない）の上の生産デバイスに形成された構造であってもよいし、またはその代わりに、グレーティング構造 4 0 0 は、図 3 に関する上記のグレーティング構造 3 0 0 と類似するテスト構造物であってもよい。

非破壊光波測定ツール 2 2 0 は、光源 2 2 2 と、グレーティング構造 4 0 0 およびプロセス層 4 1 0 に近い位置に置かれた検出器 2 2 4 を含む。

非破壊光波測定ツール 2 2 0 の光源 2 2 2 は、グレーティング構造 4 0 0 を覆うプロセス層 4 1 0 の少なくとも一部分を照らす。また、検出器 2 2 4 は、強度や位相のような、反射光の光学的な測定をする。

データ処理ユニット 2 2 5 は、検出器 2 2 4 から光学的な測定値を受け取り、プロセス層 3 0 0 の共形性を決定するためにデータを処理する。

【 0 0 2 5 】

非破壊光波測定ツール 2 2 0 は、実施形態に応じて、単色光、白色光、他の波長または波長の組合せを使用することができる。

光の入射角は、さらに実施形態に応じて変化し得る。

非破壊光波測定ツール 2 2 0 によって分析された光は、一般的に反射された（すなわち、入射角が反射された角度と等しい）構成要素および屈折した（すなわち、入射角が反射された角度と等しくない）構成要素を含む。

本願では、「反射された」光という用語は、両方の構成要素を包含するものとして説明する。

【 0 0 2 6 】

プロセス層 4 1 0 の共形性におけるばらつきは、完全に共形なプロセス層 4 1 0 または、少なくとも許容できる共形性を有するプロセス層 4 1 0 に存在する光散乱プロファイルと比較して、非破壊光波測定ツール 2 2 0 によって測定された反射プロファイル（例えば、強さ対波長： $\tan(\quad)$ 、位相対波長： $\sin(\quad)$ ）である。 (\quad) と (\quad) は、一般的な非破壊光波測定出力として当業者に知られている。）のばらつきを引き起こす。

【 0 0 2 7 】

図 5 A、図 5 B および図 5 C は、測定された反射プロファイルに基づいてプロセス層 4 1 0 の共形性の特性を表すためにデータ処理ユニット 2 2 5 によって使用される、基準反射プロファイルのライブラリ（reference reflection profile library）2 3 2（図 2 を参照）に含まれることがある一般的な反射プロファイル 5 0 0、5 1 0 および 5 2 0 を示す。

全ての構造に対して予期される特定の反射プロファイルは、グレーティング構造 4 0 0 の特定のジオメトリ、プロセス層 4 1 0 の共形性、および非破壊光波測定ツール 2 2 0 によって使用される測定技術のパラメータ（例えば、光の帯域幅、入射角など）に依存する

10

20

30

40

50

。

基準反射プロファイルのライブラリ 2 3 2 のプロファイルは、一般的に、プロセス層 4 1 0 の特性およびグレーティング構造 4 0 0 のトポロジーおよびジオメトリに基づいてマクスウェルの方程式によって理論的に計算される。

非破壊光波測定ライブラリは、Timbreテクノロジー社から市販されている。

基準反射プロファイルのライブラリ 2 3 2 のプロファイルは、サンプル・ウェハの反射プロファイルを測定し、続いて測定されたウェハの共形性を破壊的または非破壊的な検査技術によって特徴づけることによって、経験的に生成することもできる。

【 0 0 2 8 】

図 5 A の反射プロファイル 5 0 0 は、本質的に完全な共形性（例えば、側壁と平坦面の厚みが等しい）を備えたプロセス層 4 1 0 の予期されるプロファイルを表わす。

図 5 B の反射プロファイル 5 1 0 は、わずかに縮小された側壁の厚み（すなわち、より低い共形性）を有するプロセス層 4 1 0 の予期されるプロファイルを表わす。また、図 5 C の反射プロファイル 5 2 0 は、かなり共形性が低くなったプロセス層 4 1 0 の予期されるプロファイルを表わす。

様々な共形性の値を有するプロセス層 4 1 0 の反射プロファイルを、基準反射プロファイルのライブラリ 2 3 2 に含めることができる。

【 0 0 2 9 】

データ処理ユニット 2 2 5 は、測定された反射プロファイルを基準反射プロファイルのライブラリ 2 3 2 と比較する。

各レファレンス・プロファイルは、例えば、関連する共形性の判定基準を有する。この判定基準は、個々の側壁の厚みと平らな表面の実際の厚みによって、または、側壁の厚みと平らな表面の厚みとの比率によって、表わされることがある。

データ処理ユニット 2 2 5 は、測定された反射プロファイルと最も近い基準反射プロファイルを決定する。

測定された反射プロファイルを最も近い基準反射プロファイルに一致させる技術は当業者に周知であるので、ここでは詳細に説明しない。

【 0 0 3 0 】

別の実施例では、プロセス・コントローラ 2 3 0 または図示しない他の外部コントローラが、測定された反射プロファイルを基準反射プロファイルのライブラリ 2 3 2 と比較するように構成されていてもよい。

この場合、非破壊光波測定ツール 2 2 0 は、一致する基準反射プロファイルを出力する。また、プロセス・コントローラ 2 3 0 は、その基準反射プロファイルを関連する共形性の判定基準にリンクしてもよい。

【 0 0 3 1 】

別の実施例では、測定された反射プロファイルを、既知の、所望の共形性の特性（例えば、1 の共形性）を有するプロセス層 4 1 0 のために基準反射プロファイルのライブラリ 2 3 2 から選んだターゲット反射プロファイル（target reflection profile）と比較することができる。

例えば、ターゲット反射プロファイルは、マクスウェルの方程式を使用して、理想的または許容できる共形性プロファイルを有するプロセス層 4 1 0 のために計算してもよいし、また、そのターゲット反射プロファイルを、基準反射プロファイルのライブラリ 2 3 2 に格納することができる。

その後、未知の程度の共形性を有するプロセス層 4 1 0 の測定された反射プロファイルは、ターゲット反射プロファイルと比較される。この比較に基づいて、おおよその共形性の近似値を決定することができる。

すなわち、測定された反射プロファイルをターゲット反射プロファイルと比較することによって、プロセス層 4 1 0 の共形性を近づけることができるので、測定された反射プロファイルを、基準反射プロファイルのライブラリ 2 3 2 からの追加の基準反射プロファイルとさらに一致させるようなことは保証されない。

10

20

30

40

50

この技術を使用して、プロセス層 4 1 0 の共形性に関して、最初の決定がされ得る。

もちろんこのステップは、上述のように、基準反射プロファイルのライブラリ 2 3 2 からの基準反射プロファイルに、測定された反射プロファイルを一致させること、関連させることに加えて行なわれてもよい。

【 0 0 3 2 】

非破壊光波測定ツール 2 2 0 から共形性の判定基準を受け取った後、プロセス・コントローラ 2 3 0 は、様々な自律した行動を起こすことができる。

本発明の一実施例では、プロセス・コントローラ 2 3 0 は、堆積ツール 2 1 0 によって処理される後続のウェハに対する堆積操作を制御するために、共形性の判定基準に基づいて、堆積ツール 2 1 0 の操作レシピを修正するように構成されている。

10

本発明の他の実施例では、プロセス・コントローラ 2 3 0 は、共形性の判定基準に基づいてプロセス層 4 1 0 のエッチングを制御するために、エッチング・ツール 2 4 0 の操作レシピを修正するように構成されている。

もちろん、両方の実施例は組み合わせることができる。また、プロセス・コントローラ 2 3 0 は、堆積ツール 2 1 0 の操作レシピとエッチング・ツール 2 4 0 の両方を同時に制御することができる。

【 0 0 3 3 】

堆積ツール 2 1 0 の操作レシピの様々なパラメータは、堆積されたプロセス層 4 1 0 の共形性に影響するように制御することができる。

例えば、共形性に影響する周知のレシピ・パラメータは、プラズマ発生器の R F バイアス、堆積プロセスが行われる圧力および堆積を行う前のウェハ 2 0 5 を標準化 (normalize) するために使用される時間と温度である (すなわち、一般的に、浸透時間、浸透温度と呼ばれる)。

20

【 0 0 3 4 】

プロセス・コントローラ 2 3 0 は、その操作レシピを変更するために、堆積ツール 2 1 0 の制御モデルを使用することができる。

例えば、プロセス・コントローラ 2 3 0 は、共形性の偏差を修正するために、R F バイアス、圧力または浸透パラメータを制御する堆積ツール 2 1 0 中の特定の操作レシピのパラメータに、測定された共形性を関連する制御モデルを使用してもよい。

制御モデルは、周知の線形または非線形の技術を使用して経験則的に開発することができる。

30

制御モデルは、例えば、直線形、指数関数、加重平均などの比較的単純な方程式に基づいたモデルでもよいし、ニューラル・ネット・モデル、P C A モデル (principal component analysis model) または P L S モデル (projection to latent structures model) のような、より複雑なモデルとしてもよい。

そのモデルの特有の実施形態は、選択されたモデリング技術次第で変化し得る。

【 0 0 3 5 】

共形性モデルは、プロセス・コントローラ 2 3 0 によって生成されてもよいし、またはその代わりに、図示しない異なる処理資源によって生成され、開発した後にプロセス・コントローラ 2 3 0 上に格納されるようにしてもよい。

40

堆積ツール 2 1 0 を使用し、または、図示しない同様の操作特性を有する異なるツールを使用して、共形性モデルを開発するようにしてもよい。

この説明では、共形性モデルは、非破壊光波測定ツール 2 2 0 によって測定される堆積ツール 2 1 0 の実際の性能に基づき、プロセス・コントローラ 2 3 0 または他の処理資源によって生成され、更新されると仮定する。

共形性モデルは、堆積ツール 2 1 0 の多数の実行処理から集められた経験データに基づいて調整することができる。

【 0 0 3 6 】

プロセス層 4 1 0 の測定された共形性に基づいて、プロセス・コントローラ 2 3 0 は、エッチング・ツール 2 4 0 の操作レシピを修正して、後続のエッチング・プロセスを制御

50

することができる。

ゲート電極の周縁に形成されたスペーサの幅は、大部分はプロセス層 4 1 0 の側壁の厚みによって決定される。

しかしながら、エッチング後のスペーサの幅は、エッチング・ツール 2 4 0 のエッチング時間を制御することによって制御できる。

例えば、プロセス層 4 1 0 の側壁の厚みが所望のターゲット・スペーサの幅より厚い場合、ターゲット・スペーサの幅により近づくように、シリコン基板が露出された後も、スペーサ幅を縮小するためにエッチング・プロセスを所定の期間、継続することができる。

堆積ツール 2 1 0 を制御する点で、上記の共形性モデルと同様に、共形性の測定値に基づいてエッチング・ツール 2 4 0 のエッチング時間を制御するためにスペーサの幅モデルを生成することができる。

10

上述のように、スペーサ・エッチング・モデルは、単純な、方程式に基づいた制御モデル、またはより高度な予測モデルであってもよい。

【 0 0 3 7 】

本発明の別の実施例では、プロセス・コントローラ 2 3 0 は、プロセス層 4 1 0 の共形性を決定する際に必要なプロセス層 4 1 0 の形成に先立つ下地としてのグレーティング構造 4 0 0 のプロファイルに関する、あらかじめ格納された判定基準にアクセスしてもよい。

例えば、グレーティング構造 4 0 0 のプロファイルは、明白な共形性に効果を及ぼすことがある。

20

グレーティング構造 4 0 0 のプロファイルがリエントラント (re-entrant) な場合、側壁の厚みが実際の厚みよりも少なくみえることがある。

同様に、グレーティング構造 4 0 0 のプロファイルが肯定的 (positive) な場合、側壁の厚みは実際の厚みよりも大きくみえることがある。

グレーティング構造 4 0 0 のプロファイルを計算に入れることによって、プロセス・コントローラ 2 3 0 は、共形性の測定値を修正することができる。

【 0 0 3 8 】

図 6 は、本発明の他の実施例による、プロセス層の共形性を決定する方法を簡略化したフローチャートを示す。

ブロック 6 0 0 では、グレーティング構造 4 0 0 およびグレーティング構造 4 0 0 上に形成されたプロセス層を有するウェハが提供される。

30

ブロック 6 1 0 では、グレーティング構造 4 0 0 を覆うプロセス層 4 1 0 の少なくとも一部分が、光源で照らされる。

ブロック 6 2 0 では、グレーティング構造 4 0 0 およびプロセス層 4 1 0 の照らされた部分から反射された光が、反射プロファイルを生成するために測定される。

ブロック 6 3 0 では、プロセス層 4 1 0 の共形性が、反射プロファイルに基づいて決定される。

【 0 0 3 9 】

非破壊光波測定ツール 2 2 0 からのフィード・バックに基づいて、共形性を監視することは、上述のように、多数の長所を有する。

40

堆積ツール 2 1 0 は、プロセス層 4 1 0 の共形性を増加させるように制御できる。

エッチング・ツール 2 4 0 は、エッチング後のスペーサの幅のばらつきを減らすように制御できる。

ばらつきを減らすことは、処理ライン 2 0 0 上で生産されたデバイスの品質、および処理ライン 2 0 0 の効率の両方を高める。

【 0 0 4 0 】

上記に示された特定の実施形態は、専ら説明のためのものであり、ここに記載された教示の利益を有する当業者には、異なるが均等な方式で修正の上、実施可能であることは明らかである。

更に、添付の請求項に記載されている他は、ここに示された構造または設計の詳細に本

50

発明を制限するものではない。

従って、上述の特定の具体例は、代替または修正をすることができ、このような全ての變形例は、発明の要旨及び範囲内のものとして考えられる。

従って、本願で要求する保護は、添付の特許請求の範囲に記載される。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1A】プロセス層がグレーティング構造上に堆積された典型的な半導体デバイスの断面図。

【図1B】プロセス層がグレーティング構造上に堆積された典型的な半導体デバイスの断面図。

【図2】本発明の一実施例によってウェハを処理する処理ラインの簡略図。

【図3】プロセス層の共形性の測定のためのテスト・グレーティング構造を含む典型的な半導体デバイスの断面図。

【図4】グレーティング構造を含むウェハを装着した、図2の非破壊光波測定ツールの簡略図。

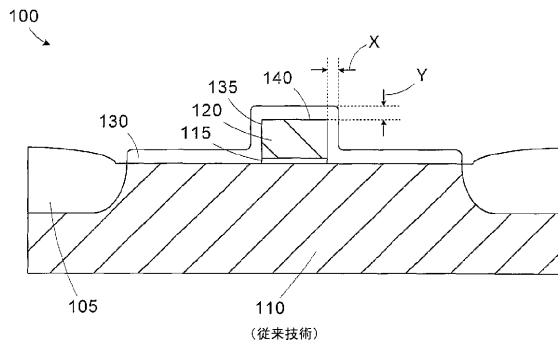
【図5A】図4の非破壊光波測定ツールで測定されたウェハを特徴づける典型的な非破壊光波測定の曲線のライブラリを示した図。

【図5B】図4の非破壊光波測定ツールで測定されたウェハを特徴づける典型的な非破壊光波測定の曲線のライブラリを示した図。

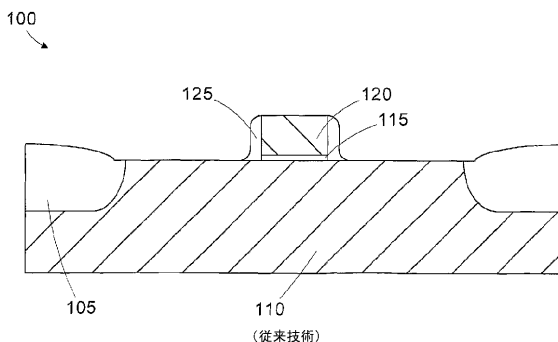
【図5C】図4の非破壊光波測定ツールで測定されたウェハを特徴づける典型的な非破壊光波測定の曲線のライブラリを示した図。

【図6】本発明の他の実施例によってプロセス層の共形性を決定する方法を示す簡略化されたフローチャート。

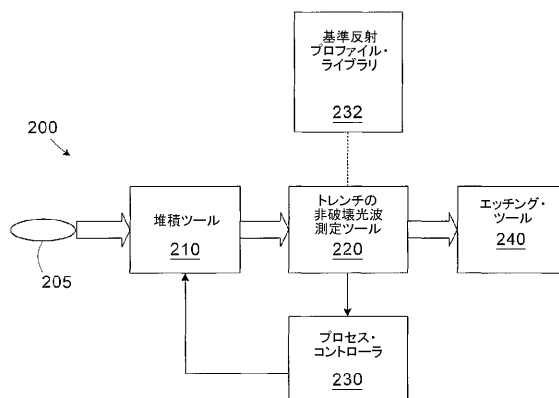
【図1A】



【図1B】



【図2】



【図3】

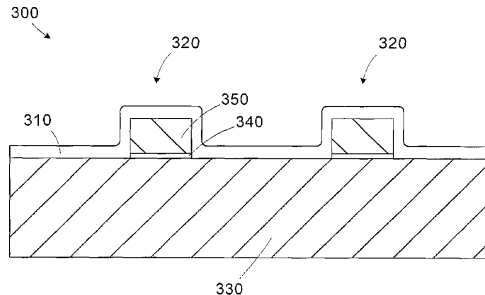
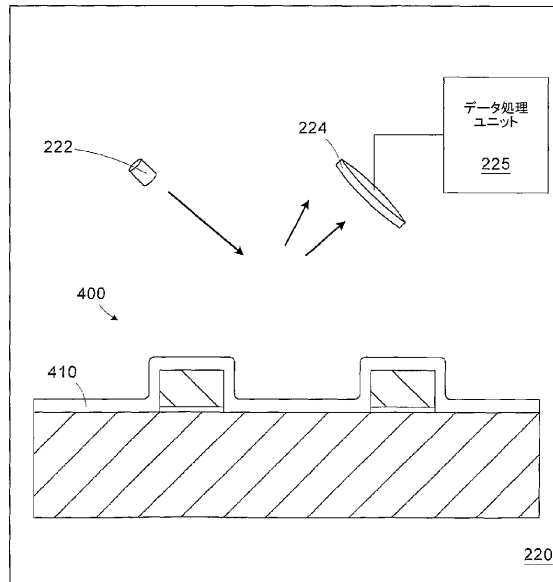
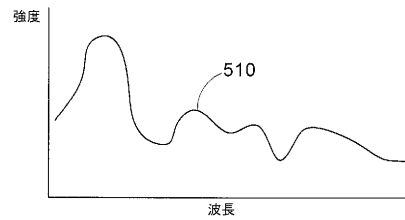


Figure 3

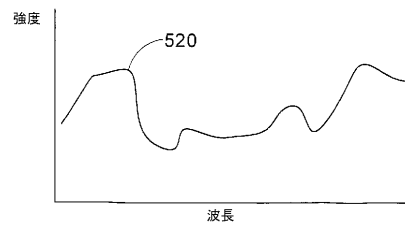
【図 4】



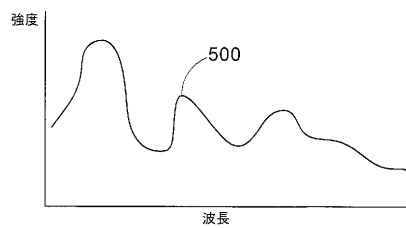
【図 5 B】



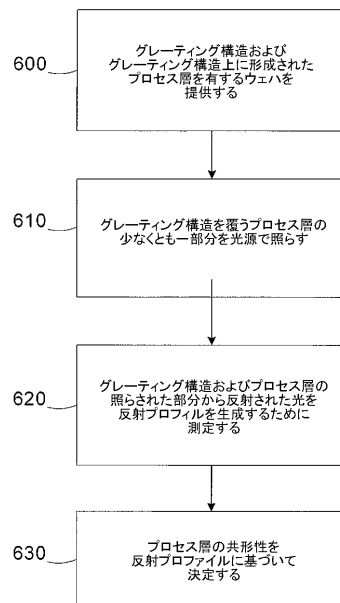
【図 5 C】



【図 5 A】



【図 6】



フロントページの続き

(74)代理人 100162156

弁理士 村雨 圭介

(74)代理人 100099324

弁理士 鈴木 正剛

(74)代理人 100111615

弁理士 佐野 良太

(74)代理人 100108604

弁理士 村松 義人

(72)発明者 マリリン アイ． ライト

アメリカ合衆国、テキサス州 78749、オースティン、テヤ コート 7101

審査官 今井 拓也

(56)参考文献 特開2002-093871(JP,A)

特開2000-241126(JP,A)

特開平11-162954(JP,A)

特開平11-080974(JP,A)

特開2002-198410(JP,A)

特表平09-511328(JP,A)

特開平10-303262(JP,A)

特開平10-135296(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/66

G01B 11/06