

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4730875号
(P4730875)

(45) 発行日 平成23年7月20日 (2011. 7. 20)

(24) 登録日 平成23年4月28日 (2011. 4. 28)

(51) Int. Cl.

F I

C 2 3 C 16/48 (2006. 01)

C 2 3 C 16/48

H O 1 J 37/317 (2006. 01)

H O 1 J 37/317 D

H O 1 L 21/302 (2006. 01)

H O 1 L 21/302 2 O 1 B

請求項の数 26 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2004-188935 (P2004-188935)
 (22) 出願日 平成16年6月25日 (2004. 6. 25)
 (65) 公開番号 特開2005-15922 (P2005-15922A)
 (43) 公開日 平成17年1月20日 (2005. 1. 20)
 審査請求日 平成19年6月19日 (2007. 6. 19)
 (31) 優先権主張番号 10/607, 814
 (32) 優先日 平成15年6月27日 (2003. 6. 27)
 (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 9 7 1 2 4, ヒ
 ルズバラ, ノースイースト・ドーソンクリ
 ーク・ドライブ 5 3 5 0
 (74) 代理人 100090376
 弁理士 山口 邦夫
 (72) 発明者 クレイグ・マシュー・ヘンリー
 アメリカ合衆国, オレゴン州 9 7 0 0 7
 , アローハ, エス・ダヴリュウ ホリー・
 ウッズ・コート 1 9 8 9 7

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 近接堆積方法とそのシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

荷電粒子ビームをワークピースの一部からなるターゲット面上に向けることなく、前記ワークピースのターゲット面上に材料を堆積することによって前記ワークピースのターゲット面上に保護層を提供して、その後の荷電粒子ビームの処理中において前記ターゲット面を保護する方法であって、

前記ワークピース上に、対象となる領域を囲繞するターゲット面を特定する工程と、

前記ワークピース上に、前記ターゲット面と異なる電子源表面を限定する工程と、

前記ターゲット面上に堆積ガスを提供する工程と、

前記荷電粒子ビームにより前記電子源表面を照射して、前記ターゲット面上の領域に突入する2次電子を発生する工程であって、該2次電子が前記堆積ガスと相互に影響しあって、前記対象領域を含む前記ターゲット面上に堆積材料の保護層を堆積し、該保護層を堆積している間は前記荷電粒子ビームが前記ターゲット面に衝突しないようにし、更に、前記ターゲット面内の前記対象領域が前記照射によって損傷を受けないようにするものと、堆積材料の保護層の堆積後に、荷電粒子ビームを前記ターゲット面に向けて照射して前記ターゲット面を処理する工程とからなる方法。

【請求項 2】

前記対象領域が断面解析されるべき特徴を囲繞することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

10

20

前記特徴が長方形形状のターゲット面の中心線に沿って配設されたライン特徴であることを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

ワークピースが断面解析されるべき特徴を有する表面を具備するウェハであり、ターゲット面を特定することには、解析されるべきライン特徴の一部を囲繞する長方形形状の面を限定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 5】

前記電子源表面を限定することには、ターゲット面を囲繞する面を限定することが含まれていることを特徴とする請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記照射することには、イオンビームによる照射が含まれることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記照射することには、電子ビームによる照射が含まれることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

荷電粒子ビームをワークピースの一部からなるターゲット面上に向けることなく、前記ワークピース表面のターゲット面上に材料を堆積することによって前記ワークピースのターゲット面上に保護層を提供して、その後の荷電粒子ビームの処理中において前記ターゲット面を保護する方法であって、

該ワークピース表面上においてターゲット面を特定する工程と、

前記ターゲット面とは別に、前記ターゲット面領域にオーバーフローする二次電子を生成するように形成された補助電子源表面を提供する工程と、

前記ターゲット面上に堆積ガスを提供する工程と、

前記荷電粒子ビームにより前記補助電子源表面を照射して、前記ターゲット面上に放出する 2 次電子を発生し、該 2 次電子が前記堆積ガスと相互に影響しあって、前記ターゲット面上に堆積材料の保護層を堆積する工程であって、該保護層を堆積している間は前記荷電粒子ビームが前記ターゲット面に衝突しないようにするものと、

堆積材料の保護層の堆積後に、荷電粒子ビームを前記ターゲット面に向けて照射して前記ターゲット面を処理するようにする工程とからなる方法。

【請求項 9】

前記補助電子源を提供することには、堆積ガスを提供する機器の一部である金属面を有する補助電子源を提供することが含まれていることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記ターゲット面が断面解析されるべき特徴を囲繞していることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 11】

前記特徴が長方形形状のターゲット面の中心線に沿って配設されたライン特徴であることを特徴とする請求項 10 に記載の方法。

【請求項 12】

ワークピースが断面解析されるべき特徴を有する表面を具備するウェハであり、ターゲット面を特定することには、解析されるべきライン特徴の一部を囲繞する長方形形状の面を限定することが含まれていることを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記補助電子源表面を提供することには、ターゲット面の周囲の軌道で入射ビームを動かす金属面を提供することが含まれていることを特徴とする請求項 12 に記載の方法。

【請求項 14】

前記補助電子源に照射することには、イオンビームによる照射が含まれることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 15】

前記補助電子源に照射することには、電子ビームによる照射が含まれることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 16】

荷電粒子ビームをワークピースの一部からなるターゲット面上に向けることなく、前記ワークピースのターゲット面上に材料を堆積することによって前記ワークピースのターゲット面上に保護層を提供して、その後の荷電粒子ビームの処理中において前記ターゲット面を保護するシステムであって、

対象となる領域を囲繞する前記ターゲット面を有する上面を具備するワークピースを收容するステージと、

前記荷電粒子ビームを前記ワークピースの上面に制御可能に放出するように構成された 10
カラムであって、前記ビームが前記上面に衝突するときに、2 次電子を放出させるものと

、
前記ターゲット面に堆積ガスを提供するガス源と、

前記カラムと連結して前記ビームを制御する制御器であって、前記ビームをワークピースの上面に導くものと、

前記制御器によって実行されたときに、前記制御器に行わせる命令を前記制御器に提供する記憶デバイスであって、前記命令は電子源表面上において前記ビームを走査して 2 次電子を発生させ前記ターゲット面上に前記電子源表面からの 2 次電子を送り、それが堆積ガスと共に相互反応し、それによって、前記ビームがターゲット面に入射することなく、堆積材料の保護層を前記ターゲット面上に堆積させ、そして、堆積材料の保護層の堆積後 20
には、荷電粒子ビームを前記ターゲット面に向けて照射して前記ターゲット面を処理させるように制御器を命令するものである記憶デバイスとからなるシステム。

【請求項 17】

前記電子源表面がガス蒸気源の金属部分であることを特徴とする請求項 16 に記載のシステム。

【請求項 18】

前記電子源表面がワークピース上面の一部であることを特徴とする請求項 16 に記載のシステム。

【請求項 19】

前記ワークピースがターゲット面内に特徴を有するウェハであることを特徴とする請求項 16 に記載のシステム。 30

【請求項 20】

前記カラムが、FIB ビームを放出する FIB カラムであり、ターゲット面上に堆積層を堆積させた後で FIB ビームが前記特徴からスライスを切り取るようにする命令を前記記憶デバイスが有していることを特徴とする請求項 19 に記載のシステム。

【請求項 21】

更に、切り取られたスライスによって露呈された面で前記特徴の断面を映像化するように構成された SEM を具備していることを特徴とする請求項 20 に記載のシステム。

【請求項 22】

更に、2 次電子をターゲット面に向かうようにする静電界を生成するように構成された一又はそれ以上の電極を具備することを特徴とする請求項 16 に記載のシステム。 40

【請求項 23】

前記一又はそれ以上の電極が、前記ターゲット面の周囲にビームを走らせる静電界を発生することを特徴とする請求項 22 に記載のシステム。

【請求項 24】

前記ワークピースが、シリコンベースのウェハであり、堆積ガスがヘキサカルボニルタングステン ($W(CO)_6$) を有し、前記ビームがガリウムイオンを有することを特徴とする請求項 16 に記載のシステム。

【請求項 25】

前記カラムが電子を放出することを特徴とする請求項 16 に記載のシステム。 50

【請求項 26】

前記カラムがフォトンを放出することを特徴とする請求項 16 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般的には、材料堆積に関連するが、特に、ターゲット表面を照射することなく、ターゲット表面に材料を堆積（塗布（apply））することに関連する。

【背景技術】

【0002】

ガス堆積は、半導体ウェハ又は磁性記録媒体のようなワークピースのターゲット面上に材料を堆積するための各種の用途に用いられている。その材料は、半導体特徴の評価及び解析のために薄膜表面やシリコンバリア層や保護被膜を形成するためなどのような様々な理由で堆積される。前記解析に関して、断面スライスがウェハの問題の領域の表面から切り取られ映像化のために内部断面を露呈する。そして、走査型電子顕微鏡（SEM）のような映像機器が、その内部の特徴寸法を解析し、評価し、そして、測定するために、断面を映像化する。一般的に、断面スライスは、ポリゲート又はホトレジストライン又は接点のような問題の特徴の少なくとも一部を含んでいるウェハ表面上のある領域から切り取られる。スライスが切り取られてその切断部の周囲の領域をシールドし、（測定のために）映像化されるべき特徴の内部の部分の諸特性を保持する間、保護層は、表面上に必要である。

【0003】

ガス堆積材料は、一般的に、次のような方法でワークピース表面に堆積される。荷電粒子（又は他の）ビームが堆積ガスの存在下でターゲット表面に照射される。表面への衝突時に、荷電粒子ビームは、表面から 2 次電子を放出させ、それが堆積ガスと相互作用して堆積微粒子を構成するようにする。引き続き、その微粒子は下地のターゲット表面上に蓄積され、それによって、堆積層を形成する。多くのガスとワークピース表面とビームタイプの組み合わせが用いられて、様々な堆積目的を達成している。たとえば、共通に使用される堆積ガスには、タングステンやプラチナや金や炭素を含有して、ターゲット表面上にそれらを堆積するガスが含まれている。堆積すべき特定の材料は、通常、用途、下地のターゲット表面、そして、材料がそれと反応する方法に依存する。同様に、様々なビームタイプが使用されて、2 次電子を発生する。これらには、イオンや電子やレーザービームが含まれる。特定のビームタイプとパラメータに関連して、ターゲット表面材料とその 2 次電子放出係数に依存して、これらのビームタイプのうちのいくつかは、所定の用途にとって好適であるかも知れない。特徴評価及び測定用途がシリコンベースのウェハに関連する場合、ガリウムイオンビームと共にタングステンガスが一般に使用されターゲット表面上の保護膜としてタングステンを塗布する。

【0004】

図 4(A) は、ライン特徴 105 を有する半導体ウェハ 100 の平面図である。Z 軸のライン特徴のアスペクトを測定するために、一般に、（X 軸に沿って）特徴 105 とウェハ表面から断面スライスが切り取られて、特徴の X - Z 諸特性を測定するための断面を得る。典型的には、集束イオンビーム（FIB）が用いられて、スライスされた断面を切り取る。そして、通常、SEM が用いられて、特徴断面の X - Z 諸特性を測定する。実際、半導体製造業界においては FIB と SEM の双方を有するデュアルビームシステムが通常使用され、単独の機器でこれらの機能をより有効に行う。しかし、当該業界において周知であるように、FIB は断面スライスを効果的に切り取ることに優れているが、一方、FIB は、一般的に言って、さほどクリーンではなく、測定されるべき特徴のアスペクトを有する周囲の領域の少なくとも一部を損傷することなしには、スライスを切り出すことができない。従って、保護堆積層は、上記のように、断面切り出し以前に、ウェハ 100 と特徴 105 の表面上に堆積される。

【0005】

図4(B)に関して、保護層を堆積するためには、通常、FIBそれ自体が使用される。それが断面スライスを取り取るのに使用されているので、堆積層を堆積するためのターゲット表面に対して照射する位置にFIBは既に存在している。これを実行するために、FIBビーム103は、ターゲット表面の近傍で放散された適切な堆積ガス120の存在の下で、関連性のあるウェハと特徴表面を有するターゲット表面に亘って走査され、ターゲット表面内の特徴とウェハの両表面上に保護材料を堆積する。ターゲット表面に衝突したとき、FIBビームがターゲット表面のビームが衝突した箇所からあらゆる方向に2次電子 e^- を放出させる。この電子は、ガスと互いに影響しあって微粒子を形成してその下の表面上に堆積する。図4(C)に示すように、方法が完遂したときに、堆積した微粒子で構成される保護層125は、ターゲット表面に亘ってできあがる。

10

【0006】

残念なことに、FIBが最初にターゲット表面上で走査されるときに、十分な量の堆積材料が溜まってFIBから被照射特徴表面をシールドするまでの期間中表面から材料がスパッタされる。たとえこの時間は短いときでも、相当量の材料を取り除くことを可能にするほど十分長い場合もあり、このことは断面解析の精度を損なう原因となる。たとえば、図4(C)に示すように、ライン特徴105はその頂外縁をかなり丸くするものであるが、このことは、FIBに対する最大の非シールド露呈を招来する。このことは、特に、今日のチップ製造方法に使用される次第により小さな寸法で且つより小さな許容誤差にするとときに問題となる。たとえば、丸く描かれたライン特徴に関して、その幅は、不正確に、ライン特徴が許容誤差外であると誤って評価されるほど小さく計測される。

20

【0007】

上記のように、電子ビーム及びレーザービームは、材料堆積のために必要な電子を発生するために使用される。しかし、それらは下地面を損傷することもあり得る。特に、それらが有望なスループットを達成するために十分なエネルギー及び/又は電流密度レベルにあるときには、損傷することもあり得る。しかし、下地面を傷付けないほど十分弱い場合には電子ビーム及びレーザービームが一般的にあまりにも緩慢であるために、それらを用いることは通常実用的でない。更に、たとえば、デュアルビームシステムのような多くの環境の下で、それらはガス堆積用の適切なアングルでターゲット表面を走査するために正確に調整されるものではない。プラズマ蒸着(PVD)スパッタ方法は、いくつかの用途に使用可能であるかも知れないが、しかし、通常FIB製造制御用途に利用されることはない。何故ならば、それらがウェハ表面のターゲット部分に堆積層をローカルに塗布するためには使用できないからである。

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明の課題は、ターゲット面を実質的に傷付けることのないようにして材料を堆積する方法とシステムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

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「ワークピース上に材料を堆積する方法であって、該ワークピース上に、対象となる領域を圍繞するターゲット面を特定する工程と、前記ターゲット面に近接するも実質的に異なる電子源表面を限定する工程と、前記ターゲット面上に堆積ガスを提供する工程と、前記電子源表面の少なくとも一部に照射して、前記ターゲット面上の領域に突入する2次電子を発生する工程であって、該2次電子が前記堆積ガスと相互に影響しあって、前記対象領域を含む前記ターゲット面上に堆積材料の層を堆積し、前記ターゲット面内の前記対象領域が前記照射によっても損傷を受けないようにするもの」とからなる方法を提供するものである。

40

【0010】

また、第2の解決手段は、請求項8に記載したように、「ワークピース表面上に材料を堆積する方法であって、該ワークピース表面上においてターゲット面を特定する工程と、

50

前記ターゲット面に近接する補助電子源表面を提供する工程と、前記ターゲット面上に堆積ガスを提供する工程と、前記補助電子源表面の少なくとも一部に照射して、前記ターゲット面上に放出する２次電子を発生し、該２次電子が前記堆積ガスと相互に影響しあって、前記ターゲット面上に堆積層を堆積す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。

【００１１】

更に、第３の解決手段は、請求項１６に記載したような、「ターゲット面を有する上面を具備するワークピースを収容するステージと、ビームを前記ワークピースの上面に制御可能に放出するように構成されたカラムであって、前記ビームが前記上面に衝突するときに、２次電子を放出させるものと、前記ターゲット面に堆積ガスを提供するガス源と、前記カラムと連結して前記ビームを制御する制御器であって、前記ビームをワークピースの上面に導くものと、前記制御器によって実行されたときに、前記ターゲット面に近接するも前記ターゲット面の一部ではない電子源表面上において前記制御器がビームを走査する命令を前記制御器に提供して、前記ターゲット面上の前記電子源表面から２次電子を発生し、それが堆積ガスと共に相互反応し、それによって、前記ビームがターゲット面に入射することなく、堆積層を前記ターゲット面上に堆積させる記憶デバイス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。

【００１２】

本発明は、荷電粒子（たとえば、イオンや電子）又は光ビームを用いて、２次電子を発生してガス堆積材料内に堆積を誘発する、実質的に損傷のない材料堆積を行う方法を提供するものである。また、本発明は、ビームをターゲット表面に近接する電子源表面（ターゲット表面内ではない）に向けて照射する。このビームはその電子源表面上を走査されて２次電子をこの電子源表面から放出させ、ターゲット表面上の領域に突入させて堆積ガスと互いに影響しあって所望の量の材料をターゲット表面に堆積する。それとは別に、ビームはターゲット表面に近接する個々の電子発生面（好ましくは比較的の高い２次電子放出係数を有するもの）に向かって照射されて電子を発生し、ターゲット表面上に堆積材料を堆積する。

【００１３】

上記の説明は、以下の発明の詳細な説明をよりよく理解することができるようにするために、本発明の特徴と技術的な利点をむしろ広範に略述したものである。別の本発明の特徴と技術的な利点は、以下に説明される。本発明と同じ目的を実行する他の構造物を改作又は設計するための基になるものとして、開示された概念と特別の実施の形態が容易に利用されうことは業界で通常の知識を有する者にとって明らかである。そのような均等な構造物が本明細書に添付の特許請求の範囲に記載された本発明の精神と範囲から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よって理解される。

【発明の効果】

【００１４】

上記第１乃至第３の課題解決手段によれば、満足のいくスループットを有して、半導体特徴を明確には変更せずに半導体特徴上に保護層を堆積し、それによって、正確な計測のために半導体特徴を保存することができる効果を奏する。また、材料堆積を行うために使用されるビームにターゲット表面自体が照射されることなく、材料が適切な高速でターゲット表面上に堆積される効果も奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１５】

図１は、本発明の近接堆積方法の各種の実施の形態を実施するために最適なＦＩＢシステムの一例を示す略図である。特定された構成要素は必ずしも全ての用途にとって必要なものではない。その上、図示されたサイズと相対的な位置は、必ずしも全ての構成にとって拡大縮小したり、一致する必要はない。

【００１６】

図示されたＦＩＢシステムは、イオンビーム２１７を発生してそれをイオンビーム集束

10

20

30

40

50

コラム 216 に送る液体金属イオン（たとえば、ガリウムイオン）源 214 を有する真空チャンバ 210 を具備する。集束コラム 216 は、静電レンズや各電極（操作電極や偏向電極など）を有する従来の光学系と所望の集束イオンビーム 218 を生成してそれをターゲットのワークピース 222 に集束させることを可能にする他の構成部材を内蔵する。集束イオンビームと共に使用されるレンズと他の光学部材が静電界又は電磁界を利用してビーム内のイオンを制御することと、光学部材がイオン流を制御することを業界において通常の知識を有する者は理解する。更に、たった一つのレンズでも、又は数個までのレンズでも設計上可能である。

【0017】

イオンビーム 217 は、イオン源 214 から集束コラム 216 を通過して集束イオンビーム 218 となりワークピース 222 上の所望のポイントに向かう。ワークピース 222 は、真空チャンバ 226 の下部において移動 X-Y ステージ上に着脱自在に取り付けられている。ワークピース 222 は、集束イオンビーム 218 によって加工されて所望の結果を達成することができるいかなる材料でもよい。たとえば、半導体デバイスやホトリソグラフィマスクや磁性ヘッドなどが含まれる。使用される特定タイプのビーム（たとえば、形状のあるなし、サイズ、ガリウムなどの素材）は、対象物質と希望する結果に依存する。たとえば、大電流によって厳密に集束された非拡大ビームが望ましいこともあるし、それとは別に、好適な電流密度プロファイルを有する集束以下の形状のあるビーム（又はそれに関して他の形状のビーム）が最適であるかも知れない。

【0018】

イオンポンプ 228 が、ネック部 210 を排気するために用いられている。下部チャンバ 226 は、真空コントローラの制御の下でターボ分子メカニカルポンプシステム 230 によって排気される。高圧電源 234 は液体金属源 214 と集束コラム内の適切な電極に接続されており、適切な荷電イオンビーム 218（たとえば、5 KeV 乃至 30 KeV）を形成してそれを下側に向ける。ビームコントローラ 236 は集束ビーム 218 を制御するために集束コラム 216 に接続され、所望の堆積タスクに関連して、ターゲットのワークピース 222 上で該ビームを走査し、回転し、変形し、及び/又は移動する。コントローラ 236 によって、利用者は、（図示しない）従来のユーザーインタフェースに入ったコマンドによって所望の方法で操作されるべきビーム 218 を制御することができる。それとは別に、ビームコントローラ 236 は、記憶デバイスにアクセスして命令をダウンロードし、該コントローラがシステムを制御して、損傷の原因となるイオンビーム 218 に露呈することがないように、ワークピースの所望の領域上に材料を堆積するための通路を走査するようにすることもできる。

【0019】

液体金属イオン源 214 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使用できるけれども、大抵はガリウムの金属イオンビームを提供するものである。液体ガリウム源は、大抵ワークピース 222 において 1/10 ミクロン以下の幅を有するビームに集束することができる。撮像用の 2 次放出を検出するために使用される電子倍增器 240 は、撮像電源及びコントローラ 245 とビデオ回路 242 に接続されている。ビデオ回路 242 はドライブ信号をビデオモニタ 244 に供給して、加工されている最中のワークピース 222 を表示する。

【0020】

ガス蒸気源 246 は、蛇腹 252 内の支持構造物を介してガス源を適切な位置に置くようにする変換デバイス 248 によってチャンバ 226 の側部の内側に配設されている。ガス蒸気源 246 は、ヒーター付きのタンク 254 を有し、そのタンクはメンブレンタイプの加熱器を有することもでき、タンク 254 内の化合物の温度を、ビーム誘導反応のために適切な分子流 259 を提供してワークピース 222 上に堆積される微粒子材料を形成する温度に上昇するのに使用される。注射針によって提供される毛細管からなる移送管又はノズル 256 は、タンク 254 から制御バルブ 258 を通ってノズル端 257 に延在して、図示のように円筒形状のノズル端 257 を通過するイオンビーム 218 に近接するワー

10

20

30

40

50

クピース 222 に向けてガス蒸気 259 を流す。制御バルブ 258 は、システムが制御自在にガス蒸気を放出することを可能にする。

【0021】

タンク 254 は化合物をガス蒸気 259 に気化する所望の温度に上昇したとき、装置外からアクチュエータロッドを引っ張ってバルブブランジャの位置を開放調整してバルブ 258 が開放されるが、一方、円筒形状のノズル端 257 は、ワークピース 222 の所望の領域に向かって配向する。蛇腹 252 は、試料に対するノズル組み立て体とタンクの動きを吸収してチャンバ 226 内の真空度に影響を与えないようにする。化合物のガス蒸気 259 は、使用するワークピースとイオン源（又は他のビームタイプ）に関連して既定の目的に合致するような何れかの適切な堆積ガスであればよい。一つの実施の形態において、ガリウム源が使用されている場合、ヘキサカルボニルタングステン（ $W(CO)_6$ ）を有するガスが使用される。このガスがターゲットのワークピース 222 上で電子と相互に影響しあったとき、主にタングステンによって構成されるがガリウムも含んでいる堆積微粒子が構成され、従来のシリコンベースの半導体材料を保護するためによく機能する。

【0022】

ドア 260 は、ワークピース 222 を挿入してそれを加熱可能なステージ 224 上に載置するため、そして、タンク 254 を点検するために開扉する。ドア 260 は、タンク 254 内の温度が実質的に室温よりも上である場合には、開扉しないように連動されている。

【0023】

真空制御システムは、ガス蒸気源 246 のヒーターと共に操作されて、材料堆積のためにワークピース 222 に向かうようにチャンバ内でガス蒸気フラックスを確立するための適切な蒸気圧条件を提供する。所定のガス蒸気フラックスを確立するために、タンク 254 が予め決められた温度に加熱される。

【0024】

高圧電源 234 は、イオンビームカラム 216 内の電極に適切な加速電圧を印加してイオンビーム 218 を活発にし集束させる。ビームが濃縮されたガス蒸気が付着したワークピースに当たったときに、イオンビームはガス状の化合物と基板の間でワークピース上の材料堆積のための反応を引き起こすためのエネルギーを提供する。

【0025】

前記のように、真空システムは、チャンバ 226 内に約 1×10^{-7} Torr と 5×10^{-4} Torr の間の真空を提供する。ガス蒸気の排気と共に、チャンバのバックグランド圧力（background pressure）は好適には約 1×10^{-5} Torr である。例示された実施の形態において、ガス蒸気源 246 は、注射針の毛細管を介して適切なガスフラックスを提供する温度に加熱されるが、一方、金属イオン源と集束カラムは適切に制御されて対応する好適なイオンフラックスを発生する。当該業界において通常の知識を有する者は、いずれの特定の用途においても好適な圧力とガス流を簡単に決定する。

【0026】

近接堆積

本発明の一の実施の形態において、相当高いエネルギー及び/又は相当大きな電流密度を有する荷電粒子（たとえばイオンや電子）又は光ビームを用いて、ターゲット面に直接照射することなく、電子源表面から 2 次電子を発生し該電子源表面に隣接するそのターゲット面上に蒸着を誘発することによって、ターゲット面上に実質的に傷のない材料堆積を行うことができる。この方法に関して、2 次電子の適切なオーバーフローを発生するために、相当高いエネルギー、電流、及び/又は電流密度を有するいかなる粒子ビーム又は光ビームが使用される。このようなビームには、ターゲット面を避けて電子源表面に向かって放射され 2 次電子を発生する電子ビーム、イオン（たとえば、FIB）ビームやレーザービームが含まれるが、これらに限定されるものではない。この方法を説明するために単純化して、FIB ビームがここでは用いられるが、当該業界において通常の知識を有する者は他のビームも使用できることを理解する（たとえば、特に電子ビームが相当なエネルギ

10

20

30

40

50

ーと電流を有するときには、電子ビームは2次電子を発生するためによく機能する。一つの実施の形態において、300 eVと3 KeVの間のエネルギーと1 nAを超える電流値を有する電子ビームが使用されて半導体上に材料を堆積する)。

【0027】

ターゲット面は、まず、材料堆積層を受けるために限定される。ターゲット面は、一般的に、ウェハ基板表面を囲繞すると共に、(たとえば、計測又は解析のための)対象となる一又はそれ以上の特徴の少なくとも一部を含む。ターゲット面は、一又はそれ以上の特徴の重要な部分がFIBによって適切に衝撃を受けないようにする程十分に広くなくてはならない。同時に、2次電子が十分な材料堆積を誘起するために適切にターゲット面の領域に浸透することができるほどに狭いものである(及び/又は適切な幾何学形状を有している)べきである。

10

【0028】

一度ターゲット面が特定されると、電子源表面が2次電子を提供するために限定される。電子源表面の領域は、通常ターゲット面に隣接している。それは電子源表面の領域にオーバーフローするほどの満足のできる量の2次電子を作り出す程十分広いか又は適切な形状を有すべきである。一般的に、ターゲット面の周囲で実質的に均一な形状に電子源表面の領域を限定して、2次電子がより均等にターゲット面の領域に分配されるようにすることが望ましく、それによって、結果的により均一な材料堆積層となる。(しかし、ビーム衝突点からの距離が遠くなるにつれて2次電子の濃度が薄くなり、所定のポイントでの材料堆積量がそのポイントにおける利用可能な電子の濃度に比例するので、現実的な均一性を達成することは難しい。このように、電子源表面のビーム衝突点から最大の平均距離を有するターゲット面内の各ポイントは、より薄い材料堆積となる。)多くの場合、ターゲット面を囲繞する閉じた電子源表面を有することが望ましいが、しかし、それらはあらゆる場合にターゲット面を囲繞する必要もない。更に、電子源表面は、矩形や長円形や三角形のようないかなる適切な形状を有することも可能である。

20

【0029】

最後に、蒸着ガスが供給されてターゲット面の領域内で放散され、同時に、FIBビームが電子源表面を走査してターゲット表面領域のための2次電子を発生する。いくつかのライン特徴を有する半導体ウェハを用いた一つの例を以下に説明する。

【0030】

30

図2(A)乃至図2(D)は、本発明の一実施の形態に関連して材料堆積の各段階におけるウェハ300を示しているが、該ウェハ300はライン特徴305A-305Eを有している。これらのライン特徴は、ウェハ300のダイのうちの一つにおいて密集した配設されたライン導体の領域内に存在する。この実施の形態において、内側の3つのライン特徴305B、305C、305Dが計測されるべきものである。(最初と5番目のライン特徴305Aと305Eは、緩衝領域としてターゲット領域に入っており、対象特徴305B-305Dがより確実にイオンのオーバーショットから保護されることとなる。)多くの品質制御手法に応じてチップ製造工程中にライン特徴のうちの代表的な試料の深さと内側の幅を計測することが望ましい。本発明の一つの利点は、デュアルビームシステムでFIBを使用して保護材料を堆積すること並びに解析のために断面を切り出すことができることによって、測定がFIBによって、希望する場合には、製造ライン上で正しく効率的に行われる。更に、ターゲット材料堆積ができないPVD方法とは異なり、FIB堆積方法に関して、測定工程においてウェハ上で破壊されねばならないのは、単独のダイのみである。このように、残りのチップダイに関しては、ウェハは以後の工程や商品化のためにラインをたどることができる。

40

【0031】

図2(A)及び図2(B)に関して、ウェハ表面は、四角形の枠状の電子源表面315によって囲繞された四角形状のターゲット面310を有する。正確な縮尺で表示されていないが、各ライン特徴305A-305Eの(Y軸上の)幅は約0.2 µmであり、それらの間の空間も約0.2 µmである。従って、図示されたターゲット面310の幅は、約2

50

、 $0\ \mu\text{m}$ である。図2(B)は、ウェハ300の断面を示している。それは、FIBビーム303が電子源表面315の左部分の一点に向けて照射されていることを示している。図示のように、2次電子 e^- がビーム衝突点から四方八方に放出している。

【0032】

この実施の形態においては、中央の3本のライン特徴(305B、305C、305D)のみが測定される。しかし、特定のターゲット面が限定されて5本のラインを囲繞するが、これは一方で、堆積中のターゲット面へのFIBイオンの過度の放射から適切に測定すべき内側の3本のラインを保護することと、他方で、ターゲット面の全幅を最小にして2次電子がターゲット面内の全ての点に容易にたどり着くことができるようにすることとの妥協の結果である。

10

【0033】

図2(C)は、その上に材料が堆積されているときのウェハの平面図である。それは、供給された堆積ガスが全体領域に放散されていると共に、2次電子 e^- が放出されていることを示している。図示のように、2次電子 e^- は電子源表面315の至る所から四方八方に放出している。しかし、それらは電子源表面315のあらゆる点から同時に放出されるものではない。むしろ、それらは、FIBビーム303によって衝撃を加えられたその時点で衝撃点から放出される。ターゲット面310内における電子の比較的均一な配分を維持するためには電子源表面315の至る所で高速でFIBビームが走査されるべきだからである。高速走査のために、ビームは、高速で点から点に移動され(即ち、停止時間が短くされビームが点から点に迅速に移動される)か、若しくは、インタレースタイプの走査

20

【0034】

別の用例においては、異なるサイズの電子源表面とターゲット面が同様に使用される。それに応じて、処理対象物に依存して、別々の場合において異なるビームパラメータが使用される。一つの実施の形態において、点から点の入射ビームの停止時間は、異なるサイズのビーム電流、電流密度、ビームスポット直径が使用されていても、一定である。特定のビームパラメータを選択したときに、いくつかの要因が考慮される。ビームスポットのサイズは、通常、電子源表面のサイズと面積に依存して決定される。電子源表面領域が広い場合には、ターゲット面に衝突しないで、電子源表面の領域に最も余裕のない状態でビームスポットが適切にはまりこむ限り、より大きなビームスポット領域であることが望ましい。しかし、ビーム電流と電流密度は、ターゲット面のサイズと面積に応じて選択されるべきであり、同様に、電子源表面の材料の2次電子放出特性に応じて選択されるべきである。より大きな電流密度は、一般的に、電子をより遠くに放出しより濃い濃度にする。このように、ターゲット面が電子源表面の最も近いビーム衝撃点からも比較的遠い内部部分を有しているので、より大きな電流密度を有するビームが使用されるべきである。一方、電流密度があまりにも大きすぎると、余分な材料が電子源表面から跳ね返って2次電子のターゲット面への移動に悪影響を及ぼす。ウェハ表面における真空度が、また、2次電子がどの程度速く移動するのかについて影響する。一つの実施の態様においては、12

30

40

【0035】

最後に、図2(D)は、材料325が電子源表面315上に堆積された後のウェハ300の断面を示している。図示のように、材料325は電子源表面上で最も厚く、そこで2次電子密度が最も大きくなる。材料の厚みをみると、電子源表面から遠くへの2次電子の移動を少なくさせたことが予想される。材料は、また、ターゲット面から離れた電子源表面の外側にも堆積する。何故ならば、電子と堆積ガスが存在するときにはいつでも材料は堆積されるからである。このように、ウェハの決められた領域に材料を堆積しないようにし

50

たいときには、ガスがその決められた領域に放散されないような手段若しくは２次電子がそれに至らないようにする手段のいずれかが執られるべきである。

【００３６】

他の実施の形態

図３は、ターゲット面に２次電子を供給する別の方式を図示している。図示されたＦＩＢビーム４０３をウェハのターゲット面３１０に近接する電子源表面に向けて照射する代わりに、図示の場合には、堆積ガス４５９をウェハに向けて放出するために使用されるノズル端ピース４５７の内部金属面である補助電子源表面に向けて照射するものである。この補助電子源表面は、ターゲット面と共通の面を有さない面であり２次電子をそのターゲット面に提供するものであればよい。たとえば、入射ビームによる衝撃に応じて２次電子を提供するために、（ガスがそこに供給され続ける）ターゲット面に調節自在に近接配置されたプレートや型やツールである。ＦＩＢに関しては、電子ビームやレーザーや高２次電子放出係数を有する金属のような材料が一般的に望ましいが、しかし、いかなる入手可能な好適な材料でも十分である。ターゲット面に既に近接している（ガスノズル端のような）構造物を使用することはより便利である。

【００３７】

２次電子をターゲット面に向ける配向機器も利用できる。たとえば、静電界及び／又は電磁界発生機器が使用されうる。静電界及び電磁界は、ターゲット面の周囲の軌道で入射ビームを動かすためには、静的なものであってもよいし動的なものであってもよい。静電界に関して、ワークピース自体が一又はそれ以上の個々の操作電極と組み合わせて使用されるか、それとは別に、もっぱら個々の電極がその静電界を確立するために使用される。一つの実施の態様においては、一又はそれ以上の個々の電極が、２次電子をターゲット面に対して内側に向けるために、ターゲット面を囲繞する静電界（電磁界）を生成するために構成されている。

【００３８】

上記のように本発明とその利点が詳細に説明されてきたが、各種の変形と代替と変更が、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しないで、なされうることを理解されるべきである。更に、本出願の範囲は、この明細書に記載されたプロセスと機械と製造物と組成物と方法と工程の特定の実施の形態に制限されることを意図するものではない。当該業界で通常の知識を有する者は本発明の開示事項から容易に正当に認識する限り、現に存在しているか又はこれから開発されてここに説明された対応する実施の形態と実質的に同じ機能を行い又は実質的に同じ結果を達成するであろうプロセスと機械と製造物と組成物と手段と方法と工程を構成要素と工程が本発明に従って利用される。従って、特許請求の範囲の記載は、そのようなプロセスと機械と製造物と組成物と手段と方法と工程をその範囲内に有することを意図するものである。

【産業上の利用可能性】

【００３９】

上述したように、本発明の方法等は、半導体等に材料を堆積する場合に利用される。

【図面の簡単な説明】

【００４０】

【図１】本発明の堆積方法の一例を実施するために最適なＦＩＢシステムの略図である。

【図２（Ａ）】いくつかのライン特徴を有するターゲット表面を有するウェハの平面図である。

【図２（Ｂ）】本発明の蒸着方法の一つの実施の形態を行うためのＦＩＢ照射を示す、図２（Ａ）のウェハの断面図である。

【図２（Ｃ）】本発明の蒸着方法の一つの実施の形態を示す、図２（Ａ）及び図２（Ｂ）のウェハの平面図である。

【図２（Ｄ）】堆積層がターゲット表面上に堆積した後の特徴を図示した、図２（Ａ）乃至図２（Ｃ）のウェハの断面図である。

【図３】本発明の蒸着方法の他の実施の形態を示す、いくつかのライン特徴を有するウェ

ハの断面図である。

【図４（Ａ）】ライン特徴を有するウェハ表面の平面図である。

【図４（Ｂ）】図４（Ａ）のウェハとライン特徴の４Ｂ－４Ｂ線断面図である。

【図４（Ｃ）】従来のガス堆積方法を用いた堆積材料層をその上に堆積させた後の図４（Ａ）と図４（Ｂ）のウェハと特徴の断面図である。

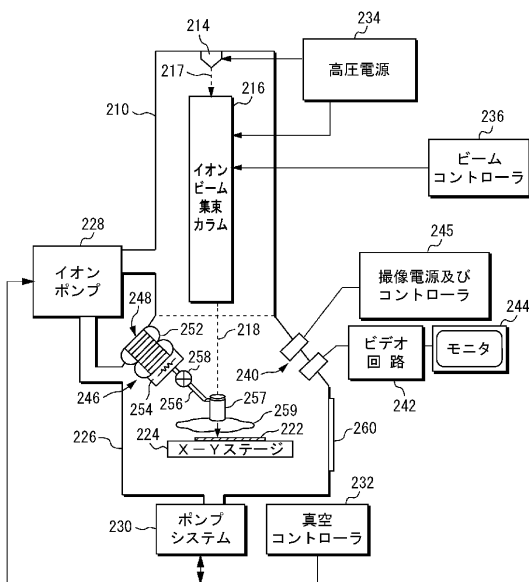
【符号の説明】

【００４１】

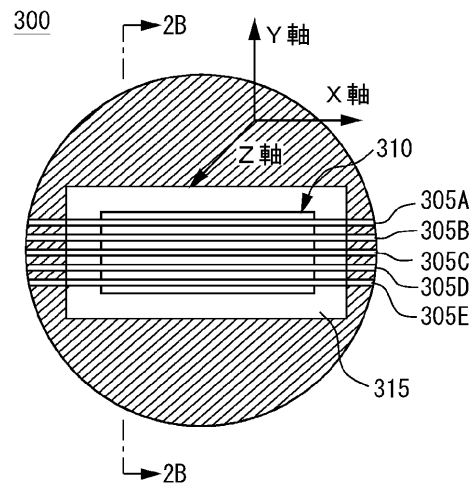
２１０…ネック部、２１４…液体金属イオン源、２１６…イオンビーム集束カラム、２１７…イオンビーム、２１８…集束イオンビーム、２２２…ワークピース、２２４…Ｘ－Ｙステージ、２２６…下部チャンバ、２２８…イオンポンプ、２３０…ポンプシステム、２３２…真空コントローラ、２３４…高圧電源、２４０…電子増倍器、２４２…ビデオ回路、２４４…ビデオモニタ、２４５…撮像電源及びコントローラ、２４６…ガス蒸気源、２４８…変換デバイス、２５２…蛇腹、２５４…タンク、２５６…ノズル、２５７…ノズル端、２５８…制御バルブ、２５９…ガス蒸気、２６０…ドア、３００…ウェハ、３０３，４０３…ＦＩＢビーム、３０５…ライン特徴、３１０…ターゲット面、３１５…電子源表面、３２０，４５９…堆積ガス、４５７…ノズル端ピース

10

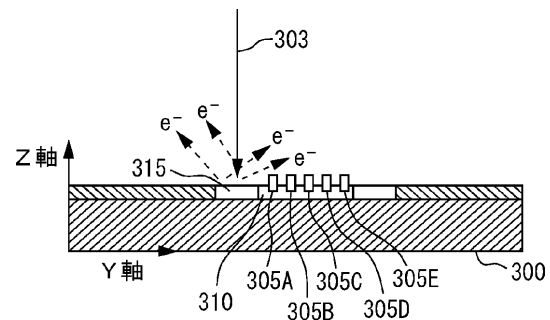
【図１】



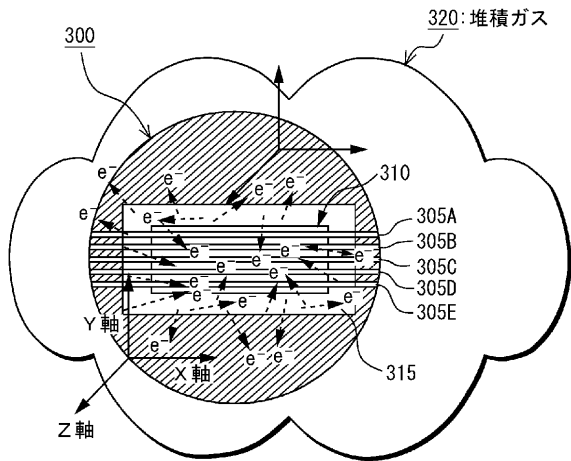
【図２（Ａ）】



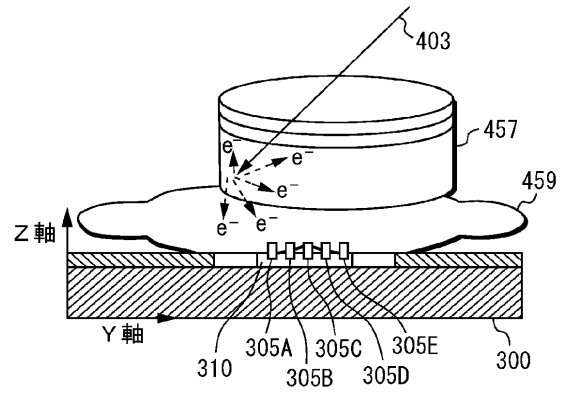
【図２（Ｂ）】



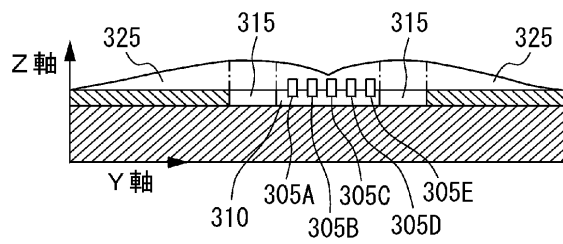
【図 2 (C)】



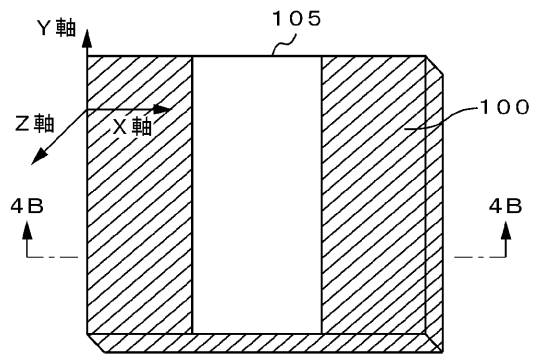
【図 3】



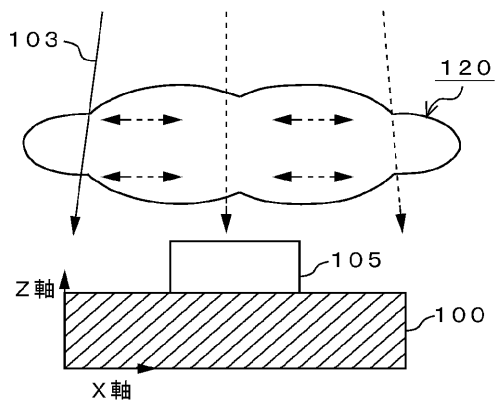
【図 2 (D)】



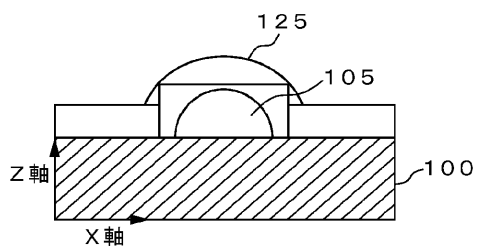
【図 4 (A)】



【図 4 (B)】



【図 4 (C)】



フロントページの続き

- (72)発明者 リャン・ホン
アメリカ合衆国，オレゴン州 97124，ヒルズボロ，エヌ・ダヴリユー ジョン・オルセン・
アヴェニュー 2765，#G96
- (72)発明者 ジェyson・ハリソン・アルジャヴァク
アメリカ合衆国，オレゴン州 97231-1905，ポートランド，エヌ・ダヴリユー ロージ
ー・トレイル 18912
- (72)発明者 アンリ・ルザック
フランス共和国，ストラスブール 67000，ユ・エル・ピー リュー・ガスパー・モンジュ
8，イ・エス・イ・エス
- (72)発明者 ジョン・ノッティ
アメリカ合衆国，マサチューセッツ州 01930，グローセスター，ローンダール・サークル
18

審査官 若土 雅之

- (56)参考文献 特開2001-107252(JP,A)
特開昭54-124879(JP,A)
特開平05-159960(JP,A)
特開平06-231719(JP,A)
特開平07-122484(JP,A)
特開平07-192685(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C23C 16/00-16/56
H01L 21/205
H01L 21/31
H01L 21/365
H01L 21/469
H01L 21/86
H01J 27/00-27/26
H01J 37/04
H01J 37/06-37/08
H01J 37/248
G01N 1/00-1/34