

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第6042048号  
(P6042048)

(45) 発行日 平成28年12月14日 (2016. 12. 14)

(24) 登録日 平成28年11月18日 (2016. 11. 18)

(51) Int. Cl.

F I

C 2 3 C 14/34 (2006. 01)

C 2 3 C 14/34 U

H O 1 L 21/285 (2006. 01)

H O 1 L 21/285 S

請求項の数 30 (全 21 頁)

|              |                              |           |                         |
|--------------|------------------------------|-----------|-------------------------|
| (21) 出願番号    | 特願2009-131896 (P2009-131896) | (73) 特許権者 | 508190746               |
| (22) 出願日     | 平成21年6月1日 (2009. 6. 1)       |           | エリコン メタプラス ゲゼルシャフト      |
| (65) 公開番号    | 特開2010-31359 (P2010-31359A)  |           | ミット ベシュレンクテル ハフツンク      |
| (43) 公開日     | 平成22年2月12日 (2010. 2. 12)     |           | ドイツ連邦共和国 デー ー 5 1 4 2 7 |
| 審査請求日        | 平成24年5月8日 (2012. 5. 8)       |           | ベルギッシュ ー グラートバハ、 ア      |
| 審判番号         | 不服2015-4716 (P2015-4716/J1)  |           | ム ベットヒェルベルク 3 0 - 3 8   |
| 審判請求日        | 平成27年3月11日 (2015. 3. 11)     | (74) 代理人  | 110000855               |
| (31) 優先権主張番号 | 08161322. 6                  |           | 特許業務法人浅村特許事務所           |
| (32) 優先日     | 平成20年7月29日 (2008. 7. 29)     | (72) 発明者  | ジョーンズ アラミ               |
| (33) 優先権主張国  | 欧州特許庁 (EP)                   |           | ドイツ連邦共和国、アーヘン、パールサー     |
|              |                              |           | シュトラーセ 7 8              |
|              |                              | (72) 発明者  | ゲオルク エルケンス              |
|              |                              |           | ドイツ連邦共和国、アーヘン、ビショフシ     |
|              |                              |           | ュトラーセ 3                 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 大電力パルス化マグネトロンスパッタリング方法および大電力電気エネルギー源

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

スパッタリングガス（7）をイオン化するため、プロセスチャンバ（2）内で電気エネルギー源（3）によってアノード（5）とカソード（6）との間に電圧（V）を印加することにより、あるシーケンスの複合放電パルス（4）を発生し、この複合放電パルス（4）は複合パルス時間（ $\tau$ ）の間印加され、前記カソード（6）は基板（9）をコーティングするためにスパッタリングすべき材料を含むターゲット（8）を有し、前記複合放電パルス（4）は前記アノード（5）に対して負極性を有し、第1のパルス時間（ $\tau_1$ ）の間印加される大電力スパッタリングパルス（10）を含み、前記大電力スパッタリングパルス（10）の後に前記アノード（5）に対して正極性を有する小電力電荷除去パルス（11）が続く、この小電力電荷除去パルス（11）は第2のパルス時間（ $\tau_2$ ）の間印加される大電力パルス化マグネトロンスパッタリング方法において、

前記第2パルス時間（ $\tau_2$ ）に対する前記第1パルス時間（ $\tau_1$ ）の比（ $\tau_1 / \tau_2$ ）は最大で0.5であり、

前記第1パルス時間（ $\tau_1$ ）が1  $\mu$ sと5000  $\mu$ sの間であり、  
前記大電力スパッタリングパルス（10）の電圧の大きさが600Vと2000Vの間であり、前記大電力スパッタリングパルス（10）のピーク電流密度の大きさが、0.05 A/cm<sup>2</sup>と5 A/cm<sup>2</sup>の間であり、

前記小電力電荷除去パルス（11）の電圧の大きさが1Vと100Vの間であることを特徴とする、大電力パルス化マグネトロンスパッタリング方法。

## 【請求項 2】

前記第 2 パルス時間 ( $\tau_2$ ) に対する前記第 1 パルス時間 ( $\tau_1$ ) の比 ( $\tau_1 / \tau_2$ ) は、0.005 と 0.5 の間である、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記第 2 パルス時間 ( $\tau_2$ ) に対する前記第 1 パルス時間 ( $\tau_1$ ) の比 ( $\tau_1 / \tau_2$ ) は、0.01 と 0.25 の間である、請求項 2 に記載の方法。

## 【請求項 4】

前記第 2 パルス時間 ( $\tau_2$ ) に対する前記第 1 パルス時間 ( $\tau_1$ ) の比 ( $\tau_1 / \tau_2$ ) は、0.05 と 0.1 の間である、請求項 3 に記載の方法。

## 【請求項 5】

前記小電力電荷除去パルス (11) の後、別の大電力スパッタリングパルス (10) が印加される前に、第 3 パルス時間 ( $\tau_3$ ) の間前記アノード (5) と前記カソード (6) との間の電圧 (V) がオフにスイッチングされ、かつ／またはゼロにセットされる、請求項 1 から 4 のうちのいずれか 1 項に記載の方法。

## 【請求項 6】

前記大電力スパッタリングパルス (10) の後、前記小電力電荷除去パルス (11) が印加される前に、第 3 パルス時間 ( $\tau_3$ ) の間前記アノード (5) と前記カソード (6) との間の電圧 (V) がオフにスイッチングされ、かつ／またはゼロにセットされる、請求項 1 から 5 のうちのいずれか 1 項に記載の方法。

## 【請求項 7】

前記小電力電荷除去パルス (11) の後、別の大電力スパッタリングパルス (10) が印加される前に、第 3 パルス時間 ( $\tau_3$ ) の間前記アノード (5) と前記カソード (6) との間の電圧 (V) がオフにスイッチングされ、かつ／またはゼロにセットされ、前記大電力スパッタリングパルス (10) の後、前記小電力電荷除去パルス (11) が印加される前に、第 3 パルス時間 ( $\tau_3$ ) の間前記アノード (5) と前記カソード (6) との間の電圧 (V) がオフにスイッチングされ、かつ／またはゼロにセットされる、請求項 1 から 6 のうちのいずれか 1 項に記載の方法。

## 【請求項 8】

前記アノード (5) と前記カソード (6) との間に一定の正の電圧 ( $V_p$ ) を永続的に印加し、更に前記永続的に印加される一定の正の電圧 ( $V_p$ ) と同じ振幅を有する負の電圧 ( $V_n$ ) を前記アノード (5) と前記カソード (6) との間に印加することにより、前記第 3 パルス時間 ( $\tau_3$ ) の間前記アノード (5) と前記カソード (6) との間の前記電圧 (V) をゼロにセットする、請求項 1 から 7 のうちのいずれか 1 項に記載の方法。

## 【請求項 9】

前記大電力スパッタリングパルス (10) および／または小電力電荷除去パルス (11) の周波数は、0 Hz と 10 kHz の間である、請求項 1 から 8 のうちのいずれか 1 項に記載の方法。

## 【請求項 10】

前記大電力スパッタリングパルス (10) および／または小電力電荷除去パルス (11) の周波数は、10 Hz と 5 kHz の間である、請求項 9 に記載の方法。

## 【請求項 11】

前記大電力スパッタリングパルス (10) および／または小電力電荷除去パルス (11) の周波数は、25 Hz と 2 kHz の間である、請求項 10 に記載の方法。

## 【請求項 12】

前記小電力電荷除去パルス (11) の電圧は 1 V と 10 V の間である、請求項 1 から 11 のうちのいずれか 1 項に記載の方法。

## 【請求項 13】

前記大電力スパッタリングパルス (10) の前記第 1 パルス時間 ( $\tau_1$ ) は、100  $\mu$ s と 1000  $\mu$ s の間である、請求項 12 に記載の方法。

## 【請求項 14】

10

20

30

40

50

前記大電力スパッタリングパルス(10)の前記第1パルス時間( $\tau_1$ )は、 $25\mu\text{s}$ と $2000\mu\text{s}$ の間である、請求項12に記載の方法。

【請求項15】

前記小電力電荷除去パルス(11)の前記第2パルス時間( $\tau_2$ )は、 $25\mu\text{s}$ より長い、請求項1から14のうちのいずれか1項に記載の方法。

【請求項16】

前記小電力電荷除去パルス(11)の前記第2パルス時間( $\tau_2$ )は、 $1\text{ms}$ より長い、請求項15に記載の方法。

【請求項17】

前記小電力電荷除去パルス(11)の前記第2パルス時間( $\tau_2$ )は、 $25\text{ms}$ より長い、請求項16に記載の方法。

10

【請求項18】

前記複合パルス時間( $\tau$ )は、 $50\mu\text{s}$ と $1000\text{ms}$ の間である、請求項1から17のうちのいずれか1項に記載の方法。

【請求項19】

前記複合パルス時間( $\tau$ )は、 $500\mu\text{s}$ と $500\text{ms}$ の間である、請求項18に記載の方法。

【請求項20】

前記複合パルス時間( $\tau$ )は、 $1\text{ms}$ と $100\text{ms}$ の間である、請求項19に記載の方法。

20

【請求項21】

前記大電力スパッタリングパルス(10)のピーク電流密度は、 $0.1\text{A}/\text{cm}^2$ と $3\text{A}/\text{cm}^2$ の間である、請求項1から20のうちのいずれか1項に記載の方法。

【請求項22】

前記大電力スパッタリングパルス(10)のピーク電流密度は、 $0.5\text{A}/\text{cm}^2$ と $2\text{A}/\text{cm}^2$ の間である、請求項21に記載の方法。

【請求項23】

前記大電力スパッタリングパルス(10)のピーク電力は、 $0.1\text{MW}$ と $3\text{MW}$ の間である、請求項1から22に記載の方法。

【請求項24】

30

前記大電力スパッタリングパルス(10)のピーク電力は、 $0.5\text{MW}$ と $2\text{MW}$ の間である、請求項23に記載の方法。

【請求項25】

前記大電力スパッタリングパルス(10)のピーク電力は $1\text{MW}$ である、請求項24に記載の方法。

【請求項26】

前記スパッタリングガス(7)のイオン化度は、 $3\%$ と $100\%$ の間である、請求項1から25のうちのいずれか1項に記載の方法。

【請求項27】

前記スパッタリングガス(7)のイオン化度は、 $6\%$ と $90\%$ の間である、請求項26に記載の方法。

40

【請求項28】

前記スパッタリングガス(7)のイオン化度は、 $30\%$ と $40\%$ の間である、請求項27に記載の方法。

【請求項29】

前記スパッタリングガス(7)のイオン化度は $90\%$ である、請求項27に記載の方法。

【請求項30】

前記基板(9)をコーティングするための前記スパッタリング法は、反応性スパッタリング法または非反応性スパッタリング法であり、および/または前記基板(9)には、窒

50

化物および／または酸化物および／または炭化物を含むセラミック材料がコーティングされる、請求項1から29のうちのいずれか1項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、それぞれのカテゴリーの独立請求項の前文に記載の、大電力パルス化マグネトロンスパッタリング方法および大電力電気エネルギー源に関する。

【背景技術】

【0002】

スパッタリングコーティング法では、ある種の蒸気を発生し、この蒸気の原子または分子をコーティングすべき基板に衝突させる。スパッタリングガスと称されるガスから発生されたイオンをターゲットに衝突させることによって蒸気を発生するようになっている。このスパッタリングガスは、例えばアルゴンのような不活性ガスとすることができる。放電を生じさせ、それによってガスをイオン化する電子を発生することにより、イオンを生じさせる。磁気促進スパッタリング、すなわちマグネトロンスパッタリングでは、放電内で生じた電子をトラップし、濃縮し、電子のクラウドを形成するよう磁界を発生させる。磁界の形状を適当にするために、ターゲットの表面に位置し、電子密度が高くなっているこの電子クラウドは、ターゲット表面に近い領域におけるスパッタリングガスのイオン化を生じさせる。ターゲットの電氣的なポテンシャルは、電子クラウドが形成される領域のポテンシャルよりも低く、ターゲットは正イオンを引き寄せ、正イオンは高速度でターゲットに向かって移動する。これらイオンのターゲットへの衝撃は、ターゲット材料から原子を剥ぎ取る。こうして剥ぎ取られた原子は、ターゲット表面の外側の領域に向かって移動し、更に放電が生じ、ターゲットがある全空間内に進入する。これらの原子は、前記空間の壁に完全に堆積され、よって基板の表面にも堆積される。

【0003】

磁気閉じ込め法を使用するこの方法のイオン化効率、他のスパッタリング法と比較して比較的高いので、比較的低い電力レベルを使用することができ、かつ同時に高いスパッタリングレートを得ることができる。磁界強度線に垂直な方向の電子の損失は、磁界の幾何学的形状を適当に設計することによって抑制されるので、基板への衝突が最小となり、特に基板上での膜成長時における基板の加熱は他のスパッタリング法の場合よりも大幅に少ない。磁界強度線の方角への電子損失は、磁界の幾何学的形状と電界の幾何学的形状との組み合わせにより決定され、この組み合わせは、いわゆる電子のミラー閉じ込め部を形成するように設計できる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】 米国特許第6, 296, 742 B1号

【特許文献2】 米国特許第5, 015, 493 A1号

【特許文献3】 国際特許出願第WO 2006/049566 A1号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、マグネトロンスパッタリング法には、他のスパッタリング法と比較してある欠点がある。最も重要な欠点の1つは、ターゲットの利用率が低く、それに付随する効果として、堆積される層の厚さが不均一となることである。このことは、基本的には電子温度が低いことためスパッタリングガスの利用が局部的になることから生じるものである。低い電子温度および磁界と電界の幾何学的形状から生じる閉じ込め効果により、イオン化を生じさせる電子は、ターゲットの表面より上の領域またはターゲットの表面から短距離にある狭い領域に集中する。これら狭い領域は、磁界を生じさせるために使用される磁石の極の間にも存在する。これら局所的な狭い領域では、スパッタリングガスのほとんどが

イオン化される。イオン化後イオンが移動し、実質的にターゲットの表面に垂直な経路を  
通ってターゲットの表面に向かってイオンが移動し加速される。したがって、イオン領域  
の位置はターゲット表面にマッピングされ、ターゲットの不均一な侵食（エロージョン）  
または摩耗となる。このことはまた、完全に侵食されるまでターゲットの限定された部分  
しか利用できない状況を生じさせる。

#### 【0006】

印加される電圧を高くすることにより、イオン化されたガスの量を増加することができ  
るが、アークが生じる確率も極めて高くなり得る。

#### 【0007】

磁気促進スパッタリングは、例えば物体を種々の材料でコーティングするために科学技  
術で広く使用されている。磁気促進スパッタリングを使用する最も重要な分野では、加工  
品をコーティングするためのマグネトロンスパッタリング装置を一般に使用する。更に、  
極めて低い気圧を生じさせるスパッタリングイオンポンプでも、ある対象物のコーティ  
ングが主な目的でない磁気促進スパッタリング法が使用されるが、このプロセスでは、チャ  
ンバの壁表面にスパッタリングされた新しい原子が堆積されるとき、この表面はイオン化  
ガスの分子または原子を吸着し、イオン化ガスの圧力を低下させる。

#### 【0008】

スパッタリングイオンポンプは、今日、高い真空が必要とされかつ使用される、科学技  
術の多数の異なる分野で使用されている。科学では、例えば原子物理学、粒子加速器にお  
ける核物理学、固体物理学、熱核融合の研究のためのプラズマ物理学、電子工学およびマ  
イクロ電子工学における異なる研究、および光学的デバイスや機器などのための層を堆積  
するプロセスの開発では、スパッタリングイオンポンプが使用されている。技術の分野で  
は、エレクトロニクスおよびマイクロエレクトロニクスの回路を製造するための処理、レ  
ンズおよび鏡板のような光学的デバイスのためのコーティングを作製する工業用粒子加速  
器、研削および研磨工具の製造、更に他の多くの分野においても、スパッタリングイオン  
ポンプが使用されている。

#### 【0009】

しかしながら、従来のスパッタリングイオンポンプだけでなく、今日使用されている他  
のスパッタリングデバイスにはある欠点がある。

#### 【0010】

最も重要な欠点は、スパッタリング法で使用する放電中に、電極が加熱されることに  
よって電極の脱ガスが生じることから、放電電力が限られることである。従来のスパッタ  
リング方法で使用する放電電力が過度に高くなった場合、電極もかなり加熱され、電極  
の脱ガスレートは電極のガス吸着強度を越える。この現象は、 $10^{-2} \sim 10^{-5}$  Torr  
の圧力のレンジ内で最もクリティカルである。したがって、 $10^{-2} \sim 10^{-3}$  Torr  
の圧力レンジ内で従来のスパッタリングイオンポンプの作動がスタートするとき、ポン  
プの動作は、電極間の電圧が約 $-200$  Vという低い値になっていること、および放電電  
流が大きいことを特徴とする。このように電圧が低くなっていることにより、原子／分子  
を吸着するためのスパッタリング（ゲッタースパッタリングとも称される）の効率は極め  
て低く、よってポンピング速度も極めて低い。放電電流を増加した場合、電極の温度も高  
くなるので、電極を脱ガスするレートも高くなる。更に、 $10^{-3} \sim 10^{-5}$  Torr の  
より低い圧力レンジでは、放電電流はまだ大き過ぎ、放電電力を制限する必要がある。

#### 【0011】

更にスパッタリング、特にマグネトロンスパッタリングによるコーティングは、多数の  
技術分野で使用されている。このスパッタリングは腐食防止コーティング、耐摩耗コー  
ティング、耐熱コーティング、装飾コーティング、光学的コーティング、ディスプレイのた  
めの透明な導電性コーティング、金属性の膜によるポリマーのコーティング、磁気メモリ  
のための強磁性コーティング、メモリセルのための超導電性コーティング、光およびX線  
パターンのための超微細コーティング、ハードコーティング（炭化物、窒化物）、抵抗性  
コーティング、エレクトロニクスおよびマイクロエレクトロニクスにおけるメタライゼー

10

20

30

40

50

ション、RF、HFおよびUH機器などのメタライゼーションで利用できる。

【0012】

マグネトロンスパッタリングによって製造されるコーティングの有利な特徴は、例えば基板への付着力が大きいこと、および多孔度が小さいことである。更に磁気促進スパッタリングは、コーティングすべき基板に対してわずかな放射ダメージしか与えない。コーティングプロセス中、基板を低い温度に維持できるという技術により、デリケートな材料もコーティングできる。磁気促進スパッタリングは、スパッタリングレートが高くでき、更にターゲットからスパッタリングされた原子がガス内の原子と結合し、結合した原子によって形成された分子から成るコーティングを生じさせる反応性スパッタリングにも適す。更にこのスパッタリングにより、超導電性材料のスパッタリング、強磁性材料のスパッタリング、複合材料のスパッタリングおよび溶融温度が高い材料のスパッタリングが可能となる。

10

【0013】

マグネトロンスパッタリングは、電子ビーム蒸発およびRFスパッタリングのような他の同様なコーティング方法と比較して、多くの点で有利である。

【0014】

既に観察されているように、磁気促進スパッタリング、例えばマグネトロンスパッタリングおよびスパッタリングイオンポンプのような従来の方法には、多数の欠点がある。

【0015】

したがって、スパッタリング法への電力を離散的なパルス、すなわち個別のパルスで提供する方法がこれまで提案されている。

20

【0016】

例えば米国特許第6,296,742B1号では、主に基板上へのコーティングの作製および極めて低い圧力を生じさせるためのスパッタリングのイオンポンププロセスの双方のために、磁気促進スパッタリング法および対応する装置が開示されている。しかしながら双方のケースでは、スパッタリングされた層が形成される。

【0017】

上記米国特許第6,296,742B1号に記載の磁気促進スパッタリング法および対応する磁気強化スパッタリングデバイスでは、極めて強力な離散的パルスを発生するパルス発生器が提供されており、これらのパルスは主にコーティングを作製するためのマグネトロンスパッタリングユニットの電極へ送られるか、または極めて低い圧力を発生させるためのスパッタリングイオンポンプの電極に送られる。

30

【0018】

スパッタリングデバイスでこれまで使用されてきたターゲットの典型的な面積では、各パルスのパワーは、0.1kW~1MWの範囲内、好ましくは10kW~1MWの範囲内とすることができる。これらパルスは100マイクロ秒以下から数百マイクロ秒の範囲の持続時間と、パルスの間隔は数百マイクロ秒~数ミリ秒の範囲、極めて特殊なケースでは、数秒までの範囲を有することができる。

【0019】

ターゲットの表面には、マグネトロン構造のような従来の構造を有する磁界が配置される。ターゲットは通常静止した物体であり、この物体からスパッタリングすべき材料が基板に堆積される。イオン化できるように選択されたガスがターゲットを含むチャンバへ供給され、チャンバ内のアノードとカソードとの間に負の電圧が印加される。カソードはターゲットとなり、アノードはチャンバの壁の一部となる。次にアノードとカソードとの間で放電が生じ、印加された電圧によって生じた電界との協調により、磁界内にトラップされた電子が発生する。

40

【0020】

そのようなピーク電圧を有するパルスとして負電圧が印加され、各パルスにおいて十分なパワーが生じるように提供されるので、かかるパルスの印加時にパルスのスタート中の極めて短い時間の間、磁界により電子がトラップされている領域にあるガスの状態が、ほ

50

ば完全にイオン化した状態に極めて急速に到達し、ターゲットの表面の広い部分に広がるより広い領域において、実質的に一様なプラズマが生じ、磁界と電界とが交差して存在する場所に位置する。完全にイオン化した状態に極めて急速に変化する際に、前記領域内にあるガスは、まずグロー放電状態となり、最後に完全にイオン化した状態となるようにアーク放電の状態を続ける。このように、スパッタリングガスをイオン化するレートは、従来の方法と比較して強力に高められる。したがって、このような効果は主に放電の瞬間的パワーを強力に増加させることによって達成され、この放電電力をパルス化しなければターゲットおよびスパッタリングチャンバの部品は過度に加熱されることになるので、放電電力をパルス化しなければならない。したがって、パルス化される電力の極めて高い絶対レベル、すなわち均等な、発生した電気パルスの極めて高いレベルの電力密度がスパッタリング装置に提供される。このことはカソードエリアと称される極めて高い電力密度を有するこれらのカソードへの電気パルスを用いることによって達成される。

10

#### 【0021】

放電時には電流が極めて大きくなり、電流密度が高くなる。しかしながら、使用される電流がバーンアウト電流と称されるスレッシュホールド値よりも低くなった場合、ターゲットの表面に酸化膜がなくても、放電は常にアーク放電となる。

#### 【0022】

従来のマグネトロンスパッタリング装置は、非反応性スパッタリングおよび反応性スパッタリングの双方で、大きいアークが形成されなくても、パルスでそのような高いパワーレベルでも作動できることが分かってきた。このような高い電力レベルによって、十分に高い電流密度および十分に高い印加電圧に対して、カソードの近くでほぼ完全にイオン化したプラズマを発生することが可能となる。この放電状態は従来のスパッタリングに使用されるグロー放電領域から離間しており、交差している電界および磁界中のパルス状の強力な放電状態、すなわち  $E \times B$  放電と呼ぶことができる。

20

#### 【0023】

米国特許第 6, 296, 742 B1 号に記載の放電パルスは、放電したコンデンサからスパッタリング装置の電極と直列接続されたインダクタを通して送ることができる。このパルスは、ピーク電圧まで極めて急峻な立ち上がりエッジを含む形状となっており、このパルスの電圧は基本的には指数減少関数のように減少する。

#### 【0024】

当然ながら、先端技術で知られている他のパルスシーケンスも使用できる。上記の方法は、例えば矩形パルスを使用する米国特許第 5, 015, 493 号記載の方法とは異なっている。しかしながら、スパッタリング装置内の電極間のガスから成る負荷が、各瞬間に正確なパルス形状を決定する。例えば入力電圧がこの状態を維持するのに十分である限り、ガスが電界と磁界とが交差して高度にイオン化された状態にあるときに、かなり高く実質的に一定の電圧を維持するパルス形状を各瞬間にガスが決定する。かかるパルスは、コンデンサおよびインダクタの他に従来のスリッドステートスイッチ、例えばサイリスタおよび整流ダイオードを使用する数個の部品を有する電気回路によって容易に発生できる。この電気回路は、例えば 10 MW までの電力のパルスを発生するようにでき、発生したパルスのピーク電圧は 0 ～ 数十キロボルトまでの範囲とすることができる。ピーク電圧はパルスの電力を決定し、したがってスパッタリング装置内で発生される電力密度および電極間を通過する電流、したがって電流密度を決定する。

30

40

#### 【0025】

したがってパルス発生器は、電源から充電されるように接続された放電コンデンサを一般に備える。このコンデンサはインダクタを介し、スパッタリングデバイスの電極を通して放電されるようになっており、インダクタのインダクタンスは、スパッタリングガスの所望するプラズマ状態を得るために、放電のピーク電流またはピーク電流密度をそれぞれ制限するように選択される。このコンデンサは、第 1 トランスの二次側からダイオードを介して放電することができ、半導体スイッチのようなスイッチング要素をコンデンサから電極まで延びるライン内に接続し、放電状態となるようにスイッチングできる。次にこの

50

スイッチは、第1トランスへも給電する電源から得られる交流電流に対して実質的に180度オフセットした交流電圧により、導通状態となるように制御することが好ましい。この交流電圧は、第1トランスと同じ幹線電源に一次側が接続されている第2トランスの二次側から得ることができる。

#### 【0026】

既に述べたように、強力なパルスの中にターゲットの近くにおけるガスをほぼ完全にイオン化することによって、電気アークを形成することなくスパッタリングプロセスをまだ維持しているアノードとカソードターゲットとの間のギャップに高電圧を印加することが可能となる。このことは、 $10^{-1} \sim 10^{-3}$  Torr の圧力レンジ内でも達成できる。圧力の上限は、電子を磁界内で意図するように正しく移動させるという条件によって定められる。完全にイオン化されたプラズマの状態が生じている間の電圧は、数百V～数kV、特に4～5kVの電圧とすることができる。この現象によって、 $10^{-1} \sim 10^{-2}$  Torr の初期圧力でスパッタリングイオンポンプをスタートすることが可能となる。

10

#### 【0027】

広範な領域においてほぼ完全なイオン化が行われる結果、ターゲットの表面に対する実質的に均一な衝突が生じ、これによってターゲットの利用率は高い率となる。例えば米国特許第6,296,742B1号に記載の方法によれば、スパッタリングのためのターゲットとして使用される6mmの厚さを有するアルミディスクの利用率は、70%である。このような一様なイオンの流れは、例えば基板に堆積する膜の均一性も高くするであろう。

20

#### 【0028】

次の記載では、いわゆる「大電力インパルスマグネトロンスパッタリング」(HIPIMS)または「大電力パルス化マグネトロンスパッタリング」(HP PMS)の一部の基本的な周知の原理および性質について簡単に概要を説明する。

#### 【0029】

図1aには、大電力マグネトロンスパッタリングのための代表的な周知のパルスシーケンスが示されている。この図1aに示されたシーケンスは等間隔の大電力パルスから成り、各単一のパルスは約100μsの時間幅を有し、2つのパルスの間の時間間隔は約10msである。

#### 【0030】

図1bは、図1aに示されたパルスに関連する、それぞれの時間に依存した電圧および電流の発生を示す。ターゲットであるカソードと例えば処理チャンバの壁であるアノードとの間に約-1800Vの電圧が印加されるが、電圧のピークは極端に鋭く、カソードとアノードとの間の電圧は、まず最初に数マイクロ秒以内に約-1800Vからこの値の半分の値まで緩和し、約50μs後に約0Vに達する。関連する電流は0Aから、約30μs後の約450Aの最大値までシャープに増加し、約100μs後に0Aまで戻るように低下する。電圧と電流を適当に乗算すると、図1aに示された大電力パルスとなる。

30

#### 【0031】

表1では、大電力マグネトロンスパッタリング法で使用される「大電力パルス」(HP P)と、「従来のDCスパッタリング」との間の代表的な電気処理値の比較が示されている。この差は明らかである。HIPIMSおよびHP PMSでは、大電力マグネトロンスパッタリング法でそれぞれ使用されるかなり大きいピーク電圧およびピーク電流の結果生じる、かなり大きいピークパワー密度が印加される。

40

#### 【0032】

【表 1】

|            | 大電力パルス (HPP)              | 従来のDCスパッタリング              |
|------------|---------------------------|---------------------------|
| ピーク電圧      | 約0.8 – 2KV                | 約 300V – 500V             |
| ピーク電流密度    | 約1 – 10 A/cm <sup>2</sup> | 約 10mA/cm <sup>2</sup>    |
| ピーク電力密度    | 約1 – 20KW/cm <sup>2</sup> | 約 1 – 10W/cm <sup>2</sup> |
| デューティファクター | 約1%                       | 約 100%                    |

10

表 1：HPPと従来のDCスパッタリングとの比較

## 【0033】

適当に離間した短いパルスを使用することにより、印加電力を増すと、ターゲットを過熱することなくプラズマの密度を高めることができ、この方法では同時にターゲットの侵食、すなわちターゲットの利用が同時に改善される。プラズマの密度が高いことにより、すなわちイオン化率が100%までのより高い程度になっていることにより、スパッタリングされるコーティングは既にこれまで説明したように、優れた特徴を示す。

20

## 【0034】

当然ながら、図1aおよび図1bに示された大電力パルスを使用する、最先端技術で公知の大電力マグネトロンスパッタリング法の種々の異なる実施形態が存在する。

## 【0035】

例えば最先端技術ではユニポーラ（単極）法が周知となっており、この方法では、2つの連続する大電力パルスは極性が同じである。すなわち例えばターゲットは常に負の電極であり、処理チャンバの壁は常に大電力パルスの正の電極である。ユニポーラパルスシーケンスの一例は図2aに例示されている。

## 【0036】

他方、図2bに示されたバイポーラ（双極）方法も周知であり、これら方法は2つの連続する大電力パルスの極性が異なっていることを特徴とする。すなわち第1大電力パルスに関しては、ターゲットは例えば負の電極となり、それに続く第2の大電力パルスに対し、ターゲットはスパッタリングシステムの正の極となる。

30

## 【0037】

図2cには、いわゆる「重ね合わせモード」が示されている。この重ね合わせモードは、ユニポーラパルスシーケンスの特殊な実施形態であり、図2aに示されたユニポーラシーケンスの他に、所定の値のDC電圧が重ね合わせられる。

## 【0038】

図2dには別のバイポーラパルスシーケンスが示されている。基本的には、図2dのシーケンスは重ね合わせモードを示し、この重ね合わせモードでは、負のユニポーラパルスシーケンスの他に、所定の値の正のDC電圧が重ね合わせられ、よって2つの連続する負のパルスの間の電圧が、重ね合わせられた正のDC電圧に対応する正の値を有するようになっている。正のDC電圧の大きさは負のスパッタリングパルスの大きさより小さくなっている。曲線Cは、対応する電流の時間依存性を略図で示す。電流の平均値は、例えば約10Aであり、これらパルスのパワーは例えば約10kWである。電流は大きなピークを有していないが、平滑な特性を有していることに留意すべきである。更に、負のパルスの長さは2つのパルスの間の間隔と比較してより長くなっており、この間隔で、より小さい正の電圧が印加される。

40

## 【0039】

純粋なユニポーラパルスシーケンスまたは純粋なバイポーラパルスシーケンスなどでは

50

、大電力パルスの長さおよび／または連続する大電力パルスの間の間隔を変えることも可能である。

#### 【0040】

反応性スパッタリング法および非反応性スパッタリング法では、当業者が周知のように、大電力パルスシーケンスを有利に印加することもできる。

#### 【0041】

使用すべき選択方法は、種々の境界条件および満たすべき要件に依存しており、例えば基板、コーティングに必要とされる元素のタイプ、コーティングすべき膜の必要な性質などに依存している。

#### 【0042】

大電力パルス／インパルスマグネトロンスパッタリングは、従来のスパッタリング法と比較してある利点を有するが、大電力インパルスマグネトロンスパッタリング（HIPIMS）、更に大電力パルス化マグネトロンスパッタリング（HP PMS）とも称される方法には、ある欠点が存在する。

#### 【0043】

大電力スパッタリングに関連する1つの問題は、基板の表面が容量性電荷により帯電することである。

#### 【0044】

図3には、金属製ベース材料2000'を含むターゲット1000'が示されており、このベース材料上には図3に示されていない基板にスパッタリングすべき酸化物材料から成る酸化膜3000'が設けられている。この構造は、基本的には電荷を集めることができるコンデンサであり、例えば図2aに示されるユニポーラ大電力スパッタリング法を実施するケースでは、ターゲット1000'の金属製ベース材料2000'は電源5000'の負極に接続されているので、電源5000'の正極に接続されたチャンバの壁6000'に対して、この金属製ベース材料2000'は負のポテンシャルを有する。この結果、ターゲット1000'はその表面1100'上に正イオン4000'を蓄積し、その結果、ターゲット1000'の負のポテンシャルは低下し、更に一方でターゲット1000'の表面1100'の近くでのイオン化プロセスが低下し、よって例えばスパッタリングプロセスも低下することになる。

#### 【0045】

ターゲット1000'の表面1100'上の正の電荷を低減するために2つの負のパルスの中でターゲット1000'に図2dの正の電圧を印加する。2つのパルスの中でターゲットに印加された正の電圧は、表面1100'から正の電荷を除去する。除去電荷量は次の式により、いわゆる「仕事関数 $V_+$ 」を使って計算できる。

#### 【数1】

$$\int_0^T V_+ \cdot dt$$

ここで、Tは2つの負パルスの中の電荷除去の継続時間である。

#### 【0046】

しかしながら一方で、図2dの公知のパルスシーケンスの欠点は、2つの負パルスの間にターゲットに印加される相対的に大きい正電圧に起因し、ターゲット表面に向かって電子が加速され、ターゲットの許容できない加熱を生じさせることである。ターゲットの表面から正の電荷が除去されていない場合、プラズマは遅かれ早かれ即座にブレイクダウンする。他方、電流が平滑な特性のために、スパッタリングパルス中に印加される電力は、パルスシーケンスの間にばかされ、この結果、スパッタリングガスのイオン化度は低下する。最先端技術で周知のように、低イオン化プラズマガスは高イオン化プラズマと比較して取り扱いが困難であり、ターゲット材料の利用率が不十分となる。更に、そのスパッタ

10

20

30

40

50

リングプロセスで作製されたコーティングの密度および均一性は悪い。

【0047】

図2dに示されたパルスシーケンスを使用する場合の別の重要な問題は、大電力スパッタリングパルスに関連する電流は、高電力パルスをスイッチングした後でも消滅せず、ゼロとはかなり異なる値を常時有するという事実から生じる。

【0048】

この結果、その永続的に存在する電流に起因してターゲットに向かって電子が加速され、ターゲットはかなり加熱されることになる。

【0049】

更に多くのケースでは、特に大電力スイッチングパルスおよび小電力電荷除去パルスのために印加すべき正電圧と負電圧の差によっては、大電力負パルスの比較的高い負電圧から小電力電荷除去パルスの正電圧まで、またはこの逆に、パルス発生用電気エネルギー源を、問題を生じることなく適正にスイッチングすることは極めて困難である。

【0050】

したがって、本発明の目的は、高いイオン化度が得られ、同時にターゲットの表面から正の電荷が除去され、ターゲットの加熱が防止されると共に、ターゲット材料の高い利用率を得ることができる磁気促進大電力スパッタリング法、およびそれぞれのスパッタリング装置を提供することにある。これによって、本発明の方法によって作製されるコーティングは、最先端の技術から公知のコーティングに対して改善され、特に本発明に従って作製されるコーティングは、密度および均一性に関して改善されるであろう。

【課題を解決するための手段】

【0051】

これら目的を満たす本発明の要旨は、それぞれのカテゴリーの独立請求項の事項を特徴とする。

【0052】

従属請求項は、本発明の特に有利な実施形態に関する。

【0053】

したがって、本発明は、プロセスチャンバ内で電気エネルギー源によってアノードとカソードとの間に電圧を印加することにより、あるシーケンスの複合放電パルスを発生し、スパッタリングガスをイオン化する大電力マグネトロンスパッタリング法に関する。前記複合放電パルスは複合パルス時間の間に印加され、カソードは基板をコーティングするためにスパッタリングすべき材料を含むターゲットを有し、前記複合放電パルスは前記アノードに対して負極性を有し、第1のパルス時間の間印加される大電力スパッタリングパルスを含み、前記大電力スパッタリングパルスの次に前記アノードに対して正極性を有する小電力電荷除去パルスが続き、この小電力電荷除去パルスは第2のパルス時間の間に印加される。本発明によれば、前記第2パルス時間 ( $\tau_2$ ) に対する前記第1パルス時間 ( $\tau_1$ ) の比 ( $\tau_1 / \tau_2$ ) は、最大で0.5である。

【0054】

本発明では、複合放電パルスは、まず比較的小さい第1パルス時間の間印加される負の大電力スパッタリングパルスと、これに続く比較的小さい正の電荷除去パルスとを含むことが不可欠である。

【0055】

約600V～1000Vの高電圧または1000Vより高い高電圧を有する負の大電力パルスを比較的小さいインターバルの間にしか印加しないので、対応する電流は平滑な特性を示すことができず短いピーク構造を有し、印加された電圧の鋭くかつ極めて短いパルスと同時的にかつ鋭く相関性がある。この結果、印加される電力は鋭く集中され、印加される短い電圧パルスと強力に同時的に結合するので、極めて短い間隔の間に全電気エネルギーが印加され、これによってプラズマの極めて高いイオン化が生じる。本発明の方法を使用することにより、ほぼ100%のイオン化度を容易に得ることができる。

【0056】

負の大電力スパッタリングパルス後に、正の小電力電荷除去パルスが印加される。この電荷除去パルスの間に、一方で例えば1 V～10 Vの極めて低い電圧が印加されるのでターゲットから正の電荷が確実に除去され、同時に電子の顕著な蓄積が解消されるのでターゲットの加熱が基本的に防止される。

【0057】

第2パルス時間 ( $\tau_2$ ) に対する第1パルス時間 ( $\tau_1$ ) の比 ( $\tau_1 / \tau_2$ ) は、0.005～0.5の間、特に0.01～0.25の間、好ましくは0.05～0.1の間であることが好ましい。

【0058】

本発明の特別な実施形態によれば、前記小電力電荷除去パルス後、別の大電力スパッタリングパルスが印加される前に、第3パルス時間 ( $\tau_3$ ) の間前記アノードと前記カソードとの間の電圧がオフにスイッチングされ、かつ／またはゼロにセットされる。

10

【0059】

ターゲットに印加される電圧をオフにスイッチングされるかまたはゼロにセットされる第3のパルス時間中、システムには開始状態に緩和するための時間が与えられるので、各単一の複合パルスの間に基本的には同じスパッタリング条件が与えられ、これによってイオン化度が高くなり、基板上にコーティングされる膜に対するターゲットの電荷除去方法が極めて効果的となるため、この膜は密度が高くなり均一性が大幅に改善される。このように最先端技術で知られている方法でスパッタリングされた膜と比較して、物理的かつ化学的性質が大幅に改善される。

20

【0060】

既にこれまで説明した利点の他に、パルスシーケンスを使用すると、小電力電荷除去パルスを発生するための正電圧から、大電力負スパッタリングパルスを発生するための比較的高い負電圧へ、スパッタリングパルス発生用電気エネルギー源を、問題を生じることなく容易かつ適性にスイッチングできる。

【0061】

本発明の別の特別な実施形態によれば、前記大電力スパッタリングパルス後、前記小電力電荷除去パルスが印加される前に、第3パルス時間 ( $\tau_3$ ) の間前記アノードと前記カソードとの間の電圧がオフにスイッチングされ、かつ／またはゼロにセットされる。

【0062】

30

比較的広い消滅時間を電流が有する場合、かかる複合大電力シーケンスが特に適当である。当業者には周知のように、大電力スパッタリングパルスに関連する電流は、大電力パルスをオフにスイッチングした後に即座にゼロとはならず、電流が消滅するまである程度の時間がかかる。よって、大電力パルス後で、電流がゼロとはかなり異なる多少広い消滅領域が生じる。

【0063】

この結果、大電力スパッタリングパルスをオフにスイッチングした直後に、小電力電荷除去パルスを印加する場合、実際のスパッタリング方法の具体的な境界条件によっては、消滅時間の間にまだ存在する電流により、ターゲットに対して電子を加速することができ、この加速によってターゲットをかなり加熱し得るようになる。

40

【0064】

この問題は、大電力スパッタリングパルス後、小電力電荷除去パルスを印加する前に、第3パルス時間の間アノードとカソードの間の電圧をオフにスイッチング、かつ／またはゼロにセットする、特殊な複合放電パルスを使用することによって容易に解決できる。

【0065】

当然ながら、本発明に係わる異なる実施形態を組み合わせることが可能である。したがって、実際に極めて重要な実施形態に関し、小電力電荷除去パルス後、別の大電力スパッタリングパルスが印加される前に、第3パルス時間の間前記アノードとカソードとの間の電圧がオフにスイッチングされ、かつ／またはゼロにセットされ、大電力スパッタリングパルス後、小電力電荷除去パルスが印加される前に、第3パルス時間の間アノードと

50

カソードとの間の電圧がオフにスイッチングされ、かつ／またはゼロにセットされる。

【0066】

第3パルス時間の間アノードとカソードの間の電圧をオフにスイッチングし、かつ／またはこの電圧をゼロにセットするために、例えば電気パルスエネルギーを供給する電源を、大電力スパッタリングパルスの負の電圧から小電力電荷除去パルスの正の電圧に、またはこの逆に、スイッチングすることができる。

【0067】

別の実施形態によれば、第1の正の電源を使って、前記アノードと前記カソードとの間に一定の正の電圧を永続的に印加し、更に例えば、しかし必ずではないが、第2の負の電源を使って永続的に印加される一定の正の電圧と同じ振幅を有する負の電圧をアノードとカソードとの間に印加することにより、第3パルス時間の間アノードとカソードとの間の電圧をゼロにセットする。かかる構造には、電源を正の電圧から負の電圧まで、またはその逆にスイッチングする必要がなく、高い負の電圧から低い負の電圧まで、またはその逆にスイッチングするだけでよい利点がある。

10

【0068】

本発明の極めて特別な実施形態によれば、大電力スパッタリングパルスおよび／または小電力電荷除去パルスは低周波数のAC電圧であり、特に整流された低周波のAC電圧である。

【0069】

大電力スパッタリングパルスおよび／または小電力電荷除去パルスの周波数は、0 Hz～10 kHz、特に10 Hz～5 kHz、好ましくは25 Hz～2 kHzであり、大電力スパッタリングパルスの電圧は、例えば100 V～3000 V、好ましくは600 V～2000 Vである。

20

【0070】

もちろん多くのケースでは、最先端技術から基本的には周知のように、好ましくは大電力スパッタリングパルスおよび／または小電力電荷除去パルスはDC電圧である。

【0071】

前記小電力電荷除去パルスの電圧は、本発明の実施形態では、非常に重要なことであるが0 V～500 V、好ましくは1 V～300 V、特に1 V～100 Vである。

【0072】

本発明による複合大電力パルスを発生する時間間隔に関し、大電力スパッタリングパルスの第1パルス時間は、1  $\mu$ s～5000  $\mu$ s、特に100  $\mu$ s～1000  $\mu$ s、好ましくは25  $\mu$ s～2000  $\mu$ sであり、小電力電荷除去パルスの第2パルス時間は、25  $\mu$ sより長く、特に1 msより長く、または25 msより長いことが好ましく、複合パルス時間は、50  $\mu$ s～1000 ms、特に500  $\mu$ s～500 msの間、好ましくは1 ms～100 msであり、この複合パルス時間は、ターゲットに印加される電圧をゼロにセットするかオフにスイッチングする時間を、大電力スパッタリングパルスの第1パルス時間および小電力電荷除去パルスの第2パルス時間に関連して定める。

30

【0073】

特別な実施形態に関連して、大電力スパッタリングパルスのピーク電流密度は、例えば、ターゲットの面積に応じ（それだけではないが）0.05 A/cm<sup>2</sup>と5 A/cm<sup>2</sup>の間、特に0.5 A/cm<sup>2</sup>と2 A/cm<sup>2</sup>の間、好ましくは0.1 A/cm<sup>2</sup>と3 A/cm<sup>2</sup>の間であり、大電力スパッタリングパルスのピーク電力は、0.1 MWと3 MWの間、特に0.5 MWと2 MWの間、好ましくは約1 MWである。

40

【0074】

本発明による方法を使用した場合、スパッタリングガスのイオン化度は50%と100%の間、特に75%と95%の間、好ましくは約90%であり、ほぼ100%に達することもある。

【0075】

よって本発明による方法は、原則的には最先端技術から周知のように、反応性スパッタ

50

リング方法および非反応性スパッタリング方法の双方に適する。

【0076】

特別な実施形態では、基板にはセラミック材料、特に窒化物および／または酸化物および／または炭化物がコーティングされるが、本発明による方法は、上記種類の材料だけに限定されるものではない。

【0077】

更に本発明は、本発明による方法を実行するための複合放電パルスが発生するための大電力電気エネルギー源にも関する。

次の記載において、添付図面を参照し、本発明についてより詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

10

【0078】

【図1】 aは公知のユニポーラ大電力マグネトロンスパッタリングシーケンスを示す。bは図1 aに示された大電力パルスを示す。

【図2 a】 図1 aに示されたパルスシーケンスのための電圧の時間依存性を示す。

【図2 b】 公知のバイポーラ大電力マグネトロンスパッタリングシーケンスを示す

【図2 c】 公知の重ね合わせ大電力マグネトロンスパッタリングシーケンスを示す。

【図2 d】 別の重ね合わせ大電力マグネトロンスパッタリングシーケンスを示す。

【図3】 蓄積した正イオンを有するスパッタリングターゲットを示す。

【図4】 本発明を実施するためのプロセスチャンバを示す。

【図5】 本発明に係わる複合大電力放電パルスを示す。

20

【図6】 図5に示された複合大電力パルスの第2実施形態を示す。

【図7】 図5に示された複合大電力パルスの第3実施形態を示す。

【図8】 図6と図7の複合大電力パルスを組み合わせた実施形態を示す。

【発明を実施するための形態】

【0079】

パルスシーケンスまたは最先端技術から公知の問題に関連する図1～図3については、既に詳細に説明したとおりであるので、図4および5を参照して検討する。これら図4および5は本発明を実施するためのプロセスチャンバおよび本発明による大パワーパルスを示す。

【0080】

30

図4には、本発明を実施するためのプロセスチャンバ2が示されており、このプロセスチャンバ2は（電気エネルギー源3は別として）最先端技術から周知である。例えば国際特許出願第WO 2006/049566 A1号には同様なプロセスチャンバが開示されている。

【0081】

プロセスチャンバ2の内側にはスパッタリングチャンバ21が形成されており、プロセスチャンバ2は、例えばステンレススチールプレートから製造された壁5を有する。したがってハウジングの壁は導電性であり、アノード5として働く。ハウジングは、例えば円筒形状となっている。シリンダーの平坦な端部壁に平行にターゲット8が位置し、このターゲットは導電性材料から製造された支持体81によって支持されている。ターゲット8は、膜状のコーティングを形成するように基板に塗布すべき材料の円形プレートとなっている。

40

【0082】

ターゲット8の後端部において、チャンバ2の中心を向いていない表面には、ターゲットの周辺にN極が配置され、支持体81およびターゲット8の中心にはS極が配置されるように、磁石アセンブリ800が取り付けられている。したがって、支持体81の周辺からその中心まで磁石800の磁力線801が通過している。この磁界は磁石800の極で最大強度となっている。他の公知の構造も有利に使用できることは理解される。

【0083】

スパッタリング装置の電気システムは電極を備え、これら電極の間にはプロセスチャン

50

バ2内でスパッタリングガス7をイオン化するよう電源3からの電圧が印加される。図示されている実施形態では、アノード5はチャンバ2の導電性壁5によって形成されており、この導電性壁は例えばアースすることができるようになっている。当然ながら、それに代わって、図4には示されていない別個のアノードも使用できる。カソード6はターゲット8によって形成され、アノード5に対して負のバイアスがかけられている。基板9は所定の適当な電気ポテンシャルを有することができる。

#### 【0084】

本発明によれば、例えば図5に詳細に記載された複合放電パルス4を発生するための大電力電気エネルギー源3が設けられており、図5は、本発明による極めて簡単な複合放電パルス4を示す。

#### 【0085】

図5に示された本発明による複合放電パルス4の特別の実施形態は、電気エネルギー源3によって発生され、電気エネルギー源3は、図4に示されるように、スパッタリングガス7をイオン化するため、アノード5とカソード6との間に電圧Vを印加することにより複合放電パルス4のシーケンスを発生するようになっている。この複合放電パルス4は複合パルス時間 $\tau$ の間印加される。この複合放電パルス4は、アノード5に対して負の極性を有する大電力スパッタリングパルス10を含み、このスパッタリングパルスは第1パルス時間 $\tau_1$ の間印加される。大電力スパッタリングパルス10および／または小電力電荷除去パルス11は、現在の最先端技術から原理的に周知のようにDC電圧パルスであることが好ましい。

#### 【0086】

大電力スパッタリングパルス10の次に、アノード5に対して正の極性を有する小電力電荷除去パルス11が続く、これは第2パルス時間 $\tau_2$ の間印加される。本発明によれば、第2パルス時間 $\tau_2$ に対する第1パルス時間( $\tau_1$ )の比 $\tau_1 / \tau_2$ は最大で0.5である。図5の例では、第2パルス時間( $\tau_2$ )に対する第1パルス時間比 $\tau_1 / \tau_2$ は約0.17である。

#### 【0087】

1よりかなり小さい値である比較的小さい比 $\tau_1 / \tau_2$ 、すなわち例えば図5に略図で示されるように $\tau_1 / \tau_2 < 1$ となるように選択し、同時に電荷除去パルス時間 $\tau_2$ の間に約1V～10Vの極めて低い電圧を印加すると、ターゲット8から正の電荷を確実に除去でき、同時に電子の顕著な蓄積が防止されるので、このことはひいてはターゲット8の加熱も防止できる。

#### 【0088】

比較的小さい時間間隔の間しか、約600V～1000Vの高電圧、または1000Vより高い電圧の負の大電力パルス10を印加しないので、対応する電流1000（簡単のために、第1大電力スパッタリングパルス10に対してしか点線1000で示されていない）は平滑な特性を示さず鋭いピーク構造を有し、印加される負電圧のシャープでかつ極めて短いパルス10に同時的に鋭く相関している。この結果、印加される電力は鋭く集中され、印加される短い電圧パルス10に同時的に強力に結合するので、極めて短い時間間隔で全電気エネルギーが印加され、プラズマの極めて高いイオン化が生じる。

#### 【0089】

図6には本発明による複合大電力パルス4の第2実施形態が示されており、この複合大電力パルス4は実際に極めて重要なものである。図6に示された複合大電力パルス4は電気エネルギー源3によって発生され、この電気エネルギー源3はアノード5とカソード6の間に電圧Vを印加することにより、複合放電パルス4のシーケンスを発生させ、図4に示されるようにスパッタリングガス7をイオン化する。この複合放電パルス4は複合パルス時間 $\tau$ の間印加される。この複合放電パルス4はアノード5に対して負の極性の電力スパッタリングパルス10を含み、第1パルス時間 $\tau_1$ の間印加される。図6に示された大電力スパッタリングパルス10および／または小電力電荷除去パルス11は、低周波のAC電圧、特に整流された低周波数のAC電圧である。図6の特別な実施形態に関し、大

10

20

30

40

50

電力スパッタリングパルス10の周波数および／または小電力電荷除去パルス11の周波数は、約1kHzである。この1kHzのACパルスは、図6にも略図で示されている。複合放電パルス4は、DC電圧パルス10、11を使用することによって有利に発生させることもできることが理解される。

#### 【0090】

図6に示された大電力スパッタリングパルス10の次に、アノード5に対して正極性の小電力電荷除去パルス11が続き、これは第2パルス時間 $\tau_2$ の間印加される。図6の特別な実施形態によれば、小電力電荷除去パルス11の後、別の大電力スパッタリングパルス10が印加される前に、アノード5とカソード6との間の電圧Vはオフにスイッチングされ、かつ／または第3パルス時間 $\tau_3$ の間ゼロにセットされる。

10

#### 【0091】

既にこれまで説明した利点の他に、図6に示されたパルスシーケンス4を使用すると、小電力電荷除去パルス11を発生するための正電圧Vから大電力負スパッタリングパルス10を発生するための負電圧Vへ、電気エネルギー源3を問題を生じることなく容易かつ適性にスイッチングできる。

#### 【0092】

図7には、図5に示された複合大電力パルス4の第3実施形態が示されている。当然ながら、この図7に示された複合大電力パルス4は、図4に示されるように、スパッタリングガス7をイオン化するためアノード5とカソード6との間に電圧Vを印加することにより、電気エネルギー源3によって図7の複合大電力パルス4を発生することもできる。この複合放電パルス4は複合パルス時間 $\tau$ の間印加される。この複合放電パルス4は大電力スパッタリングパルス10を備え、このスパッタリングパルス10はアノード5に対して負極性となっており、第1パルス時間 $\tau_1$ の間印加される。

20

#### 【0093】

図7に示された大電力スパッタリングパルス10の次に時間 $\tau_3$ が続き、この $\tau_3$ の間アノード5とカソード6との間の電圧Vはオフにスイッチングされるか、かつ／またはゼロにセットされる。

#### 【0094】

電圧Vがオフにスイッチングされるか、または0にセットされる時間 $\tau_3$ に続き、第2パルス時間 $\tau_2$ の間、アノード5に対して正極性を有する小電力電荷除去パルス11が印加される。

30

#### 【0095】

図7に例示されるような比較的広い消滅時間1001を電流1000が有する場合、特に図7に示された複合大電力シーケンス4が適当である。当業者には周知のように、大電力スパッタリングパルス10に関連した電流1000は、大電力パルス10をオフにスイッチングした後も即座にゼロとはならず、電流が消滅するまである程度の時間がかかる。したがって、図7に明瞭に示されるように、大電力パルス10の後で電流1000がまだゼロとはかなり異なっている多少広い消滅領域1001が生じる。

#### 【0096】

この結果、例えば図6に示されるように、大電力スパッタリングパルス10をオフにスイッチングした直後に小電力電荷除去パルス11を印加する場合、実際のスパッタリング方法の具体的な境界条件によっては、消滅時間1001の間にまだ存在する電流100によりターゲット8に対して電子を加速することができ、この加速によってターゲット8はかなり加熱されてしまう。

40

#### 【0097】

この問題は図7に示される特別な複合放電パルス4を使用することによって容易に解消できる。

#### 【0098】

最後に図8は、図6および図7の双方の複合大電力パルスの利点を組み合わせた、本発明の極めて重要な実施形態を示す。アノード5とカソード6との間の電圧Vは、第2の別

50

の第3パルス時間 $\tau_3$ の間にオフにスイッチングされるか、かつ／またはゼロにセットされる。すなわちこの電圧は、小電力電荷除去パルス11が印加される前だけでなく、この小電力電荷除去パルス11が印加された後でかつ次の大電力スパッタリングパルス10が印加される前もゼロとされる。

#### 【0099】

したがって、図8に示されている複合放電パルスを使用すると、電流1000の消滅時間1001に起因するターゲットの加熱が回避されると同時に、大電力負パルス10を発生するための負電圧Vから小電力電荷除去パルス11を発生するための正電圧Vに、電気エネルギー源3を、問題を生じることなく容易にスイッチングできる。

#### 【0100】

本発明はこれまで説明した特別な実施形態だけに関連するものではなく、当然ながら別の実施形態も含まれると理解すべきである。特に本発明は、これまで説明した実施形態のすべての有利な組み合わせと関係する。

#### 【0101】

本発明の説明を要約すれば、1000Vまで、または1000V以上の高電圧を有する負の大電力パルスを比較的短い時間間隔でしか印加しないので、それに対応する電流は平滑な特性を示さずシャープなピーク構造を有し、印加されるシャープでかつ非常に短いパルス電圧に同時的に鋭く相関性がある。この結果、印加される電力はシャープに集中され、印加される短い電圧パルスに強力に同時的に結合されるので、極めて短い間隔の間に全エネルギーが印加され、これによってプラズマの極めて高いイオン化が生じる。本発明の方法を使用することにより、ほぼ100%のイオン化度を容易に得ることができる。

#### 【0102】

特別な実施形態では、負の大電力スパッタリングパルスの後に正の小電力電荷除去パルスを印加する。この電荷除去パルスの間に例えば1Vの極めて低い電圧を一方で印加するのでターゲットから正の電荷を確実に除去でき、同時に電子の顕著な蓄積が防止されるのでターゲットの加熱を基本的に防止できる。

#### 【0103】

ターゲットに印加される電圧をオフにスイッチングするか、またはゼロにセットする第3のパルス時間中、システムには開始状態に緩和するための時間が与えられるので、各単一の複合パルスの間に基本的には同じスパッタリング条件が与えられ、これによってイオン化度が高くなり、基板上にコーティングされる膜に対するターゲットの電荷除去方法が極めて効果的となり、この膜は密度が高くなり均一性が大幅に改善されるので、最先端技術から知られている方法によってスパッタリングされる膜と比較して物理的かつ化学的性質が大幅に改善される。

#### 【0104】

更に本発明の別の有利な実施形態が提供される。

#### 【符号の説明】

#### 【0105】

- 2 プロセスチャンバ
- 3 電気エネルギー源
- 4 複合放電パルス
- 5 アノード
- 6 カソード
- 7 スパッタリングガス
- 8 ターゲット
- 9 基板
- 10 大電力スパッタリングパルス
- 11 小電力電荷除去パルス

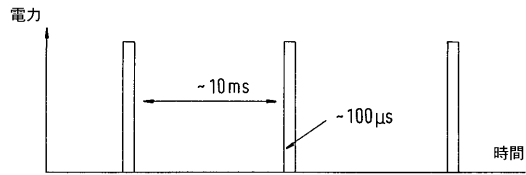
10

20

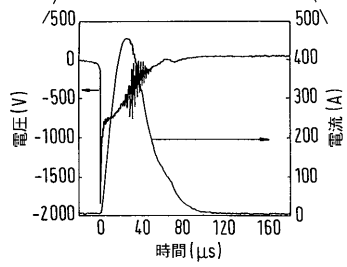
30

40

【図 1】

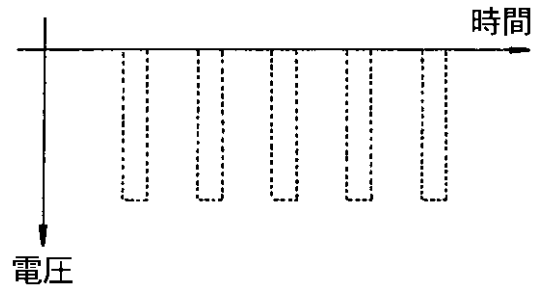


a

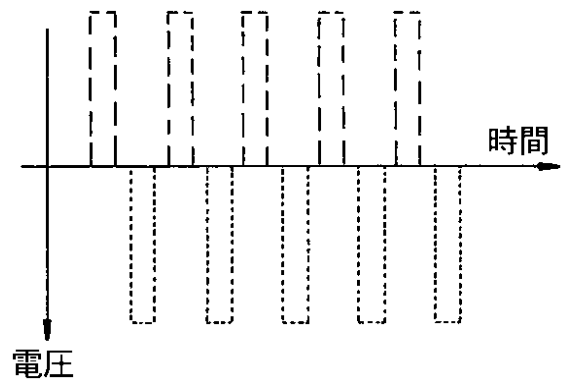


b

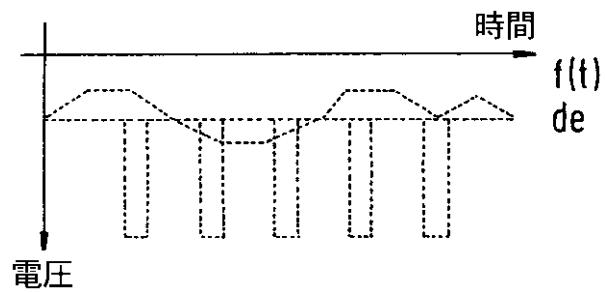
【図 2 a】



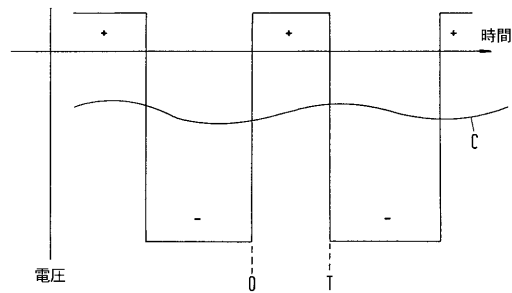
【図 2 b】



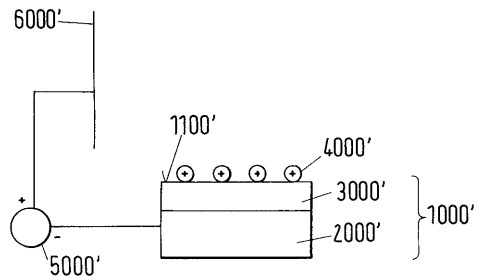
【図 2 c】



【図 2 d】

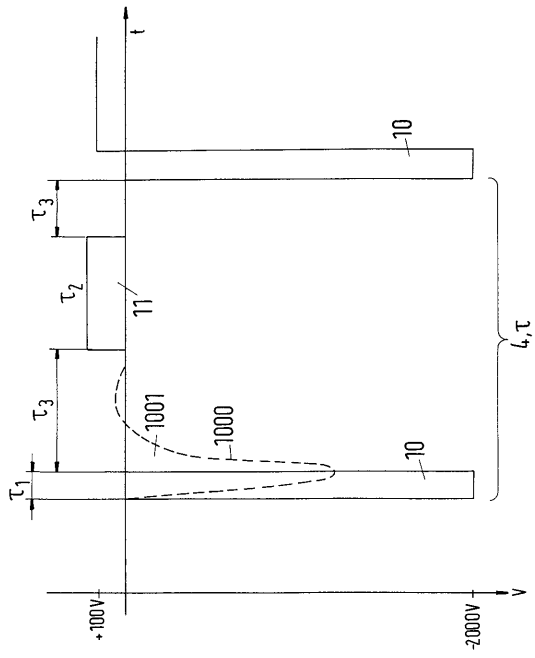


【図 3】





【図 8】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ユルゲン ミュラー

ドイツ連邦共和国、オルペ、ケーニグスベルガーシュトラッセ 4

(72)発明者 イェルク フェッター

ドイツ連邦共和国、ベルギッシュ グラートバッハ、 アム ミルヒボルンタルヴェク 85

合議体

審判長 新居田 知生

審判官 大橋 賢一

審判官 瀧口 博史

(56)参考文献 特開2007-162100 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C23C 14/00-14/58