

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5489717号
(P5489717)

(45) 発行日 平成26年5月14日(2014.5.14)

(24) 登録日 平成26年3月7日(2014.3.7)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3205 (2006.01)

H O 1 L 21/88

R

H O 1 L 21/768 (2006.01)

H O 1 L 21/88

M

H O 1 L 23/532 (2006.01)

H O 1 L 21/28

A

H O 1 L 21/28 (2006.01)

H O 1 L 21/288

E

H O 1 L 21/288 (2006.01)

請求項の数 14 (全 49 頁)

(21) 出願番号 特願2009-526621 (P2009-526621)
 (86) (22) 出願日 平成19年8月17日(2007.8.17)
 (65) 公表番号 特表2010-503205 (P2010-503205A)
 (43) 公表日 平成22年1月28日(2010.1.28)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2007/018270
 (87) 国際公開番号 W02008/027216
 (87) 国際公開日 平成20年3月6日(2008.3.6)
 審査請求日 平成22年8月9日(2010.8.9)
 (31) 優先権主張番号 11/513, 446
 (32) 優先日 平成18年8月30日(2006.8.30)
 (33) 優先権主張国 米国(US)
 (31) 優先権主張番号 11/513, 634
 (32) 優先日 平成18年8月30日(2006.8.30)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 592010081
 ラム リサーチ コーポレーション
 LAM RESEARCH CORPOR
 ATION
 アメリカ合衆国, カリフォルニア 945
 38, フレモント, クッシング パークウ
 ェイ 4650
 (74) 代理人 110000028
 特許業務法人明成国際特許事務所
 (72) 発明者 ドルディ・イエッディ
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州943
 03 パロ・アルト, ウォルター・ヘイズ
 ・ドライブ, 104

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 金属堆積のために基板表面を調整する方法および統合システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

統合システム内において、基板の銅配線の銅表面上にコバルト合金材料の薄い層を選択的に堆積させて、前記銅配線のエレクトロマイグレーション耐性を向上させるために、前記基板の基板表面を調整する方法であって、

誘電体に形成されたトレンチにバリア層を介して前記銅配線が埋め込まれ、前記誘電体表面上に前記バリア層が露出して形成された前記基板を前記統合システム内に導入することと、

前記統合システム内において、前記基板表面から汚染物および金属酸化物を除去することと、

前記基板表面から前記汚染物および前記金属酸化物を除去した後に、前記統合システム内において、前記基板表面から前記バリア層を除去することと、

前記基板表面から、前記汚染物および前記金属酸化物を除去し、前記バリア層を除去した後に、前記統合システム内において、還元環境を使用して前記基板表面を再調整することと、

前記基板表面を再調整した後に、前記統合システム内において、前記銅配線の前記銅表面上に前記コバルト合金材料の薄い層を選択的に堆積させることと、

を備える方法。

【請求項2】

請求項1に記載の方法であって、

前記基板表面は、水素 (H_2) ガス、アンモニア (NH_3) ガス、または両ガスの混合によって生成される水素含有プラズマによって再調整される、方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記基板表面を再調整することは、表面酸化銅を実質的に銅に変換することであり、前記基板表面を再調整した後、前記基板は、前記銅表面上への酸化銅の形成を最小限にするために、制御環境内において搬送され処理される、方法。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の方法であって、

前記銅表面を還元した後、前記基板は、前記銅表面上に前記コバルト合金材料の薄い層が選択的に堆積されることを可能にするために、酸素への曝露を制御された状態で搬送され処理される、方法。

10

【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記コバルト合金材料の薄い層は、前記銅配線の前記銅表面と前記銅配線のための誘電体キャップ層との間の接着を促進するために、無電解堆積プロセスによって前記銅表面上に選択的に堆積される、方法。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の方法であって、

前記コバルト合金材料は、C o W P、C o W B、および C o W B P からなる群より選択される、方法。

20

【請求項 7】

銅配線の銅表面上にコバルト合金材料の薄い層を選択的に堆積させることを可能にして、前記銅配線のエレクトロマイグレーション耐性を向上させるために、制御環境内において、誘電体に形成されたトレンチにバリア層を介して前記銅配線が埋め込まれ、前記誘電体表面上に前記バリア層が露出して形成された基板を搬送および処理するための統合システムであって、

実験室雰囲気搬送チャンバであって、前記実験室雰囲気搬送チャンバに結合された基板カセットから前記統合システム内へと前記基板を搬送可能である実験室雰囲気搬送チャンバと、

30

前記実験室雰囲気搬送チャンバに結合され、前記基板表面上の金属汚染物を除去するために前記基板表面を洗浄する基板洗浄リアクタと、

圧力が 1 トール未満の真空下において動作され、少なくとも 1 つの真空プロセスモジュールを結合された真空搬送チャンバと、

前記基板表面から有機汚染物を除去するための真空プロセスモジュールであって、前記真空搬送チャンバに結合された前記少なくとも 1 つの真空プロセスモジュールの 1 つであり、圧力が 1 トール未満の真空下において動作される真空プロセスモジュールと、

前記真空搬送チャンバに結合されたモジュールであり、前記基板表面から前記バリア層を除去するためのエッチングモジュールと、

不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされた制御雰囲気搬送チャンバ、および前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された少なくとも 1 つの制御雰囲気プロセスモジュールと、

40

前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された前記制御雰囲気プロセスモジュールの 1 つであり、前記基板表面が金属汚染物および有機汚染物を除去され前記バリア層が除去され前記銅表面が酸化銅を除去された後に、前記銅配線の前記銅表面上に前記コバルト合金材料の薄い層を堆積させるために使用される無電解コバルト合金材料堆積プロセスモジュールであって、前記不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされ、プロセス流体が脱ガスされる流体配送システムを有する無電解コバルト合金材料堆積プロセスモジュールと、

前記銅表面上の残留酸化銅を銅に還元するために使用される水素含有還元プロセスモジ

50

ジュールであって、前記真空搬送チャンバに結合され、圧力が1 トール未満の真空下で動作される水素含有還元プロセスモジュールと

を備える統合システム。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の統合システムであって、さらに、

前記実験室雰囲気搬送チャンバに結合され、前記基板表面上の金属酸化物を除去するために前記基板表面を洗浄する基板洗浄リアクタであって、湿式洗浄溶液は、クエン酸、硫酸、または過酸化水素をともなう硫酸の 1 つを含有する、基板洗浄リアクタを備える統合システム。

【請求項 9】

請求項 7 に記載の統合システムであって、さらに、

前記真空搬送チャンバおよび前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された第 1 のロードロックであって、前記真空搬送チャンバと前記制御雰囲気搬送チャンバとの間で前記基板を搬送する手助けをし、圧力が 1 トール未満の真空下において動作されるようにまたは不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされて前記制御雰囲気搬送モジュールと同圧下で動作されるように構成された第 1 のロードロックと、

前記真空搬送チャンバおよび前記実験室雰囲気搬送チャンバに結合された第 2 のロードロックであって、前記真空搬送チャンバと前記実験室雰囲気搬送チャンバとの間で前記基板を搬送する手助けをし、圧力が 1 トール未満の真空下においてまたは実験室雰囲気において動作されるように構成された第 2 のロードロックと、

を備える統合システム。

【請求項 10】

請求項 7 に記載の統合システムであって、

前記真空搬送チャンバ、および前記真空搬送チャンバに結合された前記少なくとも 1 つの真空プロセスモジュールは、前記基板の酸素への曝露を制御するために、1 トール未満の圧力において動作される、統合システム。

【請求項 11】

請求項 7 に記載の統合システムであって、

前記制御雰囲気搬送チャンバ、および前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された前記少なくとも 1 つの制御雰囲気プロセスモジュールは、前記基板の酸素への曝露を制御するために、前記不活性ガスの群より選択される 1 種または複数種の不活性ガスで満たされる、統合システム。

【請求項 12】

請求項 7 に記載の統合システムであって、

基板は、前記基板が酸素に曝露される時間を制限するために、前記統合システム内において搬送され処理される、統合システム。

【請求項 13】

請求項 7 に記載の統合システムであって、

前記基板表面の酸素への曝露を制限することは、堆積反応の導入時間を短縮させ、前記銅表面上に選択的に堆積される前記コバルト合金材料の薄い層の質を高める、統合システム。

【請求項 14】

請求項 7 に記載の統合システムであって、

前記制御雰囲気搬送モジュールに結合された前記少なくとも 1 つのプロセスモジュールは、前記基板のドライイン・ドライアウト処理を可能にし、前記基板は、乾燥状態で入るとともに乾燥状態で出る、統合システム。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

集積回路は、半導体基板上の個々の素子をつなぐためまたは集積回路に対して対外的に

10

20

30

40

50

通信するために、導電性の配線を使用する。ビアおよびトレンチのための配線メタライゼーションは、アルミニウム合金および銅を含んでよい。エレクトロマイグレーション（E M）は、金属配線についてよく知られた信頼性の問題であり、電流密度によって決定される速度で電子が電流の方向に金属原子を押し動かすことによって引き起こされる。エレクトロマイグレーションは、最終的には金属線の細線化につながる恐れがあり、これは、結果として、抵抗率の増大、あるいは最悪の場合は金属線の破損を生じる恐れがある。幸いなことに、I C上の配線金属線は、その全てにおいて常に同じ方向に電流が流れているわけではなく、電源ラインおよびアースラインにおいてほぼそうであるのとは異なる。しかしながら、金属線が狭くなるにつれ（国際半導体技術ロードマップ（International Technology Roadmap for Semiconductors（ITRS）は、技術ノードごとに～0.7倍の線幅縮小を呼びかけている）、エレクトロマイグレーションは、ますます問題になっている。

10

【0002】

アルミニウム線において、E Mは、バルク現象であり、銅などの少量のドーパントの添加によって上手く制御される。他方、銅線におけるE Mは、表面現象である。これは、銅が自由に移動することができるあらゆる場所において生じる可能性があり、一般に、銅と別の材料との接着に乏しい界面において生じる。今日のデュアルダマシンプロセスでは、これは、通常S i C拡散バリア層である層と境を接する銅線上部において最も頻繁に発生するが、銅ノバリア界面においても発生する恐れがある。次の技術ノードへの移行ごとに、そしてその結果としての電流密度の増大とともに、問題は悪化する。

【0003】

20

E Mの問題、およびもう1つのよくある信頼性の問題である関連のストレスボイドに対する解決法は、プロセス統合の経緯であった。すなわち、最適化された堆積（すなわちバリアおよびシード層の厚さを低減させるような堆積）、堆積前および堆積後におけるウエハ洗浄、表面処理など、いずれも均質な表面を提供するとともに層間の接着を優れたものにして金属原子の移動およびボイドの伝搬を最小限にすることを狙いとしたプロセスを統合する経緯であった。デュアルダマシンプロセスでは、（コンタクトおよびビアのための）トレンチおよびホールが誘電体内にエッチングされ、次いで、タンタル（T a）、窒化タンタル（T a N）、または両膜の組み合わせなどのバリア材料で裏打ちされる。次いで、銅シード層の堆積、銅の電解めっき、C M Pを使用した銅の平坦化、およびS i C / l o w - k / S i Cなどの誘電体スタックの堆積が続く。銅は、空気に曝露されるとその上に容易に酸化物を形成されるので、銅とS i Cとの間に優れた接着を保証するには、銅にS i Cを被せる前に適切なC M P後洗浄および酸化銅除去を行う必要がある。S i C堆積に先立つ酸化銅の除去は、優れたE M耐性の実現およびその結果としての金属抵抗率の低減にとって不可欠である。

30

【0004】

近年では、S i C誘電体バリア層の前に、C o W P（コバルト・タングステン・リン）、C o W B（コバルト・タングステン・ホウ素）、またはC o W B P（コバルト・タングステン・リン化ホウ素）などのコバルト合金キャップ層を銅に被せると、銅の上にS i Cを設ける場合と比べて大幅にエレクトロマイグレーションが改善されることが示されている。図1は、銅層23, 33の上になおかつ誘電体キャップS i C層25, 35の下にコバルト合金キャップ層20, 30がそれぞれ堆積されたことを示している。層24, 34として、T aおよび/ T a Nのバリア層が例示されている。コバルト合金層20, 30は、銅23, 33とS i Cキャップ層25, 35との間の接着を改善する。コバルト合金層20, 30は、いくらかの銅拡散バリア特性を呈することもできる。コバルト合金キャップ層は、無電解堆積によって銅上に選択的に堆積させることができる。しかしながら、無電解堆積は、銅が空気に曝露されると形成されえる薄い酸化銅の層によって阻まれる恐れがある。さらに、銅表面上および誘電体表面上の汚染物は、パターン依存性のめっき効果を引き起こす恐れがある。パターン依存性のめっき効果には、パターン依存性のC o合金厚さ、およびC oめっき反応を開始させるために必要とされる「インキュベーション時間」中のエッチングに一部起因するパターン依存性の銅線厚さ喪失などがある。したがって

40

50

、コバルト合金などの金属キャップ層を堆積させる直前に、処理環境を制御することによって、自然酸化銅の成長を制限（すなわち制御）することならびに銅表面上の酸化銅および有機汚染物と誘電体表面上の有機汚染物および金属汚染物を除去することが重要である。さらに、パターン依存性の堆積ばらつきを少なくするには、誘電体表面を制御して、それがパターン密度の異なる構造に及ぼす影響を標準化しなければならない。優れた界面接着および優れたEM耐性を保証するには、銅層間23, 33、銅-バリア層間33, 34および23, 24、ならびに接着促進層（すなわち金属キャップ層）とコバルト合金層20, 20などとの間の金属-金属界面を設計することが非常に重要である。さらに、金属線が狭くなるにつれ、物理気相成長（PVD）によるバリア膜およびシード膜が金属線に占める部分が大きくなり、これは、実効抵抗率を、ひいては電流密度を増大させる。薄くて共形のバリア層およびシード層は、共形のステップカバレッジおよび許容可能なバリア特性を提供する原子層成長（ALD）バリア（Ta₂N₅、Ru、または異種混合）と、共形のシード層を提供する無電解Cuプロセスとによって、この傾向を軽減することができる。しかしながら、これまでは、生成されるALD Ta₂N₅バリア膜に接着することができる無電解Cuシード層がなかった。

10

【0005】

以上から、銅配線について、エレクトロマイグレーション耐性を向上され、シート抵抗を低減され、界面接着を改善された金属-金属界面を形成するシステムおよびプロセスが必要とされている。

【発明の概要】

20

【0006】

概して、実施形態は、銅配線について、エレクトロマイグレーション耐性を向上させるため、より低い金属抵抗率を提供するため、そして金属-金属またはシリコン-金属の界面接着を改善するために、改善された金属-金属界面またはシリコン-金属界面を提供するプロセスおよび統合システムを提供することによって、必要性を満たすものである。本発明は、解決策、方法、プロセス、装置、またはシステムを含む多くの方式で実現することが可能である。以下では、本発明のいくつかの実施形態が説明される。

【0007】

一実施形態では、統合システム内において、基板の銅配線の銅表面上にコバルト合金材料の薄い層を選択的に堆積させて、銅配線のエレクトロマイグレーション耐性を向上させるために、基板の基板表面を調整する方法が提供される。方法は、統合システム内において、基板表面から汚染物および金属酸化物を除去することと、汚染物および金属酸化物を除去した後に、統合システム内において、還元環境を使用して基板表面を再調整することを含む。方法は、また、基板表面を再調整した後に、統合システム内において、銅配線の銅表面上にコバルト合金材料の薄い層を選択的に堆積させることも含む。

30

【0008】

別の一実施形態では、銅配線の銅表面上にコバルト合金材料の薄い層を選択的に堆積させることを可能にして、銅配線のエレクトロマイグレーション耐性を向上させるために、制御環境内において基板を搬送および処理するための統合システムが提供される。統合システムは、実験室雰囲気搬送チャンバであって、該実験室雰囲気搬送チャンバに結合された基板カセットから統合システム内へと基板を搬送可能である実験室雰囲気搬送チャンバと、実験室雰囲気搬送チャンバに結合され、基板表面上の金属有機錯体汚染物を除去するために基板表面を洗浄する基板洗浄リアクタとを含む。

40

【0009】

システムは、また、圧力が1トール未満の真空下において動作され、少なくとも1つの真空プロセスモジュールを結合された真空搬送チャンバと、基板表面から有機汚染物を除去するための真空プロセスモジュールであって、真空搬送チャンバに結合された少なくとも1つの真空プロセスモジュールの1つであり、圧力が1トール未満の真空下において動作される真空プロセスモジュールとを含む。統合システムは、さらに、不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされた制御雰囲気搬送チャンバと、該制御雰囲気搬送チャ

50

ンバに結合された少なくとも1つの制御雰囲気プロセスモジュールとを含む。また、システムは、基板表面が金属汚染物および有機汚染物を除去され銅表面が酸化銅を除去された後に、銅配線の銅表面上にコバルト合金材料の薄い層を堆積させるために使用される無電解コバルト合金材料堆積プロセスモジュールであって、制御雰囲気搬送チャンバに結合された少なくとも1つの制御雰囲気プロセスモジュールの1つであり、不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされ、プロセス流体が脱ガスされる流体配送システムを有する無電解コバルト合金材料堆積プロセスモジュールを含む。

【0010】

別の一実施形態では、統合システム内において、基板の銅配線構造に裏打ちするために金属バリア層を堆積させ、金属バリア層の表面上に薄い銅シード層を堆積させて、銅配線のエレクトロマイグレーション耐性を向上させるために、基板の基板表面を調整する方法が提供される。方法は、統合システム内において、表面金属酸化物を除去するために下位の金属の露出表面を洗浄することを含む。下位の金属は、銅配線に電気的につながれる下位の配線の一部である。方法は、また、統合システム内において、銅配線構造に裏打ちするために金属バリア層を堆積させることを含む。金属バリア層を堆積させた後、基板は、金属バリア酸化物の形成を阻止するために、制御環境内において搬送され処理される。方法は、さらに、統合システム内において、薄い銅シード層を堆積させることと、統合システム内において、薄い銅シード層の上にギャップ充填銅層を堆積させることとを含む。

10

【0011】

別の一実施形態では、統合システム内において、銅配線構造の金属バリア層の表面上に薄い銅シード層を堆積させて、銅配線構造のエレクトロマイグレーション耐性を向上させるために、基板の金属バリア表面を調整する方法が提供される。方法は、統合システム内において、金属バリア層の表面上の金属バリア酸化物を変換して金属バリア層の表面を金属リッチにするために、金属バリア層の表面を還元することを含む。方法は、また、統合システム内において、薄い銅シード層を堆積させることと、統合システム内において、薄い銅シード層の上にギャップ充填銅層を堆積させることとを含む。

20

【0012】

別の一実施形態では、銅配線の金属バリア層の表面上に薄い銅シード層を堆積させることを可能にするために、制御環境内において基板を処理するための統合システムが提供される。統合システムは、実験室雰囲気搬送チャンバであって、該実験室雰囲気搬送チャンバに結合された基板カセットから統合システム内へと基板を搬送可能である実験室雰囲気搬送チャンバを含む。統合システムは、また、圧力が1トール未満の真空下で動作される真空搬送チャンバを含む。少なくとも1つの真空プロセスモジュールが、真空搬送チャンバに結合されている。統合システムは、さらに、統合システム内において、下位の金属の金属酸化物の露出表面を洗浄するための真空プロセスモジュールを含む。下位の金属は、下位の配線の一部であり、銅配線は、この下位の配線に電気的につながれる。洗浄のための真空プロセスモジュールは、真空搬送チャンバに結合された少なくとも1つの真空プロセスモジュールの1つであり、圧力が1トール未満の真空下において動作される。

30

【0013】

また、統合システムは、金属バリア層を堆積させるための真空プロセスモジュールを含む。金属バリア層を堆積させるための真空プロセスモジュールは、真空搬送チャンバに結合された少なくとも1つの真空プロセスモジュールの1つであり、圧力が1トール未満の真空下において動作される。また、統合システムは、不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされた制御雰囲気搬送チャンバを含む。制御雰囲気搬送チャンバには、少なくとも1つの制御雰囲気プロセスモジュールが結合される。統合システムは、さらに、金属バリア層の表面上に薄い銅シード層を堆積させるために使用される無電解銅堆積プロセスモジュールを含む。無電解銅堆積プロセスモジュールは、制御雰囲気搬送チャンバに結合された少なくとも1つの制御環境プロセスモジュールの1つである。

40

【0014】

別の一実施形態では、銅配線の金属バリア層の表面上に薄い銅シード層を堆積させるこ

50

とを可能にするために、制御環境内において基板を処理するための統合システムが提供される。統合システムは、実験室雰囲気搬送チャンバであって、該実験室雰囲気搬送チャンバに結合された基板カセットから統合システム内へと基板を搬送可能である実験室雰囲気搬送チャンバを含む。統合システムは、また、圧力が1トール未満の真空下で動作される真空搬送チャンバを含む。少なくとも1つの真空プロセスモジュールが、真空搬送チャンバに結合される。

【0015】

統合システムは、さらに、金属バリア層を還元するための真空プロセスモジュールを含む。金属バリア層を還元するための真空プロセスモジュールは、真空搬送チャンバに結合された少なくとも1つの真空プロセスモジュールの1つであり、圧力が1トール未満の真空下において動作される。また、統合システムは、不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされた制御雰囲気搬送チャンバを含む。制御雰囲気搬送チャンバには、少なくとも1つの制御雰囲気プロセスモジュールが結合される。また、統合システムは、金属バリア層の表面上に薄い銅シード層を堆積させるために使用される無電解銅堆積プロセスモジュールを含む。無電解銅堆積プロセスモジュールは、制御雰囲気搬送チャンバに結合された少なくとも1つの制御環境プロセスモジュールの1つである。

【0016】

別の一実施形態では、統合システム内において、基板のシリコン表面上またはポリシリコン表面上に金属の層を選択的に堆積させて金属シリサイドを形成するために、基板の基板表面を調整する方法が提供される。方法は、統合システム内において、基板表面から有機汚染物を除去することと、有機汚染物を除去した後に、統合システム内において、シリコン表面上またはポリシリコン表面上の酸化シリコンをシリコンに変換するために、シリコン表面またはポリシリコン表面を還元することとを含む。シリコン表面またはポリシリコン表面を還元した後、基板は、酸化シリコンの形成を阻止するために制御環境内において搬送され処理され、シリコン表面またはポリシリコン表面は、シリコン表面上の金属の選択性を高めるために還元される。方法は、また、シリコン表面またはポリシリコン表面を還元した後に、統合システム内において、基板のシリコン表面上またはポリシリコン表面上に金属の層を選択的に堆積させることを含む。

【0017】

別の一実施形態では、基板のシリコン表面上への金属の層の選択的堆積を可能にして金属シリサイドを形成するために、制御環境内において基板を処理するための統合システムが提供される。統合システムは、実験室雰囲気搬送チャンバであって、該実験室雰囲気搬送チャンバに結合された基板カセットから統合システム内へと基板を搬送可能である実験室雰囲気搬送チャンバを含む。統合システムは、また、圧力が1トール未満の真空下で動作される真空搬送チャンバを含む。少なくとも1つの真空プロセスモジュールが、真空搬送チャンバに結合される。統合システムは、さらに、基板表面から有機汚染物を除去するための真空プロセスモジュールを含む。有機汚染物を除去するための真空プロセスモジュールは、真空搬送チャンバに結合された少なくとも1つの真空プロセスモジュールの1つであり、圧力が1トール未満の真空下において動作される。

【0018】

また、統合システムは、シリコン表面を還元するための真空プロセスチャンバを含む。シリコン表面を還元するための真空プロセスチャンバは、真空搬送チャンバに結合された少なくとも1つの真空プロセスモジュールの1つであり、圧力が1トール未満の真空下において動作される。また、統合システムは、不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされた制御雰囲気搬送チャンバと、該制御雰囲気搬送チャンバに結合された少なくとも1つの制御雰囲気プロセスモジュールとを含む。統合システムは、さらに、シリコン表面が還元された後に、そのシリコン表面上に薄い金属の層を選択的に堆積させるために使用される無電解金属堆積プロセスモジュールを含み、該無電解金属堆積プロセスモジュールは、制御雰囲気搬送チャンバに結合された少なくとも1つの制御雰囲気プロセスモジュールの1つである。

【 0 0 1 9 】

本発明の原理を例示した添付の図面に関連させた以下の詳細な説明から、本発明のその他の態様および利点が明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 0 】

本発明は、添付の図面に関連させた以下の詳細な説明によって、容易に理解することができる。ここで、類似の参照符号は、類似の構成要素を示すものとする。

【 0 0 2 1 】

【図 1】配線の代表的断面を示す断面図である。

【図 2 A】配線処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

10

【図 2 B】配線処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

【図 2 C】配線処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

【図 2 D】配線処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

【図 3】金属 C M P 後における基板表面上の汚染物の諸形態を示す説明図である。

【図 4 A】コバルト合金を無電解堆積させるために銅表面を調整するための代表的プロセスフローを示す工程図である。

【図 4 B】図 4 A のプロセスフローを通して基板を処理するために使用される代表的システムを示す構成図である。

【図 5 A】配線処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

【図 5 B】配線処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

20

【図 5 C】配線処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

【図 6 A】コバルト合金を無電解堆積させるために銅表面を調整するための代表的プロセスフローを示す工程図である。

【図 6 B】図 6 A のプロセスフローを通して基板を処理するために使用される代表的システムを示す構成図である。

【図 7 A】配線処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

【図 7 B】配線処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

【図 7 C】配線処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

【図 8 A】コバルト合金を無電解堆積させるために銅表面を調整するための代表的プロセスフローを示す工程図である。

30

【図 8 B】図 8 A のプロセスフローを通して基板を処理するために使用される代表的システムを示す構成図である。

【図 9 A】処理の諸段階における金属線構造の断面を示す断面図である。

【図 9 B】処理の諸段階における金属線構造の断面を示す断面図である。

【図 9 C】処理の諸段階における金属線構造の断面を示す断面図である。

【図 9 D】処理の諸段階における金属線構造の断面を示す断面図である。

【図 9 E】処理の諸段階における金属線構造の断面を示す断面図である。

【図 10 A】銅層を無電解堆積させるためにバリア層表面を調整するための代表的プロセスフローを示す工程図である。

【図 10 B】図 10 A のプロセスフローを通して基板を処理するために使用される代表的システムを示す構成図である。

40

【図 10 C】銅層を無電解堆積させるためにバリア層表面を調整するための代表的プロセスフローを示す工程図である。

【図 10 D】図 10 C のプロセスフローを通して基板を処理するために使用される代表的システムを示す構成図である。

【図 11 A】銅層を無電解堆積させるためにバリア層表面を調整するためおよびコバルト合金を無電解堆積させるために銅表面を調整するための代表的プロセスフローを示す工程図である。

【図 11 B】図 11 A のプロセスフローを通して基板を処理するために使用される代表的システムを示す構成図である。

50

【図 1 2 A】処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

【図 1 2 B】処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

【図 1 2 C】処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

【図 1 2 D】処理の諸段階における配線構造の断面を示す断面図である。

【図 1 3 A】無電解銅堆積のためにバリア表面を調整するためおよびコバルト合金を無電解堆積させるために銅表面を調整するための代表的プロセスフローを示す工程図である。

【図 1 3 B】図 1 3 A のプロセスフローを通して基板を処理するために使用される代表的システムを示す構成図である。

【図 1 4 A】金属シリサイド形成の諸段階におけるゲート構造の断面を示す断面図である。

【図 1 4 B】金属シリサイド形成の諸段階におけるゲート構造の断面を示す断面図である。

【図 1 4 C】金属シリサイド形成の諸段階におけるゲート構造の断面を示す断面図である。

【図 1 4 D】金属シリサイド形成の諸段階におけるゲート構造の断面を示す断面図である。

【図 1 5 A】金属シリサイドを形成するために露出シリコン表面を調整するための代表的プロセスフローを示す工程図である。

【図 1 5 B】図 1 5 A のプロセスフローを通して基板を処理するために使用される代表的システムを示す構成図である。

【図 1 6】雰囲気制御処理環境を有する統合システムについてのシステム統合の概略を示す構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

エレクトロマイグレーション、金属抵抗率、および界面接着を改善するために還元によって界面金属酸化物を除去して金属界面を修正する改良された金属統合技術について、いくつかの代表的な実施形態が提供される。本発明は、プロセス、方法、装置、またはシステムを含む多くの方式で実現可能である。発明力のある本発明のいくつかの実施形態が、以下で説明される。当業者ならば明らかなように、本発明は、本明細書において特定された一部または全部の詳細をとまわずとも実施可能である。

【0023】

図 2 A は、デュアルダマシンプロセス手順を使用してパターン形成された後における配線構造の代表的な断面を示している。配線構造は、基板 50 上にあり、事前の作成によってメタライゼーション線 101 を内部に形成された誘電体層 100 を有している。メタライゼーション線は、一般に、誘電体 100 内にトレンチをエッチングし次いでそのトレンチに銅などの導電材料を充填することによって作成される。

【0024】

トレンチ内には、銅材料 122 が誘電体 100 内に拡散するのを阻止するために使用されるバリア層 120 がある。バリア層 120 は、PVD 窒化タンタル (Ta₂N₅)、PVD タンタル (Ta₂O₅)、ALD Ta₂O₅、またはこれらの膜の組み合わせで作成することができる。その他のバリア層材料もまた、使用することができる。バリア層 102 は、上位の誘電体材料 104、106 を通ってバリア層 102 へとビアホール 114 がエッチングされる際に銅材料 122 が時期尚早に酸化されないように保護するために、平坦化された銅材料 122 の上に堆積される。バリア層 102 は、選択性エッチングストップおよび銅拡散バリアとして機能するようにも構成される。代表的なバリア層 102 材料は、窒化シリコン (Si₃N₄) または炭化シリコン (SiC) を含む。

【0025】

バリア層 102 の上に、ビア誘電体層 104 が堆積される。ビア誘電体層 104 は、有機ケイ酸塩ガラス (OSG、炭素ドープ酸化シリコン) または好ましくは低誘電率のその他のタイプの誘電体材料で作成することができる。代表的な二酸化シリコンとしては、P

10

20

30

40

50

ECVD非ドーブTEOS二酸化シリコン、PECVDフッ素化シリカガラス(FSG)、HDP FSG、OSG、ポーラスOSGなどを挙げることができる。カリフォルニア州サンタクララのApplied MaterialsによるBlack Diamond (I)およびBlack Diamond (II)、サンノゼのNovellus SystemsによるCoral、アリゾナ州フェニックスのASM America Inc.によるAuroraを含む市販の誘電体材料もまた、使用することができる。ビア誘電体層104の上は、トレンチ誘電体層106である。トレンチ誘電体層106は、炭素ドーブ酸化物(C酸化物)などのlow-k誘電体材料であってよい。Low-k誘電体材料の誘電率は、約3.0またはそれ未満であってよい。一実施形態では、ビア誘電体層およびトレンチ誘電体層は、ともに、同じ材料で作成され、同時に堆積されて連続膜を形成する。トレンチ誘電体層106が堆積された後、この(これらの)構造を保持する基板50は、既知の技術によって、ビアホール114およびトレンチ116を形成するためのパターン形成プロセスおよびエッチングプロセスを経る。

10

【0026】

図2Bは、ビアホール114およびトレンチ116の形成後、ビアホール114およびトレンチ116の裏打ちおよび充填のためにバリア層130と銅層132とが堆積されることを示している。バリア層130は、窒化タンタル(TaN)、タンタル(Ta)、ルテニウム(Ru)、またはこれらの膜の異種混合で作成することができる。これらは、一般的に考えられる材料であるが、その他のバリア層材料もまた、使用することができる。次いで、ビアホール114およびトレンチ116を充填するために、銅膜132が堆積される。

20

【0027】

銅膜132によってビアホール114およびトレンチ116を充填した後、基板50は、図2Cに示されるように、誘電体106の表面の上の銅材料(すなわち過剰な銅)およびバリア層(すなわち過剰なバリア)を除去するために化学機械研磨(CMP)によって平坦化される。次のステップは、図2Dに示されるように、コバルト合金などの銅/SiC界面接着促進層135を銅表面140に被せるステップである。コバルト合金の例として、無電解プロセスによって銅の上に選択的に堆積させることができるCoWP、CoWB、またはCoWBPが挙げられる。接着促進層の厚さは、5オングストロームなど僅か数オングストロームの単分子層ほどに薄いものから、Cu拡散バリアとしても機能して誘電体キャップの必要性を排除しえる200~300オングストロームなど厚めの層である

30

【0028】

銅の化学機械研磨(CMP)は、銅腐食防止剤としてベンゾトリアゾール(BTA)を使用することが多い。銅は、BTAとのCu-BTA錯体を形成する。Cu CMPおよびCMP後洗浄を経て処理された基板は、Cu線上および隣接する誘電体上の両方に、図3に白抜きの丸として示されたCu-BTA錯体形態の銅残留物を含有している恐れがある。誘電体上のCu-BTA錯体は、電流漏れまたは金属短絡の増大を阻止するために、除去する必要がある。さらに、図3にべた塗りの丸として示された各種の有機汚染物に加えて、図3において白抜きの三角として示されたTaまたはその他のバリア材料の残留物も少量存在しえる。これらの汚染物に加えて、図3にべた塗りの三角として示されたCuOおよびCuO₂に代表される各種の金属酸化物も存在している。Cu-BTA錯体、金属酸化物、および有機汚染物は、基板表面から除去しなければならない3大表面汚染物である。有機物や金属含有化合物の汚染物がない誘電体表面および金属表面を用意することは挑戦であり、湿式プロセスおよび乾式プロセスの両方を含むであろう多段階の表面調整を必要とする。

40

【0029】

以下は、下位の金属の表面調整を行って、上位の金属層を、それら2枚の金属層間の接着に優れた方式で堆積させることを可能にするいくつかの代表的なプロセスフローおよびシステムである。代表的なプロセスフローおよびシステムによって堆積される金属層は、向上されたEM耐性を、したがって全体に低い金属抵抗率を呈すると考えられる。

50

【 0 0 3 0 】

1 . コバルト合金堆積のための銅表面の設計 :

ケース I : 金属 C M P が誘電体層上で停止する

図 4 A は、図 2 C に示されたデュアルダマシンプビア - トレンチ構造の C M P 後銅表面 1 4 0 の上にコバルト合金を無電解堆積させるための表面調整のプロセスフローの一実施形態を示している。図 4 A のプロセスフローに使用される基板は、過剰な銅層と、過剰な T a および / または T a N などのバリア層とを除去するための金属 C M P 処理を終えたところである。図 3 に関連した段落において上述されたように、基板表面上には各種の金属汚染物および有機汚染物がある。

【 0 0 3 1 】

プロセスは、ステップ 4 0 1 において、C u - B T A 錯体などの金属有機錯体汚染物 (すなわち錯化された金属 - 有機汚染物) と、金属酸化物とを基板表面から除去することによって開始される。金属汚染物は、銅表面および誘電体表面の両方から除去されるが、このステップの目的は、のちに核形成部位として機能する可能性がある潜在金属源を後続の C o 合金堆積のために排除することによって、選択性および C o 膜形態の改善を図ることである。銅 - B T A 錯体、酸化銅 (C u O_x)、および酸化タンタル (T a O_y) などのその他の金属酸化物は、このステップ中に基板表面から除去される。除去される酸化銅の量は、表面上の金属酸化物の汚染物のレベルおよび深さに依存する。金属錯体および金属酸化物は、O₂ / A r スパッタリングプロセスによって、または 1 ステップもしくは 2 ステップの湿式化学的プロセス手順の湿式化学的除去プロセスによって除去することができる。好ましい実施形態は、錯化金属および金属酸化物を除去するために、湿式プロセスを使用する。湿式化学的除去プロセスは、日本の関東化学株式会社によって提供されている DerClean などの有機酸、デラウェア州ウィルミントンの DuPont によって提供されている ESC 5800 などの半水性溶媒、塩化テトラメチルアンモニウム (T M A H) などの有機塩基、エチレンジアミンやジエチレントリアミンなどの錯化アミン、またはコネティカット州ウェストヘーブンの Enthone, Inc. によって提供されている ELD 洗浄および Cap Clean 61 などの特許化学剤を使用することができる。誘電体表面からの C u - B T A の除去は、C u - B T A からの銅が、酸化銅に酸化され、引き続きその他の表面調整ステップ中に銅に還元されることによって、選択性を低下させ、C o 合金を成長させる予定の誘電体表面上に核形成部位を提供する結果、短絡を引き起こすことおよび漏れ電流を増大させることのないように保証する。したがって、C u - B T A 除去プロセスは、金属短絡または電流漏れに起因する歩留まりの損失を低減させることもできる。

【 0 0 3 2 】

C u - B T A 錯体およびその他の金属酸化物汚染物は、このステップ中に除去されるべき主要な 2 つの金属汚染物であり、この除去は、制御または非制御のいずれかの雰囲気 (すなわち環境) 内でなすことができる。例えば、C u - B T A は、水酸化テトラメチルアンモニウム (T M A H)、またはエチレンジアミンもしくはジエチレントリアミンなどの錯化アミン、またはコネティカット州ウェストヘーブンの Enthone, Inc. によって提供されている ELD 洗浄および Cap Clean 61 などの特許化学剤を含む洗浄溶液をとともう湿式洗浄プロセスによって除去することができる。金属酸化物、なかでも酸化銅は、クエン酸などの弱い有機酸を使用して除去することができる、あるいはその他の有機酸または無機酸を使用することができる。また、硫黄 - 過酸化混合物などの非常に薄い (すなわち < 0 . 1 % の) 過酸化混合物含有酸もまた、使用することができる。湿式洗浄プロセスは、その他の金属残留物または金属酸化物残留物も除去することができる。

【 0 0 3 3 】

低密度、小隔離、幅広などの異なるパターンまたは特徴タイプの銅線上における B T A の存在は、線のパッシベーションの結果であり、その量は、一部には、これらの特徴上に生じるパターン依存性のガルバニック効果の程度に関係する。これは、結果として、パターン依存性のパッシベーション層を形成することがある。この依存性は、さらに、C o 合金の堆積特性にも影響することがあり、その結果、ときにインキュベーション効果または

10

20

30

40

50

イニシエーション効果とも称されるパターン依存性の堆積特性をもたらす。Cu線からのBTAの除去は、(後続のステップにおいて堆積される予定の)コバルト合金のこのパターン依存性堆積効果を解消し、高密度な隔離特徴内にコバルト合金を均一に堆積可能にするのに有用である。

【0034】

ステップ304において、有機汚染物は、酸素含有プラズマプロセスのように、酸化プラズマによって除去することができる。酸素(O_2)プラズマプロセスは、摂氏120度未満の比較的低温で行うことが好ましい。高温 O_2 プラズマプロセスは、銅を分厚い層に酸化し、のちの還元を困難にする傾向がある。したがって、低温の O_2 プラズマプロセスが好ましい。一実施形態では、 O_2 プラズマプロセスは、下流のプラズマプロセスであってよい。あるいは、有機残留物(すなわち汚染物)は、有機汚染物を物理的に除去するための O_2 /Arスパッタリングプロセスを使用して除去することもできる。 O_2 プラズマプロセスおよび O_2 /Arスパッタリングプロセスは、一般に、1ツール未満で動作される。

10

【0035】

基板表面からCu-BTA、金属酸化物、およびその他の有機汚染物などの汚染物がなくなると、基板は、銅表面を酸化から保護するために、曝露される酸素の量をできる限り少なくすることが望ましい。銅の酸化は、自己制御式のプロセスではない。酸化銅の形成を最小限に抑えるためには、酸素への基板の曝露量および曝露期間を制限する(または制御する)ことが望ましい。酸化銅は、のちのステップで還元されるが、分厚い酸化銅の層は、完全に還元できないことがある。したがって、酸素への銅の曝露は、有機汚染物の除去に必要とされるだけに制限することが重要である。酸素への曝露の制御および制限を達成するためには、基板は、真空下の環境または不活性ガスで満たされた環境などの制御環境内において搬送され処理されることが望ましい。

20

【0036】

銅表面に酸化銅がないことを保証するために、基板表面は、ステップ405において、あらゆる残留酸化銅を銅に変換するために還元環境内において再調整される。先の前洗浄ステップは、誘電体層からあらゆる金属を除去しているので、金属の還元は、銅線に対してのみ実施される。銅表面の還元は、水素含有プラズマプロセスによって酸化銅を銅(または実質的に銅)に変換することによって達成することができる。水素含有プラズマを生成するために使用することができる代表的な反応ガスとして、水素(H_2)、アンモニア(NH_3)、および一酸化炭素(CO)が挙げられる。例えば、基板表面は、水素(H_2)ガス、アンモニア(NH_3)ガス、または両ガスの組み合わせによって生成される水素含有プラズマによって還元され、基板は、摂氏20度から摂氏300度までの高温にある。一実施形態では、水素プラズマプロセスは、下流のプラズマプロセスである。水素還元プロセスを経ると、基板は、コバルト合金堆積の用意が整う。銅表面は、酸化銅が形成されないことを保証するために、注意深く保護する必要がある。上述のように、コバルト合金の無電解堆積は、酸化銅の存在によって抑制される恐れがある。したがって、処理環境および搬送環境を制御して、酸素への銅表面の曝露を最小限にすることが重要である。

30

【0037】

次のプロセスステップ407では、銅表面の上に、CoWP、CoWB、またはCoWB Pなどのコバルト合金が無電解堆積される。コバルト合金の無電解堆積は、湿式プロセスであり、銅表面などの触媒表面上にのみ堆積する。コバルト合金は、銅表面上にのみ選択的に堆積する。

40

【0038】

コバルト合金の無電解堆積後、プロセスフローは、随意の堆積後洗浄プロセスステップ409に入ることができる。堆積後洗浄は、ペンシルバニア州アレントアウンのAir Products and Chemical, Inc.によって供給されているCP72Bを含有した溶液などの化学溶液によるブラシスクラブ洗浄を使用して達成することができる。LamのC3(商標)またはP3(商標)洗浄技術などのその他の基板表面洗浄プロセスもまた、使用することができる。その

50

他の後洗浄化学剤は、無電解めっき後に誘電体表面上にとどまるであろうあらゆる金属ベースの汚染物を除去するために、ヒドロキシルアミンをベースにした化学剤を含むことができる。

【0039】

上述のように、プロセス環境およびウエハ搬送環境の制御は、とりわけ銅表面の水素プラズマ還元後などに、コバルト合金堆積のために銅表面を調整するのに非常に重要である。図4Bは、表面処理後の重要なステップにおける酸素への基板表面の曝露を最小限にすることができる代表的な統合システム450の概略図を示している。また、これは統合システムであるので、基板は、1つのプロセスステーションから直ちに次のプロセスステーションへと搬送され、これは、調整後の銅表面が酸素に曝露される時間を制限する。統合システム450は、図4Aのフロー400のプロセス手順全体を通して基板を処理するために使用することができる。

10

【0040】

上述のように、表面処理、コバルト合金の無電解堆積、および随意的コバルト合金堆積後プロセスは、乾式プロセスと湿式プロセスとの混合をとこなう。湿式プロセスは、一般に、近大気で作動され、乾式の O_2 プラズマ、水素プラズマ、および O_2/Ar スパッタリングは、いずれも、1トール未満で動作される。したがって、統合システムは、乾式プロセスと湿式プロセスとの混合を取り扱える必要がある。統合システム450は、3つの基板搬送モジュール（またはチャンバ）460、470、480を有する。搬送チャンバ460、470、480は、基板455を1つのプロセス区域から別のプロセス区域へと移動させるためのロボットを装備している。プロセス区域は、基板カセット、リアクタ、またはロードロックであってよい。基板搬送モジュール460は、実験室雰囲気下で動作される。実験室雰囲気とは、室温下で、大気圧下で、なおかつ粒子欠陥を制御するために一般にUEPAまたはULPAによるフィルタリングを経た空気に曝露された実験室（または工場）環境を指す。モジュール460は、基板455を統合システムに持ち込むためまたは基板をカセット461に戻してシステム450外での処理を続けるために、基板ローダ（または基板カセット）461と連携して機能する。

20

【0041】

プロセスフロー400において上述されたように、基板455は、図2Cに示されるように、基板が基板表面から過剰な金属を除去するために金属CMPによって平坦化され、金属トレンチ内にのみ金属を残留させた後、CoWB、CoWP、またはCoWBPなどのコバルト合金を堆積させるために統合システム450に持ち込まれる。プロセスフロー400のステップ401において説明されたように、基板表面は、Cu-BTA錯体などの表面汚染物およびその他の金属酸化物残留物を除去される必要がある。Cu-BTAおよび金属酸化物は、TMAHまたはエチレンジアミンもしくはジエチルアミントリアミンを非限定例として含む錯化アミンを含有した溶液などの洗浄溶液をとこなう湿式洗浄プロセスによって除去することができる。BTA金属錯体の除去の次は、銅表面上および誘電体表面上に残留している金属酸化物を、クエン酸または銅に対してある程度選択的に酸化銅を除去できるその他の有機酸を含有した溶液などの洗浄溶液をとこなう湿式洗浄プロセスを使用して除去することができる。金属酸化物、なかでも酸化銅は、クエン酸などの弱い有機酸を使用して除去することができる、あるいはその他の有機酸または無機酸を使用することができる。また、硫黄-過酸化物混合などの非常に薄い（すなわち<0.1%の）過酸化物含有酸もまた、使用することができる。湿式洗浄プロセスは、その他の金属残留物または金属酸化物残留物も除去することができる。

30

40

【0042】

実験室雰囲気条件で動作する実験室雰囲気搬送モジュール460には、湿式洗浄リアクタ463を統合することができる。湿式洗浄リアクタは、図4Aのステップ401において上述されたように、1ステップまたは2ステップの洗浄を実施するために使用することができる。あるいは、実験室雰囲気搬送モジュール460に追加の湿式洗浄リアクタ463'を統合し、リアクタ463内において2ステップ洗浄プロセスの第1のステップが実

50

施され、リアクタ 4 6 3 ' 内において第 2 のステップが実施されるようにすることができる。例えば、リアクタ 4 6 3 内には、Cu - B T A を洗浄するために T M A H などの化学剤を含有した洗浄溶液があり、リアクタ 4 6 3 ' 内には、金属酸化物を洗浄するためにクエン酸などの弱い有機酸を含有した洗浄溶液がある。

【 0 0 4 3 】

実験室雰囲気条件は、大気下にあるとともに空気に対して開かれている。湿式洗浄リアクタ 4 6 3 は、プロセスフロー 4 0 0 では実験室雰囲気搬送モジュール 4 6 0 に統合することができるが、このプロセスステップは、金属 C M P の直後、基板がコバルト合金堆積のために統合システムに持ち込まれる前に実施することもできる。あるいは、湿式洗浄プロセスは、湿式洗浄ステップの最中および後に制御環境を維持される制御雰囲気プロセス環境内において実施することができる。

10

【 0 0 4 4 】

先の湿式洗浄によって除去されなかった有機残留物（すなわち汚染物）は、Cu - B T A および金属酸化物の除去に続く、酸素含有プラズマなどの乾式酸化プラズマプロセス、 O_2 / A r スパッタリング、または A r スパッタリングによって除去することができる。上述のように、プラズマプロセスまたはスパッタリングプロセスの大半は、1 トール未満で動作される。したがって、このようなシステム（または装置またはチャンバまたはモジュール）は、圧力が 1 トール未満などの真空中で動作される搬送モジュールに結合することが望ましい。プラズマプロセスを統合された搬送モジュールが真空中にあれば、搬送モジュールを排気するために長時間を費やす必要がなくなるので、基板の搬送の時間効率は高くなり、プロセスモジュールは真空中に維持される。また、搬送モジュールが真空中にあるゆえに、プラズマプロセスによる洗浄を経た後の基板は、極めて低レベルの酸素に曝露されるだけですむ。有機残留物を洗浄するために O_2 プラズマプロセスが選択されると仮定すると、 O_2 プラズマプロセスリアクタ 4 7 1 は、真空搬送モジュール 4 7 0 に結合される。

20

【 0 0 4 5 】

実験室雰囲気搬送モジュール 4 6 0 は大気で動作され、真空搬送モジュール 4 7 0 は真空中（< 1 トール）で動作されるので、これらの 2 つの搬送モジュール間には、異なる圧力で動作される 2 つのモジュール 4 6 0 と 4 7 0 との間で基板 4 5 5 を搬送可能にするために、ロードロック 4 6 5 が配される。ロードロック 4 6 5 は、圧力が 1 トール未満の真空中で動作されるように、実験室雰囲気で動作されるように、または不活性ガスよりなる群から選択される不活性ガスで満たされるように構成される。

30

【 0 0 4 6 】

例えば O_2 を使用した酸化プラズマ処理を終えた後、基板 4 5 5 は、水素含有還元プラズマ還元チャンバ（またはモジュール）4 7 3 に移動される。水素含有プラズマによる還元は、一般に、1 トール未満の低圧で処理されるので、チャンバは、真空搬送モジュール 4 7 0 に結合される。基板 4 5 5 が水素含有プラズマによって還元されると、銅表面は、酸化銅のないクリーンな状態になる。好ましい一実施形態では、基板 4 5 5 が O_2 プラズマ処理を終えた後、ウエハをチャンバから取り除くことなく in-situ で H_2 または H_2 / N H_3 プラズマ還元ステップを実施することができる。いずれにせよ、還元プロセスの完了後、基板は、コバルト合金堆積の用意が整う。

40

【 0 0 4 7 】

上述のように、処理環境および搬送環境を制御して、水素含有還元プラズマによる基板の再調整後における酸素への銅表面の曝露を最小限にすることが重要である。基板 4 5 5 は、制御環境下で処理されることが望ましく、その環境は、酸素への基板 4 5 5 の曝露を制限するために、真空中にあるかまたは 1 種もしくは複数種の不活性ガスで満たされるかのいずれかである。破線 4 9 0 は、図 4 B の統合システム 4 5 0 のなかで、環境を制御されている処理システムおよび搬送モジュールの部分の境界を示している。制御環境 4 9 0 下における搬送および処理は、酸素への基板の曝露を制限する。

【 0 0 4 8 】

50

コバルト合金の無電解堆積は、還元剤によって還元された溶液内コバルト種をともなう湿式プロセスである。ここで、還元剤は、リンをベースにしたもの（例えば次亜リン酸塩）、ホウ素をベースにしたもの（例えばジメチルアミンボラン）、またはリンをベースにしたものとホウ素をベースにしたものの組み合わせであってよい。リンをベースにした還元剤を使用する溶液は、C o W P を堆積させる。ホウ素をベースにした還元剤を使用する溶液は、C o W B を堆積させる。リンをベースにした還元剤とホウ素をベースにした還元剤とを両方使用する溶液は、C o W B P を堆積させる。一実施形態では、コバルト合金無電解堆積溶液は、アルカリ性をベースにしている。あるいは、コバルト合金無電解堆積溶液は、酸性であってもよい。湿式プロセスは、大気圧下で行われるのが一般的であるので、無電解堆積リアクタに結合された搬送モジュール 4 8 0 は、近大気圧で動作されることが望ましい。酸素を含まないように環境が制御されることを保証するために、不活性ガスを使用して制御雰囲気搬送モジュール 4 8 0 を満たすことができる。また、プロセスにおいて使用される全ての流体は、市販の脱ガスシステムによって脱ガスされている、すなわち溶存酸素を除去されている。代表的な不活性ガスとして、窒素（N₂）、ヘリウム（He）、ネオン（Ne）、アルゴン（Ar）、クリプトン（Kr）、およびキセノン（Xe）が挙げられる。

【 0 0 4 9 】

一実施形態では、基板が乾燥条件下で無電解堆積システム 4 8 1 に搬入され乾燥条件下で同システム 4 8 1 から搬出されること（ドライイン・ドライアウト）を可能にするために、リンスおよび乾燥のシステム（または装置またはモジュール）が湿式コバルト合金無電解堆積リアクタ（または装置またはシステムまたはモジュール）に結合される。ドライイン・ドライアウト要件は、無電解堆積システム 4 8 1 を制御雰囲気搬送モジュール 4 8 0 に統合することを可能にするとともに、別個のリンス乾燥モジュールへとロボット式に湿式搬送するステップの必要性を回避する。無電解堆積システム 4 8 1 の環境は、酸素および水分（水蒸気）のレベルを低くする（または制限する）ように制御される必要もある。また、処理環境内の酸素が低レベルであることを保証するために、不活性ガスを使用してシステムを満たすこともできる。

【 0 0 5 0 】

あるいは、コバルト合金無電解堆積は、最近開示された無電解銅堆積と同様に、ドライイン・ドライアウト方式で行うこともできる。銅の無電解堆積のために、ドライイン・ドライアウトの無電解銅プロセスが開発されている。プロセスは、プロキシミティプロセスヘッドを使用して、無電解プロセス液を基板表面上の限られた領域に接触する範囲内に収める。プロキシミティプロセスヘッドの下方にない領域の基板表面は、乾燥している。このようなプロセスおよびシステムの詳細は、2003年6月27日に出願され「Apparatus And Method For Depositing And Planarizing Thin Films On Semiconductor Wafers（半導体ウエハ上に薄膜を堆積させて平坦化するための装置および方法）」と題された米国出願第10/607,611号ならびに2004年6月28日に出願された「Apparatus And Method For Plating Semiconductor Wafers（半導体ウエハにめっきするための装置および方法）」と題された米国出願第10/879,263号に見いだすことができる。これらの両出願は、その全体を本明細書に組み込まれるものとする。コバルト合金の無電解めっきは、ドライイン・ドライアウトのプロセスを可能にするために、同様のプロキシミティプロセスヘッドを使用することができる。

【 0 0 5 1 】

システム 4 8 1 内におけるコバルト合金堆積後、基板 4 5 5 は、随意の堆積後洗浄リアクタに通すことができる。これは、CP72Bもしくはヒドロキシアミンをベースにした洗浄化学剤などの化学剤を使用したブラシスクラブなどの機械的補助を使用して、または浸漬式洗浄、スピンリンス式洗浄、もしくはC3（商標）プロキシミティ技術などのその他の方法を使用して実施することができる。湿式洗浄システム 4 8 3 に対する基板 4 5 5 のドライイン・ドライアウトを可能にするために、ブラシスクラブシステムに、リンスおよび乾燥のシステムを統合する必要もある。システム 4 8 3 内に存在する酸素が制限される（ま

たは少ない) ことに保証するために、不活性ガスを使用してシステム 483 が満たされる。図 4 A において上述されたように、堆積後洗浄は随意であるので、システム 483 は、このシステムが随意であることを示すために破線で示されている。堆積後洗浄ステップは、統合システム 450 によって動作される最終プロセスであるので、基板 455 は、処理後にカセット 461 に戻される必要がある。したがって、洗浄システム 483 は、あるいは、図 4 B に示されるように実験室雰囲気搬送モジュール 460 に結合することができる。実験室雰囲気搬送モジュール 460 に結合される場合、洗浄システム 483 は、制御環境下で動作されず、不活性ガスによって満たされる必要はない。

【0052】

上述のように、Cu - BTA および金属酸化物を除去するプロセスステップは、金属 CMP の直後、基板がコバルト合金堆積のために統合システムに持ち込まれる前に実施することもできる。

【0053】

ケースII：金属CMPがバリア層上で停止する

図 5 A ~ 5 C は、処理の諸段階における配線構造の断面を示している。図 5 A の基板上の銅層は、CMP によって平坦化されている。バリア層 130 は、除去されておらず、基板表面上に残っている。図 6 A は、デュアルダマシン金属トレンチ内の銅の上にコバルト合金を無電解堆積させるための表面調整のプロセスフローの一実施形態を示している。図 6 A のプロセスフロー 600 で使用される基板は、銅を除去するための銅 CMP 処理を終えたところである。図 5 A に示されるように、基板表面上にはまだバリア層が残っている。ケースIIとケースIとの違いは、ケースIIでは、誘電体 106 の表面が、Cu - BTA 錯体またはその他の銅化合物の残留物に曝露されていないことである。誘電体表面は、ケースIでよりケースIIでのほうが高品質である(すなわち金属汚染物が少ない)。したがって、有機汚染物の除去のために O_2 プラズマが使用された後に形成される誘電体層上の酸化銅の除去を目的としたプロセスステップを排除することができる。

【0054】

プロセスは、Cu - BTA または金属酸化物などの金属汚染物を基板表面から除去するステップ 601 から開始する。上述のように、Cu - BTA 錯体および金属酸化物は、除去されるべき主要な 2 つの表面金属汚染物である。Cu - BTA および金属酸化物などの金属汚染物を基板表面から除去するために使用されるプロセスは、上述されている。例えば、Cu - BTA、および酸化銅を含む金属酸化物は、例えば水酸化テトラメチルアンモニウム (TMAH) またはエチレンジアミンもしくはジエチレントリアミンなどの錯化アミンを含む洗浄溶液をとともう湿式洗浄プロセスによって除去することができる。Cu - BTA の除去は、(のちのステップにおいて堆積される予定の) コバルト合金のパターン依存性堆積効果を解消し、ゆえに、高密度な隔離特徴内にコバルト合金を均一に堆積させることを可能にする。

【0055】

金属酸化物、より具体的には酸化銅は、クエン酸などの弱い有機酸を使用して除去することができる、あるいはその他の有機酸または無機酸を使用することができる。また、硫黄 - 過酸化物混合などの非常に薄い(すなわち $< 0.1\%$ の) 過酸化物含有酸もまた、使用することができる。湿式洗浄プロセスは、その他の金属残留物または金属酸化物残留物も除去することができる。

【0056】

Cu 表面上およびバリア表面上に残っている BTA を含む有機汚染物は、ステップ 602 において除去される。有機汚染物は、乾式の酸素 (O_2) プラズマプロセス、または H_2O 、オゾン、もしくは過酸化水素蒸気によるプラズマプロセスなどその他の酸化プラズマプロセスなどのプロセスによって除去することができる。上述のように、酸素含有プラズマプロセスは、摂氏 50 度未満、好ましくは摂氏 120 度未満の比較的低温で行われることが好ましい。酸素含有プラズマプロセスは、下流のプラズマプロセスであってよい。あるいは、有機残留物(すなわち汚染物)は、有機汚染物を物理的に除去するための O_2 /

10

20

30

40

50

A rスパッタリングプロセスを使用して除去することもできる。上述のように、O₂プラズマプロセスおよびO₂/A rスパッタリングプロセスは、一般に、1トール未満で動作される。

【0057】

基板表面からCu-BTA、金属酸化物、および有機汚染物などの汚染物がなくなると、基板は、銅表面をさらなる酸化から保護するために、曝露される酸素の量をできる限り少なくすることが望ましい。表面汚染物が除去された後は、図5Bに示されるように、ステップ603において、Ta、Ta₂N₅、Ru、またはこれらの材料の組み合わせなどのバリア層が基板表面から除去される。バリア層は、CF₄プラズマ、O₂/A rスパッタリング、CMPなどのプロセスによって、または湿式化学的エッチングによって除去することができる。CF₄プラズマエッチングプロセスおよびO₂/A rスパッタリングプロセスは、ともに、1トール未満で動作される。

10

【0058】

図5Aの銅表面140に存在している酸化銅およびプラズマ酸化ステップ中に生成された酸化銅は、バリア金属除去ステップ603中に完全に除去されるであろう。したがって、H含有プラズマを使用して銅表面を還元するプロセスは、随意になる。しかしながら、銅表面に酸化銅がないことを保証するために、基板表面は、ステップ605において、あらゆる残留酸化銅を銅に変換するために（随意に）還元することができる。銅表面の還元は、酸化銅を銅に還元するための水素含有プラズマプロセスによって達成することができる。水素含有プラズマプロセスによって使用されるプロセスガスおよびプロセス条件は、ケースIにおいて上述されている。水素還元プロセスを経ると、基板は、コバルト合金堆積の用意が整う。銅表面は、酸化銅が形成されないことを保証するために、酸素から注意深く保護する必要がある。上述のように、コバルト合金の無電解堆積は、酸化銅の存在によって抑制される恐れがある。したがって、処理環境および搬送環境を制御して、酸素への銅表面の曝露を最小限にするまたは排除することが重要である。

20

【0059】

次のプロセスステップ607では、銅表面の上に、CoWP、CoWB、またはCoWB₂Pなどのコバルト合金が無電解堆積される。コバルト合金は、図5Cにおいて、層135として示されている。コバルト合金の無電解堆積は、選択的堆積であり、湿式プロセスである。コバルト合金は、銅表面上にのみ堆積する。

30

【0060】

ケースIについて上述されたように、コバルト合金の無電解堆積後、プロセスフローは、随意的堆積後洗浄プロセスステップ609に入ることができる。堆積後洗浄は、無電解堆積プロセスによって誘電体表面上に導入されたあらゆる金属汚染物を除去するために、ペンシルバニア州アレンタウンのAir Products and Chemical, Inc.によって供給されているCP72Bを含有した溶液などの化学溶液によるブラシスクラブ洗浄を使用して、またはヒドロキシアミンをベースにした化学剤によって実施することができる。その他の基板表面洗浄プロセスもまた、使用することができる。

【0061】

上述のように、環境制御は、特に、銅表面のH含有プラズマ還元後などに、コバルト合金堆積のために銅表面を調整するのに非常に重要である。図6Bは、表面処理後の重要なステップにおける酸素への基板表面の曝露を最小限にすることができる代表的な統合システム650の概略図を示している。統合システム650は、図6Aのフロー600のプロセス手順全体を通して基板を処理するために使用することができる。

40

【0062】

統合システム450と同様に、統合システム650は、3つの基板搬送モジュール660、670、680を有する。搬送モジュール660、670、680は、基板655を1つのプロセス区域から別のプロセス区域へと移動させるためのロボットを装備している。基板搬送モジュール660は、実験室雰囲気下で動作される。モジュール660は、基板655を統合システムに持ち込むためまたは基板をカセット661に戻してシステム6

50

50外での処理を続けるために、基板ローダ（または基板カセット）661と連携して機能する。

【0063】

プロセスフロー600において上述されたように、基板655は、図5Aに示されるように、基板が基板表面から過剰な銅を除去するために銅CMPによって基板が平坦化され、誘電体表面上にバリア層を、そして金属トレンチ内に銅を残留させた後、CoWB、CoWP、またはCoWBPなどのコバルト合金を堆積させるために統合システム650に持ち込まれる。プロセスフロー600のステップ601において説明されたように、基板表面は、Cu-BTA、金属酸化物、および有機残留物などの表面汚染物を除去される必要がある。Cu-BTAおよび金属酸化物は、TMAHを含有した溶液などの洗浄溶液をとともなう湿式洗浄プロセスによって除去することができる。湿式洗浄リアクタ663は、実験室雰囲気搬送モジュール660に統合することができる。湿式洗浄リアクタ663は、プロセスフロー600では実験室雰囲気搬送モジュール660に統合することができるが、このプロセスステップは、金属CMPの直後、基板がコバルト合金堆積のために統合システムに持ち込まれる前に実施することもできる。あるいは、湿式洗浄プロセスは、湿式洗浄ステップの最中および後に制御環境を維持される制御雰囲気プロセス環境内において実施することができる。

10

【0064】

リアクタ683内において実施された湿式洗浄プロセス601によって除去されなかった有機残留物（すなわち汚染物）は、ステップ602において、O₂プラズマなどの乾式プラズマプロセス、またはO₂/Arスパッタリングによって除去することができる。上述のように、プラズマプロセスまたはスパッタリングプロセスの大半は、1トール未満で動作される。したがって、このようなシステムは、圧力が1トール未満などの真空中で動作される搬送モジュールに結合することが望ましい。有機残留物を洗浄するためにO₂プラズマプロセスが選択されると仮定すると、O₂プラズマプロセスリアクタ671は、真空搬送モジュール670に結合される。

20

【0065】

O₂プラズマプロセスは、下流のプラズマプロセスであってよい。O₂プラズマリアクタ671は、プロセスフロー600では真空搬送モジュール670に統合することができるが、このプロセスステップは、金属CMPの直後、基板がコバルト合金堆積のために統合システムに持ち込まれる前に実施することもできる。

30

【0066】

実験室雰囲気搬送モジュール660は大気下で動作され、真空搬送モジュール670は真空中（<1トール）で動作されるので、これらの2つの搬送モジュール間には、2つのモジュール660と670との間で基板655を搬送可能にするために、ロードロック665が配される。

【0067】

O₂プラズマ処理を終えた後、基板655は、ステップ603に示されるように、バリア層エッチングのための処理システムに移動される。乾式のバリアプラズマエッチングプロセスが選択される場合、バリア層エッチングチャンバ（またはモジュール）673は、真空搬送モジュール670に結合することができる。乾式のバリアプラズマプロセスは、CF₄プラズマプロセスまたはO₂/Arスパッタリングプロセスであってよい。

40

【0068】

バリア層のエッチングに続くプロセスは、銅表面上に酸化銅が残らないことを保証するための随意のH含有プラズマ還元である。H₂プラズマ還元は、真空搬送モジュール670に結合されたプラズマチャンバ（またはモジュール）674内において実施することができる。あるいは、水素プラズマ還元は、有機残留物を除去するために使用されたO₂プラズマリアクタ671内において、残留する酸素種をパージした後に引き続き実施することもできる。

【0069】

50

上述のように、コバルト合金の無電解堆積は、湿式の化学的プロセスである。湿式プロセスは、大気圧で行われるのが一般的であるので、無電解堆積リアクタに結合された搬送モジュール 680 は、近大気圧で動作されることが望ましい。酸素を含まないように環境が制御されることを保証するために、不活性ガスを使用して制御雰囲気搬送モジュール 680 を満たすことができる。また、プロセスにおいて使用される全ての流体は、市販の脱ガスシステムによって脱ガスされている、すなわち溶存酸素を除去されている。

【0070】

基板が乾燥条件下で無電解堆積システム 681 に搬入され乾燥条件下で同システム 681 から搬出されること（ドライイン・ドライアウト）を可能にするためには、湿式コバルト合金無電解堆積リアクタにリンスおよび乾燥のシステムを結合する必要がある。上述のように、ドライイン・ドライアウト要件は、無電解堆積システム 681 を制御雰囲気搬送モジュール 680 に統合することを可能にする。システム 681 は、その中で低い（または制限されたまたは制御された）酸素レベルが維持されることを保証するために、不活性ガスを使用して満たされる。

【0071】

システム 681 におけるコバルト合金堆積後、基板 655 は、堆積後洗浄リアクタ 683 に通すことができる。湿式洗浄システム 683 に対する基板 655 のドライイン・ドライアウトを可能にするために、ブラシスクラブシステムに、リンスおよび乾燥のシステムを統合する必要もある。酸素が存在しないことを保証するために、不活性ガスを使用してシステム 683 が満たされる。図 6A において上述されたように、堆積後洗浄は随意であるので、システム 683 は、このシステムが随意であることを示すために破線で示されている。堆積後洗浄ステップは、統合システム 650 によって動作される最終プロセスであるので、基板 655 は、処理後にカセット 661 に戻される必要がある。洗浄システム 683 は、あるいは、実験室雰囲気搬送モジュール 660 に結合することができる。

【0072】

ケースIII：金属CMPが薄い銅層上で停止する

図 7A ~ 7C は、配線処理の諸段階における配線構造の断面を示している。図 7A の基板は、銅の平坦化を終えたところであり、ただし、基板から完全には銅を取り除かれていない。基板表面上には、薄い銅層 132 が残っている。図 8A は、デュアルダマシ金属トレンチ内の銅の上にコバルト合金を無電解堆積させるための表面調整のプロセスフローの一実施形態を示している。図 8A のプロセスフロー 800 で使用される基板は、誘電体層の上のバリア層上方の銅の大半を除去するための銅 CMP 処理を終えたところである。図 7A に示されるように、バリア表面上には、約 100 オングストロームから約 1000 オングストロームまでの範囲内の薄い銅層が残っている。ケースIIIと、ケースIIおよびケースIの両者との違いは、ケースIIIでは、薄い銅層が基板表面全体を覆っており、したがって、銅 CMP 溶液内に曝される異種物質に起因する銅のガルバニック腐食の懸念がないことである。薄い銅層および存在するその他の表面汚染物は、酸素のない環境内で除去されるので、銅酸化の懸念はない。したがって、 H_2 プラズマ還元は不要である。ケースIIおよびケースIIIは、ともに、バリア CMP がなく、したがって、金属 CMP 処理の費用が削減される。このプロセスによって調整された銅表面は、誘電体層上対銅上のコバルト合金の選択比を優れたものにすることができる。

【0073】

プロセスは、有機残留物および無機金属酸化物を含む汚染物を基板表面から除去するステップ 801 から開始する。有機汚染物は、乾式の酸素 (O_2) プラズマプロセス、 H_2O プラズマプロセス、 H_2O_2 プラズマプロセス、またはオゾン蒸気をともなうプラズマのように、酸化プラズマによって除去することができる。上述のように、 O_2 プラズマプロセスは、摂氏 120 度未満の比較的低温で行われることが好ましい。 O_2 プラズマプロセスは、下流のプラズマプロセスであってよい。あるいは、有機残留物（すなわち汚染物）は、有機汚染物を物理的に除去するための O_2 / Ar スパッタリングプロセスを使用して除去することもできる。上述のように、 O_2 プラズマプロセスおよび O_2 / Ar スパッタリン

グプロセスは、一般に、1 トール未満で動作される。

【 0 0 7 4 】

基板表面から汚染物がなくなると、基板は、銅表面を酸化から保護するために、曝露される酸素の量をできる限り少なくすることが望ましい。表面汚染物が除去された後は、ステップ 8 0 3 において、バリア層および誘電体層の上の薄い銅層が除去される。薄い銅層は、 O_2 / A r スパッタリングによって、 O_2 / ヘキサフルオロアセチルアセトン (H F A C) プラズマエッチングによって、硫酸および過酸化水素などの化学剤を使用した湿式化学的エッチングによって、または錯化化学剤を使用することによって除去することができる。 O_2 / A r スパッタリングプロセスおよび O_2 / H F A C プラズマプロセスは、ともに、1 トール未満などの低圧下で動作される。

10

【 0 0 7 5 】

その後、ステップ 8 0 5 において、T a、T a N、または両膜の組み合わせなどのバリア層が基板表面から除去される。薄い銅およびバリアを除去された後の配線構造の断面が、図 7 B に示されている。バリア層は、 CF_4 プラズマ、 O_2 / A r スパッタリング、C M P、または湿式化学的エッチングによって、除去することができる。 CF_4 プラズマエッチングプロセスおよび O_2 / A r スパッタリングプロセスは、ともに、1 トール未満で動作される。

【 0 0 7 6 】

コバルト合金を選択的に堆積させるための銅表面は、制御雰囲気環境内において、誘電体上方から薄い銅層およびバリア層をエッチングすることによって形成されるので、H 含有プラズマを使用して銅表面を還元するプロセスは、ほとんど不要である。しかしながら、銅表面に酸化銅がないことを保証するために、基板表面は、ステップ 8 0 7 において、あらゆる残留酸化銅を銅に変換するために随意に還元することができる。銅表面還元プロセスは、上述されている。水素還元プロセスを経ると、基板は、コバルト合金堆積の用意が整う。銅表面は、酸化銅の形成を阻止するために、注意深く保護する必要がある。次のプロセスステップ 8 0 9 では、銅表面の上に、C o W P、C o W B、または C o W B P などのコバルト合金が無電解堆積される。コバルト合金は、図 7 C において、層 1 3 5 として示されている。コバルト合金の無電解堆積は、選択的堆積であり、湿式プロセスである。コバルト合金は、銅表面上にのみ堆積する。

20

【 0 0 7 7 】

ケース I およびケース II について上述されたように、コバルト合金の無電解堆積後、プロセスフローは、随意的堆積後洗浄プロセスステップ 8 1 1 に入ることができる。堆積後洗浄は、ケース I およびケース II において上述されている。

30

【 0 0 7 8 】

上述のように、環境制御は、特に銅表面の H 含有プラズマ還元後などに、コバルト合金堆積のために銅表面を調整するのに非常に重要である。図 8 B は、表面処理後の重要なステップにおける酸素への基板表面の曝露を最小限にすることができる代表的な統合システム 8 5 0 の概略図を示している。統合システム 8 5 0 は、図 8 A のフロー 8 0 0 のプロセス手順全体を通して基板を処理するために使用することができる。

【 0 0 7 9 】

統合システム 8 5 0 は、3 つの基板搬送モジュール 8 6 0、8 7 0、8 8 0 を有する。搬送モジュール 8 6 0、8 7 0、8 8 0 は、基板 8 5 5 を 1 つのプロセス区域から別のプロセス区域へと移動させるためのロボットを装備している。基板搬送モジュール 8 6 0 は、実験室雰囲気下で動作される。モジュール 8 6 0 は、基板 8 5 5 を統合システムに持ち込むためまたは基板をカセット 8 6 1 に戻してシステム 8 5 0 外での処理を続けるために、基板ローダ (または基板カセット) 8 6 1 と連携して機能する。

40

【 0 0 8 0 】

プロセスフロー 8 0 0 において上述されたように、基板 8 5 5 は、図 7 A に示されるように、基板表面から過剰な銅を除去するために銅 C M P によって基板が平坦化され、誘電体表面の上のバリア層上に薄い銅層を残留させた後、C o W B、C o W P、または C o W

50

B Pなどのコバルト合金を堆積させるために統合システム 8 5 0 に持ち込まれる。プロセスフロー 8 0 0 のステップ 8 0 1 において説明されたように、基板表面は、有機残留物および非銅金属酸化物などの表面汚染物を除去される必要がある。ケース I およびケース II とは対照的に、湿式 Cu - B T A 洗浄を実施する必要性がなくなるので、実験室雰囲気搬送モジュール 8 6 0 を排除して、カセットホルダ 8 6 1 をロードロック 8 6 5 に直接結合させておくことも可能であろう。

【 0 0 8 1 】

有機残留物および金属酸化物を含む表面汚染物は、 O_2 プラズマなどの酸化プラズマプロセスまたは O_2 / A r スパッタリングによって除去することができる。上述のように、プラズマプロセスまたはスパッタリングプロセスの大半は、1 トール未満で動作される。したがって、このようなシステムは、圧力が 1 トール未満などの真空下で動作される搬送モジュールに結合することが望ましい。有機残留物を洗浄するために O_2 プラズマプロセスが選択されると仮定すると、 O_2 プラズマプロセスリアクタ 8 7 1 は、真空搬送モジュール 8 7 0 に結合される。

10

【 0 0 8 2 】

O_2 プラズマプロセスは、下流のプラズマプロセスであってよい。 O_2 プラズマリアクタ 8 7 1 は、プロセスフロー 8 0 0 では真空搬送モジュール 8 7 0 に統合することができるが、このプロセスステップは、金属 C M P の直後、基板がコバルト合金堆積のために統合システムに持ち込まれる前に実施することもできる。

【 0 0 8 3 】

実験室雰囲気搬送モジュール 8 6 0 は大気下で動作され、真空搬送モジュール 8 7 0 は真空下 (< 1 トール) で動作されるので、これらの 2 つの搬送モジュール間には、2 つのモジュール 8 6 0 と 8 7 0 との間で基板 8 5 5 を搬送可能にするために、ロードロック 8 6 5 が配される。

20

【 0 0 8 4 】

O_2 プラズマ処理を終えた後、基板 8 5 5 は、ステップ 8 0 3 に示されるように、銅エッチングのための処理システムに移動される。乾式の銅プラズマエッチングプロセスが選択される場合は、銅エッチングチャンバ (またはモジュール) 8 7 3 は、真空搬送モジュール 8 7 0 に結合される。湿式プロセスが選択される場合は、湿式銅エッチングリアクタをリンス / 乾燥システムと統合して湿式銅エッチングシステム 8 7 3 ' とし、制御雰囲気搬送モジュール 8 8 0 に結合することができる。湿式銅エッチングシステム 8 7 3 ' を制御雰囲気搬送モジュール 8 8 0 と統合することを可能にするためには、システム 8 7 3 ' に対する基板のドライインおよびドライアウトが必要である。一実施形態では、ドライイン・ドライアウトの要件を満足させるために、湿式銅エッチングシステム 8 7 3 ' にリンスおよび乾燥のシステムを組み入れることができる。システム 8 7 3 ' の環境は、酸素がないように制御する必要もある。処理環境内に酸素がないことを保証するために、不活性ガスを使用してシステムを満たすこともできる。

30

【 0 0 8 5 】

ステップ 8 0 5 に示されるように、銅エッチング後にはバリア層エッチングが続く。乾式のバリアプラズマエッチングプロセスが選択される場合は、バリア層エッチングチャンバ 8 7 4 を真空搬送モジュール 8 7 0 に結合することができる。湿式バリアエッチングプロセスが選択される場合は、湿式バリアエッチングリアクタをリンス / 乾燥システムと統合して湿式バリアエッチングシステム 8 7 4 ' とし、制御雰囲気搬送モジュール 8 8 0 に結合することができる。湿式バリアエッチングシステム 8 7 4 ' を制御雰囲気搬送モジュール 8 8 0 と統合することを可能にするためには、システム 8 7 4 ' に対する基板のドライインおよびドライアウトが必要である。システム 8 7 4 ' の環境は、酸素のレベルを低くする (または制限するまたは制御する) ように制御される必要もある。処理環境内の酸素が低レベルであることを保証するために、不活性ガスを使用してシステムを満たすこともできる。

40

【 0 0 8 6 】

50

バリア層エッチングに続くプロセスは、上記のような随意のH含有プラズマ還元である。H₂プラズマ還元は、真空搬送モジュール870に結合されたプラズマチャンバ877内において実施することができる。

【0087】

上述のように、コバルト合金の無電解堆積は、湿式プロセスである。湿式プロセスは、大気圧下で行われるのが一般的であるので、無電解堆積リアクタに結合された搬送モジュール680は、近大気圧で動作されることが望ましい。酸素レベルが低くなるように環境が制御されることを保証するためには、不活性ガスを使用して制御雰囲気搬送モジュール880を満たすことができる。また、プロセスにおいて使用される全ての流体は、市販の脱ガスシステムによって脱ガスされている、すなわち溶存酸素を除去されている。代表的な不活性ガスとして、窒素(N₂)、ヘリウム(He)、ネオン(Ne)、アルゴン(Ar)、クリプトン(Kr)、およびキセノン(Xe)が挙げられる。

【0088】

基板が乾燥条件下で無電解堆積システム881に搬入され乾燥条件下で同システム881から搬出されること(ドライイン・ドライアウト)を可能にするためには、湿式コバルト合金無電解堆積リアクタにリンスおよび乾燥のシステムを結合する必要がある。ドライイン・ドライアウト要件は、無電解堆積システム881を制御雰囲気搬送モジュール880に統合することを可能にする。システム881は、その中に存在する酸素が低レベルであることを保証するために、不活性ガスを使用して満たされる。

【0089】

システム881におけるコバルト合金堆積後、基板855は、堆積後洗浄リアクタに通すことができる。湿式洗浄システム883に対する基板855のドライイン・ドライアウトを可能にするためには、ブラシスクラブシステムにリンスおよび乾燥のシステムを統合する必要もある。酸素が存在しないことを保証するために、不活性ガスを使用してシステム883を満たされる。図8Aにおいて上述されたように、堆積後洗浄は随意であるので、システム883は、このシステムが随意であることを示すために破線で示されている。堆積後洗浄ステップは、統合システム850によって動作される最終プロセスであるので、基板855は、処理後にカセット861に戻される必要がある。洗浄システム883は、あるいは、実験室雰囲気搬送モジュール860に結合することができる。

【0090】

2. 無電解銅堆積のためのバリア表面の設計:

上述のシステム概念は、銅めっきのためにバリア表面を調整するために使用することができる。Ta、Ta_xN、またはRuなどのバリア層は、長期間にわたって空気に曝露されると、Ta_xO_y(酸化タンタル)、TaO_xN_y(窒酸化タンタル)、またはRuO₂(酸化ルテニウム)を形成する恐れがある。基板上への金属層の無電解堆積は、基板の表面特性および組成に大きく依存する。Ta、Ta_xN、またはRuの表面上への銅の無電解めっきは、電解めっきに先立つシード層の形成およびリソグラフィ的に画定されたパターン内へのCu線の選択的堆積の双方にとっての関心事である。懸念の1つは、酸素(O₂)の存在下において形成される原子的に薄い自然金属酸化物の層によって、無電解堆積プロセスが抑制されることである。

【0091】

また、銅膜は、酸化タンタルや、窒酸化タンタル、酸化ルテニウムなどのバリア酸化物層には接着せず、Ta膜や、Ru膜、TaリッチTa_xN膜などの純粋なバリア金属膜またはバリア層リッチ膜には接着する。Taおよび/またはTa_xNのバリア層は、例として使用されるに過ぎない。説明および概念は、Ruの薄い層を被せられたTaまたはTa_xNのようなその他のタイプのバリア金属にも当てはまる。上述のように、乏しい接着は、EM耐性に悪影響を及ぼす恐れがある。また、バリア層表面上への酸化タンタルまたは窒酸化タンタルの形成は、バリア層の抵抗率を増大させる恐れがある。これらの問題ゆえに、統合システムを使用してバリア/銅界面を調整し、バリア層と銅との間に優れた接着を保証することおよびバリア層の抵抗率を小さく保証することが望まれる。

【 0 0 9 2 】

ケースⅠ：金属線の形成

図 9 A は、誘電体エッチングによってパターン形成されフォトリジストを除去された後における金属線構造の代表的な断面を示している。金属線構造は、基板 9 0 0 上にあり、事前の作成によってゲート酸化物 1 2 1、スペーサ 1 0 7、およびコンタクト 1 2 5 をともなうゲート構造 1 0 5 を内部に形成されたシリコン層 1 1 0 を有している。コンタクト 1 2 5 は、一般に、酸化物 1 0 3 内にコンタクトホールをエッチングし次いでそのコンタクトホールにタングステンなどの導電性材料を充填することによって作成される。代替の材料として、銅、アルミニウム、またはその他の導電性材料が挙げられる。バリア層 1 0 2 は、選択的なトレンチエッチングストップとして機能するようにも構成される。バリア層 1 0 2 は、窒化シリコン (S i N) または炭化シリコン (S i C) などの材料で作成することができる。

10

【 0 0 9 3 】

バリア層 1 0 2 の上に、金属線誘電体層 1 0 6 が堆積される。1 0 6 の堆積に使用することができる誘電体材料は、上述されている。誘電体層 1 0 6 の堆積後、基板は、金属トレンチ 1 0 6 を形成するために、パターン形成されエッチングされる。図 9 B は、金属トレンチ 1 1 6 の形成後、金属トレンチ 1 1 6 に裏打ちするために金属バリア層 1 3 0 が堆積されることを示している。図 9 C は、バリア層 1 3 0 が堆積された後、バリア層 1 3 0 の上に銅層 1 3 2 が堆積されることを示している。バリア層 1 3 0 は、窒化タンタル (T a N)、タンタル (T a)、R u、またはこれらの膜の組み合わせで作成することができる。次いで、金属トレンチ 1 1 6 に充填するために、銅膜 1 3 2 が堆積される。一実施形態では、銅膜 1 3 2 は、その下に薄い銅シード層 1 3 1 を含む。

20

【 0 0 9 4 】

プラズマ表面前処理を使用して共形の薄い銅シード層 1 3 1 の堆積のための触媒表面を調整し、銅膜 1 3 2 でトレンチ 1 1 6 を充填した後、基板 9 0 0 は、図 9 D に示されるように、誘電体 1 0 6 の表面の上の銅材料 (すなわち過剰な銅) およびバリア層 (すなわち過剰なバリア) を除去するために、化学的になおかつ機械的に研磨 (C M P) される、または湿式エッチングされる。一実施形態では、薄い銅シード層の厚さは、約 5 オングストロームから約 3 0 0 オングストロームまでの間である。次のステップは、図 9 E に示されるように、コバルト合金などの銅 / S i C 界面接着促進層 1 3 5 を銅表面 1 4 0 に被せるステップである。コバルト合金の例として、無電解プロセスによって銅の上に選択的に堆積させることができる C o W P、C o W B、または C o W B P が挙げられる。接着促進層の厚さは、5 オングストロームなど僅か数オングストロームの単分子層ほどに薄いものから、2 0 0 オングストロームなど厚めの層であることが可能である。

30

【 0 0 9 5 】

図 1 0 A は、トレンチが形成された後に、無電解銅堆積のためにバリア (またはライナ) 層表面を調整するプロセスフロー 1 0 0 0 の一実施形態を示している。しかしながら、バリア (またはライナ) 層は、A L D 堆積リアクタまたは P L D 堆積リアクタなどの非統合型堆積システム内において個別に調整されてもよい。この場合、薄い銅シード層を堆積させるための表面調整は、金属プラグ前洗浄およびバリア堆積のプロセスステップを含まないと考えられる。ステップ 1 0 0 1 では、自然金属酸化物を除去するためにコンタクトプラグの上面 1 2 4 a が洗浄される。金属酸化物は、A r スパッタリングプロセス、または N F ₃、C F ₄、もしくは両者の組み合わせなどのフッ素含有ガスを使用したプラズマプロセス、または湿式化学的エッチングプロセス、または例えば水素含有プラズマを使用した還元プロセスによって除去することができる。ステップ 1 0 0 3 では、バリア層が堆積される。金属線およびビア限界寸法の縮小ゆえに、バリア層は、技術ノード次第では、原子層成長 (A L D) によって堆積させることができる。バリア層 1 3 0 の厚さは、約 2 0 オングストロームから約 2 0 0 オングストロームまでの間である。上述のように、バリア層の酸素への曝露を防ぐことは、銅がバリア層との間の接着に優れた方式でバリア層上に無電解堆積されることを保証するのに重要である。バリア層が堆積されると、基板は、酸

40

50

素への曝露を制限するために、制御雰囲気環境内において搬送または処理されることが望ましい。バリア層は、後続の銅シード堆積ステップのための触媒表面を提供するために、随意的ステップ1005において、Ta、Ta₂N₅、またはRuの層上に金属リッチ表面を形成するための水素プラズマ処理を施される。このステップが必要であるか否かは、表面がどの程度金属リッチであるかに依存する。

【0096】

その後、ステップ1007において、バリア表面上に共形の銅シードが堆積され、そして、ステップ1008において、厚い銅のギャップ充填（またはバルク充填）プロセスが続く。一実施形態では、共形の銅シード層は、無電解プロセスによって堆積させることができる。厚い銅のバルク充填プロセスは、無電解堆積（ELD）プロセスまたは電解めっき（ECP）プロセスであってよい。無電解銅堆積およびECPは、周知の湿式プロセスである。上述のような制御された処理および搬送の環境をとまなうシステムに湿式プロセスを統合させるには、リアクタをリンス/ドライヤに統合し、ドライイン・ドライアウトのプロセス能力を可能にする必要がある。また、システムは、酸素への基板の曝露が最小限であることを保証するために、不活性ガスで満たされる必要がある。近年では、ドライイン・ドライアウトの無電解銅プロセスが開発されている。さらに、プロセスにおいて使用される全ての流体は、市販の脱ガスシステムによって脱ガスされている、すなわち溶存酸素を除去されている。

【0097】

無電解堆積プロセスは、パドルめっきなどの数々の方式で行うことができる。パドルめっきでは、流体が基板上に供給され、静止した状態で反応を進められる。その後、反応剤は、除去され廃棄される、または再生される。別の一実施形態では、プロセスは、プロキシミティプロセスヘッドを使用して、無電解プロセス液を基板表面上の限られた領域に接触する範囲内に収める。プロキシミティプロセスヘッドの下方にない領域の基板表面は、乾燥している。このようなプロセスおよびシステムの詳細は、2003年6月27日に出願され「Apparatus And Method For Depositing And Planarizing Thin Films On Semiconductor Wafers（半導体ウエハの薄膜を堆積させ平坦化するための装置および方法）」と題された米国出願第10/607,611号および2004年6月28日に提出された「Apparatus And Method For Plating Semiconductor Wafers（半導体ウエハにめっきするための装置および方法）」と題された米国出願第10/879,263号に見いだすことができる。これらの両出願は、その全体を本明細書に組み込まれるものとする。前述のコバルト合金の無電解めっきは、同様のプロキシミティプロセスヘッドを使用してドライイン・ドライアウトのプロセスを可能にすることができる。

【0098】

ステップ1007, 1008における銅堆積後、基板は、ステップ1009において、随意的基板洗浄を経ることができる。銅堆積後の洗浄は、ペンシルバニア州アレンタウンのAir Products and Chemical, Inc.によって供給されているCP72Bを含有した溶液などの化学溶液によるブラシスクラブ洗浄を使用して達成することができる。LamのC3（商標）またはP3（商標）による洗浄技術などのその他の基板表面洗浄プロセスもまた、使用することができる。

【0099】

図10Bは、バリア表面調整後における基板表面の酸素への曝露を最小限にすることができる統合システム1050の概略図の一実施形態を示している。また、これは統合システムであるので、基板は、1つのプロセスステーションから直ちに次のプロセスステーションへと搬送され、これは、クリーンな銅表面が低レベルの酸素に曝露される時間を制限する。統合システム1050は、図10Aのフロー1000のプロセス手順全体を通して基板を処理するために使用することができる。

【0100】

上述のように、銅の無電解堆積のための表面調整、および随意的コバルト合金堆積後プロセスは、乾式プロセスと湿式プロセスとの混合をとまなう。湿式プロセスは、一般に、

10

20

30

40

50

近大気で作動され、乾式プラズマプロセスは、1 トール未満で作動される。したがって、統合システムは、乾式プロセスと湿式プロセスとの混合を取り扱える必要がある。統合システム 1050 は、3 つの基板搬送モジュール 1060、1070、1080 を有する。搬送モジュール 1060、1070、1080 は、基板 1055 を 1 つのプロセス区域から別のプロセス区域へと移動させるためのロボットを装備している。プロセス区域は、基板カセット、リアクタ、またはロードロックであってよい。基板搬送モジュール 1060 は、実験室雰囲気下で作動される。モジュール 1060 は、基板 1555 を統合システムに持ち込むためまたは基板をカセット 1061 の 1 つに戻すために、基板ローダ（または基板カセット）1061 と連携して機能する。

【0101】

プロセスフロー 1000 において上述されたように、基板 1055 は、バリア層および銅層を堆積させるために、統合システム 1050 に持ち込まれる。プロセスフロー 1000 のステップ 1001 において説明されたように、自然酸化タングステンを除去するために、コンタクト 125 のタングステン上面 124a がエッチングされる。酸化タングステンが除去されると、露出された図 9A のタングステン表面 124a は、酸素に曝露されないように保護される必要がある。もし、除去プロセスが Ar スパッタリングプロセスであるならば、リアクタ 1071 は、真空搬送モジュール 1070 に結合される。もし、湿式の化学的エッチングプロセスが選択されるならば、リアクタは、タングステン表面の酸素への曝露を制限するために、実験室雰囲気搬送モジュール 1060 ではなく、制御雰囲気搬送モジュール 1080 に結合されることが望ましい。

【0102】

その後、基板は、図 10A のステップ 1003 において説明されたように、Ta、Ta₂N₅、Ru、またはこれらの膜の組み合わせなどの金属バリア層を堆積される。図 9B のバリア層 130 は、ALD プロセスまたは PVD プロセスによって堆積させることができる。一実施形態において、ALD プロセスは、1 トール未満で作動される。ALD リアクタ 1073 は、真空搬送モジュール 1070 に結合される。別の一実施形態では、堆積プロセスは、金属バリアを形成するために超臨界 CO₂ および有機金属前駆体を使用する高圧プロセスである。さらに別の一実施形態では、堆積プロセスは、1 トール未満の圧力で動作する物理気相成長（PVD）プロセスである。超臨界 CO₂ を使用した高圧プロセスのための代表的リアクタの詳細が、2003 年 2 月 3 日に出版された「Method and Apparatus For Semiconductor Wafer Cleaning Using High-Frequency Acoustic Energy with Supercritical Fluid（超臨界流体とともに高周波音響エネルギーを使用した半導体ウエハ洗浄のための方法および装置）」と題された同一出願人による出願第 10/357,664 号に記載されている。この出願は、参照のために本明細書に組み込まれるものとする。

【0103】

基板は、図 10A のステップ 1005 において説明されたように、例えば水素含有プラズマを使用した随意的還元プロセスを経ることができる。水素還元リアクタ 1074 は、真空搬送モジュール 1070 に結合することができる。この段階で、基板は、無電解銅堆積の用意が整う。無電解銅めっきは、無電解銅めっきリアクタ 1081 内において共形のシード層を堆積させて実施することができる。シード層の堆積に続いて、共形シード層の堆積に使用されたのと同じ無電解銅堆積リアクタ 1081 内において、ただし、バルク充填を達成するための異なる化学物質を使用して、銅のバルク充填を実施することができる。あるいは、銅のバルク充填は、別個の ECP リアクタ 1081' 内において実施することができる。

【0104】

統合システム 1050 を後にする前に、基板は、先の銅堆積プロセスからの残留物を洗浄することができる表面洗浄プロセスを随意的に経ることができる。例えば、基板洗浄プロセスは、ブラシ洗浄プロセスであってよい。基板洗浄リアクタ 1083 は、制御雰囲気搬送モジュール 1080 に統合することができる。あるいは、基板洗浄リアクタ 1083 は、実験室雰囲気搬送モジュール 1060 に統合することもできる。

【 0 1 0 5 】

あるいは、図 9 B のバリア層 1 3 0 は、基板 9 0 0 が表面処理および銅堆積のためにシステムに持ち込まれる前に、プロセスチャンバ内において堆積させることができる。図 1 0 C は、無電解銅堆積のためにバリア（またはライナ）層表面を調整するプロセスフロー 1 0 9 0 の一実施形態を示している。バリア表面は、後続の銅シード堆積ステップのための触媒表面を提供するために、随意的ステップ 1 0 9 5 において、T a、T a N、または R u の層上に金属リッチ表面を形成するために水素プラズマ処理を施される。このステップが必要であるか否かは、表面がどの程度金属リッチであるかに依存する。

【 0 1 0 6 】

その後、ステップ 1 0 9 7 において、バリア表面上に共形の銅シードが堆積され、そして、ステップ 1 0 9 8 において、厚い銅のギャップ充填（またはバルク充填）プロセスが続く。一実施形態では、共形の銅シード層は、無電解プロセスによって堆積させることができる。厚い銅のバルク充填プロセスは、無電解堆積（E L D）プロセスまたは電解めっき（E C P）プロセスであってよい。ステップ 1 0 9 7、1 0 9 8 における銅堆積後、基板は、ステップ 1 0 9 9 において、随意的基板洗浄を経ることができる。銅堆積後の洗浄は、ペンシルバニア州アレタウンの Air Products and Chemical, Inc. によって供給されている CP72B を含有した溶液などの化学溶液によるブラシスクラブ洗浄を使用して達成することができる。Lam の C3（商標）または P3（商標）による洗浄技術などのその他の基板表面洗浄プロセスもまた、使用することができる。

【 0 1 0 7 】

図 1 0 D は、バリア表面調整後の重要なステップにおける酸素への基板表面の曝露を最小限にすることができる統合システム 1 0 9 2 の概略図の一実施形態を示している。また、これは統合システムであるので、基板は、1 つのプロセスステーションから直ちに次のプロセスステーションへと搬送され、これは、クリーンな銅表面が低レベルの酸素に曝露される時間を制限する。統合システム 1 0 9 2 は、図 1 0 C のフロー 1 0 9 0 のプロセス手順全体を通して基板を処理するために使用することができる。

【 0 1 0 8 】

上述のように、銅の無電解堆積のための表面調整、および随意的コバルト合金堆積後プロセスは、乾式プロセスと湿式プロセスとの混合をとまなう。湿式プロセスは、一般に、近大気で作動され、乾式プラズマプロセスは、1 トール未満で作動される。したがって、統合システムは、乾式プロセスと湿式プロセスとの混合を取り扱える必要がある。統合システム 1 0 9 2 は、3 つの基板搬送モジュール 1 0 6 0、1 0 7 0、1 0 8 0 を有する。搬送モジュール 1 0 6 0、1 0 7 0、1 0 8 0 は、基板 1 0 5 5 を 1 つのプロセス区域から別のプロセス区域へと移動させるためのロボットを装備している。プロセス区域は、基板カセット、リアクタ、またはロードロックであってよい。基板搬送モジュール 1 0 6 0 は、実験室雰囲気下で作動される。モジュール 1 0 6 0 は、基板 1 5 5 5 を統合システムに持ち込むためまたは基板をカセット 1 0 6 1 の 1 つに戻すために、基板ロード（または基板カセット）1 0 6 1 と連携して機能する。

【 0 1 0 9 】

プロセスフロー 1 0 9 0 において上述されたように、基板 1 0 5 5 は、バリア層の堆積後、無電解銅堆積のためにバリア表面を調整するために統合システム 1 0 9 2 に持ち込まれる。基板は、図 1 0 C のステップ 1 0 9 5 において説明されたように、例えば水素含有プラズマを使用した還元プロセスを先ず経る。水素還元リアクタ 1 0 7 4 は、真空搬送モジュール 1 0 7 0 に結合することができる。この段階で、基板は、無電解銅堆積の用意が整う。無電解銅めっきは、無電解銅めっきリアクタ 1 0 8 1 内において共形のシード層を堆積させて実施することができる。シード層の堆積に続いて、共形シード層の堆積に使用されたのと同じ無電解銅堆積リアクタ 1 0 8 1 内において、ただし、バルク充填を達成するための異なる化学物質を使用して、銅のバルク充填を実施することができる。あるいは、銅のバルク充填は、別個の E C P リアクタ 1 0 8 1 ' 内において実施することができる。

【0110】

統合システム1092を後にする前に、基板は、先の銅堆積プロセスからの残留物を洗浄することができる表面洗浄プロセスを随意に経ることができる。例えば、基板洗浄プロセスは、ブラシ洗浄プロセスであってよい。基板洗浄リアクタ1083は、制御雰囲気搬送モジュール1080に統合することができる。あるいは、基板洗浄リアクタ1083は、実験室雰囲気搬送モジュール1060に統合することもできる。

【0111】

図11Aは、無電解銅堆積のためにバリア（またはライナ）層表面を調整するとともに無電解コバルト合金堆積のためにCMP後の銅表面を調整するプロセスフローの一実施形態を示している。ステップ1101では、自然酸化タングステンを除去するためにコンタクトプラグの上面124aが洗浄される。金属酸化物は、Arスパッタリングプロセス、プラズマ還元プロセス、反応性イオンエッチングプロセス、または湿式化学的エッチングプロセスによって除去することができる。ステップ1103では、バリア層が堆積される。バリア層は、後続の銅シード堆積ステップのための触媒表面を提供するために、随意的なステップ1005において、Ta、Ta₂N₅、またはRuの層上に金属リッチ表面を形成するために水素プラズマ処理を施される。このステップが必要であるか否かは、表面がどの程度金属リッチであるかに依存する。

10

【0112】

しかしながら、バリア（またはライナ）層は、ALD堆積リアクタまたはPLD堆積リアクタなどの非統合型堆積システム内において個別に調整されてもよい。この場合、薄い銅シード層を堆積させるための表面調整は、図10Aのステップ1001、1003および図11Aのステップ1101、1103において説明されたような金属プラグ前洗浄およびバリア堆積のプロセスステップを含まないと考えられる。これらのケースでは、説明されたプロセスは、ステップ1005または1105から始まる。

20

【0113】

その後、ステップ1107において、バリア表面上に共形の銅シードが堆積され、そして、ステップ1108において、厚い銅のギャップ充填（またはバルク充填）プロセスが続く。一実施形態では、共形の銅シード層は、無電解プロセスによって堆積させることができる。厚い銅のバルク充填プロセスは、無電解堆積プロセス（ELD）または電解めっき（ECP）プロセスであってよい。無電解銅堆積およびECPは、周知の湿式プロセスである。上述のような制御された処理および搬送の環境をとまなうシステムに湿式プロセスを統合させるには、リアクタをリンス/ドライヤに統合し、ドライイン・ドライアウトのプロセス能力を可能にする必要がある。また、システムは、酸素への基板の曝露が最小限であることを保証するために、不活性ガスで満たされる必要がある。近年では、ドライイン・ドライアウトの無電解銅プロセスが開発されている。さらに、プロセスにおいて使用される全ての流体は、市販の脱ガスシステムによって脱ガスされている、すなわち溶存酸素を除去されている。

30

【0114】

ステップ1107において、基板に共形の銅シードが堆積され、ステップ1108において、無電解プロセスまたは電解めっきプロセスのいずれかによって厚いCuのギャップ充填（バルク充填）がなされた後、図9Dに示されるように、ステップ1109において、誘電体106の上のバリア層130上方の基板表面から銅層132が除去される。バリア層は、その後、除去される。これらの除去プロセスは、ともに、図11Aのプロセスステップ1109において実施される。バリア層上方の表面からの銅の除去は、湿式プロセスであるCMPによって達成することができる。バリア層は、CF₄プラズマなどの反応性イオンエッチング、O₂/Arスパッタリング、CMP、または湿式化学的エッチングによって除去することができる。これらのバリアエッチングプロセスについては、前述されている。

40

【0115】

バリア層の除去後は、基板表面から汚染物を除去するために、Cu-BTA錯体および

50

金属酸化物を除去するための洗浄プロセス（ステップ 1 1 1 0）と、有機汚染物を除去するプロセス（ステップ 1 1 1 1）とが実施される。金属 C M P 後にこれらの 2 つのステップを使用して基板表面を洗浄する詳細については、上述されている。

【 0 1 1 6 】

基板表面から表面汚染物が除去された後、基板は、ステップ 1 1 1 2 において、残留する全ての金属酸化物を金属に還元するために還元プラズマ（水素含有プラズマ）による処理を施される。水素還元後、銅表面は、非常にクリーンでなおかつ触媒性であり、コバルト合金の無電解堆積の用意が整う。ステップ 1 1 1 3 において、基板は、コバルト合金の無電解堆積と、基板のリンスおよび乾燥とを経る。最終プロセスステップ 1 1 1 5 は、先の無電解コバルト合金堆積からのあらゆる残留汚染物を洗浄するための随意的基板洗浄ステップである。

10

【 0 1 1 7 】

図 1 1 B は、バリア表面および銅表面の調整後の重要なステップにおける酸素への基板表面の曝露を最小限にすることができる統合システム 1 1 5 0 の概略図の一実施形態を示している。また、これは統合システムであるので、基板は、1 つのプロセスステーションから直ちに次のプロセスステーションへと搬送され、これは、クリーンな銅表面が低レベルの酸素に曝露される時間を制限する。統合システム 1 1 5 0 は、図 1 1 A のフロー 1 1 0 0 のプロセス手順全体を通して基板を処理するために使用することができる。

【 0 1 1 8 】

統合システム 1 1 5 0 は、3 つの基板搬送モジュール 1 1 6 0 , 1 1 7 0 , 1 1 8 0 を有する。搬送モジュール 1 1 6 0 , 1 1 7 0 , 1 1 8 0 は、基板 1 1 5 5 を 1 つのプロセス区域から別のプロセス区域へと移動させるためのロボットを装備している。プロセス区域は、基板カセット、リアクタ、またはロードロックであってよい。基板搬送モジュール 1 1 6 0 は、実験室雰囲気下で動作される。モジュール 1 1 6 0 は、基板 1 1 5 5 を統合システムに持ち込むためまたは基板をカセット 1 1 6 1 の 1 つに戻すために、基板ローダ（または基板カセット）1 1 6 1 と連携して機能する。

20

【 0 1 1 9 】

図 1 1 A のプロセスフロー 1 1 0 0 において上述されたように、基板 1 1 5 5 は、バリア層を堆積させるため、銅層堆積のためにバリア表面を調整するため、そして無電解コバルト合金堆積のために C M P 後の銅表面を調整するために、統合システム 1 1 5 0 に持ち込まれる。プロセスフロー 1 1 0 0 のステップ 1 1 0 1 において説明されたように、自然金属酸化物を除去するために、コンタクト 1 2 5 の金属プラグ上面 1 2 4 a がエッチングされる。あるいは、金属プラグ表面の酸化物は、水素含有プラズマなどの還元プラズマを使用して除去することができる。金属プラグ表面の酸化物が除去されると、露出された図 9 A の金属表面 1 2 4 a は、酸素に曝露されないように保護される必要がある。もし、除去プロセスが A r スパッタリングプロセスであるならば、A r スパッタリングリアクタ 1 1 7 1 は、真空搬送モジュール 1 1 7 0 に結合される。もし、湿式の化学的エッチングプロセスが選択されるならば、リアクタは、クリーンな金属プラグ表面の酸素への曝露を制限するために、実験室雰囲気搬送モジュール 1 1 6 0 ではなく、制御雰囲気搬送モジュール 1 1 8 0 に結合されることが望ましい。

30

40

【 0 1 2 0 】

その後、基板は、図 1 1 A のステップ 1 1 0 3 において説明されたように、T a、R u、T a N、またはこれらの膜の組み合わせなどの金属バリア層を堆積される。図 9 B のバリア層 1 3 0 は、A L D プロセスまたは P V D プロセスによって堆積させることができる。一実施形態では、A L D プロセスは、1 トール未満で動作される。A L D リアクタ 1 1 7 3 は、真空搬送モジュール 1 1 7 0 に結合される。別の一実施形態では、堆積プロセスは、金属バリアを形成するために超臨界 C O₂ および有機金属前駆体を使用する高圧プロセスである。さらに別の一実施形態では、堆積プロセスは、1 トール未満の圧力で動作される物理気相成長（P V D）プロセスである。基板は、図 1 1 A のステップ 1 1 0 5 において説明されたように、例えば水素含有プラズマを使用した随意的還元プロセスを経るこ

50

とができる。水素還元リアクタ 1 1 7 4 は、真空搬送モジュール 1 1 7 0 に結合することができる。この段階で、基板は、無電解銅堆積の用意が整う。無電解銅めっきは、無電解銅めっきリアクタ 1 1 8 1 内において共形のシード層を堆積させて実施することができる。シード層の堆積に続いて、共形シード層の堆積に使用されたのと同じ無電解銅堆積リアクタ 1 1 8 1 内において、ただし、バルク充填を達成するための異なる化学物質を使用して、銅のバルク充填を実施することができる。あるいは、銅のバルク充填は、別個の E C P リアクタ 1 1 8 1 ' 内において実施することができる。

【 0 1 2 1 】

その後、基板は、図 1 1 A のステップ 1 1 0 9 において説明されたように、過剰な銅および過剰なバリアを除去される。過剰な銅および過剰なバリアの除去は、1 つの C M P システム 1 1 8 3 内において実現されてもよいし、あるいは 2 つの C M P システム内において実現されてもよい。図 1 1 A に示された実施形態では、1 つの C M P システム 1 1 8 3 のみが使用される。過剰な銅および過剰なバリアの C M P 除去後、基板表面は、表面汚染物を除去するために洗浄される必要がある。銅 B T A 錯体および金属酸化物を除去するために、湿式洗浄システム 1 1 8 5 が使用される。有機汚染物を除去するために、O₂ プラズマシステム 1 1 7 7 が使用される。一実施形態では、有機汚染物を除去するための O₂ プラズマプロセスは、水素還元チャンバ 1 1 7 4 内において実施することができる。

【 0 1 2 2 】

汚染物の除去後、基板は、図 1 1 A のステップ 1 1 1 2 において説明されたように、還元プロセスを経る。水素還元プロセスは、バリア表面を還元して T a リッチにするために使用されたのと同じ還元リアクタ 1 1 7 4 内において生じることができる。水素還元処理に続き、銅表面は、無電解コバルト合金堆積の用意が整い、これは、リアクタ 1 1 8 7 内において実施することができる。

【 0 1 2 3 】

統合システム 1 1 5 0 を後にする前に、基板は、先の銅めっきプロセスからの残留物を洗浄することができる表面洗浄プロセスを随意に経ることができる。基板洗浄プロセスは、ブラシ洗浄プロセスであってよく、そのリアクタ 1 1 6 3 は、実験室雰囲気搬送モジュール 1 1 6 0 に統合することもできる。

【 0 1 2 4 】

制御雰囲気搬送モジュール 1 1 8 0 に結合される、図 1 5 B において説明された湿式処理システムは、いずれも、システム統合を可能にするためにドライイン・ドライアウトの要件を満足する必要がある。

【 0 1 2 5 】

ケース II : デュアルダマシンプ線手順

図 1 2 A は、デュアルダマシンプ線プロセスによってパターン形成された後における配線構造の代表的断面を示している。配線構造は、基板 1 2 0 0 上にあり、事前の作成によってメタライゼーション線 1 0 1 を内部に形成された酸化物層 1 0 0 を有している。メタライゼーション線は、一般に、酸化物 1 0 0 内にトレンチをエッチングし次いでそのトレンチに銅などの導電材料を充填することによって作成される。

【 0 1 2 6 】

トレンチ内には、銅材料 1 2 2 が酸化物 1 0 0 内に拡散するのを阻止するために使用されるバリア層 1 2 0 がある。バリア層 1 2 0 は、窒化タンタル (T a N)、タンタル (T a)、ルテニウム (R u)、またはこれらの膜の組み合わせで作成することができる。その他のバリア層材料もまた、使用することができる。ビアエッチングプロセス中のエッチングストップを提供するため、そして銅のための誘電体層間の拡散バリアとして機能するために、銅材料 1 2 2 の上にバリア層 1 0 2 が堆積される。バリア層 1 0 2 は、窒化シリコン (S i N)、または炭化シリコン (S i C)、またはデュアルダマシンプ線プロセスフローへの組み入れに適したその他の材料などの材料で作成することができる。

【 0 1 2 7 】

バリア層 1 0 2 の上に、ビア誘電体層 1 0 4 が堆積される。ビア誘電体層 1 0 4 は、二

10

20

30

40

50

酸化シリコンなどの無機誘電体材料、または好ましくはlow-K誘電体材料で作成することができる。代表的な誘電体として、非ドーパードTEOS二酸化シリコン、フッ素化シリカガラス(FSG)、ポーラスOSGが挙げられ、市販の誘電体材料には、Black Diamond (I)およびBlack Diamond (II)、Coral、Auroraなどがある。ビア誘電体層104の堆積後は、ビアホール114を形成するために、パターン形成およびエッチングのプロセスが使用される。銅表面122aは、SiCまたは Si_3N_4 などの誘電体バリア層によって保護される。図12Aは、ビアホール114およびトレンチ116の形成後におけるデュアルダマシン構造を示している。ビアホール114の下誘電体バリア層102は、除去されている。

【0128】

図12Bは、ビアホール114およびトレンチ116の形成後、ビアホール114およびトレンチ116に裏打ちするために第1のバリア層130_I、第2のバリア層130_{II}、および銅層132が堆積されたことを示している。バリア層130_I、130_{II}は、ともに、窒化タンタル(TaN)、タンタル(Ta)、またはルテニウム(Ru)で作成することができる。その他のバリア層材料もまた、使用することができる。一実施形態において、第1のバリア層130_Iは、ALDによって堆積された薄いTa_N層であり、第2のバリア層130_{II}は、フラッシュPVDによって堆積された非常に薄いTa層またはALDもしくはPVDによって堆積されたRu層である。一実施形態において、第1のバリア層130_Iの厚さは、約10オングストロームから約150オングストロームまでの間であり、第2のバリア層130_{II}の厚さ、約10オングストロームから約50オングストロームまでの間である。ALDによる薄いTa_N層は、ビア114'およびトレンチ116の上に、バリア層による共形のカバレッジを提供する。PVDによる薄いTa層またはRu層は、バリア層130_I、130_{II}の上に堆積される予定の銅膜132に対して優れた接着を提供する。一般に、PVDプロセスによって堆積されたバリア層は、優れたステップカバレッジを有さない(すなわち膜が共形でない)。したがって、ビアおよびトレンチの内側においてバリアによる優れたカバレッジを保証するためには、ALDバリアが必要である。別の一実施形態では、第1のバリア層130_Iと第2のバリア層130_{II}とが1枚の層に組み合わせられ、これは、ALDまたはPVDによって堆積することができる。この単層バリアの材料は、タンタル、窒化タンタル、ルテニウム、またはこれらの膜の組み合わせであってよい。

【0129】

第1および第2のバリア層130_I、130_{II}の堆積後、基板は、バリア表面がTaリッチであることを保証するために、前述された必須の表面処理ステップを経る。次いで、PVDシード131または無電解シード131のいずれかを使用して銅膜132が堆積され、続いて、ビアホール114およびトレンチ116を充填するために厚いギャップ充填銅層が堆積される。

【0130】

銅膜132がビアホール114およびトレンチ116を充填した後、基板1200は、図12Cに示されるように、誘電体106の表面の上の銅材料(すなわち過剰な銅)およびバリア層(すなわち過剰なバリア)を除去するために平坦化される。基板は、次いで、基板表面がクリーンであることおよび銅表面から酸化銅が除去されたことを保証するために、前述された必須の表面処理ステップを経る。次のステップは、図16Dに示されるように、コバルト合金などの銅/SiC界面接着促進層135を銅表面140に被せるステップである。コバルト合金の例として、無電解プロセスによって銅の上に選択的に堆積させることができるCoWP、CoWB、またはCoWBPが挙げられる。接着促進層の厚さは、僅か数オングストロームの単分子層ほどに薄いものから、200オングストロームなど厚めの層であることが可能である。

【0131】

図13Aは、無電解銅堆積のためにバリア(ライナ)層の表面を調整するとともに無電解コバルト合金堆積のためにCMP後の銅表面を調整するプロセスフローの一実施形態を示

10

20

30

40

50

している。ステップ 1 3 0 1 において、自然酸化銅を除去するために、金属線 1 0 1 の上面 1 2 2 a が洗浄される。酸化銅は、A r スパッタリングプロセスまたは湿式化学的エッチングプロセスのいずれかによって除去することができる。ステップ 1 3 0 2 では、A L D システム内において第 1 のバリア層 (図 1 2 B の 1 3 0 ₁) が堆積される。ステップ 1 3 0 3 では、P V D システム内において第 2 のバリア層 (図 1 2 B の 1 3 0 ₁₁) が堆積される。上述のように、酸素へのバリア層の曝露を防ぐことは、銅とバリア層との間の接着に優れた方式で銅がバリア層上に無電解堆積されることを保証するのに重要である。バリア層が堆積されると、基板は、酸素への曝露を制限するために、制御雰囲気環境内において搬送または処理されることが望ましい。バリア層は、後続の銅シード堆積ステップのための触媒表面を提供する金属リッチ層を形成するために、ステップ 1 3 0 5 において還元プラズマ (すなわち水素含有プラズマ) による処理を施される。還元プラズマ処理は、表面の組成に応じて随意である。

10

【 0 1 3 2 】

その後、ステップ 1 3 0 7 において、バリア表面上に共形の銅シードが堆積され、そして、ステップ 1 3 0 8 において、厚い銅のバルク充填 (またはキャップ充填) プロセスが続く。共形の銅シード層は、無電解プロセスによって堆積させることができる。厚い銅のバルク充填 (ギャップ充填でもある) 層は、E C P プロセスによって堆積させることができる。あるいは、厚いバルク充填 (ギャップ充填でもある) 層は、共形シード層用のものと同じ無電解システム内において、無電解プロセスによって、ただし異なる化学物質を使用して、堆積させることができる。

20

【 0 1 3 3 】

ステップ 1 3 0 7 において、基板に共形の銅シードが堆積され、ステップ 1 3 0 8 において、無電解プロセスまたは電解めっきプロセスのいずれかによって厚い C u のバルク充填がなされた後、図 1 2 C に示されるように、ステップ 1 3 0 9 において、誘電体 1 0 6 の上のバリア層 1 3 0 の上方の基板表面から銅層 1 3 2 が除去される。バリア層は、その後、除去される。これらの除去プロセスは、ともに、図 1 3 A のプロセスステップ 1 3 0 9 において実施される。バリア層の上方の表面からの銅の除去は、湿式プロセスである C M P によって達成することができる。バリア層は、C F ₄ プラズマ、O ₂ / A r スパッタリング、C M P、または湿式化学的エッチングによって除去することができる。これらのバリアエッチングプロセスについては、前述されている。

30

【 0 1 3 4 】

バリア層の除去後は、基板表面から汚染物を除去するために、C u - B T A 錯体および金属酸化物を除去するための洗浄プロセス (ステップ 1 3 1 0) と、有機汚染物を除去するプロセス (ステップ 1 3 1 1) とが実施される。金属 C M P 後にこれらの 2 つのステップを使用して基板表面を洗浄する詳細については、上述されている。

【 0 1 3 5 】

基板表面から表面汚染物が除去された後、基板は、ステップ 1 3 1 2 において、残留する全ての金属酸化物を金属に還元するために、例えば水素含有プラズマなどの還元プラズマによる処理を施される。水素還元後、銅表面は、非常にクリーンでなおかつ触媒性であり、コバルト合金の無電解堆積の用意が整う。ステップ 1 3 1 3 において、基板は、コバルト合金の無電解堆積と、基板のリンスおよび乾燥とを経る。最終プロセスステップ 1 3 1 5 は、先の無電解コバルト合金堆積からのあらゆる残留汚染物を洗浄するための随意的な基板洗浄ステップである。

40

【 0 1 3 6 】

図 1 3 B は、バリア表面および銅表面の調整後の重要なステップにおける酸素への基板表面の曝露を最小限にすることができる統合システム 1 3 5 0 の概略図の一実施形態を示している。また、これは統合システムであるので、基板は、1 つのプロセスステーションから直ちに次のプロセスステーションへと搬送され、これは、クリーンな銅表面が低レベルの酸素に曝露される時間を制限する。統合システム 1 3 5 0 は、図 1 3 A のフロー 1 3 0 0 のプロセス手順全体を通して基板を処理するために使用することができる。

50

【0137】

統合システム1350は、3つの基板搬送モジュール1360、1370、1380を有する。搬送モジュール1360、1370、1380は、基板1355を1つのプロセス区域から別のプロセス区域へと移動させるためのロボットを装備している。プロセス区域は、基板カセット、リアクタ、またはロードロックであってよい。基板搬送モジュール1360は、実験室雰囲気下で動作される。モジュール1360は、基板1355を統合システムに持ち込むためまたは基板をカセット1361の1つに戻すために、基板ローダ（または基板カセット）1361と連携して機能する。

【0138】

図11Aのプロセスフロー1300において上述されたように、基板1355は、バリア層を堆積させるため、銅層堆積のためにバリア表面を調整するため、そして無電解コバルト合金堆積のためにCMP後の銅表面を調整するために、統合システム1350に持ち込まれる。プロセスフロー1300のステップ1301において説明されたように、自然酸化銅を除去するために、金属線101の銅上面122aがエッチングされる。酸化銅が除去されると、露出された図12Aのタングステン表面122aは、酸素に曝露されないように保護される必要がある。もし、除去プロセスがArsパッタリングプロセスであるならば、Arsパッタリングリアクタ1371は、真空搬送モジュール1370に結合される。もし、湿式の化学的エッチングプロセスが選択されるならば、リアクタは、クリーンなタングステン表面の酸素への曝露を制限するために、実験室雰囲気搬送モジュール1360ではなく、制御雰囲気搬送モジュール1380に結合されることが望ましい。

【0139】

その後、基板は、第1および第2のバリア層を堆積される。図12Bの第1のバリア層130_Iは、乾式プロセスであるとともに1ツール未満で動作されるALDプロセスによって堆積される。ALDリアクタ1372は、真空搬送モジュール1370に結合される。図12Bの第2のバリア層130_{II}は、乾式プロセスであるとともに1ツール未満で動作されるPVDプロセスまたはALDプロセスによって堆積される。PVDリアクタ1373は、真空搬送モジュール1370に結合される。基板は、バリア層表面が無電解銅堆積のために金属リッチになることを保証するために、随意の水素還元プロセスを経ることができる。水素還元リアクタ1374は、真空搬送モジュール1370に結合することができる。この段階で、基板は、無電解銅堆積の用意が整う。無電解銅めっきは、図13Aのステップ1307において説明されたように、無電解銅めっきリアクタ1381内において共形のシード層を堆積させて実施することができる。上述のように、図13Aのステップ1308におけるギャップ充填銅層の堆積は、同じ無電解めっきリアクタ1381内において異なる化学物質を使用して、または別個のECPリアクタ1381'内において実施することができる。

【0140】

その後、基板は、図13Aのステップ1309において説明されたように、過剰な銅および過剰なバリアを除去される。過剰な銅および過剰なバリアの除去は、1つのCMPシステム1383内において実現されてもよいし、あるいは2つのCMPシステム内において実現されてもよい。図13Aに示された実施形態では、1つのCMPシステム1383のみが使用される。過剰な銅および過剰なバリアのCMP除去後、基板表面は、表面汚染物を除去するために洗浄される必要がある。銅BTA錯体および金属酸化物を除去するために、湿式洗浄システム1385が使用される。有機汚染物を除去するために、O₂プラズマシステム1377が使用される。一実施形態では、有機汚染物を除去するためのO₂プラズマプロセスは、水素還元チャンバ1374内において実施することができる。

【0141】

汚染物の除去後、基板は、図13Aのステップ1312において説明されたように、還元プロセスを経る。水素還元プロセスは、酸化銅を銅に還元するために使用され、バリア表面を還元してTaリッチにするために使用されたのと同じ還元リアクタ1374内において生じることができる。水素還元処理に続き、銅表面は、無電解コバルト合金堆積の用

10

20

30

40

50

意が整う。これは、リアクタ 1 3 8 7 内において実施することができる。

【 0 1 4 2 】

統合システム 1 3 5 0 を後にする前に、基板は、先の銅めっきプロセスからの残留物を洗浄することができる表面洗浄プロセスを随意に経ることができる。基板洗浄プロセスは、ブラシ洗浄プロセスであってよく、そのリアクタ 1 1 6 3 は、実験室雰囲気搬送モジュール 1 3 6 0 に統合することもできる。

【 0 1 4 3 】

制御雰囲気搬送モジュール 1 3 8 0 に結合される、図 1 3 B において説明された湿式処理システムは、いずれも、システム統合を可能にするためにドライイン・ドライアウトの要件を満足する必要がある。

10

【 0 1 4 4 】

上述された装置および方法（またはプロセス）は、金属 - 金属接着および E M 耐性を向上させるために後続の金属堆積のために金属表面を調整することに適用される。発明の概念は、また、後続の選択的金属層堆積のためにシリコン表面を調整することにも適用される。

【 0 1 4 5 】

3 . 金属シリサイドを形成するための選択的無電解金属堆積のためにシリコン表面の設計 :

これまで説明されてきたプロセスは、コンタクト、ビア、および金属線などの銅配線について、それらの E M 耐性、金属抵抗率、ひいては歩留まりを向上させるために使用されている。I C 製作手順の早い段階では、デバイスの、ソース/ドレイン/ゲート、レジスタ、構造のコンタクト着地領域（レジスタのコンタクト着地領域など）、ゲート領域、コンデンサ領域、またはインダクタ領域に金属シリサイドを形成し、コンタクト抵抗を低減させるとともに優れたオーミックコンタクトを提供するために、シリコン表面上またはポリシリコン表面上に別の金属堆積が適用される。図 1 4 A は、シリコン構造 1 1 0 上に薄いゲート酸化物 1 2 1、ポリシリコン層 1 0 5、および窒化物スペーサ 1 0 7 を含むゲート構造 1 2 7 の断面である。アクティブデバイス間を隔てるために、シャロートレンチ分離（S T I）6 5 が使用される。ゲート構造の両側は、ソースエリア 6 1 およびドレインエリア 6 3 である。ソースエリア 6 1 上には、露出シリコン表面 6 2 がある。ドレインエリア 6 3 上には、露出シリコン表面 6 4 がある。ポリシリコン層 1 0 5 上には、露出ポリシリコン 1 0 9 がある。シート抵抗を下げるために、金属シリサイドが形成される。

20

30

【 0 1 4 6 】

金属シリサイドを形成するために、図 1 4 B に示されるように、シリコン表面上にニッケル（N i）、チタン（T i）、またはコバルト（C o）などの金属 1 1 1 が先ず堆積される。このとき、金属 1 1 1 は、基板表面上に P V D プロセスによって堆積され、シリコン領域または誘電体領域に対して選択的でない。金属は、次いで、金属がシリコン基板またはポリシリコン基板に接触している領域内に金属 - シリコン合金（シリサイド）を形成するために、アニールされる。誘電体領域内には、シリサイドは形成されない。誘電体領域内の金属およびシリサイド化された領域の上方で反応されずに残る金属を含む非反応金属が、シリサイドに対して選択的に除去される。現行の C o または N i 堆積プロセスに代わる代替のプロセスに、無電解金属堆積がある。その利点は、金属 - シリサイド層をより厚くして、エッチングストップ特性を向上させるとともに金属 - 金属コンタクトの形成を可能にできることである。無電解金属堆積を可能にするには、シリコン表面は、非常にクリーンでなかつ自然酸化シリコンがない必要がある。シリコン表面 6 2 , 6 4 上に金属 1 1 1 が選択的に堆積された後、基板は、図 1 4 C に示されるように、金属シリサイド 1 1 3 を形成するために摂氏約 8 0 0 度から摂氏約 9 0 0 度までの間などの高温で熱処理される。形成された金属シリサイド 1 1 3 は、図 1 4 D に示されるように、コンタクト 1 2 5 をドレインエリア 6 1 と電氣的に連絡可能にすることができる。

40

【 0 1 4 7 】

上述のように、無電解金属堆積に先立つ表面調整は、無電解堆積を実施される予定の表

50

面が酸素に曝露されないことを保証するために、制御雰囲気環境内において実施する必要がある。図15Aは、金属シリサイドを形成するために使用されるプロセスフロー1500の一実施形態を示している。ステップ1501では、全ての誘電体表面から金属汚染物が除去される。これは、既知の方法および化学物質を使用して実施することができる。ステップ1501は、表面金属汚染の懸念がある場合にのみ必要とされる随意のステップである。次に、ステップ1502において、基板表面から有機汚染物が除去される。上述のように、有機汚染物は、様々な乾式または湿式のいずれかのプロセスによって除去することができる。その後、ステップ1503において、自然酸化シリコンをシリコンに還元するためにシリコン表面が還元される。自然酸化シリコンは、自己制御式のプロセスであるので、酸化物層は極めて薄く、還元プロセスに先立つ酸化物除去ステップを必要としない。上述のように、還元プロセスは、水素プラズマプロセスであってよい。

10

【0148】

表面還元後、シリコン表面は、無電解金属堆積の用意が整う。ステップ1505において、露出シリコン（ポリシリコンを含む）表面の上に、Ni、Ti、またはCoなどの金属が選択的に堆積される。選択的金属堆積は、無電解プロセスによって達成することができる。無電解金属堆積後、基板は、ステップ1507において、既知の方法および化学物質を使用した随意の基板洗浄を経る。基板は、次いで、ステップ1509において、金属シリサイドを形成するために高温プロセス（またはアニール）を経る。

【0149】

図15Bは、実験室雰囲気搬送モジュール1560、真空搬送モジュール1950、および制御雰囲気搬送モジュール1580を含む統合システム1550の一実施形態を示している。実験室雰囲気搬送モジュール1560は、基板1555を保持するカセット1561に結合される。一実施形態では、金属汚染物は、金属汚染物を除去するために使用される上述の湿式洗浄プロセスの1つなどの湿式洗浄プロセスによって除去される。湿式洗浄は、実験室雰囲気搬送モジュール1560に結合されたチャンバ1565内において実施することができる。このプロセスステップは随意であるので、図15Bのチャンバ1565は破線である。金属汚染物の除去に続いて、有機汚染物が除去される。一実施形態では、有機汚染物は、リアクタ1571内において、 O_2 、 H_2O 、またはオゾンプラズマなどの酸化プラズマの中で除去される。 O_2 プラズマプロセスは、1トール未満の圧力で動作される低圧の乾式プロセスであるので、リアクタ1571は、真空搬送モジュール1570に結合される。

20

30

【0150】

その後、フロー1500のステップ1503において、リアクタ1573内においてシリコン表面の還元を実施することができる。基板は、次いで、金属シリサイド（またはシリサイド金属）の形成に使用される金属を無電解プロセスリアクタ1581内において堆積されるために、次のシステムへと搬送される。基板は、リアクタ1573から、真空搬送モジュール1570、ロードロック1575、および制御雰囲気搬送モジュール1580を通り、最終的に、処理のためにリアクタ1581に到達する。無電解金属堆積リアクタ1581は、リンス/乾燥システムを備えている。基板は、図15Aのプロセスステップ1507において説明されるように、金属堆積後、湿式洗浄チャンバ1583内において随意的基板洗浄を経ることができる。無電解堆積後、基板は、金属シリサイドを形成するために、急速熱処理（RTP）リアクタなどの熱リアクタ1576に送られる。

40

【0151】

上述されたシステムは、重要な処理ステップにおける酸素への曝露を制限するために、低圧乾式プロセスと、高圧プロセスと、湿式プロセスとの混合を統合する必要がある基板処理を可能にする。図16は、異なるプロセスがどのように統合されるかを示した概略図を示している。実験室雰囲気搬送モジュールは、カセット、湿式プロセス、および酸素への曝露を制限する必要がある（すなわち非制御プロセスである）乾式プロセスと統合することができる。真空搬送モジュールは、低圧乾式プロセスを統合することができる。真空搬送モジュールは、1トール未満などの真空下において動作されるので、酸素への曝露が

50

制限され制御される。ロードロックⅠは、実験雰囲気搬送モジュールと真空搬送モジュールとの間での基板の搬送を可能にする。制御雰囲気搬送モジュールは、湿式プロセス、近大気圧プロセス、および高圧プロセスを統合することができる。「高圧」という用語は、低圧プロセスと区別するために使用される。高圧プロセスの圧力は、前述の超臨界CO₂プロセスのような大気圧プロセスより大きい圧力を指す。一実施形態では、高圧プロセスチャンバと制御雰囲気搬送モジュールとの間に、同搬送モジュールとプロセスチャンバとの間で基板が効率良く搬送されることを可能にするためのロードロック（不図示）がある。ロードロックⅡは、真空搬送モジュールと制御雰囲気搬送モジュールとの間で基板が搬送されることを可能にする。制御雰囲気搬送モジュール、および制御雰囲気搬送モジュールに結合されたリアクタは、酸素への曝露を制限するために、不活性ガスで満たされている。ロードロックⅡは、真空搬送モジュールから基板を受け取るために排気することができる。ロードロックⅡは、基板を制御雰囲気搬送モジュールとやり取りするために不活性ガスで満たすこともできる。

10

【0152】

本発明は、いくつかの実施形態の観点から説明されてきたが、当業者ならば、以上の明細書を読み図面を吟味することによって、様々な代替、追加、置換、および等価の形態を明確に理解することができる。したがって、本発明は、発明の真の趣旨および範囲に含まれるものとして、このようなあらゆる代替、追加、置換、および等価の形態を含むことを意図している。特許請求の範囲において、要素および/またはステップは、特許請求の範囲内に明記されない限り、いかなる特定の動作順序も暗示しない。

20

例えば、本発明は以下の適用例として実施することも可能である。

(1) 統合システム内において、基板の銅配線の銅表面上にコバルト合金材料の薄い層を選択的に堆積させて、前記銅配線のエレクトロマイグレーション耐性を向上させるために、前記基板の基板表面を調整する方法であって、

前記統合システム内において、前記基板表面から汚染物および金属酸化物を除去することと、

汚染物および金属酸化物を除去した後に、前記統合システム内において、還元環境を使用して前記基板表面を再調整することと、

前記基板表面を再調整した後に、前記統合システム内において、前記銅配線の前記銅表面上に前記コバルト合金材料の薄い層を選択的に堆積させることと、

30

を備える方法。

(2) 適用例1に記載の方法であって、

前記基板表面は、水素(H₂)ガス、アンモニア(NH₃)ガス、または両ガスの混合によって生成される水素含有プラズマによって再調整される、方法。

(3) 適用例1に記載の方法であって、

前記基板表面を再調整することは、表面酸化銅を実質的に銅に変換することであり、前記基板表面を再調整した後、前記基板は、前記銅表面の上への酸化銅の形成を最小限にするために、制御環境内において搬送され処理される、方法。

(4) 適用例3に記載の方法であって、

前記銅表面を還元した後、前記基板は、前記銅表面上に前記コバルト合金材料の薄い層が選択的に堆積されることを可能にするために、酸素への曝露を制御された状態で搬送され処理される、方法。

40

(5) 適用例1に記載の方法であって、

前記コバルト合金材料の薄い層は、前記銅配線の前記銅表面と前記銅配線のための誘電体キャップ層との間の接着を促進するために、無電解堆積プロセスによって前記銅表面上に選択的に堆積される、方法。

(6) 適用例1に記載の方法であって、

前記コバルト合金材料は、CoWP、CoWB、およびCoWBPからなる群より選択される、方法。

(7) 銅配線の銅表面上にコバルト合金材料の薄い層を選択的に堆積させることを可能に

50

して、前記銅配線のエレクトロマイグレーション耐性を向上させるために、制御環境内において基板を搬送および処理するための統合システムであって、

実験室雰囲気搬送チャンバであって、前記実験室雰囲気搬送チャンバに結合された基板カセットから前記統合システム内へと前記基板を搬送可能である実験室雰囲気搬送チャンバと、

前記実験室雰囲気搬送チャンバに結合され、前記基板表面上の金属有機錯体汚染物を除去するために前記基板表面を洗浄する基板洗浄リアクタと、

圧力が1 トール未満の真空下において動作され、少なくとも1つの真空プロセスモジュールを結合された真空搬送チャンバと、

前記基板表面から有機汚染物を除去するための真空プロセスモジュールであって、前記真空搬送チャンバに結合された前記少なくとも1つの真空プロセスモジュールの1つであり、圧力が1 トール未満の真空下において動作される真空プロセスモジュールと、

不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされた制御雰囲気搬送チャンバ、および前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された少なくとも1つの制御雰囲気プロセスモジュールと、

前記基板表面が金属汚染物および有機汚染物を除去され前記銅表面が酸化銅を除去された後に、前記銅配線の前記銅表面上に前記コバルト合金材料の薄い層を堆積させるために使用される無電解コバルト合金材料堆積プロセスモジュールであって、前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された前記少なくとも1つの制御雰囲気プロセスモジュールの1つであり、不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされ、プロセス流体が脱ガスされる流体配送システムを有する無電解コバルト合金材料堆積プロセスモジュールと、

を備える統合システム。

(8) 適用例 7 に記載の統合システムであって、さらに、

前記銅表面上の残留酸化銅を銅に還元するために使用される水素含有還元プロセスモジュールであって、前記真空搬送チャンバに結合され、圧力が1 トール未満の真空下で動作される水素含有還元プロセスモジュールを備える統合システム。

(9) 適用例 7 に記載の統合システムであって、さらに、

前記実験室雰囲気搬送チャンバに結合され、前記基板表面上の金属酸化物を除去するために前記基板表面を洗浄する基板洗浄リアクタであって、湿式洗浄溶液は、クエン酸、硫酸、または過酸化水素をとみなう硫酸の1つを含有する、基板洗浄リアクタを備える統合システム。

(10) 適用例 7 に記載の統合システムであって、さらに、

前記真空搬送チャンバおよび前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された第1のロードロックであって、前記真空搬送チャンバと前記制御雰囲気搬送チャンバとの間で前記基板を搬送する手助けをし、圧力が1 トール未満の真空下において動作されるようにまたは不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされて前記制御雰囲気搬送モジュールと同圧下で動作されるように構成された第1のロードロックと、

前記真空搬送チャンバおよび前記実験室雰囲気搬送チャンバに結合された第2のロードロックであって、前記真空搬送チャンバと前記実験室雰囲気搬送チャンバとの間で前記基板を搬送する手助けをし、圧力が1 トール未満の真空下においてまたは実験室雰囲気において動作されるように構成された第2のロードロックと、

を備える統合システム。

(11) 適用例 7 に記載の統合システムであって、

前記真空搬送チャンバ、および前記真空搬送チャンバに結合された前記少なくとも1つの真空プロセスモジュールは、前記基板の酸素への曝露を制御するために、1 トール未満の圧力において動作される、統合システム。

(12) 適用例 7 に記載の統合システムであって、

前記制御雰囲気搬送チャンバ、および前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された前記少なくとも1つの制御雰囲気プロセスモジュールは、前記基板の酸素への曝露を制御するために、前記不活性ガスの群より選択される1種または複数種の不活性ガスで満たされる、

10

20

30

40

50

統合システム。

(1 3) 適用例 7 に記載の統合システムであって、

基板は、前記基板が酸素に曝露される時間を制限するために、前記統合システム内において搬送され処理される、統合システム。

(1 4) 適用例 1 3 に記載の方法であって、

前記基板表面の酸素への曝露を制限することは、堆積反応の導入時間を短縮させ、前記銅表面上に選択的に堆積される前記コバルト合金材料の薄い層の質を高める、方法。

(1 5) 適用例 7 に記載の統合システムであって、

前記制御雰囲気搬送モジュールに結合された前記少なくとも 1 つのプロセスモジュールは、前記基板のドライイン・ドライアウト処理を可能にし、前記基板は、乾燥状態で入るとともに乾燥状態で出る、統合システム。

(1 6) 統合システム内において、基板の銅配線構造に裏打ちするために金属バリア層を堆積させ、前記金属バリア層の表面上に薄い銅シード層を堆積させて、前記銅配線のエレクトロマイグレーション耐性を向上させるために、前記基板の基板表面を調整する方法であって、

前記統合システム内において、表面金属酸化物を除去するために下位の金属の露出表面を洗浄することであって、前記下位の金属は、前記銅配線に電氣的につながる下位の配線の一部である、ことと、

前記統合システム内において、前記銅配線構造に裏打ちするために前記金属バリア層を堆積させることであって、前記金属バリア層を堆積させた後、前記基板は、金属バリア酸

化物の形成を阻止するために、制御環境内において搬送され処理される、ことと、

前記統合システム内において、前記薄い銅シード層を堆積させることと、

前記統合システム内において、前記薄い銅シード層の上にギャップ充填銅層を堆積させることと、

を備える方法。

(1 7) 適用例 1 6 に記載の方法であって、さらに、

前記統合システム内において、前記金属バリア層の表面上の金属バリア酸化物を変換して前記金属バリア層の前記表面を金属リッチにするために、前記金属バリア層の前記表面を還元することであって、前記下位の金属の前記露出表面が洗浄された後に実施されることを備える方法。

(1 8) 適用例 1 6 に記載の方法であって、

前記銅配線は、ビアの上の金属線を含み、前記下位の配線は、金属線を含む、方法。

(1 9) 適用例 1 6 に記載の方法であって、

前記表面金属酸化物の露出表面を洗浄することは、A r スパッタリングプロセス、またはフッ素含有ガスを使用したプラズマプロセスのいずれかを使用して達成される、方法。

(2 0) 適用例 1 6 に記載の方法であって、

前記金属バリア層を堆積させることは、さらに、

第 1 の金属バリア層を堆積させることと、

第 2 の金属バリア層を堆積させることと、

を含む、方法。

(2 1) 適用例 1 6 に記載の方法であって、

前記基板は、金属バリア酸化物の形成を阻止し、前記薄い銅シード層を選択的に堆積させることを可能にして、前記銅配線のエレクトロマイグレーションを改善するために、制御環境内において搬送され処理される、方法。

(2 2) 適用例 1 6 に記載の方法であって、

基板は、前記基板が酸素に曝露される時間を制限するために、前記統合システム内において搬送され処理される、方法。

(2 3) 統合システム内において、銅配線構造の金属バリア層の表面上に薄い銅シード層を堆積させて、前記銅配線構造のエレクトロマイグレーション耐性を向上させるために、基板の金属バリア表面を調整する方法であって、

10

20

30

40

50

前記統合システム内において、前記金属バリア層の表面上の金属バリア酸化物を変換して前記金属バリア層の前記表面を金属リッチにするために、前記金属バリア層の前記表面を還元することと、

前記統合システム内において、前記薄い銅シード層を堆積させることと、

前記統合システム内において、前記薄い銅シード層の上にギャップ充填銅層を堆積させることと、

を備える方法。

(24) 銅配線の金属バリア層の表面上に薄い銅シード層を堆積させることを可能にするために、制御環境内において基板を処理するための統合システムであって、

実験室雰囲気搬送チャンバであって、前記実験室雰囲気搬送チャンバに結合された基板カセットから前記統合システム内へと前記基板を搬送可能である実験室雰囲気搬送チャンバと、

圧力が1ートル未満の真空下で動作される真空搬送チャンバであって、少なくとも1つの真空プロセスモジュールを結合される真空搬送チャンバと、

前記統合システム内において、下位の金属の金属酸化物の露出表面を洗浄するための真空プロセスモジュールであって、前記下位の金属は、下位の配線の一部であり、前記銅配線は、前記下位の配線に電気的につながれ、前記洗浄のための真空プロセスモジュールは、前記真空搬送チャンバに結合された前記少なくとも1つの真空プロセスモジュールの1つであり、圧力が1ートル未満の真空下において動作される真空プロセスモジュールと、

前記金属バリア層を堆積させるための真空プロセスモジュールであって、前記真空搬送チャンバに結合された前記少なくとも1つの真空プロセスモジュールの1つであり、圧力が1ートル未満の真空下において動作される真空プロセスモジュールと、

不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされた制御雰囲気搬送チャンバであって、少なくとも1つの制御雰囲気プロセスモジュールを結合される制御雰囲気搬送チャンバと、

前記金属バリア層の前記表面上に前記薄い銅シード層を堆積させるために使用される無電解銅堆積プロセスモジュールであって、前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された前記少なくとも1つの制御環境プロセスモジュールの1つである無電解銅堆積プロセスモジュールと、

を備える統合システム。

(25) 適用例24に記載の統合システムであって、さらに、

前記金属バリアの前記表面上の金属酸化物または金属窒化物を還元するために使用される水素含有還元プロセスモジュールであって、前記真空搬送チャンバに結合され、圧力が1ートル未満の真空下で動作される水素含有還元プロセスモジュールを備える統合システム。

(26) 適用例24に記載の統合システムであって、さらに、

前記真空搬送チャンバおよび前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された第1のロードロックであって、前記真空搬送チャンバと前記制御雰囲気搬送チャンバとの間で前記基板を搬送する手助けをし、圧力が1ートル未満の真空下において動作されるようにまたは不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされるように構成された第1のロードロックと、

前記真空搬送チャンバおよび前記実験室雰囲気搬送チャンバに結合された第2のロードロックであって、前記真空搬送チャンバと前記実験室雰囲気搬送チャンバとの間で前記基板を搬送する手助けをし、圧力が1ートル未満の真空下において動作されるように、または実験室雰囲気において動作されるように、または不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされるように構成された第2のロードロックと、

を備える統合システム。

(27) 適用例24に記載の統合システムであって、

前記真空搬送チャンバ、および前記真空搬送チャンバに結合された前記少なくとも1つの真空プロセスモジュールは、前記基板の酸素への曝露を制御するために、1ートル未満

10

20

30

40

50

の圧力において動作される、統合システム。

(28) 適用例24に記載の統合システムであって、

前記制御雰囲気搬送チャンバ、および前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された前記少なくとも1つの制御雰囲気プロセスモジュールは、前記基板の酸素への曝露を制御するために、前記不活性ガスの群より選択される1種または複数種の不活性ガスで満たされる、統合システム。

(29) 適用例24に記載の統合システムであって、

前記制御雰囲気搬送モジュールに結合された前記少なくとも1つのプロセスモジュールは、前記基板のドライイン・ドライアウト処理を可能にし、前記基板は、前記少なくとも1つのプロセスモジュールに対して乾燥状態で出入りする、統合システム。

(30) 銅配線の金属バリア層の表面上に薄い銅シード層を堆積させることを可能にするために、制御環境内において基板を処理するための統合システムであって、

実験室雰囲気搬送チャンバであって、前記実験室雰囲気搬送チャンバに結合された基板カセットから前記統合システム内へと前記基板を搬送可能である実験室雰囲気搬送チャンバと、

圧力が1トール未満の真空下で動作される真空搬送チャンバであって、少なくとも1つの真空プロセスモジュールを結合される真空搬送チャンバと、

前記金属バリア層を還元するための真空プロセスモジュールであって、前記真空搬送チャンバに結合された前記少なくとも1つの真空プロセスモジュールの1つであり、圧力が1トール未満の真空下において動作される真空プロセスモジュールと、

不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされた制御雰囲気搬送チャンバであって、少なくとも1つの制御雰囲気プロセスモジュールを結合される制御雰囲気搬送チャンバと、

前記金属バリア層の前記表面上に前記薄い銅シード層を堆積させるために使用される無電解銅堆積プロセスモジュールであって、前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された前記少なくとも1つの制御環境プロセスモジュールの1つである無電解銅堆積プロセスモジュールと、

を備える統合システム。

(31) 統合システム内において、基板のシリコン表面上またはポリシリコン表面上に金属の層を選択的に堆積させて金属シリサイドを形成するために、前記基板の基板表面を調整する方法であって、

前記統合システム内において、前記基板表面から有機汚染物を除去することと、

有機汚染物を除去した後に、前記統合システム内において、前記シリコン表面上または前記ポリシリコン表面上の酸化シリコンをシリコンに変換するために、前記シリコン表面または前記ポリシリコン表面を還元することであって、前記シリコン表面または前記ポリシリコン表面を還元した後、前記基板は、酸化シリコンの形成を阻止するために制御環境内において搬送され処理され、前記シリコン表面または前記ポリシリコン表面は、前記シリコン表面上の前記金属の選択性を高めるために還元される、ことと、

前記シリコン表面または前記ポリシリコン表面を還元した後に、前記統合システム内において、前記基板の前記シリコン表面上または前記ポリシリコン表面上に前記金属の層を選択的に堆積させることと、

を備える方法。

(32) 適用例31に記載の方法であって、さらに、

前記シリコン表面上に前記金属の層を選択的に堆積させた後に、前記統合システム内において、前記金属シリサイドを形成することを備える方法。

(33) 適用例31に記載の方法であって、さらに、

前記シリコン表面を還元する前に、前記統合システム内において、前記基板表面から金属汚染物を除去することを備える方法。

(34) 適用例31に記載の方法であって、

前記シリコン表面または前記ポリシリコン表面は、水素(H_2)ガス、アンモニア(N

10

20

30

40

50

H₃) ガス、または両ガスの組み合わせによって生成される水素含有プラズマによって還元される、方法。

(3 5) 適用例 3 1 に記載の方法であって、

前記金属は、N i または C o からなる群より選択される、方法。

(3 6) 適用例 3 1 に記載の方法であって、

前記シリコン表面が還元された後、前記基板は、前記基板表面の酸素への曝露を制御するために真空環境内または不活性ガス充填環境内において搬送されるまたは処理されることによって、前記統合システム内において制御環境内において搬送され処理される、方法。

(3 7) 適用例 3 2 に記載の方法であって、

前記金属シリサイドは、急速熱処理 (R T P) システム内において形成される、方法。

(3 8) 基板のシリコン表面上への金属の層の選択的堆積を可能にして金属シリサイドを形成するために、制御環境内において基板を処理するための統合システムであって、

実験室雰囲気搬送チャンバであって、前記実験室雰囲気搬送チャンバに結合された基板カセットから前記統合システム内へと前記基板を搬送可能である実験室雰囲気搬送チャンバと、

圧力が 1 トール未満の真空下で動作される真空搬送チャンバであって、少なくとも 1 つの真空プロセスモジュールを結合される真空搬送チャンバと、

前記基板表面から有機汚染物を除去するための真空プロセスモジュールであって、前記真空搬送チャンバに結合された前記少なくとも 1 つの真空プロセスモジュールの 1 つであり、圧力が 1 トール未満の真空下において動作される真空プロセスモジュールと、

前記シリコン表面を還元するための真空プロセスチャンバであって、前記真空搬送チャンバに結合された前記少なくとも 1 つの真空プロセスモジュールの 1 つであり、圧力が 1 トール未満の真空下において動作される真空プロセスチャンバと、

不活性ガスの群より選択される不活性ガスで満たされた制御雰囲気搬送チャンバ、および前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された少なくとも 1 つの制御雰囲気プロセスモジュールと、

前記シリコン表面が還元された後に、前記シリコン表面上に前記薄い金属の層を選択的に堆積させるために使用される無電解金属堆積プロセスモジュールであって、前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された前記少なくとも 1 つの制御雰囲気プロセスモジュールの 1 つである無電解金属堆積プロセスモジュールと、

を備える統合システム。

(3 9) 適用例 3 8 に記載の統合システムであって、

前記金属シリサイドを形成するための前記真空プロセスチャンバは、R T P チャンバである、統合システム。

(4 0) 適用例 3 8 に記載の統合システムであって、

前記制御雰囲気搬送チャンバ、および前記制御雰囲気搬送チャンバに結合された前記少なくとも 1 つの制御雰囲気プロセスモジュールは、前記基板の酸素への曝露を制御するために、前記不活性ガスの群より選択される 1 種または複数種の不活性ガスで満たされる、統合システム。

10

20

30

40

【図 1】

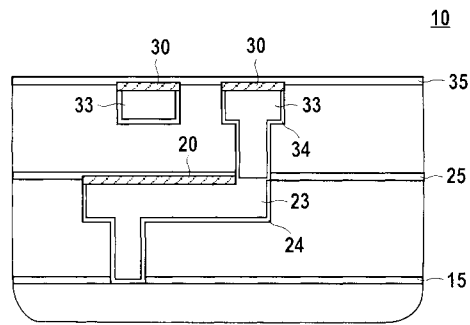


FIG. 1

【図 2 B】

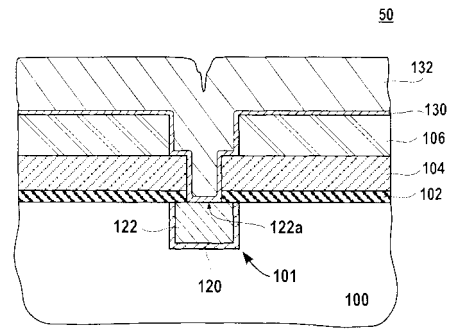


FIG. 2B

【図 2 A】

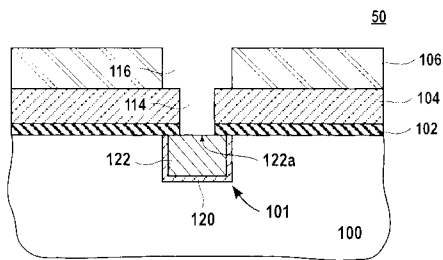


FIG. 2A

【図 2 C】

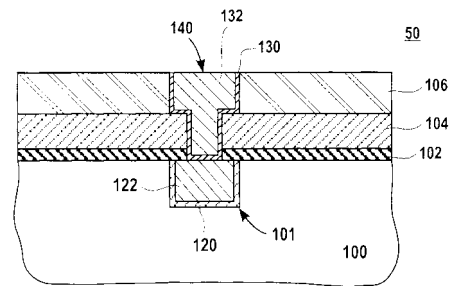


FIG. 2C

【図 2 D】

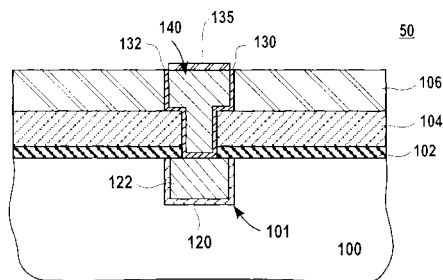


FIG. 2D

【図 3】

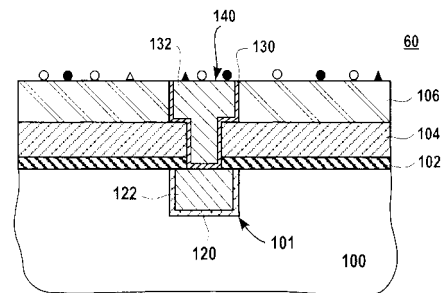


FIG. 3

- Cu-BTA錯体
- 有機汚染物
- △ バリア金属残留物
- ▲ 金属酸化物残留物

【図 4 A】

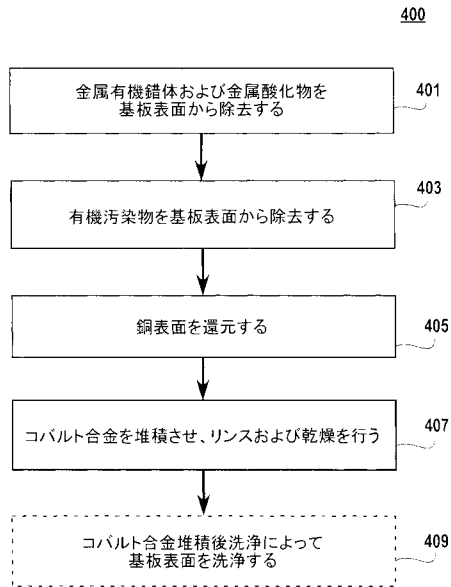


FIG. 4A

【図 4 B】

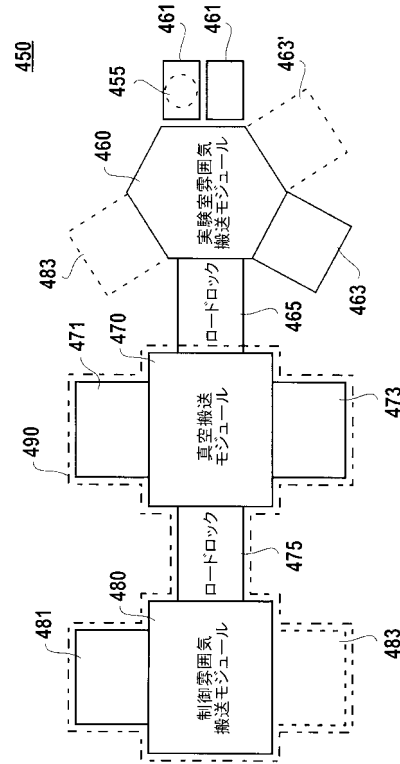


FIG. 4B

【図 5 A】

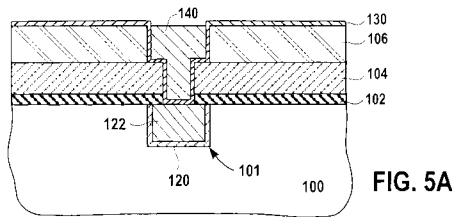


FIG. 5A

【図 5 B】

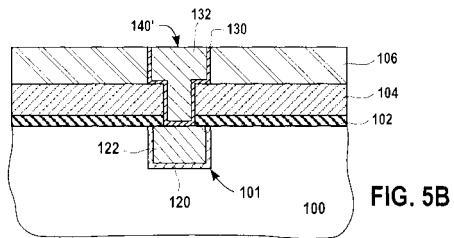


FIG. 5B

【図 5 C】

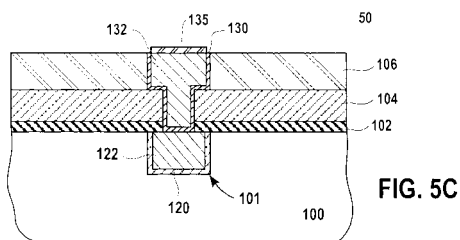


FIG. 5C

【図 6 A】

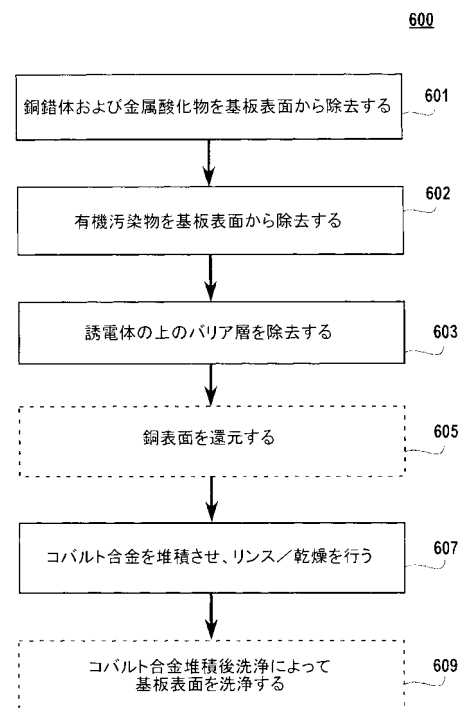


FIG. 6A

【図 6 B】

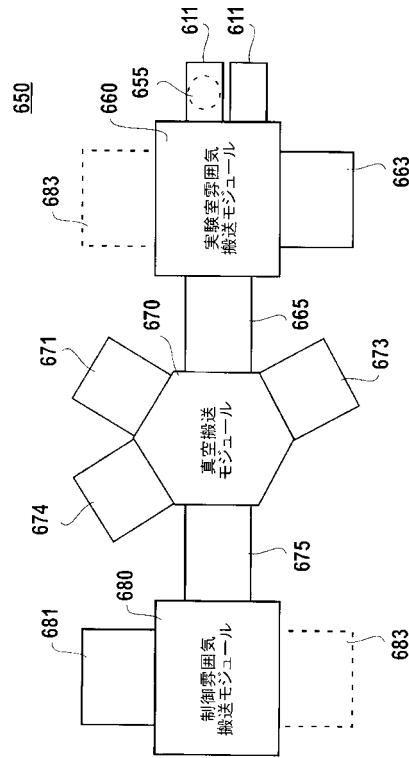


FIG. 6B

【図 7 A】

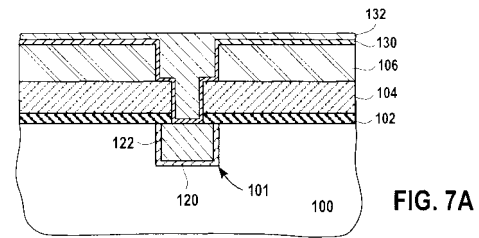


FIG. 7A

【図 7 B】

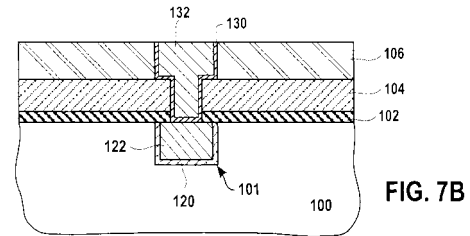


FIG. 7B

【図 7 C】

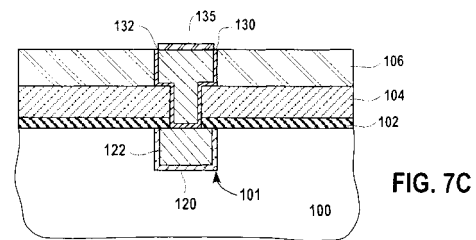


FIG. 7C

【図 8 A】

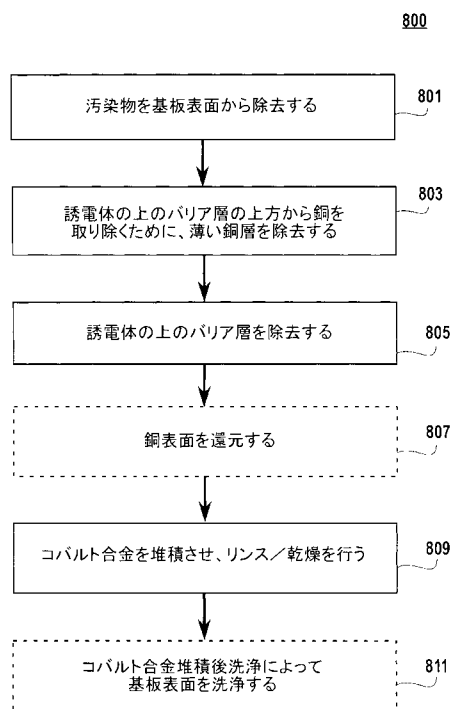


FIG. 8A

【図 8 B】

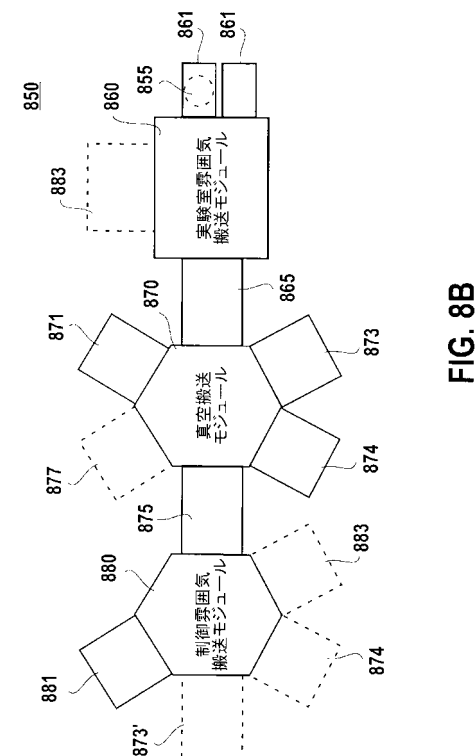


FIG. 8B

【図 9 A】

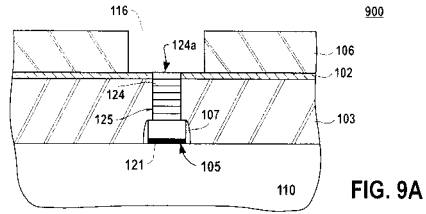


FIG. 9A

【図 9 B】

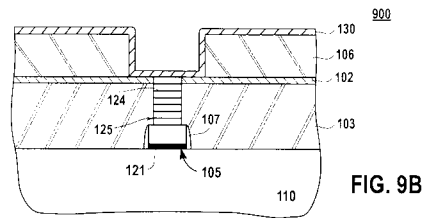


FIG. 9B

【図 9 C】

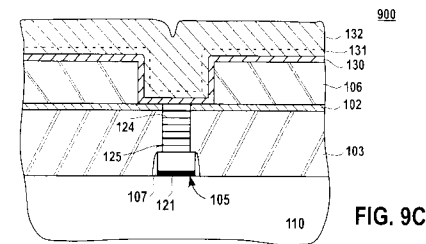


FIG. 9C

【図 9 D】

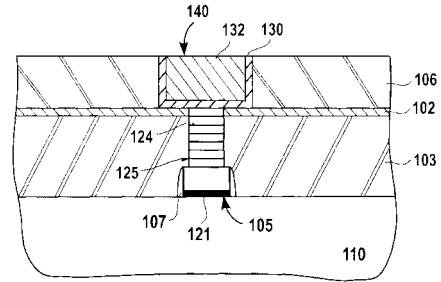


FIG. 9D

【図 9 E】

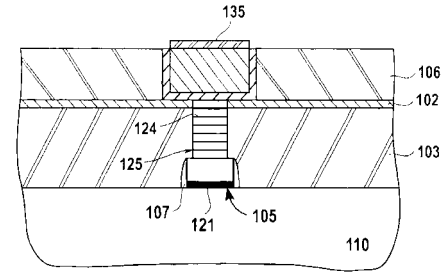


FIG. 9E

【図 10 A】

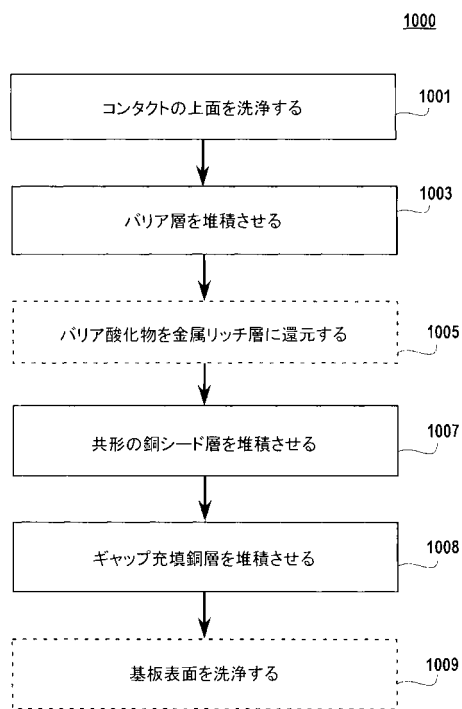


FIG. 10A

【図 10 B】

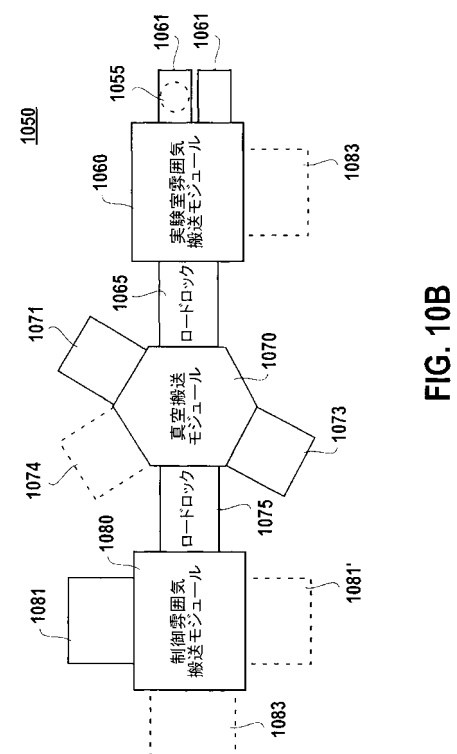


FIG. 10B

【図 10C】

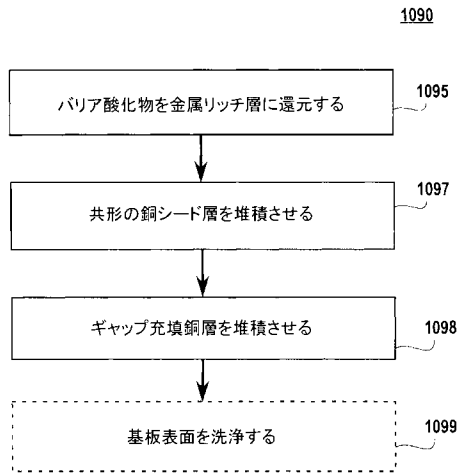


FIG. 10C

【図 10D】

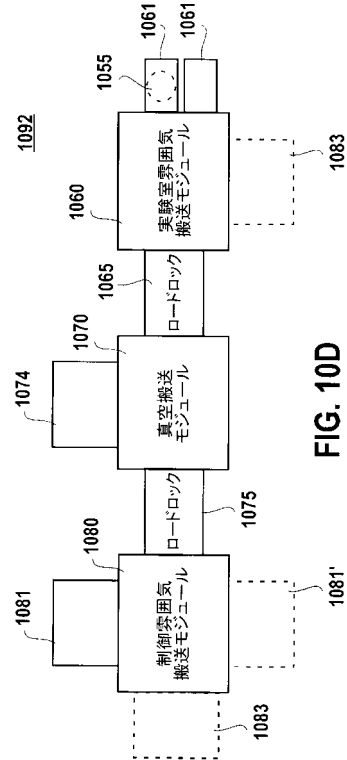


FIG. 10D

【図 11A】

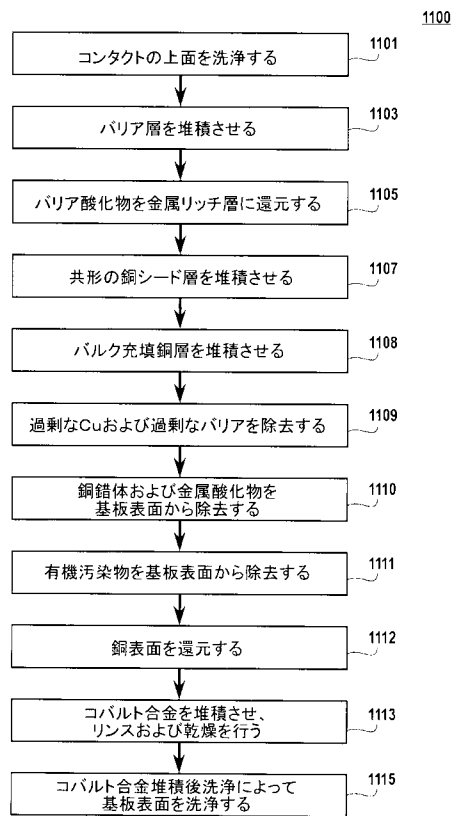


FIG. 11A

【図 11B】

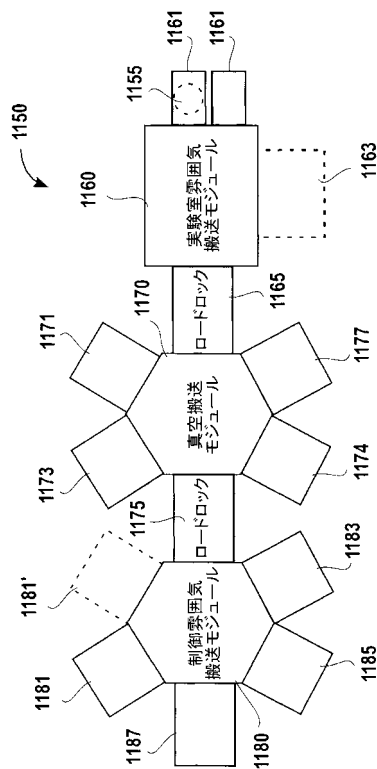


FIG. 11B

【図 12 A】

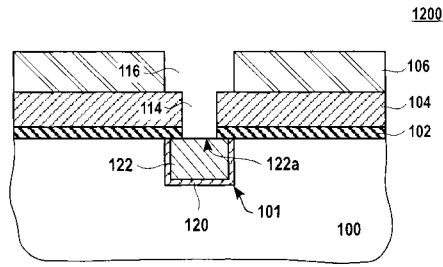


FIG. 12A

【図 12 C】

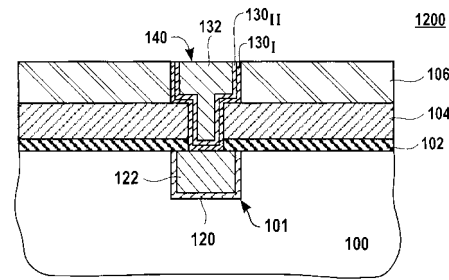


FIG. 12C

【図 12 B】

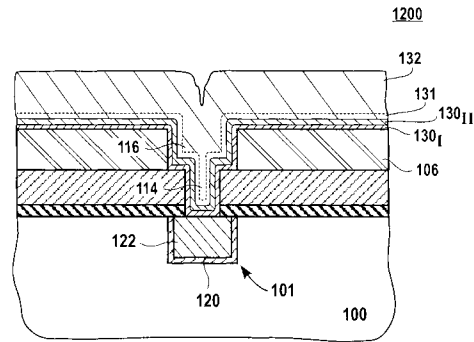


FIG. 12B

【図 12 D】

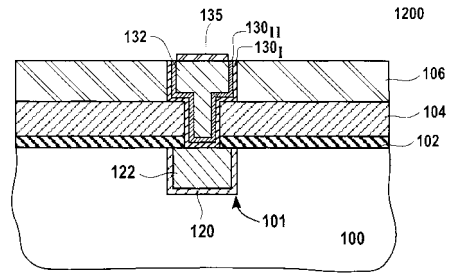


FIG. 12D

【図 13 A】

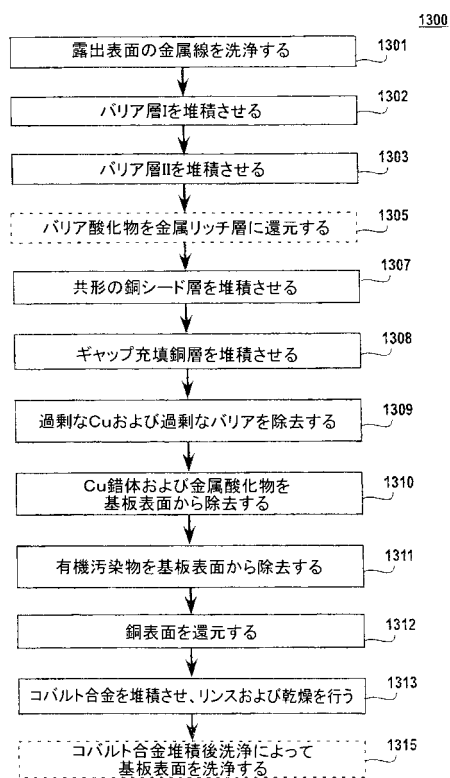


FIG. 13A

【図 13 B】

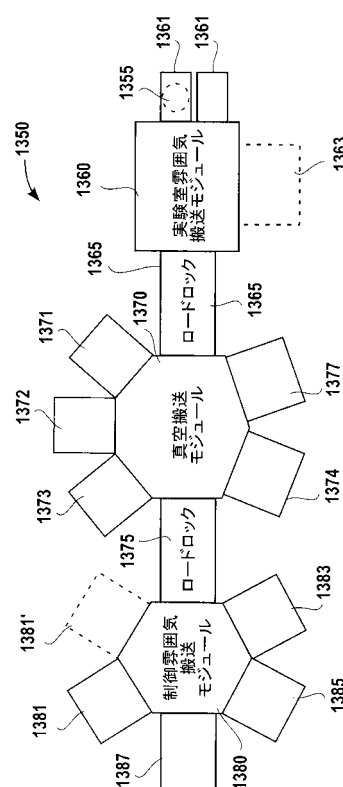


FIG. 13B

【図14A】

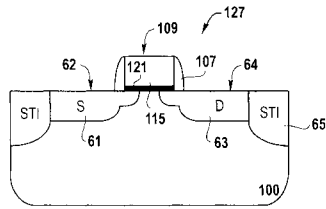


FIG. 14A

【図14B】

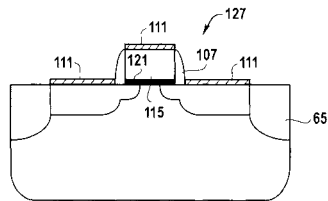


FIG. 14B

【図14C】

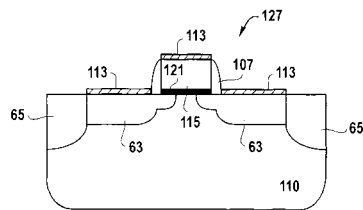


FIG. 14C

【図14D】

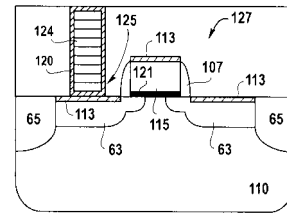
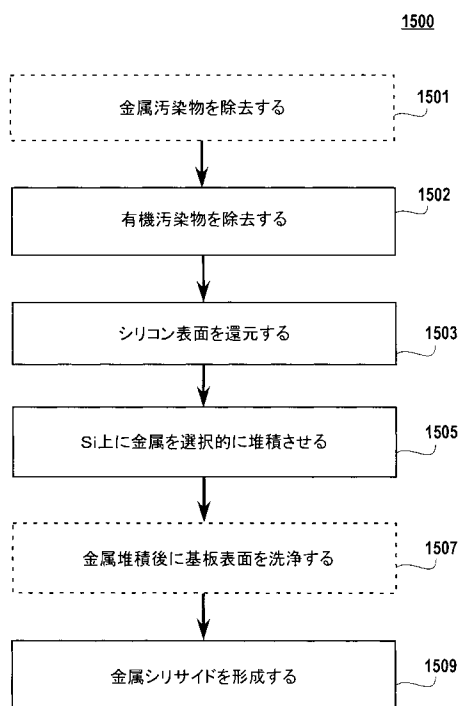
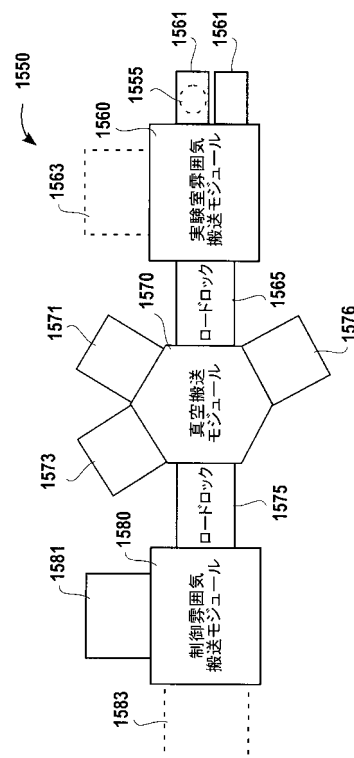


FIG. 14D

【図15A】



【図15B】



【図 16】

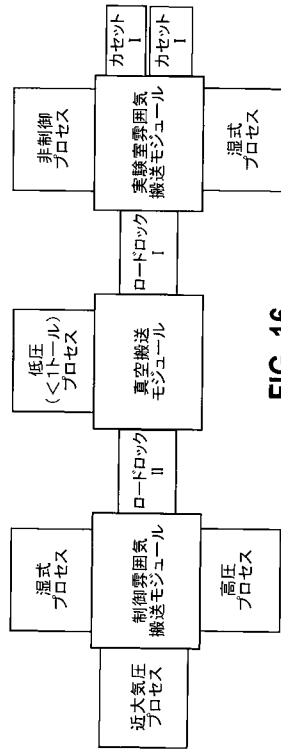


FIG. 16

フロントページの続き

(31)優先権主張番号 11/514,038

(32)優先日 平成18年8月30日(2006.8.30)

(33)優先権主張国 米国(US)

(72)発明者 レデカー・フリッツ・シー・

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, スー・ドライブ, 1 8 0 1

(72)発明者 ボイド・ジョン

アメリカ合衆国 オレゴン州 9 7 1 2 3 ヒルズボロ, ノースイースト・メロット・ロード, 2 5 4 5 5

(72)発明者 ティエ・ウィリアム

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 0 4 0 マウンテン・ビュー, コンチネンタル・サークル, 7 0 7, # 2 2 2 1

(72)発明者 アルナジリ・ティルチラーバリ

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 3 8 フレモント, エム - 2 1 1 5, グリマー・ブルバード, 4 3 5 5 5

(72)発明者 ホーバルト・アーサー・エム・

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 6 6 プレザントン, カベルネ・コート, 4 2 3 3

(72)発明者 ユーン・ヒュングスック・アレキサンダー

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 2 0 サン・ホセ, ヒラバヤシ・ドライブ, 6 5 0 5

(72)発明者 ベルトメン・ジョハン

ベルギー国 ネーゼン ビー - 1 3 9 0 リュー・ドウ・ボッソ, 9

審査官 瀧内 健夫

(56)参考文献 特開 2 0 0 4 - 3 6 3 1 5 5 (J P , A)

特開 2 0 0 3 - 1 4 2 5 7 9 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 2 8 - 2 1 / 2 8 8

H 0 1 L 2 1 / 3 2 0 5

H 0 1 L 2 1 / 7 6 8

H 0 1 L 2 3 / 5 3 2