

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-201662

(P2015-201662A)

(43) 公開日 平成27年11月12日(2015.11.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H01L 21/285 (2006.01)	H01L 21/285 S	4K029
C23C 14/34 (2006.01)	C23C 14/34 S	4M104
C23C 14/14 (2006.01)	C23C 14/14 D	5F033
H01L 21/768 (2006.01)	H01L 21/90 A	

審査請求 有 請求項の数 23 O L (全 59 頁)

(21) 出願番号	特願2015-125418 (P2015-125418)	(71) 出願人	390040660 アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド APPLIED MATERIALS, INCORPORATED アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050
(22) 出願日	平成27年6月23日 (2015. 6. 23)		
(62) 分割の表示	特願2010-153219 (P2010-153219) の分割		
原出願日	平成14年11月14日 (2002. 11. 14)		
(31) 優先権主張番号	09/993, 543	(74) 代理人	100092093 弁理士 辻居 幸一
(32) 優先日	平成13年11月14日 (2001. 11. 14)	(74) 代理人	100082005 弁理士 熊倉 禎男
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100067013 弁理士 大塚 文昭
(31) 優先権主張番号	60/342, 608		
(32) 優先日	平成13年12月21日 (2001. 12. 21)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		
(31) 優先権主張番号	10/202, 778		
(32) 優先日	平成14年7月25日 (2002. 7. 25)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

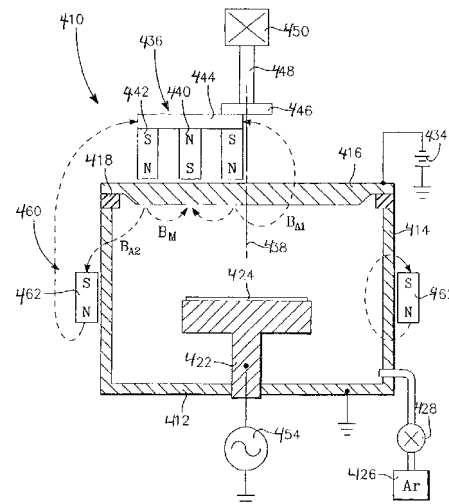
(54) 【発明の名称】 スパッタリング及び再スパッタリングのための自己イオン化したプラズマ及び誘導結合したプラズマ

(57) 【要約】

【課題】 S I Pスパッタリング及び I C Pスパッタリングが促進される、マグネトロンスパッタリアクタ410及びその使用方法を提供する。

【解決手段】 別のチャンバ412においては、マグネトロンスパッタリアクタの側壁414に沿って、ターゲットからウェーハの方へ向いて側面に配置された補助磁石のアレイが開示されている。マグネトロン436は、好ましくは、全てヨーク444上の、第2の極性のより弱い内側極440を囲む第1の極性のより強い外側極442を有する小さなものであり、回転手段446、448、450を用いてチャンバの軸438の周りに回転する。補助磁石462は、好ましくは、不平衡な磁界460をウェーハ424の方へ引っ張る第1の極性を有し、該ウェーハは、電力454が供給されるペDESTAL422上にある。アルゴン426は、バルブ428を介して供給される。ターゲット416には、電力434が供給される。

【選択図】 図10



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも 4 : 1 のアスペクト比を有し、かつ基板の絶縁層内に形成されたホール内に金属を堆積させる方法であって、

金属を含む堆積材料を、チャンバ内の誘導結合プラズマ中で、前記ホール内にスパッタ堆積することと、

金属を含む堆積材料を、チャンバ内の自己イオン化したプラズマ中で、前記ホール内にスパッタ堆積することを含む方法。

【請求項 2】

前記ホールを金属で充填することを更に含む、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 3】

前記充填は、電気メッキを含む、請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記自己イオン化したプラズマ中でのスパッタ堆積は、前記誘導結合プラズマ中でのスパッタ堆積に先行する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記自己イオン化したプラズマ中でのスパッタ堆積、および前記誘導結合プラズマ中でのスパッタ堆積は、同じチャンバ内で行われる、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記誘導結合プラズマ中でのスパッタ堆積は、前記自己イオン化したプラズマ中で堆積した堆積材料を、前記誘導結合プラズマ中で再スパッタリングすることを更に含む、請求項 4 に記載の方法。

20

【請求項 7】

前記再スパッタリングは、前記ホールの底部に堆積した堆積材料を除去することを含む、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】

前記自己イオン化したプラズマ中でのスパッタ堆積は、タンタルおよびタンタルナイトライドのうちの少なくとも一つを含む堆積材料を堆積する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記自己イオン化したプラズマ中でのスパッタ堆積は、銅を含む堆積材料を堆積する、請求項 1 に記載の方法。

30

【請求項 10】

前記誘導結合プラズマ中でのスパッタ堆積は、タンタルおよびタンタルナイトライドのうちの少なくとも一つを含む堆積材料を堆積する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記誘導結合プラズマ中でのスパッタ堆積は、銅を含む堆積材料を堆積する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 12】

前記誘導結合プラズマ中でのスパッタ堆積は、前記誘導結合プラズマを形成するために前記誘導結合プラズマを含む前記チャンバ内部のコイルとの RF 誘導結合を少なくとも部分的に用いる、請求項 1 に記載の方法。

40

【請求項 13】

少なくとも 4 : 1 のアスペクト比を有し、かつ基板の絶縁層内に形成されたホール内に金属を堆積させるツールであって、

移送チャンバと、

前記移送チャンバと結合され、かつ IMP チャンバ内で誘導結合プラズマを形成するように適合された、かつ金属を含む堆積材料を、前記誘導結合プラズマ中で、前記ホール内にスパッタ堆積させるように適合された IMP スパッタチャンバと、

前記移送チャンバに結合され、かつ SIP チャンバ内に自己イオン化したプラズマを形成するように適合され、かつ金属を含む堆積材料を、前記自己イオン化したプラズマ中で

50

前記ホール内にスパッタ堆積させるように適合されたS I Pチャンバとを備えるツール。

【請求項14】

前記S I Pチャンバは、

中心軸周りに配置された側壁と、

前記基板を前記S I Pチャンバ内で支持するペDESTALと、

前記中心軸に沿って、前記ペDESTALと対向して配置されたスパッタリングターゲットであって、処理空間が、前記ペDESTALと、前記ターゲットと、前記側壁との間の領域内に形成されているスパッタリングターゲットと、

前記処理空間と対向する、前記ターゲットの側部に配置されたマグネトロンと、

前記中心軸に沿って第1の磁極を有する、前記処理空間の周りに少なくとも部分的に配置された補助磁石とを有する、請求項13に記載のツール。

10

【請求項15】

前記ターゲットは、前記基板の口径の50%を超えるであるスロー距離だけ、前記ペDESTALから離れている、請求項14に記載のツール。

【請求項16】

前記IMPチャンバは、前記基板を支持し、かつ前記基板にバイアスをかけるように適合されたペDESTALを有し、前記ツールは、前記ペDESTALを制御して、前記誘導結合プラズマのイオンを引き付けて堆積材料を再スパッタするように、前記基板にバイアスをかけるように適合されたコントローラを備える、請求項13に記載のツール。

【請求項17】

前記再スパッタリングは、前記ホールの底部に堆積した堆積材料を除去することを含む、請求項16に記載のツール。

20

【請求項18】

前記S I Pチャンバは、タンタルを含むスパッタターゲットを有する、請求項13に記載のツール。

【請求項19】

前記S I Pチャンバは、銅を含むスパッタターゲットを有する、請求項13に記載のツール。

【請求項20】

前記IMPチャンバは、タンタルを含むスパッタターゲットを有する、請求項13に記載のツール。

30

【請求項21】

前記IMPチャンバは、銅を含むスパッタターゲットを有する、請求項13に記載のツール。

【請求項22】

前記IMPチャンバは、RFエネルギーを前記誘導結合プラズマに誘導結合するように適合された内部RFコイルを有する、請求項13に記載のツール。

【請求項23】

少なくとも4:1のアスペクト比を有し、かつ基板の絶縁層内に形成されたホール内に配線を形成する方法であって、

40

チャンバ内の自己イオン化したプラズマ中で、前記ホール内にバリア層をスパッタ堆積することと、

チャンバ内の誘導結合プラズマ中で、前記バリア層の底部を再スパッタリングして、前記バリア層の底部の少なくとも一部を除去することと、

チャンバ内の自己イオン化したプラズマ中で、前記ホール内の前記バリア層上に、ライナー層をスパッタ堆積することと、

チャンバ内の誘導結合プラズマ中で、前記ライナー層の底部を再スパッタリングして、前記ライナー層の底部の少なくとも一部を除去することと、

チャンバ内の自己イオン化したプラズマ中で、前記ホール内にシード層をスパッタ堆積することと、

50

チャンバ内の自己イオン化したプラズマ中で、前記シード層の底部を再スパッタリングして、前記シード層の底部の少なくとも一部を再配分することと、
を含む方法。

【請求項 2 4】

前記シード層を再スパッタリングした後、前記ホール内に導電性金属を充填することを更に含む、請求項 2 3 に記載の方法。

【請求項 2 5】

前記充填することとは、電気メッキを含む、請求項 2 4 に記載の方法。

【請求項 2 6】

前記自己イオン化したプラズマ中で、バリア層及びライナー層をスパッタ堆積することと、前記誘導結合プラズマ中で、前記バリア層及びライナー層の底部を再スパッタリングすることとは、同じチャンバ内で行われる、請求項 2 3 に記載の方法。

10

【請求項 2 7】

前記自己イオン化したプラズマ中でシード層をスパッタ堆積することと、前記自己イオン化したプラズマ中で、シード層の底部を再スパッタリングすることとは、同じチャンバ内で行われる、請求項 2 3 に記載の方法。

【請求項 2 8】

前記自己イオン化したプラズマ中でバリア層をスパッタ堆積することは、タンタルナイトライドを含む堆積材料を堆積する、請求項 2 3 に記載の方法。

【請求項 2 9】

20

前記自己イオン化したプラズマ中でシード層をスパッタ堆積することは、銅を含む堆積材料を堆積する、請求項 2 3 に記載の方法。

【請求項 3 0】

前記誘導結合プラズマ中で再スパッタリングすることは、前記誘導結合プラズマを形成する前記誘導結合プラズマを含むチャンバ内部のコイルとの R F 誘導結合を、少なくとも部分的に用いる、請求項 2 3 に記載の方法。

【請求項 3 1】

前記自己イオン化したプラズマ中で再スパッタリングすることは、ターゲットと、中心軸を有するチャンバ内の基板支持ペDESTAL との間の処理空間の周囲に少なくとも部分的に配置された補助磁石を少なくとも部分的に用い、前記磁石が、前記中心軸に沿って第 1 の磁極を有する、請求項 2 3 に記載の方法。

30

【請求項 3 2】

前記自己イオン化したプラズマ中でシード層をスパッタ堆積することは、前記基板に第 1 のレベルでバイアスをかけることを含み、前記自己イオン化したプラズマ中でシード層の底部を再スパッタリングすることは、前記第 1 のレベルよりも高い第 2 のレベルで前記基板にバイアスをかけることを含む、請求項 2 7 に記載の方法。

【請求項 3 3】

前記自己イオン化したプラズマ中でシード層をスパッタ堆積することは、ターゲットに第 1 のレベルの電力を印加することを含み、前記自己イオン化したプラズマ中でシード層の底部を再スパッタリングすることは、前記第 1 のレベルよりも低い第 2 のレベルで電力を印加することを含む、請求項 2 7 に記載の方法。

40

【請求項 3 4】

少なくとも 3 : 1 のアスペクト比を有し、かつ基板の絶縁層内に形成されたホール内に配線を形成する方法であって、

中心軸の周りに配置された側壁を有する真空チャンバ内で、ターゲットの側部に配置されたマグネトロンを用いて前記ターゲットをスパッタリングすることと、

前記中心軸に沿って前記ターゲットと対向するペDESTAL によって支持された基板の方へ、イオンを向けることとを含み、

前記ターゲットは、前記基板の口径の 50 % を超えるスロー距離だけ、前記ペDESTAL から離れており、前記イオンを基板の方へ向けることは、前記中心軸に沿って第 1 の磁極

50

を有する、前記処理空間の周りに少なくとも部分的に配置された補助磁石を用いる、方法。

【請求項 35】

前記基板に第1のレベルのバイアスをかけて、前記ホール内にターゲット材をスパッタ堆積させることと、前記第1のレベルよりも高い第2のレベルのバイアスを前記基板にかけて、前記ホール内に堆積した前記ターゲット材の底部を再スパッタすることとを更に含む、請求項34に記載の方法。

【請求項 36】

前記第1のレベルのバイアスは、600W未満であり、前記第2のレベルのバイアスは、600Wを超える、請求項35に記載の方法。

10

【請求項 37】

前記ターゲットに、第1のレベルで電力を印加して、前記ホール内にターゲット材をスパッタ堆積させることと、前記第1のレベルよりも低い第2のレベルで前記ターゲットに電力を印加して、前記ホール内に堆積した前記ターゲット材の底部を再スパッタすることとを更に含む、請求項34に記載の方法。

【請求項 38】

前記第1のターゲット電力レベルは、30000Wを超え、前記第2のターゲット電力レベルは、30000W未満である、請求項37に記載の方法。

【請求項 39】

前記スロー距離は、前記基板の口径の80%を超える、請求項34に記載の方法。

20

【請求項 40】

前記スロー距離は、前記基板の口径の90%を超える、請求項34に記載の方法。

【請求項 41】

前記スロー距離は、前記基板の口径の100%を超える、請求項34に記載の方法。

【請求項 42】

前記スロー距離は、前記基板の口径の140%を超える、請求項34に記載の方法。

【請求項 43】

前記チャンバは、前記軸周りに概して対称的で、前記チャンバ内に配置された第1の導電性シールドを有し、前記補助磁石は、前記軸周りに概して対称的に配置されている、請求項34に記載の方法。

30

【請求項 44】

前記スパッタリングの少なくとも第1の部分の間に、前記チャンバ内の圧力を、2ミリトル以下の圧力に制御することを更に含む、請求項34に記載の方法。

【請求項 45】

前記イオンを含む自己イオン化プラズマを生成して、マグネトロンを用いて前記ターゲットからスパッタされた堆積材料をイオン化することを更に含む、請求項34に記載の方法。

【請求項 46】

前記基板を第1のレベルでバイアスをかけて、少なくとも3:1の縦横アスペクト比を有する前記基板内のホール内に、イオン化した堆積材料を引き付け、前記ホールの各々に、堆積材料からなる層を形成することであって、前記層が、底部、側壁部、および前記底部と前記側壁部との間の角部とを有することと、第2の工程において、前記第1のレベルよりも高い第2のレベルで前記基板にバイアスをかけて、イオンを引き付け、前記層の底部から、少なくとも前記角部へ堆積材料を再スパッタすることとを更に含む、請求項45に記載の方法。

40

【請求項 47】

前記基板に第1のレベルでバイアスをかけることは、前記ペDESTALに600W以下のレベルで電力を印加することを含み、前記基板に第2のレベルでバイアスをかけることは、前記ペDESTALに、600W以上のレベルで電力を印加することを含む、請求項45に記載の方法。

50

【請求項 48】

前記基板にバイアスをかけると共に、前記ターゲットを第1のレベルでスパッタリングして、少なくとも3:1の縦横アスペクト比を有する前記基板内のホール内に、イオン化した堆積材料を引き付け、各ホール内に、堆積材料からなる層を形成することであって、前記層が、底部、側壁部、および前記底部と前記側壁部との間の角部とを有することと、第2の工程において、前記基板にバイアスをかけると共に、前記第1のレベルよりも低い第2のレベルで前記ターゲットをスパッタリングしてイオンを引き付け、前記層の底部から少なくとも前記角部へ堆積材料を再スパッタすることとを更に含む、請求項45に記載の方法。

【請求項 49】

前記ターゲットを前記第1のレベルでスパッタリングすることは、30kWを超えるレベルで前記ターゲットに電力を印加することを含み、前記ターゲットを前記第2のレベルでスパッタリングすることは、30kW未満のレベルで前記ターゲットに電力を印加することを含む、請求項48に記載の方法。

【請求項 50】

前記ターゲット材は、銅を含む、請求項34に記載の方法。

【請求項 51】

前記中心軸周りにマグネトロンを回転させることを更に含む、請求項34に記載の方法。

【請求項 52】

前記マグネトロンは、前記中心軸に沿って第2の磁極を有する内側極と、前記内側極を囲み、かつ前記第1の磁極と対向して前記中心軸に沿って、第3の磁極を有する外側極とを含む、請求項51に記載の方法。

【請求項 53】

前記外側極は、前記内側極の少なくとも150%の一体化した磁束を有する、請求項52に記載の方法。

【請求項 54】

前記第1の磁極は、前記第3の磁極と位置合わせされている、請求項52に記載の方法。

【請求項 55】

前記外側極は、前記内側極の少なくとも150%の一体化した磁気密度を有する、請求項54に記載の方法。

【請求項 56】

前記内側極は、前記中心軸から完全にずれている、請求項52に記載の方法。

【請求項 57】

前記補助磁石は、前記処理空間の半分を通して前記ターゲットに向かう面内には伸びていない、請求項34に記載の方法。

【請求項 58】

前記補助磁石は、永久磁石を含む、請求項34に記載の方法。

【請求項 59】

前記補助磁石は、電磁石を含む、請求項34に記載の方法。

【請求項 60】

前記ターゲットの裏周りでマグネトロンを回転させることを更に含み、前記マグネトロンが、前記ターゲットの領域の1/4以下の領域を有し、かつ反対の磁極性の外側磁極によって囲まれた一方の磁極の内側磁極を含み、前記外側磁極の磁束は、前記ターゲットの近くに自己イオン化したプラズマを生成するために、前記内側極の磁束よりも少なくとも50%大きい、請求項34に記載の方法。

【請求項 61】

中心軸周りに配設された側壁を有する真空チャンバと、
前記真空チャンバ内で基板を支持するペDESTALと、

10

20

30

40

50

前記ペDESTALと対向して、前記中心軸に沿って配置されたスパッタリングターゲットであって、前記ペDESTALと、前記ターゲットと、前記側壁との間の領域に処理空間が形成されており、前記ターゲットが、前記基板の口径の50%を超えるスロー距離だけ前記ペDESTALから離れている、スパッタリングターゲットと、

前記処理空間と対向して前記ターゲットの側に配置されたマグネトロンと、

前記中心軸に沿って第1の磁極性を有する、前記処理空間の周囲に少なくとも部分的に配置された補助磁石と、を備える、プラズマスパッタリアクタ。

【請求項62】

前記スロー距離は、前記基板の口径の80%を超えるである、請求項61に記載のリアクタ。

【請求項63】

前記スロー距離は、前記基板の口径の90%を超える、請求項61に記載のリアクタ。

【請求項64】

前記スロー距離は、前記基板の口径の100%を超える、請求項61に記載のリアクタ。

【請求項65】

前記スロー距離は、前記基板の口径の140%を超える、請求項61に記載のリアクタ。

【請求項66】

前記軸周りに概して対称的であり、かつ前記チャンバ内に配設された第1の導電性シールドを更に備え、前記補助磁石は、前記軸周りに概して対称的に配設されている、請求項61に記載のリアクタ。

【請求項67】

前記チャンバに結合された圧力ポンプと、前記ターゲットをスパッタリングすることの少なくとも第1の部分の間に、前記圧力ポンプを制御して、前記チャンバ内の圧力を2ミリトル以下の圧力に制御するように適合されたコントローラとを更に備える、請求項61に記載のリアクタ。

【請求項68】

前記マグネトロンは、前記ターゲットの近くに配置され、かつ前記ターゲットからスパッタされた堆積材料をイオン化するように配置されたイオンからなるプラズマを生成するように適合された、請求項61に記載のリアクタ。

【請求項69】

前記ペDESTALに結合されたバイアス源と、第1の工程において、前記基板に第1のレベルでバイアスをかけて、イオン化した堆積材料を前記基板内のホール内に引き付け、前記ホールの各々の中に堆積材料からなる層を形成するように前記バイアス源を制御するように適合されており、前記層が、底部と、側壁部と、前記底部と前記側壁部との間の角部とを有し、第2の工程において、前記第1のレベルよりも高い第2のレベルで前記基板にバイアスをかけてイオンを引き付け、前記層の底部から少なくとも前記角部へ堆積材料を再スパッタするように前記バイアス源を制御するように適合されたコントローラとを更に備える、請求項68に記載のリアクタ。

【請求項70】

前記第1のレベルのバイアスは、600W未満であり、前記第2のレベルのバイアスは、600Wを超える、請求項69に記載のリアクタ。

【請求項71】

前記ターゲットに電力を印加するように適合された電力源と、前記ペDESTALに結合されたバイアス源と、前記基板にバイアスをかけると共に、前記ターゲットを第1のレベルでスパッタリングして、イオン化した堆積材料を、前記基板内のホール内に引き付け、前記ホールの各々の中に、堆積材料からなる層を形成するように、ターゲット電力源及びバイアス源を制御するように適合されており、前記層が、底部と、側壁部と、前記底部と前記側壁部との間の角部とを有し、また、第2の工程において、前記基板にバイアスをかけ

10

20

30

40

50

ると共に、前記第 1 のレベルよりも低い第 2 のレベルで前記ターゲットをスパッタリングしてイオンを引き付け、前記層の底部から少なくとも前記角部へ堆積材料を再スパッタするように前記ターゲット電力源及びバイアス源を制御するように適合されたコントローラとを更に備える、請求項 6 8 に記載のリアクタ。

【請求項 7 2】

前記電力源は、前記ターゲットが、前記第 1 のレベルでスパッタリングされているときに、1 kW を超えるレベルで前記ターゲットに電力を印加し、前記電力源は、前記ターゲットが前記第 2 のレベルでスパッタリングされているときに、1 kW 未満のレベルで前記ターゲットに電力を印加する、請求項 7 1 に記載のリアクタ。

【請求項 7 3】

10

前記ターゲット材は、銅を含む、請求項 6 1 に記載のプラズマスパッタリアクタ。

【請求項 7 4】

前記マグネトロンは、前記中心軸周りに回転される、請求項 6 1 に記載のプラズマスパッタリアクタ。

【請求項 7 5】

前記マグネトロンは、前記中心軸に沿って第 2 の磁極を有する内側極と、前記内側極を囲み、かつ前記第 1 の磁極性と対向して、前記中心軸に沿って第 3 の磁極性を有する外側極とを含む、請求項 7 4 に記載のリアクタ。

【請求項 7 6】

前記外側極は、前記内側極の少なくとも 1 5 0 % の一体化した磁束を有する、請求項 7 5 に記載のリアクタ。

20

【請求項 7 7】

前記第 1 の極性は、前記第 3 の磁極性と位置合わせされている、請求項 7 5 に記載のリアクタ。

【請求項 7 8】

前記外側極は、前記内側極の少なくとも 1 5 0 % の一体化した磁気密度を有する、請求項 7 7 に記載のリアクタ。

【請求項 7 9】

前記内側極は、前記中心軸から完全にずれている、請求項 7 5 に記載のリアクタ。

【請求項 8 0】

30

前記補助磁石は、前記処理空間の半分を通して前記ターゲットに向かう面内には伸びていない、請求項 6 1 に記載のリアクタ。

【請求項 8 1】

前記補助磁石は、永久磁石を含む、請求項 6 1 に記載のリアクタ。

【請求項 8 2】

前記補助磁石は、電磁石を含む、請求項 6 1 に記載のリアクタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

【関連出願】

40

[001] 本出願は、2 0 0 0 年 1 0 月 1 0 日に出願された係属中の出願第 0 9 / 6 8 5 , 9 7 8 号の一部継続出願、(米国特許第 6 , 3 9 8 , 9 2 9 号として発行された) 1 9 9 9 年 1 0 月 8 日に出願された出願第 0 9 / 4 1 4 , 6 1 4 号の分割出願であり、また、(2 0 0 1 年 8 月 3 0 日に出願された仮出願第 6 0 / 3 1 6 , 1 3 7 号、および 2 0 0 1 年 1 2 月 2 1 日に出願された同第 6 0 / 3 4 2 , 6 0 8 号に対して優先権を主張する) 2 0 0 2 年 7 月 2 5 日に出願された係属中の出願第 1 0 / 2 0 2 , 7 7 8 号の一部継続出願であり、また、2 0 0 1 年 1 1 月 1 4 日に出願された係属中の出願第 0 9 / 9 9 3 , 5 4 3 号の一部継続出願であり、これら全体を本願明細書に組み入れる。

【0 0 0 2】

[002] 本発明は、一般に、スパッタリング及び再スパッタリングに関する。具体的に

50

は、本発明は、半導体集積回路の形成における、材料物質のスパッタ堆積及び堆積した材料物質の再スパッタリングに関する。

【背景技術】

【0003】

[003] 半導体集積回路は、通常、多数のアクティブな半導体デバイス間に電氣的接続を形成するために、複数の層のメタライゼーションを含む。進歩した集積回路、特にマイクロプロセッサ用集積回路は、5つ以上のメタライゼーション層を含む。従来、アルミニウムは、有利なメタライゼーションであったが、進歩した集積回路のためのメタライゼーションとして、銅が新たに使用されてきている。

【0004】

[004] 典型的なメタライゼーション層を、図1の断面図に示す。低位の層110は、導電性形状構成112を含む。低位の層110が、シリカや他の絶縁材料等の低位の絶縁層である場合、導電性形状構成112は、低位の銅メタライゼーションであってもよく、また、上位のメタライゼーションの垂直部分は、2つの層のメタライゼーションを相互接続するため、ビアと呼ばれている。低位の層110がシリコン層である場合、導電性形状構成112は、ドーパされたシリコン領域であってもよく、また、ホール内に形成された上位のメタライゼーションの垂直部分は、シリコンと電氣的に接触するため、コンタクトと呼ばれている。上位の絶縁層114は、低位の絶縁層110及び低位のメタライゼーション112を覆って堆積されている。ラインやトレンチを含む上記ホールの他の形状もある。また、デュアルダマシン及び同様の配線構造においては、以下に説明するように、上記ホールは複雑な形状を有する。いくつかの適用においては、上記ホールは、上記絶縁層を貫通して伸びていないこともある。以下の説明においては、ビアホールのみを説明するが、たいていの状況において、該説明は、当技術分野で周知のように多少の変更によって、他の種類のホールにも同様に良好に適用できる。

【0005】

[005] 従来、上記絶縁層は、前駆物質としてテトラエトキシシラン (TEOS) を使用した、プラズマCVD (plasma-enhanced chemical vapor deposition; PECVD) によって形成されたシリコン酸化膜である。しかし、他の組成の低比誘電率 (low-k) 材料及び堆積技術も考えられている。開発されている low-k 絶縁体のうちのいくつかは、フッ化シリケートガラス等の珪酸塩として特徴付けることができる。以後、シリケート (酸化物) 絶縁体のみを直接的に説明するが、他の絶縁体構成を用いることも意図されている。

【0006】

[006] ビアホールは、シリケート絶縁体の場合、一般に、フッ素をベースとしたプラズマエッチングプロセスを用いて、上位の絶縁層114内にエッチングされる。進歩した集積回路においては、該ビアホールは、0.18 μm 程度またはそれ以下の幅を有する。絶縁層114の厚さは、通常、少なくとも0.7 μm であり、またはその2倍であり、そのため、該ホールのアスペクト比は、4:1以上となる。6:1以上のアスペクト比が提案されている。さらに、たいていの状況においては、上記ビアホールは、垂直の断面を有する。

【0007】

[007] ライナー層116は、上記ホールの底部及び側部と、絶縁層114の上に堆積することができる。ライナー116は、いくつかの機能を実行することができる。該ライナーは、金属膜は、酸化物から剥離しようとするため、該絶縁体と該金属との間の接着層として作用することができる。また、該ライナーは、酸化物をベースとした絶縁体と金属との間の相互拡散に対するバリアとして作用することもできる。該ライナーは、上記ホールを充填する金属の堆積のための均一な接着、成長及び可能な限り低い温度のリフローを促進するための、および個別のシード層の成長の核もなすためのシード及び核形成層として作用してもよい。1つまたはそれ以上のライナー層を堆積させてもよく、1つの層は、主にバリア層として機能し、他の層は、主に接着層、シード層または核形成層として機能

10

20

30

40

50

してもよい。

【0008】

[008] その後、銅等の導電性金属からなる配線層118が、例えば、上記ホールを充填するためにライナー層116を覆って、および絶縁層114の上部を被覆するために堆積される。従来のアルミメタライゼーションは、金属層118の平坦部の選択性エッチングによって、水平配線部内にパターン形成される。しかし、デュアルダマシンと呼ばれる銅メタライゼーションのための方法は、絶縁層114内の上記ホールを2つの接続部分に形成し、第1の接続部分は、該絶縁層の底部を貫通する狭いビアであり、第2の接続部分は、該ビアを相互接続する表面部分内の幅広のトレンチである。金属堆積の後、上記絶縁体酸化物上に露出した比較的柔らかい銅を除去するが、より固い酸化物上で停止する、化学的機械的研磨 (chemical mechanical polishing; CMP) が行われる。その結果、隣接する低位層の導電性形状構成112と同様の、上記上位の複数の銅が充填されたトレンチが互いに絶縁される。該銅が充填されたトレンチは、該銅が充填されたビア間の水平方向の配線として機能する。デュアルダマシンとCMPとの組み合わせにより、銅をエッチングする必要性がなくなる。複数層構造及びエッチング順序は、デュアルダマシンのために進歩してきており、また他のメタライゼーション構造も、同様の製造上の必要条件を有する。

10

【0009】

[009] デュアルダマシンにおいて生じる、ビアホールを裏打ちすること及び充填すること、および同様の高アスペクト比構造は、それらのアスペクト比が増加し続けた場合、継続的な挑戦をもたらす。4:1のアスペクト比は一般的であり、該値は、さらに増加するであろう。本願明細書において用いるアスペクト比は、上記ホールの深さと、通常その上部面に近い、該ホールの最も狭い幅との比として定義される。また、 $0.18\mu\text{m}$ のビア幅も一般的であり、該値は、さらに減少するであろう。酸化物絶縁体内に形成された進歩した銅配線の場合、上記バリア層の形成は、上記核形成層及びシード層から明確に絶縁されようとする。拡散バリアは、 Ta/TaN 、 W/WN または Ti/TiN あるいは他の構造からなる二重層で形成してもよい。 $10\sim 50\text{nm}$ のバリアの厚さが一般的である。銅配線の場合、上記核形成及びシード機能を満たすために、1つまたはそれ以上の銅層を堆積させることが実用的であることが分かっている。

20

【0010】

[0010] スパッタリングとも呼ばれる、従来の物理気相堆積 (physical vapor deposition; PVD) による上記ライナー層またはメタライゼーションの堆積は、比較的速い。DCマグネトロンスパッタリングリアクタは、スパッタ堆積すべき金属からなり、かつ直流電源によって動かされるターゲットを有する。該マグネトロンは、プラズマ密度を高めて、それによってスパッタリング速度を増加させるために、該ターゲットの裏の周りをスキャンし、その磁界を上記リアクタの一部に突出している。しかし、(導入すべき他の種類のスパッタリングとは対照的にPVDと呼ぶことにする) 従来のDCスパッタリングは、中性の原子を主にスパッタする。PVDにおける一般的なイオン密度は、 10^9cm^{-3} 以下である。また、PVDは、原子を広角度の配分で原子をスパッタする傾向があり、目標の垂線周りのコサイン依存性を一般的に有する。このような高配分は、バリア層124がすでに堆積されている、図2に示すような深くかつ狭いビアホール122を充填することに対しては、不利になる可能性がある。多数の角度を外れたスパッタ粒子は、層126を、ホール122の上方角部の周囲に優先的に付着させ、オーバハング128を形成する可能性がある。大きなオーバハングは、さらに、ホール122内への進入を制限し、ホール122の側壁130及び底部132の不十分な被覆性を生じる可能性がある。また、該オーバハング128は、ホール122が充填され、かつホール122内のメタライゼーションにボイド134を形成する前に、該ホールをブリッジ接続する可能性がある。ボイド134が一旦形成されると、該メタライゼーションを、その融点付近まで加熱することによって該ボイドをリフローすることは困難である。小さなボイドでさえ、信頼性の問題を引き起こす可能性がある。例えば、電気メッキ等による第2の

30

40

50

メタライゼーション堆積工程を予定している場合、上記ブリッジ接続したオーバハングは、連続的な堆積をより困難にする。

【0011】

[0011] 上記のオーバハングの問題を改善する一つのアプローチは、スパッタリングターゲットが、ウェーハまたはスパッタ被覆されている他の基板から比較的離れている、ロングスロースパッタリングである。例えば、ターゲットからウェーハまでの間隔は、ウェーハの口径の少なくとも50%、好ましくは90%以上、より好ましくは140%以上とすることができる。その結果として、上記スパッタリング配分の角度を外れた部分は、チャンバ壁へ優先的に向けられるが、中心角部分は、実質的に該ウェーハに向けられたままである。切形の角配分は、スパッタ粒子の大部分を、ホール122内の深部に向けさせ、かつオーバハング128の大きさを削減させることができる。同様の効果は、ターゲットとウェーハとの間にコリメータを配置することによって実施することができる。該コリメータは、高アスペクト比の多数のホールを有するため、上記角度を外れたスパッタ粒子は、該コリメータの側壁に衝突する傾向があり、また中心角の粒子は、通過する傾向がある。ロングスローターゲット及びコリメータは共に、一般的に、ウェーハに達するスパッタ粒子の束を低減し、それに伴ってスパッタ堆積速度を低減しようとする。この低減は、スローが長くなると、あるいは、アスペクト比の増加に関してピアホールを適応させるために視準がきつくなる場合、より顕著になる。

【0012】

[0012] また、ロングスロースパッタリングを増加させることができる長さは、制限してもよい。PVDスパッタリングにおいてよく用いられる数ミリのアルゴン圧力においては、ターゲットからウェーハまでの間隔が増加するので、スパッタされた粒子を散乱させるアルゴンの非常に大きな可能性がある。すなわち、前方の粒子の幾何学的な選択は減らしてもよい。ロングスロー及び視準に伴うさらに別の問題は、低減された金属束が、スループットを低下させるだけでなく、スパッタリング中にウェーハがさらされる最大温度を上昇させる傾向がある、より長い堆積期間を生じる可能性があるということである。さらに、ロングスロースパッタリングは、オーバハングを削減することができ、かつ上記側壁の中間部及び上方部において、良好な被覆性を実現できるが、下方の側壁の及び底部の被覆性は、決して満足できるものではない。

【0013】

[0013] 深いホールの裏打ち及び充填のための他の技術は、イオン化メタルプレーティング (ionized metal plating; IMP) と呼ばれる、スパッタリングプロセスにおける高密度プラズマ (high-density plasma; HDP) を用いたスパッタリングである。典型的な高密度プラズマは、プラズマシースを除いて、少なくとも 10^{11} cm^{-3} 、好ましくは、少なくとも 10^{12} cm^{-3} のプラズマの全体にわたって平均的なプラズマ密度を有するプラズマである。IMP堆積においては、別々のプラズマソース領域が、例えば、ターゲットとウェーハとの間のプラズマソース領域を覆った電気コイルからRF電力をプラズマに誘導結合することにより、該ウェーハから離れた領域に形成される。このようにして生成したプラズマは、誘導結合プラズマ (inductively coupled plasma; ICP) と呼ばれる。この構成を有するHDPチャンバは、カリフォルニア州サンタクララのアプライド・マテリアルズ社からHDP PVDリアクタとして入手可能である。その他のHDPスパッタリアクタも使用可能である。より高い電力は、アルゴン作用ガスをイオン化するだけでなく、スパッタされた原子のイオン化を著しく増大させ、すなわち、金属イオンを生成する。ウェーハは、負の電位に自己充電するか、または、その直流電位を制御するためにRFバイアスされる。上記金属イオンは、負にバイアスされたウェーハに近づくと、上記プラズマシースの全域で加速される。その結果、該イオンの角配分は、該イオンが、上記ピアホール内に深く引き込まれるように、前方方向にピークをつけることになる。オーバハングは、IMPスパッタリングにおいては、あまり問題にならず、底部被覆性及び底部側壁被覆性は、比較的高い。

10

20

30

40

50

【0014】

〔0014〕遠隔プラズマ源を用いたIMPスパッタリングは、通常、30ミリトルまたはそれ以上の高い圧力で行われる。より高い圧力及び高密度プラズマは、非常に多くのアルゴンイオンを生成することができ、該アルゴンイオンも、プラズマシースの全域で、スパッタ堆積される表面に対して加速される。該アルゴンイオンエネルギーは、多くの場合、形成される膜に向けられる熱として放散される。銅は、IMPにおいてさらされる高い温度で、また50～70度でも、タンタルナイトライド及び他のバリア材料からディウェッティングすることができる。さらに、アルゴンは、生成中の膜内に埋まる傾向がある。IMPは、粗いまたは不連続な表面形態を有する、図3の断面図の136に示すような銅膜を堆積することができる。そのような場合、このような膜は、特に、上記ライナーを、電気メッキのための電極として用いている場合には、ホール充填を促進しなくてもよい。

【0015】

〔0015〕材料物質を堆積する別の方法は、1997年5月8日に出願された米国特許出願第08/854,008号明細書においてFu等が、また1999年8月12日に出願された米国特許第6,183,614B1号明細書においてFuが記載したような、持続性セルフスパッタリング(sustained self-sputtering; SSS)であり、それらの明細書の全体を本願明細書に組み入れる。例えば、十分に高い密度の銅イオンは、銅ターゲット近傍の十分高いプラズマ密度で発生し、該銅イオンは、均一性を超える歩留まりで銅ターゲットを再スパッタする。そのため、アルゴン作用ガスの供給は、なくすことができ、あるいは、少なくとも非常に低い圧力に低減することができる。と共に、銅プラズマは持続する。アルミニウムは、SSSに影響されやすくないと信じられている。Pd、Pt、Ag及びAu等の他の材料物質は、SSSに耐えることができる。

【0016】

〔0016〕銅の持続性セルフスパッタリングによって銅または他の金属を堆積することは、多くの利点を有する。SSSにおけるスパッタリング速度は、高くなる傾向がある。プラズマシースの全域で、かつバイアスされたウェーハに対して加速することができる銅イオンがわずかにあり、それに伴ってスパッタの流れの指向性が増す。裏面冷却ガスの漏れによって制限されることがあるチャンバ圧力は、非常に低くすることができ、それにより、アルゴンイオンからのウェーハ加熱が低減され、かつアルゴンによる金属粒子の散乱が減る。

【0017】

〔0017〕持続性セルフスパッタリングを促進するために、技術及びリアクタ構造が改良されてきた。それらの同じ技術及び構造からの恩恵にもかかわらず、半均一性の再スパッタ歩留まりのため、おそらく、部分的な自己イオン化プラズマ(self-ionized plasma; SIP)を生じる部分的なセルフスパッタリングのため、いくつかのスパッタ材料が、SSSにさせないことが認識されている。さらに、たとえどのようなアルゴン作用ガスも必要ないSSSが実現可能であっても、低い限定されているアルゴン圧力で銅をスパッタすることが有利な場合もある。すなわち、SIPスパッタリングは、SSSがある種のSIPであるような低減されたまたはゼロの圧力の作用ガスを含むより包括的なスパッタリングプロセスのための好ましい用語である。SIPスパッタリングは、米国特許第6,290,825号明細書においてFu等により、また、1999年10月8日に出願された米国特許出願第09/414,614号明細書においてChiang等によりすでに記載されており、両方共その全体を本願明細書に組み入れる。

【0018】

〔0018〕SIPスパッタリングは、ターゲットに隣接した高密度プラズマ(HDP)を生成し、また該プラズマを広げて金属イオンをウェーハの方へ案内する従来の容量結合マグネトロンスパッタリアクタに対する様々な変更を利用する。200mmウェーハのために設計されたチャンバの場合、例えば、20～40kWの比較的高いDC電力がターゲットに印加される。さらに、上記マグネトロンは、ターゲット電力が、該マグネトロンのよ

り小さな領域に集中されるように、比較的小さな領域を有し、それに伴って、該マグネトロンに隣接したHDP領域に印加される電力密度が増加する。この小領域のマグネトロンは、該ターゲットの中心の側に配置され、また、より均一なスパッタリング及び堆積を可能にするために、該中心周りに回転される。

【0019】

[0019] ある種のSIPスパッタリングにおいては、上記マグネトロンは、不平衡な極を有しており、一般的に、一方の磁極性の強力な外側の極が、他方の極性の弱い内側の極を囲んでいる。強力な極から出る磁界線は、ターゲット面に隣接した従来の水平方向の磁界だけでなく、ウェーハの方に伸びる垂直な磁界にも分解することができる。垂直な磁界線は、プラズマをウェーハの方へ伸ばし、かつ金属イオンを該ウェーハの方へ案内する。さらに、チャンバ壁に近接する垂直な磁界線は、プラズマから接地されたシールドへの電子の拡散を防ぐように作用する。低減された電子の損失は、プラズマ密度を高める際に、および処理空間の全域にプラズマを広げる際に特に有効である。

【0020】

[0020] SIPスパッタリングは、RF誘導コイルを使用することなく実施してもよい。小さなHDP領域は、10～25%と推定される金属イオンの一部をイオン化するには十分であり、これは、深いホールを有効にスパッタ被覆する。特に高イオン化部分においては、イオン化されスパッタされた金属原子は、ターゲットに引きつけられ、さらに別の金属原子をスパッタする。その結果として、アルゴン作用圧力は、プラズマ崩壊を伴うことなく低減することができる。そのため、ウェーハのアルゴン加熱は問題ではなく、金属イオンがアルゴン原子と衝突する可能性は低くなり、それにより、イオン密度が低減されると共に、金属イオンのスパッタリングパターンは任意化される。

【0021】

[0021] SIPスパッタリングに使用される不平衡なマグネトロンの別の利点は、強い外側の環状極からの磁界が、ウェーハに向かってプラズマ処理領域内に深く突出していることである。この突出した磁界は、プラズマ処理領域の大部分で強力なプラズマを維持し、イオン化したスパッタ粒子をウェーハの方へ案内するという利点を有する。Wei Wangは、2000年7月10日に出願された米国特許出願第09/612,861号明細書において、ターゲットからウェーハまで伸びる磁界成分を生成するために、プラズマ処理領域の大部分をおおった同軸電磁コイルの使用について開示している。磁気コイルは、SIPスパッタリングをロングスロースパッタリアクタ、すなわち、補助的な磁界が、プラズマを維持し、さらにイオン化されたスパッタ粒子を案内するため、ターゲットとウェーハとの間により大きな空間を有するリアクタに組み合わせる際に特に有効である。Laiは、米国特許第5,593,551号明細書において、ターゲット近傍でのより小さなコイルについて開示している。

【0022】

[0022] しかし、SIPスパッタリングは、さらに改良することができる。その根本的な問題の一つは、磁界の構成を最適化する際に使用できる変数の限定された数である。マグネトロンは、ターゲットの電力密度を最大化するために小さくすべきであるが、該ターゲットは、均一にスパッタされる必要がある。磁界は、そこに閉じ込められる電子を最大化するために、ターゲットに隣接する強力な水平成分を有するべきである。磁界のある成分は、イオン化されたスパッタ粒子を案内するために、ターゲットからウェーハの方へ突出すべきである。Wangの同軸磁気コイルは、これらの問題のうちの一部のみを扱うものである。Laiにより米国特許第5,593,551号明細書において開示された、水平方向に配置された永久磁石は、この影響を不十分に扱っている。

【0023】

[0023] 金属は、CupraSelectという商品名の、独占的な、追加的な添加物との混合物において、シューマッカー社より入手可能なCu-HFAC-VTMS等の有機金属の前駆物質を使用した化学気相堆積(chemical vapor deposition; CVD)によっても堆積することができる。熱CVDプロセスは、当技術分

野で周知のように、この前駆物質と共に使用することができるが、プラズマCVD (plasma enhanced CVD; PECVD) も可能である。CVDプロセスは、高アスペクト比のホール内にもほぼ等角の膜を堆積することが可能である。例えば、膜を、CVDによって薄いシード層として堆積することができ、その後、PVDまたは他の方法を、最終的なホール充填に利用してもよい。しかし、CVD銅シード層は、粗いことが知られている。この粗さは、そのシード層としての使用、より具体的には、ホール深部への銅の堆積後の低温リフローを促進するリフロー層としての利用を損なう可能性がある。また、該粗さは、50nm程度の比較的厚いCVD銅層が、連続するシード層を確実に被覆する必要があることを示す。ここで考慮する狭いビアホールの場合、一定の厚さのCVD銅シード層は、該ホールをほぼ充填する可能性がある。しかし、CVDによって行われる完全な充填は、デバイスの信頼性に悪い影響を与える可能性のあるセンターシーム (center seams) という欠点を有する。

10

【0024】

[0024] 他の組み合わせ技術は、薄い銅核形成層を堆積する、フラッシュデポジション (flash deposition) とも呼ばれることもあるIMPスパッタリングを用い、厚いCVD銅シード層が、IMP層上に堆積される。しかし、図3に示したように、IMP層136は、粗くなる可能性があり、該CVD層は、該粗い基板に等角に追従する傾向がある。すなわち、IMP層を覆うCVD層も粗くなる傾向がある。

【0025】

[0025] 電気化学メッキ法 (Electrochemical plating; ECP) は、開発中のさらに別の銅堆積技術である。この方法においては、ウェーハは、銅電解液槽に浸漬される。該ウェーハは、該槽に対して電氣的にバイアスされ、銅は、一般的な等角プロセスで該ウェーハ上に電気化学的に堆積する。無電解メッキ法も利用可能である。電気メッキ及びその関連するプロセスは、大気圧で簡単な設備で実行できるため有利であり、その堆積速度は速く、液体処理は、後の化学的機械的研磨と矛盾しない。

20

【0026】

[0026] しかし、電気メッキは、それ自体の必要条件を負わせる。シード及び接着層は、通常、電気メッキされた銅の核を形成してバリア材料に付着させるために、例えば、Ta/TaNからなるバリア層の上面に形成される。さらに、ビアホール122を囲む概して絶縁的な構造は、絶縁層114とビアホール122との間に電気メッキ電極が形成されていることを必要とする。タンタル及び他のバリア材料は、一般的に、比較的弱い電気導電体であり、(銅電解質を含む) ビアホール122と対向するバリア層124の通常の高酸化物の副層は、電気メッキにおいて必要とされる長い横方向の電流経路に対して導電性が小さい。すなわち、上記ビアホールの底部を有効に充填する電気メッキを容易にするために、良好な導電性のシード及び接着層が堆積される場合がある。

30

【0027】

[0027] バリア層124を覆って堆積された銅シード層は、通常、電気メッキ電極として使用される。しかし、連続する、滑らかな均一な膜が好ましい。さもなければ、電気メッキ電流は、銅で被覆された領域のみに向けられるか、あるいは、厚い銅で被覆された領域に優先的に向けられることになる。上記銅のシード層を堆積することは、それ自体の困難性をもたらす。IMPで堆積したシード層は、高アスペクト比のホールにおいて良好な底部被覆性を実現できるが、その側壁の被覆性は、小さくなる可能性があるため、結果として生じる薄い膜が粗くなり、または不連続になる可能性がある。薄いCVD堆積シードも粗くなりすぎる可能性がある。厚いCVDシード層、またはIMP銅を覆うCVD銅は、所望の連続性を実現するために、過剰に厚いシード層を要する可能性がある。また、上記電気メッキ電極は、高い側壁被覆性が望まれるように、ホール側壁全体に対して主に作用する。ロングスローは、適切な側壁被覆性をもたらすが、上記底部被覆性は、十分ではない可能性がある。

40

【発明の概要】

【0028】

50

〔例示実施形態の概要〕

〔0028〕本発明の一実施形態は、ロングスロースパッタリング、自己イオン化プラズマ（S I P）スパッタリング、誘導結合プラズマ（I C P）再スパッタリング及びコイルスパッタリングを1つのチャンバ内で組み合わせることにより、タンタルまたはタンタルナイトライド等のライナー材料をスパッタ堆積するように注力されている。ロングスロースパッタリングは、ターゲット・基板間の距離と、該基板の直径との比較的高い比を特徴とする。ロングスローS I Pスパッタリングは、イオン化された及び中性の堆積材料成分の両方の深いホール被覆を促進する。I C P再スパッタリングは、深いホールを覆う層底部の厚さを低減して、接触抵抗を低減することができる。I C P再スパッタリングの間、I C Pコイルスパッタリングは、特に、再スパッタリングによる薄膜化は好ましくないホール開口部に隣接しているような領域上に、保護層を堆積することができる。

10

【0029】

〔0029〕本発明の別の実施形態は、1つのチャンバ内で、ロングスロースパッタリング、自己イオン化プラズマ（S I P）スパッタリング及びS I P再スパッタリングを組み合わせることにより、銅等の配線材料をスパッタ堆積することに注力している。また、ロングスローS I Pスパッタリングは、イオン化したおよび中性の銅成分の両方の深ホール被覆を促進する。S I P再スパッタリングは、堆積を再配分して、深いホールの良好な底部角部被覆性をもたらすことが可能である。

【0030】

〔0030〕S I Pは、5ミリトル以下、好ましくは、2ミリトル以下、より好ましくは、1ミリトル以下の低い圧力によって促進される傾向がある。特に、それらの低い圧力におけるS I Pは、比較的小さな領域を有するマグネトロンによって促進され、それによりターゲットの電力密度が増加する傾向、および磁界を遠くの基板に対して貫通させる非対称の磁石を有するマグネトロンによって促進される傾向がある。このようなプロセスは、シード層を堆積するのに用いて、絶縁層を貫通する狭くかつ深いビアまたはコンタクトを形成するのに特に有用な、堆積層の後の核形成またはシーディングを促進することができる。別の層を、電気化学メッキ法（E C P）によって堆積してもよい。他の実施形態においては、別の層は、化学気相堆積（C V D）によって堆積される。

20

【0031】

〔0031〕一実施形態は、ウェーハに近接してチャンバの周囲に配設され、かつ第1の垂直磁石極性を有するマグネトロンスパッタリアクタ内に補助磁石アレイを含む。該磁石は、永久磁石、または、チャンバの中心軸に沿ってコイル軸を有する電磁石のアレイのいずれかでよい。

30

【0032】

〔0032〕一実施形態においては、第1の磁性極性の強力な外側極を有する回転可能なマグネトロンは、反対極性の弱い極を囲んでいる。上記補助磁石は、好ましくは、外側極からウェーハの方へ磁界の不均衡な部分を引っ張るために、該ウェーハの近傍の処理空間の半分に配置されている。

【0033】

〔0033〕S I Pチャンバ内での再スパッタリングは、複数の工程で促進することができ、1つの実施形態においては、ウェーハのバイアスが堆積中に増加される。別法として、ターゲットへのパワーを堆積中に減らして、ビア及び他のホールの底部角部まで堆積を再配分することができる。

40

【0034】

〔0034〕本発明に対しては、以下に説明するように、追加的な態様がある。そのため、上述したことは、本発明のいくつかの実施形態及び態様の要約にすぎないことを理解すべきである。本発明の追加的な実施形態及び態様を以下に説明する。さらに、本発明の趣旨または範囲を逸脱することなく、開示した実施形態に対する多くの変形が可能であることを理解すべきである。従って、上述した要約は、本発明の範囲を限定することを意味しない。本発明の範囲は、添付クレーム及びそれらの均等物によってのみ判断すべきである。

50

【図面の簡単な説明】

【0035】

[0035]

【図1】従来技術において実施された、絶縁体の上面も被覆するメタライゼーションで充填されたビアの断面図である。

【図2】ビアホールの上に張り出して封鎖するメタライゼーションでの充填中のビアの断面図である。

【図3】イオン化メタルプレーティングにより堆積された粗いシード層を有するビアの断面図である。

【図4】本発明の実施形態に対して使用可能なスパッタリングチャンバの概略図である。

10

【図5】図4のスパッタリングチャンバの種々の構成部材の電氣的配線の概略図である。

【図6】本発明の一実施形態に係る、ビアライナー及びメタライゼーション、およびビアライナーとメタライゼーションの形成プロセスの断面図である。

【図7】本発明の一実施形態に係る、ビアライナー及びメタライゼーション、およびビアライナーとメタライゼーションの形成プロセスの断面図である。

【図8】本発明の一実施形態に係る、ビアライナー及びメタライゼーション、およびビアライナーとメタライゼーションの形成プロセスの断面図である。

【図9A】本発明の一実施形態に係る、ビアライナー及びメタライゼーション、およびビアライナーとメタライゼーションの形成プロセスの断面図である。

【図9B】本発明の一実施形態に係る、ビアライナー及びメタライゼーション、およびビアライナーとメタライゼーションの形成プロセスの断面図である。

20

【図10】本発明に係る補助磁石アレイを含むスパッタリアクタの概略断面図である。

【図11】図10のスパッタリアクタにおける上部マグネトロンの底面図である。

【図12】補助磁石アレイを支持するアSEMBリの実施形態の正射投影図である。

【図13】補助磁石アレイが、電磁石からなるアレイを含むスパッタリアクタの概略断面図である。

【図14A】本発明の一実施形態に係るビアシード層及びビアシード層形成プロセスの断面図である。

【図14B】本発明の一実施形態に係るビアシード層及びビアシード層形成プロセスの断面図である。

30

【図15】本発明に対して使用可能な他のスパッタリングチャンバの概略図である。

【図16】ターゲット、シールド、絶縁体及びターゲットリングを詳細に示す、図15の一部の分解組立図である。

【図17】フローティングシールドの長さ、プラズマを持続させる最少圧力との関係を示すグラフである。

【図18】本発明の別の実施形態に係るビアメタライゼーションの断面図である。

【図19】2つの異なるマグネatron及び異なる動作条件の場合の、ウェーハに流れるイオン電流をプロットしたグラフである。

【図20】2つの異なるマグネatron及び異なる動作条件の場合の、ウェーハに流れるイオン電流をプロットしたグラフである。

40

【図21】本発明の他の実施形態に係るビアメタライゼーションの断面図である。

【図22】本発明の他の実施形態に係るビアメタライゼーションの断面図である。

【図23】ウェーハの加熱を低減するプラズマ点火シーケンスのフロー図である。

【図24】本発明の別の実施形態によるプロセスに従って形成されたビアメタライゼーションの断面図である。

【図25】本発明の別の実施形態によるスパッタリングチャンバの概略図である。

【図26】図25のスパッタリングチャンバの様々な構成部材の電氣的配線の該略図である。

【図27】それに対して本発明を実施することができるインテグレートド処理装置の概略図である。

50

【発明を実施するための形態】

【0036】

[例示実施形態の説明]

[0036] DCマグネトロンスパッタリングリアクタにおける側壁被覆性と底部被覆性との間の配分は、絶縁層中のホールまたはビアにおいて所望の断面を有するライナー層等のメタル層を形成するように調整することができる。高アスペクト比のビア内にスパッタ堆積したSIP膜は、有利な上方側壁被覆性を有することが可能であり、オーバーハングを生じる傾向はない。所望する場合には、底部被覆は、上記ビアの底部のICP再スパッタリングによって薄くまたは排除してもよい。本発明の一つの態様によれば、両スパッタリングの利点は、別々の工程でもよいSIP及びICPの両プラズマ生成方法のうちの選択した態様を組み合わせるリアクタにおいて得ることができる。このようなリアクタの実施例を、図4に符号150で示す。また、ライナー層の側壁の上方部分は、コイル材を基板上に配置するためにチャンバ内に配設されたICPコイル151をスパッタリングすることによる再スパッタリングから保護してもよい。

【0037】

[0037] リアクタ150は、好ましくは、SIP及びICP生成プラズマを組み合わせ、別法として、代替的に用いて、バリアまたはライナー層等のメタル層をスパッタ堆積するのに使用することもできる。DCマグネトロンスパッタリングリアクタにおけるイオン化された原子の流れと中性の原子の流れとの間の配分は、絶縁層中のホールまたはビア内に被覆を形成するように調整することができる。上述したように、高アスペクト比のホール内にスパッタ堆積したSIP膜は、有利な上方側壁被覆性を有することが可能であり、オーバーハングを生じる傾向はない。他方、ICPで生成したプラズマは、そのようなホール内にスパッタ堆積した膜が、良好な底部被覆性及び底部角部被覆性を有するような金属のイオン化を増大させることができる。本発明のさらに別の態様によれば、両タイプのスパッタリングの利点は、両方の堆積技術のうちの選択した態様を組み合わせるリアクタ150等のリアクタ内で得ることができる。また、コイル材は、必要に応じて、堆積層に対して寄与するようにスパッタすることもできる。

【0038】

[0038] リアクタ150、およびライナー、バリア及び他の層を形成する様々なプロセスは、2002年7月25日に出願された、係属中の米国特許出願第10/202,778号（代理人名簿番号4044）に詳細に記載されており、その全体を本願明細書に組み入れる。該出願に記載されているように、図示の実施形態のリアクタ150は、カリフォルニア州サンタクララのアプライド・マテリアルズ社から入手できるEndura PVDリアクタの変更に基づいたDCマグネatron型リアクタである。このリアクタは、通常、金属からなり、かつウェーハ158上にスパッタ堆積すべき材料物質からなる少なくとも表面部分を有するPVDターゲット156に対して、ターゲットアイソレータ154によって電氣的に接地され密封された真空チャンバ152を含む。ターゲットのスパッタリング面は、図では平坦なものとして示されているが、該ターゲットのスパッタリング面は、アーチ型や円筒型を含む様々な形状を有してもよいことが認識される。上記ウェーハは、150、200、300及び450mmを含む様々なサイズであってもよい。例示したリアクタ150は、ロングスローモードで自己イオン化スパッタリング（SIP）が可能である。このSIPモードは、被覆が、主に、上記ホールの側壁に向けられている一実施形態において用いることができる。該SIPモードは、良好な底部被覆性を実現するために用いることもできる。

【0039】

[0039] また、リアクタ150は、RFエネルギーを該リアクタの内部に誘導結合するRFコイル151も有する。コイル151により生成されたRFエネルギーは、アルゴン等の前駆物質ガスをイオン化して、イオン化したアルゴンを薄い底部の被覆に対して用いて、堆積層を再スパッタするためにプラズマを維持し、あるいは、スパッタした堆積物質をイオン化して底部被覆性を向上させる。一つの実施形態においては、高密度IMPプロセス

の場合、20～60 mトル等比較的高い圧力でプラズマを維持すべきであり、該圧力は、好ましくは、十分に低い圧力に、例えば、タンタルナイトライドの堆積の場合1 mトル、あるいは、タンタルの堆積に対しては2.5 mトルに維持される。しかし、用途により、0.1～40 mトルの範囲の圧力が適切になる。従って、リアクタ150内でのイオン化速度は、一般的に高い密度のIMPプロセスのイオン化速度よりもかなり低くなると考えられる。このプラズマは、堆積した層を再スパッタするのに、あるいは、スパッタした堆積材料をイオン化するのに、またはその両方に用いることができる。さらに、コイル151自体は、堆積物質の薄膜化が望まれない領域のために、上記ウェーハ上に堆積した物質の再スパッタリングの間に、該ウェーハ上に保護被覆を形成するために、あるいは、追加的な堆積材料を供給するためにスパッタすることができる。

10

【0040】

[0040] 一つの実施形態においては、良好な上部側壁被覆性及び底部角部被覆性は、一つの工程において、上記コイルに少しのRF電力が印加される、あるいは該コイルにRF電力が印加されない、マルチステッププロセスにおいて実現できると考えられる。すなわち、一つの工程において、スパッタされたターゲット堆積材料のイオン化は、主に自己イオン化の結果として生じることになる。その結果として、良好な上部側壁被覆性を実現できると考えられる。第2の工程において、および好ましくは同じチャンバ内において、RF電力は、コイル151に印加され、上記ターゲットには、低電力が印加され、または該ターゲットには電力が印加されない。この実施形態においては、ターゲット156からは少しの材料がスパッタされ、または該ターゲットからは材料がスパッタされず、前駆物質ガスのイオン化は、主に、コイル151によって誘導結合されたRFエネルギーの結果として起きる。ICPプラズマは、上記ホルの底部におけるバリア層の抵抗を低減するためのエッチングまたは再スパッタリングにより、底部被覆を薄くするためまたは該被覆をなくすために注がれる。また、コイル151は、薄膜化が所望されない場合に、保護材料を堆積させるためにスパッタしてもよい。一つの実施形態においては、上記圧力は、プラズマ密度が、上記コイルからのスパッタされた堆積材料のイオン化を低減するように比較的低下するように、比較的低下保ってもよい。その結果として、スパッタされたコイル材は、主に上方側壁に堆積してその部分を薄膜化から保護するように、十分に中性のままとすることができる。

20

【0041】

[0041] 図示したリアクタ150は、自己イオン化スパッタリングが可能であるため、堆積材料は、RFコイル151によって持続されたプラズマの結果としてだけではなく、ターゲット156自体のスパッタリングによってもイオン化することができる。良好な底部被覆性を有する層を堆積することが望まれる場合には、SIPとICPを組み合わせたイオン化プロセスが、良好な底部被覆性及び底部角部被覆性のための十分なイオン化材料を供給すると考えられる。しかし、RFコイル151によって生成された低圧プラズマの低いイオン化速度が、十分な中性のスパッタ材料を、上記上部側壁に堆積されるようにイオン化しないままとすることが可能であるとも考えられる。すなわち、イオン化した堆積材料のソースの組合せが、以下により詳細に説明するように、良好な上部側壁被覆性、および良好な底部被覆性及び底部角部被覆性を実現できると考えられる。

30

40

【0042】

[0042] 代替の実施形態においては、良好な上部側壁被覆性、および良好な底部被覆性及び底部角部被覆性は、一つの工程において、上記コイルに少しのRF電力が印加される、あるいは該コイルにRF電力が印加されない、マルチステッププロセスにおいて実現できると考えられる。すなわち、一つの工程において、堆積材料のイオン化は、主に自己イオン化の結果として生じることになる。その結果として、良好な上部側壁被覆性を実現できると考えられる。第2の工程において、および好ましくは同じチャンバ内において、RF電力をコイル151に印加してもよい。また、一つの実施形態において、上記圧力は、高密度プラズマを維持できるように、十分に上昇させることができる。その結果として、良好な底部被覆性及び底部角部被覆性を上記第2の工程において実現できると

50

考えられる。

【0043】

[0043] ウェーハクランプ160は、ウェーハ158をペDESTAL電極162上に保持する。ペDESTAL162内の抵抗性ヒータ、冷却剤流路及び熱伝達ガスキャビティは、該ペDESTALの温度を、 -40°C 以下の温度に制御できるようにし、それにより上記ウェーハの温度を同様に制御できるようにするために設けることができる。

【0044】

[0044] 部分的に中性の流れを用いてより深いホール被覆を実現するために、ターゲット156とウェーハ158との間の距離を、ロングスローモードで動作するように増加させることができる。使用時において、上記ターゲットと基板間の間隔は、通常、該基板の口径の半分よりも大きい。例示の実施形態において、該間隔は、好ましくは、ウェーハの口径の90%以上であるが（例えば、200mmウェーハの場合190mm、300mmウェーハの場合290mm）、基板口径の100%以上及び140%以上を含む80%以上の間隔も適切であると考えられる。たいていの用途の場合、50～1000mmの、ターゲットとウェーハとの間隔が適切であると考えられる。従来のスパッタリングにおけるロングスローは、スパッタリング堆積速度を低減するが、イオン化したスパッタ粒子には、そのような大きな減少はない。

【0045】

[0045] 第2の絶縁シールドアイソレータ168によって絶縁された暗黒部シールド164及びチャンバシールド166は、チャンバ壁部152をスパッタ材料から保護するために、チャンバ152内に保持されている。例示の実施形態においては、暗黒部シールド164及びチャンバシールド166は、共に接地されている。しかし、いくつかの実施形態においては、非接地レベルにフローティングまたはバイアスしてもよい。チャンバシールド166も、カソードターゲット156と対向するアノード接地面として作用し、それにより、プラズマを容量的に支持する。上記暗黒部を電氣的に浮遊させることができる場合、負の電荷がそこに蓄積するように、いくつかの電極を暗黒部シールド164上に堆積させることができる。負の電位が、さらなる電子が堆積するのを防止するだけでなく、該電子を主要なプラズマ領域内に閉じ込めることができ、それに伴って、必要に応じて、電子の損失を低減し、低圧スパッタリングを持続させ、かつプラズマ密度を増加させることができる。30

【0046】

[0046] コイル151は、コイル151を支持シールド164から電氣的に絶縁する複数のコイルスタンドオフ180によってシールド164上に載置されている。また、スタンドオフ180は、ターゲット110からコイルスタンドオフ180への導電性材料の繰返し堆積を可能にすると共に、コイル151を（一般に接地されている）シールド164に対して短絡させる可能性がある、堆積材料のコイル151からシールド164への完全な導電経路の形成を防ぐ迷路状の通路を有する。

【0047】

[0047] 上記コイルを回路経路として使用できるようにするために、RF電力が、上記真空チャンバ壁を通過して、およびシールド164を通過してコイル151の端部に流される。真空フィードスルー（図示せず）は、好ましくは、真空圧力チャンバの外側に配設されたジェネレータからRF電流を供給するために、上記真空チャンバを通過して伸びている。RF電力は、シールド164を通過して、コイルスタンドオフ180と同様に、コイル151をシールド164に対して短絡させる可能性がある、コイル151からシールド164への堆積材料からなる経路の形成を防ぐ迷路状の通路を有するフィードスルースタンドオフ182（図5）によってコイル151に印加される。40

【0048】

[0048] プラズマ暗黒部シールド164は、概して円筒型形状である。プラズマチャンバシールド166は、概してカップ状であり、コイル151を絶縁支持するためにスタンドオフ180及び182が取り付けられる、概して円筒型形状で、垂直方向に向けられた50

壁部 190 を含む。

【0049】

[0049] 図 5 は、例証となる実施形態のプラズマ生成装置の電氣的接続を表わす概略図である。プラズマによって生成されたイオンを誘引するために、ターゲット 156 は、好ましくは、可変 DC 電源 200 により、例えば、1～40 kW の DC 電力で負の電位にバイアスされる。電源 200 は、プラズマを点火し、持続させるために、ターゲット 156 をチャンバシールド 166 に対して約 -400～-600 V DC に負の電位にバイアスする。1～5 kW のターゲット電力は、通常、プラズマを点火するのに用いられ、10 kW 以上の電力は、本願明細書に記載した SIP スパッタリングに対して好ましい。例えば、24 kW のターゲット電力は、SIP スパッタリングによってタンタルナイトライドを堆積させるのに使用することができ、また、20 kW のターゲット電力は、SIP スパッタリングによりタンタルを堆積するのに使用することができる。ICP 再スパッタリングの間、ターゲット電力は、例えば、プラズマ均一性を維持するために、100～200 ワットに低減してもよい。別法として、ターゲット電力は、ICP 再スパッタリング中のターゲットのスパッタリングが望まれる場合には、高いレベルに維持してもよく、あるいは、必要に応じてターンオフしてもよい。

10

【0050】

[0050] ペDESTAL 162 及びウェーハ 158 は、電氣的に浮遊させたままでもよいが、負の DC 自己バイアスは、かけてもかまわない。別法として、ペDESTAL 162 は、イオン化した堆積材料を上記基板に引きつけるように基板 158 を負の電位にバイアスするために、電源 202 によって -30 V DC で負の電位にバイアスしてもよい。別の実施形態は、上記ペDESTAL に対して発生させる負の DC バイアスをさらに制御するために、RF バイアスをペDESTAL 162 に加えてもよい。例えば、バイアス電源 202 は、13.56 MHz で作動する RF 電源であってもよい。SIP 堆積における 200 mm ウェーハの場合、例えば、10 W～5 kW、より好ましくは、150～300 W の RF 電力を供給することができる。

20

【0051】

[0051] コイル 151 の一端部は、フィードスルースタンドオフ 182 によってシールド 166 を介して、増幅器及び整合ネットワーク 204 の出力等の RF 電源に絶縁結合されている。整合ネットワーク 204 の入力は、この実施形態の場合に、ICP プラズマ生成のために、1 または 1.5 kW 程度で RF 電力を供給する RF ジェネレータ 206 に結合されている。例えば、タンタルナイトライドの堆積の場合には、1.5 kW の電力が、タンタルの堆積の場合には、1 kW の電力が好ましい。好ましい範囲は、50 W～10 kW である。SIP 堆積の間、上記コイルへの RF 電力は、必要に応じてターンオフしてもよい。別法として、RF 電力は、必要に応じて、SIP 堆積中に供給してもよい。

30

【0052】

[0052] コイル 151 の他端も、同様のフィードスルースタンドオフ 182 によってシールド 166 を介して、好ましくは、コイル 151 に対する DC バイアスをサポートする可変コンデンサであってもよい阻止コンデンサ 208 を介してアースに絶縁結合されている。コイル 151 に対する DC バイアス及びコイルスパッタリング速度は、米国特許第 6,375,810 号明細書に記載されているように、コイル 151 に結合された DC 電源 209 によって制御することができる。ICP プラズマ生成及びコイルスパッタリングに対する適切な DC 電力の範囲としては、50 W～10 kW が挙げられる。コイルスパッタリング中の好ましい値は 500 W である。コイル 151 に対する DC 電力は、必要に応じて、SIP 堆積中にターンオフしてもよい。

40

【0053】

[0053] 上述した電力レベルは、特定の用途により、当然変化してもよい。コンピュータをベースとしたコントローラ 224 は、特定の用途に従って、様々なソースの電力レベル、電圧、電流及び周波数を制御するようにプログラムすることができる。

【0054】

50

〔0054〕 R F コイル 1 5 1 は、該コイルからスパッタされた材料物質が、上記ウェーハにぶつかったときに低い入射角を有するように、上記チャンバ内に比較的強く配置してもよい。そのため、コイル材料は、上記ホルルの底部が I C P プラズマによって再スパッタされているときに、該ホルルの上方角部を保護するように、該ホルルの上方角部に優先的に堆積させることができる。図示の実施形態においては、上記コイルの主な機能が、上記ウェーハを再スパッタするためのプラズマを生成すること、および再スパッタリング中の保護被覆を形成することである場合には、該コイルを上記ターゲットよりも該ウェーハの近くに配置することが好ましい。たいていの用途の場合、コイルとウェーハとの間隔は 0 ～ 5 0 0 mm が適切であると考えられている。しかし、実際の位置は、特定の用途により変化することが認識されている。上記コイルの主な機能が、堆積材料をイオン化するためのプラズマを生成することである用途においては、該コイルは、上記ターゲットに近づけて配置してもよい。また、1996 年 7 月 10 日にファイルされ（代理人登録番号 1 3 9 0 - C I P / P V D / D V）、本出願の譲受人に譲渡され、「プラズマを生成するためのスパッタリングコイル」と題された米国特許第 6, 3 6 8, 4 6 9 号明細書に詳細に記載されているように、R F コイルは、スパッタされたコイル材料によって堆積層の均一性を改善するように配置することもできる。さらに、該コイルは、ヘリックスまたは螺旋状に形成された複数の巻線を有してもよく、あるいは、複雑性及びコストを低減しかつクリーニングを容易にするために、単一の巻線や数回の巻線を有してもよい。

10

【0055】

〔0055〕種々のコイル支持スタンドオフ及びフィードスルースタンドオフを、該コイルを絶縁支持するのに使用することができる。特に、S S S、S I P 及び I C P に関連する高電力レベルにおけるスパッタリングは、高電圧を伴うので、絶縁アイソレータは、通常、異なるバイアスの部材を絶縁する。その結果として、そのようなアイソレータをメタル堆積から保護することが望ましい。

20

【0056】

〔0056〕上記スタンドオフの内部構造は、好ましくは、2000 年 2 月 29 日にファイルされ本出願の譲受人に譲渡された、「プラズマを生成するためのコイル及びコイル支持体」と題された、同時係属出願第 0 9 / 5 1 5, 8 8 0 号明細書に詳細に記載されているように入り組んでいる。プラズマに直接さらされるコイル 1 5 1 及び上記スタンドオフのそのような部分は、好ましくは、堆積される同じ材料で形成される。すなわち、堆積される材料物質がタンタルからなる場合には、上記スタンドオフの外側部分は、好ましくは、タンタルで形成される。堆積材料の付着を容易にするために、メタルの露出面は、粒子の堆積材料からの発散を低減するビードブラストによって処理してもよい。タンタルの他にも、上記コイル及びターゲットは、銅、アルミニウム及びタングステンを含む様々な堆積材料で形成することができる。上記迷路状の通路は、上記コイルからシールドへの完全な導電経路の形成を妨げるように形成すべきである。このような導電性経路は、導電性堆積材料が、上記コイル及びスタンドオフ上に堆積したときに形成される可能性がある。特定の用途により、他の寸法、形状及び数の迷路状の通路も可能であることを認識すべきである。該迷路のデザインに影響を及ぼす要因としては、堆積する材料物質の種類、上記スタンドオフが洗浄または交換を必要とする前の所望の堆積数が挙げられる。適当なフィードスルースタンドオフは、R F 電力が、該スタンドオフを貫通して伸びるボルトまたは他の導電性部材に印加されることを除いて、同じように構成することができる。

30

40

【0057】

〔0057〕コイル 1 5 1 は、重なっているが離間した端部を有してもよい。この構成においては、各端部のためのフィードスルースタンドオフ 1 8 2 は、図 4 に示すように、真空チャンバターゲット 1 5 6 と基板ホルダ 1 6 2 との間のプラズマチャンバの中心軸と平行な方向に重ねてもよい。その結果、上記コイルの一端部から該コイルの他端部への R F 経路は、同様に重ねて、上記ウェーハ上の間隙を避けることができる。そのような重なり構成は、1998 年 3 月 16 日にファイルされ本出願の譲受人に譲渡された、同時係属出願第 0 9 / 0 3 9, 6 9 5 号明細書に記載されているように、プラズマの生成、イオン化及

50

び堆積の均一性を改善することができると考えられる。

【0058】

〔0058〕支持スタンドオフ180は、適切な支持を可能にするために、上記コイルの残りの部分の周りに配設してもよい。図示の実施形態においては、上記コイルは、それぞれ、各コイルの外側面に90度の間隔で配設された3つのハブ部材504を有する。上記スタンドオフの数及び間隔は、特定の用途により変化してもよいことを認識すべきである。

【0059】

〔0059〕図示の実施形態のコイル151は、それぞれ、単一巻のコイル内に形成された2インチ×1/4インチの高耐久のビードブラストしたタンタルまたは銅のリボンで形成されている。しかし、他の高導電性材料及び形状を用いてもよい。例えば、上記コイルの厚さは、1/16インチまで低減してもよく、かつ幅は、2インチまで増してもよい。また、特に、水冷が望まれる場合には、中空管も使用することができる。

【0060】

〔0060〕適切なRFジェネレータ及び整合回路は、当業者には周知の構成部材である。例えば、上記整合回路及びアンテナとの最良の周波数整合のために周波数を探す能力を有するENIGENESISシリーズ等のRFジェネレータが適切である。上記コイルへのRF電力を生成するジェネレータの周波数は、好ましくは2MHzであるが、レンジは、例えば、1MHz~200MHz等のA.C.周波数や非RF周波数において変化する可能性があることが予想される。なお、これらの構成部材は、プログラム可能なコントローラ224によって制御することができる。

【0061】

〔0061〕図4に戻って、チャンバシールド166の底部円筒型部分296は、ウェーハ158を支持するペDESTAL162の上部の裏の凹んだ部分へ続いている。そして、チャンバシールド166は、カップ状部分302内に径方向内側に、および最も内側の円筒形部分151内に垂直方向上方に続いて、ウェーハ158の高さに近づくが、ペDESTAL162の径方向外側に離間している。

【0062】

〔0062〕シールド164、166は、一般に、ステンレス鋼で構成されており、またこれらの内側は、該内側にスパッタ堆積される材料の付着を促進するように、ビードブラストされ、あるいは他の方法で粗面化してもよい。しかし、長いスパッタリングの間のある時点で、上記堆積材料は、剥がれやすい厚さに堆積して、有害な粒子を生成する。この時点で達する前に、上記シールドをクリーニングするべきであり、あるいは、新たなシールドと交換すべきである。しかし、より高価なアイソレータ154、168は、たいていのメンテナンス期間においては交換する必要はない。さらに、該メンテナンス周期は、該アイソレータの電氣的短絡ではなく、該シールドの剥がれによって決まる。

【0063】

〔0063〕ガスソース314は、スパッタリング作用ガス、一般には化学的に不活性なアルゴンガスを、マスフローコントローラ316を介してチャンバ152に供給する。該作用ガスは、シールドチャンバシールド166の底部を通る、またはチャンバシールド166、ウェーハクランプ160及びペDESTAL162の間の間隔318を通る開口を貫通する1つまたはそれ以上の流入パイプによって、該チャンバの上部に、あるいは、図に示すように、その底部に進入することができる。広いポンピングポート322を介してチャンバ152に接続された真空ポンプ装置320は、該チャンバを低圧に維持する。ベース圧力は、約 10^{-7} トルまたはそれより低く保持することができるが、上記作用ガスの圧力は、従来のスパッタリングにおいては、通常、約1~1000ミリトルに、およびSIPスパッタリングにおいては約5ミリトル以下に維持される。コンピュータをベースとしてコントローラ224は、DCターゲット電源200、バイアス電源202及びマスフローコントローラ316を含む上記リアクタを制御する。

【0064】

〔0064〕有効なスパッタリングを可能にするために、ターゲット156の裏にマグネット

ロン 330 が配置されている。該マグネトロンは、磁気ヨーク 336 に接続され、該ヨークによって支持された対抗する磁極の磁石 332、334 を有する。該磁石は、チャンバ 152 内のマグネトロン 330 の近くに磁界を形成する。該磁界は、電子をトラップし、電荷が中性の場合、イオン密度も、高密度プラズマ領域 338 を形成するように増加する。マグネトロン 330 は、ターゲット 156 のスパッタリング時の完全な被覆を実現するために、通常、モータで駆動される軸 342 によってターゲット 156 の中心 340 の周りに回転される。持続性自己スパッタリングを可能にする十分なイオン化密度の高密度プラズマ 338 を実現するために、マグネトロン 330 の近くの領域に供給される電力密度は、高くすることができる。このことは、上記の引用特許において F u 及び C h i a n g によって記載されているように、D C 電源 200 から供給される電力レベルを増加させることにより、および例えば、三角形または競馬場の形にマグネトロン 330 の領域を低減することにより実現することができる。その先端部をターゲットの中心 340 とほぼ一致させた状態で回転される 60 度の三角形マグネトロンは、いつでも該ターゲットの約 $1/6$ のみをカバーする。S I P スパッタリングが可能な市販のリアクタにおいては、 $1/4$ のカバレッジが好ましい最大値である。

10

【0065】

[0065] 電子の損失を減らすためには、内側磁石 332 によって表わされる内側磁極及び磁極面は、相当数の開口を有すべきではなく、また外側磁石 334 によって表わされる連続外側磁極及び磁極面によって囲むべきである。さらに、イオン化したスパッタ粒子をウェーハ 158 へ案内するために、外側の極は、内側の磁極よりもかなり高い磁束を生成すべきである。広がっている磁界線は、電子をトラップし、それに伴ってプラズマをウェーハ 158 の近くまで伸ばす。磁束の比は、少なくとも 150%、好ましくは 200% 以上とすべきである。F u の三角形マグネトロンの 2 つの実施形態は、同じ強度であるが逆極性の 25 の外側磁石と 6 または 10 の内側磁石を有する。平坦なターゲット面と共に示しているが、様々な不平衡なマグネトロンを、自己イオン化したプラズマを生成する様々なターゲット形状と共に使用することができることが認識される。該磁石は、円形やその他の形状を含む三角形以外の形状を有してもよい。

20

【0066】

[0066] アルゴンが上記チャンバ内に入ると、ターゲット 156 とチャンバシールド 166 との間の D C 電圧差が該アルゴンをプラズマにし、正に荷電したアルゴンイオンは、負に荷電したターゲット 156 に引きつけられる。該イオンは、かなりのエネルギーでターゲット 156 にぶつかって、ターゲット原子または原子群をターゲット 156 からスパッタさせる。ターゲット粒子のうちのいくつかは、ウェーハ 158 に衝突し、それによって該ウェーハ上に堆積され、ターゲット材料からなる膜を形成する。金属ナイトライドの反応性スパッタリングにおいては、窒素が、ソース 343 から上記チャンバ内に追加的に入れられ、該窒素は、スパッタされた金属原子と反応してウェーハ 158 上に金属ナイトライドを形成する。

30

【0067】

[0067] 図 6 ～図 9 b は、本発明の一つの態様に係るライナー層の形成に関する連続的な断面図を示す。図 6 を参照すると、層間絶縁体 345 (例えば、二酸化シリコン) が、配線 348 (図 9 b) の第 1 のメタル層 (例えば、第 1 の銅層 347 a) を覆って堆積されている。そして、第 1 の銅層 347 a を露出させるために、層間絶縁体 345 内にビア 349 がエッチングされる。上記第 1 のメタル層は、C V D、P V D、電気メッキあるいは、公知の金属堆積技術を用いて堆積することができ、また、該メタル層は、コンタクトを介して、絶縁層を介して、下にある半導体ウェーハに形成されたデバイスと接続される。第 1 の銅層 347 a が酸素にさらされる場合、例えば、上記ウェーハが、該第 1 の銅層と第 2 のメタル層との間のビアの形成のための開口を形成するために、該第 1 の銅層に重なる酸化物がエッチングされるエッチングチャンバから移動される場合、該第 1 の銅層上に、絶縁性/高抵抗性の銅酸化物層 347 a' を容易に形成することができる。従って、銅配線 348 の抵抗を低減するために、ビア 349 内のいかなる銅酸化物層 347 a' 及

40

50

び処理残留物も除去してよい。

【0068】

[0068] バリア層 3 5 1 は、銅酸化物層 3 4 7 a' を除去する前に、（例えば、図 4 のスパッタリングチャンバ 1 5 2 内で）層間絶縁体 3 4 5 を覆って、および第 1 の銅層 3 4 7 a を覆って堆積することができる。好ましくは、タンタル、タンタルナイトライド、チタンナイトライド、タングステンまたはタングステンナイトライドからなるバリア層 3 5 1 は、（前述したように）後に堆積される銅層が、層間絶縁体 3 4 5 に混ざって該絶縁体を劣化させることを防ぐ。

【0069】

[0069] 例えば、スパッタリングチャンバ 1 5 2 が、タンタルナイトライド層の堆積のために構成されている場合には、タンタルターゲット 1 5 6 が用いられる。一般的に、アルゴン及び窒素ガスは、共に、ガスインレット 3 6 0（それぞれが各ガス用のものである複数のインレットを使用することができる）を介してスパッタリングチャンバ 1 5 2 内に流れ込み、電力信号は、DC 電源 2 0 0 を介してターゲット 1 5 6 に印加される。状況に応じて、電力信号は、第 1 の RF 電源 2 0 6 を介してコイル 1 5 1 に印加してもよい。定常状態処理の間、窒素は、タンタルターゲット 1 5 6 と反応してタンタルターゲット 1 5 6 上にナイトライド膜を形成し、そこからタンタルナイトライドがスパッタされる。また、非窒化物タンタル原子も上記ターゲットからスパッタされ、該原子は、窒素と結合して飛翔するタンタルナイトライドを形成し、または、ペDESTAL 1 6 2 によって支持されたウェーハ（図示せず）上にタンタルナイトライドを形成する。

【0070】

[0070] 動作中、排気口 3 6 2 に作用可能に結合されたスロットルバルブは、プロセスガスのチャンバ 1 5 2 内への導入の前に、堆積チャンバ 1 5 2 を、約 1×10^{-8} トルの所望の低真空レベルに維持するために、中間位置に位置している。スパッタリングチャンバ 1 5 2 内での処理を開始するために、アルゴンガスと窒素ガスとの混合物が、ガスインレット 3 6 0 を介してスパッタリングチャンバ 1 5 2 内に流入される。DC 電力は、DC 電源 2 0 0 を介してタンタルターゲット 1 5 6 に印加される（また、上記ガス混合物は、ガスインレット 3 6 0 を介してスパッタリングチャンバ 1 5 2 内に流入し続けると共に、ポンプ 3 7 を介して供給される）。ターゲット 1 5 6 に印加される DC 電力は、上記アルゴン／窒素ガス混合物に、SIP プラズマを生成させ、かつターゲット材料（例えば、タンタルやタンタルナイトライド）を該ターゲットから射出させるターゲット 1 5 6 に引き付けられて該ターゲットに衝突するアルゴンイオン及び窒素イオンを生成させる。射出されたターゲット材料は、ペDESTAL 1 6 2 によって支持されたウェーハ 1 5 8 まで移動して、該ウェーハ上に堆積する。上記 SIP プロセスによれば、上記不平衡なマグネトロンによって生成されたプラズマは、スパッタされたタンタル及びタンタルナイトライドの一部をイオン化する。基板支持ペDESTAL 1 6 2 に印加する RF 電力信号を調整することにより、負のバイアスを、基板支持ペDESTAL 1 6 2 とプラズマとの間に形成することができる。基板支持ペDESTAL 1 6 2 とプラズマとの間の負のバイアスは、タンタルイオン、タンタルナイトライドイオン及びアルゴンイオンを、ペDESTAL 1 6 2 及び該ペDESTAL 上に支持されたウェーハの方へ加速させる。それに応じて、中性及びイオン化したタンタルナイトライドを上記ウェーハ上に堆積させることができ、SIP スパッタリングにしたがって、良好な側壁被覆性及び上方側壁被覆性を実現できる。さらに、特に、RF 電力を上記 ICP コイルに随意に印加した場合、上記ウェーハをアルゴンイオンによってスパッタエッチングできると同時に、ターゲット 1 5 6 からのタンタルナイトライド材料が、該ウェーハ上に堆積する（例えば、同時堆積／スパッタエッチング）。

【0071】

[0071] バリア層 3 5 1 の堆積に続いて、ビアの底部の薄膜化または除去が望まれる場合には、ビア 3 4 9 の底部におけるバリア層 3 5 1 の一部、および該バリア層の下銅酸化物層 3 4 7 a'（及び処理残留物）を、図 7 に示す様なアルゴンプラズマによってスパッタエッチングまたは再スパッタしてもよい。該アルゴンプラズマは、好ましくは、この

工程において、主に、RF電力を上記ICPコイルに印加することによって生成される。この実施形態におけるスパッタリングチャンバ152（図4）内でのスパッタエッチングの間、ターゲット156に印加される電力は、ターゲット156からの著しい堆積を防ぐためまたは抑制するために、好ましくは、取り除かれるか、あるいは、低レベル（例えば、100または200W）に低減されることに注意する。ゼロのターゲット電力ではなく低いターゲット電力レベルは、より均一なプラズマを生成することができ、好ましい。

【0072】

【0072】ICPアルゴンイオンは、電界（例えば、負の自己バイアスを上記ペDESTAL上に形成させる、図4の第2のRF電源41を介して基板支持ペDESTAL162に印加されるRF信号）を介してバリア層351の方へ加速されて、バリア層351に衝突し、運動量の伝達により、ビア開口の底部からのバリア層材料をスパッタし、該材料を、ビア349の側壁を被覆するバリア層351の部分に沿って再配分する。該アルゴンイオンは、上記基板とほぼ直角な方向で該基板に引き付けられる。その結果として、上記ビアの側壁のわずかなスパッタリングであるが、該ビアの底部の実質的なスパッタリングが行われる。再スパッタリングを容易にするために、上記ペDESTAL及びウェーハに印加されるバイアスは、例えば、400Wにしてもよい。

10

【0073】

【0073】上記再スパッタリングプロセスのパラメータの特定の値は、特定の用途により変化してもよい。同時係属のまたは発行された出願第08/768,058号、同第09/126,890号、同第09/449,202号、同第09/846,581号、同第09/490,026号及び同第09/704,161号は、再スパッタリングプロセスについて記載しており、それらの出願全体を本願明細書に組み入れる。

20

【0074】

【0074】本発明の他の態様によれば、ICPコイル151は、ターゲット156と同じように、タンタル等のライナー材料で形成してもよく、また、上記ビアの底部が再スパッタされる間、上記ウェーハ上にタンタルナイトライドを堆積させるためにスパッタしてもよい。上記再スパッタリングプロセスの間の比較的低い圧力のため、コイル151からスパッタされた堆積材料のイオン化速度は、比較的低い。すなわち、上記ウェーハ上に堆積した上記スパッタされた材料物質は、主に中性の材料である。また、コイル151は、上記チャンバ内の比較的低い位置に配置され、上記ウェーハを囲みかつ該ウェーハに隣接する。

30

【0075】

【0075】従って、コイル151からスパッタされた材料物質の軌跡は、比較的小さな入射角を有する傾向がある。すなわち、コイル151からのスパッタされた材料物質は、上記ウェーハの上面の層364に、および該ウェーハのホール内の深部よりは該ウェーハのホールまたはビアの開口部の周りに堆積する傾向がある。このコイル151からの堆積した材料物質は、上記バリア層の薄膜化が所望されない場合に、該バリア層が、上記側壁上及び上記ホールの開口部の周囲ではなく、主に該ホールの底部において再スパッタリングすることにより薄膜化されるような、再スパッタリングからの一定の保護を可能にするために用いることができる。

40

【0076】

【0076】バリア層351が、一旦、上記ビアの底部からスパッタエッチングされると、上記アルゴンイオンは、銅酸化物層347a'に衝突し、該酸化物層は、該ビアの底部から銅酸化物層材料を再配分するようにスパッタされ、該スパッタされた材料物質のうちの全部または全ては、ビア349の側壁を被覆するバリア層351の部分に沿って堆積される。また、銅原子347a''は、ビア349の側壁上に堆積したバリア層351及び364を被覆する。しかし、最初に堆積したバリア層351、および上記ビアの底部からビアの側壁に再配分された層は銅原子347a''に対する拡散バリアであるため、銅原子347a''は、バリア層351内で実質的に静止しており、層間絶縁体345に達することが妨げられている。従って、上記側壁に堆積される“銅原子347a''”は、被覆されてい

50

い側壁に再配分されても、ビア間漏れ電流を概して生成しない。

【0077】

[0077] その後、タンタル等の第2の材料物質からなる第2のライナー層371を、同じチャンバ152内で、あるいは、SIP及びICPの両能力を有する同様のチャンバ内で、直前のバリア層351上に堆積することができる(図8)。タンタルライナー層は、下にあるタンタルナイトライドバリア層と、銅等の導電体からなる、後に堆積されるメタル配線層との間に良好な付着を実現できる。しかし、ある用途においては、シード層の前に、または上記ホールを充填する前に、バリア層またはライナー層を堆積させることが好ましい。

【0078】

[0078] 第2のライナー層371は、第1のライナー層351と同じ方法で堆積することができる。すなわち、タンタルライナー371は、主にターゲットマグネトロン330によってプラズマが生成される第1のSIP工程において、堆積することができる。しかし、タンタルナイトライドではなくタンタルが堆積されるように、窒素は進入しない。SIPスパッタリングによれば、良好な側壁被覆性及び上方側壁被覆性を得ることができる。ICPコイル151へのRF電力は、必要に応じて低減またはなくすことができる。

【0079】

[0079] タンタルライナー層371の堆積に続いて、上記底部の薄膜化または排除が所望される場合には、該ライナー層の下ビア349の底部(及び処理残留物)におけるライナー層371の部分を、図9aに示すように、ライナー層351の底部と同様の方法で、アルゴンプラズマによってスパッタエッチングまたは再スパッタしてもよい。該アルゴンプラズマは、好ましくは、この工程において、主にRF電力を上記ICPコイルに印加することによって生成される。またここでも、スパッタリングチャンバ152(図4)内でのスパッタエッチングの間、ターゲット156に印加される電力は、第2のライナー層371の底部被覆の薄膜化または排除の間に、ターゲット156からの著しい堆積を防ぐためまたは抑制するために、好ましくは、取り除かれるか、あるいは、低レベル(例えば、500W)に低減されることに注意する。また、コイル151は、好ましくは、ライナー材料374を堆積させるためにスパッタされ、アルゴンプラズマは、該ライナー側壁及び上方部が、底部の再スパッタリングの間に実質的に薄膜化されることから保護するために、該ライナー層の底部を再スパッタする。

【0080】

[0080] 上述した実施形態においては、ターゲット材料の上記ビアの側壁へのSIP堆積は、主として1つの工程中に行われ、上記ビア底部のICP再スパッタリング及びコイル151材料のICP堆積は、主に後の工程において行われる。ターゲット材料及びコイル材料のビア349の側壁への堆積は、必要に応じて、同時に行うことができることを認識されたい。また、堆積材料の、ビア349の底部におけるICPスパッタエッチングは、必要に応じて、ターゲット材料及びコイル材料の上記側壁への堆積と同時に行うことができることを認識されたい。同時堆積/スパッタエッチングは、コイル151、ターゲット156及びペDESTAL162に印加する電力信号を調節することにより、図4のチャンバ152によって実行することができる。コイル151は、プラズマを維持するのに使用することができるため、該プラズマは、(該プラズマを持続させるのに必要なバイアスより小さい)上記ウェーハに対する比較的低いバイアスで該ウェーハをスパッタすることができる。スパッタリングのしきい値に一旦達すると、特定のウェーハバイアスの場合、ターゲット156に印加されるDC電力(“DCターゲット電力”)と比べて、ワイヤコイル151に印加されるRF電力(“RFコイル電力”)の比は、スパッタエッチングと堆積との関係に影響を及ぼす。例えば、RF電力とDC電力との比が高ければ高い程、スパッタエッチングは、増加したイオン化、および上記ウェーハに対する増加したイオン衝撃流によりより多く行われることになる。上記ウェーハバイアスを増加させること(例えば、支持ペDESTAL162に供給されるRF電力を増加させること)は、スパッタリング能力を増し、エッチング速度を増加させる、生じるイオンのエネルギーを増すことになる。例

えば、ペデスタル162に印加するRF信号の電圧レベルを増加させると、上記ウェーハに入射するイオンのエネルギーが増加すると共に、ペデスタル162に印加されるRF信号のデューティサイクルを増加させると、入射イオンの数が増加する。

【0081】

[0081] 従って、上記ウェーハバイアスの電圧レベル及びデューティサイクルは、スパッタリング速度を制御するために調節することができる。また、DCターゲット電力を低く保つことは、堆積に利用可能なバリア材料の量を減らすことになる。ゼロのDCターゲット電力は、スパッタエッチングのみをもたらすことになる。高RFコイル電力及びウェーハバイアスと結合した低いDCターゲット電力は、同時のビア側壁堆積及びビア底部スパッタリングをもたらすことができる。従って、上記プロセスは、上記材料物質及び該構造のために調整することができる。200mmウェーハの一般的な3:1のアスペクト比の場合、タンタルまたはタンタルナイトライドをバリア材料として用いると、連続的に印加される（例えば、100%デューティサイクル）500W~1kWのDCターゲット電力、2~3kW以上のRFコイル電力、250W~400W以上のウェーハバイアスで、上記ウェーハ側壁へのバリア堆積及び上記ビア底部からの材料の除去が可能になる。上記DCターゲット電力を低くすればする程、上記側壁に堆積される材料物質は少なくなる。上記DCターゲット電力を高くすればする程、上記ビアの底部をスパッタするのに必要なRFコイル電力および／またはウェーハバイアス電力は多くなる。例えば、コイル151に対する2kWのRFコイル電力レベル及びペデスタル162に対する、100%デューティサイクルの250WのRFウェーハ電力レベルは、同時堆積／スパッタエッチングに用いることができる。同時堆積／スパッタエッチングの間、最初は、（例えば、特定の構造／材料により、数秒間またはそれ以上）ウェーハバイアスを印加せずに、十分なビア側壁の被覆を可能にして、該ビアの底部からスパッタエッチングされた材料物質による該側壁の汚染を防ぐことが好ましい。

【0082】

[0082] 例えば、ビア349の同時堆積／スパッタエッチングの間、最初はウェーハバイアスをかけないことにより、堆積／スパッタエッチング工程の残りの間に、スパッタされた銅原子が層間絶縁体345を汚染するのを防ぐ、層間絶縁体345の側壁上への最初のバリア層の形成を容易にすることができる。別法として、堆積／スパッタエッチングは、同じチャンバ内で“連続的に”実行してもよく、あるいは、第1の処理チャンバ内でバリア層351を堆積した後、異なる第2の処理チャンバ（例えば、アブライドマテリアルズ社のPreclean IIチャンバ等のスパッタエッチングチャンバ）内でバリア層351及び銅酸化物層347a'をスパッタエッチングすることによって実行することができる。

【0083】

[0083] 第2のライナー層371の堆積及び底部被覆の薄膜化に続いて、銅配線348を形成するために、第2のメタル層347bが堆積される（図9b）。第2の銅層347bは、図9bに示すように、第2のライナー層371を覆う、および各ビアの底部に露出する第1の銅層347aの一部を覆う被覆として、または銅プラグ347b'として堆積させることができる。銅層347bは、銅シード層を含んでもよい。第1及び第2の銅層347a、347bは、バリア層351または第2のライナー層371を介して接触しているのではなく、直接接触しているため、銅配線348の抵抗は、ビア間漏れ電流と同様に低くすることができる。しかし、ある用途においては、上記ビアの底部に、上記ライナー層またはバリア層あるいはその両方の被覆を残すことが好ましいことを認識されたい。

【0084】

[0084] 上記配線が、上記ライナー層と異なる導電性金属で形成される場合、該配線層は、該異なる導電金属からなるターゲットを有するスパッタチャンバ内で堆積することができる。該スパッタチャンバは、SIP型またはICP型であってもよい。しかし、現在の銅シード層の堆積は、図10と共に以下に説明する種類のチャンバ内で行うことが好ましい。上記メタル配線は、他の種類のチャンバ内での別の方法及びCVD及び電気化学メ

ッキを含む装置によって堆積してもよい。

【0085】

〔0085〕銅シード層は、図10の概略断面図に示すような別のプラズマスパッタリングリアクタ410によって堆積してもよい。リアクタ410、及びシード及び他の層を形成するための種々のプロセスは、2001年11月14日に出願された、同時係属の出願第09/993,543号明細書（代理人登録番号6265）に記載されており、その全体を本願明細書に組み入れる。該明細書に記載されているように、真空チャンバ412は、電氣的に接地されている概して円筒形の側壁414を含む。一般的には、該側壁をスパッタ被覆から保護するために、側壁414の内側に、図示していない接地された交換可能なシールドが設けられているが、該シールドは、真空を保持することを除いて、チャンバ側壁として機能する。スパッタされる金属からなるスパッタリングターゲット416は、電氣的アイソレータ418を介してチャンバ412に密封されている。ペDESTAL電極422は、ターゲット416と対向して平行にスパッタ被覆されるウェーハ424を支持する。処理空間は、ターゲット416と、上記シールドの内側のウェーハ424との間に形成される。

10

【0086】

〔0086〕スパッタリング作用ガス、好ましくはアルゴンは、マスフローコントローラ428を介してガス供給部426から上記チャンバ内に計量供給される。図示しない真空ポンピング装置は、チャンバ412の内部を、通常 10^{-8} トル以下の非常に低いベース圧力に維持する。プラズマの点火中、アルゴンの圧力は、5ミリトル程度のチャンバ圧力を生成する量で供給されるが、後述するように、該圧力は、その後減少する。DC電源434は、ターゲット416に−600VDC程度の負の電位のバイアスをかけて、上記アルゴン作用ガスを、電子及び正のアルゴンイオンを含むプラズマに励起させる。該正のアルゴンイオンは、負のバイアスをかけられたターゲット416に引き付けられ、該ターゲットから金属原子をスパッタする。

20

【0087】

〔0087〕本発明は、特に、小さな入れ子状のマグネトロン436が、ターゲット416の後ろの図示されていないバックプレート上に支持されているSIPスパッタリングに対して有用である。チャンバ412及びターゲット416は、概して円筒形で、中心軸438周りに対称的である。SIPマグネトロン436は、第1の垂直磁極性の内側磁極440と、対向する第2の垂直磁極性の外側を囲む磁極442とを含む。両極とも、磁気ヨーク444によって支持され、かつ該ヨークを介して磁気結合されている。ヨーク444は、中心軸4438に沿って伸びる回転軸448に支持されている回転アーム446に固着されている。軸448に結合されたモータ450は、マグネトロン436を中心軸438周りに回転させる。

30

【0088】

〔0088〕不平衡マグネトロンにおいては、外側極442は、好ましくは、少なくとも150%の磁力比を有する、内側極440によって形成されるものよりも大きな領域に一体化された総磁束を有する。対向する磁極440、442は、ターゲット416の面に平行で近接する強力な成分を有する、概して半トロイダルな磁界をチャンバ412の内部に形成して、そこに高密度プラズマを生成し、それによりスパッタリング速度を高め、かつスパッタされた金属原子のイオン化量を増大させる。外側極442は、内側極440よりも磁氣的に強力であるため、外側極442からの磁界の一部は、外側極442の後ろに戻ってループを形成して磁気回路を完成する前に、ペDESTAL422の方へ突出する。

40

【0089】

〔0089〕例えば、13.56MHzの周波数を有するRF電源454は、ウェーハ424に対して負の自己バイアスをかけるために、ペDESTAL電極422に接続されている。該バイアスは、隣接するプラズマのシースを横切る正に帯電した金属原子を引き付け、それにより、層間ビア等の、上記ウェーハ内の高アスペクト比ホール側部及び底部を被覆する。

50

【0090】

[0090] SIPスパッタリングにおいては、上記マグネトロンは、小さく、かつ高い磁気強度を有し、プラズマ密度が、ターゲット416近傍で約 10^{-10} cm^{-3} まで上昇するように、大量のDC電力が該ターゲットに印加される。このプラズマ密度がある場合には、大量のスパッタされた原子が、正に帯電した金属イオンにイオン化される。金属イオン密度は充分高いため、大量のイオンが上記ターゲットに戻って引き付けられて、さらに多くの金属イオンがスパッタされる。その結果、該金属イオンは、アルゴンイオンをスパッタリングプロセスにおける有効な作用種として少なくとも部分的に置換する。すなわち、アルゴン圧力を低減することができる。低減された圧力は、金属イオンの散乱及び脱イオン化を低減するという効果を有する。銅スパッタリングの場合、ある条件下で、持続性自己スパッタリング（SSS）と呼ばれるプロセスにおいて、プラズマが一旦点火されると、アルゴン作用ガスを完全に除去することが可能である。アルミニウムまたはタングステンスパッタリングの場合、SSSは不可能であるが、上記アルゴン圧力は、従来のスパッタリングで用いる圧力よりもかなり低減することができ、例えば、1ミリトル未満に低減することができる。

10

【0091】

[0091] 本発明の一実施形態においては、永久磁石462からなる補助アレイ460が、チャンバ側壁414の周囲に配置され、該アレイは、ウェーハ424に向かって、処理空間の半体内に概して配置されている。この実施形態において、補助磁石462は、磁界の不均衡な部分を外側極442から引っ張るために、入れ子状マグネトロン436の外側極442と同じ第1の垂直磁極性を有する。以下に詳細に説明する実施形態においては、8つの永久磁石があるが、中心軸438の周りに配置された4つまたはそれ以上のどのような数でも、同様の良好な結果をもたらす。補助磁石462を、チャンバ側壁414の内側、好ましくは、薄い側壁シールドの外側に配置して、処理領域における有効な強度を増加させることが可能である。しかし、全体的な処理結果にとっては、側壁414の外側での配置が好ましい。

20

【0092】

[0092] 上記補助磁石アレイは、円形の対称的な磁界を形成するために、中心軸438の周りに、概して対称的に配置されている。一方、入れ子状マグネトロン436は、中心軸438の周りに非対称的に配置される磁界配置を有するが、該磁界配置が、回転時間の経過とともに平均化されると、該磁界配置は対称的になる。入れ子状マグネトロン436の形態には、多くの形態がある。最も単純であるがあまり好ましくない形態は、その磁界が、チャンバ軸438からずれている軸の周りに対称的で、かつ入れ子状マグネトロンの軸が、チャンバ軸438周りに回転されるような、円形環状外側極442によって囲まれたボタン中心極440を有する。好ましい入れ子状マグネトロンは、中心軸438の近くに頂点を有し、ターゲット416の周囲近傍に底辺を有する、図11の底面図に示す三角形形状を有する。この形状は、磁界の時間平均が、円形の入れ子状マグネトロンの場合よりもより均一であるため、特に有利である。

30

【0093】

[0093] 回転周期中の特定の瞬間における有効な磁界を、図10に点線で示す。半トロイダル磁界 B_M は、ターゲット416の面と平行で接近した強い水平成分を生じ、それにより、プラズマの密度、スパッタリング速度及びスパッタされた粒子のイオン化を増加させる。補助磁界 B_{A1} 、 B_{A2} は、補助磁石アレイ460からの磁界と、入れ子状マグネトロン436の磁界の不均衡部分の合計である。入れ子状マグネトロン436から離れた上記チャンバの側では、入れ子状マグネトロン436の磁界の不均衡部分からの成分 B_{A1} が優勢であり、該成分は、ウェーハ424の方までは及んでいない。しかし、入れ子状マグネトロン436の側のチャンバ側壁414の近傍では、補助磁石462は、外側磁極442と強く結合しており、ウェーハ424の方まで突出する磁界成分 B_{A2} を生成する。図の平面の範囲外では、上記磁界成分は、2つの成分 B_{A1} 、 B_{A2} を組み合わせたものである。

40

【0094】

50

[0094] この構造は、補助磁石 4 4 2 及び強力な外側磁極 4 4 2 のアライメントのため、強力な垂直磁界が、その周りで動く入れ子状マグネトロン 4 3 6 の下の領域内で、チャンバ側壁 4 1 4 の実質的な長さの近傍に沿って形成されるという結果をもたらす。その結果として、最も強くスパッタされるターゲット 4 1 6 の領域に隣接するチャンバ 4 1 2 の外側に、強力な垂直磁界が存在する。この突出する磁界は、プラズマの領域を広げること、およびイオン化した粒子をウェーハ 4 2 4 に案内することの両方に有効である。

【0095】

[0095] 補助磁石アレイ 4 6 0 は、そのうちの 1 つは、図 1 2 に正射投影法で示されている、2 つの半円形磁石キャリア 4 7 0 の使用によって実施することができる。各キャリア 4 7 0 は、その内部に面し、かつ 1 つの磁石 4 6 2 を含む各磁石アセンブリ 4 7 4 を収容するような大きさになっている 4 つの凹部 4 7 2 を含む。磁石アセンブリ 4 7 4 は、円弧状の上方クランプ部材 4 7 6 と、下方クランプ部材 4 7 8 とを含み、該部材は、2 つのネジ 4 8 0 が、2 つのクランプ部材 4 7 6、4 7 8 を締め付けたときに、円筒形の磁石 4 6 2 を凹部内に捕える。キャリア 4 7 0 及びクランプ部材 4 7 6、4 7 8 は、アルミニウム等の非磁性材料で形成してもよい。下方クランプ部材 4 7 8 は、凹部 4 7 2 に嵌まるような長さを有するが、上方クランプ部材 4 7 6 は、凹部 4 7 2 を越え、かつそこを貫通して 2 つのスルーホール 4 8 2 が穿孔されている端部を有する。2 つのネジ 4 8 4 は、各スルーホールを通して、ネジ 4 8 4 を、磁石キャリア 4 7 0 のネジ穴 4 8 6 に固定できるようにし、それによって磁石 4 6 2 を磁石キャリア 4 7 0 上の定位置に固定する。このように組み立てられた 2 つの半円形磁石キャリア 4 7 0 はチャンバ壁部 4 1 4 の周囲のリング内に配置されて、従来の固定手段によって固定される。この構造は、磁石 4 6 2 を、チャンバ壁部 4 1 4 の外部に直接隣接して配置する。

【0096】

[0096] Wei Wang の電磁石コイルの内側に形成されたソレノイド磁界は、永久磁石の環状アレイによって形成された周囲の双極子磁界よりも、上記リアクタチャンバの直径にわたってより均一である。しかし、永久磁石 4 6 2 を、図 1 3 の断面図に示すような、チャンバ壁の周囲に配置された電磁気コイル 4 9 0 からなる環状アレイと置き換えることによって、同じような形状の双極子磁界を形成することが可能である。コイル 4 9 0 は、一般に、中心軸 4 3 8 と平行な各軸周りのヘリックスとして巻回されており、上記チャンバの内側に、ほぼ同じ磁気双極子界を形成するように電氣的に作動される。このようなデザインは、上記補助磁界の強度及び該磁界の極性の迅速な調整を可能にするという利点を有する。

【0097】

[0097] 本発明は、銅の S I P スパッタリングに適用してきた。従来の S I P リアクタは、シート抵抗測定値により決まる 9 % の非均一性を有する銅膜をスパッタするが、上記補助マグネトロンは、ある実施形態においては、1 % の非均一性を生じるように最適化できると考えられる。均一性の改善は、ある用途における改良されたプロセス制御のためには好ましい、深いホール内への薄い銅シード層の堆積の場合、ある適用においては、低減された堆積速度を伴う可能性がある。

【0098】

[0098] 本発明を、S I P スパッタリアクタでの使用のために説明してきたが、上記補助永久磁石アレイは、米国特許第 6, 251, 242 号明細書の S I P リアクタの環状アーチ型のターゲット、米国特許第 6, 179, 973 号明細書または 2000 年 7 月 / 8 月、J. Vac. Sci. Technology の Klawuhn 等による「進歩したメタライゼーションのための中空カソードマグネトロンソースを用いたイオン化された物理気相堆積」の中空カソードターゲット、米国特許第 6, 045, 547 号明細書の誘導結合 I M P リアクタ、あるいは、例えば、2000 年の I E E E の Wada 等による「イオンリフレクタを有する自己イオンスパッタリング (S I S) を用いた、0.13 μm 技術世代のための Cu デュアルダマシンプロセス」に記載されているようなイオンリフレクタを使用して、基板へのイオン流を制御する自己イオンスパッタリング (S I S) システム

等の他のターゲット及び電力構成に対して有利に適用することができる。平衡マグネトロン及び静止型等の他のマグネトロン構成も用いることができる。さらに、上記補助磁石の極性は、上部マグネトロンの外側極の磁極性と平行または非平行にしてもよい。Al、Ta、Ti、Co、W等及び耐熱性金属からなる窒化物を含む他の材料物質をスパッタしてもよい。

【0099】

[0099] 従って、上記補助磁石アレイは、マグネトロンスパッタリングに有用な磁界の追加的な制御を実現できる。しかし、部分的に中性なイオン流でより深いホール被覆を実現するには、ターゲット416とウェーハ424との距離を長くすること、すなわち、ロングスローモードで作動させることが好ましい。図4のチャンバと共に上述したように、ロングスローにおいては、ターゲット・基板間の間隔は、通常、該基板の口径の半分よりも大きい。SIP銅シード堆積で使用する場合、好ましくは、200mmウェーハの場合、140%ウェーハ口径よりも大きく（例えば、290mm間隔）、300mmウェーハの場合130%以上（例えば、400mm間隔）であるが、基板口径の90%以上及び100%以上を含む80%以上の間隔が適切であると考えられる。たいていの用途の場合、50~1000mmのターゲット・ウェーハ間の間隔が適切であると考えられる。従来のスパッタリングにおけるロングスローは、スパッタリング堆積速度を低減するが、イオン化したスパッタ粒子には、そのような大きな減少という欠点がない。

【0100】

[0100] 図4のチャンバ及び図10のチャンバによって形成できる構造からなる一実施形態は、図14aに断面で示すピアである。シード銅層492は、図10のチャンバによって、ピアホール494内で、SIP及びICPを促進する条件下で、上述のTaNバリア351、364及びTaライナー層371、374等の1つまたはそれ以上のバリア及びライナー層を含んでもよい、図4のチャンバ内で形成されたライナー層を覆って堆積される。SIP銅層492は、例えば、50~300nm、または、より好ましくは80~200nmの厚みを被覆するために堆積してもよい。SIP銅シード層492は、好ましくは、上記ピア側壁上で、2~20nm、より好ましくは、7~15nmの範囲の厚さを有する。狭いホールのため、50nmを超える上記側壁の厚さは、ある用途に対しては最適ではない可能性がある。該膜の品質は、ある用途においては、上記ペデスタルの温度を、0℃以下、好ましくは-40℃以下に低下させることによって改善することができる。このような適用においては、迅速なSIP堆積が有利である。

【0101】

[0101] 例えば、スパッタリングチャンバ410が、銅層の堆積のために構成されている場合、銅ターゲット416が使用される。動作中、上記チャンバ排気口に操作可能に結合されたスロットバルブは、プロセスガスの該チャンバ内への導入前に、堆積チャンバ410を、約 1×10^{-8} トルの所望の低い真空レベルに維持するために、中間位置に配置される。スパッタリングチャンバ410内での処理を開始するために、ガスインレット428を介して、スパッタリングチャンバ410内に、アルゴンガスが流入される。ロングスローSIPチャンバ内での銅シードの堆積の場合、0~2mトル等の非常に低い圧力が好ましい。図示の実施形態においては、0.2mトルの圧力が適切である。DC電力は、DC電源434を介して銅ターゲット416に印加される（同時に、上記ガス混合物は、ガスインレット360を介してスパッタリングチャンバ410内に流入され続け、該チャンバから適当なポンプを介して供給される）。ターゲット416に印加される電力は、銅ターゲットの場合、200mmウェーハに対して20~60kWの範囲でもよい。一つの実施例においては、電源434は、銅ターゲット416に、-600VDCで38kWを印加することができる。300mmウェーハ等の大きなウェーハの場合、56kW等のより大きな値が適切であることが予想される。特定の用途により、他の値を用いてもよい。

【0102】

[0102] ターゲット416に印加されるDC電力は、アルゴンに、SIPプラズマを

形成させ、かつターゲット材料（例えば、銅）をそこから射出させるターゲット 4 1 6 に引き付けられて衝突するアルゴンイオンを生成させる。射出したターゲット材料は、移動して、ペDESTAL 4 2 2 によって支持されたウェーハ 4 2 4 上に付着する。上記 S I P プロセスによれば、上記不平衡マグネトロンによって生成されたプラズマは、スパッタされた銅の一部をイオン化する。基板支持ペDESTAL 4 2 2 に印加される R F 電力信号を調節することにより、基板支持ペDESTAL 4 2 2 とプラズマとの間に、負のバイアスを形成することができる。

【0103】

[00103] ペDESTAL 4 2 2 に印加される電力は、銅シード堆積の場合、0 ~ 1 2 0 0 W の範囲であってもよい。一実施例においては、R F 電源 4 5 4 は、2 0 0 mm ウェーハの場合、ペDESTAL 4 2 2 に 3 0 0 W 印加することができる。3 0 0 mm ウェーハ等のより大きなウェーハの場合には、より大きな値が適切であると予想される。特定の用途により、他の値を用いることもできる。

10

【0104】

[00104] 基板支持ペDESTAL 4 2 2 とプラズマとの間の負のバイアスは、銅イオン及びアルゴンイオンを、ペDESTAL 4 2 2 及び該ペDESTAL 上に支持されたウェーハの方へ加速させる。従って、中性及びイオン化した銅を、該ウェーハ上に堆積させることができ、S I P スパッタリングに従って良好な底部、側壁及び上方側壁被覆性を実現できる。また、上記ウェーハ、ターゲット 4 1 6 からの銅材料が、該ウェーハ上に堆積すると同時に、上記アルゴンイオンによってスパッタエッチングしてもよい（例えば、同時堆積／スパッタエッチング）。

20

【0105】

[00105] シード層 4 9 2 の堆積の後または間に、ビア 4 9 4 の底部 4 9 6 におけるシード層 4 9 2 の一部は、該底部の再配分が好ましい場合、図 1 4 B に示すようなアルゴンプラズマによってスパッタエッチングまたは再スパッタしてもよい。底部 4 9 6 は、図 1 4 B に示すように、上記銅シード層の底部角部領域 4 9 8 の被覆厚を増加させるために再配分してもよい。たいていの用途においては、上記ビア全体にわたる適切なシード層被覆を形成するために、銅シード層の底部 4 9 6 が、完全に除去されていないことが好ましい。

【0106】

[00106] 上記アルゴンプラズマは、好ましくは、この再スパッタリング工程において、電力を上記ターゲット及びペDESTAL に印加することによって S I P プラズマとして生成される。S I P アルゴンイオンは、電界によってシード層 4 9 2 の方へ加速され（例えば、負の自己バイアスを該ペDESTAL 上に形成する、図 1 0 の第 2 の R F 電源 4 5 4 を介して基板支持ペDESTAL 4 2 2 に印加される R F 信号）、シード層 4 9 2 にぶつかり、運動量の伝達により、ビア開口の底からのシード層材料をスパッタし、ビア 3 4 9 の底部角部を被覆するシード層 4 9 2 の一部 4 9 8 に沿って該材料を再配分する。

30

【0107】

[00107] 上記アルゴンイオンは、上記基板とほぼ直角な方向で該基板に引き付けられる。その結果、上記ビアの側壁のスパッタリングはほとんど起きないが、該ビアの底部の実質的なスパッタリングが行われる。この実施形態におけるスパッタリングチャンバ 4 1 0（図 1 0）内での銅シード層の再スパッタリングの間、ペDESTAL 4 2 2 に印加される電力は、例えば、該銅シード層の底部の再配分を容易にするために、例えば 6 0 0 ~ 1 2 0 0 W あるいは 9 0 0 W の高い値まで増加させることができる。すなわち、この実施例においては、上記ペDESTAL 電力は、上記再スパッタリングの再配分効果を強めるために、6 0 0 W 以下のレベル（例えば、3 0 0 W）から、6 0 0 W 以上のレベル（例えば、9 0 0 W）まで上昇する。

40

【0108】

[00108] 他の実施例においては、ターゲット 4 1 6 に印加される電力は、上記銅シード層の底部の再配分を容易にするために、ターゲット 4 1 6 からの付着を妨げるように、

50

例えば、30 kWまたは28 kW等の低い値に低減することができる。ゼロのターゲット電力ではなく、低いターゲット電力レベルは、より均一なプラズマを生成することができ、シード層の底部の再配分のために、現在ターゲット電力が低減される実施形態においては好ましい。従って、この実施例においては、上記ターゲット電力は、再スパッタリングを強めるために、30000（例えば、38 kW）を超えるレベルから30000 W（例えば、28 kW）未満レベルに低下される。

【0109】

[00109] さらに別の実施例においては、上記銅シード層の底部の再スパッタリングは、上記ターゲット及びペDESTALの電力レベルを、該シード層の堆積中に、比較的一定に維持できるように（例えば、それぞれ38 kW及び300 kW）、該銅シード層堆積全体にわたって同時に実行してもよい。他の実施形態においては、ターゲット電力の低減は、シード層の底部の再配分を容易にするために、ペDESTAL電力の増加と交互に行うか、または該ペDESTAL電力の増加と組み合わせてもよい。

【0110】

[00110] 上記再スパッタリングプロセスのパラメータの特定の値は、特定の用途により変化してもよい。同時係属または発行された出願第08/768,058号、同第09/126,890号、同第09/449,202号、同第09/846,581号、同第09/490,026号及び同第09/704,161号は、再スパッタリングプロセスについて記載しており、それらの出願全体を本願明細書に組み入れる。

【0111】

[00111] SIP銅シード層492は、良好な底部及び側壁被覆性と、強化された底部角部被覆性とを有する。銅シード層492が堆積された後、上記ホールは、好ましくは、シード層492を電気メッキ電極のうちの1つとして用いる電気化学メッキにより、図1に示すように、銅層18によって充填される。別法として、SIPシード層492の円滑な構造は、リフローまたは標準的なスパッタリングまたは物理気相堆積（PVD）による銅の高温堆積を促進する。

【0112】

[00112] 図4及び10のチャンバは、イオン化した及び中性の原子流を共に用いる。その全体を本願明細書に組み入れる米国特許第6,398,929号明細書（代理人登録番号3920）に記載されているように、DCマグネトロンスパッタリングリアクタ内でのイオン化した及び中性の原子流の配分は、絶縁層内のホール内に有利な層を形成するように調整することができる。このような層は、それ自体により、あるいは、化学気相堆積（CVD）により、スパッタした銅核形成層を覆って堆積された銅シード層と共に用いることができる。銅ライナー層は、電気メッキした銅のための薄いシード層として特に有用である。

【0113】

[00113] 従来のDCマグネトロンスパッタリングリアクタは、従来の作用ガススパッタリング、または持続性自己スパッタリングに注力してきた。この2つアプローチは、異なる種類のスパッタリングを強調する。一方、上記銅ライナーのためのリアクタは、イオン化した銅原子と中性粒子の間の配分を制御するために、従来技術の様々な態様を組み合わせることが好ましい。このようなリアクタ550の実施例を、図15の概略断面図に示す。図4、10及び13のリアクタは、カリフォルニア、サンタクララのアプライドマテリアルズ社から入手可能なEndura PVDリアクタの変更に基づいている、図15のリアクタの態様を用いてもよい。リアクタ550は、一般に金属からなり、かつ電氣的に接地され、ウェーハ558上にスパッタ堆積される、この場合銅または銅合金である材料物質かなる表面部分を少なくとも有するPVDターゲット556に対して、ターゲットアイソレータ554によって密封された真空チャンバ552を含む。合金元素は、通常、5重量%未満であり、また適切なバリアが別な方法で形成される場合、本質的に純粋な銅を使用してもよい。ウェーハクランプ560は、ウェーハ558をペDESTAL電極562上に保持する。ペDESTAL562内の図示しない抵抗性ヒータ、冷却流路及び熱伝達ガス

キャビティは、該ペデスタルの温度を -40°C 未満の温度に制御できるようにし、それにより該ウェーハの温度を同様に制御できるようにする。

【0114】

[00114] 第2の絶縁シールドアイソレータ568によって絶縁されたフローティングシールド564と接地シールド566は、チャンバ552内に保持されて、チャンバ壁552をスパッタされた材料物質から保護する。接地シールド566は、カソードターゲット556と対向するアノード接地面としても作用し、それによりプラズマを容量的に支持する。いくつかの電子は、フローティングシールド564上に堆積して、そこに負の電荷を蓄積する。該負の電位は、さらなる電子が堆積されるのを防止するだけではなく、該電子を主要なプラズマ領域内に閉じ込めて、電子の損失を低減し、低圧スパッタリングを持続させ、プラズマ密度を増加させる。

10

【0115】

[00115] 上記ターゲット及びシールドの詳細を、図16の拡大断面図に示す。ターゲット556は、銅ターゲット部572がはんだ接合または拡散接合されるアルミニウムまたはチタン支持プレート570を含む。支持プレート570のフランジ573は、好ましくは、アルミナ等のセラミックで構成されているターゲットアイソレータ554上に載置され、かつ重合ターゲットリング574を介してターゲットアイソレータ554に対して真空密閉されている。ターゲットアイソレータ554は、実際には、主チャンバ本体に対して密封されたアルミニウムアダプタであってもよいチャンバ552上に載置され、かつアダプタリング575を介して該チャンバ552に対して真空密封されている。メタルクランプリング576は、その内側径方向側部に、上方に伸びる環状リム577を有する。図示しないボルトは、メタルクランプリング576を、チャンバ552の内側に伸びる棚部578に固定して、接地シールド566のフランジ579を捕捉する。それによって、接地シールド566は、接地されたチャンバ552に、機械的かつ電氣的に接続される。

20

【0116】

[00116] シールドアイソレータ568は、クランプリング576上に自由に載置し、かつアルミナ等のセラミック材で機械加工できる。該アイソレータは、コンパクトであるが、上記リアクタの温度サイクル中に強度をもたらす小さな幅と比較して、165mm程度の比較的大きな高さを有する。シールドアイソレータ568の低部は、クランプリング576のリム577の外側に嵌合する内側環状凹部を有する。リム577は、クランプリング576に対して、シールドアイソレータ568の内径をセンタリングするように作用するだけではなく、主処理領域に達してから、セラミックシールドアイソレータ568とメタルリングクランプ576との間のスライド面580で生成されたいかなるパーティクルに対してもバリアとして作用する。

30

【0117】

[00117] フローティングシールド564のフランジ581は、シールドアイソレータ568上に自由に載置され、かつその外側に、シールドアイソレータ568の上方外側角部に形成された環状凹部内まで下方に伸びるタブまたはリム582を有する。それによって、タブ582は、シールドアイソレータ568の外径において、ターゲット556に対してフローティングシールド564をセンタリングする。シールドタブ582は、プラズマ暗黒部を位置合わせするには充分小さいが、シールドアイソレータ568のジャミングを防ぐには充分大きい狭い間隙によって、シールドアイソレータ568から分離されており、フローティングシールド581は、タブ582の内側上部のスライド接触領域583において、シールドアイソレータ568上に載置されている。

40

【0118】

[00118] フローティングシールド564のヘッド585とターゲット556との間には、狭いチャネル584が形成されている。該チャネルは、プラズマ暗黒部として作用する約2mmの幅を有する。狭いチャネル584は、図示よりもさらに径方向内側に伸びる経路内で、支持プレートフランジ574の下方に突出する隆起部586を通して、シール

50

ドヘッド 585 とターゲットアイソレータ 554 との間の上方裏間隙 584 a へ続いている。これらの構成要素の構造及びそれらの特性は、Tang 等により、1998 年 10 月 30 日に出願された米国特許出願 09/191,253 号明細書に開示されているものと同様である。上方裏間隙 584 a は、室温で約 1.5 mm の幅を有する。上記シールド要素が温度サイクルにさらされると、該要素は、変形する傾向がある。ターゲット 556 に隣接する狭いチャンネル 584 よりも小さな幅を有する上方裏間隙 584 a は、狭いチャンネル 584 内にプラズマ暗黒部を維持するには充分である。該裏間隙 584 a は、下方に向かって、内側のシールドアイソレータ 568 及びリングクランプ 576 と、外側のチャンバ本体 552 との間の低部裏間隙 584 b 内に続いている。低部裏間隙 584 b は、セラミックシールドアイソレータ 568、クランプリング 576、フローティングシールド 564 間のスライド面 580、583 で発生したセラミック粒子を集めるキャビティとして機能する。また、シールドアイソレータ 568 は、その上方内側角部に、その径方向内側のスライド面 583 からセラミック粒子を集める中空凹部 583 a を含む。

【0119】

[00119] フローティングシールド 564 は、フランジ 581 から下方に伸び、かつその低い方の端部が、接続部 592 を介して狭い低部円筒形部分 590 に接続された、下方に伸びる幅広の上部円筒形部分 588 を含む。同様に、接地シールド 566 は、フローティングシールド 564 の上方円筒形部分 588 の外側、すなわち該上方円筒形部分よりも幅広の上方円筒形部分 594 を有する。接地された上方円筒形部分 594 は、その上端部が接地シールドフランジ 580 に、またその低端部が、上記チャンバの径方向に伸びる接続部 598 を介して狭い低部円筒形部分 596 に接続されている。接地された低部円筒形部分 596 は、フローティング低部円筒形部分 590 の外側に嵌合し、それに伴って該フローティング低部円筒形部分よりも幅広になっているが、フローティング上方円筒形部分 564 よりも、約 3 mm の径方向間隔だけ小さい。2つの接続部分 592、598 は、垂直方向及び水平方向にずれている。それにより、フローティングシールド 564 と接地シールド 566 との間には、2つの垂直チャンネル部の間に直進する視線を保障しない、接地低部円筒形部分 596 とフローティング上方円筒形部分 564 との間のずれを有する迷路状の狭いチャンネル 600 が形成される。チャンネル 600 の目的は、2つのシールド 564、566 を電氣的に絶縁すると共に、クランプリング 576 及びシールドアイソレータ 568 を銅の堆積から保護することである。

【0120】

[00120] シールド 564、566 の低部円筒形部分 590、596 間のチャンネル 600 の低部は、4:1 以上、好ましくは、8:1 以上のアスペクト比を有する。チャンネル 600 の低部は、具体例としての 0.25 cm の幅及び 2.5 cm の長さを有し、好ましい範囲は、0.25~0.3 cm 及び 2~3 cm である。それによって、チャンネル 600 を通るどのような銅イオン及び散乱した銅原子も、更にクランプリング 576 及びシールドアイソレータ 568 の方への経路が見つかる前に、該シールドから数回跳返り、上方の接地円筒形部分 594 によって少なくとも停止することになる。どの 1 度の跳返りも、上記シールドにより吸収されるイオンを生じやすい。2つの接続部 592、598 間のチャンネル 600 における 2つの隣接する 90 度の曲がりまたは湾曲は、更にシールドアイソレータ 568 を銅プラズマから絶縁する。同様であるが限定された効果は、60 度の湾曲や 45 度の湾曲でも実現することができるが、より効果的な 90 度の湾曲は、上記シールド材に形成するのに容易である。該 90 度の曲がり、あらゆる方向から来る銅粒子が、少なくとも 1 度の高角度の衝突を有し、それにより、上方接地円筒形部分 594 により停止されるほとんどのエネルギーを失うことになる可能性を増すため、かなり有効である。また該 90 度の曲がり、クランプリング 576 及びシールドアイソレータ 568 を、銅粒子に直接更されることから保護する。銅は、フローティング接続部 592 の底部における水平面上、および垂直上方接地円筒形部分 594 上の、共に上記 90 度の曲がりのうちの 1つの端部に優先的に堆積することが分かっている。また、入り組んだチャンネル 600 は、接地シールド 566 の水平接続部 598 上での処理中に、シールドアイソレータ 568

から生成されたセラミック粒子を集める。このように集められた粒子は、そこで集められた銅にくっつきやすい。

【0121】

[00121] 図15に戻って、接地シールド566の低部円筒形部分596は、ウェーハ558を支持するペDESTAL562の上部の裏のウェルに向かって下方に続いている。そして、接地シールド566は、カップ状部分602内で径方向内側に続いた後、ウェーハ558のペDESTAL562の径方向外側に離間した略持ち上げのために最も内側の円筒形部分604において垂直上方に続いている。

【0122】

[00122] シールド564、566は、一般に、ステンレス鋼で構成されており、それらの内側面は、該面上に堆積した銅スパッタの付着を促進するために、ビードブラストまたは他の方法で粗面化してもよい。しかし、長いスパッタリングの間のある時点において、銅は、剥がれやすい厚さに堆積して、有害な粒子を生成する。この時点に達する前に、上記シールドは、クリーニングするか、あるいは、新しいシールドと交換すべきである。しかし、より高価なアイソレータ554、568は、たいていのメンテナンス期間において交換する必要はない。更に、該メンテナンス期間は、該アイソレータの電氣的短絡によってではなく、該シールドの剥がれによって判断される。

【0123】

[00123] 上述したように、フローティングシールド564は、電子電荷を蓄積し、負の電位を蓄積する。それにより、フローティングシールド564に対する更なる電子の損失が防止され、ターゲット556のより近くにプラズマが閉じ込められる。Ding等は、多少似ている構造を用いた同様の効果を、米国特許第5,736,021号明細書に開示している。しかし、図16のフローティングシールド564は、Ding等の対応する部分よりも、ターゲット556からかなり離れて伸びている、その低部円筒形部分590を有しており、それによって、プラズマをより大きな空間にわたって閉じ込める。しかし、フローティングシールド564は、ターゲット556から離れすぎて伸びないように、接地シールド566をターゲット556から電氣的にシールドする。長すぎた場合には、プラズマにぶつかるのが困難になるが、短すぎた場合には、電子の損失が増加して、プラズマを低圧で持続させることができず、プラズマ密度が低下する。最適な長さは、フローティングシールド566の総軸長が7.6cmである場合、フローティングシールド566の底部の先端部606が、図16に示すように、ターゲット556の表面から6cm離れている長さであることが分かってきている。銅スパッタリングが持続される最少圧力に対して、3つの異なるフローティングシールドをテストした。1kW及び18kWのターゲット電力に対するその結果を図17に示す。横座標は、総シールド長を示し、シールド先端部606とターゲット556との間の間隔は、1.6cm未満である。該間隔の好ましい範囲は、5~7cmであり、該長さの好ましい範囲は、6.6~8.6cmである。該シールド長を10cmまで伸ばすと、上記最少圧力がかなり低減されるが、プラズマにぶつかることの困難さは増す。

【0124】

[00124] 再び図15に戻って、選択可能なDC電源610は、プラズマを点火して維持するために、ターゲット556に、接地シールド566に対して約-400~-600VDCの負のバイアスをかける。1~5kWのターゲット電力は、通常、プラズマを点火するのに用いられ、10kW以上の電力は、ここに記載したSIPスパッタリングに好ましい。従来、ペDESTAL562及びウェーハ558は、電氣的に浮遊されているが、該ペDESTALには、負のDC自己バイアスがかかっている。一方、あるデザインにおいては、ペDESTALに生じる負のDCバイアスを更に制御するために、DCまたはRFバイアスをペDESTAL562に印加する制御可能な電源612を使用する。テストした構成においては、バイアス電源612は、13.56MHzで作動するRF電源である。600WまでのRF電力を供給してもよく、200mmウェーハの場合の好ましい範囲は、350~550Wである。

【0125】

[00125] ガスソース614は、一般に、化学的に不活性なアルゴンガスである、スパッタリング作用ガスを、マスフローコントローラ616を介してチャンバ552に供給する。該作用ガスは、シールド接地シールド566の底部を通して、あるいは、接地シールド566、ウェーハクランプ560及びペDESTAL562間の間隙618を通して、開口を貫通する1つまたはそれ以上のインレットパイプによって、該チャンバの上部に進入することが可能であり、あるいは、図に示すように、その底部に進入することが可能である。幅広のポンピングポート622を介してチャンバ552に接続された真空ポンプ装置620は、該チャンバを低圧に維持する。ベース圧力は、約 10^{-7} トルまたはそれ未満に保持することができるが、上記作用ガスの圧力は、従来のスパッタリングにおいては、通常、約1～1000ミリトルに、SIPスパッタリングにおいては、約5ミリトル以下に維持される。コンピュータをベースとしたコントローラ624は、DCターゲット電源610、バイアス電源612及びマスフローコントローラ616を含むリアクタを制御する。

10

【0126】

[00126] 効果的なスパッタリングを可能にするために、ターゲット556の裏にマグネトロン630が配設されている。該マグネトロンは、磁気ヨーク636に接続され該ヨークによって支持された、対向する磁石632、634を有する。該磁石は、チャンバ552内のマグネトロン630の近傍に磁界を形成する。この磁界は、電子を捕え、電荷が中性の場合、イオン密度も増加して、高密度プラズマ領域638を形成する。マグネトロン630は、通常、モータ駆動軸642によってターゲット556の中心640周りに回転して、ターゲット556のスパッタリングにおける完全なカバレッジを実現する。銅の持続性自己スパッタリングを可能にするための十分なイオン化密度の高密度プラズマ638を実現するには、マグネトロン630に隣接する上記領域に供給される電力密度は、高くしなければならない。このことは、Fuが上述の引用特許に記載しているように、DC電源610から供給される電力レベルを増加させることにより、およびマグネトロン630の領域を、例えば、三角形または競馬場の形状に低減することにより実現することができる。その先端部を、ターゲット中心640と略一致させて回転される601三角形マグネトロンは、いつでも上記ターゲットの1/6程度のみをカバーする。SIPスパッタリングが可能な工業用リアクタにおいては、1/4のカバレッジが好ましい最大値である。

20

【0127】

[00127] 電子の損失を減らすために、内側の磁石632及び図示しない磁極面によって表わされる内側磁極は、相当数の開口を有するべきではなく、また外側磁石634及び図示しない磁極面によって表わされる連続した外側磁極によって囲むべきである。更に、イオン化したスパッタ粒子をウェーハ558へ案内するために、外側磁極は、内側磁極よりもかなり高い磁束を生成すべきである。伸びている磁界線は、電子を捕え、それによって、プラズマをウェーハ558の近くまで広げる。磁束の比は少なくとも150%、好ましくは200%を超えるべきである。Fuの三角形マグネトロンの2つの実施形態は、同じ強度であるが反対極性の、25個の外側磁石と、6個または10個の内側磁石を有する。

30

【0128】

[00128] アルゴンが、上記チャンバ内に入ると、ターゲット556と接地シールド566とのDC電圧差が、該アルゴンを点火してプラズマにし、正に荷電したアルゴンイオンが、負に荷電したターゲット556に引き付けられる。該イオンは、かなりのエネルギーでターゲット556にぶつかって、ターゲット原子または原子群をターゲット556からスパッタさせる。上記ターゲット粒子のうちのいくつかは、ウェーハ558にぶつかり、それによって該ウェーハ上に堆積されて、該ターゲット材料からなる膜を形成する。金属窒化物の反応性スパッタリングにおいては、上記チャンバ内に窒素が追加的に入れられて、スパッタされた金属原子と反応し、金属窒化物をウェーハ558上に形成する。

40

【0129】

[00129] 図示のチャンバは、持続性自己スパッタリングを含む銅の自己イオン化スパ

50

ッターリングが可能である。この場合、プラズマが点火された後、アルゴンの供給は、SSの場合には遮断してもよく、銅イオンは、2以上のイールドで銅ターゲットを再スパッタするのに充分高い密度を有する。別法として、低減された流量及びチャンバ圧力で、あるいは純粋な持続性自己スパッタリングを維持するのに不十分なターゲット電力密度と共に、かなりの量であるが低減された量の自己スパッタリングに対して、ある程度のアルゴンを供給し続けてもよい。アルゴン圧力が5ミリトルを超えていちぢるしく増加すると、アルゴンは、銅イオンからエネルギーを取り除き、それに伴って自己スパッタリングを減じる。ウェハーバイアスはイオン化された銅粒子をホールの深くまでひきつける。

【0130】

[00130] しかし、部分てきな中性流でより深いホール被覆を実現するには、ターゲット556とウェーハ558との間の距離を増加させること、すなわち、ロングスローモードで作動させることが好ましい。ロングスローにおいては、ターゲット・基板間の間隔は、通常、基板の口径の半分よりも大きい。使用時には、ウェーハ口径の90%を超えるが好ましいが、基板口径の100%及び140%を含む80%を超えるの間隔が適切であると考えられる。本実施形態の実施例において述べたスローは、200mmウェーハについて説明している。従来のスパッタリングにおけるロングスローは、スパッタリング堆積速度を低減するが、イオン化したスパッタ粒子には、そのような大きな減少という欠点はない。

【0131】

[00131] 従来の（アルゴンをベースとした）スパッタリングと持続自己スパッタリング（SSS）との間の制御された分配は、中性のスパッタ粒子とイオン化したスパッタ粒子との間の配分の制御を可能にする。このような制御は、特に、高アスペクト比のビアホールへの銅シード層のスパッタ堆積に有利である。スパッタ原子のイオン化の制御は、自己イオン化プラズマ（SIP）スパッタリングと呼ばれている。

【0132】

[00132] 本発明によって形成される構造の一実施形態は、図18の断面図に示すビアである。シード銅層650は、例えば、図15のロングスロースパッタリアクタを使用して、SIPを促進する条件下で、バリア層24を覆ってビアホール22内に堆積される。SIP銅層650は、例えば、50～300nm、より好ましくは、80～200nmの被覆厚に堆積される。SID銅シード層650は、好ましくは、上記ビアの側壁上に、20～20nm、より好ましくは、7～15nmの範囲の厚さを有する。狭いホールのため、上記側壁の厚さは、50nmを越えるべきではない。該膜の品質は、迅速なSIP堆積により与えられる冷たさが重要になるので、上記ペデスタルの温度を、0℃未満、好ましくは-40℃未満に下げることにより改善される。

【0133】

[00133] SIP銅シード層650は、良好な底部被覆性及び強められた側壁被覆性を有する。バリア層24を直接覆って堆積されたIMPまたはCVD銅よりもはるかに滑らかであることが実験的に分かっている。銅シード層650が堆積された後、上記ホールが、好ましくは、シード層650を電気メッキ電極のうちの1つとして用いた電気化学メッキにより、図1に示すように銅層118で充填される。しかし、SIP銅シード層650の滑らかな構造は、一般的なスパッタリングまたは物理気相堆積（PVD）によるリフローまたは銅の高温堆積を促進する。

【0134】

[00134] このようなシード層を、0.20μm幅のビアホール内に1.2μm厚の酸化膜で堆積するいくつかの実験をSIPで行った。ターゲット・基板間の間隔が290mm、チャンバ圧力が0.1ミリトル以下（SSSモードを表わす）、および601三角形形状マグネトロンによって上記ターゲットに印加されるDC電力が14kWの場合、上記酸化膜の上面に0.2μmの被覆厚の銅を形成する堆積は、上記ビア底部に18nm、上記ビア側壁に約12nm形成する。30秒以下の堆積時間が一般的である。上記ターゲット電力を18kWに増加させると、上記底部被覆性は、側壁の厚さの顕著な変化を伴うこと

10

20

30

40

50

なく、37 nmに増加する。高電力での高い底部被覆性は、高いイオン化量を示す。どちらの場合も、堆積した銅膜は、IMPまたはCVD銅よりもかなり滑らかであることが観察される。

【0135】

[00135] 0.2 μm /分のIMP堆積速度と比較して、SIP堆積は、比較的速く、0.5～1.0 μm /分である。速い堆積速度は、短い堆積期間をもたらし、またアルゴンイオンの加熱がない場合には、熱量をかなり低減する。低温SIP堆積は、非常に滑らかな銅シード層をもたらすと考えられる。

【0136】

[00136] 290 mmのスローは、10個の内側磁石及び25個の外側磁石を用いるFuの標準的な三角形マグネトロンと共に用いられた。イオン電流は、様々な条件下での、上記ターゲットの中心からの半径の関数として測定された。その結果を、図19のグラフにプロットする。曲線660は、16 kWのターゲット電力及び0 ミリトルのチャンバ圧力の場合に測定された。曲線662、664、664は、18 kWのターゲット電力で、それぞれ、0、0.2及び1 ミリトルのチャンバ圧力の場合に測定された。これらの電流は、従来のマグネトロン及びスパッタリアクタでの 10^{-9}cm^{-3} と比べて、 $10^{-11} \sim 10^{-12} \text{cm}^{-3}$ のイオン密度に相当する。ゼロ圧力条件も、銅イオン化量を測定するのに用いられた。空間的な依存性は、DCターゲット電力に対する直接的な依存性によって約10～20%変化するイオン化量とほぼ同等である。比較的低いイオン化量は、ロングスローを用いないSIPが、従来のPVDの好ましくない深い充填特性を有する可能性がある大量の中性銅流を有する可能性があることを示す。結果は、高電力での動作が、増加したイオン化による良好なステップカバレッジに対して好ましいことを示している。

【0137】

[00137] Fuのマグネトロンにおける内側磁石の数を6個に減らして上記テストを繰り返した。すなわち、第2のマグネトロンは、磁束の均一性が改善されており、それにより、均一なスパッタイオン流を上記ウェーハの方へ促進する。その結果を図20にプロットする。曲線668は、12 kWのターゲット電力及び0 ミリトルの圧力の場合のイオン電流を、曲線670は、18 kWの場合のイオン電流を示す。14 kW及び16 kWの場合の曲線は、中間である。すなわち、変更したマグネトロンは、上記ウェーハの全域でより均一なイオン電流を生成し、これも、好ましい高電力を有するターゲット電力に依存する。

【0138】

[00138] 10%～20%の比較的低いイオン化量は、90%～100%のIMPと比較すると、中性の銅のかかなりの流れを示す。ウェーハバイアスは、銅イオンを上記ホール内の深部に案内することができるが、ロングスローは、中性の銅に対して同様のことを行う。

【0139】

[00139] 一連のテストは、スパッタ粒子の配分時に、スローとチャンバ圧力を組み合わせた効果を判断するのに用いられた。ゼロチャンバ圧力では、140 mmのスローは、約45度の配分を形成し、190 mmのスローは、約35度の配分を形成し、290 mmのスローは、約25度の配分を形成する。上記圧力は、190 mmのスローの場合変化した。中央の配分は、0、0.5及び1 ミリトルの場合、ほぼ同じままである。しかし、低レベルの末端は、最も高い圧力の場合、いくつかの粒子の散乱を示す、ほとんど101にふくらむ。これらの結果は、許容できる結果は、5 ミリトル未満で得られるが、好ましい範囲は、2 ミリトル未満であり、より好ましい範囲は、1 ミリトル未満であり、最も好ましい範囲は、0.2 ミリトル以下であることを示す。また、予想されるように、上記配分は、ロングスローの場合に最良となる。

【0140】

[00140] 高アスペクト比のホール内に堆積されたSIP膜は、好ましい上方側壁被覆性を有し、オーバハングを生じにくい。一方、そのようなホール内に堆積されたIMP膜

は、良好な底部被覆性及び底部角部被覆性を有するが、側壁膜は、不十分な被覆性を有しやすく、また粗くなりやすい傾向がある。両タイプのスパッタリングの利点は、2工程銅シードスパッタ堆積を用いることによって組み合わせることができる。第1の工程においては、銅が、高密度プラズマを生成するIMPリアクタ内で、例えば、RF誘導電源を使用することにより堆積される。例示的な堆積条件は、20～60ミリの圧力、1～3kWのRFコイル電力、1～2kWのDCターゲット電力、および150Wのバイアス電力である。該第1の工程は、良好であるが粗い底部被覆性及び底部側壁被覆性をもたらす。第2の及び好ましくは次の工程において、より少ない銅イオン化を生じる上述したタイプのSIPリアクタ内で、銅が堆積される。例示的な堆積条件は、1トル圧力、18～24kWのDCターゲット電力及び500Wのバイアス電力である。該第2の工程は、良好で滑らかな上方側壁被覆性をもたらす、そのうえ、すでに堆積されたIMP層を平滑にする。該2つの工程の場合の被覆性膜厚さは、IMP堆積に対して50～100nm、SIP層に対して100～200nmの範囲であることが好ましい。被覆厚さは、30：70～70：30の比率であってもよい。別法として、上記SIP層は、上記IMP層の前に堆積することができる。上記銅シード層が上記2工程プロセスによってスパッタ堆積された後、上記ホールの残りの部分が、例えば、電気メッキによって充填される。

10

【0141】

[00141] 上記SIP側壁被覆性は、非常に狭い高アスペクト比のビアの場合に、問題となる可能性がある。0.13μm以下のビアのための技術が開発されている最中である。約100nmの被覆厚未満で、側壁被覆は、不連続となる可能性がある。図21の断面図に示すように、好ましくない構造が、SIP銅膜680を、ビア側壁30上にボイドまたは他の欠陥682を含む不連続な膜として形成する可能性がある。欠陥682は、銅の欠乏、あるいは、電気メッキカソードとして局所的に作用できない、銅からなる薄い層の可能性がある。それにもかかわらず、SIP銅膜680は欠陥682を除いて平坦であり、また良好に核を形成する。これらの挑戦的な構造においては、銅CVDシード層684を、SIP銅核形堆積680を覆って堆積することが有利である。該膜は、化学気相堆積によって堆積されるため、該膜は、概して等角であり、SIP銅膜680によって良好に核形成される。CVDシード層684は、ホール22の充填を完全にするために、欠陥682を修繕して、後の銅の電気メッキのために、連続的な、粗くないシード層をもたらす。該CVD層は、アプライドマテリアルズ社から入手できるCu x Zチャンバ等の銅堆積のためにデザインされたCVDチャンバ内で、上述した熱プロセスを用いて堆積することができる。

20

30

【0142】

[00142] 20nmのCVD銅をSIP銅核形成層及びIMP核形成層に交互に堆積する実験を行った。SIPとの組合せは、比較的滑らかなCVDシード層を形成し、また、IMPとの組合せは、不連続といってもよいかなり粗い面をCVD層内に形成した。

【0143】

[00143] CVD層684は、例えば、5～20nmの範囲の厚さに堆積することができる。上記ホールの残りの部分は、他の方法により銅で充填してもよい。SIP銅の核形成層の上面のCVD銅によって形成された非常に平坦なシード層は、形成されている狭いビア内での電気メッキまたは従来のPVD技術により、銅の効率的なホール充填を実現できる。特に電気メッキの場合、上記滑らかな銅核形成層及びシード層は、電気メッキプロセスを促進する連続的でほぼ均一な電極を形成する。

40

【0144】

[00144] 非常に高いアスペクト比を有するビアまたは他のホールの充填においては、電気メッキを省くこと、およびその代わりに、図22の断面図に示すように、十分に厚いCVD銅層688を、SIP銅核形成層680を覆って堆積して、該ビアを完全に充填することが有利である。CVD充填の利点は、別々の電気メッキ工程の必要性を排除することである。また、電気メッキは、0.13μm未満の幅のホールでは制御しにくい流体フローを要する。

50

【0145】

[00145] 本発明のこの実施形態の銅の二重層の利点は、銅の堆積を、比較的低い熱量で実行できるようにすることである。タンタルは、高い熱量で酸化膜からディウェッティングされる傾向がある。IMPは、深いホール充填に対して多くの同じ被覆利点を有するが、IMPは、堆積される層内でエネルギーを放散する、強力なアルゴンイオン流を生成するため、かなりの高温で作用する傾向がある。更に、IMPは、ある程度のアルゴンを、堆積された膜内に常に埋め込む。一方、比較的薄いSIP層は、比較的高速で堆積され、SIPプロセスは、アルゴンがないため、本質的に熱くない。また、SIP堆積速度は、どの熱い堆積も、半分くらい短いため、IMPの場合よりもかなり速い。

【0146】

[00146] 上記熱量は、SIPプラズマの冷点火によっても低減される。冷プラズマ点火及び処理シーケンスを、図23のフロー図に示す。ウェーハが、ロードロックバルブを介して上記スパッタリアクタ内に挿入された後、該ロードロックバルブが閉じられ、工程690において、ガス圧力が釣り合わせられる。アルゴンチャンバ圧力は、点火に用いられる圧力まで、通常、2ミリトルから約5〜10ミリトルの間に増加され、アルゴン裏面冷却ガスが、約5〜10トルの裏面圧力で上記ウェーハの裏面に供給される。工程692において、該アルゴンは、通常1〜5kWの範囲の低レベルのターゲット電力で点火される。プラズマが点火するのが検知された後、工程694において、上記チャンバ圧力が、上記ターゲット電力を低レベルに保持した状態で急速に、例えば3秒間で低減される。持続性自己スパッタリングを行う場合、チャンバへのアルゴンの供給は停止されるが、プラズマは、SSSモードで継続する。自己イオン化プラズマスパッタリングの場合には、上記アルゴンの供給は低減される。上記裏面冷却ガスは、供給し続けられる。該アルゴン圧力が、一旦、低減されると、工程696において、上記ターゲット電力が、SIP又はSSSスパッタリングのために選定された、200mmウェーハの場合の例えば10〜24kW以上の意図されたスパッタリングレベルまで急速に増加される。圧力を低減すると同時に、上記電力を増加させることにより、工程694、696を組み合わせることが可能である。工程698において、上記ターゲットは、選定した厚さの材料物質をスパッタ堆積するのに必要な時間に対して選定されたレベルで作動し続ける。この点火シーケンスは、点火のために意図されたスパッタリング電力レベルを用いることよりも冷たい。スパッタ堆積に所望される高い電力レベルで続けられる場合、より高いアルゴン圧力は、点火を容易にするが、スパッタされた中性粒子に有害な影響を及ぼす。低い点火電力において、非常に少ない銅が、低減された電力で低い堆積速度により堆積される。また、ペDESTAL冷却は、点火プロセスの間、上記ウェーハを冷たく保つ。

【0147】

[00147] 本発明の装置及びプロセスのほとんどの特徴は、ロングスローを伴わないスパッタリングにも適用することができる。

【0148】

[00148] 本発明は、現在、銅層間メタライゼーション、およびバリア及びライナー堆積に対して特に有用であるが、本発明の異なる態様は、他の材料物質のスパッタリング、および他の目的に対しても適用することができる。

【0149】

[00149] その全体を本願明細書に組み入れる、2002年7月25日に出願された同時係属出願第10/202,778号（代理人登録番号4044）に記載されているように、上記配線層は、SIP及びICPプラズマの両方を生成するチャンバ152（図4）と同様のスパッタチャンバ内で堆積することもできる。チャンバ152のようなチャンバ内で堆積する場合、ターゲット156は、例えば、銅等の堆積材料で形成される。また、ICPコイル151は、特に、配線金属の堆積の一部又は全てに対して、コイルスパッタリングが所望される場合には、同じ堆積材料で形成してもよい。

【0150】

[00150] 上述したように、図示のチャンバ152は、持続性自己スパッタリングを含

む銅の自己イオン化スパッタリングが可能である。この場合、プラズマが点火された後、アルゴンの供給は、SSSの場合、遮断してもよく、銅イオンは、2以上のイールドで銅ターゲットを再スパッタするのに充分高い密度を有する。別法として、低減された流速及びチャンバ圧力、あるいは、相当だが低減された量の自己スパッタリングと共に、純粋な持続性自己スパッタリングを持続するには不十分なターゲット電力密度で、ある程度のアルゴンを供給し続けてもよい。アルゴン圧力が、約5ミリトルを超えて増加すると、アルゴンは、銅イオンからエネルギーを除去し、自己スパッタリングを減少させる。上記ウェーハバイアスは、イオン化された銅粒子を上記ホール深部に引き付ける。

【0151】

[00151] しかし、一部の中性流で深いホール被覆を実現するには、ターゲット156とウェーハ158との間の距離を増加させること、すなわち、上述したようなロングスローモードで作動させることが好ましい。自己イオン化プラズマ(SIP)スパッタリング、誘導結合プラズマ(ICP)スパッタリング及び持続性自己スパッタリング(SSS)の間の制御された割り振りは、中性のスパッタ粒子とイオン化されたスパッタ粒子との間の配分の制御を可能にする。このような制御は、高アスペクト比のビアホール内への銅シード層のスパッタ堆積に対して特に有利である。スパッタ粒子のイオン化量の制御は、自己イオン化プラズマ(SIP)スパッタリングと誘導結合プラズマ(ICP)スパッタリングとを混合することによって実現される。

【0152】

[00152] 本発明による構造の一実施形態は、図24の断面図に示すビアである。銅シード層700は、例えば、図4に示すタイプのロングスロースパッタリアクタを用いて、SIP及びICPの組合せをおよび／またはSIP及びICPを交互に促進する条件下で、(上述したTaNバリア層及びTaライナー層等の1つ又はそれ以上のバリア層及びライナー層を含んでもよい)ライナー層704を覆って、ビアホール702内に堆積される。ここで、上記リアクタは、銅又は他のシード層堆積材料を含むターゲットを有する。SIP-ICP銅層700は、例えば、50~300nm、またはより好ましくは、80~200nmの被覆厚さに堆積してもよい。SIP-ICP銅シード層700は、好ましくは、上記ビアの側壁上で、2~20nm、より好ましくは、7~15nmの範囲の厚さを有する。狭いホールのため、上記側壁の厚さは、50nmを越えるべきではない。該膜の品質は、速いSIP堆積によって与えられる冷たさが重要になるため、上記ペデスタルの温度を、0℃未満、好ましくは、-40℃未満に低下させることによって改善される。

【0153】

[00153] SIP-ICP銅シード層700は、良好な底部被覆性及び向上した側壁被覆性を有すると考えられる。以下に詳細に説明するように、銅シード層700は、銅堆積材料を再配分して、上記ビアの内側底部角部における被覆を増加させると共に、該ビアの底部の中心部分は薄い被覆のままにするように、別の工程で、あるいは、初期の堆積中のいずれかにおいて再スパッタすることができる。銅シード層700が堆積され(必要に応じて再配分され)た後、上記ホールは、好ましくは、シード層700を電気メッキ電極のうちの1つとして用いた電気化学メッキにより、図14bの銅層347b'と同様の銅層で充填することができる。しかし、SIP-ICP銅シード層700の滑らかな構造も、一般的なスパッタリングまたは物理気相堆積(PVD)による銅のリフローまたは高温堆積を促進する。

【0154】

[00154] 一実施形態において、SIP-ICP層は、SIP及びICPの両堆積方法の選択された態様を1つの工程に組み合わせるプロセスで形成することができる。また、代替の実施形態によるリアクタ715は、図25に示すように、第2のコイル716及びコイル151を有する。コイル151と同様の方法で、コイル716の一方の端部は、フィードスルースタンドオフ182により暗黒部シールド164'を介して、増幅器及び整合ネットワーク717の出力に絶縁結合されている(図26)。整合ネットワーク717の入力は、RFジェネレータ718に結合されている。コイル716の他端は、DCバイ

アスをコイル 716 に対してかけるために、阻止コンデンサ 719 を介して、フィードス
ルースタンドオフ 182 によりシールド 164' を介してアースに絶縁結合されている。
DC バイアスは、独立した DC 電源 721 によって制御することができる。

【0155】

[00155] ICP 工程又は組み合わせた SIP-ICP 工程において、例えば、1~3
kW 及び 2 MHz の周波数で、RF エネルギーが、RF コイル 151 及び 716 のうちの
一方又は両方に印加される。コイル 151 及び 716 は、作動されると、RF エネルギーを上
記リアクタの内部に誘導結合する。上記コイルによって生成された RF エネルギーは、プラ
ズマを維持して、スパッタされた堆積材料をイオン化するために、アルゴン等の前駆体ガ
スをイオン化する。しかし、プラズマを、比較的高い圧力、例えば、一般的に高密度 IMP
P プロセスの場合に 20~60 mTorr に維持するよりは、該圧力は、好ましくは、かなり
低い圧力、例えば、2 mTorr に維持される。従って、リアクタ 150 内でのイオン化速度
は、一般的な高密度 IMP プロセスのイオン化速度よりもかなり低くなると考えられる。

【0156】

[00156] 更に、上述したように、図示したリアクタ 150 も、ロングスローモードで
自己イオン化スパッタリングが可能である。従って、堆積材料は、上記 RF コイルにより
維持される低圧プラズマの結果としてイオン化できるだけでなく、上記ターゲットの D
C マグネトロンスパッタリングにより自己生成されたプラズマによってもイオン化するこ
とができる。SIP 及び ICP イオン化プロセスの組合せは、十分なイオン化した材料に
良好な底部及び底部角部被覆性をもたらすと考えられる。しかし、RF コイル 151 及び
716 によって生成された低圧プラズマの低イオン化速度が、十分な中性スパッタ材料を
、上記リアクタのロングスロー能力によって上方側壁に堆積するように、イオン化しない
ままとすることを可能にするとも考えられる。すなわち、イオン化した堆積材料の SIP
及び ICP ソースの組合せは、良好な上方側壁被覆性、および良好な底部及び底部角部被
覆性を実現できると考えられる。別の実施形態においては、コイル 151 及び 716 への
電力は、1つの工程において、上方のコイル 726 への電力が、下方のコイル 151 に印
加される電力に対して除去または低減されるように、交互に印加される。この工程にお
いて、誘導結合したプラズマの中心は、上記ターゲットから離れて上記基板の近くにずれる
。このような構成は、該ターゲットの近くで生成された自己イオン化されたプラズマと、
上記コイルのうちの1つ又はそれ以上によって維持される誘導結合したプラズマとの間の
相互作用を低減できる。従って、中性のスパッタされた材料物質の高い割合を維持するこ
とができる。

【0157】

[00157] 第2の工程において、上記電力は、下方のコイル 151 への電力が、上方コ
イル 716 へ印加される電力に対して除去又は低減されるように、逆にしてもよい。この
工程において、上記誘導結合されたプラズマの中心は、上記基板から離れて上記ターゲ
ットの方へずれる。このような構成は、イオン化したスパッタ材料の割合を増加させる。

【0158】

[00158] 他の実施形態においては、上記層は、本願明細書中で SIP 工程と呼ぶ1つ
の工程において、RF 電力が、どちらかのコイルに少しだけ印加される、あるいはまったく
印加されない、2つ又はそれ以上の工程で形成してもよい。また、上記圧力は、比較的
低いレベル、好ましくは、5 mTorr 未満、より好ましくは、例えば、1 mTorr などの 2 m
Torr 未満に維持される。更に、上記ターゲットに印加される電力は、例えば、18~24
kW DC の範囲のように比較的高くなる。例えば、500 W の電力レベルで、上記基板支
持部にバイアスをかけてもよい。これらの条件下では、上記堆積材料のイオン化は、主に
、自己イオン化プラズマ (SIP) の結果として行われると考えられる。上記リアクタの
ロングスローモード構成と組み合わせると、良好な側壁被覆性を、低オーバーハングで実現
できると考えられる。この最初の工程で堆積された層の一部は、例えば、1000~20
00 Å の範囲であってもよい。

【0159】

[00159] 本願明細書中で I C P 工程と呼び、かつ好ましくは同じチャンバ内における第 2 の工程において、R F 電力は、コイル 1 5 1 及び 7 1 6 のうちの一方又は両方に印加してもよい。また、一つの実施形態において、上記圧力は、高密度プラズマを維持できるように、実質的に上昇させてもよい。例えば、該圧力は、2 0 ~ 6 0 m トルに、上記コイルへの上記 R F 電力は、1 ~ 3 k W の範囲に上昇させてもよく、また、上記ターゲットへの D C 電力は、1 ~ 2 k W に、上記基板支持部へのバイアスは、1 5 0 W に低減してもよい。これらの条件下では、上記堆積材料のイオン化は、高密度 I C P の結果として行われると考えられる。その結果、良好な底部及び底部角部被覆性を、上記第 2 の工程において実現できる。上述したように、電力は、上記両方のコイルに同時にまたは交互に印加することができる。

10

【0160】

[00160] 上記銅シード層が、S I P 及び I C P を組み合わせたプロセスによってスパッタ堆積された後、上記ホールの残りの部分は、同じ又は別のプロセスによって充填することができる。例えば、該ホールの残りの部分は、電気メッキ又は C V D によって充填することができる。

【0161】

[00161] 上記 S I P 工程及び I C P 工程の順序は、逆にしてもよいこと、および該 S I P 工程において、一定の R F 電力を 1 つ又はそれ以上のコイルに印加してもよいこと、および一定の自己イオン化は、該 I C P 工程に含まれてもよいことを認識すべきである。また、持続性自己スパッタリング (S S S) は、1 つ又はそれ以上の工程に含まれてもよい。すなわち、圧力、電力及びターゲット・ウェーハ間の距離を含むプロセスパラメータは、所望の結果を実現するために、特定の用途により変化してもよい。

20

【0162】

[00162] 上述したように、コイル 1 5 1 及び 5 1 6 は、独立して、または一緒に作動させることができる。一実施形態においては、上記コイルは、一緒に作動させることができ、この場合、一方のコイルに印加される R F 信号は、ヘリコン波を生成するように、他方のコイルに印加される別の R F 信号に対して位相がずれている。例えば、該 R F 信号は、米国特許第 6, 2 6 4, 8 1 2 号明細書に記載されているように、1 波長の何分の一か位相がずれていてもよい。

【0163】

[00163] 本発明の一実施形態は、図 2 7 の平面図に概略的に示す E n d u r a 5 5 0 0 プラットフォーム等のインテグレートッドマルチチャンバツールに対して好ましくは実施される統合プロセスを含む。該プラットホームは、T e p m a n 等により、米国特許第 5, 1 8 6, 7 1 8 号明細書に機能的に記載されている。

30

【0164】

[00164] ビアホールまたは絶縁層内の他の構造によってすでにエッチングされているウェーハは、各ロードロックチャンバに装填されたウェーハカセットから、ウェーハをシステムに出し入れするように構成された、2 つの独立して作動されるロードロックチャンバ 7 3 2、7 3 4 を介して、該システムに対して取り入れ及び取り出しされる。ウェーハカセットが、ロードロックチャンバ 7 3 2、7 3 4 内に装填された後、上記チャンバは、適度に低圧に、例えば、 10^{-3} ~ 10^{-4} トルに加圧され、該ロードロックチャンバと第 1 のウェーハ移送チャンバ 7 3 6 との間のスリットバルブが開かれる。第 1 のウェーハ移送チャンバ 7 3 6 の圧力は、その後、該低圧に維持される。

40

【0165】

[00165] 第 1 の移送チャンバ 7 3 6 内に配設された第 1 のロボット 7 3 8 は、上記ウェーハを、上記カセットから、2 つの脱気／指向チャンバ 7 4 0、7 4 2 のうちの一方に移送した後、水素またはアルゴンプラズマが、該ウェーハの表面をクリーニングする第 1 のプラズマブリクレーンチャンバ 7 4 4 へ移送する。C V D バリア層が堆積されている場合、第 1 のロボット 7 3 8 は、上記ウェーハを C V D バリアチャンバ 7 4 6 へ渡す。C V D バリア層が堆積された後、ロボット 7 3 8 は、該ウェーハを通路チャンバ 7 4 8 内に移

50

し、そこから第2のロボット750が、該ウェーハを第2の移送チャンバ752へ移送する。スリットバルブは、処理レベルと圧力レベルを分離するように、チャンバ744、746、748を第1の移送チャンバ736と分離する。

【0166】

[00166] 第2のロボット750は、周囲に配置された反応チャンバへ及び該チャンバからウェーハを選択的に移送する。第1のIMPスパッタチャンバ754は、銅の堆積専用のものである。上述したチャンバ410と同様のSIPスパッタチャンバ756は、SIP銅シード層または核形成層の堆積専用のものである。このチャンバは、底部及び側壁被覆のためのSIPと、1つの工程または、上述したようなマルチステッププロセスのいずれかで底部角部被覆性を改善するための再スパッタリングとを兼ねる。また、例えば、Ta/TaNからなるバリア層の少なくとも一部は、SIPスパッタリング及びコイルスパッタリング及びICP再スパッタリングによって堆積されており、そのため、SIP-ICPスパッタチャンバ760は、可能な限り反応性窒素プラズマ内での耐熱性金属のスパッタリング専用になっている。同様のSIP-ICPチャンバ760は、耐熱性金属及びその窒化物を堆積するのに使用することができる。CVDチャンバ758は、銅核形成、シードまたはライナー層の堆積のための、あるいは、上記ホールの充填を完了するための、またはその両方のための専用のものである。チャンバ754、756、758、760の各々は、スリットバルブにより、第2の移送チャンバ752に対して選択的に開かれる。異なる構成を用いることも可能である。例えば、IMPチャンバ754は、特に、上記ホールの充填を完了するためにCVDを用いる場合には、第2のCVD銅チャンバと置き換えてもよい。

【0167】

[00167] 低圧処理の後、第2のロボット750は、前の処理が熱かった場合には冷却チャンバであってもよく、あるいは、メタライゼーションのアニーリングが必要な場合には、瞬時熱プロセス(RTP)であってもよい、中間部に配置された熱チャンバ762へ上記ウェーハを移送する。熱処理後、第1のロボット738は、該ウェーハを取り出して、該ウェーハをロードロックチャンバ732、734のうちの一方においてカセットへ戻す。それを用いて本発明を統合プロセスの工程により実施することができる他の構成も、当然可能である。

【0168】

[00168] 上記システム全体は、上記チャンバの各々と関連付けられたサブコントローラと接続される制御バス772を通じて作動する、コンピュータをベースとしたコントローラ770によって制御される。プロセス方法は、コントローラ770に挿入可能な、または通信リンク776と通じる、磁気フロッピー（登録商標）ディスクまたはCD-ROM等の読み取り可能なメディア774によってコントローラ770に読み込まれる。

【0169】

[00169] 本発明の装置及びプロセスのほとんどの特徴は、ロングスローを伴わないスパッタリングにも適用することができる。本発明は、現在、タンタル及びタンタルナイトライドライナー層の堆積及び銅層間メタライゼーションに対して特に有用であるが、本発明の異なる態様を、他の材料物質のスパッタリングに、および他の目的のために適用することもできる。2001年8月30日に出願された仮出願第60/316,137号は、スパッタリング及び再スパッタリング技術に注力しており、該出願を本願明細書に組み入れる。

【0170】

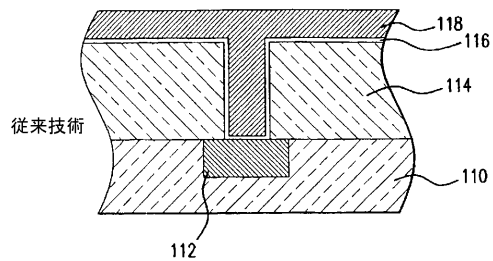
[00170] 本発明の変更が、その様々な態様において、当業者には明らかであり、いくつかは研究後に明らかになり、他のものは、普通の機械的かつプロセスのデザインであることは、当然理解されるであろう。他の実施形態も可能であり、それらの特定のデザインは、特定の用途に依存する。従って、本発明の範囲は、本願明細書に記載した特定の実施形態によって限定すべきではなく、添付クレーム及びその均等物のみによって定義すべきである。

【符号の説明】

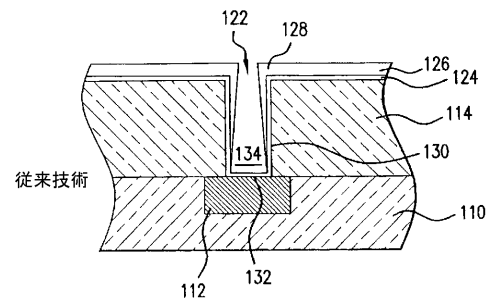
【0171】

410…プラズマスパッタリングリアクタ、412…真空チャンバ、414…側壁、416…スパッタリングターゲット、418…電気的アイソレータ、422…ペDESTAL電極、424…ウェーハ、426…ガス供給部、428…マスフローコントローラ、434…DC電源、436…マグネトロン、438…中心軸、440…内側磁極、442…外側磁極、444…磁気ヨーク、446…回転アーム、448…回転軸、450…モータ、454…RF電源、460…補助アレイ、462…補助磁石、 B_{A1} 、 B_{A2} …補助磁界、 B_M …半トロイダル磁界。

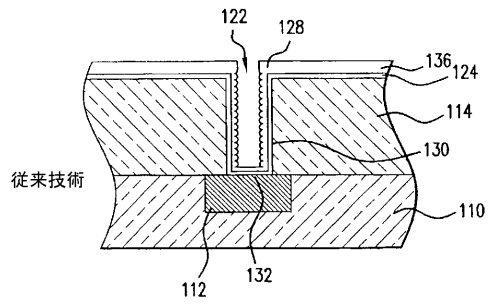
【図1】



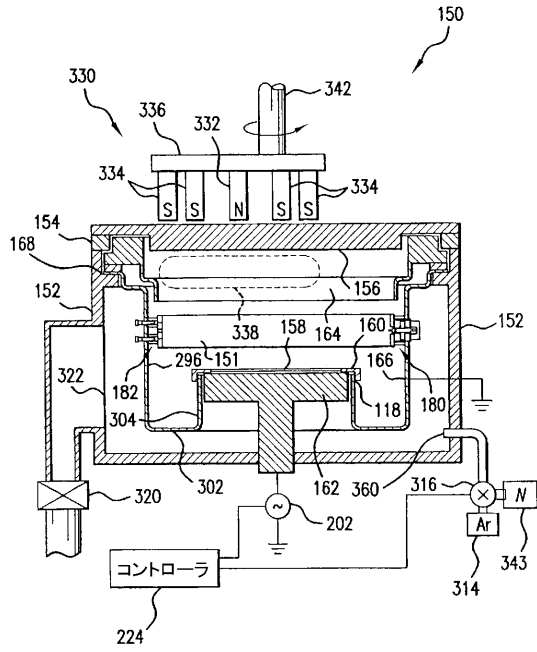
【図2】



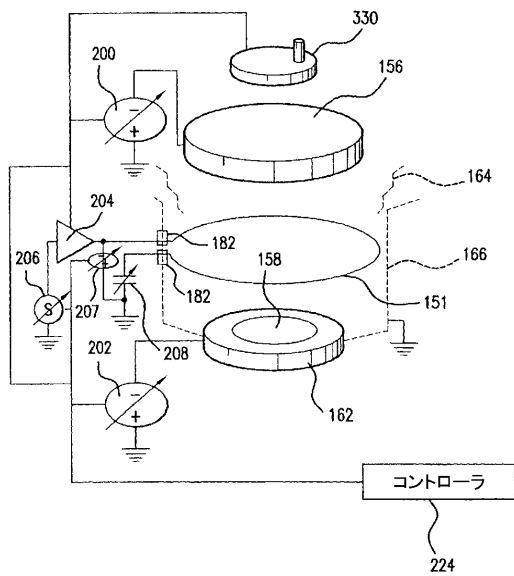
【図 3】



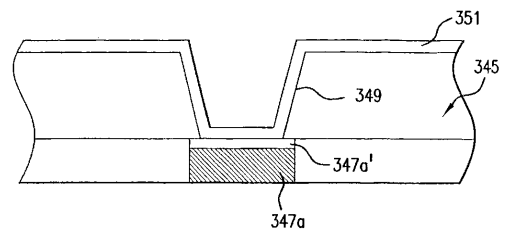
【図 4】



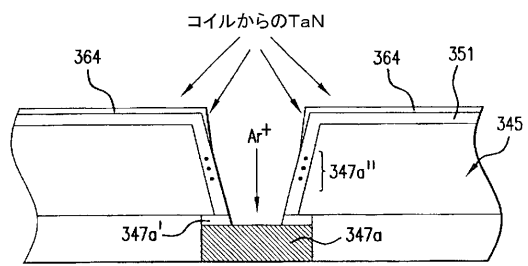
【図 5】



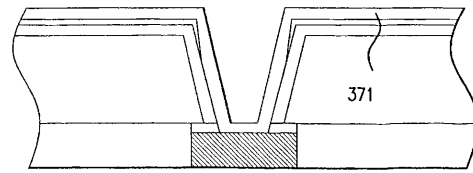
【図 6】



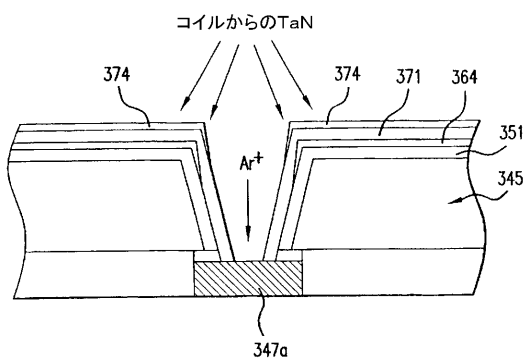
【図 7】



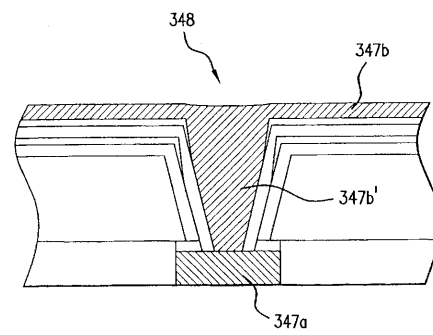
【図 8】



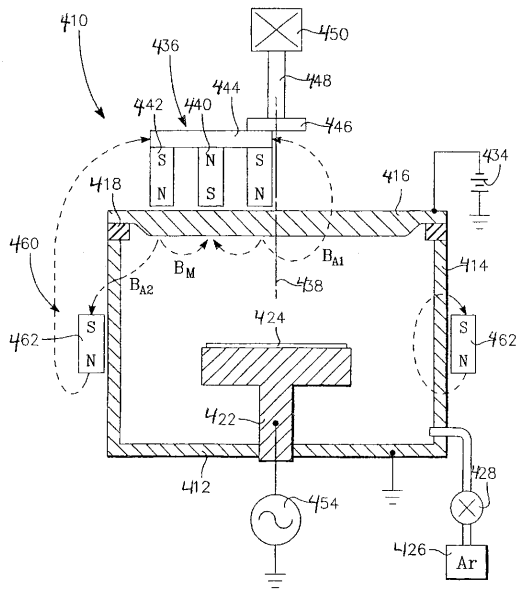
【図 9 A】



【図 9 B】

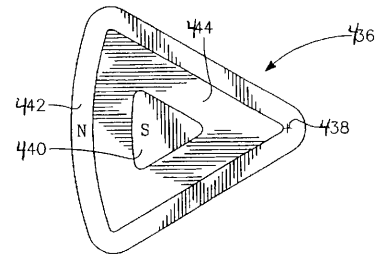


【図 10】

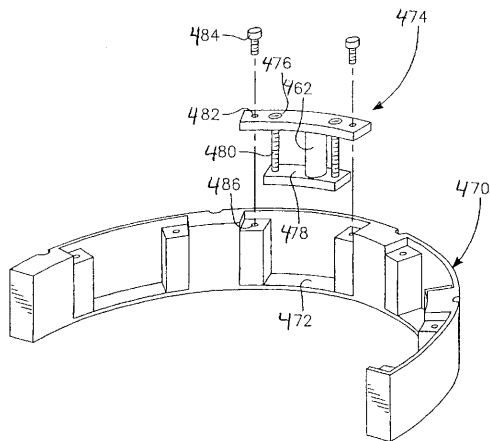


【図 11】

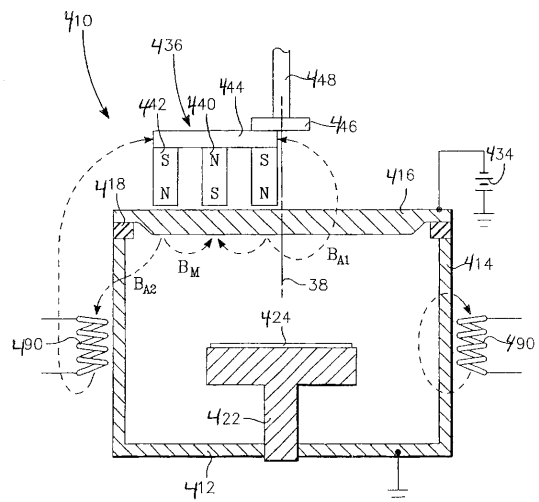
(従来技術)



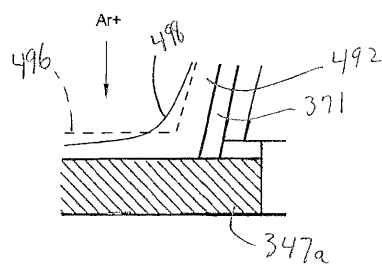
【図 12】



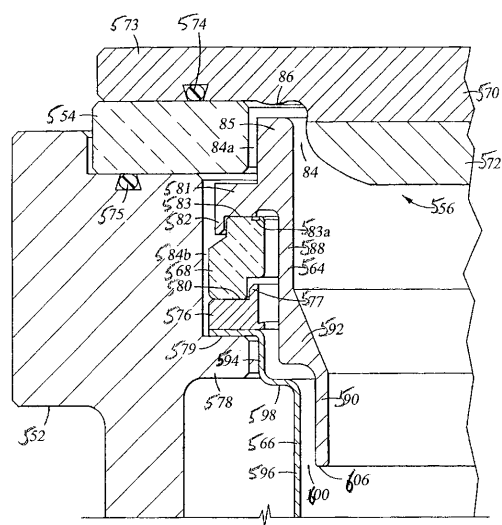
【図 13】



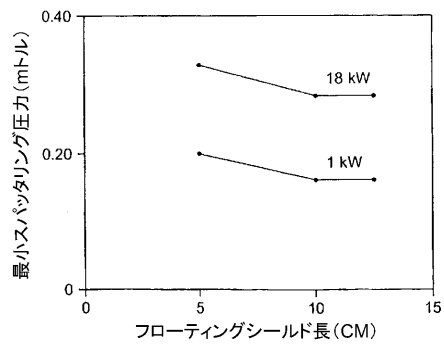
【図 14 B】



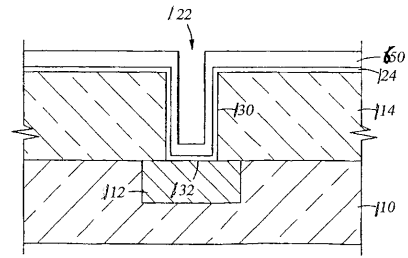
【図 16】



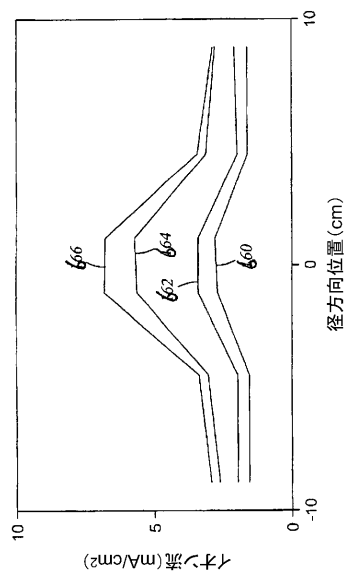
【図 17】



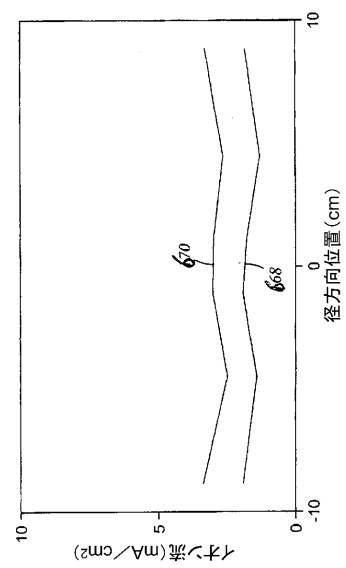
【図 18】



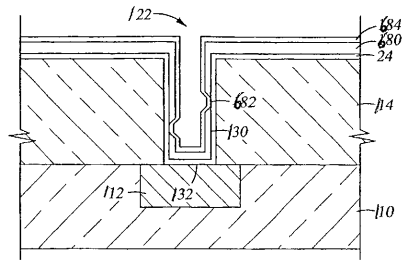
【図 19】



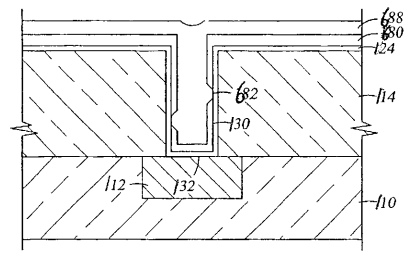
【図 20】



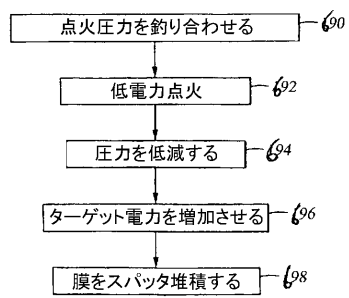
【図 2 1】



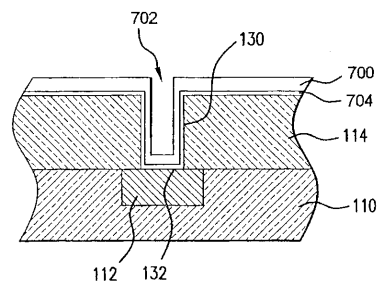
【図 2 2】



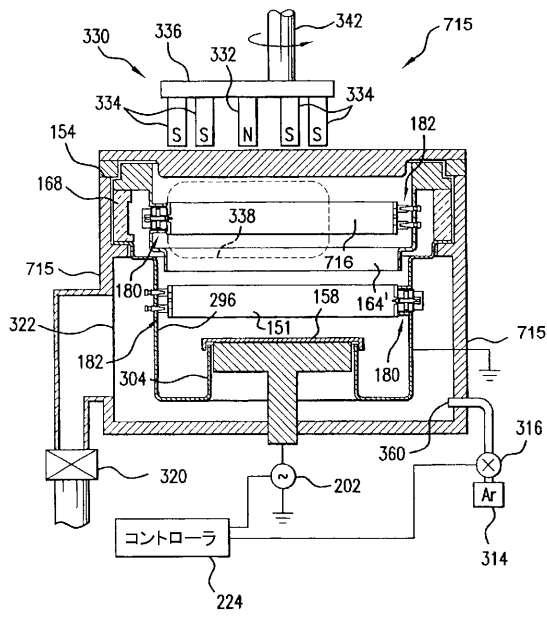
【図 2 3】



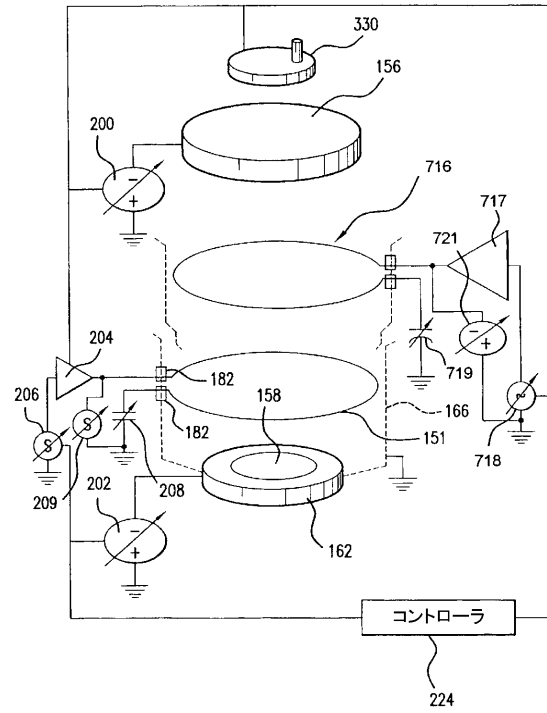
【図 2 4】



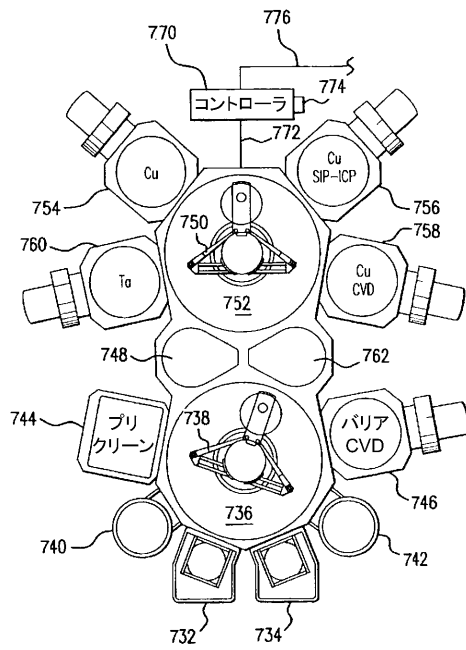
【図 25】



【図 26】



【図 27】



【手続補正書】

【提出日】平成27年7月23日(2015.7.23)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも 3 : 1 のアスペクト比を有し、かつ基板の絶縁層内に形成されたホール内に配線を形成する方法であって、

ターゲットの背後に配置されたマグネトロンを用いて、中心軸の周りに配置された側壁を有する真空チャンバ内で、前記ターゲットをスパッタリングすることと、

前記中心軸に沿って前記ターゲットと対向するペデスタルによって支持された基板の方へ、イオンを向けることと、
を含み、

前記ターゲットは、前記基板の口径の 50 % を超えるスロー距離だけ、前記ペデスタルから離れており、

前記イオンを基板の方へ向けることは、各々が前記中心軸に平行な第 1 の磁極を有し、前記真空チャンバの側壁の外側で前記基板と前記ターゲットの間の処理空間の周りに少なくとも部分的に配置された並列の補助磁石の環状アレイを用いる、方法。

【請求項 2】

前記基板に第 1 のレベルのバイアスをかけて、前記ホール内にターゲット材をスパッタ堆積させることと、

前記第 1 のレベルよりも高い第 2 のレベルのバイアスを前記基板にかけて、前記ホール内に堆積した前記ターゲット材の底部を再スパッタすることと
を更に含み、

前記第 1 のレベルのバイアスは、600 W 未満であり、

前記第 2 のレベルのバイアスは、600 W を超える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記ターゲットに、第 1 のレベルで電力を印加して、前記ホール内にターゲット材をスパッタ堆積させることと、

前記第 1 のレベルよりも低い第 2 のレベルで前記ターゲットに電力を印加して、前記ホール内に堆積した前記ターゲット材の底部を再スパッタすることと
を更に含み、

前記第 1 のターゲット電力レベルは、30000 W を超え、

前記第 2 のターゲット電力レベルは、30000 W 未満である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記スロー距離は、前記基板の口径の 100 % を超える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記スロー距離は、前記基板の口径の 140 % を超える、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記チャンバは、前記軸周りに概して対称的で、前記チャンバ内に配置された第 1 の導電性シールドを有し、

前記補助磁石は、前記軸周りに概して対称的に配置され前記処理空間の半分を通して前記ターゲットに向かう面内には伸びていない、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記スパッタリングの少なくとも第 1 の部分の間に、前記チャンバ内の圧力を、2 ミリトル以下の圧力に制御することを更に含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

前記イオンを含む自己イオン化プラズマを生成して、マグネトロンを用いて前記ターゲットからスパッタされた堆積材料をイオン化することと、

前記基板を第 1 のレベルでバイアスをかけて、少なくとも 3 : 1 の縦横アスペクト比を有する前記基板内のホール内に、イオン化した堆積材料を引き付け、前記ホールの各々に、堆積材料からなる層を形成することであって、前記層が、底部、側壁部、および前記底部と前記側壁部との間の角部とを有することと、

第 2 の工程において、前記第 1 のレベルよりも高い第 2 のレベルで前記基板にバイアスをかけて、イオンを引き付け、前記層の底部から、少なくとも前記角部へ堆積材料を再スパッタすることと

を更に備え、

前記基板に第 1 のレベルでバイアスをかけることは、前記ペDESTAL に 600 W 以下のレベルで電力を印加することを含み、

前記基板に第 2 のレベルでバイアスをかけることは、前記ペDESTAL に、600 W 以上のレベルで電力を印加することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記イオンを含む自己イオン化プラズマを生成して、マグネトロンを用いて前記ターゲットからスパッタされた堆積材料をイオン化することと、

前記基板にバイアスをかけると共に、前記ターゲットを第 1 のレベルでスパッタリングして、少なくとも 3 : 1 の縦横アスペクト比を有する前記基板内のホール内に、イオン化した堆積材料を引き付け、各ホール内に、堆積材料からなる層を形成することであって、前記層が、底部、側壁部、および前記底部と前記側壁部との間の角部とを有することと、

第 2 の工程において、前記基板にバイアスをかけると共に、前記第 1 のレベルよりも低い第 2 のレベルで前記ターゲットをスパッタリングしてイオンを引き付け、前記層の底部から少なくとも前記角部へ堆積材料を再スパッタすることと

を更に備え、

前記ターゲットを前記第 1 のレベルでスパッタリングすることは、30 kW を超えるレベルで前記ターゲットに電力を印加することを含み、

前記ターゲットを前記第 2 のレベルでスパッタリングすることは、30 kW 未満のレベルで前記ターゲットに電力を印加することを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 10】

前記ターゲット材は、銅を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 11】

前記中心軸周りにマグネトロンを回転させることを更に含み、

前記マグネトロンは、前記中心軸に沿って第 2 の磁極を有する内側極と、前記内側極を囲み、かつ前記第 1 の磁極と対向して前記中心軸に沿って、第 3 の磁極を有する外側極とを含み、

前記第 1 の磁極は、前記第 3 の磁極と位置合わせされており、

前記外側極は、前記内側極の少なくとも 150 % の一体化した磁気密度を有し、

前記内側極は、前記中心軸から完全にずれている、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 12】

前記補助磁石は、永久磁石又は電磁石を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 13】

前記ターゲットの裏周りでマグネトロンを回転させることを更に含み、

前記マグネトロンが、前記ターゲットの領域の 1 / 4 以下の領域を有し、かつ反対の磁極性の外側磁極によって囲まれた一方の磁極の内側磁極を含み、

前記外側磁極の磁束は、前記ターゲットの近くに自己イオン化したプラズマを生成するために、前記内側極の磁束よりも少なくとも 50 % 大きい、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 14】

中心軸周りに配設された側壁を有する真空チャンバと、

前記真空チャンバ内で基板を支持するペDESTALと、

前記ペDESTALと対向して、前記中心軸に沿って配置されたスパッタリングターゲットであって、前記ペDESTALと、前記ターゲットと、前記側壁との間の領域に処理空間が形成されており、前記ターゲットが、前記基板の口径の50%を超えるスロー距離だけ前記ペDESTALから離れている、スパッタリングターゲットと、

前記ターゲットに対して前記処理空間とは反対側に配置されたマグネトロンと、

各々が前記中心軸に平行な第1の磁極性を有する、前記真空チャンバの側壁の外側で前記処理空間の周囲に少なくとも部分的に配置された並列の補助磁石の環状アレイと、を備える、プラズマスパッタリアクタ。

【請求項15】

前記スロー距離は、前記基板の口径の100%を超える、請求項14に記載のプラズマスパッタリアクタ。

【請求項16】

前記スロー距離は、前記基板の口径の140%を超える、請求項14に記載のプラズマスパッタリアクタ。

【請求項17】

前記軸周りに概して対称的であり、かつ前記チャンバ内に配設された第1の導電性シールドを更に備え、

前記補助磁石は、前記軸周りに概して対称的に配設され前記処理空間の半分を通して前記ターゲットに向かう面内には伸びていない、請求項14に記載のプラズマスパッタリアクタ。

【請求項18】

前記チャンバに結合された圧力ポンプと、

前記ターゲットをスパッタリングすることの少なくとも第1の部分の間に、前記圧力ポンプを制御して、前記チャンバ内の圧力を2ミリトル以下の圧力に制御するように適合されたコントローラと

を更に備える、請求項14に記載のプラズマスパッタリアクタ。

【請求項19】

前記マグネトロンは、前記ターゲットの近くに配置され、かつ前記ターゲットからスパッタされた堆積材料をイオン化するように配置されたイオンからなるプラズマを生成するように適合され、

前記ペDESTALに結合されたバイアス源と、

第1の工程において、前記基板に第1のレベルでバイアスをかけて、イオン化した堆積材料を前記基板内のホール内に引き付け、前記ホールの各々の中に堆積材料からなる層を形成するように前記バイアス源を制御するように適合されており、前記層が、底部と、側壁部と、前記底部と前記側壁部との間の角部とを有し、第2の工程において、前記第1のレベルよりも高い第2のレベルで前記基板にバイアスをかけてイオンを引き付け、前記層の底部から少なくとも前記角部へ堆積材料を再スパッタするように前記バイアス源を制御するように適合されたコントローラと

を更に備え、

前記第1のレベルのバイアスは、600W未満であり、

前記第2のレベルのバイアスは、600Wを超える、請求項14に記載のプラズマスパッタリアクタ。

【請求項20】

前記マグネトロンは、前記ターゲットの近くに配置され、かつ前記ターゲットからスパッタされた堆積材料をイオン化するように配置されたイオンからなるプラズマを生成するように適合され、

前記ターゲットに電力を印加するように適合された電力源と、

前記ペDESTALに結合されたバイアス源と、前記基板にバイアスをかけると共に、前記ターゲットを第1のレベルでスパッタリングして、イオン化した堆積材料を、前記基板内

のホール内に引き付け、前記ホールの各々の中に、堆積材料からなる層を形成するように、ターゲット電力源及びバイアス源を制御するように適合されており、前記層が、底部と、側壁部と、前記底部と前記側壁部との間の角部とを有し、また、第2の工程において、前記基板にバイアスをかけると共に、前記第1のレベルよりも低い第2のレベルで前記ターゲットをスパッタリングしてイオンを引き付け、前記層の底部から少なくとも前記角部へ堆積材料を再スパッタするように前記ターゲット電力源及びバイアス源を制御するように適合されたコントローラと

を更に備え、

前記電力源は、前記ターゲットが、前記第1のレベルでスパッタリングされているときに、1 kWを超えるレベルで前記ターゲットに電力を印加し、

前記電力源は、前記ターゲットが前記第2のレベルでスパッタリングされているときに、1 kW未満のレベルで前記ターゲットに電力を印加する、請求項14に記載のプラズマスパッタリアクタ。

【請求項21】

前記ターゲット材は、銅を含む、請求項14に記載のプラズマスパッタリアクタ。

【請求項22】

前記マグネトロンは、前記中心軸周りに回転されるとともに、前記中心軸に沿って第2の磁極を有する内側極と、前記内側極を囲み、かつ前記第1の磁極性と対向して、前記中心軸に沿って第3の磁極性を有する外側極とを含み、

前記第1の極性は、前記第3の磁極性と位置合わせされており、

前記外側極は、前記内側極の少なくとも150%の一体化した磁気密度を有し、

前記内側極は、前記中心軸から完全にずれている、請求項14に記載のプラズマスパッタリアクタ。

【請求項23】

前記補助磁石は、永久磁石又は電磁石を含む、請求項14に記載のプラズマスパッタリアクタ。

フロントページの続き

- (74)代理人 100086771
弁理士 西島 孝喜
- (74)代理人 100109070
弁理士 須田 洋之
- (74)代理人 100109335
弁理士 上杉 浩
- (74)代理人 100120525
弁理士 近藤 直樹
- (74)代理人 100141553
弁理士 鈴木 信彦
- (72)発明者 ディン, ペイジュン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サラトガ, シーガル ウェー 30397
- (72)発明者 タオ, ロン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, アーリントン レーン 1131
- (72)発明者 シュー, ゼン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, フォスター シティ, ハドソン ベイ ストリート 279
- (72)発明者 ルーベン, ダニエル, シー.
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, マウント ホーリー ドライブ 6614
- (72)発明者 レンガラジャン, サラジ
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, ミラマール アベニュー 4819
- (72)発明者 ミラー, マイケル, エー.
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, マウンテン ヴュー, 2番, ウィリアムズ ウェー 860
- (72)発明者 サンダーラジャン, アルヴァンド
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サンタ クララ, 408番, モンロー ストリート 2200
- (72)発明者 タン, シャンミン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, アpartment 10, ペーターセン アヴェニュー 1600
- (72)発明者 フォースター, ジョン, シー.
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン フランシスコ, 205番, 第10 ストリート 465
- (72)発明者 フ, ジャンミン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, ポロ アルト, クララ ドライブ 978
- (72)発明者 モゼリー, ロデリック, シー.
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, プリーザントン, ディアヴィラ アヴェニュー 4337
- (72)発明者 チェン, フセン
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サニーヴェール, ダートシャー ウェー 784
- (72)発明者 ゴパルラジャ, プラバラム
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ノゼ, ティー ローズ サークル 1305

Fターム(参考) 4K029 AA29 BA02 BA08 BA58 BB02 BC03 BD02 CA05 CA13 DC40
DC41 DC43 DC45 EA03 EA09 GA02 KA09
4M104 BB04 BB17 BB18 BB30 BB32 BB33 DD37 DD38 DD39 DD40
DD43 DD52 EE06 EE09 EE15 FF17 FF18 FF21 HH13 HH14
5F033 HH11 HH18 HH19 HH21 HH32 HH33 HH34 JJ11 JJ18 JJ19

JJ21	JJ32	JJ33	JJ34	KK04	KK11	MM02	MM13	NN06	NN07
PP06	PP17	PP22	PP23	PP27	QQ09	QQ12	QQ48	QQ94	RR04
RR11	SS04	SS15	WW05	WW07	XX02	XX04			