

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4830421号  
(P4830421)

(45) 発行日 平成23年12月7日(2011.12.7)

(24) 登録日 平成23年9月30日(2011.9.30)

(51) Int.Cl.

F 1

HO 1 L 21/3205	(2006.01)	HO 1 L 21/88	B
HO 1 L 21/768	(2006.01)	HO 1 L 21/90	A
C 23 C 14/34	(2006.01)	C 23 C 14/34	S
HO 1 L 21/285	(2006.01)	HO 1 L 21/285	S

請求項の数 13 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2005-277044 (P2005-277044)
(22) 出願日	平成17年9月26日 (2005.9.26)
(65) 公開番号	特開2007-43038 (P2007-43038A)
(43) 公開日	平成19年2月15日 (2007.2.15)
審査請求日	平成20年4月23日 (2008.4.23)
(31) 優先権主張番号	特願2005-188107 (P2005-188107)
(32) 優先日	平成17年6月28日 (2005.6.28)
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)

(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
(74) 代理人	100090125 弁理士 浅井 章弘
(72) 発明者	池田 太郎 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター東京エレクトロン株式会社内
(72) 発明者	水澤 寧 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター東京エレクトロン株式会社内
(72) 発明者	波多野 達夫 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター東京エレクトロン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】金属膜の成膜方法及び成膜装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

不活性ガスをプラズマ化することにより形成されたプラズマにより真空引き可能になされた処理容器内で金属ターゲットをイオン化させて金属イオンを含む金属粒子を発生させ、該金属粒子を前記処理容器内の載置台上に載置した被処理体にバイアス電力により引き込んで、表面に凹部が形成されると共に該凹部の底部に配線層を有している前記被処理体の表面に金属膜を形成する成膜方法において、

前記凹部内の表面を含む前記被処理体の表面に下地膜を形成する下地膜形成工程と、  
前記被処理体の上面において前記金属粒子による成膜量と不活性ガスのプラズマによるエッチング量とが同じになるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記被処理体の表面に金属膜を形成することなく前記凹部の底部の前記下地膜と前記配線層とを削って前記配線層に削り込み凹部を形成する第1ステップと、

前記被処理体の上面において前記金属粒子による成膜量が不活性ガスのプラズマによるエッチング量よりも大きくなるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記削り込み凹部の底部を更に削り取ると共に前記削り込み凹部を除いて前記凹部内の表面を含む被処理体の表面全体に金属膜を形成する第2ステップと、

を有することを特徴とする金属膜の成膜方法。

## 【請求項 2】

不活性ガスをプラズマ化することにより形成されたプラズマにより真空引き可能になされた処理容器内で金属ターゲットをイオン化させて金属イオンを含む金属粒子を発生させ

10

20

、該金属粒子を前記処理容器内の載置台上に載置した被処理体にバイアス電力により引き込んで、表面に凹部が形成されると共に該凹部の底部に配線層を有している前記被処理体の表面に金属膜を形成する成膜方法において、

前記凹部内の表面を含む前記被処理体の表面に下地膜を形成する下地膜形成工程と、

前記被処理体の上面において前記金属粒子による成膜量と不活性ガスのプラズマによるエッティング量とが同じになるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記被処理体の表面に金属膜を形成することなく前記凹部の底部の前記下地膜と前記配線層とを削って前記配線層に削り込み凹部を形成する第1ステップと、

前記被処理体の上面において不活性ガスによるエッティングが起きず、且つ金属イオンが引き込まれるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記削り込み凹部内を含む被処理体の表面全体に金属膜を形成する補助ステップと、

を有することを特徴とする金属膜の成膜方法。

【請求項3】

前記第1及び第2ステップでは、プラズマ電力、前記金属ターゲットへ印加する直流電力及び前記バイアス電力の一部、或いは全部をコントロールすることにより条件設定されることを特徴とする請求項1記載の金属膜の成膜方法。

【請求項4】

前記第1ステップ及び前記補助ステップでは、プラズマ電力、前記金属ターゲットへ印加する直流電力及び前記バイアス電力の一部、或いは全部をコントロールすることにより条件設定されることを特徴とする請求項2記載の金属膜の成膜方法。

【請求項5】

前記プラズマ電力は500～6000ワットの範囲内、前記直流電力は100～1200ワットの範囲内及び前記バイアス電力は100～2000ワットの範囲内であることを特徴とする請求項3又は4記載の金属膜の成膜方法。

【請求項6】

前記下地膜と前記金属膜とで2層構造のバリヤ層が形成されていることを特徴とする請求項5記載の金属膜の成膜方法。

【請求項7】

前記下地膜はTaN膜であり、前記金属膜はTa膜であることを特徴とする請求項6記載の金属膜の成膜方法。

【請求項8】

前記下地膜はTa膜であり、前記金属膜は前記下地膜とは成膜条件の異なるTa膜であることを特徴とする請求項6記載の金属膜の成膜方法。

【請求項9】

前記凹部には、ビアホールまたはスルーホールとなる連通穴が設けられて2段階の段部状になされていることを特徴とする請求項1乃至8のいずれか一項に記載の金属膜の成膜方法。

【請求項10】

前記凹部はビアホールまたはスルーホールとなる連通穴であることを特徴とする請求項1乃至8のいずれか一項に記載の金属膜の成膜方法。

【請求項11】

真空引き可能なされた処理容器と、  
表面に凹部の形成された被処理体を載置するための載置台と、  
前記処理容器内へ少なくとも不活性ガスを含む所定のガスを導入するガス導入手段と、  
プラズマ電力により前記処理容器内へプラズマを発生させるためのプラズマ発生源と、  
前記処理容器内に設けられて直流電力が印加されると共に、前記プラズマによりイオン化されるべき金属ターゲットと、

前記載置台に対して所定のバイアス電力を供給するバイアス電源と、

装置全体を制御する装置制御部と、を有する成膜装置において、

前記装置制御部は、

10

20

30

40

50

前記被処理体の上面において金属粒子による成膜量と不活性ガスのプラズマによるエッチング量とが同じになるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記被処理体の表面に金属膜を形成することなく前記凹部の底部の下地膜と配線層とを削って前記配線層に削り込み凹部を形成する第1ステップと、

前記被処理体の上面において前記金属粒子による成膜量が不活性ガスのプラズマによるエッチング量よりも大きくなるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記削り込み凹部の底部を更に削り取ると共に前記削り込み凹部を除いて前記凹部内の表面を含む被処理体の表面全体に金属膜を形成する第2ステップと、を行なうように装置全体を制御することを特徴とする成膜装置。

【請求項12】

10

真空引き可能なされた処理容器と、  
表面に凹部の形成された被処理体を載置するための載置台と、  
前記処理容器内へ少なくとも不活性ガスを含む所定のガスを導入するガス導入手段と、  
プラズマ電力により前記処理容器内へプラズマを発生させるためのプラズマ発生源と、  
前記処理容器内に設けられて直流電力が印加されると共に、前記プラズマによりイオン化されるべき金属ターゲットと、

前記載置台に対して所定のバイアス電力を供給するバイアス電源と、  
装置全体を制御する装置制御部と、を有する成膜装置において、  
前記装置制御部は、

前記被処理体の上面において金属粒子による成膜量と不活性ガスのプラズマによるエッチング量とが同じになるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記被処理体の表面に金属膜を形成することなく前記凹部の底部の下地膜と配線層とを削って前記配線層に削り込み凹部を形成する第1ステップと、

前記被処理体の上面において不活性ガスによるエッチングが起きず、且つ金属イオンが引き込まれるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記削り込み凹部内を含む被処理体の表面全体に金属膜を形成する補助ステップと、を行なうように装置全体を制御することを特徴とする成膜装置。

【請求項13】

20

前記装置制御部は、プラズマ電力、前記金属ターゲットへ印加する直流電力及び前記バイアス電力の一部、或いは全部をコントロールするように制御することを特徴とする請求項11又は12記載の成膜装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体ウエハ等の被処理体の表面に形成されている凹部の表面に効果的に金属膜を形成する成膜方法及び成膜装置に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、半導体デバイスを製造するには、半導体ウエハに成膜処理やパターンエッティ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、半導体デバイスの更なる高集積化及び高微細化の要請より、線幅やホール径が益々微細化されている。そして、配線材料や埋め込み材料としては、各種寸法の微細化により、より電気抵抗を小さくする必要から電気抵抗が非常に小さくて且つ安価である銅を用いる傾向にある（特許文献1）。そして、この配線材料や埋め込み材料として銅を用いる場合には、その下層との密着性等を考慮して、一般的にはタンタル金属（Ta）やタンタル窒化膜（TaN）等がバリヤ層として用いられる。

40

このバリヤ層を形成するには、プラズマスパッタ装置内にてウエハ表面にまず、下地層としてタンタル窒化膜（以下、「TaN膜」とも称す）やタンタル膜（以下「Ta膜」とも称す）を形成し、次に、同じプラズマスパッタ装置内にてタンタル膜（下地層がTa膜の時には成膜条件を変える）を形成することによって、バリヤ層を形成するようになって

50

いる。そして、その後、このバリヤ層の表面に銅膜よりなる薄いシード膜を形成し、次にウエハ表面全体に銅メッキ処理を施すことにより、凹部内を埋め込むようになっている。

#### 【0003】

ところで、下層の配線層と絶縁膜を挟んで積層される上層の配線層とを電気的に接続する場合には、上記下層の配線層上に上記絶縁層を形成した後に、この絶縁層にピアホールやスルーホールのような連通穴を形成してこの連通穴の底部に上記下層の配線層を露出させ、その後、この連通穴を上層の配線層の材料で埋め込むと同時に上層の配線層を堆積形成するようになっている。そして、上述したように微細化の要請により線幅やホール(穴)径も更に小さくなされていることから、上記した上下の配線層間の接続構造に関しては、その電気抵抗をより下げる工夫がなされており、その一例として、上記連通穴の底部を下層の配線層の厚さ方向に所定の深さまで埋め込んで形成するように、この連通穴を埋め込む埋め込み材料と下層の配線層との接触抵抗をより小さくするようにした構造が採用されている。このような構造をいわゆるパンチスルーハウジング構造と称し、この作成方法を、いわゆるパンチスループロセスと称している。

#### 【0004】

上述したパンチスルーハウジング構造の一例を、図12及び図13を参照して説明する。図12は半導体ウエハ上に形成された連通穴を埋め込む前の状態を示す図であり、図12(A)は平面図、図12(B)は図12(A)中のA-A線矢視断面図、図12(C)は斜視図をそれぞれ示す。図13は連通穴の埋め込み工程を示す図である。

この半導体ウエハWは例えばシリコン基板よりなり、このシリコン基板の表面に、例えば銅よりなる下層の配線層2及びシリコン酸化膜等よりなる絶縁層4が順次積層されている。そして、この絶縁層4の表面に凹部5が形成されている。この凹部5には、ここでは上層の配線層を形成するための所定の幅の配線溝、すなわちトレンチ6となっており、このトレンチ6の底部に部分的に、上記絶縁層4を貫通して下層の配線層2へ連通されたピアホールやスルーホールとなる連通穴8が形成されている。この連通穴8の直径L1は非常に小さくて例えば60~200nm程度であり、凹部5、すなわちトレンチ6の幅L2は例えば60~100nm程度である。

#### 【0005】

さて、上述したような連通穴8及びトレンチ6を埋め込むには、まず、図13(A)に示すように、トレンチ6内や連通穴8内の表面を含むウエハWの表面全体に、下地層との密着性の向上や銅の絶縁層8への拡散防止やマイグレーションの発生阻止等を目的として金属膜よりなるバリヤ層10を例えばプラズマスパッタ等により形成する。このバリヤ層10は、例えばタンタル窒化膜(TaN膜)とタンタル膜(Ta膜)との2層構造や、互いに成膜条件を異ならせて成膜したタンタル膜同士の2層構造が主として採用される。

#### 【0006】

次に、図13(B)に示すように、例えば不活性ガスとしてArガスを用いたプラズマエッティングを施して、上記連通孔8の底部に形成したバリヤ層10を削り取り、更にその下地である下層の配線層2をエッティングし、これに所定の深さの削り込み凹部12を形成する。

次に、図13(C)に示すように、例えばスパッタを施すことにより、上記削り込み凹部12や連通穴8やトレンチ6の内面を含む全表面に電気メッキのシード膜14を非常に薄く形成する。ここでは上記シード膜14としては、例えば後工程で銅メッキを行うことから銅(Cu)膜を用いる。

#### 【0007】

次に、図13(D)に示すように、上記シード膜14を起点として電気メッキを施して、上記削り込み凹部12、連通穴8及びトレンチ6を上層の配線層16の材料でそれぞれ埋め込む。この上層の配線層16の材料としては、上述のように例えば銅を用いる。

図13(E)に示すように、上面の不要な金属材料を研磨処理等によって削り取ることによって、下層の配線層2と電気的に接続された上層の配線層16を形成することになる。

10

20

30

40

50

尚、上述したように、トレンチ 6 の底部にスルーホールやビアホールのような連通穴 8 を有して、その断面が 2 段階で段部状になされた凹部 5 の形状が、いわゆるデュアルダマシン (Dual Damascene) 構造と称される。

【0008】

【特許文献 1】特開 2000-77365 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

ところで、上述したような従来の成膜方法において、図 13 (B) に示すようなプラズマエッティング工程では、例えば点 P 1 に示すような角部においてはエッティングにより飛散するバリヤ層の粒子は特定の方向に絞られた角度範囲内で指向性を持って飛散する特性を有しており、この場合、線幅や溝幅がかなり広い場合には、特に問題は顕著にはならなかつたが、前述したように溝幅等が 100 nm 程度まで小さくなると、上記特定の方向に飛散する粒子が対向壁面に付着してここに堆積突起物 18 を形成する場合があった。このように堆積突起物 18 が発生すると、次の図 13 (C) に示すプラズマスパッタ工程において、スパッタ粒子の指向性が高いことから上記堆積突起物 18 の影となる部分が発生して、いわゆるシャドーイング現象が発生して、上記堆積突起物 18 の影部 20 にシード膜 14 が付着しなくなる、といった問題があった。このようにシード膜 14 の付着しない部分が発生すると、図 13 (D) に示すように、この部分に空洞、すなわちボイド 22 が発生して好ましくない。

【0010】

また図 14 は幅 L 2 が種々異なる凹部 5 (トレンチ 6) の態様を示す図であるが、半導体ウエハ W の表面には、実際には、図 14 に示すように、幅 L 2 が種々異なる凹部 5 が多種類存在しており、この場合、連通穴 8 (この直径 L 1 は同じ) のアスペクト比は同じであってもトレンチ 6 のアスペクト比が異なると連通穴 8 の底部から上方を見通す角度 1 、 2 が図中に示すように異なる (1 < 2) ので、凹部の最下層である連通穴 8 の底部に堆積するバリヤ層 10 の厚さ H 1 、 H 2 がそれぞれ異なってしまう。このため、上記バリヤ層 10 の厚さ H 1 、 H 2 の相異に起因して、このバリヤ層を削り取って底部に形成される削り込み凹部 12 の深さにバラツキが生じてしまって好ましくない、という問題があった。

本発明は、以上のような問題点に着目し、これを有効に解決すべく創案されたものである。本発明の目的は、バリヤ膜等の金属膜の成膜時のプロセス条件を適切に選択することにより、凹部の最下層の底部のみを選択的に削り取りつつ凹部内の表面を含む被処理体の表面全域に金属膜を形成することができ、しかも凹部の幅に依存することなく同じ深さだけ底部を削り取って同じ深さの削り込み凹部を形成することができる金属膜の成膜方法及び成膜装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明者等は、プラズマスパッタ処理により金属膜を成膜する際に、バイアス電圧や金属ターゲットへの直流電力やプラズマ電力等のプロセス条件を適宜調整して金属粒子の中性原子と金属粒子イオンとの比率を制御することにより、半導体ウエハの表面を含むウエハ表面全域に金属膜を形成することができる、という知見を得ることにより本発明に至つたものである。

【0012】

請求項 1 に係る発明は、不活性ガスをプラズマ化することにより形成されたプラズマにより真空引き可能になされた処理容器内で金属ターゲットをイオン化させて金属イオンを含む金属粒子を発生させ、該金属粒子を前記処理容器内の載置台上に載置した被処理体にバイアス電力により引き込んで、表面に凹部が形成されると共に該凹部の底部に配線層を有している前記被処理体の表面に金属膜を形成する成膜方法において、前記凹部内の表面を含む前記被処理体の表面に下地膜を形成する下地膜形成工程と、前記被処理体の上面に

10

20

30

40

50

おいて前記金属粒子による成膜量と不活性ガスのプラズマによるエッティング量とが同じになるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記被処理体の表面に金属膜を形成することなく前記凹部の底部の前記下地膜と前記配線層とを削って前記配線層に削り込み凹部を形成する第1ステップと、前記被処理体の上面において前記金属粒子による成膜量が不活性ガスのプラズマによるエッティング量よりも大きくなるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記削り込み凹部の底部を更に削り取ると共に前記削り込み凹部を除いて前記凹部内の表面を含む被処理体の表面全体に金属膜を形成する第2ステップと、を有することを特徴とする金属膜の成膜方法である。

## 【0013】

この発明によれば、バリヤ膜等の金属膜の成膜時のプロセス条件を適切に選択することにより、凹部の最下層の底部のみを選択的に削り取りつつ凹部内の表面を含む被処理体の表面全域に金属膜を形成することができ、しかも凹部の幅に依存することなく同じ深さだけ底部を削り取って同じ深さの削り込み凹部を形成することができる。

## 【0014】

請求項2に係る発明は、不活性ガスをプラズマ化することにより形成されたプラズマにより真空引き可能になされた処理容器内で金属ターゲットをイオン化させて金属イオンを含む金属粒子を発生させ、該金属粒子を前記処理容器内の載置台上に載置した被処理体にバイアス電力により引き込んで、表面に凹部が形成されると共に該凹部の底部に配線層を有している前記被処理体の表面に金属膜を形成する成膜方法において、前記凹部内の表面を含む前記被処理体の表面に下地膜を形成する下地膜形成工程と、前記被処理体の上面において前記金属粒子による成膜量と不活性ガスのプラズマによるエッティング量とが同じになるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記被処理体の表面に金属膜を形成することなく前記凹部の底部の前記下地膜と前記配線層とを削って前記配線層に削り込み凹部を形成する第1ステップと、前記被処理体の上面において不活性ガスによるエッティングが起きず、且つ金属イオンが引き込まれるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記削り込み凹部内を含む被処理体の表面全体に金属膜を形成する補助ステップと、を有することを特徴とする金属膜の成膜方法である。

## 【0015】

この場合、例えば請求項3に規定するように、前記第1及び第2ステップでは、プラズマ電力、前記金属ターゲットへ印加する直流電力及び前記バイアス電力の一部、或いは全部をコントロールすることにより条件設定される。

また例えば請求項4に規定するように、前記第1ステップ及び前記補助ステップでは、プラズマ電力、前記金属ターゲットへ印加する直流電力及び前記バイアス電力の一部、或いは全部をコントロールすることにより条件設定される。

また例えば請求項5に規定するように、前記プラズマ電力は500～6000ワットの範囲内、前記直流電力は100～12000ワットの範囲内及び前記バイアス電力は100～2000ワットの範囲内である。

## 【0016】

また例えば請求項6に規定するように、前記下地膜と前記金属膜とで2層構造のバリヤ層が形成されている。

また例えば請求項7に規定するように、前記下地膜はTaN膜であり、前記金属膜はTa膜である。

また例えば請求項8に規定するように、前記下地膜はTa膜であり、前記金属膜は前記下地膜とは成膜条件の異なるTa膜である。

また例えば請求項9に規定するように、前記凹部には、ビアホールまたはスルーホールとなる連通穴が設けられて2段階の段部状になされている。

また例えば請求項10に規定するように、前記凹部はビアホールまたはスルーホールとなる連通穴である。

## 【0017】

請求項11に係る発明は、真空引き可能になされた処理容器と、表面に凹部の形成され

10

20

30

40

50

た被処理体を載置するための載置台と、前記処理容器内へ少なくとも不活性ガスを含む所定のガスを導入するガス導入手段と、プラズマ電力により前記処理容器内へプラズマを発生させるためのプラズマ発生源と、前記処理容器内に設けられて直流電力が印加されると共に、前記プラズマによりイオン化されるべき金属ターゲットと、前記載置台に対して所定のバイアス電力を供給するバイアス電源と、装置全体を制御する装置制御部と、を有する成膜装置において、前記装置制御部は、前記被処理体の上面において金属粒子による成膜量と不活性ガスのプラズマによるエッチング量とが同じになるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記被処理体の表面に金属膜を形成することなく前記凹部の底部の下地膜と配線層とを削って前記配線層に削り込み凹部を形成する第1ステップと、前記被処理体の上面において前記金属粒子による成膜量が不活性ガスのプラズマによるエッチング量よりも大きくなるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記削り込み凹部の底部を更に削り取ると共に前記削り込み凹部を除いて前記凹部内の表面を含む被処理体の表面全体に金属膜を形成する第2ステップと、を行なうように装置全体を制御することを特徴とする成膜装置である。

請求項12に係る発明は、真空引き可能になされた処理容器と、表面に凹部の形成された被処理体を載置するための載置台と、前記処理容器内へ少なくとも不活性ガスを含む所定のガスを導入するガス導入手段と、プラズマ電力により前記処理容器内へプラズマを発生させるためのプラズマ発生源と、前記処理容器内に設けられて直流電力が印加されると共に、前記プラズマによりイオン化されるべき金属ターゲットと、前記載置台に対して所定のバイアス電力を供給するバイアス電源と、装置全体を制御する装置制御部と、を有する成膜装置において、前記装置制御部は、前記被処理体の上面において金属粒子による成膜量と不活性ガスのプラズマによるエッチング量とが同じになるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記被処理体の表面に金属膜を形成することなく前記凹部の底部の下地膜と配線層とを削って前記配線層に削り込み凹部を形成する第1ステップと、前記被処理体の上面において不活性ガスによるエッチングが起きず、且つ金属イオンが引き込まれるように条件設定してプラズマスパッタすることにより前記削り込み凹部内を含む被処理体の表面全体に金属膜を形成する補助ステップと、を行なうように装置全体を制御することを特徴とする成膜装置である。

#### 【0018】

この場合、例えば請求項13に規定するように、前記装置制御部は、プラズマ電力、前記金属ターゲットへ印加する直流電力及び前記バイアス電力の一部、或いは全部をコントロールするように制御する。

#### 【0019】

本発明の関連技術は、不活性ガスをプラズマ化することにより形成されたプラズマにより真空引き可能になされた処理容器内で金属ターゲットをイオン化させて金属イオンを含む金属粒子を発生させ、該金属粒子を前記処理容器内の載置台上に載置した被処理体にバイアス電力により引き込んで表面に凹部が形成されている前記被処理体の表面に金属膜を形成する成膜装置を用いて金属膜を形成するに際して、前記凹部の最下層の底部を削って削り込み凹部を形成しつつ前記凹部内の表面を含む前記被処理体の表面の全体に前記金属膜を形成する金属膜形成工程を行うように制御するコンピュータ用のプログラムを記憶する記憶媒体である。

#### 【発明の効果】

#### 【0020】

本発明に係る金属膜の成膜方法及び成膜装置によれば、次のように優れた作用効果を發揮することができる。

バリヤ膜等の金属膜の成膜時のプロセス条件を適切に選択することにより、凹部の最下層の底部のみを選択的に削り取りつつ凹部内の表面を含む被処理体の表面全域に金属膜を形成することができ、しかも凹部の幅に依存することなく同じ深さだけ底部を削り取って同じ深さの削り込み凹部を形成することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

10

20

30

40

50

## 【0021】

以下に、本発明に係る成膜方法及び成膜装置の一実施例を添付図面に基づいて詳述する。

図1は本発明に係る成膜装置の一例を示す断面図である。ここでは成膜装置としてICP(Inductively Coupled Plasma)型プラズマスパッタ装置を例にとって説明する。図示するように、この成膜装置32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34を有している。この処理容器34は接地され、この底部36には排気口38が設けられて、スロットルバルブ40を介して真空ポンプ42により真空引き可能になされている。

この処理容器34内には、例えばアルミニウムよりなる円板状の載置台44が設けられると共に、この上面に静電チャック46が設置されており、この静電チャック46上に被処理体である半導体ウエハWを吸着して保持できるようになっている。尚、この静電チャック46には、図示しない吸着用の直流電圧が必要に応じて印加される。この載置台44は、この下面の中心部より下方へ延びる支柱48により支持されており、この支柱48の下部は、上記容器底部36を貫通している。そして、この支柱48は、図示しない昇降機構により上下移動可能になされており、上記載置台44自体を昇降できるようにしている。

10

20

## 【0022】

上記支柱48を囲むようにして伸縮可能になされた蛇腹状の金属ベルローズ50が設けられており、この金属ベルローズ50は、その上端が上記載置台44の下面に気密に接合され、また下端が上記底部36の上面に気密に接合されており、処理容器34内の気密性を維持しつつ上記載置台44の昇降移動を許容できるようになっている。この載置台44には、ウエハWを冷却する冷媒を流す冷媒循環路52が形成されており、この冷媒は支柱48内の図示しない流路を介して給排されている。また容器底部36には、これより上方に向けて例えば3本(図示例では2本のみ記す)の支持ピン54が起立させて設けられており、また、この支持ピン54に対応させて上記載置台44にピン挿通孔56が形成されている。従って、上記載置台44を降下させた際に、上記ピン挿通孔56を貫通した支持ピン54の上端部でウエハWを受けて、このウエハWを外部より侵入する図示しない搬送アームとの間で移載ができるようになっている。このため、処理容器34の下部側壁には、上記搬送アームを侵入させるために開閉可能になされたゲートバルブ58が設けられている。

30

またこの載置台44に設けた上記静電チャック46には、配線60を介して例えば13.56MHz高周波を発生する高周波電源よりなるバイアス電源62が接続されており、上記載置台44に対して所定のバイアス電力を印加できるようになっている。またこのバイアス電源62はその出力されるバイアス電力を必要に応じて制御できるようになっている。

40

## 【0023】

一方、上記処理容器34の天井部には、例えば窒化アルミニウム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64がOリング等のシール部材66を介して気密に設けられている。そして、この透過板64の処理容器34内の処理空間68に例えばプラズマガスとしての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70が設けられる。尚、このプラズマガスとして、Arに代えて他の不活性ガス、例えばHe、

50

$N_e$  等を用いてもよい。具体的には、上記プラズマ発生源 70 は、上記透過板 64 に対応させて設けた誘導コイル部 72 を有しており、この誘導コイル部 72 には、プラズマ発生用の例えば 13.56 MHz の高周波電源 74 が接続されて、上記透過板 64 を介して処理空間 68 に高周波を導入できるようになっている。ここで、この高周波電源 74 より出力されるプラズマ電力も必要に応じて制御できるようになっている。

#### 【0024】

また上記透過板 64 の直下には、導入される高周波を拡散させる例えばアルミニウムよりなるバッフルプレート 76 が設けられる。そして、このバッフルプレート 76 の下部には、上記処理空間 68 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）になされた金属ターゲット 78 が設けられており、この金属ターゲット 78 には可変直流電源 80 が接続されている。従って、この可変直流電源 80 から出力される直流電力も必要に応じて制御できるようになっている。ここでは金属ターゲット 78 として例えばタンタル金属や銅等が用いられ、これら金属はプラズマ中の Ar イオンにより金属原子、或いは金属原子団としてスパッタされると共に、プラズマ中を通過する際に多くはイオン化される。

またこの金属ターゲット 78 の下部には、上記処理空間 68 を囲むようにして例えばアルミニウムよりなる円筒状の保護カバー 82 が設けられており、この保護カバー 82 は接地されると共に、この下部は内側へ屈曲されて上記載置台 44 の側部近傍に位置されている。また処理容器 34 の底部には、この処理容器 34 内へ必要とされる所定のガスを導入するガス導入手段として例えばガス導入口 84 が設けられる。このガス導入口 84 からは、プラズマガスとして例えば Ar ガスや他の必要なガス例えば  $N_2$  ガス等が、ガス流量制御器、バルブ等よりなるガス制御部 86 を通して供給される。

#### 【0025】

ここで成膜装置 32 の各構成部は、例えばコンピュータ等よりなる装置制御部 88 に接続されて制御される構成となっている。具体的には装置制御部 88 は、バイアス電源 62 、プラズマ発生用の高周波電源 74 、可変直流電源 80 、ガス制御部 86 、スロットルバルブ 40 、真空ポンプ 42 等の動作を制御し、本発明の金属膜を成膜する時に次のように動作する。

まず装置制御部 88 の支配下で、真空ポンプ 42 を動作させることにより真空にされた処理容器 34 内に、ガス制御部 86 を動作させつつ Ar ガスを流し、スロットルバルブ 40 を制御して処理容器 34 内を所定の真空度に維持する。その後、可変直流電源 80 を介して直流電力を金属ターゲット 78 に印加し、更に高周波電源 74 を介して誘導コイル部 72 に高周波電力（プラズマ電力）を印加する。

#### 【0026】

一方、装置制御部 88 はバイアス電源 62 にも指令を出し、載置台 44 に対して所定のバイアス電力を印加する。このように制御された処理容器 34 内においては、金属ターゲット 78 、誘導コイル部 72 に印加されたプラズマ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、これらイオンは金属ターゲット 78 に衝突し、この金属ターゲット 78 がスパッタされて金属粒子が放出される。

また、スパッタされた金属ターゲット 78 からの金属粒子である金属原子、金属原子団はプラズマ中を通る際に多くはイオン化される。ここで金属粒子は、イオン化された金属イオンと電気的に中性な中性金属原子とが混在する状態となって下方向へ飛散して行く。そして、特に金属イオンは、載置台 44 に印加されたバイアス電力に引きつけられ、ウエハ W に対し指向性の高い金属イオンとして載置台 44 上のウエハ W に堆積する。

#### 【0027】

後述するように、装置制御部 88 は、例えばバイアス電源 62 に大きな出力を出す指令を与えることによりプラズマ中の Ar イオンにおいても載置台 44 側に引きつけることが可能となり、成膜とスパッタエッチングの両方が同時に起きることが達成される。ここで装置各構成部の制御は、装置制御部 88 により、所定の条件で金属膜の成膜が行われるように作成されたプログラムに基づいて制御されるようになっている。この際、例えばフロ

10

20

30

40

50

ツピーディスク(登録商標)(FD)やコンパクトディスク(登録商標)(CD)、フラッシュメモリー等の記憶媒体90に、各構成部の制御を行うための命令を含むプログラムを格納しておき、このプログラムに基づいて所定の条件で処理を行うように各構成部を制御させる。

【0028】

次に、以上のように構成された成膜装置32を用いて行われる本発明の成膜方法について説明する。

図2はスパッタエッティングの角度依存性を示すグラフ、図3はバイアス電力とウエハ上面の成膜量との関係を示すグラフ、図4は本発明方法の第1実施例を説明するためのフローチャートを示す図である。

まず本発明方法の特徴は、一連の成膜処理の内の特定の工程において、プラズマによるスパッタ成膜により金属膜を形成する際に、バイアス電力、直流電力、プラズマ電力等を適切な大きさに制御することにより、金属イオンに対する引き込みによる成膜とプラズマガス(Arイオン)によるスパッタエッティングとが同時に生ずるようにし、しかも、凹部の最下層の底部が削り取られるような状態に設定し、半導体ウエハに形成されている凹部の最下層の底部を削り取って削り込み凹部を形成しつつ表面に金属膜を堆積させるようにした点である。具体的には、この時のバイアス電力は、金属ターゲット78に対する対向面、すなわち図1においてはウエハの上面に関して、金属イオンに対する引き込みによる成膜レートとプラズマガス(Ar<sup>+</sup>)によるスパッタエッティングのエッティングレートとが略均衡するような大きさに設定される。

【0029】

この点について更に詳しく説明する。

まず、成膜量を考慮しないでプラズマガスによるスパッタエッティングのエッティングレートについてその特性を検討すると、スパッタ面の角度とエッティングレートとの関係は図2に示すグラフのようになる。ここでスパッタ面の角度とは、スパッタ面の法線がスパッタガス(Arイオン:Ar<sup>+</sup>)の入射方向(図1中では下向き方向)となす角度を指し、例えばウエハ上面及び凹部5(図12参照)の底部は共に"0度"であり、凹部側壁は"90度"である。

このグラフから明らかなように、ウエハ上面(スパッタ面の角度=0度)はある程度スパッタエッティングが行われ、凹部の側壁(スパッタ面の角度=90度)はほとんどスパッタエッティングが行われず、また凹部の開口の角部(スパッタ面の角度=40~80度近傍)はかなり激しくスパッタエッティングされることが判る。

【0030】

さて、図1に示すようなICP型スパッタ装置よりなる成膜装置では、ウエハW側に印加するバイアス電力とウエハ上面(凹部の側壁ではない)に堆積する成膜量との関係は図3に示すような関係となる。すなわち、一定のプラズマ電力及び金属ターゲット78への一定の直流電力を加えている状況において、バイアス電力がそれ程大きくない場合には、金属イオンの引き込み及び中性金属原子によって高い成膜量が得られるが、バイアス電力が増加すると、ウエハ表面がバイアス電力により加速されたプラズマガスであるアルゴンイオンによりスパッタされる傾向が次第に強くなり(図2参照)、この結果、折角、堆積した金属膜がエッティングされてしまう。このエッティングは当然のこととしてバイアス電力が大きくなる程、激しくなる。従って、引き込まれる金属イオン及び中性金属原子による成膜レートとプラズマガスのイオンによるスパッタエッティングのエッティングレートとが同一になると、成膜とエッティングとが相殺されて、ウエハ上面の成膜量が"ゼロ"になり、この時の条件は図3中の点X1(バイアス電力:350W)に対応する。尚、図3中のバイアス電力や成膜量は単に一例を示したに過ぎず、プラズマ電力や直流電力を制御することによって、上記特性曲線は図3中の一点鎖線にて示すように変動する。

【0031】

従来、この種のスパッタ装置で一般的に動作される条件は、領域A1の部分であり、バイアス電力をあまり大きくせずに、高い成膜量(成膜レート)を稼ぐことができる領域で

10

20

30

40

50

10 あった。すなわち成膜量は、バイアスが零の時とほとんど変わらず（不活性ガスのプラズマによるエッティングは発生せず）に、且つ引き込まれる金属イオンが最大となる領域であり、凹部の底部においてもある程度の成膜量が稼げる領域である。これに対して、本発明方法の特定の金属膜形成工程では、引き込み金属イオン及び中性金属原子による成膜とプラズマガスによるスパッタエッティングとが同時に生ずる領域で行うようにしている。更に詳しくは、上述のようにウエハ上面において、引き込み金属イオン及び中性金属原子による成膜レートとプラズマガスによるスパッタエッティングのエッティングレートとが略均衡するような領域 A 2 で行う。ここで”略均衡”とは、ウエハ上面の成膜量が”ゼロ”の場合のみならず、領域 A 1 における成膜量と比較して 3 / 10 程度までの僅かな膜厚で成膜量が生ずる場合も含むものである。

### 【 0 0 3 2 】

さて、以上のような現象を理解した上で、本発明に方法について説明する。

まず、図 1 において載置台 4 4 を下方へ降下させた状態で処理容器 3 4 のゲートバルブ 5 8 を介して真空引き可能になされた処理容器 3 4 内へウエハ W を搬入し、これを支持ピン 5 4 上に支持させる。そして、この状態で載置台 4 4 を上昇させると、この上面にウエハ W が受け渡され、このウエハ W が静電チャック 4 6 により載置台 4 4 の上面に吸着される。

そして、載置台 4 4 上にウエハ W を載置して吸着固定したならば、成膜処理を開始する。この時、ウエハ W の上面には、図 12 ( B ) において説明した構造と同じ構造の凹部 5 ( 図 4 ( A ) 参照 ) が予め搬入前に前工程で形成されている。すなわち、下層の C u よりなる配線層 2 上に絶縁層 4 が形成され、この絶縁層 4 に上記凹部 5 が形成されている。この凹部 5 は、溝状のトレンチ 6 ( 図 12 ( A ) 参照 ) よりなり、この底部にビアホールやスルホールのような連通穴 8 が配線層 2 に届くように形成されており、凹部全体として 2 段階の段部状になされている。

### 【 0 0 3 3 】

まず、金属ターゲット 7 8 としてここではタンタルが用いられており、処理容器 3 4 内を所定の圧力に真空引きした後に、プラズマ発生源 7 0 の誘導コイル部 7 2 にプラズマ電力を印加し、且つバイアス電源 6 2 より所定のバイアス電力を載置台 4 4 の静電チャック 4 6 に印加する。更に金属ターゲット 7 8 には可変直流電源 8 0 より所定の直流電力を印加して成膜を行う。まず最初に、図 4 ( B ) に示すように、下地膜 1 0 A を形成する下地膜形成工程を行う。ここでは、T a N 膜を形成するためにガス導入口 8 4 よりプラズマガスである例えば A r ガスの他に、窒化ガスとして N<sub>2</sub> ガスを処理容器 3 4 内に供給する。これにより、図 4 ( B ) に示すように、ウエハ W の上面のみならず、凹部 5 内の側壁や底面にも略均一に下地膜 1 0 A として T a N 膜を形成する。この時のバイアス電力は図 3 中の領域 A 1 であって従来の一般的な成膜条件と同じであり、具体的には 1 0 0 W ( ワット ) 程度である。

### 【 0 0 3 4 】

上記のように下地膜 1 0 A の形成が完了したならば、次に金属膜として T a 膜を形成するためには本発明の特徴とする金属膜形成工程を行う。すなわち、この金属膜形成工程では、バイアス電力を増加して図 3 中の領域 A 2 内に設定する。この第 1 実施例では上記金属膜形成工程は、上記凹部 5 以外のウエハ W の表面において上記金属粒子による成膜量と不活性ガスのプラズマによるエッティング量とが実質的に同じになるように条件設定された第 1 ステップと、上記凹部 5 以外のウエハ W の表面において上記金属粒子による成膜量が不活性ガスのプラズマによるエッティング量よりも僅かに大きくなるように条件設定された第 2 ステップとにより構成している。

### 【 0 0 3 5 】

まず、第 1 ステップではウエハ上面の成膜量を”ゼロ”に設定するためにバイアス電力を図 3 中のポイント X 1 に設定する。この時のバイアス電力は、具体的には 3 5 0 W である。尚、この時にガス導入口 8 4 からは N<sub>2</sub> ガスの供給は停止して A r ガスのみを供給する。これにより、図 4 ( C ) に示すように、凹部 5 の最下層 ( 連通穴 8 に相当 ) の底部

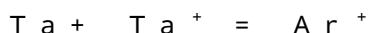
が削り取られることによって C u よりなる配線層 2 の上面側が削られ、ここに削り込み凹部 1 2 が形成されるが、他の表面、すなわちウエハ W の最上面や段部中央の表面等には膜がほとんど形成されることはない。

#### 【 0 0 3 6 】

この理由は次のように説明される。すなわち、上述のようにバイアス電力の大きさを図 3 中の領域 A 2 、詳しくは、ポイント X 1 に設定することにより、ウエハの上面では引き込まれる金属イオンと中性金属原子とによる成膜レートとプラズマガス ( A r + ) によるスパッタエッティングのエッティングレートとが略均衡するので、結果的に金属膜の成膜量が略ゼロになるのに対して、凹部 5 の連通穴 8 の底部については、成膜レートよりもエッティングレートの方が大きくなるからであり、この結果、連通穴 8 の底部が削り込まれて行くことになる。上記した事項をウエハ単位面積について原子レベルで表記すると以下のようになる。

#### 【 0 0 3 7 】

< ウエハ上面 >



< 連通穴 8 の底部 >



ここで T a は中性金属原子を示し、 T a + は金属イオンを示し、これらは共に金属膜の成膜に寄与する。これに対して、 A r + は A r イオンであり、エッティングに寄与する。従って、ウエハ上面では T a も T a + も十分に到達し、また A r + も十分に到達するので、結果的に成膜量は”ゼロ”になる。

これに対して、連通穴 8 の底部には、この穴径が非常に小さいことから、指向性の高い T a + と A r + は到達するが、指向性の劣る中性金属原子である T a は到達し難くなっている。この結果、成膜に寄与する T a が到達しない分だけ、連通穴 8 の底部は削り取られることになる。この時の削り取り量は第 1 ステップの処理時間を制御することによりコントロールする。尚、ここでは説明を簡単にするために、成膜された T a 、 T a + の 1 個分は、それぞれ A r + 1 個の衝突により成膜された面より飛び出る（エッティングされる）と想定している。

#### 【 0 0 3 8 】

この第 1 ステップが終了したならば、次に第 2 ステップへ移行する。この第 2 ステップではバイアス電力を、領域 A 2 内のポイント X 1 以外の点、例えば A 3 に設定して、領域 A 1 の場合の成膜レートと比較して遙かに少ない僅かな厚さの金属膜を形成する。この結果、図 4 ( D ) に示すように連通穴 8 の底部を除くウエハ表面の全体、すなわち、凹部 5 内の表面や連通穴 8 の側面に金属膜として T a 膜 1 0 B が成膜される。この場合にも連通穴 8 の底部は、前述した理由により成膜レートよりもエッティングレートの方が大きいので、 T a 膜が付着することなく更に削り取られて行くことになる。このため、削り込み凹部 1 2 の窪み形状は更に大きくなる。すなわちウエハ上面において” T a + T a + > A r + ”であり、連通穴 8 の底部において” T a + < A r + ”となる。また、

この場合の底部のエッティングレートは、ウエハ上面に僅かに膜が堆積するように、成膜に寄与する金属粒子をスパッタイオンより多くなるように設定した分だけ、上記第 1 ステップの場合よりは少し小さくなる。

#### 【 0 0 3 9 】

このように本願における削り込み凹部形成工程では、上記第 1 ステップにおいてウエハ表面における成膜量とスパッタエッティング量とが釣り合っているので、図 4 ( C ) のプロセス終了後においても図 4 ( B ) における下地膜 1 0 A の厚みは変わらない。このため下地膜 1 0 A としては、削り込み凹部の穴の深さによらず、その厚みがウエハ表面において例えば 3 . 5 n m 、連通穴 8 の底部において 1 . 0 n m と、 1 0 n m 以下であり、より好みの 5 n m 以下の極薄に設定されている。

#### 【 0 0 4 0 】

一方、従来における削り込み凹部形成工程では、図 1 3 ( A ) においてバリヤ層 1 0 の

10

20

30

40

50

厚みは、削り込み凹部の穴の深さにより変わりその深さを 50 nm 程度とした場合、ウエハ表面において 60 nm 位必要となる。これは図 13 (B) の Ar エッチングプロセスにて、ウエハ表面も同時にエッチングされるからである。さらにウエハ表面で 60 nm の下地膜が形成されていると、連通穴底部において 10 nm ~ 20 nm 程の厚みのバリヤ層が形成されるのは避けられず、これはエッチングプロセス (図 13 (B)) 初期においては、削り込み凹部が形成されずバリヤ層のみがエッチングされることを示している。これは後述するように、削り込み凹部を形成する際に、銅よりなる下層の配線層 2 のエッチングレートが低下することにつながる。

#### 【0041】

また本願においては上記第 1 及び第 2 ステップを通じて、ウエハ表面における成膜量が略ゼロになるよう条件設定されているので、図 13 (B) にて説明したように凹部の側面に堆積突起物 18 が生ずることはない。またここで形成される削り込み凹部 12 の深さは、連通穴底部の下地膜が極薄であることから、凹部の幅 L 2 に関係なくウエハ面内において略均一化することが出来る。

#### 【0042】

このように、Ta 膜よりなる金属膜 10 B を形成することにより、TaN 膜と Ta 膜の積層構造よりなるバリヤ層 10 を形成したならば、このウエハ W を金属ターゲットがタンタルでなく銅により形成された図 1 に示す構成と同じ構成の成膜装置内へ搬入し、ここではプラズマ電力を図 3 中の領域 A 1 に設定して従来方法と同様な条件に設定し、図 4 (E) に示すようにウエハ上面のみならず、凹部 5 内の側壁及び底部にも薄く銅よりなるシード膜 14 を形成する。

尚、上記のような銅の金属ターゲットが装着された成膜装置は、先のタンタルの金属ターゲットが装着された成膜装置に真空引き可能になされたトランスファーチャンバを介して連結すればよく、半導体ウエハ W を大気に晒すことなく真空雰囲気中で両成膜装置間に亘って搬送することができる。

このようにして、シード膜 14 を形成したならば、ウエハ W を成膜装置より取り出して、これに通常のメッキ処理を施すことにより、図 4 (F) に示すように凹部 5 内を銅よりなる配線層 16 の材料により完全に埋め込むことになる。

#### 【0043】

次に、図 4 (G) に示すように、ウエハ上面の不要な部分を研磨により削り取り、上層の配線層 16 の形成を完了することになる。

このように、上記実施例においては、バリヤ膜等の金属膜の成膜時のプロセス条件を適切に選択することにより、凹部 5 の最下層の底部のみを選択的に削り取りつつ凹部 5 内の表面を含む被処理体であるウエハ W の表面全域に金属膜を形成することができ、しかも凹部 5 の幅に依存することなく同じ深さだけ底部を削り取って同じ深さの削り込み凹部 5 を形成することができる。

#### 【0044】

ここで上記金属膜形成工程 (第 1 及び第 2 ステップ) の設定条件、すなわち図 3 中において領域 A 2 内を実現できる設定条件は以下の通りである。

プラズマ電力 : 500 ~ 6000 W

直流電力 : 100 ~ 12000 W

バイアス電力 : 100 ~ 2000 W

実際には、前述したように、上記 3 つの条件を適宜選択することにより、領域 A 2 内に動作点を設定することになる。この場合、領域 A 2 以外の部分に動作点を設定すると削り込み凹部 12 が十分に形成されないので、いわゆるパンチスルーコンタクト構造を形成することができなくなってしまう。

また、他のプロセス条件として、Ar ガスの流量は 50 ~ 1000 sccm 程度の範囲内、プロセス圧力は 0.001 Torr (0.1 Pa) ~ 0.1 Torr (13.3 Pa) 程度の範囲内である。

#### 【0045】

10

20

30

40

50

また上記下地膜形成工程では、下地膜10AとしてTaN膜を形成した場合を例にとつて説明したが、これに代えて、下地膜10AとしてTa膜を形成するようにしてもよい。この場合には、下地膜10AとなるTa膜上にTa膜10Bが形成されるので、成膜条件の異なるTa膜同士の2層構造で、バリヤ層10が形成されることになる。

また上記実施例では、図4(C)に示す工程において、動作点を図3中のポイントX1に設定してTa膜を堆積させることなく削り込み凹部12を形成するようにしたが、これに限定されず、例えば第2実施例として、上記図4に示すフローチャート中において、この図4(C)に示す工程を行わず、図4(B)に示す工程より直接的に図4(D)に示す工程へ移行し、削り込み凹部12を形成すると同時にTa膜10Bを堆積させるようにしてもよい。すなわち、この第2実施例では、図4(B)に示す工程を行ったならば、図4(C)に示す第1ステップを行うことなく直ちに図4(D)に示す第2ステップを行うようしている。

図5は上述したような本発明方法の第2実施例を説明するためのフローチャートである。尚、図中、図4に示す構成部分と同一構成部分については同一参照符号を付してある。ここで図5(A)及び図5(B)は図4(A)及び図4(B)にそれぞれ対応し、図5(C)～図5(F)は図4(D)～図4(G)にそれぞれ対応する。この場合は、図5(B)に示すTaNの成膜工程から、第1ステップを行うことなく図5(C)に示す第2ステップへ直接移行するようしている。この場合には、第1ステップを行わないので、その分、削り込み凹部12の深さは浅くなるが、逆に、第1ステップを行わない分だけ処理時間を短縮することができる。

#### 【0046】

ここで、本発明方法と従来方法により形成した削り込み凹部について評価を行ったので、その評価結果について説明する。

図6は本発明方法と従来方法により形成した削り込み凹部を示す電子顕微鏡写真である。尚、各写真には理解を容易にするためにその模式図が併記してある。また、ここでは凹部は2段階の段部状ではなく1段の凹部として形成されている。

図6(A)は従来方法により形成した削り込み凹部を示し、図6(B)は本発明方法により形成した削り込み凹部を示す。

図6から明らかなように、図6(A)に示す場合には、凹部5の上端開口部に堆積突起物18が形成されて好ましくない。これに対して、図6(B)に示す本発明方法の場合は、堆積突起物18は生じておらず、良好な状態で削り込み凹部12を形成できることができた。

#### 【0047】

次に、凹部5の底部に形成される削り込み凹部12のアスペクト比の依存性について評価を行ったので、その評価結果について説明する。

図7は凹部のアスペクト比と底部の銅エッチングレートとの関係を示すグラフである。ここでも凹部は2段階の段部状ではなく1段の凹部として形成されたものを用いた。図7において、特性Aは従来方法の場合を示し、特性Bは本発明方法の場合を示している。

#### 【0048】

具体的には従来方法においては、種々のアスペクト比を持つ凹部に対し、ウエハ表面にて略60nmのバリヤ層をプラズマスパッタし、その後所定時間Arエッチングを施した。この時形成される削り込み凹部の深さを測定し、銅のエッチングレートとした。また本発明方法においては、種々のアスペクト比を持つ凹部に対し、ウエハ表面にて略4nmの下地膜をプラズマスパッタし、その後、上記従来方法と同じ所定時間だけ本発明の特徴的な第1ステップ(図4(C)相当)を施した。さらにこの時形成される削り込み凹部の深さを測定し、銅のエッチングレートとした。

#### 【0049】

図7から明らかなように、特性A、Bのいずれにおいてもアスペクト比が小さい時には、アスペクト比が大きい場合に較べて凹部底部への成膜量が増えることから銅のエッチングレートが減少する。また、特性Aに示す従来方法の場合は、アスペクト比が増加するに

従って銅のエッティングレートが変化しており、従って、アスペクト比の相異によって削り込み凹部12の深さが変化することを意味し、好ましくないことが判る。これに対して、特性Bに示す本発明方法の場合には、アスペクト比が2以下では銅のエッティングレートが大きく変化しているが、アスペクト比2以上では銅のエッティングレートは略一定になっているのが判る。

#### 【0050】

ここで一般的な凹部5では、アスペクト比は2以上が多いので、従って、本発明方法によれば、アスペクト比に関係なく、削り込み凹部12の深さを略均一化でき、良好な結果を得られることが確認できた。このように、削り込み凹部12の深さは、凹部5の形状による影響を受けないので、いわゆるストラクチャーセンシティビティを大幅に抑制することができる。

また上記実施例では図4(D)に示す工程でTa膜10Bを形成した後に、図4(E)に示す工程でシード膜14を形成するようにしたが、これに限定されず、上記両工程間ににおいて不活性ガス、例えばArガスによるエッティング工程を施し、削り込み凹部12の断面形状を改善するようにしてもよい。この断面積の改善結果は図8に示されており、図8は削り込み凹部12を示す拡大断面図である。すなわち図4(D)に示すTa膜10Bの形成工程の次に、例えばArガスを用いたプラズマエッティング工程を施して、削り込み凹部12の底部をより拡大して断面逆台形状に成形し、凹部12の埋め込み材料との接触面積や密着度を改良し、接触抵抗をより小さくしている。この場合、Ta膜10Bは削らないで、配線層2であるCu材料のみ削る必要があるが、これはバイアス電力を調整することにより行う。

#### 【0051】

すなわち、図9はバイアス電力に対するTa膜とCu材料とのエッティングレートの依存性の一例を示すグラフである。この図9から明らかなように、バイアス電力が40ワット以上でCu材料はエッティングが始まり、またバイアス電力が100ワット以上でTa膜のエッティングが始まる。従って、図9に示す場合には、バイアス電力を40～100ワットの範囲内である領域Yに設定することにより、Ta膜を削り取ることなくCu材料のみを選択してエッティングできることが確認できる。尚、この図9に示す特性直線は、他のプラズマ電力等の大きさによって左右方向へ移動するので、領域Yはそれに伴って変動することになる。

#### 【0052】

また、第3実施例として次のように行つてもよい。すなわち、先の第1実施例では図4(C)に示す第1ステップ及び図4(D)に示す第2ステップを共に行つようとしたが、この第3実施例では、図4(C)に示す第1ステップを行つた後、図4(D)に示す第2ステップを行うことなく図4(E)に示す工程を直ちに行つようとしている。図10は上述したような本発明方法の第3実施例を説明するためのフローチャートである。尚、図中、図4に示す構成部分と同一構成部分については同一参照符号を付してある。ここで図10(A)～図10(C)は図4(A)～図4(C)にそれぞれ対応し、図10(D)～図10(F)は図4(E)～図4(G)にそれぞれ対応する。

#### 【0053】

この場合には、図10(C)に示す第1ステップから図10(D)に示すシード膜14の形成工程へ直接移行するようにしているので、見かけ上はバリヤ層10はTaN膜よりも下地層10A単層となるように思われるが、実際には図4(C)に示す工程でトレチ6の側壁や連通穴8の側壁に非常に僅かにTa膜(図示せず)が堆積することになる。その理由は、図2に示すように側壁おいてはほとんどスピッタエッティングされることはほとんど無い一方、Ta・Ta<sup>+</sup>は微量ではあるが側壁には堆積するからである。従って、この場合には、バリヤ層10は、TaN膜よりも下地膜10と、この上に上述のように部分的に僅かに形成されるTa膜(図示せず)の2層構造となる。よって、このバリヤ層10上にCuよりなるシート膜14を後工程で形成した場合に、シード膜14との密着性を高く維持することができる。

10

20

30

40

50

## 【0054】

この第3実施例では、図4(D)に示す第2ステップの工程を省略した分だけ、処理時間を短くすることができる。

尚、この第3実施例においては下地膜10AとしてTaN膜を用いたが、これに限定されず、下地膜10AとしてTa膜を用いてこれをバリヤ層10とするようにしてもよい。すなわちバリヤ層10としてTa膜単層とする。そして、このTa膜よりなるバリヤ層10上に後工程においてCuよりなるシード膜14を形成することにより、このシード膜14との密着性を高く維持する。

## 【0055】

また、第4実施例として次ように行ってもよい。すなわち、先の第1実施例では、図4(D)に示す第2ステップではバイアス電力を図3中の領域A3に設定して金属粒子による成膜量が不活性ガスのプラズマによるエッチング量よりも僅かに大きくなるように条件設定したが、この第4実施例ではバイアス電力を領域A1に設定して不活性ガスのプラズマによるエッチングが起きず、且つ金属イオンが最大限引き込まれるように条件設定することにより補助ステップを行なう。図11は上述したような本発明方法の第4実施例を説明するためのフローチャートである。尚、図中、図4に示す構成部分と同一構成部分については同一参照符号を付してある。

## 【0056】

ただし、この領域A1における成膜レートは他の領域と比較してかなり大きいので、この補助ステップは非常に短時間だけ行い、堆積するTa膜の膜厚を非常に小さくする。このように領域A1にてTa膜の成膜を行なうことにより、ウエハの上面や凹部の側面のみならず、削り込み凹部12の底部にも少しTa膜10Bが堆積することになる。この場合、例えばこの処理時間は、上記削り込み凹部12の底部に堆積する膜厚H2が通常は1nm程度になるように設定し、最大でも3nm以下となるように設定する。この理由は、銅に比較して抵抗の大きなTa膜の厚さを小さくして下層との密着性を高く維持しつつ低抵抗化を促進するためである。

## 【0057】

このように、図11(D)に示す工程では、図3中の領域A1を動作点としているので、バイアス電圧は低くなっているが、イオンに対する引き込みがその分小さくなり、従って、ウエハ表面がスパッタされることが無くなり、ウエハが受けるスパッタによるダメージを抑制することができる。

また上述のように、削り込み凹部12に底部におけるTa膜の膜厚H2は1nm程度なので、この部分における電気抵抗に対する悪影響も少なくて済むばかりか、下層のCu層に対する密着性もほとんど劣化することなく、これを高く維持することができる。換言すれば、上記Ta膜の膜厚H2の厚さも最大3nm程度と非常に薄いことから、下地の銅配線層2に対する密着性も良く、また、この部分の電気抵抗も小さく抑制することができる。

## 【0058】

尚、上記各実施例では、凹部5の一部に連通穴8が形成されて、いわゆる2段階の段部状に形成された凹部5を例にとって説明したが、これに限定されず、凹部5自体がスルホールやビアホールの連通穴8となっている、いわゆる1段階の凹部にも本発明を適用することができる。

また、上記各実施例における各数値は単に一例を示したに過ぎず、これらに限定されないのは勿論である。また上記実施例では、全体としてバリヤ膜/シード膜の積層構造としてTaN/Ta/Cu、Ta/Ta/Cuの積層構造を例にとって説明したが、この種の積層構造に限定されず、例えばTiN/Ti/Cu積層構造、TaN/Ru/Cu積層構造、Ti/Cu積層構造、更には、TiN/Ti/Ru、Ti/Ru、TaN/Ru、TaN/Ta/Ruの各積層構造についても本発明方法を適用できるのは勿論である。

## 【0059】

更に、各高周波電源の周波数も13.56MHzに限定されるものではなく、他の周波

10

20

30

40

50

数、例えば27.0MHz等を用いることもできる。またプラズマ用の不活性ガスとしてはArガスに限定されず、他の不活性ガス、例えばHeやNe等を用いてもよい。

また、ここでは被処理体として半導体ウエハを例にとって説明したが、これに限定されず、LCD基板、ガラス基板、セラミックス基板等にも本発明を適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0060】

【図1】本発明に係る成膜装置の一例を示す断面図である。

【図2】パッタエッチングの角度依存性を示すグラフである。

【図3】バイアス電力とウエハ上面の成膜量との関係を示すグラフである。

【図4】本発明方法の第1実施例を説明するためのフローチャートである。 10

【図5】本発明方法の第2実施例を説明するためのフローチャートである。

【図6】本発明方法と従来方法により形成した削り込み凹部を示す電子顕微鏡写真である。

【図7】凹部（連通穴を含む）のアスペクト比と底部の銅エッチングレートとの関係を示すグラフである。

【図8】削り込み凹部を示す拡大断面図である。

【図9】バイアス電力に対するTa膜とCu材料とのエッチングレートの依存性の一例を示すグラフである。

【図10】本発明方法の第3実施例を説明するためのフローチャートである。

【図11】本発明方法の第4実施例を説明するためのフローチャートである。 20

【図12】半導体ウエハ上に形成された連通穴を埋め込む前の状態を示す図である。

【図13】連通穴の埋め込み工程を示す図である。

【図14】幅が種々異なる凹部（トレンチ）の態様を示す図である。

【符号の説明】

【0061】

2 下層の配線層

4 絶縁層

5 凹部

6 トレンチ（配線溝）

8 連通穴

10 バリヤ層

10A 下地膜（TaN膜）

10B 金属膜（Ta膜）

12 削り込み凹部

14 シード膜

16 上層の配線層

32 成膜装置

34 処理容器

44 載置台

62 バイアス電源

70 プラズマ発生源

72 誘導コイル部

74 高周波電源

78 金属ターゲット

80 可変直流電源

84 ガス導入手段

88 装置制御部

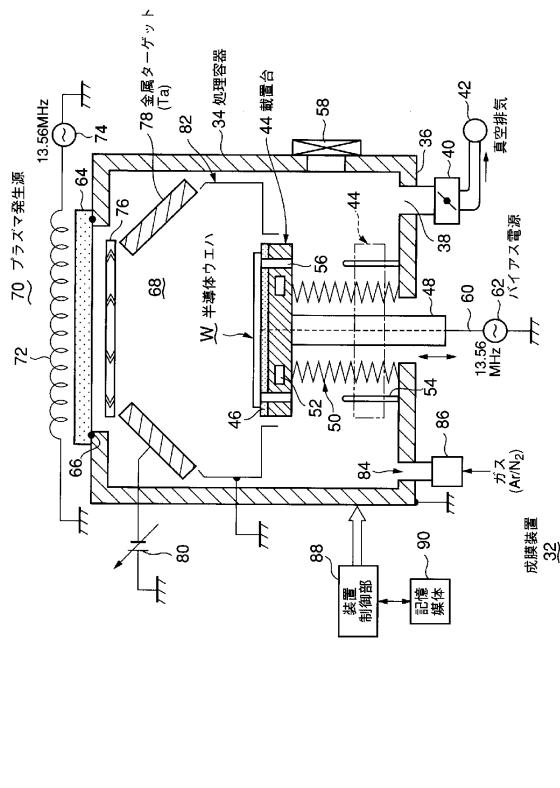
W 半導体ウエハ（被処理体）

20

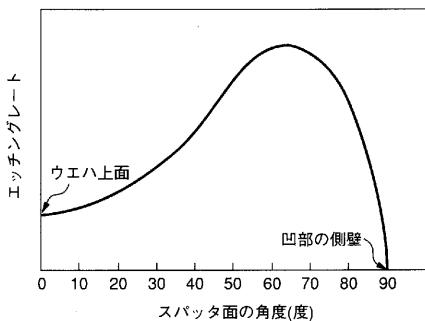
30

40

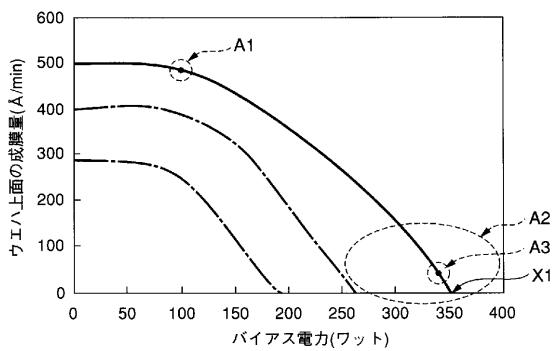
【図1】



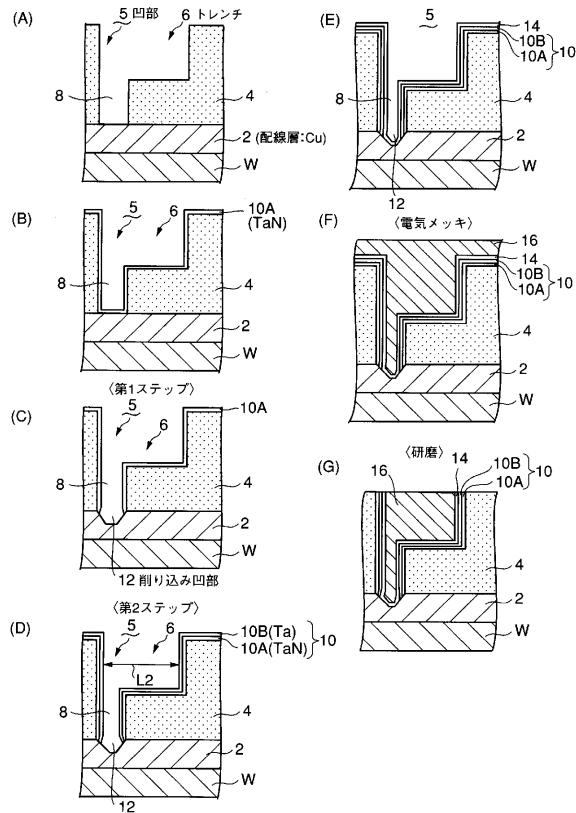
【図2】



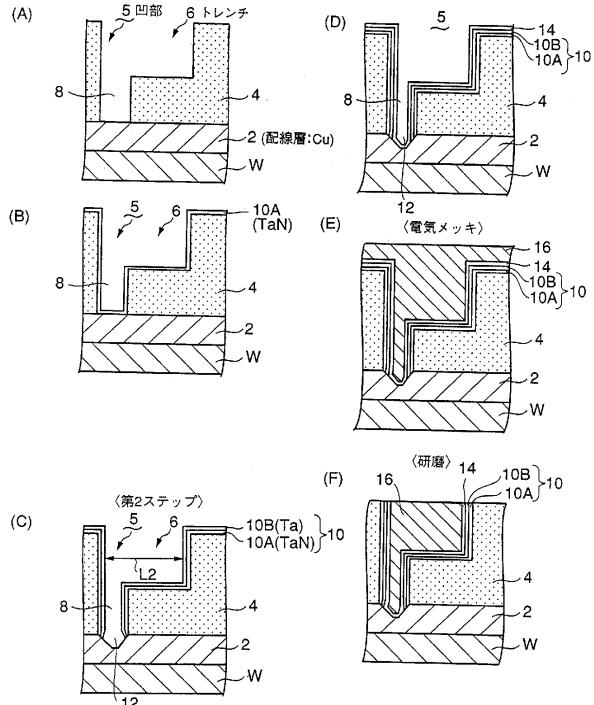
【 四 3 】



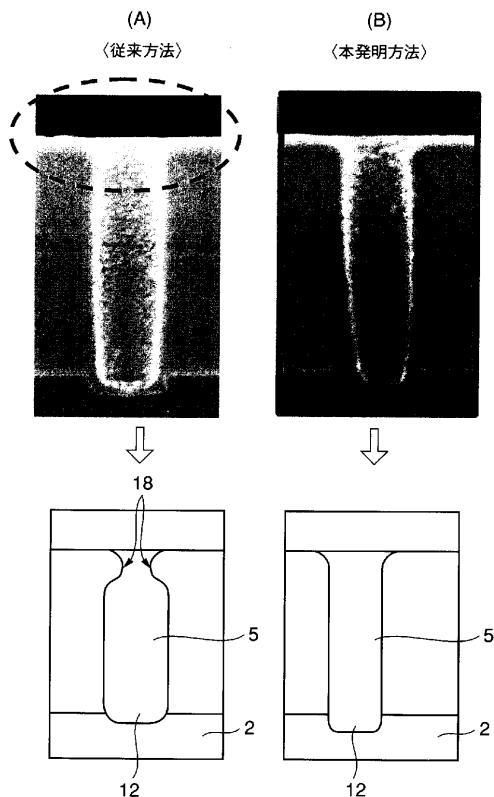
【 図 4 】



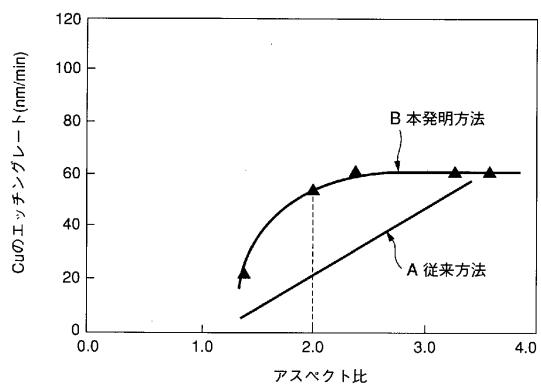
〔 四 5 〕



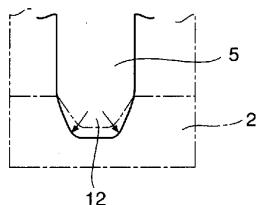
【図6】



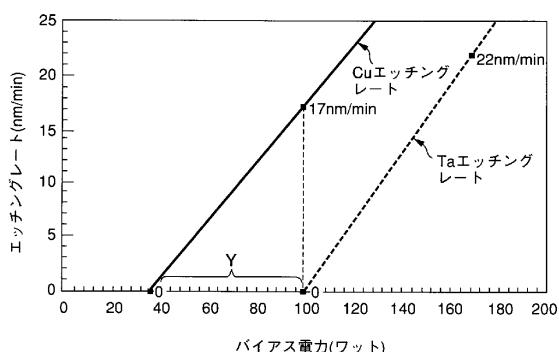
【図7】



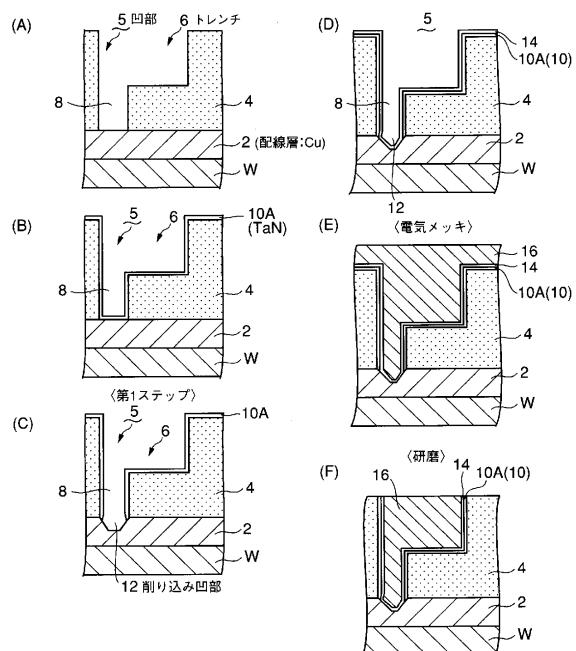
【図8】



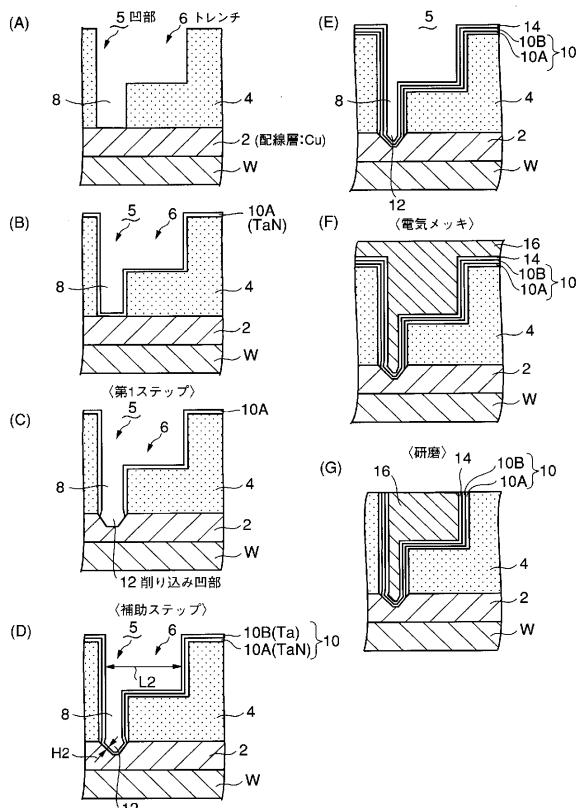
【図9】



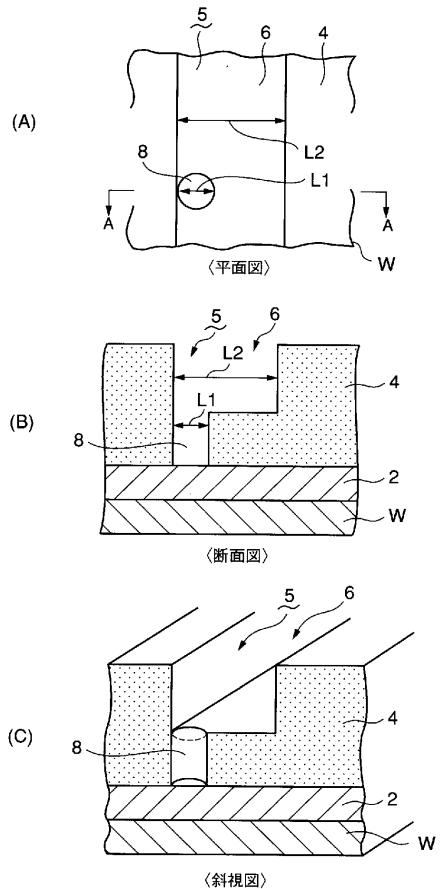
【図10】



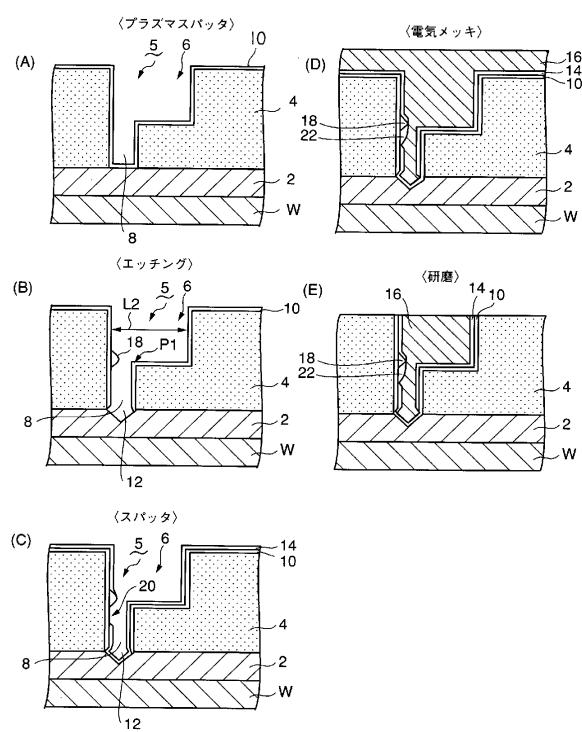
【図11】



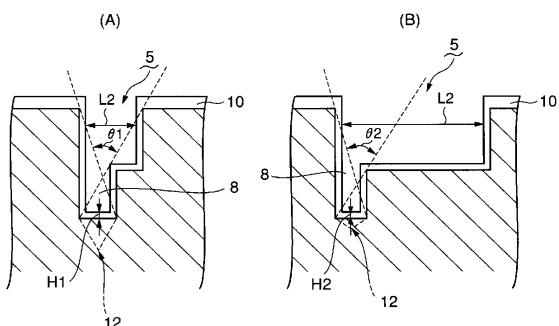
【図12】



【図13】



【図14】



---

フロントページの続き

(72)発明者 横山 敦

東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター東京エレクトロン株式会社内

(72)発明者 佐久間 隆

東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター東京エレクトロン株式会社内

審査官 安田 雅彦

(56)参考文献 特開2004-153162 (JP, A)

特開2003-124313 (JP, A)

国際公開第2004/053926 (WO, A1)

特開平10-289887 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/285

H01L 21/768

H01L 21/3205

C23C 14/14

C23C 14/34