(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4903368号
(P4903368)
(45)発行日　平成24年3月28日(2012.3.28)　(24)登録日　平成24年1月13日(2012.1.13)

(51)Int.Cl.　　F I
H01L 23/52 (2006.01)　H01L 21/88 S
H01L 21/3205 (2006.01)　H01L 21/88 Z
H01J 37/30 (2006.01)　H01J 37/30 Z

請求項の数 13　(全 21 頁)

(21)出願番号　特願2004-110468 (P2004-110468)
(22)出願日　平成16年4月2日 (2004.4.2)
(65)公開番号　特開2004-312017 (P2004-312017A)
(43)公開日　平成16年11月4日 (2004.11.4)
審査請求日　平成19年3月30日 (2007.3.30)
(31)優先権主張番号　10/405,898
(32)優先日　平成15年4月2日 (2003.4.2)
(33)優先権主張国　米国 (US)

(73)特許権者　501419107
エフ・イー・アイ・カンパニー
アメリカ合衆国オレゴン州９７１２４，ヒルズバラ，ノースイースト・ドーソンクリーク・ドライブ５３５０
(74)代理人　110001209
特許業務法人山口国際特許事務所
(74)代理人　100090376
弁理士　山口　邦夫
(72)発明者　チョン・ティー・ハイン
アメリカ合衆国，マサチューセッツ州　０２１６９，クインシー，クウォーリー　ストリート　３６２

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ダミー銅デプロセッシング

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
ターゲット領域から一又はそれ以上の銅と誘電物質の混合層を取り除く方法であって、
銅と誘電物質の第１の混合層上において取り除くべきターゲット領域を画定する工程と、
前駆体ガスを用いて、集束イオンビームと相互に作用して該集束イオンビームによる前記銅と誘電物質の第１の混合層の均一な取り除きを増進する物質の層を前記ターゲット領域の上に形成する工程と、
集束イオンビームの特徴であるスポットサイズよりも大きな第１のピクセルスペーシングによって特徴とされる、第１のパターンで前記銅と誘電物質の第１の混合層と前記物質の層に向けて集束イオンビームを照射する工程と、
一又はそれ以上の別のパターンで前記銅と誘電物質の第１の混合層と前記物質の層に向けて集束イオンビームを照射する工程であって、前記一又はそれ以上の別のパターンの個々のパターンがピクセルスペーシングによって特徴付けられており、別のパターンが複数の場合には、該別のパターンのそれぞれが、最後のパターンのピクセルス ペーシングがイオンビームのスポットサイズよりも小さくなるか又はほとんど同等になるまで、徐々に狭くなるようなピクセルスペーシングを有しており、それによって、実質的にターゲット領域から前記銅と誘電物質の第１の混合層を取り除く工程と、
酸素含有ガスを前記ターゲット領域に向けて送る工程と、
前記ターゲット領域に向けて集束イオンビームを照射して、前記銅と誘電物質の第１の

混合層の残りを取り除いてミリングされたターゲット領域内に均一な平滑底面を造る工程とからなる方法。
【請求項２】
銅と誘電物質の複数の混合層が取り除かれることを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記銅と誘電物質の複数の混合層が誘電物質の層によって分離されていることを特徴とする請求項２に記載の方法。
【請求項４】
それぞれの銅と誘電物質の混合層を取り除き、ミリングされたターゲット領域内に均一な平滑底面を造ることが、次の銅と誘電物質の混合層がミリングされる前に行われることを特徴とする請求項２に記載の方法。
【請求項５】
前記酸素含有ガスを送る工程には、イオンビームの衝撃点に向けて水蒸気若しくは酸素又は他の酸素含有蒸気の噴射を行い、前記銅と誘電物質の混合層の下の誘電物質の層のエッチングを抑制することが含まれていることを特徴とする請求項３に記載の方法。
【請求項６】
前記取り除くべきターゲット領域を画定する工程の後で、第１のパターンで前記銅と誘電物質の混合層と前記物質の層に向けて集束イオンビームを照射する工程の前において、エッチング支援ガスを前記ターゲット領域に向けて送る工程と、
前記ターゲット領域に向けて集束イオンビームを照射して、前記第１の銅と誘電物質の混合層を覆っている物質の表面層を取り除く工程を、更に具備することを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項７】
前記物質の層の形成工程には、集束イオンビームを前記ターゲット領域に向けて照射すると同時に前記ターゲット領域に向けて前駆体ガスを送り、前記前駆体ガスが前記集束イオンビームの存在下で分解して前記物質の層を形成することが含まれていることを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項８】
実質的にターゲット領域から前記銅と誘電物質の混合層を取り除く工程の後で、酸素含有ガスを前記ターゲット領域に向けて送る工程の前において、エッチング支援ガスを前記ターゲット領域に向けて送る工程と、
前記ターゲット領域に向けて集束イオンビームを照射して、再堆積に起因する残留物質を取り除く工程を、更に具備することを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項９】
取り除かれるべき前記銅と誘電物質の第１の混合層が結晶構造を有することを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項１０】
前記銅と誘電物質の複数の混合層が絶縁層によって分離されていることを特徴とする請求項２に記載の方法。
【請求項１１】
前記酸素含有ガスが水蒸気ガスであることを特徴とする請求項１に記載の方法。
【請求項１２】
前記前駆体ガスが有機金属ガス分子を含有することを特徴とする請求項８に記載の方法。
【請求項１３】
前記有機金属ガス分子がタングステン若しくはプラチナ又は金を含んでいることを特徴とする請求項１２に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】

本発明は、荷電粒子ビームプロセッシングに関連するが、特には、集束イオンビームを用いて、半導体回路から導電物及び誘電物の複数の層を均一に取り除く方法に関連する。

【背景技術】

【０００２】

マイクロプロセッサのような半導体デバイスは、数百万のトランジスタでできあがっている。そのトランジスタのそれぞれは、いくつかのレベルに亘って分岐する薄い金属線によって相互に接続されているとともに、誘電物の各層によって互いに電気的に絶縁されている。新たな半導体デバイスの設計が半導体製造所において意図されたとき、最初はその設計が必ずしも思ったように正確に作動しないことが判るのが一般的である。そして、その半導体デバイスを設計した技術者が自らの設計物を試験して「再配線」し直してそのデバイスに所望の機能を獲得させるようにする必要がある。半導体製造所において半導体デバイスを製造するときの複雑さに起因して、再設計された半導体デバイスが製造されるには一般的に数週間乃至数ヶ月はかかる。更に、頻繁に行われる変更が問題解決を困難にし、又は、設計における難しさを露呈することとなる。試験して再設計を行い再製造に至るプロセスは、市場に新たな半導体デバイスを投入するためには、明らかに長時間を要する。

【０００３】

回路編集（回路全体を再製造しなくてはならないことを除いて開発段階で回路を修正するプロセス）は、処理コストと開発サイクルの時間の双方を軽減することで、とてつもなく大きな経済的な利益を提供する。多くの場合、修正すべき特徴構造は絶縁層のような他の材料の下に埋もれており、「フリップチップ（ｆｌｉｐ　ｃｈｉｐ）」の場合には、半導体層の下に埋もれている。従って、通常、隣接する特徴構造に損傷を与えずに、それらの材料層を通過して目的の金属特徴構造にまで掘り下げる必要がある。一旦その特徴構造が露呈されると、通常回路編集は、目的の特徴構造が切断されて電気的接続を遮断するか、若しくは、「ストラップ」を導電するイオンビーム支援堆積によって他の特徴構造と電気的に接続されることを必要とする。

【０００４】

過去１０年間に亘って、いくつかの技術が開発され、集束イオンビーム（ＦＩＢ）システムが、この設計を完全なものにする方法に要する時間を減らすことを成功した。ＦＩＢシステムは、帯電粒子（以下イオンと称する）の幅狭の集束ビームを提供するが、該ビームは、陰極線管と同じように、通常ラスタ方式で試料を走査する。多くの市販のＦＩＢシステムにおいては、使用されるイオンは液体金属イオン源からの正に帯電したガリウムイオン（G^+）である。現代的なＦＩＢシステムは、ほぼ電子顕微鏡と同じように試料表面の画像を形成するために使用されうる。その画像の各点の強度は、基材の対応する点におけるイオンビームによってはじき出された二次電子又は他の粒子の電流によって決まる。このイオンビームは、また、試料表面から物質を取り除いたり、又は、（一般にイオンビームの存在下で分解して物質をその表面に堆積するガスを使用して）物質を堆積する。物質取り除きのときには、集束イオンビーム中の重ガリウムイオンがスパッタリングによって、即ち、入射イオンから原子への表面における運動量の転移によって前記表面から原子又は分子を物理的に弾き出す。ＦＩＢ機器は、最初、プロトタイプのデバイス上のアルミニュウム及び／又はタングステンの合金からなる金属線を「切断」するために用いられ、単純な場合における設計評価を可能にした。アルミニュウムもタングステンも目的の領域をガリウムイオンビームによって走査することによってミリングされる。このビームは、主に、点から点にビームをステップするデジタル電子技術を用いて、ミリングされるべき領域を走査する。各点間の距離は、ピクセルスペーシングと呼ばれる。ピクセルスペーシングは一般にビームスポットサイズよりも小さい、即ち、それぞれの後続するビーム位置が前方の位置に重複して均一切断と平滑な仕上げを確実に行うこととなる。この方法は、「デフォルトミリング（Ｄｅｆａｕｌｔ　Ｍｉｌｌｉｎｇ）」と呼ばれる。

【０００５】

アルミニュウムを選択的に攻撃するいろいろな化学的性質が開発され、イオンビーム単

独によるよりも、ある種のガスの存在下でそれがより迅速にスパッタすることを可能にした。このプロセスは業界で周知であり、一般にガス支援エッチング（ＧＡＥ）と呼ばれている。取り除きプロセスを迅速に行うので、たとえば、表面層の比較的に大きな領域をミリングして観察と試験のために下地層を露出させるために使用される。更に、ＦＩＢシステムにおいて特別なガスの化学的な性質を用いて薄い金属線を選択的に堆積して複数の導電帯を接続し、金属の相互配線ではなく誘電絶縁物を選択的に取り除き、そして、誘電絶縁物を取り除くことなく金属の相互配線を取り除くことを可能にする技術が開発された。基本的に、現在これらの技術の性能はプロトタイプのものであり、再製造が必要とする期間が、数週間や数ヶ月というよりも数日又は数時間であるような設計評価を可能にするものである。

【０００６】

最近まで、金属の相互配線に使用されてきた代表的な金属は主にアルミニュウムとタングステンの合金であった。伝統的に、回路パターンはホトリソグラフィックプロセスにより半導体チップ上に形成される。このホトリソグラフィックプロセスでは、一又はそれ以上の金属化層（アルミニュウム合金膜のような）を堆積することとそれぞれの金属化層に対して所望のパターンをエッチングすることが行われる。金属の相互配線を切断及び堆積するための、上記のＦＩＢシステムのそれぞれの発達は特別にそれらの金属合金とその特定の物理的特性のためになされたものである。

【０００７】

最近、半導体製造業者は、アルミニュウムの相互配線の代替物として銅の使用に移行し始めている。チップが作動する速度を半導体製造業者が上げたい場合、銅の相互配線を使用するとアルミニュウムにはないいくつかの利点を手にすることができる。たとえば、銅は低いシート抵抗を有すると共に、良好な金属線と線／ビア／線間の電子移行信頼度の双方を示すことである。

【０００８】

アルミニュウムを越える銅の利点はかねてから知られてはいたが、銅はエッチングすることが非常に難しい。結果的に、金属化層を堆積する典型的なプロセスを用い、次いで、所望のパターンをエッチングして銅の相互配線を製造することは実用的ではない。その代わりに、銅線は、主に、シングル又はデュアルダマシンプロセスを用いてパターン化される。このダマシンプロセスは従来の金属化の裏返しである。金属内においてエッチングされた空間に誘電体を堆積するより、むしろ、ダマシンプロセスは誘電体をカットして線を構成しそこに金属を充填した上で、化学的機械研磨法（ＣＭＰ）のような公知のプロセスを用いて余分な金属を研磨して取り去るものである。

【０００９】

ＣＭＰプロセスは、主に、研磨用のスラリーと一又はそれ以上のポリッシングパッドを利用して余分な金属を取り除き、ウェハ表面のグローバルプラナリゼーションを達成する。しかし、ＣＭＰプロセスのための正確な終点を決定することが難しいこともある。この主な理由は、個々の物質が異なる速度で研磨されるためである。銅はSiO_2のような一般的な誘電材料に比べて非常に柔らかく、結果的に、銅はより迅速に削り取られる。銅線とパッドは、「皿（ｄｉｓｈ）」状になる傾向があり、中央が過度に削り取られてしまう。更に、ポリッシングパッドの全体的な力がより小さな領域に加わるので、薄い構造特徴物又は孤立した構造特徴物は、密集した構造特徴物に比べてより早急に削り取られる傾向がある。銅と誘電体の幅狭のアレイが非パターン化された領域に比べてより速く研磨されたときには浸食が起こる。

【００１０】

皿状化と浸食の双方が金属線を薄くすることがあり、金属線のシート抵抗を増加させることとなる。更に、このシート抵抗の増加は一定ではない。シート抵抗は環境と金属線のレイアウトに応じて数１０％まで増加することもある。浸食は結果的にウェハ表面のサブプレーナーディップとなることもある。相互配線の後続の層が完成されている場合には、銅の浅い「プール（ｐｏｏｌ）」がこのくぼみに充満することがあり、隣接する金属線の

間で短絡する原因となっていた。

【００１１】

皿状化と浸食を軽減する一つの方法は、ダミーの構造特徴物を用いてウェハ表面全体に亘って均一なパターン密度にすることである。たとえば、ワイヤ層内のアクティブな構造特徴物の間の距離がある最小限の幅を超えたときにはいつでも、誘電体内にダミーの銅パッドが形成されてウェハ全体が一定の速度で研磨される。この種のダミー構造特徴物は上から見たときにタイルのように見えるので、その配置は「タイリング（ｔｉｌｉｎｇ）」と呼ばれている。理想的には、ダミー銅パッドの使用、即ち、タイリングは、ウェハ表面全体に亘って誘電体に対する銅の相対的な比率を一定に保持するものである。

【００１２】

しかしながら、下地層の上のアクティブな構造特徴物の回路編集を可能にするために、ダミー銅パッドと誘電体を含む一又はそれ以上の層が取り除かれねばならないときに問題が生じる。銅をエッチングして銅線を形成することを困難にする同種の難しさが、ダミー銅と誘電体の比較的に大きな領域を取り除くことを困難にしている。銅のＦＩＢスパッタリングは、アルミニュウム合金をスパッタすることに比べて、はるかに難しい。アルミニュウム原子は、銅原子に比べて、より小さな原子質量とより低い「阻止能（ｓｔｏｐｐｉｎｇ　ｐｏｗｅｒ）」を有する。その結果、銅の単純なイオンビームミリングは、同等のアルミニュウムミリングに比べて、有効ではない。更に、銅のＧＡＥを可能にするガス化学は、現在でもまだ開発されていない。他の金属相互配線の集束イオンビームエッチングを補強するために使用されるハロゲンは、明らかに銅のエッチングを補強するものではない。銅の普通のＦＩＢミリングにとって適切な他の化学物質も見つかっていない。ハロゲン化合物の使用中に室温で銅の上に形成されたエッチングの副産物は、低揮発性を有し有害な堆積物をサンプル表面上と処理装置の側壁に残存する傾向がある。

【００１３】

更に、化学物質の存在しない銅のミリングは、イオンビームが均一になされたとしても、不均一な物質の取り除きとなることが判明した。この不均一なミリングは、抗エッチング銅領域の形成やミリングされている銅層内の結晶方向の差異を含む多くのファクターに起因するものと考えられる。この銅の不均一な取り除きによって、エッチング領域の底面が非平坦化する原因となり、ひいては、銅の導体の下で物質をミリングすることができないことの原因となることもある。即ち、ミリングが引き続いてイオンビームの下の一つの領域から残存する銅を取り除くとき、銅が既に取り除かれた領域において露出された下地層をミリングをすることによって明らかな損傷が生じる。

【００１４】

これらの問題は、銅と誘電体の双方を含む層が取り除かなくてはならないときに、より先鋭となる。たとえば、回路編集中、相当大きな領域の複数層であって、各層が同じ層内に銅と誘電物質を埋め込んでいるものを清浄にしなくてはならない。これらの種類の混合層がＦＩＢによってスパッタされたときには、銅と誘電物質のスパッタ速度の差異が結果的に不均一なミリングフロアーとなる傾向にある。

【００１５】

全てのこれらの問題は、複数の層を取り除くときには、更に、悪くなる傾向にある。現代的な半導体設計においては、そのような層は８層ほどにもなるのが通常である。一般的に、２又は３層を終えただけで、銅が異なるレベルで露出されて同時にミリングされる。これによって、非常に多くの銅と誘電体の混合層の下に埋もれている回路の回路編集を非常に困難なものにしている。

【００１６】

銅ミリングの均一性を改善するいくつかに技術が公知ではあるが、以下に詳細に説明するように、この銅と誘電体の混合層を通過するミリングの問題点を適切に解決する技術は存在していない。そこで、銅と誘電体の混合した複数の層を通過するミリングをより均一にする改善された技術に対する必要性が存在する。

【００１７】

【特許文献１】米国特許第５１８８７０５号
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【００１８】
本発明の課題は、導体と誘電体の複数の層の下に埋もれたアクティブな特徴構造物の回路編集を可能にするような方法で、ダミー銅パッドとSiO_2からなる複数の層の取り除きのような、その導体と誘電体の複数の層をより均一に取り除く方法を提供することである。
【課題を解決するための手段】
【００１９】
上記の課題を解決するため、本発明は、請求項１に記載したような「ターゲット領域から一又はそれ以上の銅と誘電物質の混合層を取り除く方法であって、
銅と誘電物質の第１の混合層上において取り除くべきターゲット領域を画定する工程と、
前駆体ガスを用いて、集束イオンビームと相互に作用して該集束イオンビームによる前記銅と誘電物質の第１の混合層の均一な取り除きを増進する物質の層を前記ターゲット領域の上に形成する工程と、
集束イオンビームの特徴であるスポットサイズよりも大きな第１のピクセルスペーシングによって特徴とされる、第１のパターンで前記銅と誘電物質の第１の混合層と前記物質の層に向けて集束イオンビームを照射する工程と、
一又はそれ以上の別のパターンで前記銅と誘電物質の第１の混合層と前記物質の層に向けて集束イオンビームを照射する工程であって、前記一又はそれ以上の別のパターンの個々のパターンがピクセルスペーシングによって特徴付けられており、別のパターンが複数の場合には、該別のパターンのそれぞれが、最後のパターンのピクセルス ペーシングがイオンビームのスポットサイズよりも小さくなるか又はほとんど同等になるまで、徐々に狭くなるようなピクセルスペーシングを有しており、それによって、実質的にターゲット領域から前記銅と誘電物質の第１の混合層を取り除く工程と、
酸素含有ガスを前記ターゲット領域に向けて送る工程と、
前記ターゲット領域に向けて集束イオンビームを照射して、前記銅と誘電物質の第１の混合層の残りを取り除いてミリングされたターゲット領域内に均一な平滑底面を造る工程とからなる方法」を提供するものである。

【００２０】
また、第２の解決手段は、「ターゲット領域から複数の物質層を取り除く方法であって、
取り除くべきターゲット領域を画定する工程と、
第１の時点で第１の物質層に向けて集束イオンビームを照射し、それによって、実質的に前記ターゲット領域から前記第１の物質層を取り除く工程と、
酸素含有ガスを前記ターゲット領域に向けて送る工程と、
第２の時点で前記ターゲット領域に向けて集束イオンビームを照射して、前記第１の物質層から残りの物質を取り除き、それによって、ミリングされたターゲット領域内に実質的に均一な平滑底面に造る工程と、
第２の物質層に向けて集束イオンビームを照射し、それによって、実質的に前記ターゲット領域から前記第２の物質層を取り除く工程とからなる方法」であることを特徴とするものである。
【００２１】
更に、第３の解決手段は、「ターゲット領域から物質を取り除く方法であって、
取り除くべき第１の物質のターゲット領域を画定する工程と、
集束イオンビームと相互に作用して該集束イオンビームによる前記第１の物質の均一な取り除きを増進する第２の物質の層を前記ターゲット領域の上に形成する工程と、

前記集束イオンビームの特徴であるスポットサイズよりも大きな第１のピクセルスペーシングによって特徴付けられる、第１のパターンでターゲット領域に向けて前記集束イオンビームを照射する工程と、
前記第１のピクセルスペーシングよりも小さく、前記イオンビームのスポットサイズよりも小さいか又はそれとほとんど同等の第２のピクセルスペーシングによって特徴付けられる第２のパターンでターゲット領域に向けて集束イオンビームを照射し、それによって、前記ターゲット領域から前記第２の物質を実質的に取り除く工程と、
酸素含有ガスを前記ターゲット領域に向けて送る工程と、
前記ターゲット領域に向けて集束イオンビームを照射して、残留物質を取り除き、それによって、ミリングされたターゲット領域内に実質的に均一な平滑底面を造る工程と、からなる方法」であることを特徴とするものである。

【００２２】

次いで、第４の解決手段は、「複数の物質層を取り除くための集束イオンビームシステムであって、
イオン源と、
始めに集束イオンビームを照射して、取り除かれるべき物質内に抗エッチング領域を発生又は蔓延させないために十分に空間的に引き離された複数の第１の位置で銅をエッチングし、次いで、集束イオンを照射して前記第１の位置の離間距離よりも短い距離離れた複数の重複位置でエッチングを行い均一で平坦なミリングされた領域を得るようにプログラムされた、イオンビームの向きを調整するための偏向電極を内蔵するイオンカラムと、
前駆体ガスをターゲットに向かって送りイオンビームの衝撃の下でダミー層を形成して、各停止期間中に分解生成物の層が形成され、物質をエッチングしているときにそれがイオンビームと相互に作用して、それ自体が実質的に取り除かれて、該実質的に取り除かれた分解生成物によって物質のエッチングがターゲット上の領域で実質的に均一となるような速度でイオンと前駆体ガスを照射又は送り出すようにイオン光学素子群と共に調整されるガス噴射システムとからなるシステム」であることを特徴とするものである。

【００２３】

上記では、下記の発明の詳細な説明がよりよく理解できるために、本発明の特徴と技術的な利点をむしろ大まかに説明してきた。本発明の別の特徴と利点は、以下で説明される。開示された概念と特定の実施の形態が、本発明と同じ目的を実行する他の構造物の修正または設計をするための根拠として容易に利用できることは業界で通常の知識を有する者には明らかである。また、そのようなものと均等な構造物が特許請求の範囲に記載された本発明の精神と範囲を逸脱するものではないことも業界で通常の知識を有する者には明らかである。

【発明の効果】

【００２４】

上記第１の課題解決手段は、銅と誘電物質の混合層を取り除いてミリングされたターゲット領域内に均一な平滑底面を造ることができるという効果を奏する。

【００２５】

また、上記第２の課題解決手段は、導体と誘電体の複数の層の下に埋もれたアクティブな特徴構造物の回路編集を可能にするという効果を奏する。

【００２６】

更に、上記第３の課題解決手段は、第２の物質の層をダミー層としてミリングして、ミリングされたターゲット領域内に実質的に均一な平滑底面を造ることができるという効果を奏する。

【００２７】

次いで、上記第４の課題解決手段は、ダミー銅パッドとSiO_2からなる複数の層の取り除きのような、導体と誘電体の複数の層をより均一に取り除くことができるという効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２８】
以下の本発明の好適な実施の形態は、上記の課題を解決するために、組み合わせた荷電粒子ビームのミリング技術を用いている。
【００２９】
本発明の好適な実施の形態は、導体と誘電体の複数の混合層の下に埋もれたアクティブな特徴構造物の回路編集を可能にするような方法で、SiO_2によって囲繞されたダミー銅パッドからなる複数の層の取り除きのような、導体と誘電体の複数の混合層を均一に取り除く方法を提供することを目的とする。本発明は、この目的を達成するために、以下に説明する技術と方法の新規な組み合わせを使用するものである。
【００３０】
本発明の好適な実施の形態は、特には、半導体デバイス内の銅ベースのダミー特徴構造物のような結晶化物質のミリングに使用される方法に関する。以下の大部分の説明が銅ミリングに関するものであり、特には半導体デバイス内の銅ミリングに関するものであるが、本発明の装置及び方法は、同じように他の物質のミリングにも使用されうる。ここに記載された技術は、それ自体でも、又は、他の技術と組み合わせても使用されうる。従って、本発明の範囲は、単に、銅ベースの結晶化構造物のミリングに限定したものとすべきではない。
【００３１】
図１（Ａ）は、代表的な集積回路１１０の一部を略式に図示した断面図である。図１（Ａ）に示すように、集積回路１１０は、複数の金属化層Ｍ１－Ｍ８を有する。それぞれの金属化層Ｍ１－Ｍ８は、ダミー銅パッド１１２と誘電物質１１４を有する。金属化層Ｍ１－Ｍ８は、それぞれ誘電体層１１５によって分離されている。集積回路１１０の表面は、パッシベーション層１１６によって被覆されている。基部の金属化層は銅の相互配線１１７を有する。ターゲットボックス１１８は、取り除くべき金属と誘電物質の混合領域を二次元的（たとえば、幅と深さ）に表示したものである。３次元表示のためには、図面に対して垂直方向の寸法（この場合は長さである）が必要であるが、図１（Ａ）のターゲットボックス１１８には示されていない。
【００３２】
図１（Ｂ）は、代表的なＦＩＢによるデフォルトミリングのみを用いてターゲットボックス１１８がエッチングされた場合の図１（Ａ）の代表的な集積回路の一部を略式に示した断面図である。図１（Ｂ）に示すように、銅と誘電物質の不均一ミリングにより非常に平坦でない底面となる。領域１２２と１２４と１２６と１２８においては、金属化層Ｍ２－Ｍ８は、最上部のパッシベーション層１１６と誘電体層１１５と共に、取り除かれている。領域１２２と１２４と１２６と１２８におけるいくつかのオーバーミリングは、層Ｍ１を損傷することとなった。領域１２３においては、金属化層Ｍ３－Ｍ８が、最上部のパッシベーション層１１６と６層の誘電体層１１５と共に、取り除かれているが、層Ｍ２の一部と下地の各層の全てが残存している。領域１２５においては、金属化層Ｍ５－Ｍ８が、最上部のパッシベーション層１１６と４層の誘電体層１１５と共に、取り除かれているが、層Ｍ４の一部と下地の各層の全てが残存している。領域１２７においては、金属化層Ｍ４－Ｍ８が、最上部のパッシベーション層１１６と５層の誘電体層１１５と共に、取り除かれているが、層Ｍ３の一部と下地の各層の全てが残存している。領域１２１と１２９においては、最上部のパッシベーション層１１６の極く一部と下地の各層の全てが残存している。
【００３３】
図１（Ｂ）に図示されたように、不均一且つ効率の悪いミリングの金属と誘電物質の混合層の傾向は、異なる若干のファクターに起因して生じる。銅の不均一ミリングは、ミリング中に形成されてイオンビームに曝される領域に亘って蔓延するレジスタント銅領域の形成に部分的に寄与していると考えられる。このレジスタント銅領域は、明らかに入射イオンを結晶に送り、それによって、入射イオンによる銅のスパッタ速度を減少させる。明らかに、入射イオン量のチャネリングの増加も表面近傍の二次電子の放出を減少させるの

で、イオンビームを用いて二次電子モードで画像表示するときにはこの領域は黒く表示される。

【００３４】

この領域はＣｕ－Ｇａ合金で構成されていると思われる。一度形成されると、この領域は約２と約４の間のファクターによって表面スパッタ速度を抑制する。この領域がミリング処理時間に亘って形成され入射イオンのチャネリングも変化するので、集束イオンビームに曝される領域は不均一にエッチングされる。

【００３５】

銅ミリングの不均一性を改善する一つの方法が、可変ピクセルミリング（Ｖａｒｉａｂｌｅ　Ｐｉｘｅｌ　Ｍｉｌｌｉｎｇ、以下ＶＰＭと言う）として知られている。この方法は、「荷電粒子ビームシステムにおいて銅相互配線をミリングする方法とその装置」と題され、本願の出願人である米国オレゴン州ヒルズボロのＦＥＩカンパニーに譲渡された、Ｓｈｕｍａｎ他の米国特許第６３２２６７２号に詳細に説明されている。これを引用によってここに組み入れる。ＶＰＭは、各ピクセルを重複する一般的なラスタパターンにおいてではなく、不連続点のパターンにおいて始めにイオンビームを移動することによってより均一に銅をエッチングするために使用される。ミリングが継続すると、ミリングを完全なものにするために、各ピクセルを重複するより一般的なラスタパターンが適用されるまで、各ミリング点が徐々に互いに近くなるように移動する。たぶん銅の導体の限定的な加熱を低減することによって、ＶＰＭは、明らかに、銅内の抗エッチング領域の形成を抑制しているようにみえる。不連続箇所のミリングは、一つの箇所においてイオンビームの衝撃によって得られるエネルギーをその領域にイオンが帰るまでに消費することを可能にし、それによって、抗エッチング領域の形成を生じるのに必要なエネルギーの蓄積を阻止する。

【００３６】

ＶＰＭは一連のミリング工程を利用する。各工程に対して、Ｘ－Ｙ方向において特定の量だけ離れた距離にある一群のミリング位置又はピクセルとしてミリングボックスが定義される。単位領域当たりの電荷として表される平均イオンドーズ量は各ミリングボックスに対して特定される。各ピクセルが当該ボックスに対して特定された指定平均イオンドーズ量に大略達するまで、そのボックス内でイオンビームがピクセル間を移動する。各ピクセルにおいて、ビームスポットサイズと大体同じ直径を有する穴がミリングされる。そのドーズ量を加えたときには、イオンビームは、単一の停止期間中に各ピクセルに対して全ドーズ量を送るよりも、むしろ、複数回各ピクセルを訪れる。最初のミリング工程が完遂した後に、試料表面は非ミリング材料によって分離された複数の孔を有することとなる。このことは、高度にイオンをチャネリングする黒領域の形成を抑制する連続する銅の島状部分を結果的に形成する。

【００３７】

それぞれが連続的により近くなるピクセルを有する複数回のミリング工程を適用することもできる。後続のボックスにおいてミリングされる穴のいくつかは、先行して明けられたミリング穴と概して重複する。しかし、すべての一連のミリング工程の終了時点で、試料の各点から取り除くべき物質の量はほとんど同じであり、ミリングされた全領域の均一な平坦底面を形成する。最後のミリング工程は、大抵従来のピクセルスペーシングを採用する、すなわち、そのピクセルスペーシングはビームスポットサイズよりも小さいものである。銅層に適用されたとき、ＶＰＭミリングは、典型的なラスタパターンを用いて単にミリングすることによって生成されるよりも、より平滑でより均一なミリング領域を生成する。

【００３８】

レジスタント銅領域の形成に加えて、不均一な銅ミリングは、また、所定の銅層内の結晶配向の差異に起因することもある。銅の配線とダミー特徴構造物は、連続する小さな銅の粒状物で構成される。それぞれの粒状物内において各原子が規則正しい配列の順番を共有してはいるが、各原子配列の相対的な位置は粒状物ごとに変化する。この原子配列の整

列は、所定の粒状物の「結晶学的配向性」として知られている。結晶学的配向性の違いは、所定の配向性に基づいて、イオンビームによってスパッタ又はミリングされた粒状物が異なる速さで取り除かれることの原因となる。銅の場合、異なる結晶学的配向性の銅の粒状物間の相対的なスパッタ速度は、大幅に異なり、ある経験値によると、３６０％程度となることもある。

【００３９】

銅の取り除きの均一性は、銅表面に形成されたダミー層にＦＩＢから入射イオンを通過することによって改善される。この方法は、「異なるスパッタ速度を軽減するための装置とその方法」と題する２００１年３月１日に出願された米国特許出願第０９／８１８９９８号により詳細に説明されている。それをここに引用によって組み入れる。ダミー層は、入射イオンを偏向して該イオンと基板原子の間の入射角度を変更することによって、更に、イオンビームがダミー層の原子を基板構造に運んだときに基板の結晶構造を破壊することによって、基板のＦＩＢミリングの結晶構造の効果を低減するか又は除去するように思われている。いずれのメカニズムが有効であるかは、特定の用途によって変化する。

【００４０】

好ましくは、このダミー層は薄いもので一次ビーム内の多数のイオンが該ダミー層を通過して基板物質をスパッタする程度で十分である。このダミー層は、また、該ダミー層を直ちに破壊することなくスパッタされた基板物質が表面から離れる程度に薄いもので十分である。特定のピクセルでイオンビームが停止したとき、ダミー層はスパッタリングによって徐々に浸食されそして、スパッタされた基板材料に混合され、結局は取り除かれる。そして、ダミー層は次の停止期間の前若しくはその最中において再び適用される。

【００４１】

一つの好適な実施の形態において、ヘキサカルボニルタングステンガス送出システムが使用され、分解してダミー層を形成する前駆体ガスを送出する。このダミー層を発生するために、ガス圧と、イオンビーム停止時間と、イオンビームリフレッシュ期間（即ち、同じピクセルにおいて連続する停止の間の時間である）と、イオンビーム電流と、ピクセルサイズとピクセルスペーシングの各パラメータが選定されて、決まって生じる堆積されたタングステンカルボニル層を形成するよりも、むしろ、いくつかの炭化水素化合物を追い払うことによってイオンビームが前駆体ガスをタングステンベースのダミー層に変える以前に、まさに、前駆体ガスの薄い層が銅層の表面に吸着されるようになる。この変換は、可能であれば、いくつかのガリウムと炭素と共に微粒子であるＦＩＢ堆積タングステンを引き剥がす。この変換の後で、イオンビームは、更に、下地の銅又は他の物質と共に薄いタングステン層をスパッタして除く。

【００４２】

このタイプのダミー層を用いると銅をより均一にミリングすることとなるので比較的に大きな銅領域が一定の速度で取り除かれることとなる。このことは、ミリングされる銅の全領域内に均一で平坦な底面を形成することとなる。

【００４３】

特に銅と誘電物質の複数の層が取り除かれる場合には、銅の不均一なミリングは、また、周囲の誘電物質の不均一なミリングに繋がる。ダミー銅層の不均一な取り除きは、結果的に、ある領域においては完全に取り除かれてはいるが他の領域においては少量の銅が残存しているような銅層となってしまう。ひいては、このことは、結果的に、銅が完全に取り除かれた領域の下の誘電物質をオーバーミリングすることとなってしまう。ある場合には、一つの領域内の全ての銅が取り除かれる以前に、銅が取り除かれた領域の下の誘電物質は完全にミリングされて除かれて、下地の銅層を露出させミリングしてしまう。

【００４４】

ミリングする物質とそのミリングする物質の下に位置する物質に応じて、ときには、ミリングする物質の下の物質のエッチングを抑制するガスを、ミリング工程の終わり近くにおいて、導入することも可能である。たとえば、酸化シリコンのような誘電物質上に配置された銅材料をミリングするとき、水蒸気のような酸素含有ガス又は酸素が導入されて選

択的に銅材料の下の酸化物層のエッチングを抑制し、それによって、ミリング領域に平滑な底面を増やすことができる。集束イオンビームエッチングにおける水蒸気の使用は、「水蒸気によって増強された荷電粒子ビームマシーニングの方法」と題するＲｕｓｓｅｌ他の米国特許第５９５８７９９号に記載されている。

【００４５】

図２は、本発明の好適な実施の形態に含まれた各工程を示すフローチャートであるが、ダミー銅と誘電物質の複数の混合層をミリングして除くために使用される。工程１００において、ミリングされるべきターゲット領域が試料上に定められる。一般的に、銅と誘電物質の一又はそれ以上の層が半導体デバイスから取り除かれて回路編集を可能にしなくてはならないとき、ターゲット領域は編集のために埋設されていた適切なアクティブな特徴構造物を露出する程十分に広い修正ボックスを有する。更に、銅と誘電物質の３層以上の層を取り除かねばならないとき、好適には、最初のターゲット領域は最後の所望の修正ボックスに比べてより広い修正ボックスとして定める。たとえば、２０μｍ×２０μｍの修正ボックスが最後の層のために必要であった場合、最初のターゲット領域は、好適には、２０μｍ×２０μｍよりも広い修正ボックスとして定められる。修正ボックスの縁部に生じた望ましくないオーバーエッチングを埋めるために、取り除くべき２層毎に、修正ボックスが２乃至３μｍずつ減少させて最終的な２０μｍ×２０μｍの修正ボックスに対する縁部の過度のエッチング能を除く。例示すると、８層のダミー銅層を取り除くべきとき、最初の修正ボックスは、３０μｍ×３０μｍにすることもできる。取り除く２層毎に、修正ボックスが２乃至３μｍずつ減少させて最終的な修正ボックス（８層目のダミー銅層を取り除いたときに使用されるもの）を２０μｍ×２０μｍにする。

【００４６】

工程１０２において、XeF_2のようなエッチング支援ガスと共に集束イオンビームを用いていかなる表面パッシベーション層又は誘電物質も取り除かれる。この工程は、一番上のダミー銅層を露出するのに役立つ。典型的なパッシベーション材料と誘電物質の層を取り除く方法は業界において周知である。イオンドーズ量はダミー銅層を露出し、ダミー銅パッドの周囲のいくつかの誘電物質をミリングして取り除くために十分なものでなければならない。適切なイオンドーズ量はミリングされるべき材料の組成と厚みに応じて変更し、ガイドとして前後に提供される実例と情報を用いて実験的に決められる。

【００４７】

工程１０４において、複数の工程の上記可変ピクセルミリング（ＶＰＭ）を用いてダミー銅パッドが取り除かれる。ＶＰＭは、ビーム直径よりも大きなピクセル間の距離を有する不連続のピクセルパターンにおいて始めにイオンビームを移動することによって銅をより均一にエッチングするために使用される。この最初のミリング工程は、結果的に、非ミリング材料によって分けられた複数のミリング穴を有する試料表面となる。そのような一連の分離された島状の銅はレジスタント銅領域の生成を抑制する。

【００４８】

複数のＶＰＭミリング工程が適用されるが、それぞれ工程は連続的に近くなっていく各ピクセルを有する。そのようなＶＰＭ工程が使用されるのは、好適には、たった２工程であるが、３工程以上のＶＰＭ工程を使用することも有益であることもある。いずれにしても、最後のミリング工程は、一般的に、従来のピクセルスペーシング、即ち、ビームスポットサイズよりも小さいピクセルスペーシングを用いて、平滑で均一なミリング領域を生成する。全てのＶＰＭミリング工程が終了したときに、試料の各点から取り除かれた物質の量は、ミリングされた全領域に亘ってほとんど同じものである。ＶＰＭミリングの工程数と適切なイオンドーズ量は、銅パッドの厚みに応じて変更され、ガイドとして前後に提供される実例と情報を用いて実験的に決められる。

【００４９】

ＶＰＭの最中、タングステン又はプラチナのような金属の堆積も用いられて、更なるミリングの均一性が改善される。この処理中、たとえば、ヘキサカルボニルタングステンガスが露出された銅の表面に対して連続的に吹き付けられる。修正ボックス内の各ピクセル

に対して、この停止期間の最初の部分において、イオンビームが吸着されたヘキサカルボニルタングステンガスを停止ポイント又はピクセルでタングステンベースの結晶構造物に変える。タングステン層が堆積された場合で前駆体ガスが排気された後、個々のイオンがタングステン層と互いに反応して下地の銅層のエッチングを補強する。ときには、タングステン層は、偏向したイオンが衝突する銅材料と共に、スパッタで除かれる。

【００５０】

工程１０６において、XeF_2のようなエッチング支援ガスと共に集束イオンビームスパッタリングを用いて、再堆積や他の処理の結果であるいかなる残留粒子も取り除かれる。この工程はより多くの層が取り除かれる場合により望ましいことがある。洗浄工程としてＧＡＥの使用は業界において周知である。

【００５１】

工程１０８において、水蒸気又は酸素ガスのような酸素含有ガスと共に集束イオンビームスパッタリングが使用されてトレンチ底面を平滑化する。酸素含有ガスの導入により、選択的に、SiO_2のような誘電物質のエッチングが抑制され、下地の誘電層をオーバーミリングすることなく、抵抗領域内の銅を完全に取り除くことを可能にする。適切な終点は、たとえば、銅がミリングで取り除かれた時点を明確に示している、ミリング中の修正ボックスのリアルタイム画像によって決められる。集束イオンビームが二次電子モードで作動しているとき、銅は誘電物質に比べてはるかに明るく示されている。

【００５２】

工程１１０において、XeF_2のようなエッチング支援ガスと共に集束イオンビームスパッタリングを用いた洗浄工程は、必要ならば、繰り返されていかなる残留粒子をも取り除く。

【００５３】

工程１１２では、別の層が取り除かれるべきであるか否かが問われる。この段階で、銅と誘電物質のターゲット層が取り除かれ、結果的にフラットな底部のくぼみになった。別の層が取り除かれるべきである場合、取り除くべき各層に対して工程１０２から１１２が繰り返される。各銅と誘電物質のターゲット層の完全な取り除きと別のミリングの前にH_2Oエッチングによるトレンチ底面を平滑にすることで、銅と誘電物質の複数層が取り除かれて先行技術と比べて底面均一性が向上することとなる。これ以上取り除かれるべき層がない場合、工程１１４で処理を終了する。

【００５４】

図３は、本発明を実施するために使用される一般的な集束イオンビームシステム１０を図示している。集束イオンビーム１０は、液体金属源１４と、引き出し電極及び静電光学系を内蔵する集束カラム１６とが配置される上部ネック部１２をその内部に有する排気筒１１を具備する。イオンビーム１８は、液体金属源１４から集束カラム１６を通過して、略式に２０と示された静電偏向手段の間を通り試料２２に至るが、該試料２２は、たとえば、下部チャンバ２６内部の移動式Ｘ－Ｙステージ上に配置された半導体デバイスである。イオンポンプ２８はネック部１２の排気のために用いられる。そのチャンバ２６は、真空コントローラ３２の制御に基づいて、ターボ分子機械ポンプシステム３０によって排気される。真空系がチャンバ２６内に約1×10^{-7}トールと5×10^{-4}トールの間の真空を提供する。エッチング支援ガス若しくはエッチング遅延ガス又は堆積前駆体ガスが使用される場合、チャンバのバックグランドプレシャーが概して約1×10^{-5}トールに上昇することもある。

【００５５】

約１ｋｅＶから６０ｋｅＶのイオンビームを形成してそれを下側に向けて照射するために、高圧電源３４は液体金属イオン源１４と集束カラム１６内の適切な電極に接続されている。パターン発生器３８によって提供された所定のパターンに関連して作動される偏向コントローラ及び増幅器３６は偏向板２０に連結され、それによって、ビーム１８が試料２２の上面の対応するパターンをトレースするように制御される。ある種のシステムにおいては、業界において周知であるように、偏向板が最終レンズの前方に配置される。

【００５６】
イオン源１４は、マルチカスプ又は他のプラズマイオン源のような他のイオン源も用いることができるけれども、大体においてガリウムの金属イオンビームを提供する。イオンミリング若しくは補強エッチング又は材料堆積によって試料２２を修正するか、又は、試料２２を映像化するために、このイオン源は、試料２２において１／１０ミクロン幅以下のビームに集束することができる。映像化のために二次イオン又は電子放出を検出するために使用される荷電粒子倍増器４０は、ビデオ回路及び増幅器４２に接続されている。このビデオ回路及び増幅器４２はビデオモニター４４にドライブ信号を供給し、更に、偏向コントローラ３６からの偏向信号を受信する。チャンバ２６内の荷電粒子倍増器４０の位置は、個別の実施の形態で異なる。たとえば、荷電粒子倍増器４０は、イオンビームと共軸上に配置されて、イオンビームを通過させるための穴を設けるようにすることもできる。走査型電子顕微鏡４１はその電源及び制御器４５と共に、ＦＩＢシステム１０に任意に設けられる。

【００５７】
ガス送出システム４６は、試料２２に向けてガス状蒸気を導入するために下部チャンバ２６に延在している。「粒子ビーム処理のためのガス送出システム」と題され、本願の出願人に譲渡された、Ｃａｓｅｌｌａ他の米国特許第５８５１４１３号には、適切な流体送出システム４６が説明されている。他のガス送出システムが「ガス噴出システム」と題され、これも本願の出願人に譲渡された、Ｒａｓｍｕｓｓｅｎの米国特許第５４３５８５０号に説明されている。

【００５８】
ドア６０は、試料２２を挿入して加熱も冷却もすることが可能なステージ２４にそれを載置するために、そして、ドアが一つの場合には内部ガス供給容器にするために、開扉される。そのドアは、システムが真空下にある場合には開けることができないように、閉扉されている。高圧電源はイオンビームカラム１６内の各電極に対し適当な加速電圧を印加して、イオンビーム１８にエネルギーを加えて集束させる。それが試料２２に当たったとき、物質がスパッタ、即ち、試料から物理的に弾き出される。集束イオンビームシステムは、たとえば、本願出願人である米国オレゴン州ヒルズボロのＦＥＩカンパニーから市販されている。

【００５９】
ついで、本発明の一連の処理の一つの特別な例と比較的に均一性を有して銅をうまくスパッタするために使用される所定のパラメータについて説明する。この処理の始めに、誘電物質SiO_2によって囲繞されたダミー銅パッドを含む複数の層を有する半導体構成物がＦＩＢシステム内に置かれ、そして、３０μｍ×３０μｍの修正ボックスが決められる。ＦＩＢチャンバ内の基圧は、1×10^{-7}トールで始まる。次いで、XeF_2ガスノズルが挿入されて、ノズルバルブを開放することによって、チャンバ内の圧力は標準的な処理を用いて約1×10^{-5}トールにまで引き上げられる。そして、２００μｍのアパーチャを用いると共に１．５ｎＡのビーム電流に調整されたガリウムイオンビームによるガス支援ミリングによって、いかなるＳｉＯＮのような表面のパッシベーション層と若干のSiO_2が取り除かれる。０．１５μｍのピクセルスペーシングと０．５μ秒の停止期間と５００μ秒のリフレッシュ時間と１０μ秒のリトレース時間を有するデフォルト蛇行操作が採用される。

【００６０】
適用されるべきミリングドーズ量は、取り除かれるべき材料の厚みに従って変化する。このドーズ量はダミー銅パッドを露出させ、十分なSiO_2を取り除いて、以下に説明するような銅を取り除いた後でトレンチ底面が明らかに良好な均一性を有するようにするだけで十分である。最初のダミー銅層のXeF_2ミリングの一般的なドーズ量は０．８ｎＣである。

【００６１】
ダミー銅パッドが露出された後で、上記のようにＶＰＭを用いて銅がミリングされる。

上記のように、銅のＦＩＢミリング時の結晶構造の効果を軽減するか又はなくしてしまうタングステンダミー層をも採用することができる。

【００６２】

最初のＶＰＭミリング工程（ＶＰＭ１）では、ヘキサカルボニルタングステンガスノズルが挿入されて、ノズルバルブを開放することによって、チャンバ内の圧力は標準的な処理を用いて約1×10^{-5}トールにまで引き上げられる。そして、２００μｍのアパーチャと１．５ｎＡのビーム電流のガリウムイオンビームを用いて試料がミリングされる。０．４μｍのピクセルスペーシングと５００μ秒の停止期間と１０μ秒のリフレッシュ時間と１０μ秒のリトレース時間を有するデフォルト蛇行操作が採用される。

【００６３】

銅パッドを取り除くのに必要なドーズ量は、取り除かれるべき層の厚みに従って変化する。この例の場合、１．６μｍの厚さの銅層に対しては、約１．２ｎＣのＶＰＭ１時のドーズ量が必要である。０．９μｍの厚さの銅層に対しては、約１．０ｎＣのＶＰＭ１時のドーズ量が必要である。０．３μｍの厚さの銅層に対しては、約０．４ｎＣのＶＰＭ１時のドーズ量が必要である。

【００６４】

この例の場合、たった一つの後続のＶＰＭミリング工程が行われる。このＶＰＭ２工程では、タングステン堆積は採用されない。その代わりに、２００μｍのアパーチャと１．５ｎＡのビーム電流のガリウムイオンビームを有すると共に、０．０２μｍのピクセルスペーシングと５μ秒の停止期間と１０μ秒のリフレッシュ時間と１０μ秒のリトレース時間を有するデフォルトミリングを用いて、試料がミリングされる。

【００６５】

ＶＰＭ１と同様に、ＶＰＭ２に用いられるドーズ量は、取り除かれるべき物質の厚みに従って変化する。この例において、最初の銅層が１．６μｍの厚さを有する場合には、ＶＰＭ２時のドーズ量は、約１．４３ｎＣが必要である。

【００６６】

標準的な洗浄工程が任意に使用されて、再堆積又は他の処理に起因するいかなる残留粒子も取り除くことができる。XeF_2のようなエッチング支援ガスと共に集束イオンビームスパッタリングを用いることは業界で周知のことである。

【００６７】

ＶＰＭを用いてダミー銅パッドが取り除かれた後で、水蒸気又は酸素ガスのような酸素含有ガスと共に集束イオンビームスパッタリングが使用されて、いかなる残留する銅をも取り除いてトレンチ底面を平滑にする。このH_2Oエッチングに対し、水蒸気ノズルが挿入されて、ノズルバルブを開放することによって、チャンバ内の圧力は標準的な処理を用いて約6.7×10^{-6}トールにまで引き上げられる。そして、２００μｍのアパーチャと１．５ｎＡのビーム電流のガリウムイオンビームを用いて試料がミリングされる。０．１５μｍのピクセルスペーシングと０．５μ秒の停止期間と５０００μ秒のリフレッシュ時間と１０μ秒のリトレース時間を有するデフォルト蛇行操作が採用される。トレンチ底面を平滑にするためには、一般的に１．０ｎＣのドーズ量で十分である。

【００６８】

次の表は、上記の一組の処理を使用して厚みを変えた８層のダミー銅層を取り除くために実験に使用された有効なミリングドーズ量をまとめたものである。

【００６９】

【表１】

ダミー銅層	層 厚	XeF_2 ミリング時のドーズ量 (nC)	VPM1時のドーズ量 (nC)	VPM2時のドーズ量 (nC)	第１回目の XeF_2 洗浄時のドーズ量 (nC)	H_2O エッチング時のドーズ量 (nC)	第２回目の XeF_2 洗浄時のドーズ量 (nC)
第１層(Ｍ１)	1.6μm	0.8	1.2	1.43	照射せず	1.0	照射せず
第２層(Ｍ２)	1.6μm	1.0	1.2	1.6	照射せず	1.0	照射せず
第３層(Ｍ３)	0.9μm	0.7	1.0	1.0	0.02	1.0	照射せず
第４層(Ｍ４)	0.9μm	0.7	1.0	1.12	0.01	1.0	照射せず
第５層(Ｍ５)	0.3μm	0.3	0.4	0.62	0.02	1.0	0.05
第６層(Ｍ６)	0.3μm	0.3	0.4	0.89	0.05	1.0	0.05
第７層(Ｍ７)	0.3μm	0.3	0.4	0.52	0.04	1.0	0.05
第８層(Ｍ８)	0.3μm	0.3	0.4	0.92	0.03	1.0	0.05

【００７０】
図４（Ａ）乃至４Ｉは、本発明と上記の一組の処理とパラメータを用いた２０μｍ×２０μｍの領域の８層のダミー銅と誘電物質の取り除きを示す、ＦＩＢシステムによる顕微鏡写真である。図４（Ａ）は、ＶＰＭを介してタングステンダミー層を有する最初のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングを行っていかなる残留する銅をも取り除いてトレンチ底面を平滑にする前の試料を示している。
【００７１】
図４（Ｂ）は、第１層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している。
【００７２】
図４（Ｃ）は、第２層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している。
【００７３】
図４（Ｄ）は、第３層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している。
【００７４】
図４（Ｅ）は、第４層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している。
【００７５】
図４（Ｆ）は、第５層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している。
【００７６】
図４（Ｇ）は、第６層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している。
【００７７】
図４（Ｈ）は、第７層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している。
【００７８】
そして、最後に、図４（Ｉ）は、第８層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している。
【００７９】
本発明をその利点と共に詳細に説明してきたが、特許請求の範囲に記載された発明の精神とその範囲を逸脱することなく、様々な変更、代替、修正がここに記載された実施の形

態に加えられうることを理解すべきである。更に、本出願の範囲は、この明細書に記載された処理方法、機械、製造物、組成物、手段、方法、工程の特定の実施の形態に限定されるものと考えてはならない。業界において通常の知識を有する者は、本発明の開示事項から、現在存在し又は将来において開発されるであろう、ここに記載された対応する実施の形態と実質的に同じ機能をし又は実質的に同じ効果を奏する処理方法、機械、製造物、組成物、手段、方法、工程が本発明に従って利用できることを容易に判断する。従って、添付の特許請求の範囲は、そのような処理方法、機械、製造物、組成物、手段、方法、工程をその範囲内に含むものである。

【産業上の利用可能性】

【００８０】

上述したように、本発明の方法等は、集束イオンビームを用いて、半導体回路から導電物及び誘電物の複数の層を均一に取り除くために利用され、特にはマイクロプロセッサのような半導体デバイスの製造時の銅ミリングに利用される。

【図面の簡単な説明】

【００８１】

【図１（Ａ）】従来の代表的な集積回路の断面図である。

【図１（Ｂ）】従来のＦＩＢシステムによってミリングされた後の代表的な集積回路の断面図である。

【図２】本発明の好適な実施例の各工程を示すフローチャートである。

【図３】本発明の好適な実施例に用いられる代表的な集束イオンビームシステムの略図である。

【図４（Ａ）】本発明の好適な実施例を用いたダミー銅と誘電体の８層の取り除きを示す、ＦＩＢシステムによる顕微鏡写真である。

【図４（Ｂ）】第１層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している顕微鏡写真である。

【図４（Ｃ）】第２層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している顕微鏡写真である。

【図４（Ｄ）】第３層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している顕微鏡写真である。

【図４（Ｅ）】は、第４層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している顕微鏡写真である。

【図４（Ｆ）】第５層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している顕微鏡写真である。

【図４（Ｇ）】第６層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している顕微鏡写真である。

【図４（Ｈ）】第７層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している顕微鏡写真である。

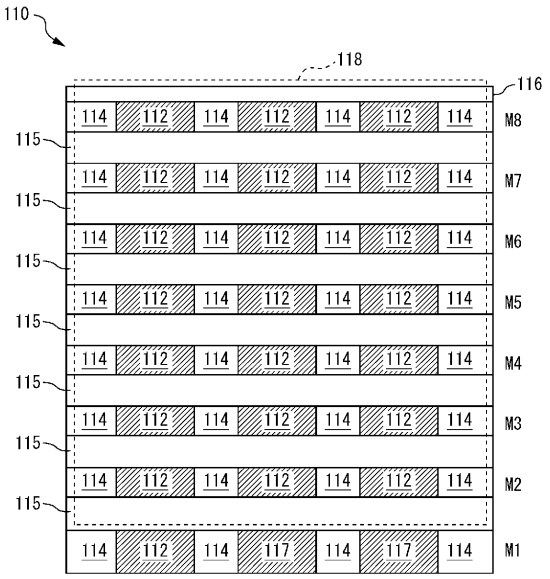
【図４（Ｉ）】第８層のダミー銅と誘電物質の層が取り除かれた後で、H_2Oエッチングの後の試料を示している顕微鏡写真である。

【符号の説明】

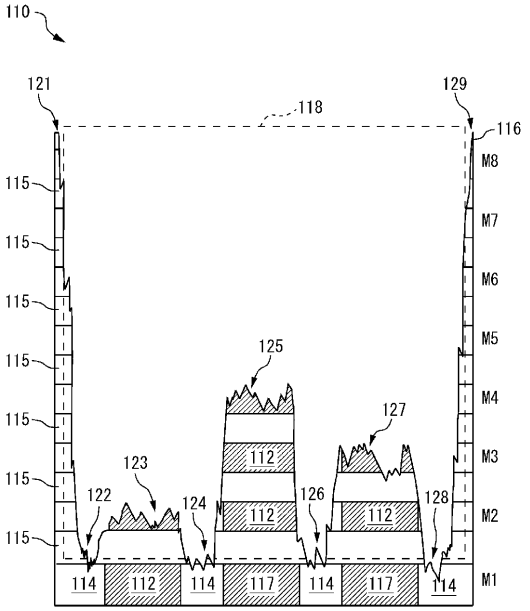
【００８２】

１０　集束イオンビームシステム
１６　カラム
１４　液体金属イオン源
４６　ガス送出システム
１１２　ダミー銅パッド
１１４　誘電物質
１１７　銅配線
１１８　ターゲットボックス

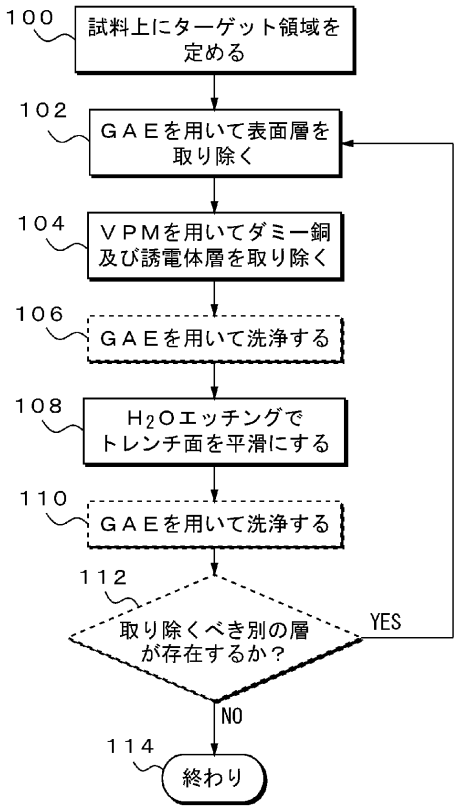
【図１（Ａ）】


110
118
116
114
112
117
115
M8
M7
M6
M5
M4
M3
M2
M1

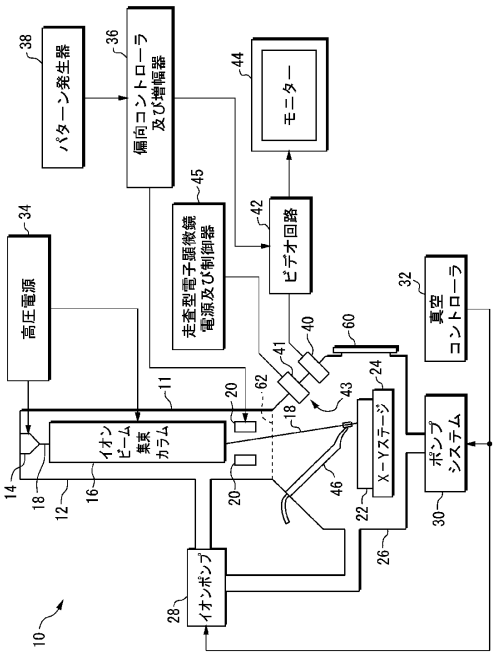
【図１（Ｂ）】


110
121
129
118
116
115
125
127
123
122
124
126
128
112
114
117
M8
M7
M6
M5
M4
M3
M2
M1

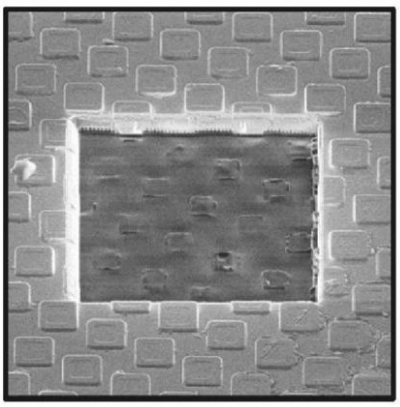
【図２】


100
試料上にターゲット領域を定める
102
ＧＡＥを用いて表面層を取り除く
104
ＶＰＭを用いてダミー層及び誘電体層を取り除く
106
ＧＡＥを用いて洗浄する
108
H_2Oエッチングでトレンチ面を平滑にする
110
ＧＡＥを用いて洗浄する
112
取り除くべき別の層が存在するか？
YES
NO
114
終わり

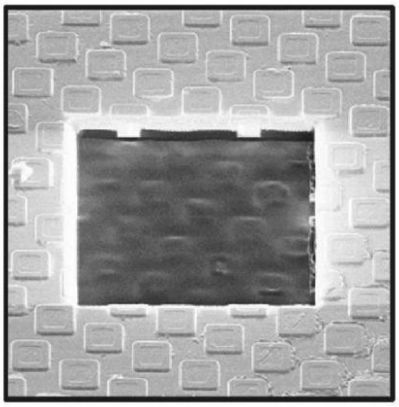
【図３】


パターン発生器
偏向コントローラ及び増幅器
モニター
走査型電子顕微鏡電源及び制御器
ビデオ回路
高圧電源
真空コントローラ
イオンビーム鏡筒カラム
X－Yステージ
ポンプシステム
イオンポンプ
10
11
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34
36
38
40
41
42
43
44
45
46
60
62

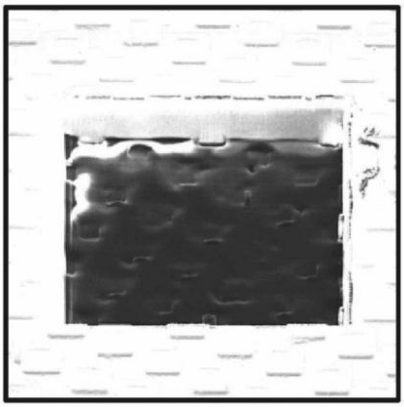
【図４（Ａ）】



【図４（Ｂ）】



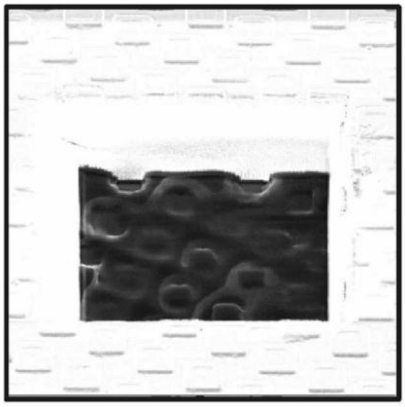
【図４（Ｃ）】



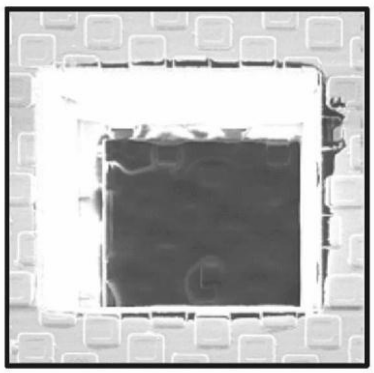
【図４（Ｄ）】



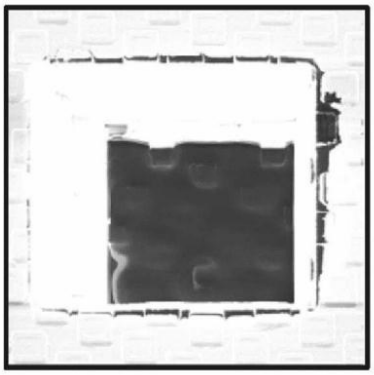
【図４（Ｅ）】



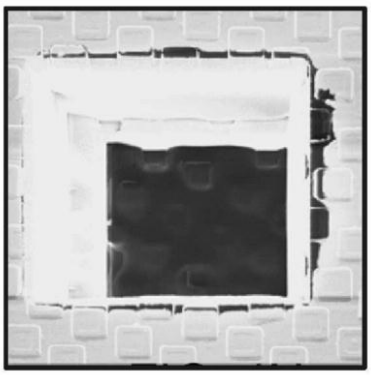
【図４（Ｆ）】



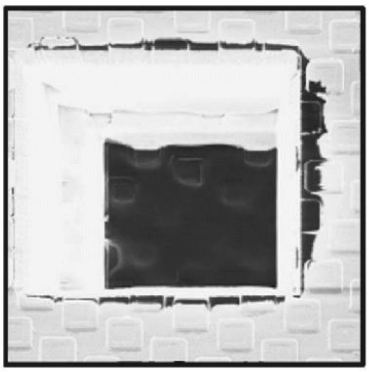
【図４（Ｇ）】



【図４（Ｈ）】



【図４（Ｉ）】



フロントページの続き

(72)発明者　ニール・ジェイ・バッサム
アメリカ合衆国，マサチューセッツ州　０１９８２，ハミルトン，エコー　コーブ　ロード　２６０

審査官　宮澤　尚之

(56)参考文献　国際公開第０１／０６７５０１（WO，Ａ１）
特表２００２－５２７９０８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｌ　２１／３２０５
Ｈ０１Ｌ　２１／３２１３
Ｈ０１Ｌ　２１／７６８
Ｈ０１Ｌ　２３／５２－２３／５２２