

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4138043号
(P4138043)

(45) 発行日 平成20年8月20日(2008.8.20)

(24) 登録日 平成20年6月13日(2008.6.13)

(51) Int.Cl.		F I	
C 2 3 C 14/34	(2006.01)	C 2 3 C	14/34 T
H O 1 L 21/203	(2006.01)	H O 1 L	21/203 S
H O 1 L 21/285	(2006.01)	H O 1 L	21/285 S

請求項の数 16 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願平9-60260	(73) 特許権者	591280119
(22) 出願日	平成9年3月14日(1997.3.14)		バルサーズ ウントゥ レイボルト ドイ チュラント ホールディング アクチーエ ンゲゼルシャフト
(65) 公開番号	特開平10-30177		LEYBOLD AKTIENGESEL LSCHAFT
(43) 公開日	平成10年2月3日(1998.2.3)		ドイツ連邦共和国 D-63450 ハナ ウ ヴィルヘルム-ローン-シュトラ-セ 25
審査請求日	平成16年2月25日(2004.2.25)	(74) 代理人	100077827
(31) 優先権主張番号	19610012.7		弁理士 鈴木 弘男
(32) 優先日	平成8年3月14日(1996.3.14)	(72) 発明者	スチプロウスキー ヨアヒム
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)		ドイツ連邦共和国 D-63773 ゴー ルドバッハ リンゴフェンシュトラ-セ 5

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スパッタリング装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

金属ターゲットをスパッタリングし、生成されたターゲット粒子を反応ガスと結合させることにより得られた金属化合物を使用して基板を被覆するスパッタリング装置において、

処理室と、

処理室に一定量ずつ反応ガスを送り込むためのガス送り手段と、

電気的エネルギー供給装置に接続可能な少なくとも1つの電極と、該電極は、その放電電圧が、単位時間に流入する反応ガス量の関数となっており、

前記電極へ供給される電力を第1の電力(P1)と第2の電力(P2)の間で周期的に切り替えるための装置と、を備え、

前記第1の電力値(P1)及び前記第2の電力値(P2)は、同一の流量の反応ガス流入状態において、ターゲットが、第1の電力値(P1)では金属モードとなり、第2の電力値(P2)では酸化モードとなるように選択されるときともに、

前記第1の電力値と第2の電力値の切換の頻度(周波数)は遷移値域において安定的に燃焼するように選択されることを特徴とするスパッタリング装置。

【請求項 2】

前記装置は電極を2つ有し、前記2つの電極は、同一の電力(P1又はP2)を切り替えて供給されるように構成される請求項1に記載のスパッタリング装置。

【請求項 3】

10

20

前記装置は電極を2つ有し、前記2つの電極の内の第1の電極は第1の電力(P1)を供給され、同時に第2の電極は第2の電力(P2)を供給され、次の時間では第1の電極は第2の電力(P2)を供給され、第2の電極は第1の電力(P1)を供給されるように、周期的に供給が変化するように構成された請求項1に記載のスパッタリング装置。

【請求項4】

電力を第1の電力値(P1)及び第2の電力値(P2)の間で切り替えるための装置は、変調交流電圧源である請求項1に記載のスパッタリング装置。

【請求項5】

電力を第1の電力値(P1)及び第2の電力値(P2)の間で切り替えるための装置は、交流電圧が重畳された直流電流源である請求項1に記載のスパッタリング装置。

10

【請求項6】

電力を第1の電力値(P1)及び第2の電力値(P2)の間で切り替える装置は、スイッチ(63乃至は66)により出力が切り換えられる直流電流源である請求項1に記載のスパッタリング装置。

【請求項7】

前記重畳される交流電圧は、2乃至30ヘルツ(HZ)の範囲内の周波数を有する請求項5記載のスパッタリング装置。

【請求項8】

金属モードから酸化物モードへの切り替え及びその逆の切り替えが10サイクルの周期で行われる請求項1に記載のスパッタリング装置。

20

【請求項9】

電力を第1の電力値(P1)及び第2の電力値(P2)の間で切り替える装置は、第1の交流電圧源を備え、前記第1の交流電圧源は第2の交流電圧源により変調される請求項1に記載のスパッタリング装置。

【請求項10】

前記第2の交流電圧源は、回路網を通じて前記第1の交流電圧源に接続され、前記回路網は、前記第1の交流電圧源は第2の交流電圧源により変調される請求項1に記載のスパッタリング装置。

【請求項11】

前記電極、ターゲット、及び永久磁石は、集合してマグネトロンを構成し、前記マグネトロンは、真空室内に、基板に対向して配置され、前記真空室は、基板とマグネトロンとの間にダイヤフラムを備える請求項1記載のスパッタリング装置。

30

【請求項12】

前記基板とダイヤフラムとの間から、前記真空室内に反应用混合ガスが導入される請求項11に記載のスパッタリング装置。

【請求項13】

前記電氣的エネルギー供給装置は、周波数 f_0 を有する中間周波数生成器と、共振周波数 f_1 を有する回路網と、を備え、前記周波数 f_0 及び f_1 は、相互に近接しているために浮遊効果を生じ、前記浮遊効果はスパッタリング装置の電力を変調する請求項1に記載のスパッタリング装置。

40

【請求項14】

請求項1に記載されたスパッタリング装置において、その動作点を設定する方法であって、

a) 第1の電力(P1)における第1の放電電圧対反応ガス送り量の特性曲線(I)を決定する工程と、

b) 第2の電力(P2)における第2の放電電圧対反応ガス送り量の特性曲線(II)を決定する工程と、

c) 第1の放電電圧対反応ガス送り量の特性曲線(I)上において、前記スパッタリング装置が金属モードで動作する1つの動作点(IV)を決定する工程と、

d) 第2の放電電圧対反応ガス送り量の特性曲線(II)上において、前記スパッタリン

50

グ装置が酸化物モードで動作する1つの動作点(B')を決定する工程と、
e)第1の特性曲線(I)を決定する電力(P1)から第2の特性曲線(II)を決定する第2の電力(P2)への切り替え、及び、その逆の切り替えを行う工程と、を備える方法。

【請求項15】

第1の特性曲線(I)の動作点(IV)及び第2の特性曲線(II)の動作点(B')は、それらの動作点において同一流量の反応ガス流が得られるように決定される請求項14に記載の方法。

【請求項16】

前記2つの動作点(IV、B')を通過する直線(G)は、放電電圧対反応ガス送り量特性曲線(I、II)のヒステリシスコナー点(K1乃至K8)に対して十分に離隔している請求項15に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、金属ターゲットをスパッタし、生成されたターゲット粒子を反応ガスと結合させることにより得られた金属化合物を使用して基板をエッチングし又は被覆するスパッタリング装置の分野に関する。

【0002】

【従来の技術】

基板を被覆する場合、例えば、ガラスを含む基板をアルミニウムなどの金属で被覆する場合、ターゲットを有する電極を備えるスパッタリング装置が頻繁に用いられる。ターゲットは、電氣的に充電された粒子がそのターゲットに入射することによりスパッタリングされる。この工程において、スパッタリングされた粒子は、潜在的にはガスとの反応後に、基板上に蒸着される。ターゲットが一定の磁界により貫かれていれば、電極、ターゲット及び磁石の組み合わせはマグネトロンと呼ばれる。

【0003】

ターゲットから放出された金属粒子が、基板上に蒸着される以前にガスと結合する場合、その工程は反応スパッタリングと呼ばれる。

【0004】

例えば、二酸化ケイ素(SiO_2)を基板に蒸気蒸着する場合、アルゴン(Ar)イオンにより、ケイ素(Si)ターゲットからケイ素原子が放出され、それらが、処理室に導入された酸素と結合する。導入された酸素は、一定の電力下で、処理室のカソードにおける放電電圧に影響を与える。一定の電力下で放電電圧を酸素(O_2)の濃度に対してプロットすると、ヒステリシスを有する曲線が得られる(T. Oyama, H. Ohsaki, Y. Ogata, S. Watanabe, J. Shimizu, "High Rate Deposition of SiO_2 Filuws by Pulse Sputtering", pp. 31-36, Figure 3 参照)。酸素濃度を増加すると、放電電圧は初期にはわずかに減少し、次いで急峻に低い値に降下する。この値から始まり、放電電圧はその後、酸素濃度の増加に伴って無視できる程度にのみ増加する。それから、酸素濃度を減少させると、放電電圧は特定の濃度を起点として急激に増加し始める。電圧が急激に増加及び減少する点の酸素濃度は相互に一致しないので、ヒステリシスが生じる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

このヒステリシスが原因で、安定的な動作点を設定することは非常に困難となる。なぜなら、酸素濃度、及び/又は、供給される電力の僅かな変化が、確実に放電電圧のジャンプ(特性間の飛び移り)を生ぜしめるからである。

【0006】

従って、本発明は、反応スパッタリングにおける動作点を迅速かつ容易に安定化させるという問題に向けられている。

【0007】

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

上記の問題は、請求項 1 に記載された特徴的な構成により解決される。即ち、金属ターゲットをスパッタリングし、生成されたターゲット粒子を反応ガスと結合させることにより得られた金属化合物を使用して基板をエッチングし又は被覆するスパッタリング装置において、処理容積と、処理容積に反応ガスを送るための送り手段と、電気的エネルギー供給装置に接続可能な少なくとも一つの電極であって、該電極の放電電圧が、単位時間毎に流入可能な反応ガス量の関数である電極と、電極に供給される電力を第 1 の値 (P1) 及び第 2 の値 (P2) の間で変化させる装置と、を備え、前記第 1 の値 (P1) 及び前記第 2 の値 (P2) は、同一の反応ガスの流入状態において、ターゲットが、第 1 の電力値 (P1) では金属モード (A) となり、第 2 の電力値 (P2) では酸化物モード (B') となるように選択される。

10

【0008】

本発明により提供される利益は、特に、動作点の効果的かつ迅速な安定化が可能となるという点にある。そのため、カソードを故意に金属モードと酸化物モードとの間で交替に移動するように動作させ、見かけ上カソードが金属モードと酸化物モードとの中間の金属状態で安定化されたかのようにモードの平均値を構成する。二酸化チタン (TiO₂) などの物質の製造において、これは、スパッタリング工程から生じる電気信号の欠落に拘わらず、高いレートの動作点を安定化させることを可能とする一つの方法を示す。

【0009】

【発明の実施の形態】

20

図 1 に、ニッケルクロム (NiCr) スパッタリング工程の、2 つの異なるスパッタリング電力 P 1 及び P 2 における 2 つの電圧対酸素特性を示す。これらのニッケルクロムについての特性は、金属ターゲット又は合金ターゲットをスパッタリングする際に得られる他の多くの金属についての特性を代表するものである。

【0010】

上側の特性 I は一定電力 P 1 において得られるものであり、下側の特性は一定電力 P 2 において得られるものである。ここで、電力 P 1 は電力 P 2 より大きい。電圧はボルトで与えられ、酸素流は標準立方センチメートル毎秒 (sccm) で示される。

【0011】

特性 I 及び II は 3 つの範囲に明確に分けられる。即ち、それぞれ、上側範囲 A、A'、下側範囲 B、B'、中間範囲 C、C' である。中間範囲 C、C' は、ここではヒステリシス特性を示す。

30

【0012】

下側範囲 B、B' は酸化物モードとして示され、上側範囲 A、A' は金属モードとして示される。

【0013】

金属モード A、A' では、スパッタリングされるターゲットは依然として金属面を有しており、一方、酸化物モード B、B' ではターゲットは強力的に酸化されている。

【0014】

スパッタリング速度は、金属モードでは高く、酸化物モードでは低い。従って、スパッタリング工程を、可能な限り長く金属モードに維持し、酸化物モードへの移行を防止しようとする努力がなされる。そのような移行は、工程における変動に起因して、酸素流が、図 1 のそれぞれの点 K 2 及び K 6 の値を一時的に超えた時に生じうる。

40

【0015】

図 1 に見られるように、電力を変えると、ヒステリシス又は中間範囲 C、C' もシフトする。

【0016】

これらの範囲において、曲線 I 及び II のそれぞれに、折点 K 1、K 2、K 3、K 4 及び K 5、K 6、K 7、K 8 が存在する。電力を例えば P 2 から P 1 へ増加させると、ターゲットの同一の酸素飽和度を得るためには、それ以前に比べてより多くの酸素が必要となる。

50

それと共に、特性IIの折点K 5 からK 8 が、より高速の酸素流と関連する特性 I の折点 K 1 からK 4 にシフトする。

【 0 0 1 7 】

カソードが金属モード（範囲A）にあり、かつ、電力がP 1 からP 2 に減少すると、一定の酸素供給下では、より多量の過剰な酸素が生じる。なぜなら、電力の減少によって、スパッタリングされる物質がより少量となり、また、酸素の消費がより少量となり、その結果、スパッタリングガス内の酸素の留分（fraction）が増加し、また、それによってターゲット面内の酸素の留分が増加するからである。ターゲット面内の酸素の留分が特定の点を超えると、スパッタリング速度は不変となり、それと共にスパッタリングガス中の酸素含有量が増加する。自己増強が生じる。例えば、スパッタリング装置が電力P 1 で、1 4 0 立方センチメートル毎秒の酸素供給において動作するとすれば、特性 I 上に比較的安定な動作点E が得られる。ここで、電力をP 2 に減少させると、動作点は特性II上の点K 6 に飛び移り、その結果、点K 8 へ降下する。この過程は、例えば点K 6 における、カソードの酸化物モードへのブレイクオーバーと呼ばれる。その結果、これは自己増強工程となる。特性I上の、曲線IIが折点K 6 を有する範囲内で処理が行われるとすると、電流生成器の電力P 2 へ至る電力変動は、ブレイクオーバーを引き起こすのに十分である。

10

【 0 0 1 8 】

技術的な観点から、中間範囲C、C' のそれぞれは非常に興味深いものである。高い被覆速度において、非常に良好な層特性が得られる。従って、この範囲内での作業が目標となる。

20

【 0 0 1 9 】

この範囲内でのブレイクオーバーを防止するため、本発明においては、第1の電力P 1 と第2の電力P 2 との間で、一方から他方へまたその逆へと切換を行い、その切換は、より詳細には一定の反応ガス流下において行う。よって、カソード面では、酸素の留分が安定化され、これは、それぞれ中間範囲C、C' のヒステリシスにおける仮想動作点に対応する。

【 0 0 2 0 】

一定の反応ガス流を、例えば点IIIにおいて、よって、約1 5 2 立方センチメートル毎秒で、電力P 1 で設定すると、動作点IVが決まり、即ち、カソードの放電電圧が約6 5 0 ボルトとなる。

30

【 0 0 2 1 】

ここで、同一の反応ガス流において電力P 2 への故意の切換を行うと、動作点Vが特性II上に決まる。

【 0 0 2 2 】

電力P 1 及びP 2 の間で継続的に切換を行うと、仮想動作点VIは、点IV及びV間、よって、2つのモードの間に得られる。図1では点IV、VI、V及びIIIを通過する交差線Gは、点K 1 からK 8 の間に位置するべきである。もし交差線Gが例えば点K 6 を通過するとすれば、電力P 1 から電力P 2 への切換時に、単一な結果は観察されない。なぜなら、1 4 0 立方センチメートル毎秒における曲線IIは交差線Gに対して2つの交差点を有するから、即ち、電力P 2 における動作点が点K 6 に位置するか、点K 8 の近傍に位置するかが不確定だからである。図1における直線Gの点K 2 からの距離は比較的小さいが、実際にはもう少し大きくすべきである。

40

【 0 0 2 3 】

一方、直線Gが右へ平行にシフトし、点K 2 を通過するように位置するとすれば、金属モードにおける曲線IIとの交差点は相対的に単一となるが、電力P 1 に切り換えると曲線Iの不安定な範囲に位置することになり、その結果動作点は恐らく酸化物モードに維持される。

【 0 0 2 4 】

本発明に従う工程を実行するためには、有効には処理は以下のように行われる。

【 0 0 2 5 】

50

例えば図 1 に示すような、少なくとも 2 つの特性が記録される。これらの特性が既知であれば、まず、低電力 P 2 が設定され、点 K 6 の電圧が点 K 8 へ落ち込むまで酸素が供給される。それから、更に少量の酸素が供給され、その結果、直線 G は折点 K 8 から右側へ間隔を有する。この間隔が、点 V により定義される。ここで、酸素流が設定された状態で、高電力 P 1 への切換が行われ、カソード電圧が上方へ飛び移り、その後ほぼ一定に維持されたか否かが確認される。そのようになっていけば、酸素の供給が確立される。電圧が不安定であれば、ガス流を変化させる。なぜなら、その場合は、直線 G の第 2 の交差点は、ヒステリシスの分岐上に位置するからである。ガス流の変化は、安定的な電圧が得られるまで行われる。

【 0 0 2 6 】

図 2 は、更なる電圧対酸素特性を示すが、これは、チタンのターゲットに適用される。この特性は、スパッタリング電圧のみを示すものであり、電圧対酸素特性が物質に大きく依存することを示すことのみを意図している。零から始まり、酸素供給が徐々に増加すると、電圧は値域又は範囲 X 内で一定の電力において線形に増加し、点 M において点 T へ突然に下降する。さらに酸素供給を増加すると、電圧は値域 XIII 内で放物線状に減衰し、点 S においてその最低値を呈する。

【 0 0 2 7 】

それから、酸素供給を再び減少させると、値域 XIII 内での電圧は、当初は、酸素を増加させた場合と正確に逆の特性となる。しかし、点 T から、電圧は点 Q へ向かって増加し、更に酸素を減少させると突然に点 V へ下降し、値域 X 内では酸素を増加させた場合と同様の特性に至る。

【 0 0 2 8 】

図 2 に示されていない第 2 の特性は、もう一方の電圧設定に記録されており、同様の曲線形状を有するが、横方向及び上方向にオフセットを有する。切換が行われる 2 つの点は、点 V、Q、M 及び T から、又は、第 2 の特性のそれらに対応する点（図示せず）から安定的な間隔を有することが必要である。

【 0 0 2 9 】

図 1 に示す仮想動作点 VI は、直線 G 上において、P 1 及び P 2 の間のパルスデューティ比を適切に選択することにより、上方又は下方にシフトさせることができる。これを実行する方法は、図 4 及び図 8 との関係において後に説明する。

【 0 0 3 0 】

図 3 に、スパッタリング装置 1 を示し、この装置により本発明を実現することができる。スパッタリング装置 1 は、真空室 2 を備え、その中には 2 つのマグネトロン 3、4 が設けられている。真空室 2 の側壁 5、6 には、上部開口 7、8 及び下部開口 9、10 が設けられている。上部開口 7、8 内には真空ポンプ 11、12 が設けられており、一方、下部開口 9、10 は、ガラスプレートなどの基板 13 を真空室 2 内を通過させる役割を有する。下部開口 9、10 と上部開口 7、8 との間にはダイヤフラム 14 が設けられており、そのダイヤフラム 14 は側壁 5、6 から真空室 2 の内部に突出している。ダイヤフラム 14 の下方にはガス送り管 15、16 が設けられ、それらはバルブ 17 を介してガスタンク 18、19 と接続されている。

【 0 0 3 1 】

各々のマグネトロン 3、4 はカソードパン（皿部）20、21 を有し、それらは下面にターゲット 22、23 が設けられている。カソードパン 20、21 内には、それぞれ 3 つの永久磁石 24、25、26 及び 27、28、29 が設けられ、それらは、共通のヨーク 30、31 に結合されている。カソードパン 20、21 は、シール 32、33 により真空室 2 の上面に取り付けられている。両カソードパン 20、21 は中間周波数電源 34 に接続され、電源 34 はさらに電力レギュレータ 35 に接続され、レギュレータ 35 はデジタルアナログ変換器 36 を介してコンピュータ 37 により駆動される。

【 0 0 3 2 】

図 3 において、スパッタリング装置 1 の 2 つのマグネトロン 3、4 は、同一の真空室 2 の

10

20

30

40

50

内部に、近接して配置されている。しかし、真空室 2 内に 2 つの分離した区画室を設け、それらの各々が別個のマグネトロンを有するように構成することも可能である。ガス供給部 15 乃至 19 は、各々のマグネトロン 3、4 に同一の反応ガス成分が供給されるように構成されている。

【 0 0 3 3 】

カソード 20、21 に供給される電力は、中間周波数生成器 34 により変調される。

【 0 0 3 4 】

そのような電力変調は、それ自体、スパッタリング技術において既知である (EP - A - 0347567、DE - C - 3700633 参照)。この変調において電力は 2 つの値の間を振り子のように振動するが、この振動によって、安定的な動作点設定が意図されるものではなく、また、それが可能となるものでもない。このことは、カソードにおいて極性反転を行い、その結果電力の変化を生じさせる他の既知の構成においても同様である (EP - A - 0591675 ; DE - A - 4237517、図 1、2 ; DE - A - 4343042、カラム 4、48 から 62 行参照)。既知の電力変調の場合、電力の変化は、大抵、故意の電圧変化の結果として生じるものであり、即ち、電力の変化に対して重要な関心が向けられているわけではない。

【 0 0 3 5 】

図 4 は、本発明に従う電力変調を示す。公称電圧 P_{nom} の振幅は、約 2 である定数によって周期的に変化し、高電力 P_{max} は低電力 P_{min} の約 3 倍の長さ存在し、即ち、パルスデューティ比 T_2 / T_1 は約 3 であることは明らかである。それぞれ P_{max} 及び P_{min} で示される電力は、ここでは、図 1 の電力 P1 及び電力 P2 に対応する。それらは、特定の基準に従って選択される。図 4 の表示はそれぞれ電力のエンベロップ、平均値のみを示す。実際には、各々のパルスは、典型的な変調周波数 10 ヘルツ (Hz) 及び中間周波数 40 キロヘルツ (kHz) において、約 4000 の中間周波数の半波を有する。

【 0 0 3 6 】

回路技術の面からは、コンピュータ 37 が期間 T_1 、 T_2 の開始及び終了時にデジタルアナログ変換器 36 へ命令を出力し、デジタルアナログ変換器 36 がそれをアナログ信号に変換して電力レギュレータ 35 に印加し、電力レギュレータ 35 がカソード 20、21 に供給される電力を制御することによって電力曲線は実現されうる。コンピュータ 37 により決定される公称値は、高い公称値及び低い公称値の間で、約 10 ヘルツ (Hz) からのサイクル周波数 $1 / (T_1 + T_2)$ で切り換えられる。10 ヘルツ (Hz) はここで特定される。周波数は、カソードが遷移値域 (又は範囲) において安定的に燃焼するように選択される。周波数が低すぎると、カソードは特定のモード内に深く入り込み過ぎ、それらのモードの 1 つに制御不能に飛び移る (flip)。周波数が高すぎると、動作点の安定化効果が消失する。

【 0 0 3 7 】

2 つの値 P_{max} 及び P_{min} (それぞれ、図 1 の P1 及び P2) は、切換が行われなかったとすれば、それぞれ、所定の酸素流における高公称電力値 P_{max} が金属モードにおいて動作点を生じ、低公称電力値 P_{min} が酸化物モードにおいて動作点を生じるように選択される。これにより、電力は周期的に変化し、カソードは 2 つのモードの遷移状態に維持される。生成器 34 の電圧を変化させることにより、プラズマインピーダンスも自動的に変化する。従って、調整されるべきものは電圧変化である。

【 0 0 3 8 】

別の言い方をすると、電力は、電極に供給される電氣的直流電圧を変化させることにより技術的に調整される。なぜなら、電圧変化はプラズマインピーダンスの変化を生じさせ、それは、さらには電流変化に繋がるからである。しかし、電力は、流れる電流と、存在する電圧とにより決定される。

【 0 0 3 9 】

図 5 には、回路構成 38 が示され、それにより、異なる電力をカソードに出力することができる。カソード 20、21 での電力変調は、ここでは、中間周波数生成器 34 を駆動することによって生成されるのではなく、コンデンサ 39、直流電流チョーク 40、フィル

10

20

30

40

50

タ41及び交流電圧源42を有する回路網が、中間周波数生成器34とカソード20、21との間に挿入される。この電圧源42は、交流電圧源35と同一の周波数、即ち、約10ヘルツ(Hz)の周波数を有する。フィルタ41は、例えばコンデンサ43を有し、そのコンデンサ43の一方の端子44は第1の誘導子(インダクタンスコイル)45を介してコンデンサ39の一方の端子と接続され、コンデンサ43の他方の端子47は第2の誘導子51を介してコンデンサ39の他方の端子48に接続される。さらに、コンデンサ43の端子44、47は、それぞれ、1つの誘導子49、50の各々を介して交流電圧源42に接続される。中間周波数エネルギーは、コンデンサ39を介してカソード20、21へ供給される。コンデンサ39において、中間周波数生成器34からの電力に交流電圧源42からの追加の交流電圧電力が重畳されることが原因で、電力の変調が起きる。これにより、カソード20、21の電流対電圧特性がシフトする。このシフトの結果が、カソード20、21が異なる電力で動作するという事実に繋がる。フィルタ41は中間周波数フィルタであり、それは中間周波数生成器34から交流電圧源42への電力の流れを抑止する。中間周波数生成器34に対して高インピーダンスを示し、交流電圧源42に対して低インピーダンスを示すことが意図されている。

【0040】

交流電圧源42の追加の交流電圧は、一方のカソード20にその交流電圧の負の半波が存在するとすれば、そのカソード20は非常に多くの電力を消費し、金属モードにおいて、一定の中間周波数電力との比較動作において動作するように選択される。同時に、他方のカソード21は、少ない電力を消費し、その結果、酸化モードにおいて、一定の中間周波数との比較動作において動作するであろう。このようにして、図3の場合には両カソードが同一のモードでスパッタリング動作する一方、図5の場合にはカソード20、21の一方が金属モードで動作しつつ他方が酸化モードで動作するという違いを伴って、中間周波数の変調を行う場合と同様の効果が達成される。ここでは、中間周波数は、約100キロヘルツ(kHz)までの数千ヘルツの範囲の周波数である。好ましい中間周波数は、例えば、40キロヘルツ(kHz)である。

【0041】

交流電圧源42の周波数は、図3の交流電圧源35の周波数と同一であり、即ち、約10kHzである。図6は、交流電圧U~の経跡を示す。交流電圧は、矩形波とすることもでき、正弦波とすることもできる。

【0042】

1つ又は2つのカソードに供給される電力は、また、交流が重畳された直流電源から発生したものとすることもできる。そのような直流及び交流電源を備える電源は原理的には既知であり(F. Vranty, Deposition of Tantalum and Tantalum Oxide by Superimposed RF and DC-sputtering, J. Electrochem. Soc.: Solid State Science, May 1967, 506頁、図1を参照)、そのためそれ以上の詳細の説明は不要である。しかし、本発明で 사용되는交流電流周波数は、約1から30ヘルツ(Hz)の間であり、それゆえ、使用される交流電流周波数がメガヘルツ(MHz)の範囲である既知の回路構成に比べて非常に低い。

【0043】

図7には、カソードに供給される電力を変化させ得る更に他の構成が示されている。ここでは、直流電流源60が設けられ、それは一定の電流源である。直流電流源60の出力端子61、62と並列に、2つの直列の第1の制御可能スイッチ63、64が設けられ、それらと並列に、さらに直列の制御可能なスイッチ65、66が設けられている。

【0044】

直流電流源60の一定の直流は、交流側の制御可能スイッチ63乃至66を介してカソード20、21へ供給される。カソード20、21が電流を導く位相間には切替点があり、その切替点では、切替スイッチ63乃至66は直流電流源60を短絡し、その結果カソードには電流は流れ得ない。この短絡は、スイッチ63、64又はスイッチ65、66又はスイッチ63乃至66を同時に閉とすることにより生じる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 5 】

切換スイッチ 6 3 乃至 6 6 は、非対称に制御され、その結果、2つのカソード 2 0、2 1 の燃焼時間、及び、それゆえ電力寄与は、所定の時間的期間内において相違する。これにより、一方のカソード 2 0 は金属モードでスパッタリング動作し、他方のカソード 2 1 は酸化物モードでスパッタリング動作する。非対称性を周期的に交替すると、図 5 に従う追加の交流電圧によって中間周波数電力の変調を行う場合と同様の効果が達成される。

【 0 0 4 6 】

図 5 に従う構成において、交流電圧源 4 2 及びフィルタ 4 1 を省略し、チョーク 4 0 の代わりに特別のフィルタを使用することにより、電源の更なるオプション（選択）が与えられる。この場合、このフィルタは、中間周波数生成器 3 4 の周波数 f_0 。近傍に共振周波数 f_1 を有するように次数が決定される。中間周波数生成器 3 4 が、周波数が安定化されない自励発振器であるならば、浮動状態が変調効果への先導を生じる。

10

【 0 0 4 7 】

図 8 は、図 7 に示す構成についての電流対時間の関係を示す図である。この図 8 は、カソード 2 0 を流れる電流 I_{K20} を時間の関数として示している。カソード 2 1 を流れる電流は示されていない。しかし、それは、一つの位相シフトを除いて、カソード 2 0 を流れる電流と同一である。スイッチ 6 3、6 4 が開とされている時刻 t_1 においてスイッチ 6 5 は閉とされており、その結果、正の電流 I_{K20} が電流源 6 0 からカソード 2 0 へ流れる。

【 0 0 4 8 】

時刻 t_2 で、スイッチ 6 5 は再度開とされ、よって、電流源 6 0 の正の端子からカソード 2 0 への電流の流れが停止する。時刻 t_3 でスイッチ 6 6 が閉とされ、その結果、電流 I_{K20} が電流源 6 0 の負の端子からカソード 2 0 へ流れる。時刻 t_4 においてスイッチ 6 6 が開とされると、負の電流はカソード 2 0 へ流れなくなる。

20

【 0 0 4 9 】

それから、スイッチ 6 5、6 6 の開閉は、図 8 に示す電流の経跡が生じるように継続される。カソード 2 0 は、初期には、比較的短い期間 $|t_2 - t_1|$ ($= T_{b1}$) にわたり正の電流を供給され、続いて、それよりいくらか長い期間 $|t_4 - t_3|$ ($= T_{a1}$) にわたり、負の電流を供給される。続いて、長い方の期間 $|t_4 - t_3|$ にわたり、正の電流を供給される。すぐこれに続いて、カソード 2 0 は、短い方の期間 $|t_2 - t_1|$ にわたり負の電流を供給され、続いて、再度長い方の期間 $|t_4 - t_3|$ にわたり正の電流を供給され、続いて、再度短い方の期間 $|t_2 - t_1|$ にわたり負の電流を供給される。

30

【 0 0 5 0 】

T の添字 a 及び b は、中間周波数電源の周期 T_0 内における、カソード 2 0 の正及び負の電流値の期間を示す。追加の変調は、周期 T_1 を有する。周期 T_1 の第 1 の半周期では、カソード 2 0 における正電流の総時間は、負電流の総時間より長い。第 2 の半周期では、負電流の総時間は、正電流の総時間より長い。

【 0 0 5 1 】

長い方の期間 T_{a1} 及び短い方の期間 T_{b1} は、合計して期間 T_0 を構成し、それは、直流電流源 6 0 を切り換えることにより生成される中間周波数電圧の周期の長さである。この周期の長さは、例えば、25 マイクロ秒 (μs) 又は $1/40$ キロヘルツ (kHz) とされる。

40

【 0 0 5 2 】

カソード 2 0 の場合と類似して、カソード 2 1 も電流供給を受けるが、それは、カソード 2 0 の場合とは、スイッチ 6 5 及び 6 6 の代わりに、スイッチ 6 3 及び 6 4 がそれぞれ開閉されるという相違がある。

【 0 0 5 3 】

【 発明の効果 】

以上説明したように、本発明によれば、反応スパッタリングにおける動作点を迅速かつ容易に安定化させることが可能となる。

【 図面の簡単な説明 】

50

【図 1】 2つの異なるスパッタリング電力における、ニッケルクロム (NiCr) スパッタリング工程の電圧対酸素特性を示す図である。

【図 2】 一定の電力下での、チタン (Ti) スパッタリング工程の電圧対酸素特性を示す図である。

【図 3】 2つのマグネトロン及び中間周波数電源を備えるスパッタリング装置を示す図である。

【図 4】 公称電圧値の経時的変化を示す図である。

【図 5】 中間周波数フィルタ回路が接続された中間周波数電源及び交流電圧源を示す図である。

【図 6】 交流電圧源の出力電圧の経時的変化を示す図である。

10

【図 7】 直流電源及びスパッタリングカソードの間のスイッチ構成を示す図である。

【図 8】 2つのカソードを有する構成のうちの一方のカソードを流れる電流の経時的変化を示す図である。

【符号の説明】

1 ... スパッタリング装置

2 ... 真空室

3、4 ... マグネトロン

5、6 ... 側壁

7、8 ... 上部開口

9、10 ... 下部開口

20

11、12 ... 真空ポンプ

13 ... 基板

14 ... ダイアフラム

15、16 ... ガス送り管

17 ... バルブ

18、19 ... ガスタンク

20、21 ... カソードパン

22、23 ... ターゲット

24 ~ 29 ... 永久磁石

30、31 ... ヨーク

30

32、33 ... シール

34 ... 電源

35 ... 電圧調整器

36 ... デジタルアナログ変換器

37 ... コンピュータ

38 ... 回路構成

39 ... コンデンサ

40 ... 直流電流チョーク

41 ... フィルタ

42 ... 交流電源

40

44、46 ~ 48 ... 端子

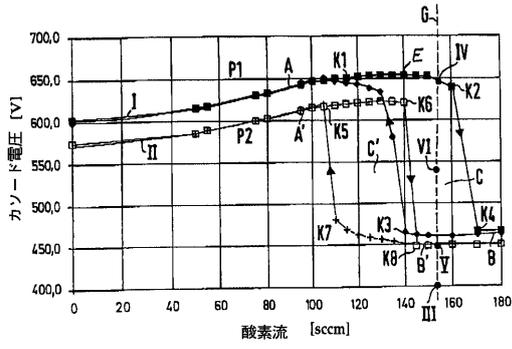
45、49、50 ... 誘導子

60 ... 直流電流源

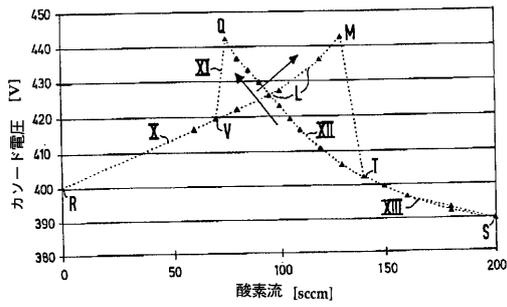
61、62 ... 出力端子

63 ~ 66 ... 制御可能なスイッチ

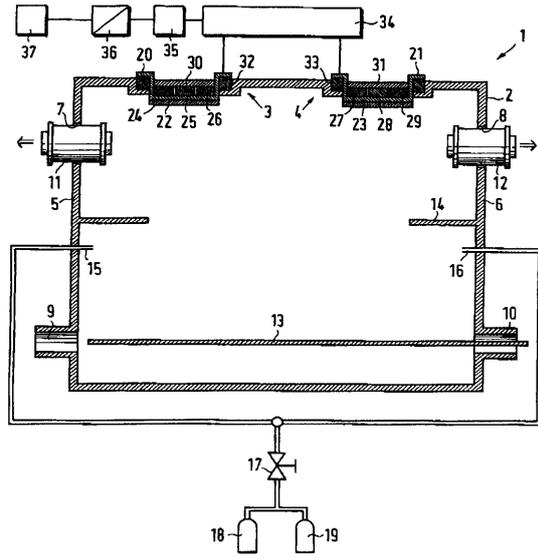
【 図 1 】



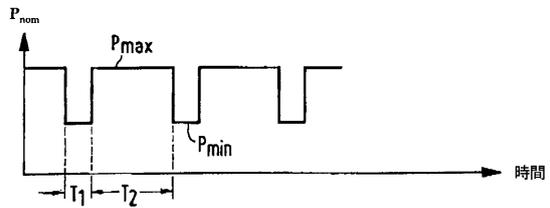
【 図 2 】



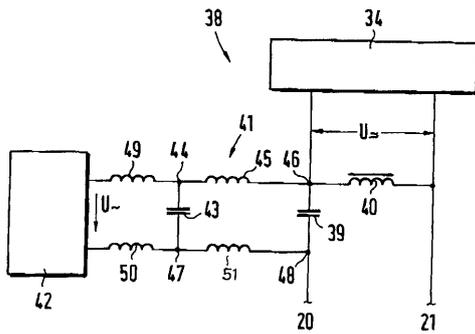
【 図 3 】



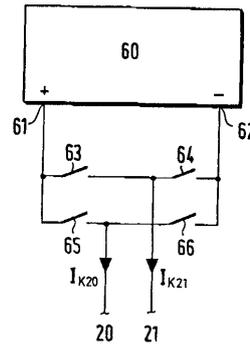
【 図 4 】



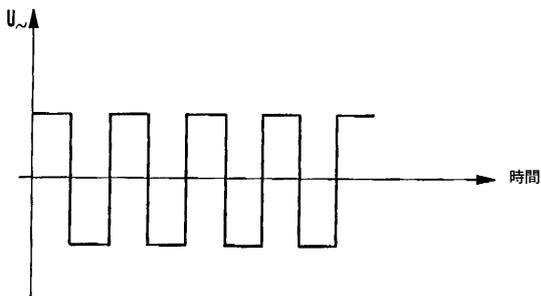
【 図 5 】



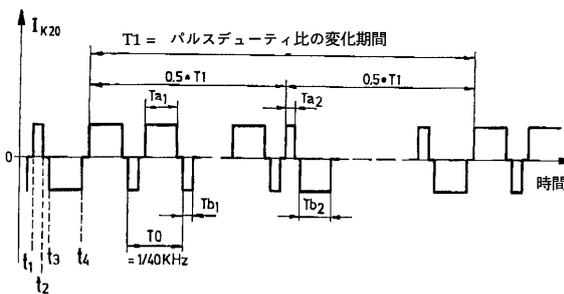
【 図 7 】



【 図 6 】



【 図 8 】



フロントページの続き

- (72)発明者 テシュナー ゲッツ
ドイツ連邦共和国 D - 6 3 4 5 0 ハナウ エンゲルハルトゥシュトラッセ 3 8 デー
- (72)発明者 ツメルティ アントン
ドイツ連邦共和国 D - 6 3 7 6 8 ヘスバッハ バーンシュトラッセ 3 9
- (72)発明者 ブルッフ ユルゲン
ドイツ連邦共和国 D - 6 3 5 4 6 ハマースバッハ ウンター デン ワインゲルテン 2 8
- (72)発明者 マルクアードトゥー ディートマー
ドイツ連邦共和国 D - 6 3 5 2 6 エルレンゼー ブライヒシュトラッセ 6 アー

審査官 若土 雅之

- (56)参考文献 特開平02 - 054764 (JP, A)
米国特許第05126032 (US, A)
特開昭63 - 114965 (JP, A)
特開平07 - 288191 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C23C 14/00-14/58