

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4465045号
(P4465045)

(45) 発行日 平成22年5月19日 (2010.5.19)

(24) 登録日 平成22年2月26日 (2010.2.26)

(51) Int.Cl.			F I		
C 2 3 C	14/34	(2006.01)	C 2 3 C	14/34	T
C 2 3 C	14/54	(2006.01)	C 2 3 C	14/54	B
H 0 5 H	1/46	(2006.01)	H 0 5 H	1/46	B

請求項の数 16 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願平8-524999
(86) (22) 出願日	平成8年2月5日 (1996.2.5)
(65) 公表番号	特表平11-500185
(43) 公表日	平成11年1月6日 (1999.1.6)
(86) 国際出願番号	PCT/US1996/001590
(87) 国際公開番号	W01996/025534
(87) 国際公開日	平成8年8月22日 (1996.8.22)
審査請求日	平成14年12月26日 (2002.12.26)
(31) 優先権主張番号	08/388, 191
(32) 優先日	平成7年2月13日 (1995.2.13)
(33) 優先権主張国	米国 (US)

(73) 特許権者	デポジション・サイエンシス、インコーポ レイテッド アメリカ合衆国カリフォルニア州9540 1, サンタ・ローザ, テスコニ・コート ・386
(74) 代理人	弁理士 酒井 一
(72) 発明者	ボーリング, ノーマン, エル アメリカ合衆国カリフォルニア州9540 4, サンタ・ローザ, ローロ・ロード・2 769

審査官 宮澤 尚之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 直流又は低周波交流反応スパッタリング装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

スパッタリング装置であって、該装置は、真空を維持し、スパッタガス及びスパッタされた材料に対して反応性であるガスを受取り及び維持することができるチャンパーと、スパッタすべき材料のターゲットと、該ターゲットと前記チャンパーとの間にスパッタリング電圧をかけるための直流又は低周波交流電源と、前記ターゲットからスパッタされた材料によって被覆されるように、前記ターゲットに対して配置される少くとも一つの基板とを有するスパッタリング装置において、ターゲットから、ターゲットから離隔した前記チャンパーのスパッタにより形成された絶縁性材料によって被覆されていない導電性部分への、プラズマの形態の電流通路を提供することを含み、前記プラズマは、前記電流通路における自由電子の最低密度が1立方センチメートル当たり少くとも 1.2×10^{10} であり、前記ターゲット材料をスパッタするのに十分な電圧をターゲットにかける一方で、ターゲット電圧から独立して操作可能な少くとも一つのプラズマ発生装置に電力を与えることにより、前記電流通路に沿って前記自由電子密度のプラズマを発生させることを特徴とする、スパッタリング装置。

【請求項2】

スパッタリングガス及び反応性ガスが同一種である、請求の範囲第1項に記載の装置。

【請求項3】

前記プラズマが、プラズマガイドアプリーケータを通して指向されるマイクロ波パワーを使用することにより、チャンパー内に形成される、請求の範囲第1項に記載の装置。

10

20

【請求項 4】

前記少くとも一つの基板が、ドラム上に載置され、該ドラムは、回転して、該少くとも一つの基板を前記ターゲット材料を越えて移動させる、請求の範囲第 1 項に記載の装置。

【請求項 5】

前記ドラムがグラウンドされておらず、その結果、該装置の操作中に、ドラムに電流が流れない、請求の範囲第 4 項に記載の装置。

【請求項 6】

前記ターゲットに近接して、磁場を提供する手段が配置される、請求の範囲第 1 項に記載の装置。

【請求項 7】

前記基板が、ロールから取り出すことができるような、材料の連続的な帯からなる、請求の範囲第 1 項に記載の装置。

【請求項 8】

前記基板が、該基板材料のロールから供給される材料の連続的な帯からなる、請求の範囲第 1 項に記載の装置。

【請求項 9】

前記プラズマが、進行波アプリアケータを使用することによって形成される、請求の範囲第 1 項に記載の装置。

【請求項 10】

前記電流通路における自由電子の最低密度が 1 立方センチメートル当たり少なくとも $2 \cdot 0 \times 10^{10}$ である、請求の範囲第 1 項に記載の装置。

【請求項 11】

前記電流通路における自由電子の最低密度が 1 立方センチメートル当たり少なくとも 1×10^{10} である、請求の範囲第 1 項に記載の装置。

【請求項 12】

前記電流通路における自由電子の最低密度が 1 立方センチメートル当たり少なくとも $5 \cdot 9 \times 10^{10}$ である、請求の範囲第 1 項に記載の装置。

【請求項 13】

ドラム型スパッタリング装置であって、該装置は、真空を維持し、スパッタガス及びスパッタされた材料に対して反応性であるガスを受理及び維持することができるチャンパーと、スパッタすべき材料のターゲットと、該ターゲットと前記チャンパーとの間にスパッタリング電圧をかけるための直流又は低周波交流電源と、前記ターゲットからスパッタされた材料によって被覆されるように、前記ターゲットに対して配置される少くとも一つの基板とを有するスパッタリング装置において、ターゲットから、ターゲットから離隔した前記チャンパーのスパッタにより形成された絶縁性材料によって被覆されていない導電性部分への、プラズマの形態の電流通路を提供することを含み、前記プラズマは、前記電流通路における自由電子の最低密度が 1 立方センチメートル当たり少なくとも $2 \cdot 0 \times 10^{10}$ であり、前記ターゲット材料をスパッタするのに十分な電圧をターゲットにかける一方で、ターゲット電圧から独立して操作可能な少くとも一つのプラズマ発生装置に電力を与えることにより、前記電流通路に沿って前記自由電子密度のプラズマを発生させることを特徴とする、スパッタリング装置。

【請求項 14】

ロール型スパッタリング装置であって、該装置は、真空を維持し、スパッタガス及びスパッタされた材料に対して反応性であるガスを受理及び維持することができるチャンパーと、スパッタすべき材料のターゲットと、該ターゲットと前記チャンパーとの間にスパッタリング電圧をかけるための直流又は低周波交流電源と、前記ターゲットからスパッタされた材料によって被覆されるように、前記ターゲットに対して配置される少くとも一つの基板とを有するスパッタリング装置において、ターゲットから、ターゲットから離隔した前記チャンパーのスパッタにより形成された絶縁性材料によって被覆されていない導電性部分への、プラズマの形態の電流通路を提供することを含み、前記プラズマは、前記電流通

10

20

30

40

50

路における自由電子の最低密度が1立方センチメートル当たり少くとも 2.1×10^{10} であり、前記ターゲット材料をスパッタするのに十分な電圧をターゲットにかける一方で、ターゲット電圧から独立して操作可能な少くとも一つのプラズマ発生装置に電力を与えることにより、前記電流通路に沿って前記自由電子密度のプラズマを発生させることを特徴とする、スパッタリング装置。

【請求項15】

インライン型スパッタリング装置であって、該装置は、真空を維持し、スパッタガス及びスパッタされた材料に対して反応性であるガスを受理及び維持することができるチャンパーと、スパッタすべき材料のターゲットと、該ターゲットと前記チャンパーとの間にスパッタリング電圧をかけるための直流又は低周波交流電源と、前記ターゲットからスパッタされた材料によって被覆されるように、前記ターゲットに対して配置される少くとも一つの基板とを有するスパッタリング装置において、ターゲットから、ターゲットから離隔した前記チャンパーのスパッタにより形成された絶縁性材料によって被覆されていない導電性部分への、プラズマの形態の電流通路を提供することを含み、前記プラズマは、前記電流通路における自由電子の最低密度が1立方センチメートル当たり少くとも 1.2×10^{10} であり、前記ターゲット材料をスパッタするのに十分な電圧をターゲットにかける一方で、ターゲット電圧から独立して操作可能な少くとも一つのプラズマ発生装置に電力を与えることにより、前記電流通路に沿って前記自由電子密度のプラズマを発生させることを特徴とする、スパッタリング装置。

【請求項16】

インライン型スパッタリング装置であって、該装置は、真空を維持し、スパッタガス及びスパッタされた材料に対して反応性であるガスを受理及び維持することができるチャンパーと、スパッタすべき材料のターゲットと、該ターゲットと前記チャンパーとの間にスパッタリング電圧をかけるための直流又は低周波交流電源と、前記ターゲットからスパッタされた材料によって被覆されるように、前記ターゲットに対して配置される少くとも一つの基板とを有するスパッタリング装置において、ターゲットから、ターゲットから離隔した前記チャンパーのスパッタにより形成された絶縁性材料によって被覆されていない導電性部分への、プラズマの形態の電流通路を提供することを含み、前記プラズマは、前記電流通路における自由電子の最低密度が1立方センチメートル当たり少くとも 5.9×10^{10} であり、前記ターゲット材料をスパッタするのに十分な電圧をターゲットにかける一方で、ターゲット電圧から独立して操作可能な少くとも一つのプラズマ発生装置に電力を与えることにより、前記電流通路に沿って前記自由電子密度のプラズマを発生させることを特徴とする、スパッタリング装置。

【発明の詳細な説明】

発明の技術分野

本発明は、反応スパッタリングとして当業界に知られているタイプの方法において、この工程の継続中にターゲット電源のための低抵抗導電通路を維持する必要がある場合、及びこの工程によって基板上に絶縁膜を形成する場合に、効率を上げ及びコストを削減するための装置である。ターゲット電源としては、直流電源、若しくは容量結合によってグラウンドへの戻り電流を生じない程度の低周波数で操作する交流電源を使用することができる。

発明の背景

直流若しくは低周波交流スパッタリングは、無線周波数電源を使用するスパッタリング（無線周波スパッタリング）よりも好ましいことがよくある。より高効率でスパッタリングを行うことができ、電源はより簡素で廉価である。無線周波スパッタリングは、大型のターゲットを使用する場合に問題を生じ、操作周波数（通常13.56MHz）における電磁波の波長が、ターゲットの大きさに匹敵する。そのような場合、定在波によって過熱点や不安定が生じ、その結果被膜が不均質、不均一となる。定在波は、当然のことながら、直流又は低周波交流スパッタリングには存在しない。

しかしながら、従来技術において実施されているように、直流又は低周波交流反応スパッ

タリング法では、当業界で「消失陽極 (disappearing anode)」として知られるようになった現象によって不安定さが生じていた。これから説明する理由によって、本発明は消失陽極現象が生じるのを防止し、工程を安定化する。

代表的な直流スパッタリング装置は、真空容器内に配置されたスパッタリングターゲット、並びにスパッタされた材料を付着させるべき基板を備える。チャンパー内の雰囲気は、適度に低圧のスパッタリングガス (通常はアルゴン) を含む。工程を行う際には、スパッタリング電源をターゲットとチャンパー壁との間に接続し、チャンパー内にプラズマを発生させる。ターゲットが陰極となる。シースと呼ばれるターゲットに隣接する領域において、プラズマ中で電圧降下がない場合には、電源電圧に略等しい (代表的には 500 V) 電圧降下が生じ、この領域においてスパッタリングガスのイオンがターゲットに向かって加速される。このイオンは、ターゲットに衝突すると、ターゲットを構成する珪素、チタン等の金属を、ターゲット表面からターゲットと基板との間の空間にスパッタする。次いで原子はこの空間内の飛翔経路を通して移動し、その間に何度も衝突しながら、最終的にはある表面に衝突し、そこに付着する。基板上及びターゲットや基板に隣接する他の表面上に、スパッタされた材料が蓄積し始める。スパッタされた (非絶縁性) 材料は次いで、チャンパー内へ導入された酸素等のガスと反応し、スパッタされた材料で被覆された全ての表面上に、二酸化珪素、二酸化チタン等の絶縁性材料である、基板について望ましい膜を形成する。

ある種の反応スパッタリング法においては、スパッタリングガスと反応性ガスとは同一のものである。このような方法は直上に説明したものと同様に機能するが、酸素等の唯一種のガスをチャンパー内へ導入するので、この同種のイオンがターゲットから金属をスパッタし、活性化された形態のこの同一の種が続いて基板表面上のスパッタされた金属と反応する。

ターゲットに衝突する正に荷電されたイオンは、チャンパー内のプラズマからターゲットへの正味正電荷流を生じる。ターゲットへの電荷の流れは、プラズマからチャンパー壁又は他のグラウンドされた導線へ移動する電子による同等の電荷の移行によって平衡し、ターゲット電源電流のための戻り通路を形成しなければならない。よく知られているように、低電流条件においては、プラズマポテンシャルと呼ばれる比較的一定の電位の領域に、バルクプラズマが存在する。電流の存在下においては、バルクプラズマ中には、プラズマ中の各点において電流密度に正比例し、電荷担体の密度に反比例する電位の傾きがある。V/cm単位で測定される電位の傾きにより、ターゲットとチャンパー壁との間のバルクプラズマ中に電圧降下が生じ、プラズマ中の電圧降下によるターゲット電流の発生に応じて、プラズマ中に電力が放散される。この電力は、ターゲットにおける強力なイオン化を維持するために消費される電力を犠牲にして得られるものである。プラズマが物理的に拡張すると、その中の電圧の傾きは、バルクプラズマ内に埋め合わせのイオン化を生じさせるのに不十分となる。従って、プラズマ中の電圧降下によってイオン化に使用できる電源電力の量が低下し、その結果プラズマ中の電子密度が低下する。電流が通過すべき領域におけるプラズマ密度が、プラズマ中に電圧降下を生じさせるのに十分な程低くなり、電源電圧の有意部分となると、密度の低下によってさらに電圧降下が増大化するので、工程が制御不能となる傾向がある。このような状態では、不安定状態又はプラズマの完全な遮断が生じることがある。

反応直流又は低周波反応スパッタリング法においては、ターゲット近辺の導線上に絶縁性材料が漸進的に形成されるために電流が制限されることにより、プラズマ中において許容できない程大きな電圧降下が不可避免的に生じる。ターゲット近辺の導電性表面上への絶縁性材料の最初の堆積により、電子流のための壁領域が減少し、ターゲットからさらに離れて移動する。よって、電流が流れてグラウンドへの通路を探すべきプラズマの領域は、さらにターゲットから離れて移動し、壁の未被覆領域に接触する。これにより電流は、プラズマ発生領域からさらに離れた領域を通るより長い経路を辿ることになり、その結果この領域ではプラズマの密度が低下する。さらに、電流通路がブロックされることにより、戻り電流がアクセスすることができるチャンパー壁の領域が減少し、電流の断面積が低下し

10

20

30

40

50

、ターゲットへのイオン流が一定に保たれると、電流密度が上昇する。電流密度に比例し、プラズマ密度に反比例するバルクプラズマ中の電圧の傾きは、これら両方の要因で増加する。このように傾きが増加することにより、次第にプラズマ中に電源電圧の実質的な一部である電圧降下が生じ、上述のプラズマの不安定性又は遮断の原因となる。

現在実施されているほとんどの直流又は低周波交流スパッタリング法では、ターゲットに隣接するプラズマ領域内に磁場を導入する。ターゲット上方の領域におけるスパッタリングガスのイオンの発生率は、磁場がない場合に達成される率よりも増加し、それに応じてスパッタリング速度及びプラズマ中を通過すべきスパッタリング電流が増加する。このような磁場を使用する方法は、マグネトロンスパッタリング法と呼ばれる。本発明によって緩和される酸化物沈着による悪影響は、方法がマグネロン法であるなしに拘らず存在する。

10

プラズマ中の電圧降下の影響は、工程継続中に一定のターゲット電流を維持するようにターゲット電源の電圧を連続的に調節することによって、ある程度補うことができる。このアプローチには、かなり大容量の複雑な電源が必要となり、電力のかなりの部分がチャンパー内のガス中に放散され、電力を浪費し、望ましくない加熱の原因となるという欠点がある。

上述した理由のため、絶縁体の沈着、及びそれに対応してスパッタリング工程中に生じるプラズマ中の電圧降下により、所定量の材料が付着した時点で工程を中断し、スパッタリングターゲットに近接する部品を清掃若しくは交換することが必要となる。その結果、このような方法は、清掃又は交換を必要としない方法よりも費用がかかり、被覆部品の製造率が低下する。

20

従って本発明の目的は、直流又は低周波交流スパッタリング法中に、グラウンドへの比較的一定な低抵抗電流通路を所定時間維持し、現行の方法よりも継続時間を延長することができる環境をスパッタリングチャンパー内に提供することにある。

本発明の別の目的は、ターゲット電源から独立したプラズマ源をスパッタリングチャンパー内に設置し、それにより工程の継続中に大容量のチャンパー中に渡って空間的に均一な状態を維持することができる一方で、ターゲット電圧及び電流を一定に維持することにより、このような方法の安定性を増進させることにある。

発明の要旨

本発明は、反応直流又は反応低周波交流スパッタリングとして当業界に知られている操作を行うための装置である。この装置は、チャンパー内でドラム等の回転装置を使用するバッチ操作でも、ロールコーター又はインラインコーター等の連続工程でも使用することができる。少くとも一つの広域プラズマアプリケーションが、必要な電子密度及び均一性を有するプラズマを領域内に発生させ、電流は、スパッタリングターゲットからプラズマ中を通過して、ターゲットから隔離したスパッタリングチャンパーのグラウンドした壁の一部へと流れることができる。

30

アプリケーションが発生したプラズマは、スパッタリングが行われる領域内に拡散し、そこでスパッタリング工程のプラズマと混合する。プラズマはまた、スパッタリング領域から離れた領域内にも拡散し、そこでスパッタリングチャンパーの壁及び他のグラウンドされた導線と接触する。これらの隔離した領域では、酸化物が形成されないため、電子流は壁又は他の導電体へ自由に流れることができる。アプリケーションによって、ターゲットから混合プラズマ中を通過してチャンパー壁への電流通路が存在するので、スパッタリング工程から隔離して、絶縁体形成に付されないチャンパー壁又は他の導電体は、陽極として機能することができる。従って本発明は、スパッタリング工程中に、グラウンドへの信頼性の高い電流通路を確実に存在させることができる。

40

直流ターゲットポテンシャルによって発生するプラズマと混合するプラズマの一部により、スパッタリング領域の電子温度並びにイオン及び電子密度が、アプリケーションがない場合に達成されるであろうレベルよりも高いレベルを達成する。前述のより高い密度に対応して、基板表面における活性種の密度が高くなる。反応性種の密度は、工程の間中安定且つ高く維持され、近辺の表面における絶縁物質の形成による影響を受けない。従って基板表

50

面における反応工程を、工程の間中制御することができる。

図面の説明

図1は、直流又は低周波交流反応スパッタリング法に必須の装置の断面図であり、本発明が従来技術の欠点をどのように克服するかを示す。

図2は、ドラムコーター内で使用する本発明の実施態様の断面図であり、この態様ではプラズマガイドアプリケータを使用する。

図3は、ドラムコーター内で使用する本発明の実施態様の断面図であり、この態様では、米国特許第4,630,568号に教示されるマイクロ波活性化プラズマアプリケータを使用する。

図4は、ロールコーティング法で使用する本発明の実施態様の断面図である。

図5は、より大型のインラインコーターで使用する本発明の実施態様の斜視図であり、この態様ではプラズマガイドプラズマアプリケータを使用する。

発明の詳細な説明

図1は、反応スパッタリング法に必要な基本的部品の断面図である。スパッタリングターゲット組立体1は、酸素又は窒素等の反応性ガス、及び低圧のアルゴン等のスパッタリングガスを含むチャンパー容積内に配置される。複数の基板3が、回転ドラム、ベルト、又はウェブ等の装置によって矢印5の方向に搬送される。スパッタリング電源6は、チャンパー壁7とターゲットとの間に接続され、その負極はターゲットに接続する。

スパッタリングターゲット組立体は、スパッタすべき物質でできた板8であるターゲットと、マグネットパック9と、基部10とからなる。平面図では、組立体は代表的には矩形であり、マグネットパックは代表的には細長い競技用トラックの形状である。磁場線11はマグネットパックの極から発生し、そのいくつかはシースの領域に入る。

最初にターゲット電源をオンにすると、ターゲット上方のシース内のアルゴンイオンが、シース内の電場によって加速されてターゲットに衝突し、材料をターゲットからスパッタし、二次電子を放出させる。磁場線がシースに入る領域では、二次電子は電場の方向には移動せず、代わりにその平均速度が図面の平面に垂直となるような軌道に沿って移動する。平面図ではこの軌道はマグネットパックの面に沿っている。二次電子は、移動するにつれ中性のアルゴン原子と非弾性的に衝突して、これをイオン化する。新たに創生されたイオンは次にターゲットに向かって加速され、さらにスパッタされた材料及び二次電子を発生させ、工程を繰り返す。ターゲットに隣接する磁場が存在する空間内に強力なプラズマが形成され、イオンの発生率が他の領域よりもはるかに高くなる。この強力なプラズマからターゲットへのイオンの流れ、ターゲットからのスパッタリング率、及びターゲット中を流れる電流は、磁場がない場合に実現されるレベルをはるかに越えている。

スパッタされた材料の原子は、ターゲットから離れる方向に移動し、チャンパー内のガスの原子と衝突した後、チャンパー内のどこかしらの表面上に付着する。一旦付着すると、スパッタ材料原子は、チャンパー内の反応性ガスと反応して、その同じ表面上に酸化物又は窒化物の絶縁層を形成する。よって絶縁層は、ターゲットからスパッタされた材料の拡散に最も触れやすいチャンパーの表面上に堆積する。

戻り電流をチャンパー壁に搬送すべきプラズマは、主にターゲット上方の高強度区域内で発生されたものである。このプラズマはまた、この区域から両極性拡散として知られる工程で移動し、表面に到着する前に衝突するスパッタされた材料の一部分とほとんど同じ通路を通る。プラズマがチャンパー壁に到達すると、電子及びイオンの再結合が生じ、プラズマはその密度によって所定の率で消費される。チャンパー内の電氣的形態が経時的に変化しない条件下で、チャンパー内の全ての点におけるプラズマ密度は、安定状態に達する。このような安定状態において、プラズマ密度は経時的には変化しないが、スパッタされた原子の濃度の低下と同様の態様で、スパッタリング源からの距離に従って低下する。

実際の反応スパッタリング工程においては、条件は経時的に変化する。工程が継続すると、プラズマが最も高濃度である表面に絶縁層が堆積し、戻り電流は強制的にプラズマ濃度がより低い領域中を通るより長く限られた通路に通される。プラズマ中の電圧降下は、通路の長さに比例し、プラズマ密度に反比例するので、この工程によれば、プラズマ中の電

10

20

30

40

50

圧降下が安定して増加する。ついに、電圧降下は、前述の理由により、工程の不安定性及び遮断が生じる値まで増加する。

本発明は、真空を維持することができ、スパッタガスを受理、維持することができるチャンパー、及びスパッタ材料と反応性があるガスを含む、反応スパッタリングのための装置を含む。ターゲットに対して配置され、ターゲットからスパッタされた材料によって被覆され得る少くとも一つの基板並びにターゲットもまたチャンパー内に配置される。ターゲットとチャンパー未被覆壁部分との間に、自由電子の最低密度が少くとも $1.2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ であり、ターゲットと未被覆チャンパー壁との間の空間を満たすプラズマの形態の高信頼性の電流通路が確立する。プラズマは、ターゲット電圧から独立して操作可能な少くとも一つのプラズマ発生器によって発生される。

10

上述のように、本発明の実施において、隣接領域に大量のプラズマを発生させる少くとも一つの別個のプラズマアプリーケータを設けることにより、図1の領域12及び13のうち少くとも一方において、プラズマが発生される。アプリーケータが発生するプラズマがターゲットとチャンパー壁との間の電流の領域を占めるように、アプリーケータはチャンパー内に配置される。

本発明の基本的な特徴は、電流が、ターゲットから、絶縁体が堆積しない程度十分にターゲットから離隔したチャンパー壁部分へ流れることができる程度に、必要とされるプラズマ密度及び体積が十分に大きいということである。代表的な工業的工程に必要とされるプラズマ密度を、ドラムコーティングマシン、小型インラインコーティングマシン、ロールコーター、及び大型インラインコーターについて以下に予想する。

20

スパッタリング電源電圧が、代表的な値である500Vであるとする。本発明によって発生されるバルクプラズマ中の電圧降下は、総供給電圧の約10%よりも大きい値を有するので、従来の経験及び先に説明した問題点に基づいて、許容できないものであることが分かる。この値をプラズマ中の最大許容電圧降下である50Vに設定すると、本発明によって発生されるプラズマの抵抗の上限は以下の式によって計算される。

$$= V \times A / L \times I$$

式中、 V 、 A 、 L 、及び I はそれぞれ、最大許容電圧降下値、電流に対して垂直なプラズマの断面積、電流通路の長さ、及びプラズマ中の電流を示す。電流 I は、プラズマ空間の幅と同じであるターゲットの長さに正比例するものと考えられ、その比例定数は、ドラムコーター、小型インラインコーター、及びロールコーターでは0.4 amp/cm、

30

大型インラインコーターでは0.55 amp/cmである。プラズマ中の電子温度及びチャンパー内の電子の平均自由通路が、代表的にはそれぞれ4電子ボルト及び1cmの値をとるとすると、プラズマ電子密度 n_e は以下の式によって算出される。

$$n_e = m_e \times v / \lambda \times q^2$$

式中、 m_e は電子量、 q は電荷、 v は本発明によって発生したプラズマ中の電子と中性原子との衝突の周波数を示す。この衝突周波数は、平均電子速度の、電子の平均自由通路に対する比をとることによって算出される。電子速度は以下の式によって算出される。

$$v^2 = 8 \times k \times T / \pi \times m_e$$

式中、 k = ボルツマン定数である。

40

必要とされるプラズマ密度は、工業的コーターの種類ごとに計算される。以下の説明は、ドラムコーターの場合について当てはまるものであり、特定の形態についてどのように計算を設定するかを示すものである。このようなコーターでは、ターゲットからドラム表面の移動方向に平行する方向に約60cmに渡るチャンパー壁上の領域に酸化物沈着が認められる。基板が処理されるべきドラム表面の移動方向を横切る方向の距離もまた60cmであり、ドラムからチャンパー壁までの距離は10cmである。壁の未絶縁区域に到達するには、電荷は面積が60×10cmである通路に沿って60cmの距離を移動する必要があり、この領域内のプラズマ中に電圧降下が生じる原因となる。チャンパー内における前述の仮定及び条件を用いると、プラズマ中に必要とされる平均電子(又はイオン)密度は、 $8 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ であると計算される。

50

表1は、種々のコーターについて計算した、所要体積及び体積を示す。これらの所要密度及び体積は、本発明を用いない同様の形式のコーターにおいて存在する密度及び体積をはるかに越えるものである。

表 1

本発明によって発生されるプラズマの所要体積及び密度

形式	電流 (amp)	電流通路 長さ(L cm)	電流通路 面積(A cm ²)	所要体積 (cm ³)	所要プラズマ 密度(cm ³)
ドラム	24	60	600	3.6×10^4	2.0×10^{10}
インライン (小型)	24	60	1000	6×10^4	1.2×10^{10}
ロール	32	80	1000	8×10^4	2.1×10^{10}
インライン (大型)	165	100	4500	4.5×10^5	5.9×10^{10}

表1に記載した要件は、説明のみを目的としたものであり、実際のコーティングマシンについての特定の要件として理解すべきではない。これらは、本発明の実施態様によって提供されるべき平均プラズマ密度及び体積の一般的な範囲を説明する役割を果たす。表1に示す全ての場合において、右から2列目(所要体積)に示す体積において、プラズマ密度は 1.2×10^{10} の間の値を越えることが必要であることが強調される。本発明では、それぞれの場合において、上記の体積において、最右列(所要プラズマ密度)の平均密度要件を満たすプラズマを発生させることが、新規な特徴である。

所要特性を有するプラズマを得るために、本発明ではターゲットにごく近接する広範囲アプリケーションを使用し、ターゲット及び基板を取り巻く大量のプラズマを発生させる。このアプリケーションによって生成したプラズマは、これまでスパッタリング法で使用してきたものよりも、より高密度で大体積である。部品の物理的形態は、壁がターゲットからスパッタされた材料と接触せず、よって絶縁層の沈着に付されない領域内に、プラズマが延長するように形成されている。プラズマはこれらの領域内の壁又は他のグラウンドされた導線と接触し、これらの導線を通してグラウンドへの電流通路を提供する。従ってこの方法では、導線は陽極の役割をし、工程の継続中持続する。

図2は、ドラムコーターにおいて使用する本発明の実施態様の主要な物理的部品の断面図である。ケースがグラウンドされ、ターゲットが電源(図示せず)の陰極に接続された、スパッタリングターゲット組立体20がコーティングチャンバーの壁21上に載置される。基板22は回転ドラム23によって矢印24の方向に搬送され、ターゲット組立体上を通過する。磁場線25は、ターゲット表面の上方に延長し、磁場の領域に強力なプラズマを存在させる。プラズマ及びスパッタされた材料は、この領域から外方へ移動し、スパッタされた材料は、チャンバー内の基板及び他の表面上に付着する。

例えば1995年1月1日出願の米国特許出願第08/371,195号に記載されるような、少くとも一つの広範囲マイクロ波活性化プラズマアプリケーション(以下プラズマガイドアプリケーションと称する)を、ターゲット組立体に隣接するようにチャンバー壁上に載置する。二つのこのようなアプリケーション26、27をその断面の輪郭で図2に示す。マイクロ波で駆動する場合には、各アプリケーションは、チャンバー内のガスと接触するその一表面に沿ってプラズマを点火させる特性を有する。アプリケーションの操作原理によって、プラズマの発生表面における密度は、アプリケーション内のマイクロ波エネルギーをその表面で反射してアプリケーション内に戻すのに十分でなければならず、通常マイクロ波周波数2.45GHzでは、密度は約 7.5×10^{10} 電子/cm³以上である必要がある。アプリケーションを駆動するために使用するマイクロ波エネルギーのレベルを増加することにより、プラズマ密度をこの値よりもさらに増加させてもよい。いくつかの実施態様においては、アプ

リケータは、チャンバーの外側でアプリケータに隣接して設置したマグネットパック等の磁石の形態を使用してもよい。アプリケータは、アプリケータの内表面に隣接する空間内にエレクトロンサイクロトロン共鳴（ECR）として知られる現象を生じさせるために必要な強度の磁場を形成する。これにより、磁場を含む空間内のプラズマの強度を実質的に増加させることができる。

特定の実施態様における広範囲アプリケータの形状は、利用可能な種々の形態から、その実施態様に適当なものを選択することができる。本実施態様においては、長軸が紙面に垂直に延長する細長い形状が望ましい。装置の長さは、表1を用意した際には60cmと仮定したが、実質的には紙面に対して垂直に延長し、そこで基板が被覆されるドラム上の領域の幅と同じである。プラズマは、ドラムに対向するアプリケータの表面で発生され、ターゲットの両側の延長領域内へ、矢印28の方向に外方に向かって拡散する。プラズマはまた、ターゲットに隣接する磁場において発生されるプラズマと混合され、ドラムコーターに必要な表1に示した密度を越えた密度を有するプラズマを発生し、ターゲットと、ターゲットから所要距離（表1では60cmと仮定した）離れているチャンパー壁領域との間に、所要導電通路が提供される。

与えられた密度のプラズマが維持される空間は、長軸を図2に示す軸に平行となるように互いに隣接してチャンパー壁に載置した、複数の同様のアプリケータを使用することによって、無限に拡張することができる。

アプリケータの存在は、グラウンドへの信頼性のある電流通路を提供すること以外にもさらに利点がある。アプリケータのプラズマ発生表面にある気体状媒体は、二原子性の酸素又は窒素等の反応性ガスを含み、このガスは、主にアプリケータ表面に近接する領域において、一原子形態等の活性状態に転換される。活性種の分子又は原子は、次いで被覆された基板に向かって外方に拡散し、そこで付着した材料と反応する。

再び図2を参照して、基板が図面の左側でアプリケータ26を通過して移動し、続いてターゲットを通過し、最後にアプリケータ27を通過するにつれ、基板には、ターゲットから拡散するスパッタされた材料が付着する。追加のアプリケータが存在することにより、移動中に基板表面に活性化された原子を連続的に十分に供給することができ、基板表面で完全な反応を確実に起こすことができる。

本発明は、信頼性の高いグラウンドを提供する目的のために必要な密度及び体積のプラズマを提供することができる、いかなる形式のアプリケータの使用をも含む。図3は、アプリケータが、Kieserの米国特許第4,630,568号に開示される発明に基づいている実施態様を示し、この文献は参照により本明細書に組み込まれる。この形式のアプリケータを、進行波アプリケータと称する。図3には、図2に示したものと同様のドラムコーター形態を示す。図3は、磁場線35を有するスパッタリングターゲット30、チャンパー壁31の一部、回転ドラム33によって矢印34の方向に搬送される基板32を示す。輪郭のみを示すマイクロ波アプリケータ36及び37に、Kieserの教示する進行波アプリケータを使用している点で、図2とは異なる。この形式のアプリケータは、内部に細長い進行波構造を有するので、進行波アプリケータと呼ばれる。進行波構造は、図示しないが、その長手軸が図面の面に対して垂直となるように配置する。マイクロ波透過性でアプリケータの一部をなす細長い窓は、その外表面38が、進行波構造の長手軸に平行であり、また窓の中心の上方の点における基板の移動方向に平行である。この構造体をマイクロ波によって駆動すると、アプリケータによって発生した強力で振動する電磁場が、窓を通して、窓の表面と基板との間に存在する空間の領域39内へ延長する。この強力な電磁場は、この領域に強力なプラズマを発生させ、次いでこのプラズマが周囲のチャンパーの領域内へ外方に拡散する。図2の実施態様と同様に、プラズマは、スパッタリングターゲットによって発生したプラズマと混合し、ターゲットの両側にターゲットから離れる方法に延長する延長領域を満たし、よってスパッタリング工程に必要な電流通路を提供する。

図4は、ロールコーティング法において使用される本発明の実施態様を示す。基板は、真空チャンパー41内のスプール42から引き出される可撓性材料のベルトであり、矢印45及び46の方向に移動し、ガイドローラ43に接触する。基板は、ガイドローラ上を移

10

20

30

40

50

動する際に、ターゲット49の両側に配置されるプラズマアプリータ48上を通過し、所望の被覆を得る。被覆された後、基板は巻き取りスプール44上に保管される。前述の実施態様と同様に、チャンパー壁はグラウンドされ、表1でロールコーターについて述べた値を越える密度を有するアプリータからのプラズマは、ターゲットの両側の領域を満たし、グラウンドへの信頼性の高い電流通路を提供する。図4において、導電性材料で作成され、機械的且つ電氣的に壁に接続される支持構造体47及び50は、プラズマを閉じ込め、電流の通過を容易にする。

図5は、建築物の窓のための被覆板ガラスを製造するために使用されるような、大型のインラインコーティングチャンパーと共に、本発明を使用する実施態様を示す。この実施態様において、基板は、他の実施態様と比較すると大きく、大型のチャンパー及びアプリータによって発生されるべき大体積のプラズマを必要とする。この実施態様は、表1の大型インラインコーターに対応するものであり、コーティングチャンパーの幅は、3mとし、奥行きは15cmとした。いくつかのインラインコーターは、表1の例よりもかなり大型である。このような大型のインラインコーターにおいては、複数のプラズマアプリータを使用することが望ましい。図5において、ガラス又は他の材料の大型の矩形シートとして示される基板51が、ベルト又はウェブ等の平坦な表面を有する移動装置52上で搬送され、矢印53の方向に移動する。

スパッターリングターゲット56及びプラズマガイドアプリータ57の図を示すために、コーティングチャンパーの壁54及び頂部55は破断して示す。アプリータ及びスパッターリングターゲットは、細長い矩形平行六面体として示され、その長軸は互いに平行である。基板がプラズマガイドアプリータ及びスパッターリングターゲットの下方を移動するにつれ、基板はコーティングを受け、その後チャンパー内に導入された活性形態の反応性ガスと反応する。前述した実施態様と同様に、アプリータによって発生されたプラズマは、密度が大型インラインコーターについて表1に挙げた値を越えているので、スパッターリングターゲットから離隔したチャンパー壁上の点に電流を搬送することができる導電通路を提供し、コーティングマシンを清掃することによって電流通路のグラウンドを更新する必要が生じる前に処理可能な基板材料の量を顕著に増加させる。

図2、図3、図4、及び図5の実施態様は、汎用形式のコーティングマシンと適合性のある形態の実施例である。これらの形態は、1995年1月11日に出願し、本願の所有者に譲渡された米国特許願第08/371,195号(参照により本願に組み込まれる)の主題であるプラズマガイドアプリータ、及び米国特許第4,630,568号によってカバーされる進行波アプリータを使用した。これらの装置の物理的形狀及び寸法は、所望の操作要件に合うように変更することができる。例えば、プラズマガイドアプリータは、長い矩形の導波管として提供することができ、その断面は、所定形式の機械に適した装置を提供するように変更することができる。アプリータの反対側の面に載置した磁石によって、プラズマを発生させる表面に垂直な方向の寸法を小さくして、磁場の導入を容易にすることができる。また、プラズマを発生させるための円形表面を有するプラズマガイドアプリータを設置してもよい。このようなアプリータは、真円柱の形狀としてもよく、前述の磁場の導入を行うために、この円柱の高さは小さくする。本発明は、複数のアクティベータ又は単一のアプリータを使用するかにかかわらず、陽極電流がグラウンドへと通過する領域に、所要プラズマ密度を供給する目的で設けられたいかなるアプリータ形態の使用をも含む。本発明はまた、関連する磁場を有するまたは有しないアプリータ、及びいかなる物理的形狀又は物理的寸法のアプリータの使用も含む。

本発明の顕著な特徴は、スパッターリング工程において、スパッターリング反応からほぼ独立した方法において、プラズマを発生させることにある。よって、均一性、電子密度、電子温度、励起された活性種の密度、及び体積等のプラズマ特性を、特定のターゲット及びチャンパー形態の所定工程の要件に合うように変更することができる。このようなプラズマ特性の目的に合わせた調整は、最適なアプリータ形態を選択し、アプリータに供給されるマイクロ波パワーを調節することによって達成することができる。これは、直流法において発生されたプラズマの特性が、専らターゲット及びチャンパーの機械的及び電氣的

10

20

30

40

50

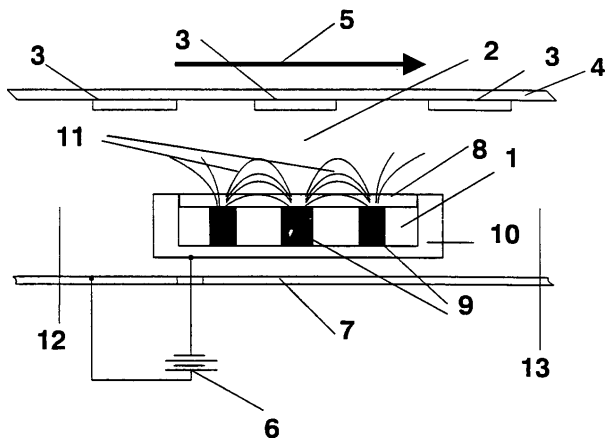
形態によって決定されていた従来技術に対する進歩である。再度図1の説明を考慮すると、従来技術に従って実施する反応スパッタリング法では、プラズマを含む領域は最初に、ターゲットとドラムとの間の小さな領域に限定されていた。工程の間に、プラズマは制御不能の態様で変化していた。

一方、図2、図3、図4、及び図5に示す本発明の実施態様では、プラズマを維持するためのエネルギーの大部分は、アプリケータから供給されるので、スパッタリング工程における条件の変化は、プラズマに顕著な影響を与えない。説明として、ターゲットへの直流電源をオフにしたとしても、図2、図3、図4、及び図5の実施態様においては、基板の近辺にプラズマが存在するであろうことを指摘しておく。本発明では、例えばドラムの回転等のチャンバーの形態の変化、又はグラウンドへの電気的通路の変化等の電気的形態

10

変化によって特性が大幅に変更されないプラズマを発生させる。従って本発明は、蒸着膜の適切な理論値等の所望の結果を達成するために必要な条件を維持する手段を提供する。チャンパー内の変化に非感応性であるプラズマ環境を提供するだけでなく、本発明は、スパッタリング率を変更することなく、環境を制御するための手段を提供する。このような制御は従来技術では達成できない。アプリケータに入るマイクロ波パワーを変更することによって、プラズマの密度、温度、及び空間分布を制御することができる。さらに、プラズマの体積は、複数のアプリケータを使用することによって、拡張することができる。従って、所定スパッタリング率において、スパッタされた材料が付される条件を制御して、所望の結果を達成することができる。

【図1】
FIG. 1



【図2】

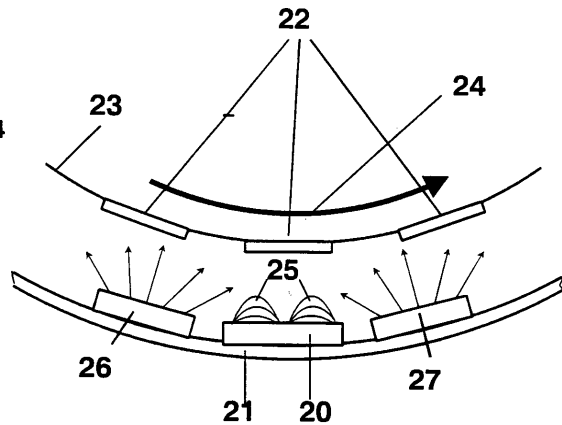


FIG. 2

【 図 3 】

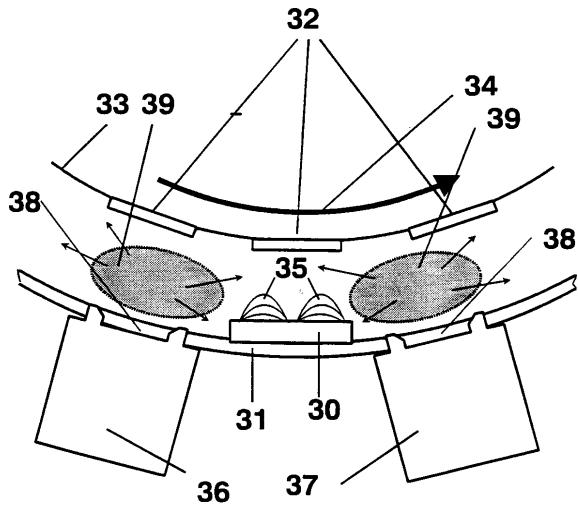
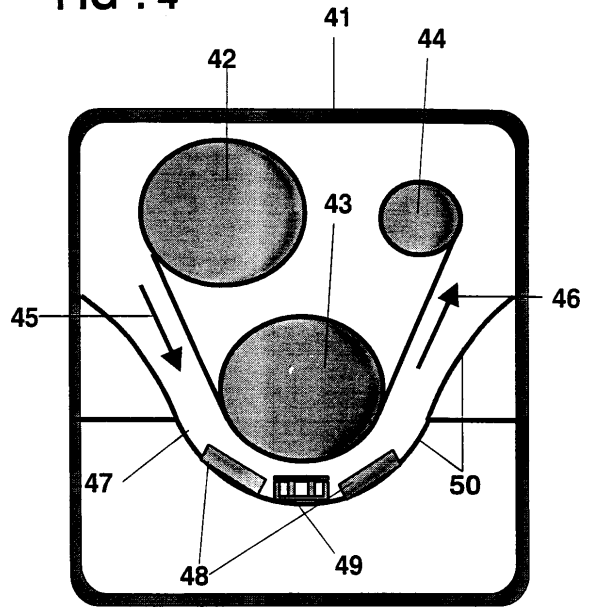


FIG. 3

【 図 4 】

FIG. 4



【 図 5 】

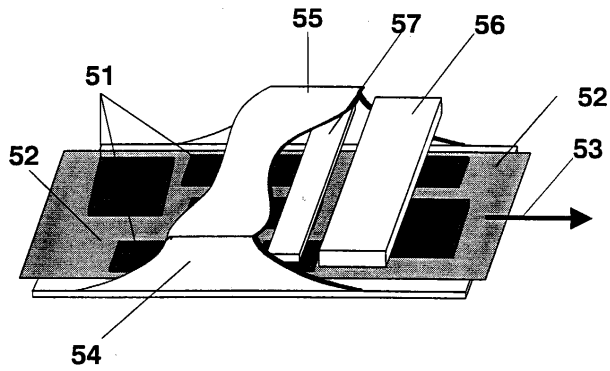


FIG. 5

フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許第05122252 (US, A)
特開平02-004967 (JP, A)
特開平06-002128 (JP, A)
特開平05-156436 (JP, A)
国際公開第95/000677 (WO, A1)
特開昭59-182964 (JP, A)
米国特許第04851095 (US, A)

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