

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6013901号
(P6013901)

(45) 発行日 平成28年10月25日 (2016. 10. 25)

(24) 登録日 平成28年9月30日 (2016. 9. 30)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 21/3205 (2006. 01)	HO 1 L 21/88 R
HO 1 L 21/768 (2006. 01)	C 2 3 C 16/34
HO 1 L 23/532 (2006. 01)	C 2 3 C 14/14 D
C 2 3 C 16/34 (2006. 01)	
C 2 3 C 14/14 (2006. 01)	

請求項の数 11 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2012-277925 (P2012-277925)	(73) 特許権者	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
(22) 出願日	平成24年12月20日 (2012. 12. 20)	(74) 代理人	100099944 弁理士 高山 宏志
(65) 公開番号	特開2014-123605 (P2014-123605A)	(72) 発明者	石坂 忠大 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i zタワー 東京エレクトロン株式会社内
(43) 公開日	平成26年7月3日 (2014. 7. 3)	(72) 発明者	長谷川 敏夫 東京都港区赤坂五丁目3番1号 赤坂B i zタワー 東京エレクトロン株式会社内
審査請求日	平成27年6月29日 (2015. 6. 29)	審査官	河合 俊英

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 Cu配線の形成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

表面に所定パターンの凹部が形成された基板に対し、前記凹部を埋めるCu配線を形成するCu配線の形成方法であって、

少なくとも前記凹部の表面に、熱ALDにより非晶質バリア膜を形成する工程と、

Cu膜を形成して前記凹部内に前記Cu膜を埋め込む工程と、

CMPにより全面を研磨して前記凹部内にCu配線を形成する工程と

を有し、

前記非晶質バリア膜はTaAlN膜であり、該TaAlN膜を形成する場合に、

処理容器内にTa原料であるTa化合物を供給して基板に吸着させる工程と、前記処理容器内をパージする工程と、吸着した前記Ta化合物を窒化・還元してTa₂Nとする工程と、前記処理容器内をパージする工程とのサイクルを所定回有するTa₂N単位膜形成段階と、

処理容器内にAl原料であるAl化合物を供給して基板に吸着させる工程と、前記処理容器内をパージする工程と、吸着した前記Al化合物を窒化・還元してAlNとする工程と、前記処理容器内をパージする工程とのサイクルを所定回有するAlN単位膜形成段階と、

前記Ta₂N単位膜形成段階と前記AlN単位膜形成段階の間、または前記AlN単位膜形成段階の後に、前記TaAlN膜の成膜中の膜に対しイオン衝撃を与えて改質するプラズマ処理段階と、

を有し、

前記 T a N 単位膜形成段階における前記サイクルと、前記 A l N 単位膜形成段階における前記サイクルとの比を、膜中の T a : A l が原子数比で所定の値となるように設定し、

前記 T a N 単位膜形成段階、前記 A l N 単位膜形成段階、および前記プラズマ処理段階の一連を所定回繰り返すことを特徴とする C u 配線の形成方法。

【請求項 2】

前記非晶質バリア膜を成膜した後、前記 C u 膜を形成する前に、R u 膜を形成する工程をさらに有することを特徴とする請求項 1 に記載の C u 配線の形成方法。

【請求項 3】

前記 R u 膜は、C V D により形成されることを特徴とする請求項 2 に記載の C u 配線の形成方法。 10

【請求項 4】

前記プラズマは、基板を載置する載置台に高周波電力を印加することにより形成されることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の C u 配線の形成方法。

【請求項 5】

前記プラズマはアルゴンプラズマであることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の C u 配線の形成方法。

【請求項 6】

前記 T a A l N 膜を形成する場合に、前記 T a N 単位膜形成段階における前記サイクルの回数を 4 ~ 8 回とし、前記 A l N 単位膜形成段階における前記サイクルの回数を 1 回とすることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の C u 配線の形成方法。 20

【請求項 7】

前記 T a A l N 膜の成膜の最初に A l 原料を基板に吸着させることを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の C u 配線の形成方法。

【請求項 8】

前記非晶質バリア膜を構成する T a A l N 膜の厚さは 2 n m 以下であることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の C u 配線の形成方法。

【請求項 9】

前記 C u 膜は、P V D により形成されることを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の C u 配線の形成方法。 30

【請求項 10】

前記 C u 膜の形成は、基板が收容された処理容器内にプラズマ生成ガスによりプラズマを生成し、C u ターゲットから粒子を飛翔させて、粒子を前記プラズマ中でイオン化させ、前記基板にバイアス電力を印加してイオンを基板上に引きこむ装置により行われることを特徴とする請求項 9 に記載の C u 配線の形成方法。

【請求項 11】

コンピュータ上で動作し、C u 配線形成システムを制御するためのプログラムが記憶された記憶媒体であって、前記プログラムは、実行時に、請求項 1 から請求項 10 のいずれかの C u 配線の形成方法が行われるように、コンピュータに前記 C u 配線形成システムを制御させることを特徴とする記憶媒体。 40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、基板に形成されたトレンチやホールのような凹部に C u 配線を形成する C u 配線の形成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの製造においては、半導体ウエハに成膜処理やエッチング処理等の各種の処理を繰り返し行って所望のデバイスを製造するが、近時、半導体デバイスの高速化、 50

配線パターンの微細化、高集積化の要求に対応して、配線の低抵抗化（導電性向上）およびエレクトロマイグレーション耐性の向上が求められている。

【0003】

このような点に対応して、配線材料にアルミニウム（Al）やタングステン（W）よりも導電性が高く（抵抗が低く）かつエレクトロマイグレーション耐性に優れている銅（Cu）が用いられるようになってきている。

【0004】

Cu配線の形成方法としては、トレンチやホールが形成された層間絶縁膜全体にタンタル金属（Ta）、チタン（Ti）、窒化タンタル（Ta₂N₅）、窒化チタン（TiN）などからなるバリア膜をPVDであるプラズマスパッタで形成し、バリア膜の上に同じくプラズマスパッタによりCuシード膜を形成し、さらにその上にCuめっきを施してトレンチやホールを完全に埋め込み、ウエハ表面の余分な銅薄膜およびバリア膜をCMP（Chemical Mechanical Polishing）処理により研磨処理して取り除く技術が提案されている（例えば特許文献1）。また、バリア膜としては上記PVD-Ta₂N₅膜が高いバリア性を有することから注目されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2006-148075号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ところで、半導体デバイスのデザインルールの益々の微細化にともない、トレンチの幅やホール径が数十nmとなっており、このような狭いトレンチやホール等の凹部内にCu配線を形成すると配線抵抗が上昇してしまう。バリア膜を極力薄くして凹部内のCu体積を大きくすることによりCu配線の低抵抗化を図ることができるが、従来のようにバリア膜をPVDにより成膜する場合には、凹部内に薄くかつコンフォーマルに形成することが困難である。

【0007】

本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、バリア膜を凹部に対して薄くかつコンフォーマルに形成することができかつバリア性の高いものとしてCu配線の低抵抗化を実現することができるCu配線の形成方法を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明者らは、上記課題を解決すべく検討を重ねた結果、凹部内に熱ALDまたは熱CVDによりTaAlN膜を形成することによって、薄くコンフォーマルなバリア膜を実現することができ、また、膜中にAlを含ませることによりALDによっても膜を非晶質化できバリア性を高くできることを見出した。そして、これにより、バリア膜を薄くしてもバリア性を維持することができ、したがって、バリア膜の体積を小さくし、配線内でのCu体積を大きくして配線を低抵抗化することができることを見出した。

【0009】

すなわち、本発明は、表面に所定パターンの凹部が形成された基板に対し、前記凹部を埋めるCu配線を形成するCu配線の形成方法であって、少なくとも前記凹部の表面に、熱ALDにより非晶質バリア膜を形成する工程と、Cu膜を形成して前記凹部内に前記Cu膜を埋め込む工程と、CMPにより全面を研磨して前記凹部内にCu配線を形成する工程とを有し、前記非晶質バリア膜はTaAlN膜であり、該TaAlN膜を形成する場合には、処理容器内にTa原料であるTa化合物を供給して基板に吸着させる工程と、前記処理容器内をパージする工程と、吸着した前記Ta化合物を窒化・還元してTa₂Nとする工程と、前記処理容器内をパージする工程とのサイクルを所定回有するTa₂N単位膜形成段階と、処理容器内にAl原料であるAl化合物を供給して基板に吸着させる工程と、前記

10

20

30

40

50

処理容器内をパージする工程と、吸着した前記 A l 化合物を窒化・還元して A l N とする工程と、前記処理容器内をパージする工程とのサイクルを所定回有する A l N 単位膜形成段階と、前記 T a N 単位膜形成段階と前記 A l N 単位膜形成段階の間、または前記 A l N 単位膜形成段階の後に、前記 T a A l N 膜の成膜中の膜に対しイオン衝撃を与えて改質するプラズマ処理段階と、を有し、前記 T a N 単位膜形成段階における前記サイクルと、前記 A l N 単位膜形成段階における前記サイクルとの比を、膜中の T a : A l が原子数比で所定の値となるように設定し、前記 T a N 単位膜形成段階、前記 A l N 単位膜形成段階、および前記プラズマ処理段階の一連を所定回繰り返すことを特徴とする C u 配線の形成方法を提供する。

【 0 0 1 0 】

10

本発明において、前記非晶質バリア膜を成膜した後、前記 C u 膜を形成する前に、 R u 膜を形成する工程をさらに有することが好ましい。前記 R u 膜は、 C V D により形成されることが好ましい。

【 0 0 1 1 】

前記プラズマは、基板を載置する載置台に高周波電力を印加することにより形成されることが好ましい。また、前記プラズマとしてアルゴンプラズマを用いることができる。

【 0 0 1 2 】

前記 T a A l N 膜を形成する場合に、前記 T a N 単位膜形成段階における前記サイクルの回数を 4 ~ 8 回とし、前記 A l N 単位膜形成段階における前記サイクルの回数を 1 回とすることが好ましい。また、前記 T a A l N 膜の成膜の最初に A l 原料を基板に吸着させるようにしてもよい。前記非晶質バリア膜を構成する T a A l N 膜の厚さは 2 n m 以下であることが好ましい。

20

【 0 0 1 3 】

前記 C u 膜の形成は、基板が收容された処理容器内にプラズマ生成ガスによりプラズマを生成し、 C u ターゲットから粒子を飛翔させて、粒子を前記プラズマ中でイオン化させ、前記基板にバイアス電力を印加してイオンを基板上に引きこむ装置により行われることが好ましい。

【 0 0 1 4 】

本発明はまた、コンピュータ上で動作し、 C u 配線形成システムを制御するためのプログラムが記憶された記憶媒体であって、前記プログラムは、実行時に、上記 C u 配線の形成方法が行われるように、コンピュータに前記 C u 配線形成システムを制御させることを特徴とする記憶媒体を提供する。

30

【発明の効果】

【 0 0 1 5 】

本発明によれば、凹部に形成するバリア膜として、熱 A L D または熱 C V D による T a A l N 膜を用いるので、薄くコンフォーマルに成膜することができ、しかも膜が非晶質化してバリア性を高めることができる。このため、バリア膜を薄く形成して配線中の C u の体積を大きくし、 C u 配線の低抵抗化を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 6 】

40

【図 1】本発明の一実施形態に係る C u 配線の形成方法を示すフローチャートである。

【図 2】本発明の一実施形態に係る C u 配線の形成方法を説明するための工程断面図である。

【図 3】バリア膜としての T a A l N 膜を形成する際のシーケンスの一例を示すフローチャートである。

【図 4】バリア膜としての T a A l N 膜を形成する際のシーケンスの他の例を示すフローチャートである。

【図 5】バリア膜としての T a A l N 膜を形成する際のシーケンスのさらに他の例を示すフローチャートである。

【図 6】バリア膜としての T a A l N 膜を形成する際のシーケンスの別の例を示すフロー

50

チャートである。

【図7】バリア膜として形成したTaAlN膜の形成条件によるバリア性傾向を把握した実験結果を示す図である。

【図8】本発明の実施形態に係るCu配線の形成方法の実施に好適なマルチチャンバタイプの成膜システムの一例を示す平面図である。

【図9】図8の成膜システムに搭載された、Cu膜を形成するためのCu膜成膜装置を示す断面図である。

【図10】図8の成膜システムに搭載された、TaAlN膜からなるバリア膜を形成するためのバリア膜成膜装置を示す断面図である。

【図11】図8の成膜システムに搭載された、Ruライナー膜を形成するためのRuライナー膜成膜装置を示す断面図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、添付図面を参照して本発明の実施形態について具体的に説明する。

【0018】

< Cu配線の形成方法の一実施形態 >

まず、Cu配線の形成方法の一実施形態について図1のフローチャートおよび図2の工程断面図を参照して説明する。

【0019】

本実施形態では、まず、下部構造201（詳細は省略）の上にSiO₂膜等の層間絶縁膜202を有し、そこに配線形成のためのトレンチ203および下層配線への接続のためのビア（図示せず）が形成されたウエハWを準備する（ステップ1、図2（a））。このようなウエハWとしては、DegassプロセスやPre-Cleanプロセスによって、絶縁膜表面の水分やエッチング/アッシング時の残渣を除去したものであることが好ましい。

20

【0020】

次に、トレンチ203およびビアの表面を含む全面にCuの拡散を抑制するバリア膜204としてTaAlN膜を熱ALD（Atomic Layer Deposition）または熱CVD（Chemical Vapor Deposition）により成膜する（ステップ2、図2（b））。

30

【0021】

次いで、バリア膜204の上にRuライナー膜205を成膜する（ステップ3、図2（c））。この際の成膜は、CVDを用いることが好ましい。

【0022】

次いで、PVDによりCu膜206を形成し、トレンチ203およびビア（図示せず）を埋め込む（ステップ4、図2（d））。この際の成膜は、iPVD、例えばプラズマパッタを用いることが好ましい。この際に、その後の平坦化处理に備えて、Cu膜206がトレンチ203の上面から積み増されるように形成されることが好ましい。ただし、この積み増し分については、PVDにより連続して形成する代わりに、めっきによって形成してもよい。

40

【0023】

その後、必要に応じてアニール処理を行う（ステップ5、図2（e））。このアニール処理により、Cu膜206を安定化させる。

【0024】

この後、CMP（Chemical Mechanical Polishing）によりウエハW表面の全面を研磨して、Cu膜206の積み増し分、Ruライナー膜205、バリア膜204を除去して平坦化する（ステップ6、図2（f））。これによりトレンチおよびビア（ホール）内にCu配線208が形成される。

【0025】

なお、Cu配線208を形成後、ウエハW表面のCu配線208および層間絶縁膜20

50

2を含む全面に、誘電体キャップやメタルキャップ等の適宜のキャップ膜が成膜される。

【0026】

次に、以上の一連の工程のうち、主要な工程について以下に詳細に説明する。

【0027】

まず、TaAlN膜からなるバリア膜204について説明する。

TaAlN膜からなるバリア膜204は上述したように、熱ALDまたは熱CVDにより成膜する。

【0028】

ALDおよびCVDは本質的にPVDよりも良好なステップカバレッジで膜を形成することができるので、ALDまたはCVDによりバリア膜204を薄くかつコンフォーマルに形成することができる。このため、ホールやトレンチのような凹部内でのバリア膜の体積を小さくすることができ、配線中のCuの体積を増加させて配線の低抵抗化を実現することができる。ただし、成膜時にガスをプラズマ化すると下地の層間絶縁膜202、特にLow-k膜へのダメージが懸念されるため、熱ALDまたは熱CVDを用いる。

10

【0029】

バリア膜204をTaAlN膜からなるものとしたのは、以下の理由による。

従来のバリア膜であるPVDによるTaN膜は、非晶質であり結晶粒界が存在しないため高いバリア性を有する。しかし、TaN膜をALDで成膜すると膜が結晶化するため、結晶粒界の存在によりバリア性が低下してしまう。そこで、TaNの良好な膜質を維持したまま、ALDやCVDで形成してバリア性の高い非晶質となるように、TaN膜中にTaと結晶の大きさが異なるAlを添加して、TaAlN膜とした。

20

【0030】

配線中のCuの体積を増加させる観点からは、バリア膜204は薄いほうが好ましく、2nm以下であることが好ましい。

【0031】

CVDによりバリア膜204としてのTaAlN膜を成膜する場合には、Ta原料としてのTa化合物ガス、Al原料としてのAl化合物ガス、およびこれら原料を還元して窒化物を形成する窒化ガス(還元ガス)を用いる。

【0032】

Ta原料であるTa化合物ガスとしては、ターシャリ-ブチルイミノトリス(エチルメチルアミノ)タンタル(TBTEmT; (tBuN)Ta(NEtMe)₃)を好適に用いることができる。その他に、TAImATA(Ta(NMe₂)₃(NCMe₂Et)、PDEAT(Ta(NEt₂)₅)、PDMAT(Ta(NMe₂)₅)、PEMAT(Ta(NEtMe)₅)、TBTDET((tBuN)Ta(NEt₂)₃)、TBTEmT((tBuN)Ta(NEtMe)₃)、およびIPTDET((iPrN)Ta(NEt₂)₃)を挙げることができる。

30

【0033】

Al原料であるAl化合物ガスとしては、トリメチルアルミニウム(TMA; Al(CH₃)₃)を好適に用いることができる。その他に、AlEt₃、AlMe₂H、[Al(OSBu)₃]₄、Al(CH₃COCHCOCH₃)₃、AlCl₃、AlBr₃、AlI₃、Al(OiPr)₃、[Al(NMe₂)₃]₂、Al(iBu)₂ClAl(iBu)₃、Al(iBu)₂H、AlEt₂Cl、Et₃Al₂(OSBu)₃、Al(THD)₃、H₃AlNMe₃、H₃AlNEt₃、H₃AlNMe₂Et、およびH₃AlMeEt₂を挙げることができる。

40

【0034】

窒化ガス(還元ガス)としては、NH₃を好適に用いることができる。その他に、NH(CH₃)₂、N₂H₄、N₂H₃CH₃等を挙げることができる。

【0035】

また、その他に、必要に応じてパージガスや希釈ガスを用いることができる。パージガスや希釈ガスとしてはArガス等の不活性ガスを用いることができる。

50

【0036】

TaAlN膜を成膜する際に、成膜温度は300～400程度が好適である。また、TaAlN膜を成膜する際には、バリア性の観点から、Al濃度を10at.%以上とすることが好ましく、ALDで成膜する場合には、TaNの供給サイクルとAlNの供給サイクルの比が4:1～8:1の範囲とすることが好ましい。

【0037】

TaAlN膜を形成した後、または形成中に、膜にイオン衝撃を与えるためのプラズマ処理を行うことが好ましい。このプラズマ処理により膜形成後または形成中の膜にイオン衝撃により膜を改質し、TaAlN膜のバリア性を高めることができる。このプラズマ処理は成膜の際のガスをプラズマ化するためではなく、TaAlN膜の全部または一部を成膜した後、膜にイオン衝撃を与えるために行われる処理であるため、下地の層間絶縁膜202(Low-k膜)に対してプラズマダメージを与えることはない。また、このようにこのプラズマ処理は膜にイオン衝撃を与える観点から、後述するように、ウエハWを載置する載置台に高周波電力を与えてプラズマを生成し、ウエハWにイオンを引き込むようにすることが好ましい。

10

【0038】

このプラズマ処理はプラズマガスとしてArガスを用いることが好ましい。他に、KrやXeも用いることができる。また、このプラズマ処理の条件としては、TaAlNの成膜温度において1Torrで400Wのパワーとすることが好ましい。

【0039】

熱ALDを用いたバリア膜204形成のシーケンスとしては、図3～6のものが例示される。図3のシーケンスでは、Ta原料であるTa化合物ガスとして例えばTBTEMTを供給してウエハ(基板)表面へ吸着させる処理(a1)、処理容器内に残留しているTa化合物ガスをパージする処理(a2)、窒化ガス(還元ガス)として例えばNH₃ガスを供給してウエハ(基板)に吸着しているTa化合物を還元・窒化する処理(a3)、処理容器内に残留している窒化ガス(還元ガス)と反応副生成物をパージする処理(a4)を順次行い、これらを例えば4～8サイクル繰り返すTaN単位膜成膜工程(工程A)と、Al原料であるAl化合物ガスとして例えばTMAを供給してウエハ(基板)表面へ吸着させる処理(b1)、処理容器内に残留しているAl化合物ガスをパージする処理(b2)、窒化ガス(還元ガス)として例えばNH₃ガスを供給してウエハ(基板)に吸着しているAl化合物を還元・窒化する処理(b3)、処理容器内に残留している窒化ガス(還元ガス)と反応副生成物をパージする処理(b4)を順次行うAlN単位膜成膜工程(工程B)とを、所望の膜厚になるまで複数回繰り返してTaAlN膜を形成し、最後にプラズマ処理、例えばArプラズマ処理(工程C)を行う。

20

30

【0040】

図4のシーケンスでは、先にAl化合物ガスとして例えばTMAを供給してウエハ(基板)表面へ吸着させる処理(工程D)を行い、その後図3の例と同様に、工程Aと工程Bとを、所望の膜厚になるまで複数回繰り返してTaAlN膜を形成し、最後にプラズマ処理、例えばArプラズマ処理(工程C)を行う。TMAのようなAl化合物は吸着性が高く、このように先にAl化合物ガスを吸着させることにより、インキュベーションタイム(原料ガスを流し始めてから成膜が開始されるまでの時間)を短縮することができる。

40

【0041】

図5、6のシーケンスは、プラズマ処理を強化するものである。図5のシーケンスでは、図3のシーケンスに工程Aと工程Bとの間のArプラズマ処理C1を追加して、工程A、工程C1、工程Bを繰り返す。図6のシーケンスでは、工程Aおよび工程Bを行った後にArプラズマ処理C2を行い、工程A、工程B、工程C2を繰り返す。

【0042】

なお、図3～6の例では、TaN単位膜成膜工程はサイクルが4～8であり、AlN単位膜成膜工程はサイクル数が1であって、TaNの供給サイクルとAlNの供給サイクルの比が4:1～8:1であり、そのサイクル比に応じたAlがTaAlN膜中に取り込ま

50

れる。

【 0 0 4 3 】

バリア膜 2 0 4 の膜質は、その後に R u ライナー膜 2 0 5 を形成する場合に、その R u の核成長に影響を与える。バリア膜 2 0 4 が不連続であったり膜の密度が低かったりすると、その上に形成される R u の核成長が均一に生じず、良好な膜（緻密で連続な膜）になり難い。その点、本実施形態における熱 A L D または熱 C V D による T a A l N 膜は膜質が良好であるため、その上に形成される R u ライナー膜の膜質も良好なものとなる。

【 0 0 4 4 】

次に、このような T a A l N 膜からなるバリア膜 2 0 4 のバリア性の傾向を把握した実験について説明する。

ここでは、S i 基板の上に表 1 に示す種々の T a A l N 膜を形成し、その上に i P V D による C u 膜を 5 0 n m 成膜し、その後、A r / H₂ 雰囲気にて 4 0 0 °C で 6 0 m i n のアニールを行ってサンプルを作成し、それらサンプルの表面状態からバリア性を把握した。T a A l N 膜としては、表 1 に示すように、T a N の供給サイクルと A l N の供給サイクルの比 T a N : A l N を 1 : 1 ~ 8 : 1 で変化させ、ターゲット膜厚を 1 n m、2 n m と変化させ、プリ A l N、プラズマ処理のいずれかを行ったもの、およびいずれも行わなかったものを形成した。プリ A l N は、先に A l N 単位膜を形成し、その後 T a N 単位膜を形成したものであり、プリ A l N 以外は、T a N 単位膜を形成した後に A l N 膜を形成したものである。またプラズマ処理については、T a A l N 膜の成膜が完了した後に、A r プラズマによる処理を行った。

【 0 0 4 5 】

【表 1】

No.	TaN : AlN	プリ AlN	プラズマ処理	ターゲット膜厚
1	4 : 1	—	—	2nm
2	4 : 1	—	—	1nm
3	2 : 1	—	—	2nm
4	2 : 1	—	—	1nm
5	1 : 1	—	—	2nm
6	1 : 1	—	—	1nm
7	8 : 1	—	—	2nm
8	8 : 1	—	—	1nm
9	4 : 1	プリ AlN	—	2nm
10	4 : 1	プリ AlN	—	1nm
11	8 : 1	プリ AlN	—	2nm
12	8 : 1	プリ AlN	—	1nm
13	4 : 1	—	ポスト Ar プラズマ	2nm
14	4 : 1	—	ポスト Ar プラズマ	1nm
15	8 : 1	—	ポスト Ar プラズマ	2nm
16	8 : 1	—	ポスト Ar プラズマ	1nm

【 0 0 4 6 】

この実験において、バリア性が良好なものは C u 膜表面が銅色を呈しているのに対し、

バリア性の悪いものは変色する。結果を図7に示す。この図において、薄い色に見えるのが銅色を呈した表面である。この図に示すように、 $TaN : AlN$ の比率が大きいほどバリア性は良好になり、ポストArプラズマ処理を行わない場合でも、 $TaN : AlN = 8 : 1$ ではバリア膜の膜厚が2nmでCu膜表面の変色がほとんど見られず、 $TaN : AlN = 4 : 1$ では中央のみ変色が見られた程度であった。これに対し、 $TaN : AlN = 2 : 1$ 、 $1 : 1$ の場合にはいずれもCu膜表面の前面が変色していた。また、プリAlNを行ったサンプルでは、Cu膜表面が変色しており、プリAlNによってバリア性は改善されていない。ポストArプラズマ処理を行ったサンプルでは、 $TaN : AlN = 8 : 1$ および $4 : 1$ のいずれにおいても、バリア膜の膜厚1nm、2nmにおいてCu膜表面の変色がほとんど見られず、プラズマ処理によってバリア性が向上することが確認された。

10

【0047】

なお、以上の実験は、バリア膜のバリア性に対する処理条件の大まかな影響を把握するためのものであり、この実験でバリア性が悪い結果となった条件であっても、他の条件を最適化することにより、良好なバリア性を示す可能性がある。

【0048】

次に、Ruライナー膜205について説明する。

RuはCuに対する濡れ性が高いため、Cuの下地にRuライナー膜を形成することにより、次のiPVDによるCu膜形成の際に、良好なCuの移動性を確保することができ、トレンチやホールの間口を塞ぐオーバーハングを生じ難くすることができる。このため、微細なトレンチまたはホールにもボイドを発生させずに確実にCuを埋め込むことができる。

20

【0049】

Ruライナー膜は、埋め込むCuの体積を大きくして配線を低抵抗にする観点から、1~5nmと薄く形成することが好ましい。

【0050】

Ruライナー膜205は、ルテニウムカルボニル($Ru_3(CO)_{12}$)を成膜原料として用いて熱CVDにより好適に形成することができる。これにより、高純度で薄いRu膜を高ステップカバレッジで成膜することができる。このときの成膜条件は、例えば処理容器内の圧力が1.3~66.5Paの範囲であり、成膜温度(ウエハ温度)が150~250の範囲である。Ruライナー膜205は、ルテニウムカルボニル以外の他の成膜原料、例えば(シクロペンタジエニル)(2,4-ジメチルペンタジエニル)ルテニウム、ビス(シクロペンタジエニル)(2,4-メチルペンタジエニル)ルテニウム、(2,4-ジメチルペンタジエニル)(エチルシクロペンタジエニル)ルテニウム、ビス(2,4-メチルペンタジエニル)(エチルシクロペンタジエニル)ルテニウムのようなルテニウムのペンタジエニル化合物を用いたCVDやPVDで成膜することもできる。

30

【0051】

なお、トレンチやビアの間口が広く、オーバーハングが生じにくい場合等には、必ずしもRuライナー膜205を形成する必要はなく、バリア膜204の上に直接Cu膜を形成してもよい。

【0052】

次に、Cu膜206の成膜について説明する。

Cu膜206は、PVDにより成膜されるが、上述したように、iPVD、例えばプラズマスパッタを用いることが好ましい。

40

【0053】

通常のPVD成膜の場合には、Cuの凝集により、トレンチやホールの間口を塞ぐオーバーハングが生じやすいが、iPVDを用い、ウエハに印加するバイアスパワーを調整して、Cuイオンの成膜作用とプラズマ生成ガスのイオン(Arイオン)によるエッチング作用とを制御することにより、Cuを移動させてオーバーハングの生成を抑制することができ、狭い開口のトレンチやホールであっても良好な埋め込み性を得ることができる。このとき、Cuの流動性を持たせて良好な埋め込み性を得る観点からはCuがマイグレート

50

する高温プロセス（65～350）が好ましい。また、上述したように、Cu膜206の下地にCuに対する濡れ性が高いRuライナー膜205を設けることにより、Ruライナー膜上でCuが凝集せず流動するので、微細な凹部においてもオーバーハングの生成を抑制することができ、ポイドを発生させずに確実にCuを埋め込むことができる。

【0054】

なお、トレンチやホールの開口幅が大きい場合等、オーバーハングが生成し難い場合には、Cuがマイグレートしない低温プロセス（-50～0）により、高速で成膜することができる。

【0055】

また、Cu膜成膜時における処理容器内の圧力（プロセス圧力）は、1～100mTorr（0.133～13.3Pa）が好ましく、35～90mTorr（4.66～12.0Pa）がより好ましい。

10

【0056】

本実施形態によれば、層間絶縁膜202に形成されたトレンチ203やビア（ホール）に形成するバリア膜204としてTaAlN膜を熱ALDまたは熱CVDにより形成する。このため、従来のPVDに比べて薄くかつコンフォーマルに形成することができ、バリア膜204の体積を小さくし、配線内でのCu体積を大きくして配線を低抵抗化することができる。

【0057】

また、バリア膜204を構成するTaAlN膜は、従来バリア膜として用いられているTaN膜のTaの一部をAlに置き換えたものであり、TaとAlとの原子半径の相違から結晶化しやすいALDであってもTaAlN膜を非晶質化することができる。このため、従来のTaN膜のバリア材料としての良好な膜質を維持しつつ、結晶粒界のない非晶質の膜を得ることができ、薄くてもバリア性を高くすることができる。

20

【0058】

さらに、バリア膜204を形成する過程で、プラズマ処理を行い、膜に対してイオン衝撃を与えて膜を改質することにより、よりバリア性を高めることができる。

【0059】

さらにまた、バリア膜204を形成する際に、先にAl化合物を吸着させることにより、インキュベーション時間を短縮することができ、スループットを上昇させることができる。

30

【0060】

なお、上記一連の工程のうち、バリア膜204を形成するステップ2、Ruライナー膜205を形成するステップ3、Cu膜206を形成するステップ4は、真空中で大気暴露を経ずに連続して成膜することが好ましいが、これらのいずれかの間で大気暴露してもよい。

【0061】

<本発明の実施形態の実施に好適な成膜システム>

次に、本発明の実施形態に係るCu配線の形成方法の実施に好適な成膜システムについて説明する。図8は本発明の実施形態に係るCu配線の形成方法の実施に好適なマルチチャンタイプ成膜システムの一例を示す平面図である。

40

【0062】

成膜システム1は、バリア膜およびRuライナー膜を形成する第1の処理部2と、Cu膜を形成する第2の処理部3と、搬入出部4とを有しており、半導体ウエハ（以下、単にウエハと記す。）Wに対してCu配線を形成するためのものである。

【0063】

第1の処理部2は、平面形状が七角形をなす第1の真空搬送室11と、この第1の真空搬送室11の4つの辺に対応する壁部に接続された、2つのバリア膜成膜装置12a、12bおよび2つのRuライナー膜成膜装置14a、14bとを有している。バリア膜成膜装置12aおよびRuライナー膜成膜装置14aとバリア膜成膜装置12bおよびRuラ

50

イナー膜成膜装置 1 4 b とは線対称の位置に配置されている。

【 0 0 6 4 】

第 1 の真空搬送室 1 1 の他の 2 辺に対応する壁部には、それぞれウエハ W のデガス処理を行うデガス室 5 a , 5 b が接続されている。また、第 1 の真空搬送室 1 1 のデガス室 5 a と 5 b との間の壁部には、第 1 の真空搬送室 1 1 と後述する第 2 の真空搬送室 2 1 との間でウエハ W の受け渡しを行う受け渡し室 5 が接続されている。

【 0 0 6 5 】

バリア膜成膜装置 1 2 a , 1 2 b、R u ライナー膜成膜装置 1 4 a , 1 4 b、デガス室 5 a , 5 b、および受け渡し室 5 は、第 1 の真空搬送室 1 1 の各辺にゲートバルブ G を介して接続され、これらに対応するゲートバルブ G を開放することにより第 1 の真空搬送室 1 1 と連通され、対応するゲートバルブ G を閉じることにより第 1 の真空搬送室 1 1 から遮断される。

【 0 0 6 6 】

第 1 の真空搬送室 1 1 内は所定の真空雰囲気中に保持されるようになっており、その中には、バリア膜成膜装置 1 2 a , 1 2 b、R u ライナー膜成膜装置 1 4 a , 1 4 b、デガス室 5 a , 5 b、および受け渡し室 5 に対してウエハ W の搬入出を行う第 1 の搬送機構 1 6 が設けられている。この第 1 の搬送機構 1 6 は、第 1 の真空搬送室 1 1 の略中央に配設されており、回転および伸縮可能な回転・伸縮部 1 7 を有し、その回転・伸縮部 1 7 の先端にウエハ W を支持する 2 つの支持アーム 1 8 a , 1 8 b が設けられており、これら 2 つの支持アーム 1 8 a , 1 8 b は互いに反対方向を向くように回転・伸縮部 1 7 に取り付けられている。

【 0 0 6 7 】

第 2 の処理部 3 は、平面形状が七角形をなす第 2 の真空搬送室 2 1 と、この第 2 の真空搬送室 2 1 の対向する 2 つの辺に対応する壁部に接続された、トレンチやビアなどの凹部に C u を埋め込むための 2 つの C u 膜成膜装置 2 2 a , 2 2 b とを有している。C u 膜成膜装置 2 2 a , 2 2 b を凹部の埋め込みから積み増し部の成膜まで一括して行う装置として用いてもよいし、C u 膜成膜装置 2 2 a , 2 2 b を埋め込みのみに用い、めっきによって積み増し部を形成してもよい。

【 0 0 6 8 】

第 2 の真空搬送室 2 1 の第 1 の処理部 2 側の 2 辺に対応する壁部には、それぞれ上記デガス室 5 a , 5 b が接続され、デガス室 5 a と 5 b との間の壁部には、上記受け渡し室 5 が接続されている。すなわち、受け渡し室 5 ならびにデガス室 5 a および 5 b は、いずれも第 1 の真空搬送室 1 1 と第 2 の真空搬送室 2 1 との間に設けられ、受け渡し室 5 の両側にデガス室 5 a および 5 b が配置されている。さらに、搬入出部 4 側の 2 辺には、それぞれ大気搬送および真空搬送可能なロードロック室 6 a , 6 b が接続されている。

【 0 0 6 9 】

C u 膜成膜装置 2 2 a , 2 2 b、デガス室 5 a , 5 b、およびロードロック室 6 a , 6 b は、第 2 の真空搬送室 2 1 の各辺にゲートバルブ G を介して接続され、これらに対応するゲートバルブを開放することにより第 2 の真空搬送室 2 1 と連通され、対応するゲートバルブ G を閉じることにより第 2 の真空搬送室 2 1 から遮断される。また、受け渡し室 5 はゲートバルブを介さずに第 2 の真空搬送室 2 1 に接続されている。

【 0 0 7 0 】

第 2 の真空搬送室 2 1 内は所定の真空雰囲気中に保持されるようになっており、その中には、C u 膜成膜装置 2 2 a , 2 2 b、デガス室 5 a , 5 b、ロードロック室 6 a , 6 b、および受け渡し室 5 に対してウエハ W の搬入出を行う第 2 の搬送機構 2 6 が設けられている。この第 2 の搬送機構 2 6 は、第 2 の真空搬送室 2 1 の略中央に配設されており、回転および伸縮可能な回転・伸縮部 2 7 を有し、その回転・伸縮部 2 7 の先端にウエハ W を支持する 2 つの支持アーム 2 8 a , 2 8 b が設けられており、これら 2 つの支持アーム 2 8 a , 2 8 b は互いに反対方向を向くように回転・伸縮部 2 7 に取り付けられている。

【 0 0 7 1 】

10

20

30

40

50

搬入出部 4 は、上記ロードロック室 6 a , 6 b を挟んで第 2 の処理部 3 と反対側に設けられており、ロードロック室 6 a , 6 b が接続される大気搬送室 3 1 を有している。ロードロック室 6 a , 6 b と大気搬送室 3 1 との間の壁部にはゲートバルブ G が設けられている。大気搬送室 3 1 のロードロック室 6 a , 6 b が接続された壁部と対向する壁部には被処理基板としてのウエハ W を収容するキャリア C を接続する 2 つの接続ポート 3 2 , 3 3 が設けられている。これら接続ポート 3 2 , 3 3 にはそれぞれ図示しないシャッターが設けられており、これら接続ポート 3 2 , 3 3 にウエハ W を収容した状態の、または空のキャリア C が直接取り付けられ、その際にシャッターが外れて外気の侵入を防止しつつ大気搬送室 3 1 と連通するようになっている。また、大気搬送室 3 1 の側面にはアライメントチャンバ 3 4 が設けられており、そこでウエハ W のアライメントが行われる。大気搬送室 3 1 内には、キャリア C に対するウエハ W の搬入出およびロードロック室 6 a , 6 b に対するウエハ W の搬入出を行う大気搬送用搬送機構 3 6 が設けられている。この大気搬送用搬送機構 3 6 は、2 つの多関節アームを有しており、キャリア C の配列方向に沿ってレール 3 8 上を走行可能となっていて、それぞれの先端のハンド 3 7 上にウエハ W を載せてその搬送を行うようになっている。

【 0 0 7 2 】

この成膜システム 1 は、この成膜システム 1 の各構成部を制御するための制御部 4 0 を有している。この制御部 4 0 は、各構成部の制御を実行するマイクロプロセッサ（コンピュータ）からなるプロセスコントローラ 4 1 と、オペレータが成膜システム 1 を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードや、成膜システム 1 の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等からなるユーザーインターフェース 4 2 と、成膜システム 1 で実行される処理をプロセスコントローラ 4 1 の制御にて実現するための制御プログラムや、各種データ、および処理条件に応じて処理装置の各構成部に処理を実行させるためのプログラムすなわちレシピが格納された記憶部 4 3 とを備えている。なお、ユーザーインターフェース 4 2 および記憶部 4 3 はプロセスコントローラ 4 1 に接続されている。

【 0 0 7 3 】

上記レシピは記憶部 4 3 の中の記憶媒体 4 3 a に記憶されている。記憶媒体は、ハードディスクであってもよいし、CDROM、DVD、フラッシュメモリ等の可搬性のものであってもよい。また、他の装置から、例えば専用回線を介してレシピを適宜伝送させるようにしてもよい。

【 0 0 7 4 】

そして、必要に応じて、ユーザーインターフェース 4 2 からの指示等にて任意のレシピを記憶部 4 3 から呼び出してプロセスコントローラ 4 1 に実行させることで、プロセスコントローラ 4 1 の制御下で、成膜システム 1 での所望の処理が行われる。

【 0 0 7 5 】

このような成膜システム 1 においては、キャリア C から大気搬送用搬送機構 3 6 によりトレンチやホールを有する所定パターンが形成されたウエハ W を取り出し、ロードロック室 6 a または 6 b に搬送し、そのロードロック室を第 2 の真空搬送室 2 1 と同程度の真空度に減圧した後、第 2 の搬送機構 2 6 によりロードロック室のウエハ W を取り出し、第 2 の真空搬送室 2 1 を介してデガス室 5 a または 5 b に搬送し、ウエハ W のデガス処理を行う。その後、第 1 の搬送機構 1 6 によりデガス室のウエハ W を取り出し、第 1 の真空搬送室 1 1 を介してバリア膜成膜装置 1 2 a または 1 2 b に搬入し、バリア膜として熱 ALD または熱 CVD により TaAlN 膜等を成膜する。バリア膜成膜後、第 1 の搬送機構 1 6 によりバリア膜成膜装置 1 2 a または 1 2 b からウエハ W を取り出し、Ruライナー膜成膜装置 1 4 a または 1 4 b に搬入し、Ruライナー膜を成膜する。Ruライナー膜成膜後、第 1 の搬送機構 1 6 により Ruライナー膜成膜装置 1 4 a または 1 4 b からウエハ W を取り出し、受け渡し室 5 に搬送する。その後、第 2 の搬送機構 2 6 によりウエハ W を取り出し、第 2 の真空搬送室 2 1 を介して Cu 膜成膜装置 2 2 a または 2 2 b に搬入し、Cu 膜を成膜する。Cu 膜成膜後、第 2 の搬送機構 2 6 により Cu 膜成膜装置 2 2 a または 2 2 b からウエハ W を取り出し、ロードロック室 6 a または 6 b に搬送し、そのロードロ

10

20

30

40

50

ク室を大気圧に戻した後、大気搬送用搬送機構 36 により Cu 膜が形成されたウエハ W を取り出し、キャリア C に戻す。このような処理をキャリア内のウエハ W の数の分だけ繰り返す。

【0076】

成膜システム 1 によれば、エッチング/アッシング後のウエハに対し、成膜処理を一括して行うことができる。また、成膜処理の際に、大気開放することなく真空中で TaAlN 膜からなるバリア膜、Ru ライナー膜、Cu 膜を成膜するので、各膜の界面での酸化を防止することができ、高性能の Cu 配線を得ることができる。

【0077】

なお、積み増し層を Cu めっきで形成する場合には、Cu 膜を成膜後、ウエハ W を搬出する。

10

【0078】

< Cu 成膜装置 >

次に、Cu 膜を形成する第 1 の Cu 膜成膜装置 22a, 22b の好適な例について説明する。

図 9 は、第 1 の Cu 膜成膜装置の一例を示す断面図である。なお、第 2 の Cu 膜成膜装置も同様に構成されている。

【0079】

ここでは Cu 膜成膜装置として iPVD である ICP (Inductively Coupled Plasma) 型プラズマパッタ装置を例にとって説明する。

20

【0080】

図 9 に示すように、この Cu 膜成膜装置 22a (22b) は、例えばアルミニウム等により筒体状に成形された処理容器 51 を有している。この処理容器 51 は接地され、その底部 52 には排気口 53 が設けられており、排気口 53 には排気管 54 が接続されている。排気管 54 には圧力調整を行うスロットルバルブ 55 および真空ポンプ 56 が接続されており、処理容器 51 内が真空引き可能となっている。また処理容器 51 の底部 52 には、処理容器 51 内へ所定のガスを導入するガス導入口 57 が設けられる。このガス導入口 57 にはガス供給配管 58 が接続されており、ガス供給配管 58 には、プラズマ励起用ガスとして希ガス、例えば Ar ガスや他の必要なガス例えば N₂ ガス等を供給するためのガス供給源 59 が接続されている。また、ガス供給配管 58 には、ガス流量制御器、バルブ等よりなるガス制御部 60 が介装されている。

30

【0081】

処理容器 51 内には、被処理基板であるウエハ W を載置するための載置機構 62 が設けられる。この載置機構 62 は、円板状に成形された載置台 63 と、この載置台 63 を支持するとともに接地された中空筒体状の支柱 64 とを有している。載置台 63 は、例えばアルミニウム合金等の導電性材料よりなり、支柱 64 を介して接地されている。載置台 63 の中には冷却ジャケット 65 が設けられており、図示しない冷媒流路を介して冷媒を供給するようになっている。また、載置台 63 内には冷却ジャケット 65 の上に絶縁材料で被覆された抵抗ヒーター 87 が埋め込まれている。抵抗ヒーター 87 は図示しない電源から給電されるようになっている。載置台 63 には熱電対 (図示せず) が設けられており、この熱電対で検出された温度に基づいて、冷却ジャケット 65 への冷媒の供給および抵抗ヒーター 87 への給電を制御することにより、ウエハ温度を所定の温度に制御できるようになっている。

40

【0082】

載置台 63 の上面側には、例えばアルミナ等の誘電体部材 66a の中に電極 66b が埋め込まれて構成された薄い円板状の静電チャック 66 が設けられており、ウエハ W を静電力により吸着保持できるようになっている。また、支柱 64 の下部は、処理容器 51 の底部 52 の中心部に形成された挿通孔 67 を貫通して下方へ延びている。支柱 64 は、図示しない昇降機構により上下移動可能となっており、これにより載置機構 62 の全体が昇降される。

50

【 0 0 8 3 】

支柱 6 4 を囲むように、伸縮可能に構成された蛇腹状の金属ベローズ 6 8 が設けられており、この金属ベローズ 6 8 は、その上端が載置台 6 3 の下面に気密に接合され、また下端が処理容器 5 1 の底部 5 2 の上面に気密に接合されており、処理容器 5 1 内の気密性を維持しつつ載置機構 6 2 の昇降移動を許容できるようになっている。

【 0 0 8 4 】

また底部 5 2 には、上方に向けて例えば 3 本（図 9 では 2 本のみ示す）の支持ピン 6 9 が起立させて設けられており、また、この支持ピン 6 9 に対応させて載置台 6 3 にピン挿通孔 7 0 が形成されている。したがって、載置台 6 3 を降下させた際に、ピン挿通孔 7 0 を貫通した支持ピン 6 9 の上端部でウエハ W を受けて、そのウエハ W を外部より侵入する搬送アーム（図示せず）との間で移載することができる。このため、処理容器 5 1 の下部側壁には、搬送アームを侵入させるために搬出入口 7 1 が設けられ、この搬出入口 7 1 には、開閉可能になされたゲートバルブ G が設けられている。このゲートバルブ G の反対側には、前述した第 2 の真空搬送室 2 1 が設けられている。

10

【 0 0 8 5 】

また上述した静電チャック 6 6 の電極 6 6 b には、給電ライン 7 2 を介してチャック用電源 7 3 が接続されており、このチャック用電源 7 3 から電極 6 6 b に直流電圧を印加することにより、ウエハ W が静電力により吸着保持される。また給電ライン 7 2 にはバイアス用高周波電源 7 4 が接続されており、この給電ライン 7 2 を介して静電チャック 6 6 の電極 6 6 b に対してバイアス用の高周波電力を供給し、ウエハ W にバイアス電力が印加されるようになっている。この高周波電力の周波数は、400 kHz ~ 60 MHz が好ましく、例えば 13.56 MHz が採用される。

20

【 0 0 8 6 】

一方、処理容器 5 1 の天井部には、例えばアルミナ等の誘電体よりなる高周波に対して透過性のある透過板 7 6 がリング等のシール部材 7 7 を介して気密に設けられている。そして、この透過板 7 6 の上部に、処理容器 5 1 内の処理空間 S にプラズマ励起用ガスとしての希ガス、例えば Ar ガスをプラズマ化してプラズマを発生するためのプラズマ発生源 7 8 が設けられる。なお、このプラズマ励起用ガスとして、Ar に代えて他の希ガス、例えば He、Ne、Kr 等を用いてもよい。

【 0 0 8 7 】

プラズマ発生源 7 8 は、透過板 7 6 に対応させて設けた誘導コイル 8 0 を有しており、この誘導コイル 8 0 には、プラズマ発生用の例えば 13.56 MHz の高周波電源 8 1 が接続されて、上記透過板 7 6 を介して処理空間 S に高周波電力が導入され誘導電界を形成するようになっている。

30

【 0 0 8 8 】

また透過板 7 6 の直下には、導入された高周波電力を拡散させる例えばアルミニウムよりなるバツフルプレート 8 2 が設けられる。そして、このバツフルプレート 8 2 の下部には、上記処理空間 S の上部側方を囲むようにして例えば断面が内側に向けて傾斜されて環状（截頭円錐殻状）の Cu からなるターゲット 8 3 が設けられており、このターゲット 8 3 には Ar イオンを引きつけるための直流電力を印加するターゲット用の電圧可変の直流電源 8 4 が接続されている。なお、直流電源に代えて交流電源を用いてもよい。

40

【 0 0 8 9 】

また、ターゲット 8 3 の外周側には、これに磁界を付与するための磁石 8 5 が設けられている。ターゲット 8 3 はプラズマ中の Ar イオンにより Cu の金属原子、あるいは金属原子団としてスパッタされるとともに、プラズマ中を通過する際に多くはイオン化される。

【 0 0 9 0 】

またこのターゲット 8 3 の下部には、上記処理空間 S を囲むようにして例えばアルミニウムや銅よりなる円筒状の保護カバー部材 8 6 が設けられている。この保護カバー部材 8 6 は接地されるとともに、その下部は内側へ屈曲されて載置台 6 3 の側部近傍に位置され

50

ている。したがって、保護カバー部材 8 6 の内側の端部は、載置台 6 3 の外周側を囲むようにして設けられている。

【 0 0 9 1 】

このように構成される第 1 の C u 膜成膜装置においては、ウエハ W を図 9 に示す処理容器 5 1 内へ搬入し、このウエハ W を載置台 6 3 上に載置して静電チャック 6 6 により吸着し、制御部 4 0 の制御下で以下の動作が行われる。このとき、載置台 6 3 は、熱電対（図示せず）で検出された温度に基づいて、冷却ジャケット 6 5 への冷媒の供給および抵抗ヒーター 8 7 への給電を制御することにより温度制御される。

【 0 0 9 2 】

まず、真空ポンプ 5 6 を動作させることにより所定の真空状態にされた処理容器 5 1 内に、ガス制御部 6 0 を操作して所定流量で A r ガスを流しつつスロットルバルブ 5 5 を制御して処理容器 5 1 内を所定の真空度に維持する。その後、可変直流電源 8 4 から直流電力をターゲット 8 3 に印加し、さらにプラズマ発生源 7 8 の高周波電源 8 1 から誘導コイル 8 0 に高周波電力（プラズマ電力）を供給する。一方、バイアス用高周波電源 7 4 から静電チャック 6 6 の電極 6 6 b に対して所定のバイアス用の高周波電力を供給する。

【 0 0 9 3 】

これにより、処理容器 5 1 内においては、誘導コイル 8 0 に供給された高周波電力によりアルゴンプラズマが形成されてアルゴンイオンが生成され、これらイオンはターゲット 8 3 に印加された直流電圧に引き寄せられてターゲット 8 3 に衝突し、このターゲット 8 3 がスパッタされて粒子が放出される。この際、ターゲット 8 3 に印加する直流電圧により放出される粒子の量が最適に制御される。

【 0 0 9 4 】

また、スパッタされたターゲット 8 3 からの粒子はプラズマ中を通る際に多くはイオン化される。ここでターゲット 8 3 から放出される粒子は、イオン化されたものと電気的に中性な中性原子とが混在する状態となって下方向へ飛散して行く。特に、この処理容器 5 1 内の圧力がある程度高くし、これによりプラズマ密度を高めることにより、粒子を高効率でイオン化することができる。この時のイオン化率は高周波電源 8 1 から供給される高周波電力により制御される。

【 0 0 9 5 】

そして、イオンは、バイアス用高周波電源 7 4 から静電チャック 6 6 の電極 6 6 b に印加されたバイアス用の高周波電力によりウエハ W 面上に形成される厚さ数 m m 程度のイオンシースの領域に入ると、強い指向性をもってウエハ W 側に加速するように引き付けられてウエハ W に堆積して C u 膜が形成される。

【 0 0 9 6 】

このとき、ウエハ温度を高く（ 6 5 ~ 3 5 0 ）設定するとともに、バイアス用高周波電源 7 4 から静電チャック 6 6 の電極 6 6 b に対して印加されるバイアスパワーを調整して C u の成膜と A r によるエッチングを調整して、C u の流動性を良好にすることにより、開口が狭いトレンチやホールであっても良好な埋め込み性で C u を埋め込むことができる。

【 0 0 9 7 】

良好な埋め込み性を得る観点から、処理容器 5 1 内の圧力（プロセス圧力）は、 1 ~ 1 0 0 m T o r r （ 0 . 1 3 3 ~ 1 3 . 3 P a ） 、 さらには 3 5 ~ 9 0 m T o r r （ 4 . 6 6 ~ 1 2 . 0 P a ） が好ましく、ターゲットへの直流電力は 4 ~ 1 2 k W 、 さらには 6 ~ 1 0 k W とすることが好ましい。

【 0 0 9 8 】

なお、トレンチやホールの開口が広い場合等には、ウエハ温度を低く（ - 5 0 ~ 0 ）設定するとともに、処理容器 5 1 内の圧力をより低くして成膜することができる。これにより、成膜レートを高くすることができる。また、このような場合には、 i P V D に限らず、通常のスパッタ、イオンプレーティング等の通常の P V D を用いることもできる。

【 0 0 9 9 】

< バリア膜成膜装置 >

次に、バリア膜を形成するためのバリア膜成膜装置 12 a (12 b) について説明する。図 10 は、バリア膜成膜装置 12 a (12 b) の一例を示す断面図であり、熱 A L D により T a A l N 膜を形成するものである。なお、熱 C V D によっても成膜可能である。

【 0 1 0 0 】

図 10 に示すように、このバリア膜成膜装置 12 a (12 b) は、例えばアルミニウム等により筒体に形成された処理容器 101 を有している。処理容器 101 の内部には、ウエハ W を載置する例えば A l N 等のセラミックスからなる載置台 102 がその中央下部に設けられた円筒状の支持部材 103 により支持された状態で配置されている。この載置台 102 内にはヒーター 104 が設けられている。このヒーター 104 はヒーター電源 (図示せず) から給電されることにより発熱する。また、載置台 102 には電極 105 が埋設されており、電極 105 には高周波電源 106 が接続されている。また、載置台 102 には、ウエハ搬送用の 3 本 (2 本のみ図示) のウエハ支持ピン 107 が載置台 102 の表面に対して突没可能に設けられ、これらウエハ支持ピン 107 は支持板 108 に固定されている。そして、ウエハ支持ピン 107 は、エアシリンダ等の駆動機構 109 によってロッド 110 を昇降することにより、支持板 108 を介して昇降される。なお、符号 111 はペローズである。

10

【 0 1 0 1 】

処理容器 101 の天壁には、T a A l N 膜を形成するためのガスやパージガス等を処理容器 101 内にシャワー状に導入するためのシャワーヘッド 112 が載置台 102 と対向するように設けられている。シャワーヘッド 112 はその上面から内部に伸びる第 1 の導入路 113 および第 2 の導入路 114 を有している。これら第 1 の導入路 113 と第 2 の導入路 114 とはシャワーヘッド 112 内で別個に設けられており、これらに供給されたガスは互いに混ざらないようになっている。

20

【 0 1 0 2 】

シャワーヘッド 112 の内部には上下 2 段に上部空間 115 および下部空間 116 が設けられており、上部空間 115 には第 1 の導入路 113 が繋がっており、この上部空間 115 から第 1 のガス吐出路 117 がシャワーヘッド 112 の底面まで延びている。下部空間 116 には第 2 の導入路 118 が繋がっており、この下部空間 116 から第 2 のガス吐出路 118 がシャワーヘッド 112 の底面まで延びている。

30

【 0 1 0 3 】

第 1 の導入路 113 には第 1 のガス供給配管 119 が接続されており、第 2 のガス導入路 114 には第 2 のガス供給管 120 が接続されている。これら第 1 のガス供給配管 119 および第 2 のガス供給配管 120 は、ガス供給部 122 の各ガスに対応するガス供給源に接続されており、第 1 のガス供給配管 119 には T a 化合物および A l 化合物を還元して窒化物を形成する窒化ガス (還元ガス) である N H ₃、希釈ガス、プラズマガスとして用いられる A r 等が供給され、第 2 のガス供給配管 120 には T a 原料である T B T E M T および A l 原料である T M A が供給されるようになっている。なお、これら原料として、上述した他のガスを用いることもできる。また、第 2 のガス供給配管 120 には第 3 のガス供給配管 121 が接続され、ガス供給部 122 のガス供給源から処理容器 101 内のクリーニング等に用いるガスである O ₂、N F ₃ や、キャリアガス、希釈ガス、プラズマガスとして用いられる A r が供給される。第 1 のガス供給配管 119 および第 2 のガス供給配管には、ガス流量制御器、バルブ等よりなるガス制御部 123、124 が介装されている。

40

【 0 1 0 4 】

処理容器 101 の底部には、下方に向けて突出する排気室 125 が設けられている。排気室 125 の側面には排気管 126 が接続されており、この排気管 126 には圧力調整を行うスロットルバルブ 127 および真空ポンプ 128 が接続されており、処理容器 101 内が真空引き可能となっている。

【 0 1 0 5 】

50

一方、処理容器101の側壁には、ウエハ搬出入口129が形成されており、ゲートバルブGを開けた状態で第1の真空搬送室11との間でウエハWの搬入出が行われる。

【0106】

このようなバリア膜成膜装置12a(12b)においては、ゲートバルブGを開けて、ウエハWを載置台102上に載置した後、ゲートバルブGを閉じ、処理容器101内を真空ポンプ128により排気して処理容器101内を所定の圧力に調整しつつ、ヒーター104より載置台102を介してウエハWを所定温度に加熱した状態で、ALDによりTaAlN膜を成膜する。このときの載置台温度は300~400である。

【0107】

具体的な手順としては、例えば上記図3に示すように、ガス供給部122から第2のガス供給配管120を介してTa原料であるTBTEMTをシャワーヘッド112に供給し、第2の導入路114、下部空間116を経て第2のガス吐出路118から吐出させて、ウエハWの表面に吸着させ、次いで、両方のガス供給配管119、120からパージガスであるArをシャワーヘッド112の第1および第2の吐出路117、118から吐出させて処理容器101内のパージを行い、次いで、第1のガス供給配管119を介して窒化ガス(還元ガス)であるNH₃ガスをシャワーヘッド112に供給し、第1のガス導入路113、上部空間115を経て第1のガス吐出路117から吐出させてウエハWに吸着しているTBTEMTを窒化(還元)させ、次いで、従前のパージと同様にして処理容器内のパージを行う。これを所定サイクル(好適には4~8サイクル)繰り返して1回のTaAlN単位膜の形成が終了する。次いで、TBTEMTをAl原料としてのTMAに代えた以外は同様にしてTMAの供給によるTMAの吸着 処理容器101内のパージ NH₃による窒化(還元)処理 処理容器内のパージを順次行って、1回のAlN膜の形成が終了する。これらTaAlN単位膜の形成およびAlN膜の形成を所定回繰り返すことにより、所定膜厚のTaAlN膜が形成される。

【0108】

TaAlN膜の形成後、処理容器101内にArを供給するとともに、高周波電源106から載置台102の電極105に高周波電力を供給することにより、Arプラズマを生成し、TaAlN膜にプラズマ中のイオンによる衝撃を与え、膜の改質を行う。これにより、膜のバリア性が向上する。このときの高周波電力の周波数は例えば13.65MHz、パワーは100~1000W程度である。以上は、図3に示した手順の例であるが、もちろん、プラズマ処理を上記図4~6に示した手順で行っても良い。

【0109】

<Ruライナー膜成膜装置>

次に、Ruライナー膜を形成するためのRuライナー膜成膜装置14a(14b)について説明する。Ruライナー膜は熱CVDにより好適に形成することができる。図11は、Ruライナー膜成膜装置の一例を示す断面図であり、熱CVDによりRu膜を形成するものである。

【0110】

図11に示すように、このRuライナー膜成膜装置14a(14b)は、例えばアルミニウム等により筒体に形成された処理容器131を有している。処理容器131の内部には、ウエハWを載置する例えばAlN等のセラミックスからなる載置台132が配置されており、この載置台132内にはヒーター133が設けられている。このヒーター133はヒーター電源(図示せず)から給電されることにより発熱する。

【0111】

処理容器131の天壁には、Ru膜を形成するための処理ガスやパージガス等を処理容器131内にシャワー状に導入するためのシャワーヘッド134が載置台132と対向するように設けられている。シャワーヘッド134はその上部にガス導入口135を有し、その内部にガス拡散空間136が形成されており、その底面には多数のガス吐出孔137が形成されている。ガス導入口135にはガス供給配管138が接続されており、ガス供給配管138にはRu膜を形成するための処理ガスやパージガス等を供給するためのガス

10

20

30

40

50

供給源 139 が接続されている。また、ガス供給配管 138 には、ガス流量制御器、バルブ等よりなるガス制御部 140 が介装されている。Ru を成膜するためのガスとしては、上述したように、好適なものとしてルテニウムカルボニル ($Ru_3(CO)_{12}$) を挙げることができる。このルテニウムカルボニルは熱分解により Ru 膜を形成することができる。

【0112】

処理容器 131 の底部には、排気口 141 が設けられており、この排気口 141 には排気管 142 が接続されている。排気管 142 には圧力調整を行うスロットルバルブ 143 および真空ポンプ 144 が接続されており、処理容器 131 内が真空引き可能となっている。

10

【0113】

載置台 132 には、ウエハ搬送用の 3 本 (2 本のみ図示) のウエハ支持ピン 146 が載置台 132 の表面に対して突没可能に設けられ、これらウエハ支持ピン 146 は支持板 147 に固定されている。そして、ウエハ支持ピン 146 は、エアシリンダ等の駆動機構 148 によりロッド 149 を昇降することにより、支持板 147 を介して昇降される。なお、符号 150 はベローズである。一方、処理容器 131 の側壁には、ウエハ搬出入口 151 が形成されており、ゲートバルブ G を開けた状態で第 1 の真空搬送室 11 との間でウエハ W の搬入出が行われる。

【0114】

このような Ru ライナー膜成膜装置 14a (14b) においては、ゲートバルブ G を開けて、ウエハ W を載置台 132 上に載置した後、ゲートバルブ G を閉じ、処理容器 131 内を真空ポンプ 144 により排気して処理容器 131 内を所定の圧力に調整しつつ、ヒーター 133 より載置台 132 を介してウエハ W を所定温度に加熱した状態で、ガス供給源 139 からガス供給配管 138 およびシャワーヘッド 134 を介して処理容器 131 内へルテニウムカルボニル ($Ru_3(CO)_{12}$) ガス等の処理ガスを導入する。これにより、ウエハ W 上で処理ガスの反応が進行し、ウエハ W の表面に Ru 膜が形成される。

20

【0115】

Ru 膜の成膜には、ルテニウムカルボニル以外の他の成膜原料、例えば上述したようなルテニウムのペンタジエニル化合物を O_2 ガスのような分解ガスとともに用いることができる。また Ru 膜を PVD で成膜することもできる。ただし、良好なステップカバレッジが得られ、かつ膜の不純物を少なくすることができることからルテニウムカルボニルを用いた CVD で成膜することが好ましい。

30

【0116】

< 他の工程に用いる装置 >

以上の成膜システム 1 により上記実施形態における Cu 膜の形成 (積み増し部の形成) までを行うことができるが、それ以降のアニール工程、CMP 工程、キャップ層成膜工程は、成膜システム 1 から搬出した後のウエハ W に対し、アニール装置、CMP 装置、キャップ層成膜装置を用いて行うことができる。なお、アニール工程を成膜システム 1 のいずれかのモジュールで行うようにすることもできる。これらの装置は、通常用いられる構成のものでよい。これら装置と成膜システム 1 とで Cu 配線形成システムを構成し、制御部 40 と同じ機能を有する共通の制御部により一括して制御するようにすることにより、上記実施形態に示された方法を一つのレシピにより一括して制御することができる。

40

【0117】

< 他の適用 >

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されることなく種々変形可能である。例えば、成膜システムとしては、図 8 のようなタイプに限らず、一つの搬送装置に全ての成膜装置が接続されているタイプであってもよい。また、図 8 のようなマルチチャンパタイプのシステムではなく、バリア膜、Ru ライナー膜、Cu 膜のうち、一部のみを同一の成膜システムで形成し、残部を別個に設けた装置により大気暴露を経て成膜するようにしてもよいし、全てを別個の装置で大気暴露を経て成膜するよう

50

にしてもよい。

【0118】

さらに、上記実施形態では、トレンチとビア（ホール）とを有するウエハに本発明の方法を適用した例を示したが、トレンチのみを有する場合でも、ホールのみを有する場合でも本発明を適用できることはいうまでもない。また、シングルダマシ構造、ダブルダマシ構造の他、三次元実装構造等、種々の構造のデバイスにおける埋め込みに適用することができる。また、上記実施形態では、被処理基板として半導体ウエハを例にとって説明したが、半導体ウエハにはシリコンのみならず、GaAs、SiC、GaNなどの化合物半導体も含まれ、さらに、半導体ウエハに限定されず、液晶表示装置等のFPD（フラットパネルディスプレイ）に用いるガラス基板や、セラミック基板等にも本発明を適用することができることはもちろんである。

10

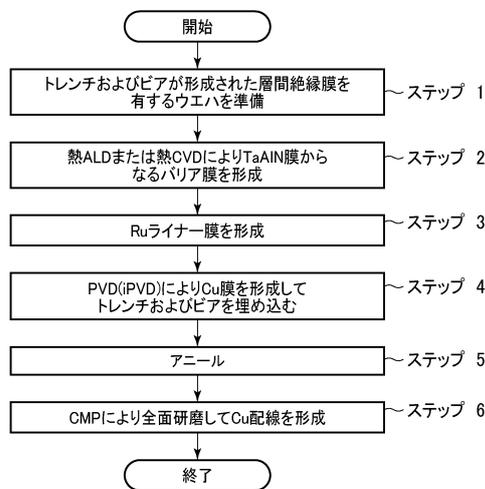
【符号の説明】

【0119】

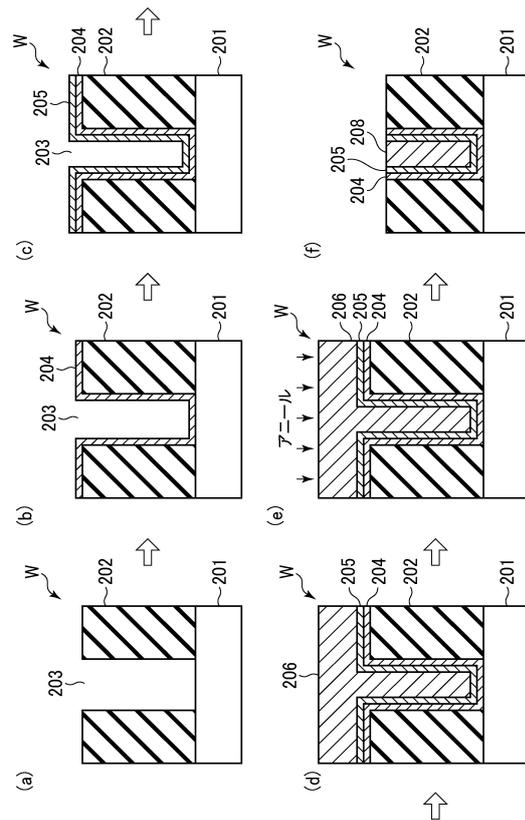
- 1；成膜システム
- 12a, 12b；バリア膜成膜装置
- 14a, 14b；Ruライナー膜成膜装置
- 22a, 22b；Cu膜成膜装置
- 201；下部構造
- 202；層間絶縁膜
- 203；トレンチ
- 204；バリア膜
- 205；Ruライナー膜
- 206；Cu膜
- 208；Cu配線
- W；半導体ウエハ（被処理基板）

20

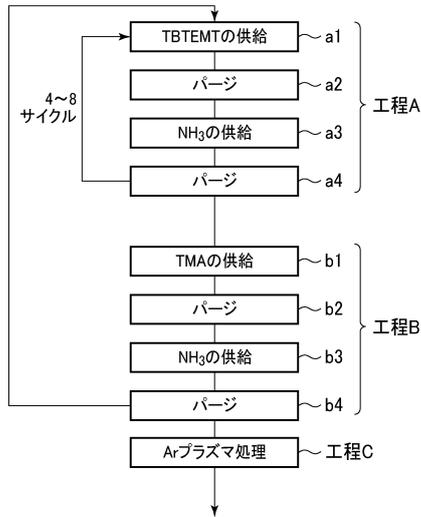
【図1】



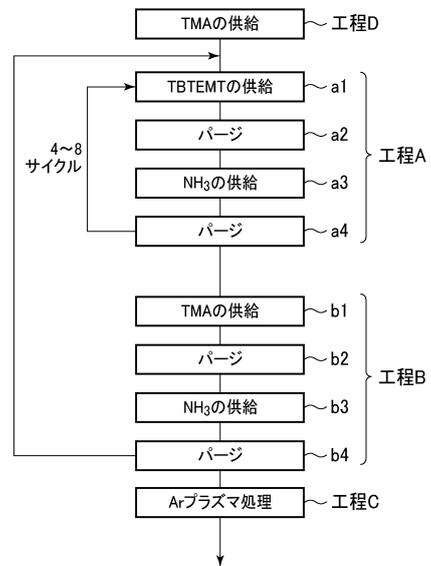
【図2】



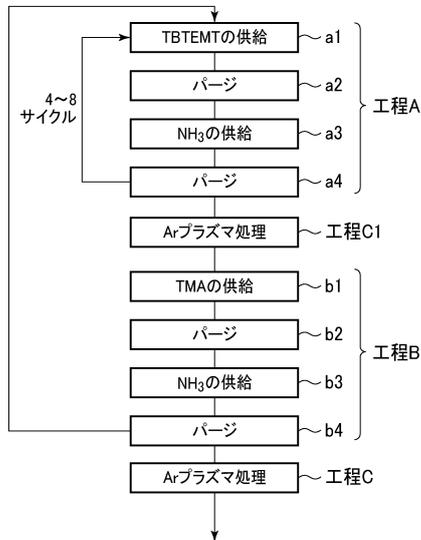
【 図 3 】



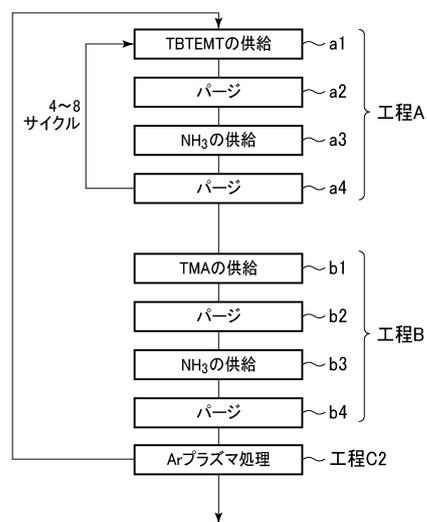
【 図 4 】



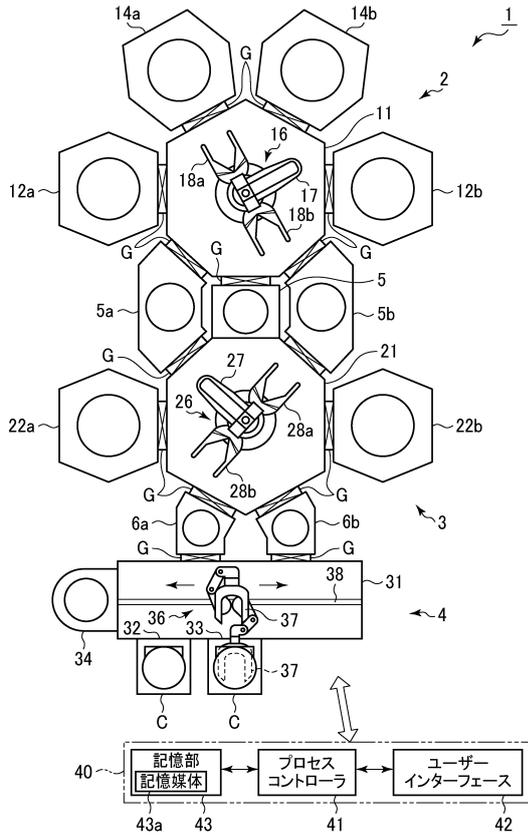
【 図 5 】



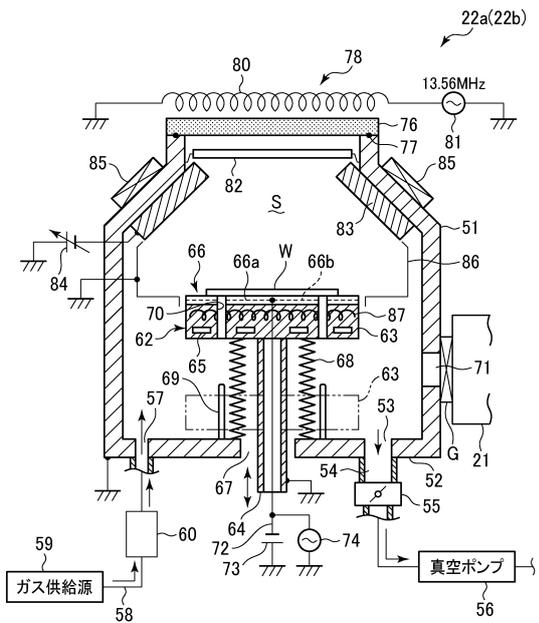
【 図 6 】



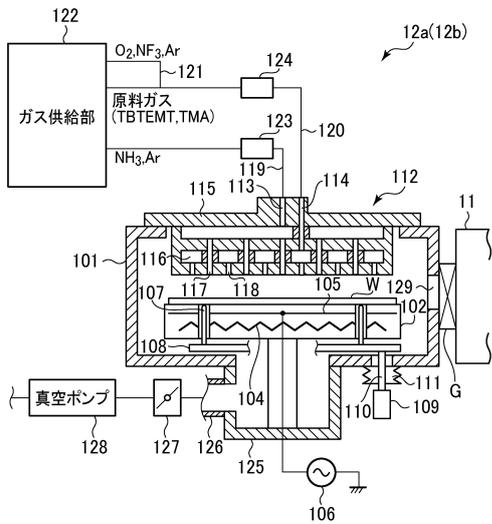
【図8】



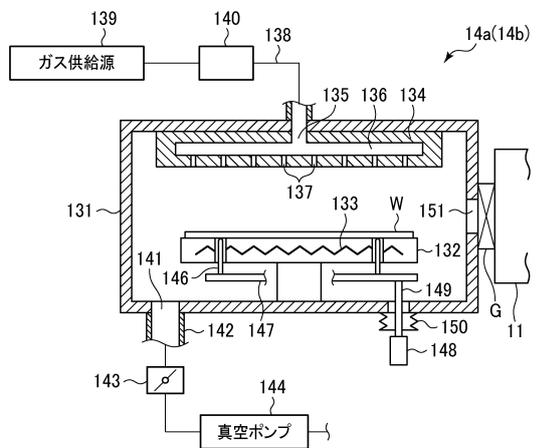
【図9】



【図10】



【図11】



【 7 】

膜厚	Ta/NAIN= 1:1	Ta/NAIN= 2:1	Ta/NAIN= 4:1	Ta/NAIN= 8:1
1nm				
2nm				
1nm	N/A	N/A	N/A	N/A
2nm	N/A	N/A	N/A	N/A
1nm	N/A	N/A	N/A	N/A
2nm	N/A	N/A	N/A	N/A

膜厚

1nm

2nm

1nm

2nm

1nm

2nm

プリJAIN
ポストA-プラズマ
いずれもなし

プリJAIN
あり

ポストA-プラズマ
あり

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2012-216765(JP,A)
特開2005-005383(JP,A)
特表2009-509322(JP,A)
特表2005-528776(JP,A)
特開2007-184594(JP,A)
特開2012-231123(JP,A)
特開2010-283347(JP,A)
特開2010-153487(JP,A)
国際公開第2007/116445(WO,A1)
特開2001-303251(JP,A)
特開2011-54742(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3205
C23C 14/14
C23C 16/34
H01L 21/768
H01L 23/532