

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5600371号  
(P5600371)

(45) 発行日 平成26年10月1日 (2014. 10. 1)

(24) 登録日 平成26年8月22日 (2014. 8. 22)

(51) Int. Cl.	F I
<b>H O 1 J 37/20 (2006. 01)</b>	H O 1 J 37/20 F
<b>H O 1 J 37/317 (2006. 01)</b>	H O 1 J 37/317 E
<b>H O 1 J 37/28 (2006. 01)</b>	H O 1 J 37/28 B
<b>C 2 3 C 14/46 (2006. 01)</b>	C 2 3 C 14/46 Z

請求項の数 18 外国語出願 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2007-31474 (P2007-31474)	(73) 特許権者	501419107
(22) 出願日	平成19年2月13日 (2007. 2. 13)		エフ・イー・アイ・カンパニー
(65) 公開番号	特開2007-250529 (P2007-250529A)		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
(43) 公開日	平成19年9月27日 (2007. 9. 27)	(74) 代理人	100103171
審査請求日	平成22年2月10日 (2010. 2. 10)		弁理士 雨貝 正彦
(31) 優先権主張番号	60/773, 396	(72) 発明者	マイケル・シュミット
(32) 優先日	平成18年2月15日 (2006. 2. 15)		アメリカ合衆国 97080 オレゴン州 グレシャム サウス・イースト・ハチェンダ・エルエヌ 1003
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷電粒子ビーム処理のための保護層のスパッタリング・コーティング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

粒子ビーム源およびワーク・ピース支持を有する荷電粒子ビーム・システムの真空室においてワーク・ピースの上にコーティングを形成する方法であって、

ワーク・ピースを前記荷電粒子ビーム・システムの前記真空室内および前記ワーク・ピース支持の上に挿入することと、

第1の気体注入ノズル、または、第1の気体注入ノズルの上においてコーティングまたは支持された第1の材料を有する第1のスパッタ材料源を前記真空室において提供することと、

第2の気体注入ノズル、または、第2の気体注入ノズルの上においてコーティングまたは支持された第2の材料を有する第2のスパッタ材料源を前記真空室において提供することと、

前記第1のスパッタ材料源を、前記粒子ビーム源と前記ワーク・ピースとの間に配置することと、

前記第1のスパッタ材料源から前記ワーク・ピースの領域に前記第1の材料をスパッタリングして、前記ワーク・ピースの領域の上に前記第1の材料の層を形成するために、集束荷電粒子ビームまたは成形荷電粒子ビームをこれらの荷電粒子ビームが前記第1のスパッタ材料源の表面に衝突するように前記第1のスパッタ材料源に向け、それにより前記ワーク・ピースに対する損傷を回避することと、

前記第1のスパッタ材料源を、前記第1のスパッタ材料源が前記粒子ビーム源と前記ワ

10

20

ーク・ピースとの間にならないように配置し、かつ、前記第2のスパッタ材料源を、前記粒子ビーム源と前記ワーク・ピースの間に配置することと、

前記第2のスパッタ材料源から前記ワーク・ピースの領域に前記第2の材料をスパッタリングして、前記ワーク・ピースの領域の上に前記第2の材料の層を形成するために、集束荷電粒子ビームまたは成形荷電粒子ビームをこれらの荷電粒子ビームが前記第2のスパッタ材料源の表面に衝突するように前記第2のスパッタ材料源に向け、それにより前記ワーク・ピースに対する損傷を回避することと、

前記ワーク・ピースの像を処理または形成するために、前記ワーク・ピースの領域に前記荷電粒子ビームを向けることとを備える方法。

【請求項2】

10

集束荷電粒子ビームまたは成形荷電粒子ビームを前記第1または第2のスパッタ材料源に向けること、および前記ワーク・ピースの像を処理または形成するために前記荷電粒子ビームを前記ワーク・ピースの領域に向けることが、前記荷電粒子ビームを前記第1または第2のスパッタ材料源に向けるステップと、前記荷電粒子ビームを前記ワーク・ピースの領域に向けるステップとの間で、前記ワーク・ピースを前記真空室から取り出すことなく同じ真空室において行われ、それにより、保護層または導電層が加えられ、前記保護層または導電層を有する前記ワーク・ピースが、前記ワーク・ピースを前記真空室から取り出すことなく処理または撮像されることが可能になる請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記ワーク・ピースの領域を処理するために、集束荷電粒子ビームまたは成形荷電粒子ビームを前記ワーク・ピースの領域に向けることが、2次電子または透過電子を使用して前記ワーク・ピースの領域の像を形成するために、電子ビームを前記ワーク・ピースに向けることを含む請求項1に記載の方法。

20

【請求項4】

前記ワーク・ピースの領域を処理するために、集束荷電粒子ビームまたは成形荷電粒子ビームを前記ワーク・ピースの領域に向けることが、前記ワーク・ピースを微細機械加工するために、または材料を前記ワーク・ピースの上に付着させるために、集束イオン・ビームを前記ワーク・ピースの領域に向けることを含む請求項1に記載の方法。

【請求項5】

前記荷電粒子ビームを前記第1または第2のスパッタ材料源に向けることが、保護層または導電層を前記ワーク・ピースの上に形成するために、前記荷電粒子ビームを前記第1または第2のスパッタ材料源に向けることを含む請求項1に記載の方法。

30

【請求項6】

集束荷電粒子ビームまたは成形荷電粒子ビームを前記第1または第2のスパッタ材料源に向けることが、前記第1または第2のスパッタ材料源から前記ワーク・ピースの上にタングステン、クロム、チタン、銅、またはアルミニウムの材料をスパッタリングするために、前記荷電粒子ビームを前記第1または第2のスパッタ材料源に向けることを含む請求項1に記載の方法。

【請求項7】

前記第1または第2のスパッタ材料源から前記ワーク・ピースの領域の上に前記第1または第2の材料をスパッタリングして、前記ワーク・ピースの領域の上に層を形成するために、集束荷電粒子ビームまたは成形荷電粒子ビームをこれらの荷電粒子ビームが前記第1または第2のスパッタ材料源の表面に衝突するように前記第1または第2のスパッタ材料源に向けることが、前記第1または第2のスパッタ材料源から、ウエハや他のワーク・ピースの表面全体よりも小さいウエハや他のワーク・ピースの一部の上に前記第1または第2の材料をスパッタリングするために、集束荷電粒子ビームまたは成形荷電粒子ビームをこれらの荷電粒子ビームが前記第1または第2のスパッタ材料源の表面に衝突するように前記第1または第2のスパッタ材料源に向けることを含む請求項1に記載の方法。

40

【請求項8】

請求項1に記載のステップを実施するコンピュータ命令を記憶するメモリを含む荷電粒

50

子システム。

【請求項 9】

荷電粒子ビームを処理する方法であって、

荷電粒子ビームシステムの真空室内にワークピースを置くことと、

集束荷電粒子ビームまたは成形荷電粒子ビームを用いて第 1 の材料を含むコーティングを前記ワーク・ピースの上にスパッタリングし、前記荷電粒子ビームを、第 1 の気体注入ノズル、または、第 1 の気体注入ノズルの上においてコーティングまたは支持された材料を備える第 1 のスパッタ材料源に向けることと、

集束荷電粒子ビームまたは成形荷電粒子ビームを用いて第 2 の材料を含むコーティングを前記ワーク・ピースの上にスパッタリングし、前記荷電粒子ビームを、第 2 の気体注入ノズル、または、第 2 の気体注入ノズルの上においてコーティングまたは支持された材料を備える第 2 のスパッタ材料源に向けることと、

次に、前記ワーク・ピースを前記真空室内に保持したまま、前記ワーク・ピースから材料をエッチングし、材料を前記ワーク・ピースの上に付着させ、または前記ワーク・ピースの像を形成するために、前記荷電粒子ビームを使用して前記ワーク・ピースを処理し、スパッタ・コーティングが、荷電粒子ビーム処理中に前記ワーク・ピースの表面上のフィーチャを保護することとを備える方法。

【請求項 10】

コーティングをワーク・ピースの上にスパッタリングすることが、ウエハや他のワーク・ピースの表面全体よりも小さいウエハや他のワーク・ピースの一部の上にコーティングをスパッタリングすることを含む請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

コーティングをワーク・ピースの上にスパッタリングすることが、源から前記ワーク・ピースの上に材料をスパッタリングするために、イオン・ビームをスパッタリング材料源に向けることを含む請求項 9 に記載の方法。

【請求項 12】

前記荷電粒子ビームを使用して前記ワーク・ピースを処理することが、前記ワーク・ピースの形状を変化させるために、前記荷電粒子ビームを前記ワーク・ピースに向けることを含む請求項 9 に記載の方法。

【請求項 13】

前記ワーク・ピースの前記形状を変化させるために、前記荷電粒子ビームを前記ワーク・ピースに向けることが、断面を暴露させるために前記ワーク・ピースをミリングすることを含む請求項 11 に記載の方法。

【請求項 14】

走査電子顕微鏡法を使用して前記断面の像を形成するために、電子ビームを暴露断面に向けることをさらに備え、前記ワーク・ピースが、スパッタリングし、前記荷電粒子ビームによって処理し、および前記電子ビームを向けるために、同じ真空室に留まる請求項 13 に記載の方法。

【請求項 15】

前記ワーク・ピースの前記形状を変化させるために、前記荷電粒子ビームを前記ワーク・ピースに向けることが、サンプルを前記ワーク・ピースから抽出するために、前記ワーク・ピースをミリングすることを含む請求項 12 に記載の方法。

【請求項 16】

コーティングをワーク・ピースの上にスパッタリングすることが、前記源から前記ワーク・ピースの上に材料をスパッタリングするためにプラズマを使用することを含む請求項 9 に記載の方法。

【請求項 17】

請求項 9 に記載のステップを実施するコンピュータ命令を記憶するメモリを含む荷電粒子システム。

【請求項 18】

荷電粒子ビーム源と、

真空室内に配置されたワーク・ピースを処理するために、荷電粒子を集束ビームまたは成形ビームに形成するための荷電粒子ビーム光学構成要素と、

第1の気体注入ノズル、または、第1の気体注入ノズルの上においてコーティングまたは支持された材料を備える第1のスパッタ材料源と、

第2の気体注入ノズル、または、第2の気体注入ノズルの上においてコーティングまたは支持された材料を備える第2のスパッタ材料源と、

荷電粒子ビームを前記ワーク・ピースに向けずに、前記第1または第2のスパッタ材料源から前記ワーク・ピースの上に材料をスパッタリングして前記ワーク・ピースの上にコーティングを形成するために前記荷電粒子ビームを前記第1または第2のスパッタ材料源に向けることができ、前記荷電粒子ビーム源と前記ワーク・ピースとの間にある第1位置と、前記荷電粒子ビームを前記ワーク・ピースに衝突するように向けることを可能にするために、前記第1または第2のスパッタ材料源がビーム経路にない第2位置とに前記第1または第2のスパッタ材料源を移動させるためのマニピュレータと、

前記第1または第2のスパッタ材料源から前記ワーク・ピースの領域に材料をスパッタリングして、前記ワーク・ピースの領域の上に保護層を形成するために、前記荷電粒子ビームを前記荷電粒子ビームが前記第1または第2のスパッタ材料源の表面に衝突するように前記第1または第2のスパッタ材料源に向け、それにより前記ワーク・ピースに対する損傷を回避するステップと、前記保護層が形成された後に、前記ワーク・ピースの像を処理または形成するために、前記ワーク・ピースの領域に前記荷電粒子ビームを向けるステップと、を実行するためのコンピュータ命令を格納するメモリと、

を備える荷電粒子ビーム・システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、参照によって本明細書に組み込まれる、2006年2月15日に出願された米国仮特許出願第60/773396号からの優先権を主張する。

【0002】

本発明は、荷電粒子ビーム・システムに関し、具体的には、スパッタ・コーティングをワーク・ピースに加えることに関する。

【背景技術】

【0003】

集積回路および他の微視的またはナノスケールのデバイスは、ワーク・ピースを撮像または変更するために、しばしば荷電粒子ビームを使用して処理される。たとえば、集束または成形されたイオン・ビームをワーク・ピースに向けて、ワーク・ピースを微細機械加工する(micromachine)こと、あるいはビーム誘導付着(beam-induced deposition)によって材料を付着させることができる。電子ビームを同様に用いて、走査型または透過型電子顕微鏡法を使用してワーク・ピースの像を、エッチング、付着、または形成することができる。

【0004】

1つの応用分野では、イオン・ビームが、ワーク・ピースの埋込みフィーチャ(feature)を暴露させてその埋込みフィーチャを見たりまたは修正する目的で、ワーク・ピースをミリングするために使用される。たとえば、埋込み導体を暴露させるために、集積回路の層をミリングして取り去ることが可能であり、次いで、埋込みフィーチャは、新しい導電性経路のイオン・ビーム付着によって切断されたり、あるいは他の導体に接続されることが可能である。イオン・ビームは、ワーク・ピースの断面を暴露させるためにも使用され、それにより荷電粒子ビーム顕微鏡法を使用して断面を見ることが可能である。次いで、イオン・ビームによって暴露された断面は、走査型イオン顕微鏡法または電子顕微鏡法を使用して観測することができる。たとえば、「Defect Analyzer」についてのTeshimaらの米国特許公開第20040158409号は、集束イオン・ビーム

を使用して断面を切断する方法を記載している。「スライス・アンド・ビュー」と呼ばれる一技法では、断面が、集束イオン・ビーム機械加工を使用して暴露され、像が断面で形成される。次いで、追加の材料が、第1壁面からわずかにずれている新しい壁面を暴露させるように断面壁から除去され、追加の像が形成される。少量の材料を断面壁から連続的に除去し、一連の像を形成することによって、3次元構造に関する情報が得られる。イオン・ビーム機械加工は、「Method of Semiconductor Manufacture」についてのSwansonらへの米国特許第5188705号において記載されているように、塩素、フッ素、またはヨウ素などのエッチング促進気体を使用することによって容易にすることができる。

【0005】

10

イオン・ビームは、たとえば「Method and Apparatus for Manipulating a Microscopic Sample」についてのTappelの米国特許公開第2004/0251412号において記載されているように、透過型電子顕微鏡において見るためにサンプルを基板から抽出するためにも使用される。サンプルは、サンプルの周りをミリングし、サンプルをアンダーカットすることによって、基板から取り出される。サンプルは、通常、プローブに添付され、TEMサンプル・ホルダに移動される。サンプルは、イオン・ビームによって薄くしたり、あるいは成形することも可能である。

【0006】

荷電粒子ビームにおけるイオンまたは電子の衝突は、繊細なワーク・ピースを損傷することがある。したがって、荷電粒子ビーム処理を実施する前に、ワーク・ピースの表面上に保護層を加えることが一般的に実施される。

20

【0007】

また、非導電性ワーク・ピースは、ビームによって送達された電荷およびビームの衝突によって生じた2次電子の放出の両方から、荷電粒子ビーム処理中に電荷を累積させる傾向がある。ワーク・ピースが帯電するとき、ワーク・ピースは1次ビームの荷電粒子を偏向させ、それにより分解能を低減する。ワーク・ピースの帯電は、荷電粒子ビームの衝突の際に放出される2次粒子の数も低減することがある。2次粒子はしばしばワーク・ピースの像を形成するために使用されるので、2次電荷の放出の減少は、ワーク・ピースの像を形成するシステムの能力を低下させる。「Ion Beam Processing」

30

【0008】

導電性または非導電性にかかわらず、保護コーティングを付着させる1つの方法は、荷電粒子ビーム誘導付着(charge d-particle-beam-induced deposition)による。荷電粒子ビーム誘導付着では、荷電粒子ビームがワーク・ピースの表面上にわたって走査され、一方、前駆気体がビーム衝突領域の周辺において導入される。前駆気体分子は、コーティングを表面上に残すようにビームが存在する状態で化学的に分解される。揮発性分解産物が表面から離れて浮動し、システム真空ポンプによって除去される。たとえば、導電性コーティングのイオン・ビーム補助気体付着(ion-beam-assisted gas deposition)では、約5 kVと30 kVとの間の荷電粒子ビームが表面上において走査され、一方、たとえばタングステンヘキサカルボニルであるメタロオーガニック(metalloorganic)気体などの前駆気体が、ビーム・ランディング領域の周辺において基板に向けられる。イオン・ビームまたは電子ビームを使用して、コーティングを付着させるために前駆気体を分解させることができるが、電子はイオンより著しく小さい質量を有するので、電子ビームによる表面損傷はより少ない。電子ビームによる表面損傷はイオン・ビームより少ないが、電子ビームは、フォトレジスト、または集積回路の製作に使用される低kまたは超低kの誘電体層など、いくつかの繊細な材料を依然として損傷することがある。ビーム誘導損傷(beam

40

50

-induced damage) により、ワーク・ピースについて測定されている寸法が変化し、観測されているプロファイル (profile) が変化することがある。

【 0 0 0 9 】

材料の層で表面をコーティングする他の方法は、スパッタリングである。物理的蒸着としても知られるスパッタリングは、化学的とは対比的に、分子または原子が運動量の移動によって材料源から打ち出され、次いで対象表面上に付着される物理的プロセスである。スパッタ・コーティング・システムは市販されており、集積回路の製作に使用される。そのようなシステムは、通常、金属層をウエハ全体の上にわたって付着させるように設計される。次いで、金属層は、回路の要素を接続するために導電性パターンを形成するように、フォトリソグラフィ・プロセスを使用してパターンニングされる。そのようなシステムは、通常、イオン化されたアルゴン気体のプラズマを使用し、アルゴン・イオンは、対象と衝突して対象から材料をワーク・ピースの上に打ち出す。そのようなシステムは、通常、気体をイオン化するエネルギーを提供するために電場を使用し、イオン化を容易にするように電子を捕獲するために、磁場を使用することが可能である。これらの生成システムを使用して、品質制御または欠陥分析のためにコート・サンプルをスパッタリングすることは、法外に高価である可能性がある。ガタン・イオン・スパッタ・コータ (Gatan Ion Sputter Coater) などの他のシステムは、小さいサンプルの上にスパッタ・コーティングを提供することができるが、通常の半導体ウエハは収容せず、したがってウエハを分解しなければならない。どちらの場合でも、コーティングは、スパッタ・システムと荷電粒子ビーム・システムとの間においてワーク・ピースを移動させることを必要とし、これは、真空室の複数回の排気、ワーク・ピースがシステム間を移動する際の潜在的な汚染、ならびに追加の時間および人力を伴うことがある。

【特許文献 1】米国仮特許出願第 6 0 / 7 7 3 3 9 6 号

【特許文献 2】米国特許公開第 2 0 0 4 / 0 1 5 8 4 0 9 号

【特許文献 3】米国特許第 5 1 8 8 7 0 5 号明細書

【特許文献 4】米国特許公開第 2 0 0 4 / 0 2 5 1 4 1 2 号

【特許文献 5】米国特許第 4 6 3 9 3 0 1 号明細書

【特許文献 6】米国特許第 5 8 5 1 4 1 3 号明細書

【特許文献 7】米国特許第 5 4 3 5 8 5 0 号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 0 】

本発明の目的は、荷電粒子ビーム処理のためにコーティングをワーク・ピースの表面上に提供し、一方、表面に対する損傷をなくす、または最小限に抑えることである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

本発明は、荷電粒子ビーム処理についてワーク・ピースを保護するために、スパッタ・コーティングを表面上に提供する方法および装置を含む。

【 0 0 1 2 】

一実施形態において、システムは、荷電粒子ビーム・システム内に源材料を含む。源材料からワーク・ピース表面上に材料をスパッタリングするために、荷電粒子ビームが源材料に向けられる。荷電粒子ビームをワーク・ピースに向ける必要はなく、したがって、荷電粒子が繊細なワーク・ピースの表面上に衝突することによる損傷を回避することができる。

【 0 0 1 3 】

他の実施形態において、スパッタリングは、荷電粒子ビーム・システムとは別の室内において、またはそれと同じ真空室内において、従来のスパッタリング装置を使用して実施することが可能である。スパッタ・コーティングが加えられた後、ワーク・ピースは、荷電粒子ビームで処理される。

【 0 0 1 4 】

以上は、以下の本発明の詳細な記述がより良く理解されることが可能であるように、本発明の特徴および技術上の利点をかなり広範に概述した。本発明の追加の特徴および利点が、以下において記述される。当業者なら、開示される概念および特定の実施形態は、本発明の同じ目的を実施する他の構造を修正または設計する基盤として容易に使用することが可能であることを理解されたい。また、当業者なら、そのような等価な構成は、添付の請求項において述べられる本発明の精神および範囲から逸脱しないことも理解されたい。

【0015】

本発明およびその利点をより完全に理解するために、ここで、添付の図面と関連して取り入れられる以下の詳細な記述を参照する。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0016】

本発明は、荷電粒子ビーム処理のために保護層または導電層あるいはコーティングをスパッタ印加することを提供する。荷電粒子ビーム処理は、たとえば、イオン・ビームによってまたは電子ビームによって微細機械加工または撮像することを含むことができる。

【0017】

荷電粒子ビーム処理の多くの応用分野では、荷電粒子ビーム動作を実施する前にワーク・ピースの表面を保護することが望ましい。荷電粒子ビーム付着は、通常、ビームの荷電粒子が表面に衝突することを必要とし、それにより表面を損傷することがある。本発明の実施形態を使用して、ワーク・ピース表面材料を保護するためにスパッタ・コートを加えることができ、また、ワーク・ピースのより良好な分解能および電荷制御を達成するために電荷を低減するように、導電性材料を領域にわたって提供することもできる。スパッタリングは、荷電粒子をサンプルの上にランディングさせずに荷電粒子ビーム・コーティングすることを提供し、それにより荷電粒子ビームによるワーク・ピースに対する損傷を防止、あるいは最小限に抑える。

20

【0018】

図1は、本発明の好ましい実施形態を示す。ステップ102において、スパッタリングのために、ワーク・ピースを真空室内に入れる。ステップ104において、保護コーティングまたは導電性コーティングが、ワーク・ピースの上にスパッタリングされる。コーティングは、ワーク・ピースの表面全体、または表面の一部のみを覆うことができる。随意選択のステップ106において、ワーク・ピースは、荷電粒子ビーム・システムの真空室に移動される。ステップ106は随意選択であるが、その理由は、いくつかの実施形態では、スパッタリングと荷電粒子ビーム処理は同じ真空室において行われるからである。たとえば、スパッタリングは、荷電粒子ビームによって、または荷電粒子ビーム真空室内のスパッタ材料源から材料を打ち出すためにプラズマを使用するスパッタリング・システムによって、実施することが可能である。ステップ108において、スパッタリングされたコーティングを有するワーク・ピースは、荷電粒子ビームを使用して処理される。たとえば、断面がワーク・ピースにおいてミリングされ、次いで撮像されることが可能であり、または、サンプルが、荷電粒子ビームを使用してワーク・ピースから抽出されることが可能である。

30

【0019】

本発明のいくつかの実施形態は、サンプルの保護および局所領域の電荷制御のために、その場合スパッタ・ワーク・ピース・コーティング (in-situ sputter work piece coating) を提供する。それによって、荷電粒子ビーム・システムと同じ真空室においてコーティングを加えることができ、それにより、ワーク・ピースは、コーティングと荷電粒子ビーム処理についてシステム間を移動する必要はなくなる。そのような実施形態は、システムをほとんどまたは全く修正せずに、現在利用可能な荷電粒子システムと共に使用することができ、追加のプラズマ・タイプ・スパッタリング・システムを必要としない。これらの実施形態は、広範な能力を提供し、任意の特定の応用分野の要件に応じて多くの異なる方式において実施することができる。

40

【0020】

50

システムのその場 (in-situ) 実施形態は、ワーク・ピースの上にスパッタリングしたい材料に応じて、わずかなコスト増で、あるいはコストの増加なしに、工場ベースおよび実験室ベースの両方のシステムについて新しい能力を提供することができる。その場実施形態は、ワーク・ピース表面の局所部分に対する被制御局所スパッタリング・コーティングを可能にする。従来のスパッタリング技法を使用してスパッタリング・コーティングすることができるほとんどあらゆる材料も、本発明の実施形態を使用してスパッタリングすることができる。スパッタ・コーティングは、荷電粒子ビーム真空室において任意のワーク・ピースの上に加えることができる。スパッタ・コーティングは、超低k誘電体を含む低k誘電体およびフォトレジストなどの材料と共に用いるとき、しばしばサンプル保護に好ましい方法である。実施形態は、ワーク・ピースの表面材料を保護する目的でスパッタリング・コーティングを加えるために使用することができ、また、サンプルのより良好な分解能および電荷制御を達成する目的で電荷を低減するように、領域の上に導電性材料を提供するために使用することもできる。

10

#### 【0021】

その場実施形態によれば、スパッタ材料源が、イオン・ビーム源とワーク・ピースとの間において提供される。荷電粒子ビームは、スパッタ源材料に向けられ、材料は、スパッタ源材料からワーク・ピースの上にスパッタリングされる。源材料は、たとえば、タングステン、クロム、チタン、銅、アルミニウム、または荷電粒子ビーム・システムの動作を可能にする適切な蒸気圧を有するあらゆる他の金属もしくは非金属の材料を備えることができる。

20

#### 【0022】

図2は、本発明の実施形態を実施するために使用することができる通常の二重ビームFIB/SEMシステム200を示す。二重ビーム・システムは、本発明の譲与人であるFEI社から市販されている。集束イオン・ビーム・システム200は、上方ネック部分212を有する排気されたエンベロープ210を含み、上方ネック部分212の内部に、イオン源214と、抽出器電極および静電光学システム(図示せず)を含むイオン・ビーム集束カラム216とが配置される。イオン・ビーム218は、イオン源214からイオン・ビーム集束カラム216を経て、220において概略的に示される静電偏向器間をワーク・ピース222に向かって進み、ワーク・ピース222は、たとえば、下方室226内の可動X-Yステージ224の上に配置された半導体デバイスを備える。イオン・ポンプ228が、ネック部分212を排気するために使用される。室226は、真空制御装置232の制御下において、ターボ分子および機械ポンピング・システム230で排気される。真空システムは、室226内において、約 $10^{-7}$ トル(  $10^{-7}$  mbar )と $5 \times 10^{-4}$ トル(  $1.7 \times 10^{-4}$  mbar )との間の真空を提供する。エッチング補助気体、エッチング遅延気体、または付着前駆気体を使用される場合、室の背景圧力は、通常、約 $10^{-5}$ トル(  $10^{-5}$  mbar )まで上昇することが可能である。

30

#### 【0023】

高電圧電源234が、イオン・ビーム218を形成し、それをワーク・ピース222に向けするために、イオン源214、ならびにイオン・ビーム集束カラム216の適切な電極に接続される。パターン生成装置238によって提供される規定パターンに従って動作する偏向制御装置および増幅器236が、偏向プレート220に結合され、それにより、イオン・ビーム218は、ワーク・ピース222の上面において、または本発明によれば、以下で記述される気体注入システム242のノズル240などのスパッタ材料源の上において、対応するパターンを追跡するように制御できる。直径が小さいので、ノズル240は針と呼ばれることもある。いくつかのシステムでは、偏向プレート220は、当技術分野では周知であるように最終レンズの前に配置される。

40

#### 【0024】

イオン源214は、通常、ガリウムの金属イオン・ビームを提供するが、たとえばイオンの代わりに酸素、アルゴン、または他の希ガスを使用して、マルチカusp (multicusp) または他のプラズマ・イオン源などの他のイオン源を使用することができる。イオン源

50



214は、通常、イオン・ミリング、化学的に改良されたエッチング、材料付着によってワーク・ピース222を修正するために、またはワーク・ピース222を撮像するために、ワーク・ピース222において10分の1ミクロン以下の幅のビームに集束させることができる。ビームを点に集束させるのではなく、イオン・カラムは、成形ビームを提供することも可能である。成形ビームは、スパッタリング時間を短縮するように、より大きな電流を提供することができる。撮像のための2次イオンまたは電子放出を検出するために使用される荷電粒子増倍器などの2次電子検出器244が、増幅器246に接続される。増幅信号はデジタル信号に変換され、信号プロセッサ・ユニット248による信号処理を受ける。結果として得られるデジタル信号は、ワーク・ピース222の像をモニタ250の上に表示する。

10

#### 【0025】

走査電子顕微鏡260、ならびに電源および制御ユニット262も、FIBシステム200に提供される。電子ビーム263が、カソード264とアノード268との間に電圧を印加することによってカソード264から放出される。電子ビーム263が、集光レンズ270および対物レンズ272によって微細スポットに集束される。電子ビーム263は、偏向コイル276によって試料の上を2次元走査される。集光レンズ270、対物レンズ272、および偏向コイル276の動作は、電源および制御ユニット262によって制御される。いくつかの実施形態は、走査透過型電子顕微鏡法モードにおいて使用される薄いワーク・ピースを透過する電子を検出する検出器を含む。電子ビームおよびイオン・ビームの存在はほとんどの応用分野に有用であるが、本発明は、二重ビーム・システムに

20

#### 【0026】

電子ビーム263は、下方室226内の可動X-Yステージ224の上にあるワーク・ピース222の上に集束させることができる。電子ビームの電子がワーク・ピース222に当たるとき、2次電子が放出される。これらの2次電子は、増幅器246に接続される2次電子検出器244または後方散乱電子検出器266によって検出される。増幅信号はデジタル信号に変換され、信号プロセッサ・ユニット248による信号処理を受ける。結果として得られるデジタル信号は、ワーク・ピース222の像をモニタ250の上に表示する。

#### 【0027】

気体注入システム242は、気体蒸気を導入してワーク・ピース222に向けるために下方室226の中に延びる。本発明の譲受人に譲渡された「Gas Delivery Systems for Particle Beam Processing」についてのCase11aへの米国特許第5851413号が、適切な気体注入システム242を記載している。他の気体送達システムが、やはり本発明の譲受人に譲渡された「Gas Injection System」についてのRasmussenへの米国特許第5435850号において記載されている。気体注入システムは、通常クロムで作成されるノズル240を含む。以下で記述されるように、様々な材料で作成され、様々な材料でコーティングされ、または異なる材料のボリューム(volumes)が付着されたノズルを使用して、ワーク・ピース222の上にスパッタリングされる様々な材料を提供することができる。ノズル240は、イオン・ビーム218の経路の中に移動させることができ、それにより、ビームのイオンは、ノズル240からワーク・ピース222の上に材料をスパッタリングする。次いで、ノズル240は、ビームによるワーク・ピース222の処理を可能にするために、ビーム経路の外部に移動させることができる。1つまたは複数の電気モータ280が、ノズルを1つまたは複数の軸に沿って移動させるために使用される。

30

40

#### 【0028】

ドア282が、加熱または冷却することが可能であるステージ224の上にワーク・ピース222を挿入するために、また、内部気体供給リザーバが使用される場合にはそれをサービスするために開かれる。ドア282は、システムが真空下にある場合、開くことができないようにインタロックされる。高電圧電源は、イオン・ビーム218に給電して集

50

束させるために、イオン・ビーム集束カラム 2 1 6 の電極に適切な加速電圧を提供する。ワーク・ピースを入れたり取り出したりするために、サンプル領域全体を排気しなければならないことを回避するために、「ロードロック (load rock)」を使用することができる。

#### 【 0 0 2 9 】

上述したように、いくつかの実施形態では、スパッタリングの源材料は、気体注入システム (GIS) の針の形態にある。集束イオン・ビーム・システムは、しばしば GIS システムの 1 つまたは複数を含むので、本発明は、既存のシステムにおいて容易に実施することができる。GIS システムは、通常、真空室壁に固定され、配置されている調節機構の上に取り付けられる。調節機構により、ノズルは、気体を所望の位置に向けるように移動し、または使用されていないときにサンプルの近くから遠ざけることが可能である。複数の GIS システムを含む荷電粒子ビーム・システムでは、異なる GIS システムの GIS ノズルは、異なる材料で作成することができ、それにより、異なる材料のスパッタリング・コーティングは、GIS ノズルの異なるものをスパッタリング材料源として使用することによって加えることができる。GIS ノズルは、所望のスパッタ源材料から作成することができ、または、スパッタ源材料でコーティングすることができる。あるいはまた、源材料の 1 つまたは複数のポリウムは、たとえば、FIB 付着、ロウ付け、溶接を使用することによって、または接着剤を使用することによって、1 つまたは複数の GIS ノズルに添付することができる。

#### 【 0 0 3 0 】

図 3 は、本発明の実施形態を示す。イオン・カラム 3 0 2 が、GIS ノズル 3 0 4 などのスパッタ材料源に向けられるイオン・ビーム 3 1 0 を提供する。ワーク・ピース 3 0 6 は、少なくとも x - y 併進能力を有するワーク・ピース・ステージ 3 0 8 の上において支持される。イオン・ビーム 3 1 0 は GIS ノズル 3 0 4 から原子 3 1 4 または分子をスパッタリングし、原子 3 1 4 は、ワーク・ピース 3 0 6 の表面に向けて放出される。イオン・ビームは、通常、衝突の際に 10  $\mu$ m 未満、より好ましくは 1  $\mu$ m 未満、通常は 0 . 5  $\mu$ m 未満の直径 (幅全体、最大半減) を有する。

#### 【 0 0 3 1 】

多くの荷電粒子ビーム・システムが GIS をすでに含むので、GIS ノズルをスパッタ材料源として使用することが好都合であるが、その場の実施形態は、GIS 針を使用することに限定されるものではない。たとえば、いくつかの荷電粒子ビーム・システムは、真空室内において小さいアイテムを操作するためにマイクロマニピュレータ (micromanipulator) を含む。マイクロマニピュレータ・システムは、通常、真空室においてサンプルまたは他のアイテムに添付するためのプローブを含む。プローブまたはプローブに添付された材料は、スパッタ材料源として使用することができる。代替として、スパッタ材料源は、ワーク・ピースの上にスパッタリングするように配置され、かつ、荷電粒子ビームがワーク・ピースを処理できるよう遠ざけることができる、真空室の中に導入された任意のデバイスの上にあるか、またはその一部であることができる。

#### 【 0 0 3 2 】

図 4 は、GIS 針をスパッタ材料源として使用する本発明の好ましいその場実施形態のステップを示すフロー・チャートである。ステップ 4 0 2 において、ワーク・ピースは、真空室内に装入される。ステップ 4 0 4 において、ステージは、コーティングされるワーク・ピースの領域が、ビームの衝突点の付近であるが、わずかにそこからずれて配置されるように移動する。ステップ 4 0 6 において、GIS ノズルなどのスパッタ材料源が、イオン・ビーム経路の中に移動される。当業者なら GIS 針および荷電粒子ビームに対して、コーティングされる領域の最適位置を経験的に決定することができる。ステップ 4 0 8 において、イオン・ビームは、スパッタ材料源に向けられ、材料は、源からワーク・ピースの表面上にスパッタリングされる。必要であれば、ステージは、より大きな領域をコーティングするためにスパッタリング・プロセス中に移動させることができる。ワーク・ピースの上におけるコーティングの位置は、GIS ノズルの上におけるビーム衝突の位置、

ステージの位置、またはGISノズルの位置を調節することによって調節することができる。コーティングがワーク・ピースに加えられた後、スパッタ材料源は、ステップ410においてビーム経路から取り除かれる。イオン・ビームがワーク・ピースを処理するために使用される場合、ステップ412において、イオン・ビームはワーク・ピースの上に再集束され、ステップ414において、ワーク・ピースは、イオン・ビームによって、または電子ビームによって処理される。

#### 【0033】

いくつかの実施形態は、複数のGIS針を使用することができる。たとえば、1つのGISは、ビーム補助気体付着のための気体を供給することができ、1つは、スパッタリングのための材料源として使用することができ、あるいは、単一の針を両方の機能について連続的にまたは同時に使用することができる。スパッタ粒子(sputtered particle)は、スパッタリングされた材料自体の付着に加えて、材料を付着させるために前駆物質を分解するのに有用である可能性がある。複数の針は、異なる材料で作成またはコーティングすることができ、それにより、真空室からワーク・ピースを除去せずに異なる材料のスパッタ層(sputtered layer)を加えることができる。たとえば、1つの針を1つの材料でコーティングすることができ、第2針を異なる材料から作成することができ、あるいは、単一または複数のGISを使用して様々なスパッタ対象材料を選択することが可能であるように、材料の小さい対象を針に添付することができる。針は、たとえば、後で加えられたコーティングが以前のコーティングの部分を暴露して残して部分的にコーティングするか、あるいは層をなしてコーティングすることができ、それにより、コーティングのための異なる材料を提供するように、下にある材料から、あるいはコーティングの1つまたは複数からスパッタリングすることができる。複数のコーティングを加える一連のプロセスを使用することができるが、そのいくつかはスパッタリング付着を使用し、いくつかはビーム誘導気体付着を使用する。スパッタ材料源の配向または位置は、ワーク・ピースの上の対象のフィーチャ上へのスパッタリングを精確に狙うように変更することができる。すなわち、コーティングされる領域は、たとえば、スパッタ源の位置または配向、ならびにビーム・パラメータ、スパッタ源からワーク・ピースまでの距離、および他のパラメータを変更することによる「スパッタ操作(sputter steering)」によって制御することができる。

#### 【0034】

様々な実施形態は、比較的小さい選択された領域網羅について、または大きな領域網羅について使用することができる。クロム、チタン、タングステン、銅、およびアルミニウムを非限定的に含めて、複数の材料が、スパッタリングに利用可能である。

#### 【0035】

一実施形態では、GIS針からのクロムが、20 nAのビーム電流で、30 keVのランディング・エネルギーを有するイオン・ビームを使用して、10,000平方ミクロンの大きさのスパッタリング領域の上に付着された。より大きなビーム電流により、より迅速なスパッタ付着が得られる。たとえば、X-Y併進ステージを使用してサンプルを移動させることによって、またはスパッタ源とワーク・ピースとの距離を増大させることによって、より大きな網羅領域を達成することができる。ビーム電流は、付着を高速化または低速化するために、あるいは付着領域を制御するために、調節することができる。100 pAまたは300 pA程度に低いビーム電流は、小さい領域をコーティングするのに適切である可能性がある。保護コーティングを生成するのに必要な時間は、コーティングされる領域のサイズおよびコートの厚さによって変化する。

#### 【0036】

30分のスパッタリングで、著しい量の付着を生成することが示されている。30分間の処理で得られるコーティングの厚さは、150 nmより大きいと推定されており、したがって、数10ナノメートルのコーティングは、より短い時間で容易に達成可能である。はるかにより短いスパッタ時間、5~10分以下の時間程度で、対象の通常の領域にわたって適切な厚さのコートを生成することが予期される。

## 【 0 0 3 7 】

イオン・ビームは、通常、矩形パターンにおいて G I S 針または他のスパッタ材料源の上においてラスタされる ( rastered ) 。通常のラスタ・サイズは、 $40\text{ }\mu\text{m} \times 5\text{ }\mu\text{m}$ である。1つの位置において G I S 針から過度に多くの材料を除去することを回避するために、比較的大きなラスタ・サイズが好ましい。通常の G I S 針のチップ ( tip ) の直径は、約  $1.5\text{ mm}$  である。ビームの焦点は、ワーク・ピースからスパッタリング用の針に変化し、次いで、次の処理のため、焦点はワーク・ピースに再び変化させることができる。

## 【 0 0 3 8 】

スパッタリングされる材料の量は、通常、G I S 針の厚さと比較して相対的に小さく、したがって、ほとんどの実施形態では G I S 針の磨耗は問題ではない。ラスタは、磨耗を低減するために、G I S 上の異なる位置に移動させることができる。

10

## 【 0 0 3 9 】

ほとんどの実施形態では、ビームが G I S 針の上でラスタしている間、サンプルの位置および G I S の位置は固定される。スパッタ材料源の上における 1 次ビームのランディング位置は、スパッタ・コーティングの位置を調節し、より大きな領域をコーティングするように変化させることができる。当然、サンプル、G I S 針、またはビームのいずれかまたはすべては、ワーク・ピースの上におけるスパッタ・コーティングのサイズを増大させる、または他のパラメータを調節するために、移動させることができる。

## 【 0 0 4 0 】

本発明は、ビームをワーク・ピースに向けることを必要とせずに、荷電粒子ビーム・システムにおいてワーク・ピースの上にコーティングを生成することを提供する。本発明の範囲から逸脱せずに、ビームがスパッタ源に向けられている間、荷電粒子ビームがワーク・ピースに偶発的に衝突する可能性がある。あらゆる偶発的な衝突は、焦点からずれている可能性があり、集束または成形された粒子ビームをワーク・ピースに向けるより少ない損傷ですませることができる。本発明は、集積回路、薄膜読取り / 書込みヘッド、微細電気機械アセンブリ ( M E M S ) ( microelectromechanical assemblies ) 、および他のデバイスを含めて、任意のワーク・ピースに適用することができる。従来の技術のプラズマ・スパッタ・システムとは異なり、本発明のいくつかの実施形態は、対物レンズおよび随意選択で集光レンズなどの荷電粒子ビーム光学機器を使用して、スパッタリングの前にビームを収束させる。ウエハ全体にわたってコーティングを生成する従来の技術のウエハ・スパッタリング・システムとは異なり、本発明のいくつかの実施形態は、ウエハまたは他のワーク・ピースの比較的小さい部分をコーティングする能力を提供し、それにより、ウエハの上の他のダイ ( die ) が影響を受けないことを可能にする。一実施形態では、約  $200\text{ }\mu\text{m}$  の直径の円がコーティングされた。コーティングされる領域のサイズは、スパッタ材料源の上においてイオン・ビームによってミリングされるパターンのサイズと共に変化する。 $20\text{ }\mu\text{m}$  から  $50\text{ }\mu\text{m}$  メートルの範囲内などのより小さい領域が、容易に達成可能であるはずである。

20

30

## 【 0 0 4 1 】

上述されたその場実施形態のほかに、いくつかの実施形態は、粒子ビームを使用せずにスパッタリングする。たとえば、材料は、ダイオード、トリオード、またはマグネトロン・タイプのスパッタリング・システムを使用してスパッタリングされることが可能である。そのようなシステムは、荷電粒子ビームを表面に向けずに、保護層をワーク・ピース表面の上に提供し、それにより表面に対する損傷を低減または排除する。保護コーティングが加えられた後、ワーク・ピースは、たとえば、像を形成する、サンプルを抽出する、または断面もしくは埋込み層を暴露させるために、荷電粒子ビームを使用して処理することができる。スパッタリング機構は、サンプルが荷電粒子ビームを使用して処理されるものとは異なる真空室に配置することができ、または、スパッタリング機構は、ワーク・ピースを機械間において移動しなくてすむように、同じ真空室内に配置することができる。

40

## 【 0 0 4 2 】

本発明およびその利点が詳細に記述されたが、添付の請求項によって規定される本発明

50

の精神および範囲から逸脱せずに、様々な修正、代用、および変更を行うことができることを理解されたい。さらに本出願の範囲は、本明細書において記述されたプロセス、機械、製造、物質の組成、手段、方法、およびステップの特定の実施形態に限定されることを意図するものではない。当業者なら、本発明の開示から、本明細書において記述された対応する実施形態とほぼ同じ機構を実施する、またはそれとほぼ同じ結果を達成する現在既存の、または後に開発されるプロセス、機械、製造、物質の組成、手段、方法、およびステップが、本発明により使用されることが可能であることを容易に理解するであろう。したがって、添付の請求項は、その範囲内にそのようなプロセス、機械、製造、物質の組成、手段、方法、およびステップを含むことを意図する。

【図面の簡単な説明】

10

【0043】

【図1】本発明の好ましい実施形態を示すフロー・チャートである。

【図2】本発明を実施することができる二重ビーム・システムを示す図である。

【図3】材料をワーク・ピースの上にスパッタリングする荷電粒子ビームを示す図である。

【図4】本発明の実施形態の好ましいステップを示すフロー・チャートである。

【符号の説明】

【0044】

102 104 106 108 ステップ

200 集束イオン・ビーム・システム

20

210 排気されたエンベロープ

212 上方ネック部分

214 イオン源

216 イオン・ビーム集束カラム

218 イオン・ビーム

222 ワーク・ピース

224 可動X-Yステージ

226 下方室

228 イオン・ポンプ

230 ターボ分子および機械ポンピング・システム

30

232 真空制御装置

234 高電圧電源

236 偏向制御装置および増幅器

238 パターン生成装置

240 ノズル

242 気体注入システム

244 2次電子検出器

246 増幅器

248 信号プロセッサ・ユニット

250 モニタ

40

260 走査電子顕微鏡

262 電源および制御ユニット

263 電子ビーム

264 カソード

268 アノード

270 集光レンズ

272 対物レンズ

276 偏向コイル

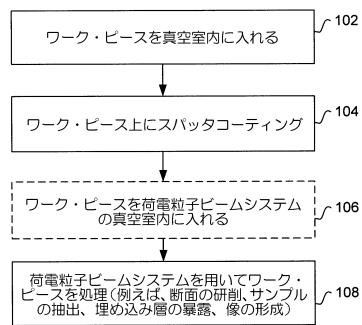
280 1つまたは複数の電気モータ

302 イオン・カラム

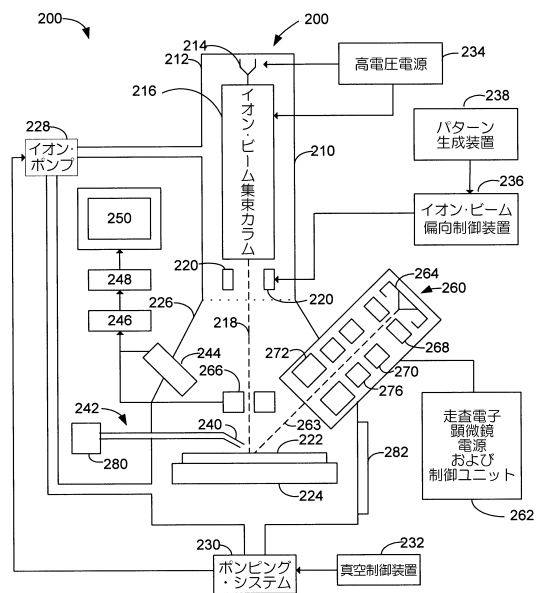
50

3 0 4    G I S ノズル  
 3 0 6    ワーク・ピース  
 3 0 8    ワーク・ピース・ステージ  
 3 1 0    イオン・ビーム  
 3 1 4    原子  
 4 0 2    4 0 4    4 0 6    4 0 8    4 1 0    4 1 2    4 1 4    ステップ

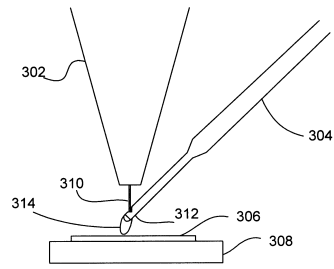
【図 1】



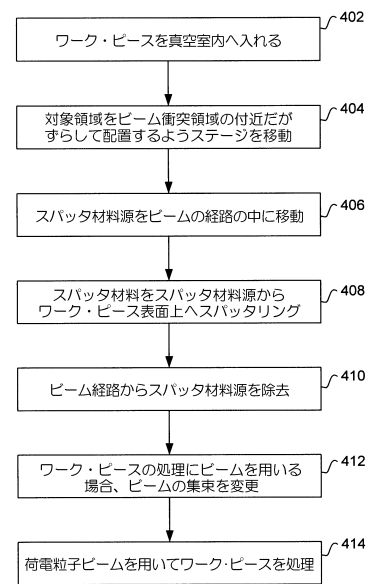
【図 2】



【図 3】



【図 4】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ジェフ・ブラックウッド

アメリカ合衆国 97206 オレゴン州 ポートランド サウス・イースト・セブンティ・フィ  
フス・アヴェニュー 3203

審査官 田邊 英治

(56)参考文献 特開2002-313274(JP,A)

特開平06-020639(JP,A)

特開平08-171882(JP,A)

特開2000-260383(JP,A)

特開2004-119291(JP,A)

特開平10-303199(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01J 37/00 - 37/36