

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2024-542631

(P2024-542631A)

(43)公表日 令和6年11月15日(2024.11.15)

| | | |
|--------------------------|------------------------|------------|
| (51)国際特許分類 | F I | テーマコード(参考) |
| H 0 1 L 21/3065(2006.01) | H 0 1 L 21/302 1 0 5 A | 5 F 0 0 4 |
| | H 0 1 L 21/302 1 0 1 B | |

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全22頁)

| | | | |
|-------------------|---|---------|--|
| (21)出願番号 | 特願2024-532154(P2024-532154) | (71)出願人 | 000219967 東京エレクトロン株式会社 東京都港区赤坂五丁目3番1号 |
| (86)(22)出願日 | 令和4年12月6日(2022.12.6) | (71)出願人 | 514028776 トーキョー エレクトロン ユーエス ホールディングス, インコーポレーテッド アメリカ合衆国 テキサス州 7 8 7 4 1 オースティン グローブ・ブルバード 2 4 0 0 |
| (85)翻訳文提出日 | 令和6年5月29日(2024.5.29) | (74)代理人 | 100107766 弁理士 伊東 忠重 |
| (86)国際出願番号 | PCT/US2022/052015 | (74)代理人 | 100070150 弁理士 伊東 忠彦 |
| (87)国際公開番号 | WO2023/107492 | (72)発明者 | ハン, ユン アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 2 2 |
| (87)国際公開日 | 令和5年6月15日(2023.6.15) | | 最終頁に続く |
| (31)優先権主張番号 | 63/287,371 | | |
| (32)優先日 | 令和3年12月8日(2021.12.8) | | |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 米国(US) | | |
| (81)指定国・地域 | AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA, RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,A T,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR ,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC, 最終頁に続く | | |

(54)【発明の名称】 モリブデンをエッチングする方法

(57)【要約】

基板処理方法であって、凹状フィーチャにおいて金属モリブデン層の上にエッチマスクを含む基板を提供すること、凹状フィーチャの側壁にエッチング保護層を形成するプラズマ励起成膜ガスに基板を曝露すること、エッチマスクに従って金属モリブデン層をエッチングするプラズマ励起エッチングガスに基板を曝露することを含み、これらの曝露するステップは、交互に複数回行われる、基板処理方法。

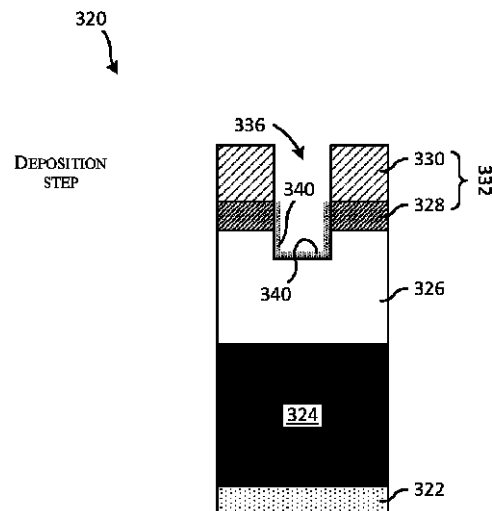


FIGURE 3D

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板処理の方法であって、

凹状フィーチャにおいて金属モリブデン層の上にエッチマスクを含む基板を提供するステップと、

前記基板をプラズマ励起成膜ガスに曝露するステップであって、前記プラズマ励起成膜ガスは、前記凹状フィーチャの側壁にエッチング保護層を形成する、ステップと、

前記基板をプラズマ励起エッチングガスに曝露するステップであって、前記プラズマ励起エッチングガスは、前記エッチマスクに従って前記金属モリブデン層をエッチングする、ステップと、

を有し、

前記曝露する両ステップは、複数回交互に行われる、方法。

【請求項 2】

前記プラズマ励起成膜ガスは、フルオロカーボン ($C_x F_y$) またはハイドロフルオロカーボン ($C_x H_y F_z$) を含み、

フッ素原子に対する炭素原子の比は、 $1/4$ よりも大きく 1 以下である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記プラズマ励起成膜ガスは、硫黄含有ガスを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記硫黄含有ガスは、 SO_2 または $CO S$ ガスを含む、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記プラズマ励起エッチングガスは、ハロゲン含有ガスを含む、請求項 1 に記載の方法

。

【請求項 6】

前記ハロゲン含有ガスは、 F_2 、 CF_4 、 NF_3 、 SF_6 、 Cl_2 、 CCl_4 または BCl_3 ガスを含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記プラズマ励起エッチングガスは、さらに、酸素含有ガスを含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 8】

前記プラズマ励起エッチングガスは、さらに、アルゴンガスを含む、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 9】

基板処理の方法であって、

凹状フィーチャにおいて金属モリブデン層の上にエッチマスクを含む基板を提供するステップと、

前記凹状フィーチャ内にエッチング保護層を成膜するステップであって、前記エッチング保護層は、酸化物層を含む、ステップと、

ブレイクスルーエッチングステップを実施するステップであって、前記ブレイクスルーエッチングステップでは、前記凹状フィーチャの底部で前記エッチング保護層を貫通してエッチングが行われる、ステップと、

前記基板をプラズマ励起エッチングガスに曝露するステップであって、前記プラズマ励起エッチングガスは、前記エッチマスクに従って前記金属モリブデン層をエッチングする、ステップと、

を有する、方法。

【請求項 10】

前記エッチング保護層を成膜するステップは、前記基板をシリコン含有前駆体および酸化剤に曝露して、酸化ケイ素層を形成するステップを有する、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

。

10

20

30

40

50

前記エッチング保護層を成膜するステップは、前記基板をシリコン含有前駆体および酸化剤に交互に曝露して、酸化シリコン層を形成するステップを有する、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 12】

前記プラズマ励起エッチングガスは、ハロゲン含有ガスを含む、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 13】

前記ハロゲン含有ガスは、 F_2 、 CF_4 、 NF_3 、 SF_6 、 Cl_2 、 CCl_4 または BCl_3 ガスを含む、請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

基板処理の方法であって、
凹状フィーチャにおいて金属モリブデン層の上にエッチマスクを含む基板を提供するステップと、

前記エッチマスクの側壁にエッチング保護層を成膜するステップであって、前記エッチング保護層は、酸化物層を含む、ステップと、

前記基板をプラズマ励起エッチングガスに曝露するステップであって、前記プラズマ励起エッチングガスは、前記エッチマスクに従って前記金属モリブデン層をエッチングする、ステップと、

を有し、

前記成膜するステップおよび前記曝露するステップは、複数回交互に実施される、方法

10

20

【請求項 15】

前記基板を前記プラズマ励起エッチングガスに曝露するステップは、さらに、前記基板にバイアス信号を印加するステップを有する、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 16】

前記エッチング保護層を成膜するステップは、前記基板をシリコン含有前駆体および酸化剤に曝露して、酸化ケイ素層を形成するステップを有する、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 17】

前記エッチング保護層を成膜するステップは、前記基板をシリコン含有前駆体および酸化剤に交互に曝露して、酸化ケイ素層を形成するステップを有する、請求項 14 に記載の方法。

30

【請求項 18】

前記プラズマ励起エッチングガスは、ハロゲン含有ガスを含む、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 19】

さらに、ブレイクスルーエッチングステップを実施するステップを有し、前記ブレイクスルーエッチングステップでは、前記凹状フィーチャの底部で前記エッチング保護層を貫通してエッチングが行われる、請求項 14 に記載の方法。

【請求項 20】

前記成膜するステップおよび前記曝露するステップは、いずれも処理チャンバ内で実施され、

当該方法は、さらに、前記成膜するステップの後であって前記曝露するステップの前に、チャンブレコートステップを実施するステップを有し、

前記チャンブレコートステップでは、前記処理チャンバの壁にコーティングが成膜される、請求項 14 に記載の方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2021年12月8日に提出された米国仮特許出願第63/287,371

50

号明細書の利益を主張するものであり、この出願は、参照により本明細書に組み込まれる。

【0002】

本発明は、概して、半導体デバイスを製作する方法に関し、特定の実施形態では、モリブデンをドライエッチングする方法に関する。

【背景技術】

【0003】

半導体集積回路（IC）は、様々な材料の層を順次堆積させ、パターニングして、基板の上にモノシリック構造を形成することによって構築される電子部品のネットワークである。新しい技術ノードごとに部品密度がほぼ2倍になり、ICの単価が下がる。パターニングの進歩によって可能になったように、数百個のトランジスタを $1\mu\text{m}^2$ の面積に詰め込んで、ハーフピッチが15nm未満の金属線によって信号および電源に接続することができる。このような細線の抵抗は、主にエッジ付近の伝導に依存する。金属拡散バリアとして使用されるライナーおよび金属エッジに沿ったランダム電子散乱により、幅が減少するとともに抵抗が急激に上昇する狭幅効果（NWE）が生じる。そのため、5nm未満のノードの場合、金属モリブデンは、酸化シリコン中の拡散率が低く（拡散バリアの必要性をなくす）、バルク平均自由行程が低く（エッジ散乱がより少ない）、融点が高く、熱膨張係数が低いため、最高密度配線レベルのワイヤとして興味深い金属である。モリブデンは、有望な特性を有する一方、モリブデンを大量のIC製造に組み込むには、エッチプロファイル、エッチ速度並びにマスキング材料および下地層に対するエッチ選択性を良好に制御するドライエッチング方法が必要である。そのため、金属モリブデンのドライエッチングのプロセスにおけるさらなる革新が望まれている。

10

20

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0004】

基板処理方法であって、凹状フィーチャにおいて金属モリブデン層の上にエッチマスクを含む基板を提供することと、凹状フィーチャの側壁にエッチング保護層を形成するプラズマ励起成膜ガスに基板を曝露することと、エッチマスクに従って金属モリブデン層をエッチングするプラズマ励起エッチングガスに基板を曝露することとを含み、これらの曝露するステップは、交互に複数回行われる、基板処理方法。

30

【0005】

基板処理方法であって、凹状フィーチャにおいて金属モリブデン層の上にエッチマスクを含む基板を提供することと、凹状フィーチャ内にエッチング保護層を堆積させることであって、エッチング保護層は、酸化物層を含む、堆積させることと、凹状フィーチャの底部でエッチング保護層を貫通してエッチングするブレイクスルーエッチングステップを行うことと、エッチマスクに従って金属モリブデン層をエッチングするプラズマ励起エッチングガスに基板を曝露することとを含む基板処理方法。

【0006】

基板処理方法であって、凹状フィーチャにおいて金属モリブデン層の上にエッチマスクを含む基板を提供することと、エッチマスクの側壁にエッチング保護層を堆積させることであって、エッチング保護層は、酸化物層を含む、堆積させることと、エッチマスクに従って金属モリブデン層をエッチングするプラズマ励起エッチングガスに基板を曝露することとを含み、堆積および曝露は、交互に複数回行われる、基板処理方法。

40

【0007】

本発明およびその利点のより詳細な理解のために、ここで、添付図面と併せて行われる以下の説明を参照する。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1A】ある実施形態による、モリブデン層をパターニングするためのプロセスフローを要約するフローチャートを例示する。

50

【図 1 B】図 1 A に例示するフローチャートに要約されたプロセスフローの様々な中間ステップにおける半導体デバイスの断面図を例示する。

【図 1 C】図 1 A に例示するフローチャートに要約されたプロセスフローの様々な中間ステップにおける半導体デバイスの断面図を例示する。

【図 1 D】図 1 A に例示するフローチャートに要約されたプロセスフローの様々な中間ステップにおける半導体デバイスの断面図を例示する。

【図 2 A】不十分なプロセスウィンドウを有する異方性ドライエッチプロセスを使用して金属モリブデン層をパターニングした結果生じる望ましくないエッチング特性および欠陥を示す、半導体デバイスの断面図を例示する。

【図 2 B】不十分なプロセスウィンドウを有する異方性ドライエッチプロセスを使用して金属モリブデン層をパターニングした結果生じる望ましくないエッチング特性および欠陥を示す、半導体デバイスの断面図を例示する。

【図 3 A】ある実施形態による、金属モリブデン層をパターニングするためのガスパルス循環エッチ技術を要約するフローチャートを例示する。

【図 3 B】図 3 A に例示するフローチャートに要約されたガスパルス循環エッチ技術を使用して金属モリブデン層をパターニングする様々な中間段階における半導体デバイスの様々な断面図を例示する。

【図 3 C】図 3 A に例示するフローチャートに要約されたガスパルス循環エッチ技術を使用して金属モリブデン層をパターニングする様々な中間段階における半導体デバイスの様々な断面図を例示する。

【図 3 D】図 3 A に例示するフローチャートに要約されたガスパルス循環エッチ技術を使用して金属モリブデン層をパターニングする様々な中間段階における半導体デバイスの様々な断面図を例示する。

【図 3 E】図 3 A に例示するフローチャートに要約されたガスパルス循環エッチ技術を使用して金属モリブデン層をパターニングする様々な中間段階における半導体デバイスの様々な断面図を例示する。

【図 3 F】図 3 A に例示するフローチャートに要約されたガスパルス循環エッチ技術を使用して金属モリブデン層をパターニングする様々な中間段階における半導体デバイスの様々な断面図を例示する。

【図 4】ある実施形態による、金属モリブデン層をパターニングするための ALD ベースの循環エッチ技術を要約するフローチャートを例示する。

【図 5】ある実施形態による、循環エッチ技術の単一サイクルのフローチャートを例示する。

【発明を実施するための形態】

【0009】

金属モリブデンのサブトラクティブエッチングのためのドライエッチング方法の実施形態について本開示で説明する。本開示では、金属モリブデンとは、少量の不純物およびドーパントを含むモリブデンを含む元素モリブデンおよびその合金を指す。金属のサブトラクティブエッチングでは、パターン化されたエッチマスクが金属層の上に形成され、このパターンは、金属を貫通して延びる凹状フィーチャを直接エッチングして金属線のパターンを形成することにより、金属層に転写される。通常、反応性イオンエッチング (RIE) などのドライエッチプロセスが使用される。エッチマスクを形成する前に、金属層は、層間誘電体 (ILD) 層の平坦面の上に均一に形成される。サブトラクティブエッチングによって金属をパターニングした後、別の ILD 層を形成して、凹状フィーチャを充填し、絶縁のために金属線を覆うことができる。従来の銅配線では、パターン化されたエッチマスクを使用して金属線のためのトレンチを ILD 層にエッチングし、金属で過充填する、より複雑なダマシンプログラムが使用される。トレンチ間の誘電体表面の上に堆積されたすべての金属を含む過充填材料は、例えば、化学機械平坦化 (CMP) を使用して除去されて、ILD に嵌め込まれた金属線が形成される。当業者に知られているように、平面の上に金属を堆積させることは、10 nm ~ 20 nm 幅のトレンチをボイドフリー金

10

20

30

40

50

属で充填することよりも単純である。さらに、CMPステップは、高価であるため、製作コストが高くなる。

【0010】

サブトラクティブエッチングによる金属のパターニングは、より単純でそれほど高価でないため、エッチプロセスが適切な製造基準を満たす限り、ダマシンエッチングよりも好ましい。例えば、エッチプロセスは、安定した製造を実現するために、エッチ速度、エッチ選択性、側壁プロファイル、ラインエッジラフネス（LER）および（例えば、ブリッジング欠陥およびラインブレイク欠陥の）欠陥密度の仕様を良好な制御で満たさなければならない。エッチ速度およびエッチ選択性の制御の改善に加えて、いくつかの利点、例えばアンダカットを低減するための横方向のエッチングの抑制、低いLERおよびより垂直なエッジプロファイルを提供する、モリブデンを含む金属層をパターニングするためのドライエッチプロセスについて本開示で説明する。

10

【0011】

ILD層は、通常、酸化シリコンベースの誘電体である。銅は、酸化シリコン中に容易に拡散する汚染物質であるため、トレンチを銅で充填する前に、トレンチの内側を覆う連続的な拡散バリアが必要である。一般に、銅がILD中に漏出し、配線構造の経時絶縁破壊（TDD）寿命を劣化させる可能性のあるエッジおよびコーナーの孔または切れ目がないことを保証するために、十分に厚い（例えば、1.5 nm ~ 3 nm）ライナーが形成される。ライナーは、主に2つの点で金属線の抵抗を増加させ得る。抵抗率の低いコア金属は、より抵抗率の高い金属または絶縁体を含むライナー材料によって置換され得る。加えて、コア金属およびライナーの界面における拡散電子散乱率が高くなると、線路抵抗がさらに増加し得る。エッジに沿った拡散散乱は、電子のバルク平均自由行程（ λ ）が線路の断面寸法よりも長い金属でより支配的である。エッジ効果である、幾何学的効果（断面積の低減）および散乱効果（界面におけるより高い散乱率）により、Wの減少に伴う金属線抵抗は、 $1/W$ よりも急速に上昇する。ここで、Wは、ライナーを含む線幅を指す。例えば、ダマシンプロセスでは、Wは、トレンチ幅になる。これは、実効抵抗率（ R_{eff} ）がWの減少とともに増加することを意味し、本開示で狭幅効果（NWE）と呼ぶ望ましくない現象である。実効抵抗率（ R_{eff} ）は、 $L/(Wt)$ に正規化された線路抵抗であり、ここで、Lは、線の長さであり、tは、金属の厚さである。NWEに起因する（ R_{eff} ）の増加の望ましくない結果は、より大きい抵抗降下（回路スピードの低下）およびより高温でのエレクトロマイグレーション（EM）の加速につながるより多くのジュール加熱を含む。銅は、拡散バリアライナーを必要とするため、強いNWEを呈する。例えば、（ R_{eff} ）は、Wが10 nmに低減されるとき、そのバルク抵抗率（ $\rho = 16.8 \text{ } \mu\Omega\cdot\text{cm}$ ）よりも一桁上昇し得る。

20

30

【0012】

銅線の強いNWEは、銅配線をスケーリングする際の懸念事項であり、少なくとも最も高密度に充填された金属線が配置される下層金属レベルにおいて、銅を適当な金属に置き換えることに関する研究を促進してきた懸念事項である。背景の段落で述べたように、モリブデンは、酸化シリコン中の拡散率が低いため、拡散バリアを必要としない。さらに、 $\rho = 11.2 \text{ } \mu\Omega\cdot\text{cm}$ と短いため、モリブデン線のエッジに沿った拡散散乱は、 $\lambda = 39.9 \text{ nm}$ の銅線のエッジに沿った拡散散乱ほど支配的ではない。幾何学的効果（断面積の低減）は、Wがライナー厚さのほぼ10倍を下回るときに顕著になり、散乱効果（界面におけるより高い散乱率）は、Wが未滿に低減されるときに（ R_{eff} ）に深刻な影響を与える。実際に、異なる金属を比較するとき、NWEの散乱効果成分の大きさの指標として $\rho \times \lambda$ を使用することが多い。測定基準 $\rho \times \lambda$ は、銅の場合、 $670 \text{ } \mu\Omega\cdot\text{cm}^2$ である。比較すると、モリブデンの場合、より高い $\rho \times \lambda = 53.4 \text{ } \mu\Omega\cdot\text{cm}^2$ にもかかわらず、 $\rho \times \lambda$ は、 $600 \text{ } \mu\Omega\cdot\text{cm}^2$ である。したがって、銅と比べてモリブデンではNWEがそれほど深刻ではない。この特性並びに ρ が適度に低いこと、熱膨張係数が低いこと（ $5 \times 10^{-6} / \text{ }^\circ\text{C}$ ）、融点が高いこと（良好なEM信頼性の指標）および酸化シリコンとの界面が安定していることなどの他の魅力的な特性のため、金属モリブデンが銅の代替として検

40

50

討されている。

【0013】

IC設計における最も狭いピッチの配線レベルのため、ダマシン銅を、サブトラクティブエッチングを使用してパターン化されたバリアフリーの金属線に置き換えることは、技術スケーリングの性能、電力、面積およびコスト（PPAC）の目標を満たすために差し迫って必要とされ得るいくつかのアーキテクチャ変更の1つである。上記で解説したように、金属モリブデンは、この目的のために有望である。モリブデン配線をIC製作フローに組み込むには、基板の上に金属モリブデンを含む金属層を形成し、金属層の上にパターン化されたエッチマスクを形成し、金属層を貫通して延びる凹状フィーチャのパターンをエッチングすることにより、金属層にパターンを転写するプロセスが必要である。本開示では、金属モリブデン層を貫通して延びる凹状フィーチャのパターンをエッチングし、下地層の主面の一部を露出させる方法の実施形態について説明する。本方法は、循環処理を採用して、垂直方向に進行するエッチフロントの制御を側壁プロファイルの制御から分離し、プロセス最適化の改善を実現する。例えば、循環プロセスの各サイクルは、側壁保護のための不動態化固体副生成物を堆積させるために最適化されたプロセスパラメータおよびガスのセットを使用する第1の部分と、金属モリブデンを選択的に除去して凹状フィーチャを垂直方向に拡張するために最適化されたプロセスパラメータおよびガスの異なるセットを使用する第2の部分とを含み得る。循環エッチングプロセスの堆積ステップとエッチングステップとを時間的に分離することにより、より広いプロセスウィンドウを提供する最適化の改善が可能になり、製造中にアンダカットおよびフットイング欠陥を無視できる滑らかな垂直側壁を実現することができる。

10

20

【0014】

図1Aは、サブトラクティブエッチングを使用して金属モリブデン層をパターンニングするためのプロセスフロー100を要約するフローチャートを例示する。プロセスフロー100は、金属モリブデンを含む金属線の層が、本開示で説明する実施形態を使用して組み込まれた半導体デバイス110の製作フローの一部であり得る。プロセスフロー100の基本的なプロセスステップについて、図1B～図1Dに概略的に例示する半導体デバイス110の断面図を参照して説明する。

【0015】

図1Aのフローチャートのボックス102に指示されるように、プロセスフロー100は、下地層の上に形成された金属モリブデン層と、金属モリブデン層の上にパターン化されたエッチマスクとを有する基板を提供することを含む。ボックス104では、パターン化されたエッチマスクを通してサブトラクティブエッチプロセスを行って、金属モリブデンを含む金属線のパターンを形成する。サブトラクティブエッチプロセスは、循環エッチプロセスを含む。循環エッチプロセスの各サイクルは、金属モリブデン層の凹状フィーチャ内にエッチング保護層を堆積させることと、金属モリブデンを異方性エッチングすることとを含む。金属線が形成された後、ボックス106に指示されるように、エッチマスクの残存部分を除去することができる。

30

【0016】

図1Bは、図1Aのフローチャートのボックス104に指示されるように、下地層114の上に金属モリブデン層116が形成され、金属モリブデン層116の上にエッチマスク122がパターン化された後の半導体デバイス110の断面図を例示する。下地層114は、誘電体層、例えば低誘電率酸化シリコンを含むILD層またはILD層中の絶縁エッチ停止層を含み得る。金属モリブデン層116は、プラズマ強化化学蒸着（PECVD）などの適当な膜成長技術を使用して形成され得る。金属モリブデン層116を形成する前に、下地層114上に薄い接着層（図示せず）（例えば、TiNまたはTa₂N₅）を任意選択で堆積させ得る。接着を促進することに加えて、接着層は、膜成長中に金属モリブデン層116の形態を改善するのに役立ち得る。下地層114の下のような他の層は、集合的に基板層112として示されている。

40

【0017】

50

エッチマスク 122 は、凹状フィーチャの第 1 のパターンであり、各凹状フィーチャ 124 は、垂直側壁と、金属モリブデン層 116 の主面の一部を露出させる底部とを有する。図 1 B の例示的实施形態では、エッチマスク 122 は、パターン化されたハードマスク層 118 と、パターン化されたフォトレジスト層 120 とを含む。パターン化されたハードマスク層 118 は、金属モリブデン層 116 の上にハードマスク材料を堆積させ、その後、パターン化されたフォトレジスト層 120 をエッチマスクとして使用して、ハードマスク材料をエッチングすることによって形成することができる。パターン化されたフォトレジスト層 120 は、極紫外線 (EUV) リソグラフィなどの適当なリソグラフィ技術を使用して形成することができる。パターン化されたフォトレジスト層の最小ハーフピッチ (限界寸法) は、約 5 nm ~ 約 15 nm であり得る。ハードマスク材料の例としては、酸化シリコン、窒化シリコン、窒化チタンなど、または複数の層の組み合わせが挙げられる。他のいくつかの実施形態では、パターン化されたハードマスク層 118 は、エッチマスク 122 から省略され得る。

10

【0018】

図 1 C では、パターン化されたエッチマスク 122 を通してサブトラクティブエッチプロセスを行い、金属モリブデン層 116 を異方的に除去して、図 1 B の凹状フィーチャ 124 をさらに拡張して凹状フィーチャの第 2 のパターンを形成し、各凹状フィーチャ 126 は、垂直側壁と、下地層 114 の主面の一部を露出させる底部とを有する。エッチ化学作用の選択性に依じて、図 1 C に例示するように、エッチマスク 122 の特定の部分が侵食される。上記のように、本開示で説明するエッチプロセスの実施形態は、図 1 C に概略的に例示する垂直側壁を実現するために循環処理を採用する。循環エッチプロセスの各サイクルでは、処理は、側壁不動態化ステップと、金属モリブデンを垂直に除去するエッチングステップとの間で切り替わる。金属モリブデンをエッチングするためのこの方法のいくつかの異なる実施形態について、以下でさらに詳細に説明する。金属厚さは、約 50 nm ~ 約 200 nm であり、パターンの最小ハーフピッチは、約 5 nm ~ 約 15 nm であるため、凹状フィーチャ 126 の縦横比は、プロセスを製造可能にするために側壁プロファイルを良好に制御しなければならない範囲にある。

20

【0019】

図 1 D に例示するように、サブトラクティブエッチプロセスを完了した後、エッチマスク 122 の残留部分を除去することができる。一般に、カバー層 128、例えば別の ILD 層は、パターン化された金属モリブデン層 116 の上に形成され、金属線を覆い、線間の空間を充填する。

30

【0020】

図 2 A および図 2 B は、図 1 C を参照して説明したエッチステップ中に金属モリブデン層 116 の凹状フィーチャ 126 をエッチングするために使用される異方性ドライエッチプロセス (例えば、従来の RIE プロセス) の不十分なプロセスウィンドウの結果として生じる望ましくないエッチング特性および欠陥を示す。

【0021】

一般に、基板は、処理チャンパ内でプラズマに曝露され、ハロゲン (例えば、塩素またはフッ素) ベースの化学物質がモリブデンをエッチングするために利用される。プラズマによって励起されたハロゲンラジカルがモリブデンと反応して、チャンパから排出され得る揮発性副生成物を形成する。従来の RIE プロセスでは、基板にバイアス信号 (例えば、DC バイアスまたは無線周波 (RF) バイアス) を印加し、ハロゲンに加えて炭素、水素および酸素などの元素を含有するプラズマ励起ガス状混合物を使用して、固体副生成物 (例えば、酸化物およびポリマー) を形成する化学反応を起こすことによって異方性が実現される。固体副生成物は、凹状フィーチャの側壁を保護するために垂直面に選択的に堆積され、これは、側壁不動態化と呼ばれる技術である。不動態化層は、プラズマによって励起され、バイアス信号によって垂直に向けられた高エネルギーイオン (例えば、アルゴンイオン) を用いて凹状フィーチャの床部から固体副生成物をスパッタリングで除去することにより、側壁に選択的に形成される。加えて、表面にイオンを衝突させることがモリ

40

50

ブデン原子間の結合を切断し、したがってハロゲンラジカルとの結合を促進することにより、そこでの反応速度を高める。したがって、垂直方向のエッチ速度が底面におけるイオン衝撃によって高まる一方、横方向のエッチ速度は側壁不動態化によって遅延する。

【 0 0 2 2 】

安定した製造のために十分に広いプロセスウィンドウを提供するために、不動態化速度と除去速度との間で微妙なバランスを取らなければならない。横方向の寸法を積極的にスケールアップすると、凹状フィーチャ 1 2 6 の上部開口部が小さくなり、凹状フィーチャ 1 2 6 の縦横比が高くなる。したがって、従来の R I E 法では、十分に広いプロセスウィンドウを開くことが一層困難になる。図 2 A は、リーンハロゲン化学物質を使用したときに金属モリブデン層に形成されるアンダカットまたは横方向のエッチの例を例示する。リーンハロゲン化学物質とは、相対的なハロゲン含有量が増加するため、除去が多くなり、不動態化が少なくなるガス状混合物を指す。図 2 A に概略的に例示するように、側壁不動態化が不十分であるため、横方向のエッチングが過剰となっている。横方向のエッチングと狭い線幅 t の組み合わせは、ラインブレイク欠陥を起こすことさえある。図 2 B は、側壁に固体副生成物の保護層を堆積させることによって側壁不動態化を促進するようにエッチ化学物質を調節したとき、テーパ状の側壁プロファイルおよび底部フットイング欠陥が形成される異なる例を例示する。図 2 B に例示する例では、フットイングは、ブリッジング欠陥を引き起こすほど深刻である。

10

【 0 0 2 3 】

さらに、劣悪な側壁プロファイル制御が不十分であると、側壁に沿った表面の粗さが増加することに留意されたい。これは、リソグラフィプロセスによって導入されたパターン化されたエッチマスク 1 2 2 の線の L E R を越えて、エッチングされたパターンの金属線の L E R を悪化させる。線路抵抗は、線幅 (W) に依存するため、L E R が増加すると、抵抗率が固定であっても、短い金属線の抵抗の分散および平均値が増加する。N M E、すなわち $\frac{L E R}{W}$ では、線抵抗に対する L E R の効果が悪化する。加えて、L E R の高周波成分 (すなわち約 1 nm 以下のワイヤ長にわたる粗さ) は、反射角が入射角と等しい鏡面エッジ散乱とは対照的に、入射角と関係なくランダムな角度で電子を反射することにより、拡散エッジ散乱を増加させる。鏡面散乱は、電流の流れの方向に電子の運動量を保存するのに対して、拡散散乱は、運動量をランダム化し、それは、 $\frac{L E R}{W}$ を増加させ、それにより不必要に N W E が増加する。以下に説明する本発明の実施形態は、側壁不動態化および材料除去を調節する際により大きい柔軟性を提供し、そのため、側壁プロファイルおよび側壁プロファイル制御が改善される。

20

30

【 0 0 2 4 】

ガスパルス循環エッチ技術 3 0 0 を使用してプロセスフロー 1 0 0 を実施する一実施形態について、図 3 A ~ 図 3 F を参照して説明する。図 3 A は、ガスパルス循環エッチ技術 3 0 0 を要約するフローチャートを例示し、図 3 B ~ 図 3 F は、ガスパルス循環エッチ技術 3 0 0 を使用して金属モリブデン層をパターンニングする様々な中間段階における半導体デバイス 3 2 0 の様々な断面図を例示する。

【 0 0 2 5 】

図 3 A に例示するフローチャートのボックス 3 0 2 に指示され、図 3 B の半導体デバイス 3 2 0 の断面図に示されるように、ガスパルス循環エッチ技術 3 0 0 は、図 1 B を参照して上述した基板と同様の入来基板を受け入れる。基板は、下地層 3 2 4 を含み、下地層 3 2 4 の上に金属モリブデン層 3 2 6 が形成される。パターン化されたエッチマスク 3 2 2 が金属モリブデン層 3 2 6 の上に形成される。このパターンは、各凹状フィーチャの床部として金属モリブデン層 3 2 6 の露出面を有する凹状フィーチャ 3 3 4 を含む。一実施形態では、パターン化されたエッチマスク 3 2 2 は、パターン化されたフォトレジスト層 3 3 0 と、ハードマスク層 3 2 8、例えばオルトケイ酸テトラエチル (T E O S) ハードマスク層 3 2 8 とを含む。ハードマスク層 3 2 8 は、フォトレジスト層 3 3 0 をマスクング層として使用してパターン化される。他のいくつかの実施形態では、パターン化されたフォトレジスト層 3 3 0 は、ハードマスク層 3 2 8 をパターンニングするプロセス中に除去

40

50

されたため、入来基板上に存在しない場合がある。

【0026】

いくつかの実施形態では、ガスパルス循環エッチ技術300は、図3Cに例示する半導体デバイス320の断面図に見られるように、金属モリブデン層326の一部を異方性エッチングして凹状フィーチャ334を拡張し、拡張凹状フィーチャ336を形成する初期エッチングステップ(図3Aのボックス304)を含む。初期エッチステップ(ボックス304)が拡張凹状フィーチャ336の形成を完了した後、ガスパルス循環エッチ技術300におけるガスパルスサイクルを行うことができる。

【0027】

図3Aのフローチャートに例示するように、各ガスパルスサイクル312は、2つの部分を含む。第1の部分は、堆積ステップ(ボックス306および図3D)であり、第2の部分は、エッチステップ(ボックス310および図3F)である。ある実施形態では、ガスパルス循環エッチ技術300は、ボックス306の堆積ステップとボックス310のエッチステップとの間に挿入される任意選択のブレイクスルーエッチステップ(ボックス308および図3E)を有し、拡張凹状フィーチャ336の床部の上に堆積された材料の垂直下方にモリブデン表面を露出させることができる。

10

【0028】

ガスパルス循環エッチ技術300の堆積ステップ(図3A - ボックス306および図3D)中、基板は、プラズマ励起成膜ガスに曝露される。図3Dの半導体デバイス320の断面図に例示するように、プラズマ励起成膜ガスへの曝露により、凹状フィーチャ336の側壁および床部に沿ってエッチング保護層340が形成される。ガスパルス循環エッチ技術300のボックス306の堆積ステップに使用されるプラズマプロセスパラメータおよびガスのセットは、側壁保護のための不動態化固体副生成物を堆積させるために最適化することができる。

20

【0029】

いくつかの実施形態では、成膜ガスは、炭素原子とフッ素原子との比が1/4より大きく且つ1以下であるフルオロカーボン(C_xF_y)またはハイドロフルオロカーボン($C_xH_yF_z$)を含む。成膜ガスであり得るフルオロカーボンの非限定的な例としては、 C_2F_4 、 C_2F_6 、 C_4F_8 および C_4F_6 が挙げられる。成膜ガスであり得るハイドロフルオロカーボンの非限定的な例としては、 CHF_3 、 CH_2F_2 および CH_3F が挙げられる。成膜ガスに含まれ得る追加のガスは、 H_2 、 O_2 および希釈不活性ガス(例えば、アルゴン、ヘリウムまたは窒素)である。プラズマプロセスパラメータは、約30 mTorr ~ 約300 mTorrのチャンバ圧力、約25 MHz ~ 約60 MHzの周波数で約50 W ~ 約800 WのRFソース電力および約0.1 kHz ~ 約100 kHzの周波数で約0 W (RFバイアスなし) ~ 約100 WのパルスRFバイアス電力を含む。基板温度は、約0 ~ 約60 に制御される。これらの実施形態では、形成されたエッチング保護層340(図3Dに示す)は、C原子およびH原子を含む有機膜、例えば CH_3F プラズマ解離から生成される化学種の堆積から生じる有機膜である。

30

【0030】

他のある実施形態では、成膜ガスは、硫黄含有ガス、例えば二酸化硫黄(SO_2)、硫化カルボニル(COS)などを含む。様々な実施形態では、成膜ガスは、 SO_2 または COS 、すなわち SO_2 若しくは COS のいずれかのみまたは SO_2 と COS の両方を含む。成膜ガスに含まれ得る追加のガスは、 H_2 、 O_2 および希釈不活性ガス(例えば、アルゴン、ヘリウムまたは窒素)である。プラズマプロセスパラメータは、約30 mTorr ~ 約300 mTorrのチャンバ圧力、約25 MHz ~ 約60 MHzの周波数で約50 W ~ 約800 WのRFソース電力および約0.1 kHz ~ 約100 kHzの周波数で約0 W (RFバイアスなし) ~ 約100 WのパルスRFバイアス電力を含む。基板温度は、約0 ~ 約60 に制御される。この実施形態では、形成されたエッチング保護層340(図3Dに示す)は、 SO_2/O_2 または SO_2/H_2 プラズマ解離から生成される化学種の堆積から生じる、スルホン酸基および硫酸塩など、硫化物または高度に酸化された硫黄を

40

50

含む基であり得る。

【0031】

様々な実施形態では、エッチング保護層340の堆積厚さは、材料の約1単層の厚さと約数単層の厚さとの間であり得る。換言すれば、厚さ範囲は、約0.3nm~約2nmであり得る。

【0032】

エッチステップ(図3A-ボックス310および図3F)中、基板は、プラズマ励起エッチングガスに曝露される。一般に、金属モリブデンを選択的に除去して凹状フィーチャを垂直方向に拡張するために、リンハロゲン化学物質、塩素ベースまたはフッ素ベースの化学物質のいずれかが使用される。例えば、図3Fに例示するように、凹状フィーチャ336をさらに拡張して凹状フィーチャ342を形成する。エッチングガスであり得るフッ素を含むガスの非限定的な例としては、 F_2 、 CF_4 、 NF_3 および SF_6 が挙げられる。エッチングガスであり得る塩素を含むガスの非限定的な例としては、 Cl_2 、 CCl_4 および BCl_3 が挙げられる。いくつかの実施形態では、ガス状混合物は、酸素も含み得る。いくつかの実施形態では、ガス状混合物は、アルゴンなどの不活性ガスをさらに含む得る。金属モリブデンは、異方的に除去され、除去は、水平面の上から優先的に起こる。異方性は、基板に垂直バイアス信号を印加し、垂直側壁に不動態化エッチング保護層を堆積させることによって実現される。上記で解説したように、バイアスは、イオン(例えば、アルゴンイオン)を垂直方向に加速し、モリブデン原子と衝突する。この衝突により、凹状フィーチャ、例えば凹状フィーチャ342の底面におけるエッチ速度が高まる。RFバイアス信号は、DC、またはRF、またはパルスRF信号であり得る。いくつかの実施形態では、約0.1kHz~約100kHzの周波数で約300W~約1200WのパルスRFバイアス電力が使用され得る。他のプラズマプロセスパラメータは、約5mTorr~約100mTorrのチャンバ圧力および約25MHz~約60MHzの周波数で約100W~約800WのRFソース電力を含む。基板温度は、約0~約60に制御される。

【0033】

初期エッチステップ(ボックス304および図3C)は、ガスパルスサイクル312中に使用されるエッチステップ(ボックス310)のプロセスと同様のプロセスを使用して実行され得る。初期エッチステップは、例えば、 Cl_2 などの炭素を含まないプラズマ励起エッチングガスを使用する非堆積ステップである。

【0034】

図3Dの断面図に例示するように、拡張凹状フィーチャ336の床部は、エッチング保護層340を形成するために堆積された固体副生成物によって覆われる。図3A~図3Fを参照して説明したガスパルス循環エッチ技術300の例示的实施形態では、任意選択のブレイクスルーエッチステップ(ボックス308および図3E)は、ボックス306の堆積ステップとボックス310のエッチステップとの間に挿入されて(図3Aのフローチャートを参照されたい)、凹状フィーチャ336の垂直下方にモリブデン表面を露出させる。

【0035】

図3Eでは、任意選択のブレイクスルーエッチステップ(ボックス308)が行われて、金属モリブデン層326の表面の一部が再び環境に曝露される。この例示的实施形態では、ボックス308のブレイクスルーエッチは、例えば、高エネルギーアルゴンイオンを使用するスパッタエッチプロセスである。一般に、イオンは、プラズマシース内の垂直電界によって加速され、それは、パルスRFバイアス信号などのバイアス信号を印加することによって増強され得る。ある実施形態では、約0.1kHz~約100kHzの周波数で約50W~約1200WのパルスRFバイアス電力が基板に印加され得る。

【0036】

例示的实施形態は、任意選択のブレイクスルーエッチステップ(ボックス308)を使用して、凹状フィーチャ336の底部で水平面の上に形成されたエッチング保護層340

10

20

30

40

50

の部分除去するが、他のある実施形態では、各ガスパルスサイクル 3 1 2 のボックス 3 1 0 のエッチステップのプラズマパラメータは、エッチング保護層 3 4 0 を突破するように調節され得る。例えば、水平面からエッチング保護層 3 4 0 を除去するのに役立つように、RF バイアス電力とともに酸素含有量を増加させ得る。エッチング保護層 3 4 0 内の有機ポリマーの一部は、酸素ラジカルによって酸化され得ることに留意されたい。したがって、酸素が側壁に沿った表面の一部からエッチング保護層 3 4 0 をアッシングし、その結果、側壁プロファイルの制御が失われるのを防ぐように注意しなければならない。凹状フィーチャ 3 3 6 の底部を覆うエッチング保護層 3 4 0 が除去されると、ボックス 3 1 0 のエッチステップは、凹状フィーチャ 3 3 6 をさらに下方に拡張して図 3 F の凹状フィーチャ 3 4 2 を形成するように続行することができる。

10

【 0 0 3 7 】

ガスパルス循環エッチ技術 3 0 0 の上記の説明では、各ガスパルスサイクル 3 1 2 の様々なステップ、すなわちボックス 3 0 6 の堆積ステップおよびボックス 3 1 0 のエッチステップは、時間的に区別可能である。2 つのステップを時間的に分離することは、プロセスの不動態化部分および材料除去部分のプロセスパラメータを独立して最適化する利点を提供するだけでなく、エッチングされた金属モリブデン層の新しく形成された側壁部分を不動態化する新しいエッチング保護層を有し、それにより各サイクル中に改善された垂直エッチプロファイルを提供する利点も提供する。

【 0 0 3 8 】

いくつかの実施形態では、ガスパルスサイクル 3 1 2 の数は、プロセスレシピにおける所定の固定数であり得る。他のいくつかの実施形態では、処理は、下地層 3 2 4 が露出されたことを指示するエンドポイント信号が受信された後、プロセスコントローラによって終了され得る。いくつかの実施形態では、ガスパルス循環エッチ技術 3 0 0 が実行された後にオーバーエッチステップが行われ得る。

20

【 0 0 3 9 】

プロセスフロー 1 0 0 を実施する別の実施形態では、堆積 - エッチ循環エッチ技術が原子層堆積 (ALD) プロセスを使用してエッチング保護層を形成する。ALD ベースの循環エッチ技術 4 0 0 は、図 4 に例示するフローチャートに要約されている。ALD ベースの循環エッチ技術 4 0 0 は、ガスパルス循環エッチ技術 3 0 0 と同様であるが、エッチング保護層を形成する方法が異なる。加えて、任意選択のブレイクスルーエッチステップは、ALD ベースの循環エッチ技術 4 0 0 において任意選択ではない。これらの変更は、図 4 のフローチャートに太字で指示されている。

30

【 0 0 4 0 】

エッチング保護層は、ALD ベースの循環エッチ技術 4 0 0 の各堆積 - エッチサイクル 4 1 2 の堆積ステップ (ボックス 4 0 6) において ALD 技術を使用して形成される。エッチング保護層は、ハロゲンラジカル (例えば、塩素ラジカルおよびフッ素ラジカル) を含有するプラズマに対して高いエッチ耐性を有する酸化物を含む薄い酸化物層である。一例では、酸化物層は、酸化シリコン (SiO_2) を含む。当業者に知られているように、ALD 技術では、堆積反応が 2 つの自己制限的半反応として行われる。一例では、酸化シリコン層は、プラズマ励起の有無にかかわらず、基板をシリコン前駆体 (例えば、 SiCl_4 または SiF_4) に曝露し、続いて酸化剤 (例えば、プラズマ励起酸素ガス) に曝露することによって堆積させることができる。

40

【 0 0 4 1 】

エッチング保護層は、金属モリブデン層の水平面を含む、基板の露出面全体にわたってコンフォーマルに形成することができる。したがって、ブレイクスルーエッチステップ (ボックス 4 0 8) は、任意選択のステップとすることができない。ALD ベースの循環エッチ技術 4 0 0 の他のステップは、図 3 A ~ 図 3 F を参照してガスパルス循環エッチ技術 3 0 0 に関連して上述した。

【 0 0 4 2 】

上述した循環エッチ技術における堆積ステップおよびエッチステップは、別個の処理チ

50

チャンバで行うこともできるが、そのようなプロセスは、時間がかかり、高価である。本開示の実施形態では、循環エッチ技術、すなわちガスパルス循環エッチ技術 300 および ALD ベースの循環エッチ技術 400 は、プロセスフローに組み込まれた適切なチャンバ調整ステップを用いて単一の処理チャンバで行うことができる。

【0043】

図 5 は、(ガスパルス循環エッチ技術 300 の) ガスパルスサイクル 312 および (ALD ベースの循環エッチ技術 400 の) 堆積 - エッチサイクル 412 などの循環エッチプロセスの 1 サイクル 500 のフローチャートを例示する。各サイクル 500 は、時間的に分離された堆積ステップ 502 およびエッチステップ 508 を有する。処理の変動を低減するために、堆積ステップ 502 およびエッチステップ 508 は、プロセスコントローラによって決定される電力安定化期間およびガス流安定化期間を含む。図 5 のフローチャートに例示するように、プロセスに誘発される変動をさらに低減するために、他のいくつかの措置を講じることができる。各堆積ステップ 502 を行った後にガスパージステップ 504 を行って、汚染物質およびガス状反応副生成物を完全に除去することができる。同じく、各エッチステップ 508 を行った後に別のガスパージステップ 510 を行うことができる。いくつかの実施形態では、エッチステップ 508 が行われるたびに処理チャンバの初期状態が同一であることを保証するために、エッチステップ 508 前にチャンバプレコートステップ 506 を行うことができる。チャンバプレコートステップは、処理チャンバの壁にコーティングを堆積させる。コーティングは、プラズマプロセスを使用して堆積されたシリコン、酸化物 (例えば、酸化シリコン) または炭素を含み得る。チャンバプレコートステップ 506 は、チャック上への堆積を回避するためにチャック (基板ホルダ) を覆うウェーハを用いて行われる。例えば、チャンバプレコートステップ 506 前にチャック上にブランクウェーハを配置し得る。これらの追加の予防措置は、金属モリブデンを大量の IC 製造に組み込むために必要な厳しいプロセス制御仕様を満たすのに役立つ。

【0044】

上記のように、不動態化部分を材料除去部分から分離することにより、金属モリブデンをパターニングするための循環エッチプロセスの説明した実施形態を使用することにより、いくつかの利点を得ることができる。その利点には、アンダカットの低減、低い LER、垂直なエッジプロファイル並びにエッチ速度およびエッチ選択性の良好な制御が含まれる。それでもなお、本開示で説明する方法は、堆積とエッチングとの間の部分的な時間的重複を可能にすることが理解される (ガスパルスサイクル 312 がボックス 308 の任意選択のブレイクスルーエッチステップを含む実施形態では、エッチングは、ボックス 308 のブレイクスルーエッチステップを指す)。

【0045】

ここで、本発明の例示の実施形態を要約する。他の実施形態も、本明細書の全体および本明細書で出願される特許請求の範囲から理解され得る。

【0046】

例 1 . 基板処理方法であって、凹状フィーチャにおいて金属モリブデン層の上にエッチマスクを含む基板を提供することと、凹状フィーチャの側壁にエッチング保護層を形成するプラズマ励起成膜ガスに基板を曝露することと、エッチマスクに従って金属モリブデン層をエッチングするプラズマ励起エッチングガスに基板を曝露することとを含み、これらの曝露するステップは、交互に複数回行われる、基板処理方法。

【0047】

例 2 . プラズマ励起成膜ガスは、フルオロカーボン ($C_x F_y$) またはハイドロフルオロカーボン ($C_x H_y F_z$) を含み、炭素原子とフッ素原子との比は、 $1/4$ より大きく且つ 1 以下である、例 1 に記載の方法。

【0048】

例 3 . プラズマ励起成膜ガスは、硫黄含有ガスを含む、例 1 または 2 のいずれか 1 つに記載の方法。

【0049】

10

20

30

40

50

例 4 . 硫黄含有ガスは、 SO_2 または COS ガスを含む、例 1 ~ 3 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 5 0 】

例 5 . プラズマ励起エッチングガスは、ハロゲン含有ガスを含む、例 1 ~ 4 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 5 1 】

例 6 . ハロゲン含有ガスは、 F_2 、 CF_4 、 NF_3 、 SF_6 、 Cl_2 、 CCl_4 または BCl_3 ガスを含む、例 1 ~ 5 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 5 2 】

例 7 . プラズマ励起エッチングガスは、酸素含有ガスをさらに含む、例 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載の方法。 10

【 0 0 5 3 】

例 8 . プラズマ励起エッチングガスは、アルゴンガスをさらに含む、例 1 ~ 7 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 5 4 】

例 9 . 凹状フィーチャの底部でエッチング保護層を貫通してエッチングするブレイクスルーエッチングステップを行うことをさらに含む、例 1 ~ 8 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 5 5 】

例 10 . 基板をプラズマ励起エッチングガスに曝露することは、基板にバイアス信号を印加することをさらに含む、例 1 ~ 9 のいずれか 1 つに記載の方法。 20

【 0 0 5 6 】

例 11 . 基板処理方法であって、凹状フィーチャにおいて金属モリブデン層の上にエッチマスクを含む基板を提供することと、凹状フィーチャ内にエッチング保護層を堆積させることであって、エッチング保護層は、酸化物層を含む、堆積させることと、凹状フィーチャの底部でエッチング保護層を貫通してエッチングするブレイクスルーエッチングステップを行うことと、エッチマスクに従って金属モリブデン層をエッチングするプラズマ励起エッチングガスに基板を曝露することを含む基板処理方法。

【 0 0 5 7 】

例 12 . エッチング保護層を堆積させることは、基板をシリコン含有前駆体および酸化剤に曝露して、酸化シリコン層を形成することを含む、例 11 に記載の方法。 30

【 0 0 5 8 】

例 13 . エッチング保護層を堆積させることは、基板をシリコン含有前駆体および酸化剤に交互に曝露して、酸化シリコン層を形成することを含む、例 11 または 12 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 5 9 】

例 14 . プラズマ励起エッチングガスは、ハロゲン含有ガスを含む、例 11 ~ 13 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 6 0 】

例 15 . ハロゲン含有ガスは、 F_2 、 CF_4 、 NF_3 、 SF_6 、 Cl_2 、 CCl_4 または BCl_3 ガスを含む、例 11 ~ 14 のいずれか 1 つに記載の方法。 40

【 0 0 6 1 】

例 16 . プラズマ励起エッチングガスは、酸素含有ガスをさらに含む、例 11 ~ 15 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 6 2 】

例 17 . 基板処理方法であって、凹状フィーチャにおいて金属モリブデン層の上にエッチマスクを含む基板を提供することと、エッチマスクの側壁にエッチング保護層を堆積させることであって、エッチング保護層は、酸化物層を含む、堆積させることと、エッチマスクに従って金属モリブデン層をエッチングするプラズマ励起エッチングガスに基板を曝露することとを含み、堆積および曝露は、交互に複数回行われる、基板処理方法。 50

【 0 0 6 3 】

例 1 8 . 基板をプラズマ励起エッチングガスに曝露することは、基板にバイアス信号を印加することをさらに含む、例 1 7 に記載の方法。

【 0 0 6 4 】

例 1 9 . エッチング保護層を堆積させることは、基板をシリコン含有前駆体および酸化剤に曝露して、酸化シリコン層を形成することを含む、例 1 7 または 1 8 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 6 5 】

例 2 0 . エッチング保護層を堆積させることは、基板をシリコン含有前駆体および酸化剤に交互に曝露して、酸化シリコン層を形成することを含む、例 1 7 ~ 1 9 のいずれか 1 つに記載の方法。

10

【 0 0 6 6 】

例 2 1 . プラズマ励起エッチングガスは、ハロゲン含有ガスを含む、例 1 7 ~ 2 0 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 6 7 】

例 2 2 . ハロゲン含有ガスは、 F_2 、 CF_4 、 NF_3 、 SF_6 、 Cl_2 、 CCl_4 または BCl_3 ガスを含む、例 1 7 ~ 2 1 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 6 8 】

例 2 3 . プラズマ励起エッチングガスは、酸素含有ガスをさらに含む、例 1 7 ~ 2 2 のいずれか 1 つに記載の方法。

20

【 0 0 6 9 】

例 2 4 . 凹状フィーチャの底部でエッチング保護層を貫通してエッチングするブレイクスルーエッチングステップを行うことをさらに含む、例 1 7 ~ 2 3 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 7 0 】

例 2 5 . 堆積および曝露は、両方とも処理チャンバ内で行われ、方法は、堆積後且つ曝露前に、チャンバプレコートステップを行うことをさらに含み、チャンバプレコートステップは、処理チャンバの壁にコーティングを堆積させる、例 1 7 ~ 2 4 のいずれか 1 つに記載の方法。

【 0 0 7 1 】

30

本発明について、例示的な実施形態を参照して説明したが、本明細書は、限定的な意味で解釈されることを意図しない。例示的な実施形態の様々な修正形態および組み合わせ並びに本発明の他の実施形態は、本明細書を参照することで当業者に明らかになるであろう。したがって、添付の特許請求の範囲は、そのようなあらゆる修正形態または実施形態を包含することを意図する。

40

50

【 図 面 】

【 図 1 A 】

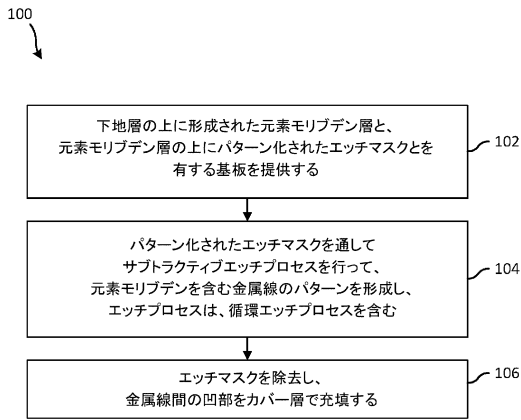


図 1A

【 図 1 B 】

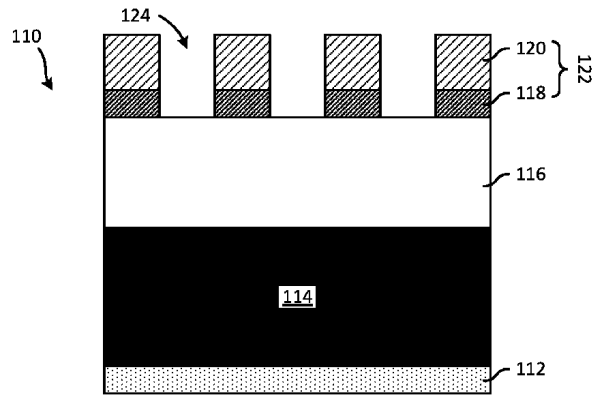


FIGURE 1B

10

20

【 図 1 C 】

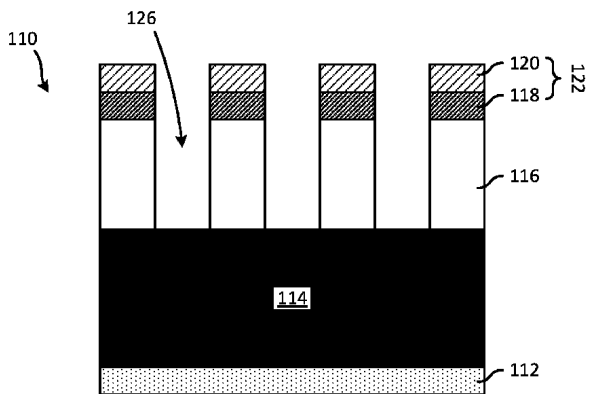


FIGURE 1C

【 図 1 D 】

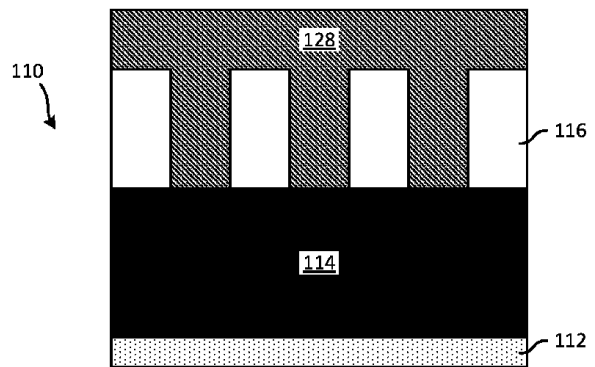


FIGURE 1D

30

40

50

【 図 2 A 】

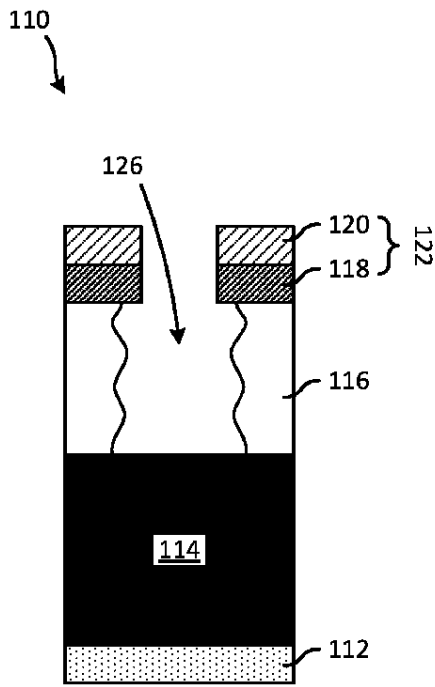


FIGURE 2A

【 図 2 B 】

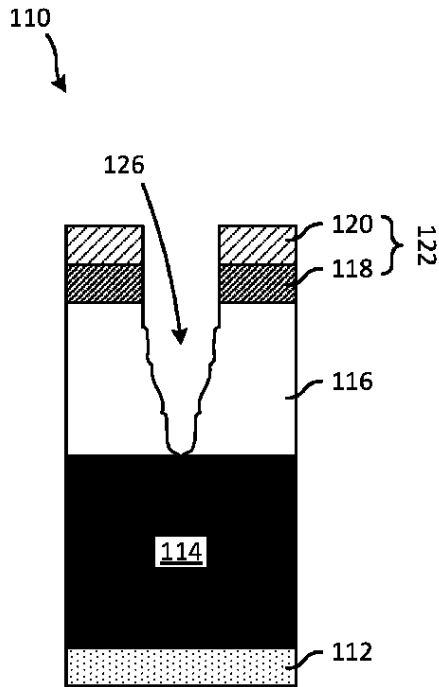


FIGURE 2B

10

20

【 図 3 A 】

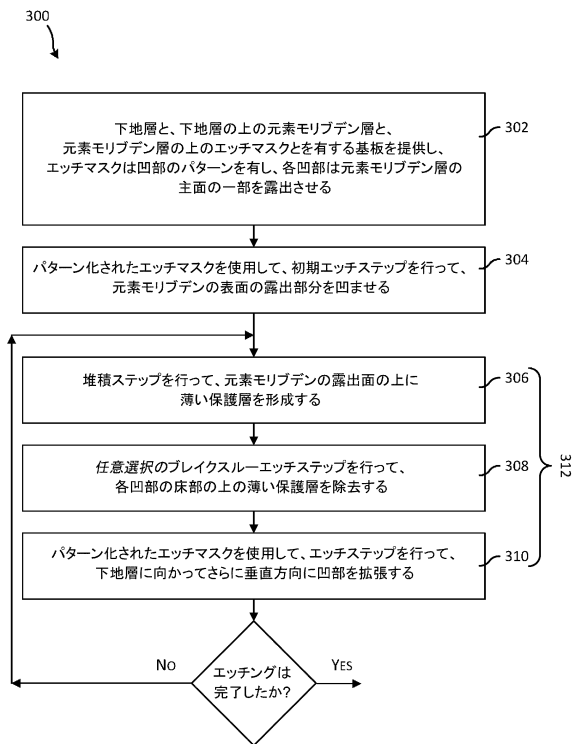


図 3A

【 図 3 B 】

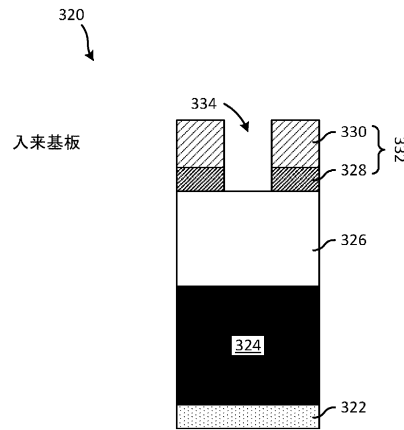


図 3B

30

40

50

【 図 3 C 】

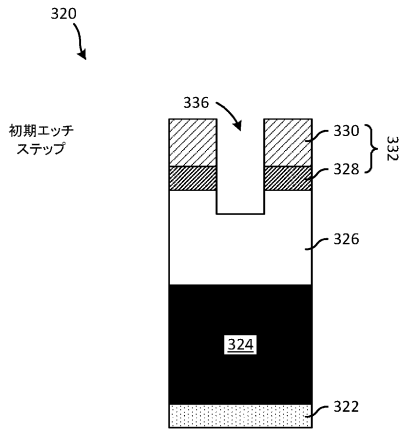


図 3C

【 図 3 D 】

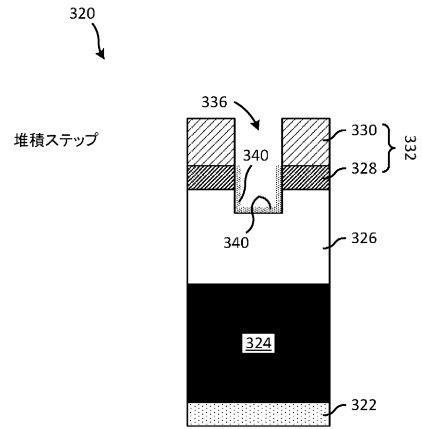


図 3D

10

20

【 図 3 E 】

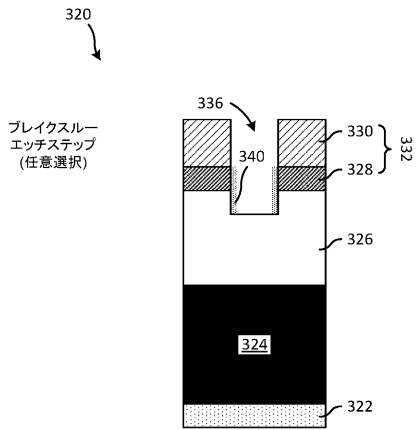


図 3E

【 図 3 F 】

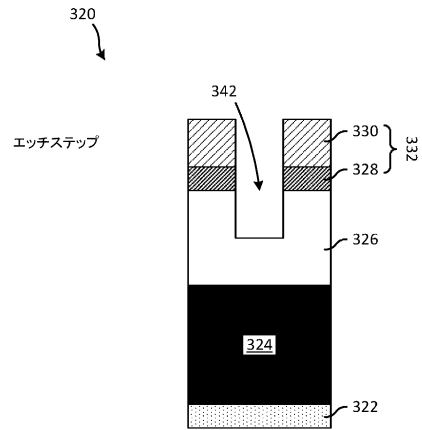


図 3F

30

40

50

【 図 4 】

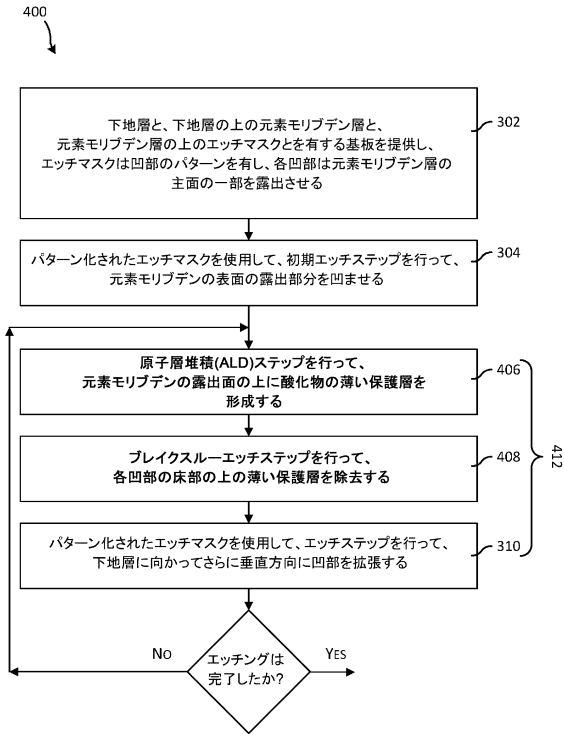


図 4

【 図 5 】

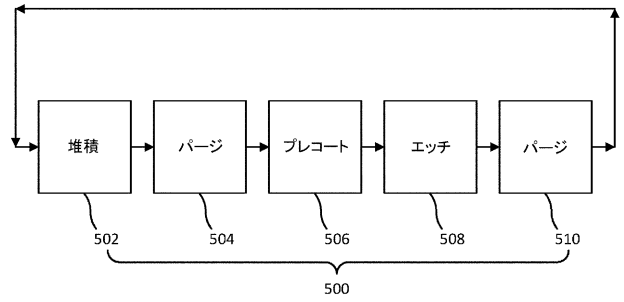


図 5

10

20

30

40

50

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US2022/052015

| | | |
|--|--|--|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H01L 21/3213(2006.01)i | | |
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC | | |
| B. FIELDS SEARCHED | | |
| Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L 21/3213(2006.01); B81C 1/00(2006.01); H01L 21/02(2006.01); H01L 21/311(2006.01); H01L 21/3205(2006.01); H01L 27/11582(2017.01) | | |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models | | |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS(KIPO internal) & Keywords: molybdenum, plasma, etching, protection, sidewall | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| A | CN 102417156 A (PEKING UNIVERSITY) 18 April 2012 (2012-04-18) claim 1 | 1-20 |
| A | US 2021-0242032 A1 (LAM RESEARCH CORPORATION) 05 August 2021 (2021-08-05) claim 1 | 1-20 |
| A | US 2019-0080903 A1 (LAM RESEARCH CORPORATION) 14 March 2019 (2019-03-14) the entire document | 1-20 |
| A | US 2018-0182777 A1 (APPLIED MATERIALS, INC.) 28 June 2018 (2018-06-28) the entire document | 1-20 |
| A | WO 2021-178399 A1 (LAM RESEARCH CORPORATION) 10 September 2021 (2021-09-10) the entire document | 1-20 |
| <input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex. | | |
| * Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “D” document cited by the applicant in the international application “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art “&” document member of the same patent family | | |
| Date of the actual completion of the international search 24 April 2023 | | Date of mailing of the international search report 24 April 2023 |
| Name and mailing address of the ISA/KR Korean Intellectual Property Office 189 Cheongsu-ro, Seo-gu, Daejeon 35208, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-481-8578 | | Authorized officer KIM, Yeon Kyung Telephone No. +82-42-481-3325 |

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2022)

10

20

30

40

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/US2022/052015

| Patent document cited in search report | | | Publication date (day/month/year) | Patent family member(s) | | | Publication date (day/month/year) |
|--|--------------|----|-----------------------------------|-------------------------|-----------------|----|-----------------------------------|
| CN | 102417156 | A | 18 April 2012 | CN | 102417156 | B | 04 February 2015 |
| US | 2021-0242032 | A1 | 05 August 2021 | CN | 112640064 | A | 09 April 2021 |
| | | | | JP | 2021-534589 | A | 09 December 2021 |
| | | | | KR | 10-2021-0036992 | A | 05 April 2021 |
| | | | | WO | 2020-041213 | A1 | 27 February 2020 |
| US | 2019-0080903 | A1 | 14 March 2019 | CN | 111344857 | A | 26 June 2020 |
| | | | | JP | 2020-535633 | A | 03 December 2020 |
| | | | | JP | 7232823 | B2 | 03 March 2023 |
| | | | | KR | 10-2020-0042542 | A | 23 April 2020 |
| | | | | SG | 11202002271 | A | 29 April 2020 |
| | | | | TW | 201931520 | A | 01 August 2019 |
| | | | | US | 10269559 | B2 | 23 April 2019 |
| | | | | US | 10658172 | B2 | 19 May 2020 |
| | | | | US | 2019-0206677 | A1 | 04 July 2019 |
| | | | | WO | 2019-055317 | A1 | 21 March 2019 |
| US | 2018-0182777 | A1 | 28 June 2018 | US | 10692880 | B2 | 23 June 2020 |
| WO | 2021-178399 | A1 | 10 September 2021 | CN | 115244666 | A | 25 October 2022 |
| | | | | KR | 10-2022-0149611 | A | 08 November 2022 |
| | | | | TW | 202147431 | A | 16 December 2021 |

10

20

30

40

50

フロントページの続き

MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,N
E,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,
CV,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,I
T,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,
MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,
SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

03 オールバニー フラワー ロード 255 スイート 300 ナノファブ 300 サウス

(72)発明者 ヴェンツェク, ピーター

アメリカ合衆国 テキサス州 78741, オースティン, グローヴ ブールヴァード 2400

(72)発明者 パソス, ロベルト ロンゴ

アメリカ合衆国 テキサス州 78741, オースティン, グローヴ ブールヴァード 2400

(72)発明者 ランジャン, アロック

アメリカ合衆国 テキサス州 78741, オースティン, グローヴ ブールヴァード 2400

Fターム(参考) 5F004 AA02 AA04 AA05 BA04 BB12 BB13 BD04 CA02 CA03 CA04

DA01 DA02 DA04 DA05 DA11 DA15 DA16 DA17 DA18 DA22 DA23

DA24 DA25 DA26 DB03 DB08 EA03 EA06 EA07 EA13 EA28 EA37