

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4837832号  
(P4837832)

(45) 発行日 平成23年12月14日(2011.12.14)

(24) 登録日 平成23年10月7日(2011.10.7)

(51) Int.Cl.	F I
<b>C 2 3 C 14/35 (2006.01)</b>	C 2 3 C 14/35 A
<b>H O 1 L 21/285 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/285 S
<b>H O 5 H 1/46 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/285 3 O 1
	H O 5 H 1/46 A

請求項の数 10 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2000-599057 (P2000-599057)	(73) 特許権者	390040660
(86) (22) 出願日	平成11年12月7日 (1999.12.7)		アプライド マテリアルズ インコーポレ イテッド
(65) 公表番号	特表2002-536556 (P2002-536556A)		APPLIED MATERIALS, I NCORPORATED
(43) 公表日	平成14年10月29日 (2002.10.29)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95 054 サンタ クララ パウアーズ ア ベニュー 3050
(86) 国際出願番号	PCT/US1999/029006	(74) 代理人	100059959
(87) 国際公開番号	W02000/048226		弁理士 中村 稔
(87) 国際公開日	平成12年8月17日 (2000.8.17)	(74) 代理人	100067013
審査請求日	平成18年11月21日 (2006.11.21)		弁理士 大塚 文昭
(31) 優先権主張番号	09/249,468	(74) 代理人	100082005
(32) 優先日	平成11年2月12日 (1999.2.12)		弁理士 熊倉 禎男
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 イオン化金属堆積用高密度プラズマ源

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

スパッタリングターゲットの後側に位置決め可能であり、且つ上記ターゲットの中心位置の周りを回転可能なマグネトロンアセンブリであって、

上記ターゲットの上記中心から上記ターゲットの円周周辺に向かって第1の距離を伸びる中央アパーチャを有する、閉じた帯からなる第1の磁気極性の第1の磁極であって、該第1の磁極の面積にわたって積分された第1の積分磁束を有する、前記第1の磁極と、

上記アパーチャ内に配置され、上記ターゲットの表面に沿って伸びる間隙によって上記第1の磁極から分離されている第2の磁気極性の第2の磁極であって、該第2の磁極の面積にわたって積分された第2の積分磁束を有する、前記第2の磁極と、

を備え、  
前記第1の積分磁束対前記第2の積分磁束の比は、少なくとも1.5である、  
ことを特徴とするマグネトロンアセンブリ。

【請求項 2】

上記第1の磁極は、長軸が上記ターゲットの半径に沿って伸びている長円形の外形形状を有していることを特徴とする請求項1に記載のマグネトロンアセンブリ。

【請求項 3】

上記第1の磁極は、上記ターゲットの上記半径に平行に伸びる2つの対向する直線部分を有していることを特徴とする請求項1に記載のマグネトロンアセンブリ。

【請求項 4】

三角形の形状をしたマグネトロンであって、  
 三角形の形状をした内側磁極面と、

六角形を密にパックした配列で上記内側磁極面の平面側に接して配置されている第1の磁気極性の複数の第1の磁石であって、前記内側磁極面は第1の積分磁束を発生する前記第1の磁石と、

上記内側磁極面を取り囲み、ある頂点において交わる2つの実質的に直線の側及び上記直線の上記頂点とは反対側の端を結ぶ第3の側を有するほぼ三角形の形状をした外側磁極面と、

上記外側磁極面の平面側に沿い、且つそれに接する、閉じた通路内に配置されている第2の磁気極性の複数の第2の磁石であって、前記外側磁極面は第2の積分磁束を発生する前記第2の磁石と、

を備えており、前記第2の積分磁束は前記第1の積分磁束よりも少なくとも1.5倍大きいことを特徴とする三角形マグネトロン。

【請求項5】

上記第1の磁石は第1の磁気の強さを有し、上記第2の磁石は、上記第3の側に沿って配置されている上記第1の磁気の強さを有する第3の磁石と、上記直線の側に沿って配置されている上記第1の磁気の強さより小さい第2の磁気の強さを有する第4の磁石とからなることを特徴とする請求項4に記載の三角形マグネトロン。

【請求項6】

プラズマスパッタリング反応器であって、  
 真空チャンバと、

上記チャンバ内に基板を支持するためのペDESTALと、

上記ペDESTALと対向し、プラズマスパッタさせるために電気的に結合されるようになっているスパッタリングターゲットと、

上記ターゲット上の上記ペDESTALとは反対の側に配置され、一方の磁気極性の内側磁極面であって該内側磁極面の面積にわたって積分された第1の積分磁束を有する前記内側磁極面を取り囲む、他方の磁気極性の外側磁極面であって該外側磁極面の面積にわたって積分された第2の積分磁束を有する前記外側磁極面を含むマグネトロンと、

を備え、

前記第2の積分磁束対前記第1の積分磁束の比は、少なくとも1.5であり、

上記マグネトロンは、上記マグネトロンを上記ターゲットの中心の周りに回転させるための回転シャフトを更に含み、

上記外側磁極面は、上記ターゲットの中心から上記ターゲットの円周部分まで伸び、同じように伸びる円の面積よりは小さい面積を有している、  
 ことを特徴とする反応器。

【請求項7】

上記外側磁極面は、三角形形状を有していることを特徴とする請求項6に記載の反応器。

【請求項8】

上記間隙は、競技用トラックの形状を有していることを特徴とする請求項6に記載の反応器。

【請求項9】

アルミニウムからなるターゲットからアルミニウムを、システム内のペDESTAL上に支持されている作業基板上にスパッタリングさせる方法において、上記システムは、上記ターゲット上の上記ペDESTALとは反対の側に配置されているマグネトロンを含み、上記マグネトロンは、一方の磁気極性の内側磁極面であって該内側磁極面の面積にわたって積分された第1の積分磁束を有する前記内側磁極面を取り囲む、他方の磁気極性の外側磁極面であって該外側磁極面の面積にわたって積分された第2の積分磁束を有する前記外側磁極面、及び上記マグネトロンを上記ターゲットの中心の周りに回転させるための回転シャフトを含み、上記外側磁極面は、上記ターゲットの中心から上記ターゲットの円周部分まで

10

20

30

40

50

伸び、同じように伸びる円の面積よりは小さい面積を有しており、前記第2の積分磁束対前記第1の積分磁束の比は、少なくとも1.5であり、上記方法は、上記ターゲット及び上記ペDESTALを収容している真空チャンバ内へ作業ガスを導入するステップと、

上記真空チャンバを0.35ミリトルより低い圧力まで排気するステップと、

200mmの直径を有する円形基板に対して正規化して18kWより高くない直流電力を上記ターゲットに印加し、それによって上記作業ガスをプラズマに励起して上記ターゲットから上記作業基板上にアルミニウムをスパッタさせるステップと、

を含むことを特徴とする方法。

#### 【請求項10】

金属からなるターゲットから、システム内のペDESTAL上に支持されている作業基板上に材料をスパッタする方法において、上記システムは、上記ターゲット上の上記ペDESTALとは反対の側に配置されているマグネトロンを含み、上記マグネトロンは、一方の磁気極性の内側磁極であって該内側磁極の面積にわたって積分された第1の積分磁束を有する前記内側磁極を取り囲む、他方の磁気極性の外側磁極であって該外側磁極の面積にわたって積分された第2の積分磁束を有する前記外側磁極を含み、上記外側磁極は、上記ターゲットの中心から上記ターゲットの円周部分まで伸び、同じように伸びる円の面積よりは小さい面積を有しており、前記第2の積分磁束対前記第1の積分磁束の比は、少なくとも1.5であり、上記方法は、

上記ターゲットの完全スパッタリングカバレッジを達成するために、上記マグネトロンを上記ターゲットの中心の周りで回転させるステップと、

上記ターゲットに直流電力を印加することによって少なくとも部分的に上記チャンバ内へ電力を容量的に結合するが、上記チャンバ内へ電力を誘導的に結合することはなく、それによって上記作業ガスをプラズマに励起して上記ターゲットから上記作業基板上に上記金属をスパッタさせるステップと、

を含み、

上記直流電力の量は、200mmの直径の円形基板に対して正規化して18kWより大きくなく、それによって上記金属の少なくとも20%のイオン化密度を達成することを特徴とする方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

(技術分野)

本発明は、一般的には、材料のスパッタリングに関する。より特定的には、本発明は、スパッタリングを強化するために使用される磁石に関する。

##### 【0002】

(従来技術)

物理蒸着(PVD)とも呼ばれるスパッタリングは、半導体集積回路の製造において金属及び関連する材料の層を堆積させる最も一般的な方法である。図1に普通のPVD反応器10の概要を断面で示してあり、この図は、カリフォルニア州サンタクララのApplied Materials, Inc.から入手可能なEndura PVD反応器に基づいている。反応器10は真空チャンバ12を含み、このチャンバ12は、PVDターゲット14に対してシールドされている。ターゲット14は、通常は金属の材料(ヒーターペDESTAL 18上に保持されているウェーハ16上に堆積させる)からなっている。チャンバ内に保持されているシールド20は、スパッタされる材料からチャンバ壁12を保護し、また陽極接地板になっている。選択可能な直流電源22は、ターゲット14をシールドに対して約-600Vに負にバイアスする。通常ペDESTAL 18は、従ってウェーハ16は、電氣的に浮かせたままである。

##### 【0003】

ガス源24は、典型的には化学的に不活性なガスであるアルゴンのようなスパッタリング作業ガスを、質量流コントローラ26を通してチャンバ12へ供給する。例えば窒化チタンのような反応性金属窒化物スパッタリングでは、窒素が、別のガス源27からそれ自体の質量コントローラ26を通して供給される。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のような酸化物を発生させるため

10

20

30

40

50

には、酸素を供給することもできる。これらのガスは、図示のようにチャンバのトップから導入することも、またはその底から導入することもできる。何れの場合も、ガスを導入するには、シールドの底に突入している、またはシールド20とペDESTAL18との間の間隙を通っている1つまたはそれ以上の入口パイプを用いて行う。真空システム28は、チャンバを低圧に維持する。基本的圧力は約 $10^{-7}$ トル、またはそれより低くさえ保持することができるが、作業ガスの圧力は、典型的には約1乃至1000ミリトルに維持される。コンピュータをベースとするコントローラ30は、直流電源22及び質量流コントローラ26を含む反応器を制御する。

#### 【0004】

アルゴンをチャンバ内に導入し、ターゲット14とシールド20との間に直流電圧を印加するとアルゴンがプラズマに点弧され、正に帯電したアルゴンイオンは負に帯電しているターゲット14に引付けられる。イオンは実質的なエネルギーでターゲット14に衝突し、ターゲット原子または原子クラスターをターゲット14からスパッタさせる。若干のターゲット粒子はウェーハ16に衝突し、それによってその上に堆積してターゲット材料のフィルムを形成する。金属窒化物の反応性スパッタリングにおいては、窒素が付加的にチャンバ12内に導入され、スパッタされた金属原子と反応してウェーハ16上に金属窒化物を形成する。

#### 【0005】

効率的にスパッタリングさせるには、マグネトロン32をターゲット14の後側に位置決めする。マグネトロン32は、逆極性の磁石34、36を有しており、磁石34、36の近傍のチャンバ内に磁場を作る。この磁場は電子を捕捉し、電荷を中和させるためにイオン密度も増加してマグネトロン32に接するチャンバ内に高密度プラズマ領域38を形成する。マグネトロン32は、通常はターゲット14の中心の周りを回転し、ターゲット14のスパッタリングを完全にカバーするようになっている。マグネトロンの形状が本願の主題であり、図示する形状は単なる示唆に過ぎない。

#### 【0006】

半導体集積回路における集積レベルが進歩するにつれて、スパッタリング設備及びプロセスに対する要求も増加してきている。多くの問題がコンタクト及びビア孔に付随している。図2に断面で示すように、ビアまたはコンタクト孔40は、レベル間誘電体層42を通してエッチングされ、下に位置する層または基板46内の導電性フィーチャ44に達している。次いで、スパッタリングを使用して孔40を金属で充填し、レベル間電気接続を形成させる。もし下に位置する層46が半導体基板であれば充填された孔40をコンタクトと呼び、もし下に位置する層が下側レベル金属化レベルであれば充填された孔40をビアという。簡易化のために、以後単にビアと称することにする。レベル間ビアの幅は、 $0.25\mu\text{m}$ またはそれ以下に近くまで縮小されてきており、一方層間誘電体の厚みは $0.7\mu\text{m}$ 程度でほぼ一定のままである。即ち、ビア孔のアスペクト比は、3またはそれ以上になっている。若干の進歩した技術の場合、アスペクト比が6であること、またはより大きいことさえも要求する。

#### 【0007】

このような高いアスペクト比は、スパッタリングに問題をもたらす。それは、殆どのスパッタリングの形状が強い異方性ではないので、始めにスパッタされた材料が孔のトップに優先的に堆積してそれをブリッジし、従って、孔の底の充填を妨げ、ビア金属内にポイドを形成する恐れがあることである。

#### 【0008】

しかしながら、スパッタされる粒子の高い割合をターゲット14とペDESTAL18との間のプラズマ内でイオン化させることによって、深い孔の充填を促進可能にすることが知られるようになってきた。図1のペDESTAL18は、たとえそれが電氣的に浮いているとしても直流自己バイアスを発生し、それが、ペDESTAL18に接するプラズマシースを横切ってプラズマからのスパッタされ、イオン化された粒子を孔内に深く引付ける。孔充填の有効性を表す2つのものは、底カバレッジと側カバレッジである。図2に概要を示してあ

10

20

30

40

50

るように、スパッタリングの初期相は、表面またはブランケット厚み  $s_1$ 、底厚み  $s_2$ 、及び側厚み  $s_3$  を有する層 4 8 を堆積させる。底力バレッジは  $s_2 / s_1$  に等しく、側力バレッジは  $s_3 / s_1$  に等しい。このモデルは過度に簡略化されているが、多くの状況を説明するのに十分である。

#### 【 0 0 0 9 】

イオン化の割合を増加させる 1 つの方法は、図 1 のチャンバ 1 2 の側の周りに R F コイルを付加する等によって、高密度プラズマ ( H D P ) を発生させることである。H D P 反応器は、高密度アルゴンプラズマを発生させるだけではなく、スパッタされる原子のイオン化の割合をも増加させる。しかしながら、H D P P V D 反応器は新しいものであり、比較的高価である。主として図 1 の P V D 反応器の直流スパッタリングを使用し続けることが望ましい。

10

#### 【 0 0 1 0 】

イオン化比を増加させる別の方法は、ターゲットがトップハットの形状を有しているホローカソードマグネトロンを使用することである。この型の反応器は極めてホットに動作するが、複雑な形状をしたターゲットは極めて高価である。

#### 【 0 0 1 1 】

誘導結合型 H D P スパッタ反応器、またはホローカソード反応器の何れかをを用いてスパッタされる銅は、バイア側壁上に波形のフィルムを形成する傾向があり、また堆積した金属は脱濡れ ( dewet ) する傾向があることが知られている。これは、銅による孔の充填を完了させるために、スパッタされた銅層が電気めっきのようなその後の堆積プロセスのためのシード層として使用される場合には特に重大である。

20

#### 【 0 0 1 2 】

従来技術の別の問題は、側壁力バレッジが非対称になる ( ターゲットの中心に対面している側が、よりシールドされた側よりも厚く被膜される ) 傾向があることである。これは、所定の厚みを達成するためには過大な堆積を必要とするだけでなく、フォトリソグラフィにおける整列標識として使用される十字形トレンチが非対称に狭くなると、トレンチが移動したように見えることになる。

#### 【 0 0 1 3 】

深い孔の充填を促進する別の動作制御は、低いチャンバ圧力である。高い圧力では、中性であろうが、イオン化されていようが、スパッタされた粒子がアルゴンキャリアガスの原子と衝突する確率が高くなる。衝突は、イオンを中性化し、速度をランダム化する傾向があり、これらは孔の充填を劣化させる効果を呈する。しかしながら、前述したように、スパッタリングは、少なくともターゲットに接してプラズマが存在することに頼っている。最低圧力は幾つかのファクタに依存するとは言え、もし圧力を下げ過ぎればプラズマは消滅する。

30

#### 【 0 0 1 4 】

低圧プラズマスパッタリングの極端例は、1997年5月8日付Fuらの米国特許出願第08/854,008号に開示されているような、維持型自己スパッタリング ( sustained self-sputtering : S S S ) である。S S S では、正にイオン化されたスパッタされた原子の密度は、十分な数が負にバイアスされたターゲットに戻るよう引寄せられ、より多くのイオン化された原子を再スパッタさせる程高い。S S S では、アルゴン作業ガスは必要ではない。銅は S S S を最も受け易い金属であるが、それは高電力及び高磁場の条件の下においてだけである。銅スパッタリングは、銅の固有抵抗が低く、且つ電気移動に対する感受性が低いために、開発が困難である。しかしながら、銅 S S S が商業的に実現可能になり、フルカバレッジ、高磁場マグネトロンを開発する必要がある。

40

#### 【 0 0 1 5 】

ターゲットに印加する電力を増加させると、多分維持型自己スパッタリングの点まで圧力を低下させることができる。電力を増加させると、イオン化密度も増加する。しかしながら、過大な電力は高価な電源を必要とし、また冷却を増す必要がある。20乃至30 k W を越える電力レベルは実現不能であると考えられる。事実、直接関係のあるファクタは、マグ

50

ネトロンの下の領域内の電力密度である（この領域は、効果的なスパッタリングを促進する高密度プラズマの領域であるからである）。従って、小さくて高磁場の磁石が最も容易に高いイオン化密度を発生しよう。この理由から、ある従来技術は、小さい円形磁石を開示している。しかしながら、このようなマグネトロンは、均一性を与えるためにターゲットの中心の周りを回転させる必要があるだけでなく、完全且つ極めて均一なターゲットのカバレッジを保証するために半径方向の走査をも必要とする。もし完全なマグネトロンカバレッジが達成されなければ、ターゲットが効率的に使用されないだけでなく、より重要なことには、スパッタ堆積の均一性が劣化し、スパッタされた材料の若干が、スパッタされない領域内のターゲット上に再堆積される。再堆積された材料は剥落し易い厚みまで累積し、重大な粒子問題を惹起する。半径方向の走査は潜在的にこれらの問題を回避するが、メカニズムは複雑であり、一般的には実現不能であると考えられる。

10

## 【0016】

市販されているマグネトロンの1つの型は、Tepmanの米国特許第5,242,566号に例示されているような腎臓型である。Parkerは、米国特許第5,242,566号において、この形状のより誇張された形状を開示している。図3に平面図で示してあるように、Tepmanマグネトロンは腎臓型をベースにしており、磁気的に対向している磁極面54、56がほぼ一定の幅の回り道間隙57によって分離されている。磁極面54、56は、図示していない蹄鉄型磁石によって磁気的に結合されている。このマグネトロンはターゲット14の中心の、そして腎臓型内側磁極面の凹んだ縁付近の回転軸58を中心として回転する。その領域における間隙57とほぼ平行な外側磁極面56の湾曲した外縁は、ターゲット14の使用可能な部分の外縁に接近している。この形状は、高磁場に対して、及び均一なスパッタリングに対して最適化されているが、ターゲットの面積のほぼ半分の面積を有している。磁極間隙57から分離された領域では、磁場が比較的弱いことに注目されたい。

20

## 【0017】

これらの理由から、深い孔の充填及び維持型自己スパッタリングを促進するように、完全なカバレッジを提供する小さい高磁場マグネトロンを開発することが望ましい。

## 【0018】

## (発明の概要)

本発明は、同一の直径の円よりも小さい面積の長円または関連形状を有し、2つの直径が、マグネトロンの典型的な回転軸に対するターゲット半径に沿って伸びているスパッタリングマグネトロンを含む。形状は、競技用トラック形、楕円形、卵形、三角形、及び弓形三角形を含む。マグネトロンは、ターゲットの裏側で、好ましくはマグネトロンの細めの端付近の点を中心として回転し、マグネトロンの太めの端はターゲット周縁により接近している。

30

## 【0019】

本発明は、このようなマグネトロンを用いて達成可能なスパッタリング方法をも含む。維持型自己スパッタリングを受けない多くの金属を、0.5ミリトルより低い、屢々0.2ミリトルより低い、そして0.1ミリトルより低いことさえあるチャンバ圧力でスパッタさせることができる。200mmウェーハを支持するようなサイズのペDESTAL電極に250Wより低いRFバイアスを印加することによって、底カバレッジを更に改善することができる。銅は、330mmターゲット及び200mmウェーハの場合に18kWの直流電力を用い、完全に自己維持型モードで、または0.3ミリトルまたはそれ以下の最低チャンバ圧力の何れかでスパッタさせることができる。

40

## 【0020】

## (発明の実施の形態)

本発明の一実施の形態は、図4に平面図で示すような競技用トラック形状のマグネトロン60であり、一方の磁気極性を有するパー形状の中央磁極面62を有している。中央磁極面62は、2つの丸められた端66によって接続されている対向する中央直線側64を有している。中央磁極面62は、他方の極性の細長いリング状の外側磁極面68によって取り囲まれており、両磁極面の間には間隙70が設けられている。他方の磁気極性の外側磁

50

極面 68 は、内側磁極面 62 とほぼ中心対称で、2つの丸められた端 74 によって接続されている対向する中央直線側 72 を有している。中央区分 72 及び丸められた端 74 は、ほぼ同じ幅を有する帯である。以下に短く説明する磁石は、磁極面 62、68 の磁気極性を逆にする。これも以下に短く説明する裏当て板は、磁極面 62 と 68 との間の磁気ヨークを構成すると共に、マグネトロン構造のための支持体にもなっている。

#### 【0021】

2つの磁極面 62、68 は、紙面に対してほぼ直角に伸びる磁場を発生する特定の磁気極性で示されているが、勿論、逆の組の磁気極性が本発明に関する限り同じ効果を発生することは理解されよう。このアセンブリは、閉じた通路に沿って伸び、中心に最小無磁場領域を有するトロイダル磁場を発生する。図 4 の磁極アセンブリは、ターゲット 14 の中心とほぼ一致し且つ外側磁極 68 の一方の扁長端 80 に、またはその付近に位置する回転軸を中心として回転し、他方の扁長端 82 がターゲット 14 の外側の半径方向の使用可能な広がりにはほぼ位置し、それによってターゲットを完全にカバーすることを意図している。異なるマグネトロンは、同じターゲットの異なる部分を使用するので、ターゲットの外側の使用可能な周縁は容易には限定されない。しかしながら、それはターゲットの平坦な領域によって画定され、殆ど常にスパッタ堆積中のウェーハの直径を超えて十分に伸び、そしてターゲット面の面積より幾分小さい。200mm ウェーハの場合、典型的にはターゲット面は 325mm である。ターゲット半径の使用されない 15% は、実際的な上限であると考えることができる。

#### 【0022】

図 5 に平面図で示すように、2組の磁石 90、92 が磁極面 62、68 の後側に配置されていて、2つの磁気極性を発生させる。磁石 90、92 は類似構造及び組成であり、各垂直に面している端上に軸方向に伸びる磁束を発生する。磁石 90、92 の断面を図 6 に示す。ある軸に沿って伸びる円筒形磁気コア 93 は、ネオジウム・ホウ素・鉄 (NdBFe) のような強い磁性材料からなる。このような材料は容易に酸化するので、コア 93 は、管状側壁 94 と、それに溶接されて気密の缶 (キャニスター) を形成しているほぼ円形の 2つのキャップ 96 とで作られているケース内にカプセル封じされている。キャップ 96 は柔らかい磁性材料、好ましくは SS410 ステンレス鋼からなり、管状側壁 96 は、非磁性材料、SS304 ステンレス鋼からなる。各キャップ 96 は軸方向に伸びるピン 97 を含み、このピン 97 は磁極面 62、68 の一方内の、または以下に短く説明する磁気ヨーク内の対応する捕捉孔と係合する。それによって、磁石 90、92 はマグネトロン内に固定される。磁気コア 93 は軸方向に沿って磁化されるが、図 7 に断面図で示すように 2つの異なる磁石 90、92 がマグネトロン 60 内に配向されている。即ち、内側磁極 62 の磁石 90 はそれらの磁場が一方に垂直に伸びるように整列され、外側磁極 68 の磁石 92 はそれらの磁場が他方向に垂直に伸びるように整列されている。つまり、これらは逆の磁気極性を有しているのである。

#### 【0023】

図 6 に断面図で示すように、磁石 90、92 は、(図 1 の向きにおいて) ターゲット 14 の後側の直上に配置されている磁極面 62、68 上に近接して配列されている。外側磁極面 68 の外側周縁にはほぼ順応している閉じた形状の磁気ヨーク 98 は、磁石 90、92 の後側に近接して位置決めされて 2つの磁極 62、68 を磁氣的に結合している。前述したように、磁極面 68、72 及びヨーク 98 内の孔が磁石 90、92 を固定する。

#### 【0024】

内側磁石 90 及び内側磁極面 62 が一方の磁気極性の内側磁極を構成し、一方外側磁石 92 及び内側磁極面 72 が他方の磁気極性で内側磁極を取り囲む外側磁極を構成している。磁気ヨーク 98 は内側及び外側磁極を磁氣的に結合し、マグネトロンの後側またはトップ側の磁場を実質的にヨーク 98 内に閉じ込める。それによって半トロイダル磁場 100 が発生し、この磁場は非磁性ターゲット 14 を通って真空チャンバ 12 内に伸びて高密度プラズマ領域 38 を限定する。磁場 100 は非磁性ターゲット 14 を通って真空チャンバ 12 内に伸び、高密度プラズマ領域 38 の広がりを限定する。図示のようにマグネトロン 6

10

20

30

40

50

0は、ターゲット14のほぼ中心から、ターゲット14の使用可能領域の縁まで水平方向に伸びている。磁気ヨーク90及び2つの磁極面62、68は、好ましくは、SS416ステンレス鋼のような柔らかい磁性材料で形成された板である。

【0025】

マグネトロン60の内側扁長端80は、回転軸78に沿って伸びるシャフト104に接続され、モータ106によって回転させられる。図示のように、マグネトロン60はターゲット14のほぼ中心から、ターゲット14の使用可能領域の右側まで水平方向に伸びている。Demarayらの米国特許第2,252,194号は、モータ106、マグネトロン60、及び真空チャンバ12の間の接続例を詳細に記述している。マグネトロンアセンブリ60は、シャフト104の曲がり避けるために、釣り合い錘を含むべきである。回転の中心78を外側磁極面72の内側扁長端74に配置することが好ましいのではあるが、その位置は僅かに異なる位置へ最適化することができる。しかし、マグネトロン60の扁長の長さに正規化して、内側扁長端80から20%より多く偏らせないことが好ましい。

10

【0026】

図4の競技用トラック形態は、極端に潰れた長円に代えることができる。例えば、楕円の長軸がターゲットの半径に沿って伸び、短軸が好ましくは回転円周に平行な楕円形状のような他の長円形状も本発明に含まれる。

【0027】

別の長円形状が、図8に平面図で示されている卵形マグネトロン106によって表されており、一方の磁気極性の外側磁極面108が他方の極性の内側磁極面110を取り囲み、それらの間に間隙122を限定している。両磁極面108、110は卵の外径に類似する形状であり、ターゲットの半径に沿って伸びる長軸を有している。しかしながら、回転軸78付近の外側磁極面108の内側の端112は、ターゲットの周縁付近の外側端114よりも鋭い。この卵形状はほぼ楕円形であるが、ターゲット半径に対して非対称である。即ち、長軸はターゲット周縁付近において潰れている。内側磁極面110及び間隙122も同じような形状である。

20

【0028】

関連する形状は、図9に平面図で示されている三角形マグネトロン126であり、一方の磁気極性の三角形の外側磁極面128が他方の極性の実質的に中実の内側磁極面130を取り囲み、それらの間に間隙132を限定している。丸められた角を有する内側磁極面130の三角形の形状は、ボタン磁石を、密に詰め込んだ六角形(蜂巢状の)形状にすることを可能にする。3つの直線区分134を有する外側磁極面128は、好ましくは互いに60°ずつずらせ、丸められた角136によって接続する。好ましくは、丸められた角136の長さは、直線区分134よりも小さくする。

30

【0029】

変更された三角形形状は、図10に示す弓形の三角形マグネトロン140である。三角形の内側磁極面130が弓形の三角形外側磁極面142によって取り囲まれていてそれらの間に、及びそれらの磁極の磁石の間に間隙144を形成しており、間隙144の後側に磁気ヨークを有している。外側磁極面142は2つの直線区分146を有し、これらの直線区分146は、丸められた頂角148によって互いに接続され、また丸められた円周角152によって弧区分150に接続されている。回転中心78は、頂角148付近に位置している。弧区分150はほぼターゲットの周縁付近に位置する。その曲率はターゲットの曲率に等しくする(即ち、回転の中心78から等距離にする)ことができるが、回転中心78から見て凹状の弧区分になる他の最適化された曲率を選択することができる。

40

【0030】

磁場は、図11に平面図で示す磁石の配列によって発生させる。第1の極性の磁石160が内側磁極面130に接して蜂巢配列に配列されている。第2の極性の磁石162が外側磁極面142の弧区分150に接して配列され、一方第2の極性の磁石164が外側磁極面142の残余の部分に接して配列されている。後述する若干の状況では、外側磁極面142の異なる部分に異なる強度の磁石を配置することが有利である。一実施の形態では、内

50



側磁極内には10個の磁石が、また外側磁極内には26個の磁石が存在していて、外側磁極内の同じ強さの磁石が内側磁極内の2.6倍の磁束を発生させるようになっている。

【0031】

図9及び10の三角形マグネトロン126、140は頂角が $60^\circ$ であるように示されているが、頂角は変化させることが、特に $60^\circ$ より小さく減少させることが可能である。しかしながら、 $60^\circ \pm 15^\circ$ が優れた均一性を与えるものと考えられる。頂角は、本発明のマグネトロンの2つの重要なパラメータ、即ち、その面積A及びその円周Pに大きく影響する。弓形の三角形マグネトロン14に対して最も容易に行われる若干の簡単な計算により、図12の平面図で示す頂角を変化させた時の一般的な効果が解る。簡易化した弓形の三角形マグネトロン170は、半径 $R_T$ のターゲット14の中心と円周との間に伸び、回転軸78と一致する頂点で交差する2つの直線側と、ターゲット14の使用可能な周縁に順応している弧側とを有している。この簡易弓形三角形マグネトロン170の面積Aは $R_T^2$ であり、その円周Pは $R_T(2 + \sqrt{3})$ である(但し、 $\sqrt{3}$ はラジアンで表されている)。図12には、 $R_T/2$ の半径と、回転軸78に固定されている直径とを有する円形マグネトロン172も示されている。円形マグネトロン172の面積は $R_T^2/4$ であり、円周Pは $R_T$ である。両マグネトロン170、172はターゲットを完全にカバーする。弓形三角形の面積Aのマグネトロン頂角への依存性は、図13に線174によって(正規化した単位で)プロットされており、円形面積は線176で示されている。 $45^\circ$ より小さい場合には、三角形の面積の方が小さい。三角形の円周Pの依存性は、図14に線178によってプロットされており、円形の円周は線180で示されている。 $65.4^\circ$ より小さい場合には、弓形の三角形円周の方が小さい。ターゲット電力は、より小さい面積に集中し、また円周を小さくすることによって増加させることができる(縁損失は、円周長にほぼ比例するので)から、イオン化効率は面積を最小にすることによって向上する。勿論、磁場を発生させる磁石を受入れるのに十分に大きい面積は必要である。また、これらの計算は均一性を斟酌してはいない。

10

20

【0032】

以上に示した形状は全て、ターゲット半径に対して対称的であった。しかしながら、本発明のマグネトロンは、例えば半径方向に伸びる一方の側が図4の競技用トラックの形状であり、他方の側が例えば図7の卵形のように長円形であるような、または半径方向に伸びる一方の側が長円または直線であり、他方の側がターゲットの中心と円周との間に三角形の頂点を有しているような、非対称形状であるものを含む。

30

【0033】

上述したマグネトロンは全て、非対称内側及び外側磁極を有していた。即ち、図15に概要を示してある内側磁極190が発生する合計磁束 $B \cdot dS$ は、それを取り囲んでいる外側磁極192が発生する磁束よりも遙かに、例えば少なくとも $1/1.5$ 、好ましくは $1/2$ だけ少ない。全てのマグネトロンは、外側磁極192によって取り囲まれているコンパクトな内側磁極190を有していることを特徴としている。その結果、磁場分布は、磁極190と192との間の間隙196に接する反応器処理領域194内で極めて強くなるが、外側磁極192の磁力線が磁気ヨークへ戻って閉じるので処理領域194内へ遠くまで伸びている。ターゲットから処理領域194内に深く垂直に伸びる磁場の実質的な割合が、処理領域194内へ深く進入する維持型自己スパッタリングプラズマを支えるのを援助し、またウェーハへ向かうスパッタされイオン化された粒子を案内するのを援助する。

40

【0034】

本発明の磁石は、比較的高い磁場を達成している。しかしながら、磁場の強さは、それ自体不十分なものである。前記Demarayらの特許に開示されているような若干の従来のマグネトロンは、腎臓形状の線形通路に配列されている一並びの馬蹄形磁石を使用しており、馬蹄形の磁極間には小さい間隙だけが設けられている。その結果、腎臓形状の周縁領域内に比較的高い磁場強度を達成することができる。しかしながら、高磁場の線形形状が、実質的に磁場が存在しない領域を取り囲んでいる。その結果、電子は、高磁場領域の外部へだけではなく、その内部へも逃げ出すことができる。それに反して、本発明の三角形マグ

50

ネトロンの内側磁極は、最小面積の磁気先端 ( cusp ) を発生する。もし電子が内側磁極の一方の側の磁場から失われれば、それらは他方の側に捕捉され、従って所与の電力密度に対するプラズマ密度を増加させる。更に、内側磁極は、ほぼ均一な磁束を発生させる単一の磁化可能な磁極面を含んでいる。もし複数の内側磁石のために複数の内側磁極面を使用すれば、磁力線は内側磁石の間を伸びることになる。

【 0 0 3 5 】

本発明の設計のさらなる長所は、1つの磁極がある閉じた線内に形成され、他の磁極を取り囲んでいることである。2組の磁極を近付けて離間させ、端が開いた線内に馬蹄形磁石等を配列することによって、高磁場強度を有する極めて小さい線形に伸びるマグネトロンを形成させることができる。しかしながら、電子は開いた端から容易に逃げ出すことができ、プラズマの密度を低下させる。

10

【 0 0 3 6 】

上述した形状は、底磁石が使用されているよりもそれ程大きくない面積の帯状の幅を有する磁極面と呼ぶことを理解されたい。これらの幅、特に外側磁極面は、多分不均一であるとしても増加させることはできるが、この付加的な幅は所望の高磁場を生成する上でそれ程有効ではないことを理解されたい。

【 0 0 3 7 】

本発明の有益な結果は、大部分は長円形マグネトロン及び関連形状のマグネトロンが、過大な電力を必要とせず高いプラズマイオン化密度を発生することによって達成される。それにも拘わらず、ターゲットは完全にカバーされる。一つの面において、本発明のマグネトロンは比較的小さい面積であるにも拘わらず、半径方向に走査を行わずに、ターゲットを完全にカバーすることができる。図 10 の 60° の頂角を有する三角形マグネトロン 160 は、使用可能なターゲット面積の 1 / 6 ( 0.166 ) の面積を有している。これに対して、もし同じようにターゲットの中心から周縁まで伸びる円形マグネトロンを使用するものとするれば、マグネトロン面積はターゲット面積の 1 / 4 ( 0.25 ) である。その結果、ある電源から大きい円形マグネトロンに給電した場合には、電力密度が小さくなる。ターゲットのオーバーレイパーセンテージは、図 3 の前記 Tepman の磁石よりもむしろ高くなっている。

20

【 0 0 3 8 】

小さい面積と、完全カバレッジとの組み合わせは、ターゲットの中心からその使用可能な円周まで伸びる ( ± 15% ) 外側マグネトロン形状と、ターゲット半径の半分における横方向寸法をターゲット半径より実質的に小さくする ( 即ち、ターゲット半径に沿って扁長である ) ことによって達成される。この横方向寸法は、回転通路に沿って円周方向に測定されるべきである。

30

【 0 0 3 9 】

ターゲット半径に対して、ターゲットの回転の中心付近の内側端におけるよりもその円周付近の外側端において横方向に幅広い長円形の形状によって、均一性を向上させることができる。即ち、短軸をターゲットの円周に向かって変位させるのである。

【 0 0 4 0 】

処理

本発明の弓形の三角形マグネトロンを、幾つかの実験で試験した。殆ど全ての試験において、ターゲットをウェーハから 190 乃至 200 mm 離間させ、ターゲットは 200 mm ウェーハに対して 330 mm の直径を有していた。

40

【 0 0 4 1 】

銅をスパッタリングさせる場合、内側磁極内に 10 個の強い磁石 160 を使用し、外側磁極の弧部分 150 に沿って強い磁石 162 を使用し、そして残余の外側磁極に弱めの磁石 164 を使用することによって、均一性が改善された。強めの磁石の直径は弱めの磁石の直径よりも 30% 大きい、それ以外は類似の組成及び構造であり、それによって 70% 大きい総合磁束がもたらされた。

【 0 0 4 2 】

50

約30cmの使用可能な直径を有するターゲットに9kWの直流電力を印加してアルゴン雰囲気内でプラズマを点弧させた後に、銅の維持型自己スパッタリングが達成された。しかしながら、18kWの直流電力と、少なくとも部分的にウェーハの裏側を冷却するために供給するガスが液冷ペDESTALへ漏洩することにより生ずる約0.1ミリの最小アルゴン圧力とで動作させることが望ましいものと考えられる。0.1乃至0.3ミリの高めのバックグラウンド圧力は、スパッタされるイオンの散乱及び脱イオンを重大に増加させることなく、実効ウェーハ冷却を高める。これらの数値が20kW乃至40kWに達するような300mmウェーハのための設備の開発を考える時、これらの比較的低めの直流電力は重要である。40kWより大きい電源は、実現不能ではないにしても、高価であると考えられる。

【0043】

イオン化した銅スパッタリングの一つの応用は、深くて狭いバイア孔内に薄い順応的なシード層を堆積させることである。次いで、電氣的な、または電気を使用しないめっきを使用して、残余の孔を銅で迅速且つ経済的に充填することができる。

【0044】

一実施の形態では、トップの幅が0.30μmで、1.2μmのシリカを通して伸びるバイア孔を、先ずTa/TaNバリア層で被膜した。銅は、18kWのターゲット電力と、0.2ミリの圧力とでバリア層の上に約0.18μmのブランケット厚に堆積させた。バイア孔の側は滑らかに被覆された。側壁上の銅の厚みは、ウェーハ縁に位置するバイアの場合には、一方の側では約7nmであり、他方の側では11.4nmであった。底の厚みは約24nmであった。ウェーハの中心のバイア孔の場合には、側壁の対称性は改善されていた。その滑らかさは、堆積された層をシード層として、またその後の銅の電気めっきのための電極として使用することを促進する。2つの側壁の間の対称性が比較的良好であるので、従来技術におけるフォトリソグラフィック指標を移動させるような問題が解消される。

【0045】

アルミニウムターゲットのスパッタリングを、12kW及び18kWの両電力を印加し、約0.1ミリの最小圧力で遂行したところ、重要な改善が見られた。アルミニウムスパッタリングの場合、側壁のカバレッジ、及び特に底のカバレッジはかなり改善されていた。またこのより良好な均一性は、ウェーハを支持している自己バイアスされたペDESTALがその全面積にわたって、スパッタされイオン化された粒子を引き付けるから、部分的にイオン化の割合が増加したことによるものと考えられる。本発明のマグネトロンは、2%から少なくとも20%まで、そして多分25%までイオン化の割合を増加させるものと推定される。

【0046】

類似した動作条件の下で、弓形三角形マグネトロンの動作と、図3のTepmanマグネトロンに似た従来のマグネトロンの動作とを比較した。アルミニウムのスパッタリングに関して、比較の結果を表1に要約して示す。

表 1

	三角形	従来の技術
底カバレッジ	28.5%	8.0%
側壁カバレッジ	8.0%	5.7%
均一性 (190mm)	4.6%	7.8%
均一性 (290mm)	3.0%	6.0%
最小圧力 (ミリトル)	0.1	0.35

10

20

30

40

50

## 【0047】

カバレッジ結果は、 $0.25\mu\text{m}$ の幅と $1.2\mu\text{m}$ の深さとを有する、即ちアスペクト比が約5のバイア孔を使用して求めた。底カバレッジは、従来のマグネトロンと比較して本発明の三角形マグネトロンにおいてかなりの改善が見られる。側壁カバレッジも増加しており、更にカバレッジは滑らかであり、トップから底まで均一である。これら2つの特性は、堆積された金属層を、その後の堆積ステップのためのシード層として使用することを促進する。これは銅にとって、第2の堆積が電気めっきのような異なる処理によって遂行されるような場合、特に重要である。底及び側壁のカバレッジが改善されているのは、スパッタされたアルミニウム原子の高い割合が本発明の三角形マグネトロンによりイオン化された結果によるものと考えられる。このイオン化の割合は、25%またはそれ以上であるものと考えられる。ブランケット（平面状）堆積の均一性は、ターゲットとウェーハとの間の間隔を190mmにして、及び290mmの遠投（ロングスロー）間隔にして決定した。本発明の三角形マグネトロンは、特に遠投の場合に、より良好な均一性を発生する。自己バイアスされたペDESTALのこのより良好な均一性も、ウェーハを支持している自己バイアスされたペDESTALがその全面積にわたって、スパッタされイオン化された粒子を引き付けることに関係しているものと考えられる。同様に、本発明の三角形マグネトロンは、対向する2つの側壁のカバレッジ間の非対称性を少なくする。イオン化密度の増加は、部分的に、外側ヨークの面積よりも実質的に小さい面積を有する比較的小さい内側ヨークに起因する。その結果、内側ヨークの一方の側から失われた電子は他方の側によって捕捉されるらしい。

10

20

## 【0048】

弓形三角形マグネトロンを、チタンをスパッタさせるためにも使用した。チタンは（ある場合には窒化チタンと共に）、コンタクト孔の底のシリコンへのシリサイド化されたコンタクトを設けるための、及びコンタクト孔内のシリコンに対する、及びバイアまたはコンタクト側壁上のアルミニウムとシリカ誘電体との間のバリアー層として働くアルミニウム金属化合物に有用である。従って、順応的な且つ比較的厚い被膜が要求される。

## 【0049】

チタンターゲットを使用し、18kWの直流ターゲット電力と、内側磁極内に6個だけの磁石とを用いて一連の実験を遂行した。0.35ミリのチャンバ圧力において、底カバレッジ及び均一性は良好であることが観測された。

30

## 【0050】

被膜するバイア孔のアスペクト比（AR）の関数としての底カバレッジを測定するために、チタン実験を継続した。ウェーハバイアスは印加せず、ペDESTALヒーターを電氣的に浮かせたままとしたにも拘わらず、18kWのターゲット電力を印加したところ、ターゲットは約30乃至45Vに自己バイアスした。これらの条件の下における底カバレッジを、図15のグラフに線190で示す。孔のアスペクト比が高くなると底カバレッジは低下するが、それでもAR=6において、受入れ可能な20%である。

## 【0051】

これらの実験の遂行中、図1に示すRF電源192は結合用キャパシタ回路194を通してヒーターペDESTALに接続されていた。プラズマに接するウェーハにこのようなRF場を印加すると、直流自己バイアスが発生することが知られている。400kHz、100Wの電力を印加した場合、図16のグラフの線196によって示すように、底カバレッジは大幅に増加する。これらの電力は、200mmの円形ウェーハに対して正規化すべきである。しかしながら、バイアス電力を250Wに増加させると、バイア孔のトップ隅の再スパッタリング及びファセティングが問題になり始める。一般的には、100Wのウェーハバイアスよりも悪化する。13.56MHzの高いバイアス周波数でも同じような結果がもたらされる。

40

## 【0052】

本発明のマグネトロンは、TiNのためのような反応性スパッタリングにも使用することができる（窒素をチャンバ内へ付加的に導入し、例えばチタンのようなスパッタされる金

50

属と反応させてTiNを生成させ、またはタンタルと反応させてTa<sub>2</sub>Nを生成させる)。反応性スパッタリングは、より複雑であり、変化する化学である。TiNを生成させるための反応性スパッタリングは、2つの方法、即ち金属モード及び毒物(poison)モードで動作することが知られている。金属モードは、ウェーハ上に高密度で金色のフィルムを生成する。高い窒素流を伴うことが多い毒物モードは、有利なことに低応力の紫/茶フィルムを生成する。しかしながら、毒物モードフィルムは多くのグレ境界を有しており、フィルム欠陥はチップの歩留まりをかなり低下させる。更に、毒物モードにおける堆積速度は、典型的には、金属モードにおける速度の1/4にしか過ぎない。一般には、毒物モードにおいては、窒素がターゲットと反応してTiターゲット上にTiN表面を形成し、一方、金属モードにおいては、ターゲット表面はきれいなままであり、TiNはウェーハ上だけに形成される。

10

#### 【0053】

弓形三角形マグネトロンを、窒化チタンの反応性スパッタリングのために使用した。金属モードでの動作を得るためには、初期化条件が極めて重要であることを見出した。一連の初期実験においては、先ずアルゴンだけをチャンバ内に導入した。約0.5ミリのアルゴン圧力においてプラズマを点弧させた後に、アルゴン流を5 s c c mに減少させ、0.3ミリの圧力を発生させた。次いで窒素流を段階的に100 s c c mまでランプアップさせた後に、チャンバ圧力を徐々に低下させると、流れに依存するチャンバ圧力は図17に示すヒステリシス形状を呈する。窒素の流れが約50から70 s c c mの間では、中間のランプアップ圧力200は対応する中間のランプダウン圧力202より低い。より低い圧力204及びより高い圧力205においては、ランプアップとランプダウンとの間に大きい分離は存在しない。より低い圧力204及び中間ランプアップ圧力200は金属モードでのスパッタリングを生じさせ、中間ランプダウン圧力202は毒物モードでのスパッタリングを生じさせるものと考えられる。

20

#### 【0054】

これらの結果は、一般的に好ましい金属モードにおいてより高い動作堆積速度を得るためには、中間ランプアップ圧力200を越えない、即ち最大金属モード流を越えない(これらの実験においては70 s c c mまたは僅かに高めであるが、厳格に80 s c c mよりは低い)ことが重要であることを示している。アルゴン及び窒素は同時に且つ迅速にターンオンさせることはできるが、好ましくは直流電力も迅速にターンオンさせる。

30

#### 【0055】

しかしながら、毒物モードでの動作が好ましい若干の応用が存在する。これは、先ずより高い圧力206まで上昇させ、次いでランプダウン中間圧力202へ低下させることによって達成することができる。代替として、直ちに所望のガス流をターンオンさせるが、直流スパッタリング電源だけは5 kW/sを越えないレートで徐々にターンオンさせることによって毒物モードを達成することができる。

#### 【0056】

アルゴン内でプラズマを点弧させた後に、50 s c c mのN<sub>2</sub>流及び5 s c c mのアルゴン流において、金属及び毒物の両モードで高アスペクト比のバイア孔内に窒化チタンをスパッタさせた。これらの流れは、金属モードにおいては1.7ミリの圧力を、また毒物モードでは2.1ミリの圧力を発生させる。堆積速度は、金属モードでは100 nm/分であり、毒物モードでは30 nm/分である。TiNフィルム応力は、それが金属モードで堆積された場合には高く、一方毒物モードではバイア孔のトップ付近に張出し(オーバーハング)を生じ、側壁厚みが波形になる欠点を有している。結果として測定された底カバレッジを、図18のグラフに示す。線210は、金属モードでの底カバレッジを示しており、バイアのアスペクト比が5であってさえ比較的高く維持されている。一方、毒物モードでの線212で示すステップカバレッジは、常に低く、アスペクト比が4より高くなると劇的に低下する。

40

#### 【0057】

本発明のマグネトロンは、例えばタングステンターゲットを使用してのW、及びタンタル

50

ターゲット及びプラズマ内の窒素ガスを使用してのTa<sub>2</sub>Nのような、他の材料のスパッタ堆積にも使用することができる。WNの反応性スパッタリングも企図されている。

【0058】

以上説明したように、本発明のマグネトロンは、過大な電力を必要とせずに高密度プラズマを発生させることができるので、高い割合でイオン化を発生させるのに効率的である。それにも拘わらず、その完全なカバレッジは、均一な堆積及びターゲットの完全利用を可能にする。そのスパッタリングの均一性は良好である。それにも拘わらず、複雑なメカニズムは必要としない。

【0059】

このような小型且つ高磁場の磁石によって、比較的控えめなターゲット電力で維持型自己スパッタリングが可能になり、また0.5ミリトルより低い、好ましくは0.2ミリトルより低く低下させた圧力において、そして0.1ミリトルにおいてさえ、アルミニウム及びチタンのような材料のスパッタリングが可能になる。これらの圧力においては、スパッタされる粒子（中性であろうが、またはイオン化していようが）の散乱が減少するために、及びイオン化された粒子の中性化が減少するために、容易に深い孔を充填することができる。高磁場の磁石は高い割合のイオン化を更に促進し、これらは、ウェーハを適切な範囲内にバイアスすることによって深くて狭い孔内に引込むことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 直流プラズマスパッタリング反応器の概要図である。

【図2】 半導体集積回路内のレベル間バイアの断面図である。

【図3】 従来のマグネトロンの平面図である。

【図4】 本発明のマグネトロンの一実施の形態の磁極片を示す図6の4-4矢視平面図である。

【図5】 図4のマグネトロン内に使用されている磁石の平面図である。

【図6】 本発明の実施の形態と共に使用される磁石の1つの断面図である。

【図7】 図4のマグネトロンの断面図である。

【図8】 卵形マグネトロンの平面図である。

【図9】 三角形の形状をしたマグネトロンの平面図である。

【図10】 弓形三角形マグネトロンと称する図9の三角形の形状をしたマグネトロンの変形の平面図である。

【図11】 図10の弓形三角形マグネトロン内に使用されている磁石の平面図である。

【図12】 面積及び円周の長さを計算するために使用される2つのモデルマグネトロンの平面図である。

【図13】 三角形及び円形マグネトロンの面積の角度依存性を示すグラフである。

【図14】 図12の2つの型のマグネトロンの円周の長さの角度依存性を示すグラフである。

【図15】 本発明の実施の形態により発生する磁場を理想化して示す側面図である。

【図16】 チタンスパッタリングにおける底カバレッジに及ぼすRFウェーハバイアスの効果を示すグラフである。

【図17】 チャンバ圧力の窒素流への依存性を示すグラフであって、本発明のマグネトロンを用いて窒化チタンを反応性スパッタリングさせて得られる2つの堆積モードを示している。

【図18】 本発明のマグネトロンを用いて窒化チタンを反応性スパッタリングさせた場合に2つのスパッタリングモードで得られたステップカバレッジのグラフである。

10

20

30

40

【 図 1 】

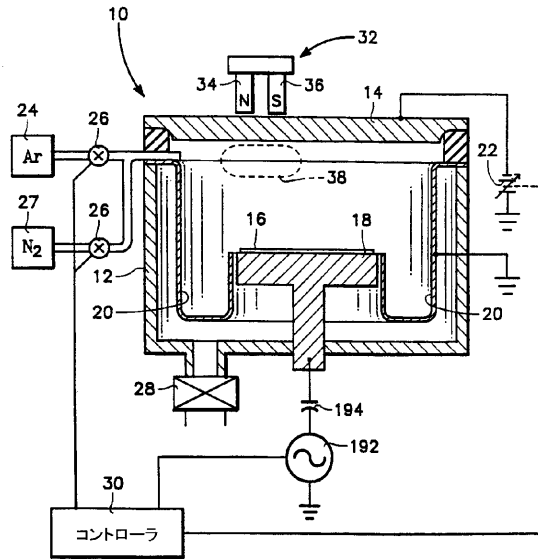


FIG. 1

【 図 2 】

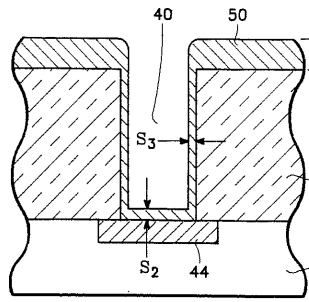
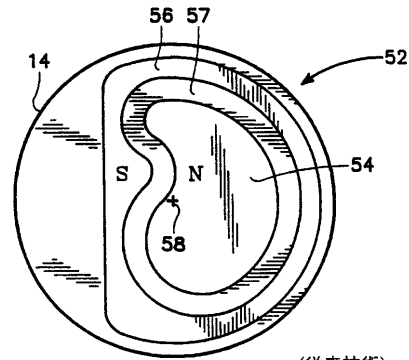


FIG. 2

【 図 3 】



(従来技術)

FIG. 3

【 図 4 】

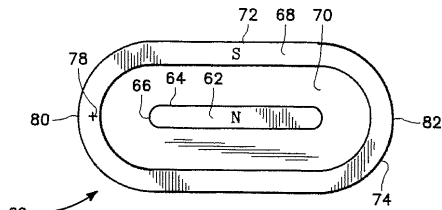


FIG. 4

【 図 5 】

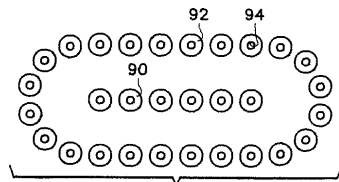


FIG. 5

【 図 6 】

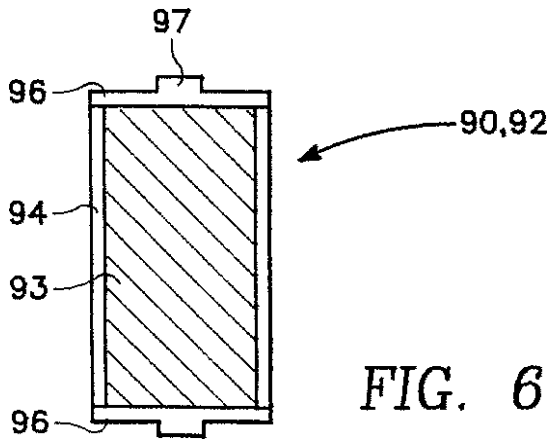


FIG. 6

【 図 7 】

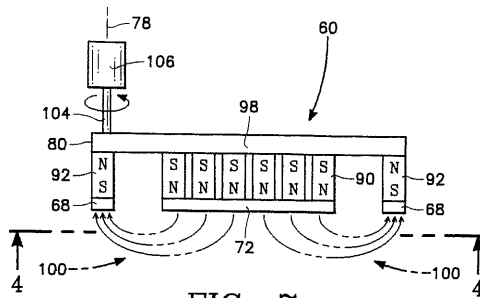


FIG. 7

【図 8】

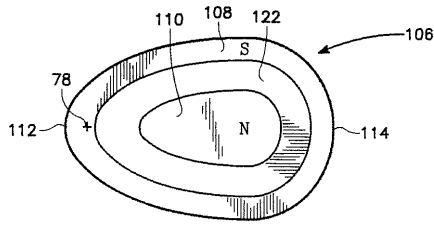


FIG. 8

【図 9】

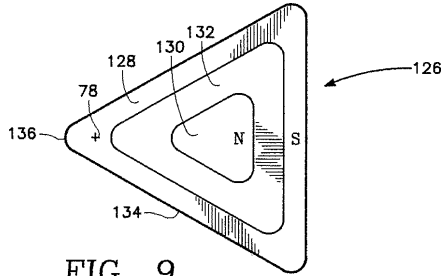


FIG. 9

【図 10】

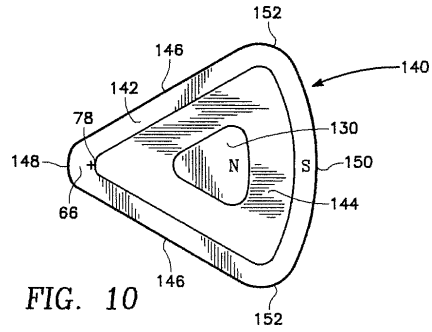


FIG. 10

【図 11】

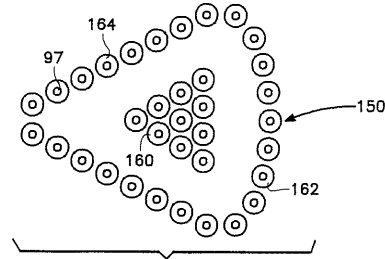


FIG. 11

【図 12】

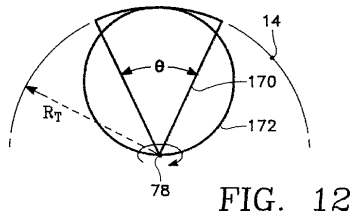


FIG. 12

【図 15】

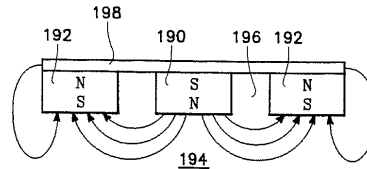


FIG. 15

【図 13】

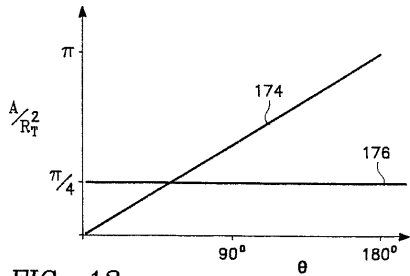


FIG. 13

【図 16】

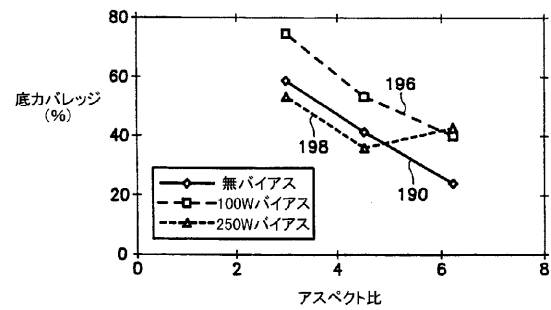


FIG. 16

【図 14】

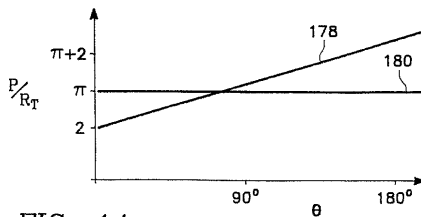


FIG. 14



【 図 17 】

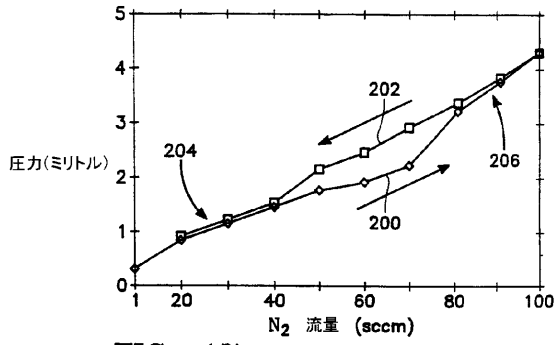


FIG. 17

【 図 18 】

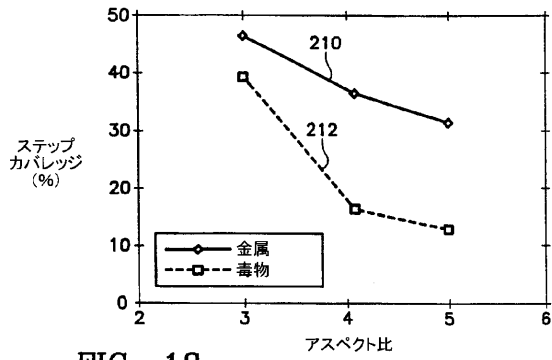


FIG. 18

## フロントページの続き

- (74)代理人 100065189  
弁理士 宍戸 嘉一
- (74)代理人 100096194  
弁理士 竹内 英人
- (74)代理人 100074228  
弁理士 今城 俊夫
- (74)代理人 100084009  
弁理士 小川 信夫
- (74)代理人 100082821  
弁理士 村社 厚夫
- (74)代理人 100086771  
弁理士 西島 孝喜
- (74)代理人 100084663  
弁理士 箱田 篤
- (72)発明者 フ ジアンミン  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 5 1 2 4 サン ホセ サーナ ドライヴ 4 6 3 1

審査官 若土 雅之

- (56)参考文献 特開昭62-089864(JP,A)  
特開昭63-282263(JP,A)  
特開昭63-243272(JP,A)  
特開昭63-109163(JP,A)  
特開平09-041136(JP,A)  
小林春洋, スパッタ薄膜 - 基礎と応用 -, 日本, 日刊工業新聞社, 1993年 2月25日, 初版第1刷, pp. 84-87

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
C23C 14/00-14/58  
H01L 21/285  
H05H 1/46