

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6393446号
(P6393446)

(45) 発行日 平成30年9月19日(2018.9.19)

(24) 登録日 平成30年8月31日(2018.8.31)

(51) Int.Cl.
H01L 21/302 (2006.01)
H01J 37/317 (2006.01)
H01L 21/3205 (2006.01)
H01L 21/768 (2006.01)
H01L 23/522 (2006.01)

F 1
H01L 21/302 201 B
H01J 37/317 D
H01L 21/88 Z

請求項の数 29 外国語出願 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2014-107733 (P2014-107733)
(22) 出願日 平成26年5月26日 (2014.5.26)
(65) 公開番号 特開2014-232876 (P2014-232876A)
(43) 公開日 平成26年12月11日 (2014.12.11)
審査請求日 平成29年5月16日 (2017.5.16)
(31) 優先権主張番号 61/828,128
(32) 優先日 平成25年5月28日 (2013.5.28)
(33) 優先権主張国 米国(US)
(31) 優先権主張番号 13/910,761
(32) 優先日 平成25年6月5日 (2013.6.5)
(33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 501419107
エフ・イー・アイ・カンパニー
アメリカ合衆国オレゴン州97124, ヒ
ルズバラ, ノースイースト・ドーソンクリ
ーク・ドライブ5350
(74) 代理人 100103171
弁理士 雨貝 正彦
(72) 発明者 チャド・ルー
アメリカ合衆国 オレゴン州 97229
ポートランド エヌダブリュー ロック
・クリーク・ブルヴァード 21335
(72) 発明者 クライブ・ディー・チャンドラー
アメリカ合衆国 オレゴン州 97212
ポートランド エヌイー ティラムック
・ストリート 2427

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】集束イオン・ビームを使用した半導体デバイスの平面デプロセッシング用の前駆体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

銅と誘電体の1つまたは複数の混合層をターゲットのエリアから除去する方法であって、

除去するターゲット・エリアを画定するステップであり、前記ターゲット・エリアが、半導体デバイスの銅と誘電体の混合層の少なくとも一部分を含むステップと、

前記ターゲット・エリアに向かって前駆体ガスを導くステップであって、前記前駆体ガスは、短鎖炭化水素とアセテートグループとを含む化合物、および、短鎖炭化水素とニトロアセテートグループとを含む化合物、から選択された化合物を含む、ステップと、

前記前駆体ガスの存在下で、前記ターゲット・エリアに向かって集束イオン・ビームを導き、それによって銅と誘電体の第1の混合層の少なくとも一部分を除去し、ミリングされた前記ターゲット・エリア内に均一に平滑な底部を形成するステップと

を含み、前記前駆体ガスによって、前記集束イオン・ビームが、前記誘電体と同じ速度で前記銅をミリングする

方法。

【請求項 2】

前記前駆体ガスが、酢酸メチル、ニトロ酢酸メチル、酢酸エチル、ニトロ酢酸エチル、酢酸プロピル、ニトロ酢酸プロピル、ニトロエチルアセテート、メトキシ酢酸メチルおよびメトキシアセチルクロリドから選択された、請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

10

20

銅と誘電体の2つ以上の混合層を除去する、請求項1または2に記載の方法。

【請求項4】

前記銅と誘電体の2つ以上の混合層が誘電体層によって分離されている、請求項3に記載の方法。

【請求項5】

銅と誘電体のそれぞれの混合層を除去し、ミリングされた前記ターゲット・エリア内に均一な底部を形成し、その後に銅と誘電体の次の混合層をミリングする、請求項3に記載の方法。

【請求項6】

前記誘電体が低誘電率誘電体を含む、請求項1から5のいずれか一項に記載の方法。

10

【請求項7】

前記誘電体が、炭素がドープされた二酸化シリコン、多孔質二酸化シリコンおよび炭素がドープされた多孔質二酸化シリコンから選択された、請求項1から6のいずれか一項に記載の方法。

【請求項8】

ミリングされた前記ターゲット・エリアの前記底部が、少なくとも長さ50マイクロメートル×幅50マイクロメートルである、請求項1から7のいずれか一項に記載の方法。

20

【請求項9】

前記ターゲット・エリアが炭化シリコン(SiC)キャッピング層を含む、請求項1から8のいずれか一項に記載の方法。

【請求項10】

複数の材料層を除去する集束イオン・ビーム・システムであって、

イオン源と、

前記イオン源からのイオンを集束イオン・ビームに集束し、前記集束イオン・ビームをターゲット・エリアに導くことによって試料上の前記ターゲット・エリアの少なくとも一部分をミリングするように構成されたイオン・ビーム・カラムと、

酢酸メチル、ニトロ酢酸メチル、酢酸エチル、ニトロ酢酸エチル、酢酸プロピル、ニトロ酢酸プロピル、ニトロエチルアセテート、メトキシ酢酸メチルおよびメトキシアセチルクロリドから選択された前駆体ガスを含むガス注入システムと

を備える

30

集束イオン・ビーム・システム。

【請求項11】

前記イオン源がプラズマ・イオン源である、請求項10に記載の集束イオン・ビーム・システム。

【請求項12】

前記イオン・ビーム中の前記イオンが、 Xe^+ 、 Ga^+ 、 Ar^+ 、 Kr^+ 、 O^+ 、 O_2^+ 、 N^+ 、 NO^+ 、 NO_2^+ 、 Au^+ 、 Bi^+ 、 Si^+ 、 Ge^+ から選択された、請求項10または11に記載の集束イオン・ビーム・システム。

【請求項13】

前記試料が、銅と誘電体の混合層を有する半導体デバイスを含む、請求項10から12のいずれか一項に記載の集束イオン・ビーム・システム。

40

【請求項14】

前記前駆体ガスによって、前記集束イオン・ビームが、前記銅と前記誘電体を同じ速度でミリングするような態様で、前記ターゲット・エリアの少なくとも一部分に向かって前記前駆体ガスを導くように前記ガス注入システムが構成される、請求項13に記載の集束イオン・ビーム・システム。

【請求項15】

平面の均一な表面を有するミリング底部が半導体デバイス中に形成されるような態様で、前記集束イオン・ビームを導いて、前記ターゲット・エリアの少なくとも一部分をミリングによって除去するように、前記イオン・ビーム・カラムがプログラムされている、請

50

求項 13 または 14 に記載の集束イオン・ビーム・システム。

【請求項 16】

前記誘電体が低誘電率誘電体を含む、請求項 13 から 15 のいずれか一項に記載の集束イオン・ビーム・システム。

【請求項 17】

前記誘電体が、炭素がドープされた二酸化シリコン、多孔質二酸化シリコンおよび炭素がドープされた多孔質二酸化シリコンから選択された、請求項 13 から 16 のいずれか一項に記載の集束イオン・ビーム・システム。

【請求項 18】

前記集束イオン・ビームが前記ターゲット・エリアの少なくとも一部分をミリングしているとき、前記試料を含むように構成された真空の下室をさらに備える、請求項 10 から 17 のいずれか一項に記載の集束イオン・ビーム・システム。 10

【請求項 19】

前記集束イオン・ビームが前記ターゲット・エリアの少なくとも一部分をミリングしているとき、前記真空の下室の圧力を約 1×10^{-7} トルから 5×10^{-4} トルの範囲に維持するよう構成された真空システムをさらに備える、請求項 10 から 18 のいずれか一項に記載の集束イオン・ビーム・システム。

【請求項 20】

前記イオン源は、幅が 1 / 10 ミクロン未満の集束イオン・ビームに集束させることができるイオンを生成可能である、請求項 10 から 19 のいずれか一項に記載の集束イオン・ビーム・システム。 20

【請求項 21】

酢酸メチル、ニトロ酢酸メチル、酢酸エチル、ニトロ酢酸エチル、酢酸プロピル、ニトロ酢酸プロピル、ニトロエチルアセテート、メトキシ酢酸メチルおよびメトキシアセチルクロリドから選択された前駆体ガスを含むガス注入システムであって、

集束イオン・ビーム・システムの下室内に配置される試料上のターゲット・エリアに向かって前記前駆体ガスを導くように構成されている、

ガス注入システム。

【請求項 22】

前記試料は、前記下室内に位置するステージ上に配置されている試料である、請求項 2 1 に記載のガス注入システム。 30

【請求項 23】

前記ステージは可動 X - Y ステージである、請求項 2 1 または 2 2 に記載のガス注入システム。

【請求項 24】

前記下室は真空室である、請求項 2 1 から 2 3 のいずれか一項に記載のガス注入システム。

【請求項 25】

前記試料が集束イオン・ビームによってミリングされているとき、集束イオン・ビーム・システムの内部の試料上のターゲット・エリアに向かって前記前駆体ガスを導くように構成される、請求項 2 1 から 2 4 のいずれか一項に記載のガス注入システム。 40

【請求項 26】

前記試料が、銅と誘電体の混合層を有する半導体デバイスを含む、請求項 2 1 から 2 5 のいずれか一項に記載のガス注入システム。

【請求項 27】

前記前駆体ガスによって、集束イオン・ビームが、銅と誘電体を同じ速度でミリングするような態様で、集束イオン・ビーム・カラムが前記ターゲット・エリアに前記集束イオン・ビームを導いているとき、前記ガス注入システムが、前記ターゲット・エリアに向かって前記前駆体ガスを導くように構成されている、請求項 2 1 から 2 6 のいずれか一項に記載のガス注入システム。 50

【請求項 2 8】

前記集束イオン・ビーム・システムは、イオン源と、高圧電源と、集束イオン・ビーム・カラムと、前記試料を含む下室と、真空システムと、を備える集束イオン・ビーム・システムである、請求項 2 1 から 2 7 のいずれか一項に記載のガス注入システム。

【請求項 2 9】

前記イオン源は、前記ターゲット・エリアの位置における幅が $1 / 10$ ミクロン未満の集束イオン・ビームに集束させることができるイオンを生成可能であり、

前記真空システムは、前記下室の圧力を約 1×10^{-7} トルから 5×10^{-4} トルの範囲に維持するよう構成され、

前記高圧電源は、約 1 k eV から 60 k eV の範囲のエネルギーを有する集束イオン・ビームを生成するよう構成されている、

請求項 2 8 に記載のガス注入システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、荷電粒子ビーム処理の分野に関し、詳細には、集束イオン・ビームを使用して導体および誘電体の複数の層を半導体回路から均一に除去する方法に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

マイクロプロセッサなどの半導体デバイスは、いくつかのレベルにわたって枝分かれし、誘電材料層によって互いから電気的に分離された細い金属線によってそれぞれが相互接続された数百万個ものトランジスタからなることがある。新しい半導体設計を半導体製造設備において最初に製造するとき、その設計は期待どおりには動作しないと判明するのが普通である。その場合、デバイスを設計した技術者は、所望の機能を達成するために、自身の設計を試験し、「配線し直す」必要がある。半導体製造設備において半導体デバイスを構築する複雑さのため、設計し直したデバイスを製造するのには一般に数週間または数か月かかる。また、実施された変更はしばしばその設計の問題を解決せず、またはその設計の別の問題点を露頭させる。この試験、再設計および再製造の一連の工程が、新しい半導体デバイスを市場に出すまでの時間を著しく長くすることがある。

【0 0 0 3】

回路全体を製造し直す必要なしに回路の開発中にその回路を変更する工程である回路編集 (circuit editing) は、処理コストと開発サイクル時間の両方を低減させることにより、非常に大きな経済的利益をもたらす。ほとんどの場合、変更する特徴部分 (feature) は、他の材料、例えば絶縁層や「フリップ・チップ」の場合の半導体層などの下に埋まっている。したがって、隣接する回路特徴部分を傷つけることなく関心の金属特徴部分に到達するためには一般に、これらの材料層を貫いて下方へミリング (mill) する必要がある。これはデプロセッシング (deprocessing) として知られている。デプロセッシングは回路編集用途だけに限定されない。他の材料の下に位置する埋め込まれた特徴部分に到達する必要がある他の用途でデプロセッシングを使用することもできる。例えば、パッシブ電位コントラスト (passive voltage contrast) を使用した故障分離 (fault isolation) を実施する目的で隠れた金属の下層に到達することを可能にするために、または電気プローピング (probing) を実施する目的で特徴部分を露出させるために、FIBベースの故障解析 (Failure Analysis) (FA) がデプロセッシングを必要とすることがある。

【0 0 0 4】

過去 10 年にわたり、設計を完成させるこの手順に必要な時間を集束イオン・ビーム (Focused Ion Beam) (FIB) システムが短縮することを可能にする技法が開発してきた。FIB システムは、一般に陰極線管と同様のラスター方式で試験体を走査する荷電粒子（以後、イオンと呼ぶ）の細い集束ビームを生成する。市販の FIB

10

20

30

40

50

システムは一般に、液体金属イオン源またはプラズマ・イオン源からの正に帯電したイオンを使用する。最新の FIB システムを使用して、電子顕微鏡とよく似た方式でサンプル表面の画像を形成することができる。画像のそれぞれの点の強度は、基板上の対応する点においてイオン・ビームによって追い出された 2 次電子または他の粒子の電流によって決定される。イオン・ビームを使用して、サンプル表面から材料を除去し、または（一般に、イオン・ビームの存在下で分解し、サンプル表面に材料を付着させるガスを使用することにより）材料を堆積させることもできる。材料を除去する目的に使用されたとき、集束イオン・ビーム中のイオンは、スパッタリングによって、すなわち入来イオンからサンプル表面の原子への運動量の移動によって、サンプル表面から原子または分子を物理的に追い出す。

10

【0005】

デバイス内に埋め込まれた層を露出させるために、FIB 機器を使用して、半導体デバイスのターゲット・エリアをミリングによって除去することができる。一般に導体と誘電体との混合層を含むターゲット・エリアは、イオン・ビームによって関心の領域にわたってラスタ走査することによりミリングすることができる。ビームは一般に、ビームを点から点へステップ式に移動させるデジタル電子回路を使用して、ミリングするエリアにわたって走査する。この点と点の間の距離は画素間隔と呼ばれる。均一な切削および平滑な仕上げを達成しようとする試みにおいて、画素間隔は一般にビームのスポット・サイズよりも小さい。すなわち、後続のそれぞれのビーム位置が直前のビーム位置と部分的に重なる。この方法は「デフォルトミリング（Default Milling）」と呼ばれている。ミリング方法は、例えば Swanson 他の「Method of Semiconductor Device Manufacture」という名称の米国特許第 5,188,705 号明細書に詳細に記載されている。

20

【0006】

一般的には、回路編集または故障解析（FA）のための FIB 処理の間に、同じそれぞれの層に銅材料と誘電材料とが埋め込まれた複数の層の比較的大きなエリアに対してデプロセッシングを実施しなければならない。このタイプの混合層が FIB によってスパッタリングされると、銅と誘電材料の間のスパッタリング速度の差によって、ミリング底部（millling floor）が不均一になる傾向がある。

【0007】

30

ある種の材料を選択的に攻撃する化学反応（chemistry）であって、ある種のガスの存在下でイオン・ビーム単独よりも速くその材料をスパッタリングさせる化学反応が開発された。このプロセスは当技術分野でよく知られており、一般的にはガス支援エッチング（Gas Assisted Etching）（GAE）と呼ばれている。GAE は除去工程の速度を速めるため、GAE を使用して例えば、観察や試験のために、1 つまたは複数の表面層の比較的大きなエリアをミリングしてその下の層を露出させることができる。しかしながら、混合された材料を含む表面層の比較的大きなエリアを GAE を使用してミリングすることの 1 つの欠点は、FIB ミリングを支援するために使用される化学反応が一般に、別の材料が存在する状況で 1 つの材料の除去を増強することである。1 つの材料が残りの材料よりも速い速度で選択的にエッチングされ、それによって不均一なミリング底部の問題が悪化する。例えば、米国特許第 7,883,630 号明細書は、銅除去用の化学反応に関するが、平面デプロセッシング（planar deprocessing）のために理想的な 1:1 の除去率ではなく、誘電体に比べて銅の方が選択的に除去されることを強調している。Si₃N₄エッチング・ストップを有する半導体デバイス上では、水を使用して平面デプロセッシングを実施することができるが、SiC キャッピング（capping）層を有する最新のデバイス上では水は有効ではない。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献 1】米国特許第 5,188,705 号明細書

50

【特許文献2】米国特許第7,883,630号明細書

【特許文献3】米国特許第5,851,413号明細書

【特許文献4】米国特許第5,435,850号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

銅ミリングの均一性を向上させるいくつかの技法が知られているが、それらの技法はいずれも、銅と誘電体の混合層を貫通するミリングの課題を十分には解決しない。したがって、銅と誘電体の複数の混合層を貫通するより均一なミリングを可能にする、集束イオン・ビームを使用した平面デプロセッシングのための改良された技法が求められている。 10

【課題を解決するための手段】

【0010】

したがって、本発明の目的は、導体および誘電体の複数の層を、これらの層の下に埋め込まれた有効な特徴部分に到達することを可能にするような方式でより均一に除去する、例えば銅および低誘電率誘電体からなる複数の層を除去する、限定はされないが回路編集および故障解析を含む用途向けの方法を提供することにある。本発明の一実施形態は、銅と誘電体の1つまたは複数の混合層をターゲットのエリアから除去する方法を対象とする。この方法は、除去するターゲット・エリアを画定するステップであり、ターゲット・エリアが、半導体デバイスの銅と誘電体の混合層の少なくとも一部分を含むステップと、ターゲット・エリアに向かって前駆体ガスを導くステップと、前駆体ガスの存在下で、ターゲット・エリアに向かって集束イオン・ビームを導き、それによって銅と誘電体の第1の混合層の少なくとも一部分を除去し、ミリングされたターゲット・エリア内に均一に平滑な底部を形成するステップとを含む。この前駆体ガスによって、集束イオン・ビームは、誘電体と実質的に同じ速度で銅をミリングする。好ましい一実施形態では、前駆体ガスがニトロ酢酸メチルを含む。代替実施形態では、前駆体ガスが、酢酸メチル、酢酸エチル、ニトロ酢酸エチル、酢酸プロピル、ニトロ酢酸プロピル、ニトロエチルアセテート、メトキシ酢酸メチルまたはメトキシアセチルクロリドである。 20

【0011】

本発明の他の実施形態は、複数の材料層を除去する集束イオン・ビーム・システムを対象とする。このシステムは、イオン源と、イオン源から半導体デバイス上のターゲット・エリアに向かってイオンの集束ビームを導くイオン・ビーム・カラムであり、集束イオン・ビームを導いて、ターゲット・エリアの少なくとも一部分をミリングによって除去し、実質的に平面の均一な表面を有するミリング底部を形成するようにプログラムされたイオン・ビーム・カラムと、ターゲット・エリアに向かって前駆体ガスを導くガス注入システムとを備え、この前駆体ガスによって、集束イオン・ビームは、銅と誘電体の混合層中の銅と誘電体を実質的に同じ速度でミリングする。好ましい一実施形態では、前駆体ガスがニトロ酢酸メチルを含む。代替実施形態では、前駆体ガスが、酢酸メチル、酢酸エチル、ニトロ酢酸エチル、酢酸プロピル、ニトロ酢酸プロピル、ニトロエチルアセテート、メトキシ酢酸メチルまたはメトキシアセチルクロリドである。 30

【0012】

以上では、以下の本発明の詳細な説明をより十分に理解できるように、本発明の特徴および技術上の利点をかなり広く概説した。以下では、本発明の追加の特徴および利点を説明する。開示される着想および特定の実施形態を、本発明の同じ目的を達成するために他の構造を変更しましたは設計するベースとして容易に利用することができることを当業者は理解すべきである。さらに、このような等価の構造は、添付の特許請求の範囲に記載された本発明の趣旨および範囲を逸脱しないことを当業者は理解すべきである。 40

【0013】

次に、本発明および本発明の利点のより完全な理解のため、添付図面に関して書かれた以下の説明を参照する。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】一般的な集積回路110の一部分を概略的に示す断面図である。

【図2】成功したデプロセッシング事象後の集積回路の一部分を概略的に示す断面図である。

【図3】不成功に終わったデプロセッシング事象後の集積回路の一部分を概略的に示す断面図である。

【図4】本発明の好ましい一実施形態のステップを示す流れ図である。

【図5】本発明の好ましい一実施形態において使用される一般的な集束イオン・ビーム・システムを概略的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0015】

本発明の好ましい一実施形態は、混合された導体と誘電体の複数の層を、これらの層の下に埋め込まれた有効な特徴部分に到達することを可能にするような方式で均一に除去する、例えば銅および低誘電率誘電体からなる複数の層を除去する、限定はされないが回路編集および故障解析を含む用途向けの方法を提供することにある。

【0016】

本発明の好ましい実施形態は、材料、特に半導体デバイス内の銅ベースの特徴部分をミリングする目的に使用される方法を対象とする。以下の説明の多くの部分は、銅のミリング、具体的には半導体デバイス内の銅のミリングを対象としているが、本発明の装置および方法は、他の材料のミリングにおいても等しく利用することができる。本明細書に記載された技法は、単独で、または他の技法と組み合わせて使用することができる。したがって、本発明の範囲は、単に銅ベースの構造体のミリングだけに限定されない。

20

【0017】

図1は、一般的な集積回路110の一部分を概略的に示す断面図である。図1に示されているように、集積回路110は複数の層L1～L3を含む。層L1～L3はそれぞれ、誘電材料114によって分離された複数の銅導体112を含む。集積回路110の表面はキャッピング層116によって覆われている。バイア117が、1つの層の導体112を隣接する層の導体112に接続している。ターゲット・ボックス(target box)118が、除去されるべき混合された金属と誘電体のエリアの2つの次元(例えば幅および深さ)を示している。ターゲット・ボックス118の第3の次元(この場合には長さ)は紙面の内部へ延びており、図1には示されていない。

30

【0018】

図2は、成功したデプロセッシング事象後の集積回路の一部分を概略的に示す断面図である。デプロセッシングの間にターゲット・ボックス118内の導体112および誘電体114(ならびにパッシベーション層116のターゲット・ボックス118内の部分)だけが除去された。ターゲット・ボックス118の外側の導体112はデプロセッシングの影響を受けなかった。ミリング底部210は平滑かつ均一であり、断面の垂直方向の表面変動はあまりなく、層L2の露出した特徴部分を明瞭に見ることができる。

【0019】

図3は、不成功に終わったデプロセッシング事象後の集積回路の一部分を概略的に示す断面図である。デプロセッシングの間にターゲット・ボックス118の外側の導体112の一部分およびターゲット・ボックス118の外側の誘電体114の一部分が除去された。また、ミリング底部310は平滑でも均一でもない。ミリング底部310が不均一であると、層内の構造体の視覚化および識別がより困難になる。ミリング底部310が不均一であるとさらに、回路素子の電気プローピングの困難さが増し、例えば違う素子をプローピングしてしまったり、および/またはプローブが不均一なミリング底部のピークの1つと短絡したりするなど、誤りの可能性が増大する。さらに、ターゲット・ボックス118は、層L1がミリングされて層L2の特徴部分が露出するように選択されている。図3に示されている事象などの不成功に終わったデプロセッシング事象では、不均一なミリングによって、(調べることになっている)層L2の一部分が完全に除去され、(調べること

40

50

になつていい）層 L 3 の一部分が露出する。

【0020】

異なる材料を含むターゲット・エリアを従来の集束イオン・ビーム・ミリングを使用してデプロセッシングすると、図3に示されているように、ミリング底部は不均一になり、デプロセッシング事象は不成功に終わる。ミリング底部が不均一になるのは、イオン・ビームの影響下で異なる材料が異なる速度でミリングされる（すなわち材料のスパッタリング速度が異なる）ためである。既知のエッチング支援ガスは、別の材料が存在する状況で1つの材料の除去を増強するため、既知のエッチング支援ガスの使用は問題を悪化させる。知られているエッチング支援ガスのこのような選択的なミリングは、異なる材料を含むターゲット・エリアの不均一なイオン・ビーム・ミリングの問題を悪化させる。

10

【0021】

それによってターゲット・エリア内の異なる材料がイオン・ビームの影響下で同じ速度でミリングされるようになる前駆体ガスを使用すると、図2に示されている例のように、ミリング底部はより均一になり、デプロセッシング事象はより成功すると考えられる。銅導体と低誘電率誘電体の混合層を含むターゲット・エリアに関して、短鎖炭化水素とアセテート(acetate) / ニトロアセテート(nitroacetate)とを含む化合物を前駆体ガスとして使用すると、集束イオン・ビームが、銅導体と低誘電率誘電体を、実質的に同程度のミリング速度でミリングすることを本出願の出願人は見出した。これらの化合物の分子サイズおよび炭素含量は付着しきい値にあり、これによって誘電体のミリング速度は低下し、その結果、誘電体のミリング速度が銅のミリング速度と実質的に同程度になる。ニトロ官能基(NO₂)は、化合物の沸点を上昇させ、蒸気圧を低下させる。それによって化合物は、イオン・ビーム・システムの真空室内で使用するのにより適したものになる。

20

【0022】

本発明の好ましい実施形態では、多孔質超低誘電率誘電材料中に銅を含み、炭化シリコン(SiC)キャッピング層を有する集積回路(IC)デバイス上の「混合フィールド材料(mixed field materials)」を除去するための前駆体ガスとして、ニトロ酢酸メチル(methyl nitroacetate)(MNA)が使用される。MNAは、銅および誘電材料に対するFIBミリングの選択性を低下させ、FIBが、異なる材料を、実質的に同程度のミリング速度でミリングし、それによってより均一なミリング底部を形成することを可能にする。例示的な低誘電率誘電材料には、限定はされないが、炭素がドープされた二酸化シリコン、多孔質二酸化シリコンおよび炭素がドープされた多孔質二酸化シリコンなどがある。代替実施形態では、前駆体ガスとして、酢酸メチル、酢酸エチル、ニトロ酢酸エチル、酢酸プロピル、ニトロ酢酸プロピル、ニトロエチルアセテート、メトキシ酢酸メチルまたはメトキシアセチルクロリドを使用することができる。

30

【0023】

図4は、複数の混合フィールド材料層をミリングによって除去する目的に使用することができる本発明の好ましい一実施形態に含まれるステップを示す流れ図400である。ステップ402で、サンプル上のミリングするターゲット・エリアの位置を特定する。一般に、回路編集または故障解析作業を可能にするために、銅および誘電体の1つまたは複数の層を半導体デバイスから除去しなければならない場合、ターゲット・エリアは、埋め込まれた適当な有効な特徴部分を編集のために露出させるのに十分な大きさの修理ボックス(repair box)を含む。さらに、銅および誘電体の2層より多くの層を除去しなければならない場合、最初のターゲット・エリアは、最終的な所望の修理ボックスよりも大きな修理ボックスとして画定されることが好ましいであろう。例えば、最終的な層に対して20 μm × 20 μmの修理ボックスが必要な場合、最初のターゲット・エリアは、20 μm × 20 μmよりも大きな修理ボックスとして画定されることが好ましいであろう。修理ボックスの縁で起こる望ましくないオーバエッチングを補償するため、2つの層が除去されるたびに修理ボックスを2~3 μmずつ小さくして、最終的な20 μm × 20 μ

40

50

mの修理ボックスに対するエッジ強調（edge enhancement）を排除することができる。例えば、8つの層を除去する場合、最初の修理ボックスを $30\text{ }\mu\text{m} \times 30\text{ }\mu\text{m}$ とすることができます。（8番目のダミーの銅層を除去するときに使用する）最終的な修理ボックスが $20\text{ }\mu\text{m} \times 20\text{ }\mu\text{m}$ になるように、2つの層を除去するたびに、修理ボックスを $2 \sim 3\text{ }\mu\text{m}$ ずつ小さくすることができます。

【0024】

ステップ404で、ターゲット・エリアに向かって前駆体ガスを導く。前駆体ガスは、ガス注入システム（gas injection system）（GIS）を使用してターゲット・エリアに導くことができる。GISのノズルは、ガスの流れをターゲット・エリアの位置に正確に導くことができる。前述のとおり、本発明の好ましい実施形態では、二トロ酢酸メチル（MNA）が前駆体ガスとして使用される。代替実施形態では、前駆体ガスとして、酢酸メチル、酢酸エチル、ニトロ酢酸エチル、酢酸プロピル、ニトロ酢酸プロピル、ニトロエチルアセテート、メトキシ酢酸メチルまたはメトキシアセチルクロリドを使用することができる。ステップ406で、前駆体ガスの存在下で集束イオン・ビームをターゲット・エリアに向かって導く。この前駆体ガスによって、イオン・ビームは、誘電体層をよりゆっくりとミリングし、誘電体のミリング速度が銅のミリング速度と実質的に同程度となるような様で誘電体のミリング速度を低下させる。ステップ408で、集束イオン・ビームが、前駆体ガスの存在下で、ターゲット・エリアの少なくとも一部分をミリングによってサンプルから除去し、実質的に均一なミリング底部を有するトレーナーを残す。一般的なミリング底部は $50\text{ }\mu\text{m} \times 50\text{ }\mu\text{m}$ だが、複数の層に関して上で詳細に説明したように、ミリング底部のサイズは変更することができる。この方法はターミネータ410で終了となる。

【0025】

図5は、本発明を実施する目的に使用される一般的な集束イオン・ビーム・システム10を示す。集束イオン・ビーム・システム10は、上部ネック部12を有する排気された囲い11を含み、上部ネック部12内には液体金属イオン源14および集束カラム16が位置し、集束カラム16は、引出し電極および静電光学系を含む。源14を出たイオン・ビーム18は、カラム16を通過し、20に概略的に示されている静電偏向手段間を通り抜けて、下室26内の可動X-Yステージ24上に配置されたサンプル22、例えば半導体デバイスを含むサンプル22に向かって進む。イオン・ポンプ28を使用してネック部12を排気することができる。室26は、真空コントローラ32の制御の下、ターボ分子および機械ポンピング・システム30によって排気される。この真空システムは、室26に、約 1×10^{-7} トルから 5×10^{-4} トルの間の真空を提供する。前駆体ガスを使用するときには、室のバックグラウンド圧力が典型的には約 1×10^{-5} トルまで上昇することがある。

【0026】

液体金属イオン源14と、約1keVから60keVのイオン・ビーム18を形成し下方へ導く集束カラム16内の適当な電極とに高圧電源34が接続されている。パターン発生器38によって提供される決められたパターンに従って動作する偏向コントローラおよび増幅器36が偏向板20に結合されており、それによって、対応するパターンをサンプル22の上面に描くようにビーム18を制御することができる。いくつかのシステムでは、当技術分野ではよく知られているように、偏向板が、最後のレンズの前に配置される。

【0027】

源14は、イオン・ビーム中で使用されるイオンを提供する。本発明の好ましい実施形態では、キセノン（Xe⁺）イオン源などのプラズマ・イオン源が使用される。代替実施形態では、ガリウム（Ga⁺）イオン源などの液体金属イオン源が使用される。イオン・ミリング、強化されたエッチングもしくは材料付着によってサンプル22を改変するため、またはサンプル22を画像化するために、源を一般に、サンプル22の位置における幅が1/10ミクロン未満のビームに集束させることができる。画像化のために2次イオンまたは2次電子の放出を検出する目的に使用される荷電粒子増倍器40がビデオ回路およ

10

20

30

40

50

び増幅器42に接続されており、ビデオ回路および増幅器42はビデオ・モニタ44に駆動信号を供給し、ビデオ回路および増幅器42はさらにコントローラ36から偏向信号を受け取る。室26内における荷電粒子増倍器40の位置は実施形態によって変更することができる。例えば、荷電粒子増倍器40はイオン・ビームと同軸とすることができ、イオン・ビームが通り抜けることを可能にする穴を含むことができる。任意選択で、FIBシステム10は、走査電子顕微鏡41および走査電子顕微鏡41の電源および制御装置45を備える。

【0028】

ガス蒸気を導入しサンプル22に向かって導くためにガス送達システム46が下室26内へ延びている。本発明の譲受人に譲渡されたCase11a他の「Gas Delivery Systems for Particle Beam Processing」という名称の米国特許第5,851,413号明細書は適当な流体送達システム46を記載している。別のガス送達システムが、やはり本発明の譲受人に譲渡されたRasmussenの「Gas Injection System」という名称の米国特許第5,435,850号明細書に記載されている。ガス送達システム46はターゲット・エリアに向かって前駆体ガスを導く。

【0029】

ステージ24上にサンプル22を挿入するため、および内部ガス供給リザーバが使用される場合には内部ガス供給リザーバの整備作業のために、扉60が開かれる。ステージ24は加熱または冷却されていることがある。システムが真空状態にある場合に開かないように、この扉はインタロックされる。イオン・ビーム18にエネルギーを与え集束させるため、高電圧電源は、イオン・ビーム・カラム16内の電極に適当な加速電圧を印加する。イオン・ビーム18がサンプル22に当たると、材料がスパッタリングされる。すなわちサンプルから材料が物理的に追い出される。集束イオン・ビーム・システムは例えば、本出願の譲受人であるFEI Company(米オレゴン州Hillsboro)から販売されている。

【0030】

本発明の実施形態は、銅と誘電体の1つまたは複数の混合層をターゲットのエリアから除去する方法を対象とする。この方法は、除去するターゲット・エリアを画定するステップであり、ターゲット・エリアが、半導体デバイスの銅と誘電体の混合層の少なくとも一部分を含むステップと、ターゲット・エリアに向かって前駆体ガスを導くステップと、前駆体ガスの存在下で、ターゲット・エリアに向かって集束イオン・ビームを導き、それによって銅と誘電体の第1の混合層の少なくとも一部分を除去し、ミリングされたターゲット・エリア内に均一に平滑な底部を形成するステップとを含み、この前駆体ガスによって、集束イオン・ビームは、誘電体と実質的に同じ速度で銅をミリングする。

【0031】

この方法は、酢酸メチル、二トロ酢酸メチル、酢酸エチル、二トロ酢酸エチル、酢酸プロピル、二トロ酢酸プロピル、二トロエチルアセテート、メトキシ酢酸メチルおよびメトキシアセチルクロリドを含むグループから選択された前駆体ガスを含むことができる。

【0032】

この方法は、銅と誘電体の2つ以上の混合層を除去するステップを含むことができる。この銅と誘電体の2つ以上の混合層は誘電体層によって分離されていてもよい。銅と誘電体のそれぞれの混合層を除去し、ミリングされたターゲット・エリア内に実質的に均一な底部を形成し、その後に銅と誘電体の次の混合層をミリングすることができる。

【0033】

この方法は、低誘電率誘電体を含む誘電体を含むことができる。この誘電体は、炭素がドープされた二酸化シリコン、多孔質二酸化シリコンおよび炭素がドープされた多孔質二酸化シリコンを含むグループから選択される。

【0034】

この方法は、ミリングされたターゲット・エリアの底部が少なくとも長さ50マイクロ

10

20

30

40

50

メートル×幅 50 マイクロメートルとなるようにミリングするステップを含むことができる。

【0035】

この方法は、炭化シリコン (SiC) キャッピング層を含むターゲット・エリアを含むことができる。

【0036】

本発明の他の実施形態は、複数の材料層を除去する集束イオン・ビーム・システムを対象とする。このシステムは、イオン源と、イオン源から半導体デバイス上のターゲット・エリアに向かってイオンの集束ビームを導くイオン・ビーム・カラムであり、集束イオン・ビームを導いて、ターゲット・エリアの少なくとも一部分をミリングによって除去し、実質的に平面の均一な表面を有するミリング底部を形成するようにプログラムされたイオン・カラムと、ターゲット・エリアに向かって前駆体ガスを導くガス注入システムとを備え、この前駆体ガスによって、集束イオン・ビームは、銅と誘電体の混合層中の銅と誘電体を実質的に同じ速度でミリングする。10

【0037】

この集束イオン・ビーム・システムは、プラズマ・イオン源であるイオン源を含むことができる。

【0038】

この集束イオン・ビーム・システムは、 Xe^+ 、 Ga^+ 、 Ar^+ 、 Kr^+ 、 O^+ 、 O_2^+ 、 N^+ 、 NO^+ 、 NO_2^+ 、 Au^+ 、 Bi^+ 、 Si^+ 、 Ge^+ を含むグループから選択されたイオン・ビーム中のイオンを含むことができる。この集束イオン・ビーム・システムは、酢酸メチル、ニトロ酢酸メチル、酢酸エチル、ニトロ酢酸エチル、酢酸プロピル、ニトロ酢酸プロピル、ニトロエチルアセテート、メトキシ酢酸メチルまたはメトキシアセチルクロリドを含むグループから選択された前駆体ガスを含むことができる。20

【0039】

この集束イオン・ビーム・システムは、低誘電率誘電体を含む誘電体を含むことができる。この誘電体は、炭素がドープされた二酸化シリコン、多孔質二酸化シリコンおよび炭素がドープされた多孔質二酸化シリコンを含むグループから選択することができる。

【0040】

本発明および本発明の利点を詳細に説明したが、添付の特許請求の範囲によって定義された本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、本明細書に記載された実施形態に、さまざまな変更、置換および改変を加えることができることを理解すべきである。さらには、本出願の範囲が、本明細書に記載されたプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法およびステップの特定の実施形態に限定されることは意図されていない。当業者なら本発明の開示から容易に理解するように、本明細書に記載された対応する実施形態と実質的に同じ機能を実行し、または実質的に同じ結果を達成する既存のまたは今後開発されるプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法またはステップを、本発明に従って利用することができる。したがって、添付の特許請求の範囲は、その範囲内に、このようなプロセス、機械、製造、組成物、手段、方法またはステップを含むことが意図されている。30

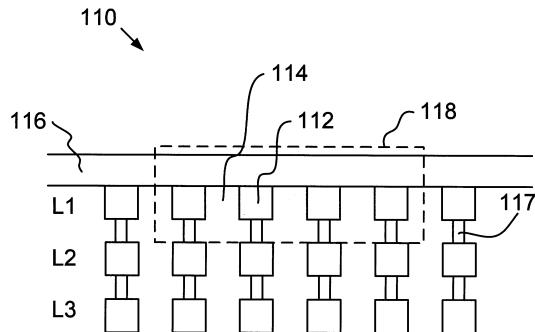
【符号の説明】

【0041】

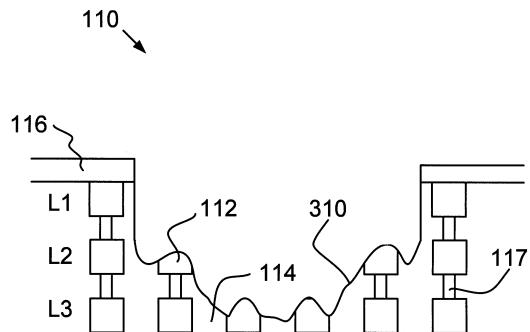
- 10 集束イオン・ビーム・システム
- 14 液体金属イオン源
- 16 集束カラム
- 18 イオン・ビーム
- 22 サンプル
- 24 X-Yステージ

40

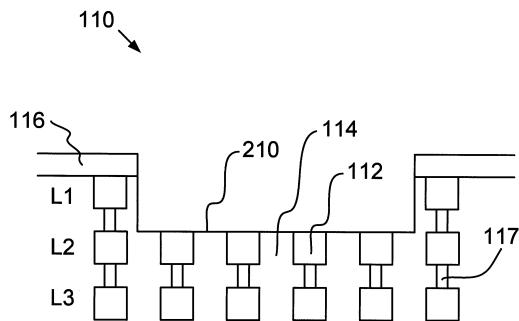
【図1】



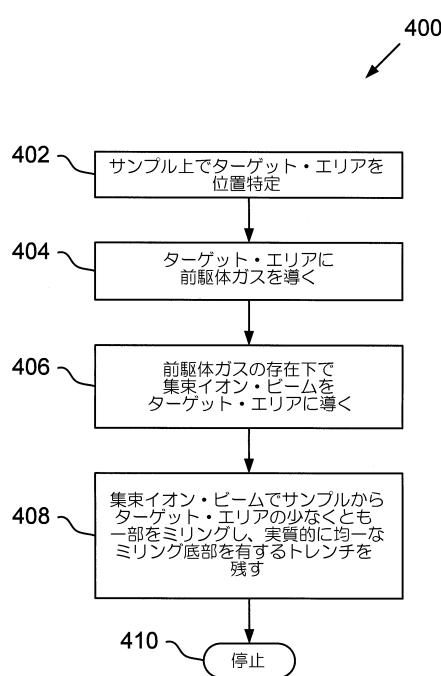
【図3】



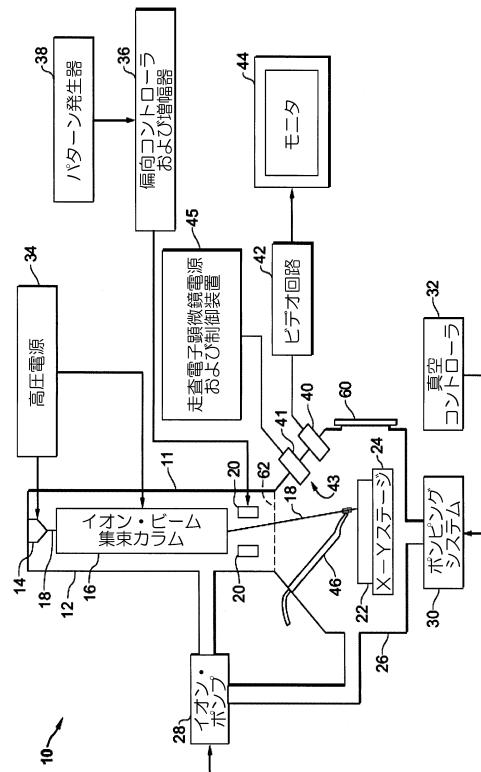
【図2】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

審査官 佐藤 靖史

(56)参考文献 特表2013-503485(JP,A)
国際公開第2013/039891(WO,A1)
特開2004-312017(JP,A)
米国特許出願公開第2008/0113455(US,A1)
特開2009-043973(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/302
H01J 37/317
H01L 21/3205
H01L 21/768
H01L 23/522