

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4454246号
(P4454246)

(45) 発行日 平成22年4月21日 (2010. 4. 21)

(24) 登録日 平成22年2月12日 (2010. 2. 12)

(51) Int. Cl.	F I
B 8 1 B 3/00 (2006. 01)	B 8 1 B 3/00
B 8 1 C 1/00 (2006. 01)	B 8 1 C 1/00

請求項の数 4 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2003-104737 (P2003-104737)	(73) 特許権者	596170170
(22) 出願日	平成15年4月9日 (2003. 4. 9)		ゼロックス コーポレーション
(65) 公開番号	特開2003-311696 (P2003-311696A)		XEROX CORPORATION
(43) 公開日	平成15年11月5日 (2003. 11. 5)		アメリカ合衆国、コネチカット州 068
審査請求日	平成18年4月6日 (2006. 4. 6)		56、ノーウォーク、ビーオーボックス
(31) 優先権主張番号	121644		4505、グローバー・アヴェニュー 4
(32) 優先日	平成14年4月12日 (2002. 4. 12)		5
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100079049
			弁理士 中島 淳
		(74) 代理人	100084995
			弁理士 加藤 和詳
		(72) 発明者	デイビッド ケー. フォーク
			アメリカ合衆国 94024 カリフォル
			ニア州 ロス アルトス ファーンドン
			アベニュー 1993
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ばね構造、ばね構造の製造方法、統合型処理ツール、及びウェハ上にばね構造を製造する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 平面を定める上面を有する基体と、

前記基体上に付着させられた設計された応力を有する薄膜から形成されたばねフィンガーであって、前記基体に取り付けられ且つ前記第 1 平面と平行な第 2 平面を定める固定部と、該固定部から延出し且つ前記第 2 平面から逸れて前記基体から離れる方向に曲がった湾曲した自由部とを有すると共に、前記ばねフィンガーの前記固定部を形成する前記設計された応力を有する薄膜が等方性内部応力を有する少なくとも 1 つの層を含む、前記ばねフィンガーと、

を含む、ばね構造。

【請求項 2】

平面を定める上面を有する基体と、

前記基体上に付着させられた設計された応力を有する薄膜から形成されたばねフィンガーであって、前記基体に取り付けられ且つ前記第 1 平面と平行な第 2 平面を定める固定部と、該固定部から延出し且つ前記第 2 平面から逸れて前記基体から離れる方向に曲がった湾曲した自由部とを有すると共に、圧縮飽和点及び引張飽和点を定めるばね材料から形成された前記ばねフィンガーと、

を含むばね構造であって、

前記ばねフィンガーの前記固定部が、前記圧縮飽和点及び前記引張飽和点の一方の内部応力を有する少なくとも 1 つの層を含む、

10

20

ばね構造。

【請求項 3】

上面を有する基体と、

該基体上に付着された設計された応力を有する薄膜から形成された複数のばねフィンガーであって、前記複数のばねフィンガーの各々は前記基体に取り付けられた固定部を有し、前記複数のばねフィンガーの各々は前記固定部から延出した湾曲した自由部を更に有する、前記複数のばねフィンガーと、を含むばね構造のアレイであって、

前記複数のばねフィンガーの各々の前記固定部を形成する前記設計された応力を有する薄膜は、等方性内部応力を有する少なくとも 1 つの層を含む、

前記ばね構造のアレイ。

10

【請求項 4】

上面を有する基体と、

該基体上に付着された設計された応力を有する薄膜から形成された複数のばねフィンガーであって、前記複数のばねフィンガーの各々は前記基体に取り付けられた固定部を有し、前記複数のばねフィンガーの各々は前記固定部から延出した湾曲した自由部を更に有する、前記複数のばねフィンガーと、を含むばね構造のアレイであって、

前記複数のばねフィンガーの各々は圧縮飽和点及び引張飽和点を定めるばね材料から形成されており、

前記複数のばねフィンガーの各々の前記固定部は前記圧縮飽和点及び引張飽和点の内の 1 つである等方性内部応力を有する少なくとも 1 つの層を含む、

前記ばね構造のアレイ。

20

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、一般的に、フォトリソグラフィでパターンニングされたばね構造の製造方法に関し、詳細には、ばね薄膜の付着（デポジション）中に応力の異方性を制御する方法と、これらの方法によって形成されるばね構造とに関する。

【0002】

【従来の技術】

図 1（A）及び図 1（B）は、ばね材料膜中の異方性の応力偏差によって生じる螺旋状のねじれを示す、ばね材料応力ゲージ 10 を示している。応力ゲージ 10 は、複数のばね 11 - 1 乃至 11 - 8 を有する。

30

【0003】

従来のばね材料膜からエッチングされた応力ゲージ 10 は、主成分が 2 つの直交する方向（ p_1 及び p_2 で示す）に沿っている二軸応力を受ける。応力の異方性の影響は、応力ゲージ 10 のばね 11 - 1 等といった、解放されたばねのスキュー S を測定することにより定量化される。スキュー S は、ばね 11 - 1 の基部 11 - B の解放されていない材料に対する、ばね 11 - 1 の最上部 11 - T（図 1（B）参照）の変位として定義される。スキュー S は、ばね 11 - 1 が螺旋状に曲がった結果であり、これは、（1）ばね 11 - 1 が形成されたばね材料膜の二軸応力の 2 つの主成分が等しくない場合、及び（2）ばね 10 - 1 の軸 X がいずれの主成分とも揃っていない場合に生じる。

40

【0004】

図 2 は、応力ゲージ 10（図 1）のばねにおいて測定されたスキューを示している。ばねが様々な方向を指すように応力ゲージ 10 を作製することにより、スキューの大きさ及び方向が、二軸応力の主成分との関係において様々に変化する。螺旋状の曲がりがある場合には、スキューは正であると定義される。異方性がゼロでないと、ばねの螺旋状の曲がり、ばねの向きによって右回り又は左回りとなり得るものであり、応力の主成分と揃った 4 つの特定の向きにおいては、スキューはゼロになると予測される。スキューがゼロの角度は、選択された原点に対して概ね 20 度、110 度、200 度及び 290 度である。しかし、スキューの量及び方向は、ウェハ上で大きく変わるので、ウェハ上の異な

50

る位置に形成されたばね構造は、方向及び程度が様々な螺旋状の捻れを受ける。螺旋状の捻れを回避するためには、ばね構造が製造されるウェハ上の位置（以下、ウェハ位置）において、各ばね構造が主応力軸と揃うよう設計されなければならないので、このスキューの大きなばらつきは、大量生産を複雑なものにする。この問題を更に複雑にするのは、応力の主成分の方向が、ばね材料膜の層ごとにばらつくことである。少なくとも、これらの設計上の考慮点は製造コストを大きく増加させ、大量生産を実益のないものにする場合がある。

【0005】

【特許文献1】

米国特許第6,238,533号

10

【特許文献2】

米国特許第5,186,718号

【非特許文献1】

ロスナゲル(S. M. Rossnagel)及びホブウッド(J. Hopwood)著,「イオン化マグネトロンスパッタリング放電による金属イオン付着(Metal Ion Deposition from Ionized Magnetron Sputtering)」、J. Vac Sci Tech, B12(1), pp449-453

【非特許文献2】

グドムンドソン(Gudmundsson, J. T.)、アラミ(Alami, J.)、及びヘルマーソン(Helmersson, U)著,「パルス式マグネatron放電における電子エネルギー分布及びプラズマパラメータの進化(Evolution of the Electron Energy Distribution and Plasma Parameters in a Pulsed Magnetron Discharge)」、Applied Physics Letters, 78(22), pp3427-9(2001)

20

【非特許文献3】

ヘルマーソン、カーン(Khan, Z. S.)及びアラミ著,「VLSIにおける高アスペクト比構造の金属化のためのTaのパルス式スパッタリングによるイオン化PVD(Ionized-PVD by Pulsed Sputtering of Ta for Metallization of High-Aspect-Ratio Structure in VLSI)」、Proceedings of International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems (ASDAM), pp191-5(2000)

30

【0006】

【発明の実施の形態】

図3は、本発明によるばね構造100を示している。ばね構造100は、基体101上に形成され、剥離材料部110及びばねフィンガー120を有する。基体101（例えばガラス）は、複数の形態をとり得る導体105を任意に有する。剥離材料部110は、導体105（存在する場合）に接触するように、基体101上に形成される。一実施形態では、導体105とばねフィンガー120との間の電気伝導を容易にするために、剥離材料部110は、チタン、銅、アルミニウム、ニッケル、ジルコニウム及びコバルトから成る群から選択される金属を用いて形成されてもよく、又は、多量にドーピングされたシリコンを用いて形成されてもよい。ばねフィンガー120は、固定部122及び自由（即ちカンチレバー）部125を有する。固定部122は剥離材料部110に取り付けられている（即ち、剥離材料部110が、固定部122と基体101との間に位置する）。自由部125は、固定部122から基体101の上方に延出している。

40

【0007】

先行技術のばね構造と同様に、ばねフィンガー120は、DCマグネトロンスパッタリング若しくは化学蒸着(CVD)技術で付着させられた、又はめっき技術によって付着させられた、設計された応力を有する薄膜からエッチングされる。一実施形態では、設計され

50

た応力を有する薄膜は、ばね構造の形成に適した1つ以上の材料（例えば、モリブデン（Mo）、“モリ-クロム”合金（MoCr）、タングステン（W）、チタン-タングステン合金（Ti：W）、クロム（Cr）、ニッケル（Ni）、シリコン（Si）、窒化物、酸化物、炭化物、又はダイヤモンドのうちの1つ以上）を含む。付着プロセスは、公知の技術に従い、膜の成長中に付着環境のガス圧の変化を用いて（例えば、ばね材料のスパッタリング中にアルゴンガスの圧力を変化させることにより）行われる。一般的に、この設計された応力を有する薄膜は、比較的圧縮性の（又は引張力が低い）内部応力を有する少なくとも1つの層と、比較的引張性の（又は圧縮力が低い）内部応力を有する少なくとも1つの層とを有し、応力が異なるこれらの層は、その下の剥離材料が除去されると上向きに曲がるバイアスを与え、その結果、湾曲したカンチレバー型のばね構造を生じる。本明細書で用いる“層”という用語は、設計された応力を有する薄膜の、所与の時間に形成された断面領域を表す。

10

【0008】

ばね構造100は、基体101からの剥離前には等方性内部応力を有するばねフィンガー120の少なくとも1つの層（即ち、第1層126及び/又は第2層127）を作る方法で製造される。本明細書で用いる“等方性内部応力”という用語は、設計された応力を有する薄膜の両方の主応力軸に沿って測定された、圧縮性又は引張性の内部応力の大きさが、略同じである（即ち両者の差が1%以下である）ことを意味する。定義によれば、ばねフィンガー120の等方性応力を有する1つ以上の層を形成すると、全体の応力プロファイルの異方性は、従来のばね構造より低くなる。異方性の応力分布は、螺旋状の捻れ及びばねの先端部のスキューの主な原因である。等方性内部応力を有する圧縮性の層及び引張性の層の少なくとも一方を形成することにより、剥離された際にばねフィンガー120に及ぼされる応力の合計は、一般的に、異方性応力を有するばね構造（即ち、従来の方法を用いて形成）より低くなり、これにより、螺旋状の捻れが低減又は解消される。1つ以上の等方性応力層を組み込むことによって螺旋状の捻れを低減すると、その等方性層がウェハ全体の上に延在する場合には、大量生産が容易になる。剥離後にばねフィンガー120の自由部125で生じる内部応力の緩和は、剥離前の応力の等方性を解消する。剥離されない固定部122は、等方性内部応力を有する1つ以上の層を保持する。

20

【0009】

本発明の1つの態様によれば、1つ以上の等方性応力層は、等方性圧縮層、等方性引張層のいずれか、又は、等方性圧縮層及び等方性引張層の両方を含んでもよい。例えば、図4を参照すると、別の実施形態によれば、ばね構造100の第1層126は等方性の圧縮性内部応力を有し、第1層126の上には、非等方性で引張性の第2層127が形成される。更に別の実施形態では、ばね構造100の第1層126は非等方性の圧縮応力を有するように形成され、その上に等方性で引張性の第2層127が形成される。更に別の例では、第1層126の圧縮性内部応力及び第2層127の引張性内部応力が共に等方性である。ばねフィンガー120全体が等方性材料から形成される場合に、異方性が最小化されるのは勿論である。しかし、さほど厳しい設計仕様を必要としない幾つかの用途は、部分的に等方性のばねフィンガーから適切に製造され得る。

30

【0010】

ばね構造が、等方性圧縮層及び等方性引張層を含む場合には、ばねフィンガーの層剥離を防止するために、1つ以上のオプションの構造を用いてもよい。図4を参照すると、2段階の応力（即ち圧縮層126及び引張層127のみ）を含むばねフィンガー120は、2つを超える応力層を有するばねフィンガーよりも大きなモーメントを有し得る。従って、所与の設計半径に対して、2段階のばねフィンガー120は、層剥離（即ち、剥離材料部110又は基体101からの分離）をより生じやすい場合がある。

40

【0011】

図5（A）及び図5（B）は、別のばね構造100A及び100Bを示す、図3の線5-5に沿った断面側面図である。

【0012】

50

図5(A)を参照すると、ばね構造100Aは、下方の等方性圧縮層126Aと上方の等方性引張層127Aとの間に挟まれた中間層128が形成されたばねフィンガー120Aを有する。圧縮層126Aと引張層127Aとの間の応力勾配を低減するために、中間層128は、層126の等方性の圧縮性内部応力と層127の引張性内部応力との間の内部応力を有するよう形成される。別の実施形態では、中間層128が、2つ以上の大きさの内部応力を含んでもよく、又は、内部応力が圧縮性から引張性へと徐々に変化する領域であってもよい。なお、層128の中間応力は等方性でなくてもよいが、所与の用途のために適切に設計される場合には、等方性層126及び127は、中間層128の異方性によって及ぼされるいかなる捻れ力をも実質的に凌駕するよう製造可能である。

【0013】

図5(B)を参照すると、ばね構造100Bは、上記と同様のばねフィンガー120を有する。更に、層剥離を防止するために、ばね構造100Bは、自由部125が剥離される前又は後(即ち、自由部125の下に位置する剥離材料が除去された後)にばねフィンガー120の固定部122の上に形成されたコーティング130(例えば、金又はニッケル等の金属めっき)を含む。コーティング層130が、自由部125の剥離後に形成された金属めっきである場合には、コーティング130は、自由部125の上部層127及び下部層126の露出面に付着させられてもよく、それにより、金属めっきを有さずに形成された、又は片側のみに金属めっきが形成されたばね構造よりも優れた構造的及び電気的な特性が与えられる。金属めっきコーティング130(図5(B))は、ばね構造100Bに、幾つかの他の潜在的に重要な長所を与える(例えば、機械的に接触させられた素子の封止の電気鋳造、パッシベーション、耐摩耗性及び潤滑性の向上、圧縮停止の提供、延性の追加、又は、処理の痕跡及び欠陥の範囲の鈍化)。

【0014】

オプションの導体105は、外部の電気システム(図示せず)へのばね構造100の電気的結合を設けるために含まれる。ばねフィンガー120と導体105との間の電気的結合には、導電性剥離材料を用いて剥離材料部110を形成することが必要である。しかし、他の構造(例えばワイヤボンディング)によってばねフィンガー120に電気的結合を直接設けることも可能であり、それにより、非導電性剥離材料の使用も可能になる。

【0015】

次に、本発明で用いる等方性ばね材料膜を作るための幾つかの方法を説明する。

【0016】

ばね構造は、ばね構造が作られるばね材料の圧縮飽和点又は引張飽和点の内部応力を有する少なくとも1つの層を有する。この文脈における「飽和点」という用語は、ばね材料(即ち、ばね材料膜)の内部応力が超えることができない最大値を意味する。更に応力が加えられると、ばね材料がその降伏点を超えて押されて材料の緩和を生じ、更なる応力を解放して内部応力を飽和レベルにとどまらせるので、応力飽和により、ばね材料が略等方性(均一)になる。材料に降伏点を超える応力が加えられた(即ち、押された)場合には、材料は「流れる」か、その内部構造を再構成して過剰な応力を解放し、材料をその材料のいわゆる降伏点に戻す。応力を飽和させることにより、材料は耐えられる全ての応力を受け、飽和点を超えると、内部構造はもはや過剰な応力を溜める構造的な反応はせず、更に課せられる歪みを受け入れるために塑性流動する。

【0017】

ばね材料の内部応力が、ばね材料の圧縮又は引張飽和点にある場合には、ばね材料膜の圧縮応力の異方性は小さくなる傾向がある。本発明者は、以下に述べる、少なくとも1つの層に飽和内部応力を生じる方法を用いて、複数のウェハ上に(上述したものと同様の)ばねゲージを形成し、次に、各ウェハ上のX軸及びY軸に沿って応力を測定した。異なるパレット位置における応力レベルの差異も測定した(試験装置の各パレットは2個以上のウェハを保持した)。ばね材料膜が飽和した圧縮応力層を含んだ場合には、ウェハ全体にわたる異方性が実質的に低減された。

【0018】

ばね材料膜の少なくとも1つの層を飽和点で形成することにより、得られるばね構造が示す応力の異方性は、従来の製造方法を用いて作られたものよりも低くなり、それにより、螺旋状の捻れの大きさが低減される。即ち、従来の技術は、材料の降伏点を超えて応力を飽和させることはないので、ばね材料膜は、直交する異なる方向において異なる応力を獲得する。一方、本実施形態のばね材料膜は、それよりも遙かに大きい、ばね材料の降伏点に近い応力を用いて形成されるので、一方向に、別の方向よりも大きな応力を生じる傾向がある応力が加えられた場合には、材料は更なる応力を溜めるのを“拒否”し、応力を加えられた方向に緩和して、材料の降伏点に至る。材料がその降伏点にある場合には、異方性を有する余地がないという観点から、異方性の低減は理に適ったものである。体積緩和のメカニズムと表面緩和のメカニズムは異なっているのもいいので、体積降伏点と成長中の膜の降伏点とは、必ずしも同じでなくてもよい。

10

【0019】

理想的には、1つが圧縮応力層で形成され、1つが引張応力層で形成され、両者がばね材料の応力飽和点で又はその付近で成長した、2段階のみの応力プロファイルを有するばね構造を製造することにより、異方性が最小化される。このような理想的な実施形態では、下部層126は、圧縮飽和応力レベルの内部応力を有するように形成され、上部層127は、下部層126の上に直接付着させられ、引張飽和応力レベルの内部応力を有するように形成される。層126及び127をこれらの飽和点で形成し、いかなる非飽和層も省略することにより、異方性が効果的に解消された理想的なばね構造が形成される。異方性の完全な解消が必要ない用途（即ち、限られた量のスキューは許容可能な用途）もあり、それにより、1つ以上の非飽和層を有するばね構造の製造が容易になる。再び図4を参照すると、別の一実施形態では、ばね構造100の第1層126が圧縮飽和点で形成され、等方性で引張性の第2層127が引張飽和点よりも低く形成される。別の実施形態では、ばね構造100の第1層126が圧縮飽和点よりも低く形成され、第2層127が引張飽和点で形成される。別の実施形態では、ばね構造は、図5(A)に示されるように、非飽和層128で隔てられた飽和層126及び127を含んでもよく、又は、上に非飽和層130が形成された飽和層126及び127を含んでもよい。

20

【0020】

第1層126及び第2層127がそれぞれの飽和点にある場合のように、ばねフィンガー全体が等方性材料から形成される場合に、異方性が最小化される。応力プロファイルの端点を飽和点に固定することの副作用は、ばね半径を調整するための他の残りの変数が、ばね層の厚さであることである。このことは、ばね材料膜の最適ではない厚さにつながり得る。図6は、MoCr合金（85/15原子%）から形成された、約500ミクロンのばね直径を有する、平衡したばね構造の応力プロファイルである。このようなばね材料の室温での飽和点は、約-2及び+1GPaである。これらの飽和点は、平衡した（即ち、実質的に正味ゼロの）合計内部応力を生じるため、及び、圧縮層と引張層との界面において3GPaの応力勾配を支持するために、ばね材料膜が、約2.8ミクロンの厚さ（即ち、約0.923ミクロンの圧縮層と、約1.847ミクロン以上の引張層）を有する必要がある。これは、多くの用途に必要な厚さの何倍も厚く、従って、このようなばねの製造は遙かに高価になる。更に、この構成によって生じる、層126と剥離材料部110との界面における大きな剥離モーメント（0.92GPa・μm）により、ばねフィンガー120の層剥離が問題となり得る。剥離前の応力レベルは太い実線で示され、剥離後の応力レベルは細い破線で示されている。

30

40

【0021】

厚い平衡ばね材料膜を製造するための別の一例は、複数の不平衡ばね構造を作ることである。不平衡ばねは、大きな非ゼロの正味応力（netの応力）を有し、その結果、不具合を避けるためにより注意深く設計されなければならない。図7は、MoCr合金（85/15原子%）から形成された、約500ミクロンのばね直径を有する、不平衡ばね構造の応力プロファイルである。このばね構造では、圧縮層は約0.4ミクロンの厚さを有し、引張層は約1.6ミクロンの厚さを有する。共に同じ材料から作られたにも関わらず、こ

50

の不均衡ばねは、図6の平衡ばねの約70%の厚さであり、それにより、平衡ばねよりも製造コストが低減される。平衡ばねとは異なり、不均衡ばね構造の正味応力は、実質的に非ゼロである（例えば、0.4 GPa以上）。この実質的に非ゼロの正味応力は、応力及び膜厚の誤差に左右されやすい直径を生じる点で、このような不均衡ばねの設計では考慮されなければならない。剥離モーメントも0.92 GPa・μm（図6に示される平衡ばねによって生じる）から約0.6 GPa・μmへと低減される。

【0022】

更に、応力の格差があれば、引張応力のみ又は圧縮応力のみを用いてばねを形成することも可能である。厚さが0.2ミクロンの飽和（第1）圧縮応力層（即ち、-2 GPaの内部応力）と、その等方性層の上に形成された、厚さが0.57ミクロンで-1 GPaの内部応力を有する異方性（第2）圧縮応力層とを用いて、ばね構造を作ることができる。この例では、異方性圧縮応力層は、等方性圧縮応力層に対しては比較的張力が高い。得られるばね構造は、約0.77ミクロンの厚さ、約413ミクロンの直径、1.29 GPaの剥離後の正味応力、及び、1.02 GPa・μmの正味の剥離モーメントを有する。

【0023】

ばね材料膜の応力の飽和は様々な方法で達成される。図8乃至図17を参照して説明される、開示される1つの方法によれば、応力の飽和は、飽和引張応力又は飽和圧縮応力を生じるために、ばね材料膜を成長させる際の製造パラメータ（即ち、温度、圧力及びRFバイアス）を操作することによって達成される。更なる方法を以下に説明する。

【0024】

図8を参照すると、この製造方法は、ガラス（シリコン）基体101上に導電性剥離材料層210を形成することから開始する。一実施形態では、剥離材料層210は導電性材料から形成され、剥離材料層210の部分210Aが、基体101の上面に露出した導体105に接触する。一実施形態では、剥離材料層210は、スパッタリングで基体101に約0.2ミクロン以上の厚さまで付着させられたチタン（Ti）である。チタンは、その可塑性（即ち、ひび割れに対する耐性）及び強い付着力により、導電性剥離材料層としての望ましい特性を与える。チタンの好ましい可塑性特性を有する他の剥離材料を用いてもよい。別の実施形態では、剥離材料層210は、銅（Cu）、アルミニウム（Al）、ニッケル（Ni）、ジルコニウム（Zr）又はコバルト（Co）等の別の金属を含む。剥離材料層210は、多量にドーピングされたシリコン（Si）を用いて形成されてもよい。更に、2つ以上の剥離材料層を順次付着させ、多層構造を形成してもよい。更に別の可能な実施形態では、上述した剥離材料の任意のものを、2つの非剥離材料層（即ち、後述するばねフィンガー剥離工程で除去されない材料）の間に挟んでもよい。或いは、次に付着させられるばね材料層と接触パッド（例えば導体105等）との間に電気伝導を設ける必要がない場合には、剥離材料層210は窒化シリコン（SiN）等の非導電性材料であってもよい。

【0025】

図9乃至図11は、後述する本発明の様々な実施形態に従った、ばね材料膜の形成及びオプションのアニールを示している。図9は、下部層226に圧縮飽和点又はその付近の圧縮性内部応力を生じるよう選択された処理技術を用いて剥離材料層210上に形成された、設計された応力を有する下部（第1）ばね材料層226を示している。一実施形態では、ばね材料層226は、飽和圧縮応力を生じるのに適した処理パラメータを用いて、スパッタリングで0.1~2.5ミクロンの厚さで付着させられたMoCr合金（85/15原子%）を含む。圧縮層226は、0.1 mT以上の圧力に保たれたアルゴン雰囲気中で、0.2ワット/cm²以上の無線周波数（RF）バイアスを印加し、公称の室温で（即ち、付着プロセスから幾分の基体の加熱が生じる）行われるスパッタリング付着を用いて作られてもよい。一般的に、この印加バイアスは、成長する膜への付加的な衝撃を生じ、材料を圧縮飽和点に至らせる。より高いバイアス電力レベルはガス拡散の影響を補償でき、それにより、より高圧での動作が可能になる。図10は、上部層227に引張性内部応力を生じるよう選択された処理技術を用いて下部層226上に形成された、上部（第2）ば

ね材料層 227 を示している。別の実施形態では、上部層 227 の引張性内部応力は、引張応力の飽和点又はその付近にある。設計半径と、形成されるのが平衡ばねであるか又は不平衡ばねであるかにより、MoCr (85/15) ばね材料が、下部層 226 上にスパッタリングで 0.1 ~ 2.5 ミクロンの厚さまで付着させられる。望ましい引張応力飽和を達成するために、基体 101 は室温に保たれ、4 mT 以上の圧力に保たれたアルゴン雰囲気中で、0 ~ 0.25 ワット/cm² の範囲の RF バイアスを印加して、スパッタリング付着が行われる。上記の処理パラメータを用いて、下部層 226 及び上部層 227 の一方又は両方で許容可能な応力飽和が達成されたら、アニール (図 11 に示す) は省略されてもよい。

【0026】

別の実施形態では、ばね材料 (即ち、MoCr の 85/15 原子%合金) の飽和点を調整するよう選択された、より高い温度で、図 9 及び図 10 の付着プロセスが行われる。MoCr 合金は、2000 以上で溶融するという、非常に耐熱性の高いばね材料である。しかし、MoCr 合金の応力の一部は、(例えば、図 11 に示されているアニール処理中に) かなり低い温度 (即ち、350 未満) のアニールによって合金成長後に (ex-situ) 失われることがある。図 18 に、MoCr (85/15) 合金の内部応力に対する温度変化の影響を示す、実験データが示されている。測定されたデータは菱形 (加熱) 及び四角 (冷却) で示され、理論上のデータは三角形で示されている。線形弾性応答に基づく理論上の挙動は、飽和したばね材料膜を高温 (例えば 400) で形成すると、冷却した際に応力の正味の張力のシフトが生じることを示している。実際のデータは、ばね材料膜をアニールする及び/又はばね材料膜を約 100 以上で形成すると、緩和を生じ、続く冷却の際に内部応力の張力シフトを生じることを示している。これは、非常に高い応力レベルに達するために容易に衝撃され得るが、均一にするのは困難な、圧縮応力を受けるばね材料膜の層に関連する場合がある。圧縮成長はより低い圧力で行われるので、均一な応力を生じるための付着角度の均質化のために存在するガスの拡散は低い。ばね材料膜 (例えば MoCr 合金) が成長中 (即ち、図 9 及び図 10 に示されているプロセスの一方又は両方の処理中) にその場で (in-situ) 中間の温度に保たれる場合には、ばね材料の飽和点は、その室温で生じる飽和点を下回る点に下がる。より高い温度 (即ち、1000 以上、より好ましくは 1500 ~ 4000、最も好ましくは 3500) での成長は、低温付着で達成されるよりも低い応力で等方性の応力特性を達成すると思われる。飽和点を低く調整すると、材料の応力が、室温で確実に降伏点から大きく離れるので、材料がより強くなるという更なる長所があり得る。

【0027】

図 18 に示されているデータは、(例えば図 11 に示される処理中に) 1000 以上のアニールを用いて、室温で成長したばね材料膜に応力緩和を生じさせてもよいことも示している。特に、1000 ~ 約 4000 の範囲でのアニールは緩和を生じることがあり、その結果、冷却した際に内部応力が実質的に低くなる。約 3500 ~ 4000 を大きく超える温度でアニールしても、応力が更に認識可能なほど変化するとは思われない。

【0028】

膜が冷えると、シリコンに対する相対的な熱膨張率により、MoCr の張力はより高くなる。本発明の別の実施形態によれば、この膨張率の差を利用して、圧縮層の応力レベルが低減される。一例では、圧縮層 226 (図 9) を、より高い温度 (例えば 2000 を超える温度、好ましくは 3500) で付着させ、次に、引張層 227 (図 10) を、より低い付着温度 (例えば 2000 未満、好ましくは 500) で付着させる。必要に応じて、高压ガス拡散 (後述する) を用いる等の飽和させない方法により、層 227 の引張応力が均一に保たれる。より低い温度に冷却中、圧縮応力は次式で求められる量だけ低くなる。

$$= Y' (\alpha_{MoCr} - \alpha_{Si}) (T_2 - T_1)$$

式中、 α_{MoCr} 及び α_{Si} はそれぞれ MoCr 膜及びシリコン基体の膨張率であり、 T_1 及び T_2 は 2 通りの温度である。 Y' は MoCr の二軸弾性係数である。

【0029】

図 1 2 を参照すると、上述した方法の 1 つ以上を用いてばね材料膜を製造した後、細長いばね材料（第 1）マスク 2 3 0（例えばフォトレジスト）を、露出した上部層 2 2 7 の選択された部分を覆うようにパターンニングする。次に、図 1 3 に示されるように、ばねマスク 2 3 0 の周囲の、設計された応力を有する材料膜 2 2 0 の露出部分が、1 つ以上のエッチング液 2 4 0 を用いてエッチングされ、ばねアイランド 2 2 0 - 1 が形成される。このエッチングプロセスは、ばねアイランド 2 2 0 - 1 の周囲の剥離層 2 1 0 の部分 2 1 0 B に制限されたエッチングが行われ、このエッチング工程の後に、剥離層の部分 2 1 0 B の少なくとも部分的な厚さが基体 1 0 1 上に残るように、行われる。一実施形態では、設計された応力を有する材料膜 2 2 0 の露出部分を除去するために、エッチング工程は、例えばウェットエッチングプロセスを用いて行われてもよい。この実施形態は、MoCr ばね金属層を除去するために硝酸セリウムアンモニウム溶液を用いて良好に行われた。ここに与えた、限定を意図しない例の代わりに、多くの更なるエッチングプロセスの変形及び材料選択を用いてもよい。

10

【0030】

図 1 4 は、ばねマスク 2 3 0（図 1 3）を除去した後の、ばねアイランド 2 2 0 - 1 及び剥離材料 2 1 0 を示している。ここでも、剥離材料層 2 1 0 の部分 2 1 0 A を介して、導体 1 0 5 とばねアイランド 2 2 0 - 1 との間の電気接続が設けられることに留意されたい。

【0031】

図 1 5 を参照すると、次に、ばねアイランド 2 2 0 - 1 の第 1 部分 2 2 1 0 - 1 A の上に剥離（第 2）マスク 2 5 0（例えばフォトレジスト）が形成される。剥離マスク 2 5 0 は、ばねアイランド 2 2 0 - 1 の第 2 部分 2 2 0 - 1 B 及びその周囲の剥離材料層 2 1 0 の部分 2 1 0 B を露出する剥離窓 RW を画定する。

20

【0032】

図 1 6 を参照すると、次に、剥離エッチング液 2 6 0（例えば、緩衝酸化物エッチング（buffered oxide etch））を用いて、剥離材料層の一部を、ばねアイランドの露出部分の下から選択的に除去し、ばねフィンガー 1 2 0（図 1 乃至図 3 を参照して上述）を形成する。露出した剥離材料を除去すると、（上述した）ばね材料膜の形成中に発生した内部応力の偏差により、自由部 1 2 5 が基体 1 0 1 から離れる方向に曲がる。固定部 1 2 2 は、剥離マスク 2 5 0 で保護された剥離材料部 1 1 0 によって基体 1 0 1 に固定されたままである。また、剥離材料部 1 1 0 が導電性剥離材料で形成される場合には、得られるばね構造は導体 1 0 5 に電氣的に結合される。

30

【0033】

最後に、図 1 7 は、剥離マスク 2 5 0 を除去中のばね構造 1 0 0 を示している。なお、図 1 6 を参照すると、剥離マスク 2 5 0 の負に傾斜した側壁により、オプションの剥離後コーティング（例えば、図 5（A）のコーティング 1 3 0）の下方に露出端部 2 5 0 - E が生じている。この露出端部により、公知の技術を用いて剥離マスクを溶かす溶媒のアクセスが可能になる。例えば、剥離マスクが画像反転フォトレジストである場合には、溶媒としてアセトンを用いることができる。剥離マスクが溶かされると、その上に形成されたコーティングの残存部分がリフトオフされる。リフトオフプロセスを加速するために、攪拌を用いてもよい。

40

【0034】

上述した例は、特に、MoCr（85 - 15 原子%）合金ばね材料に関するものである。本発明の更に別の態様では、ばね材料の組成を、降伏点が好ましく変更されるよう調整することにより、ばね材料の飽和点が調整されてもよい。幾つかの金属は Mo 及び Cr よりも軟らかく、より低い降伏点を有するので、これらのより軟らかい金属を含む組成物の応力は、一般的に、より低い応力値で飽和する。所望の又は選択された範囲内のばね半径を生じる、降伏点に対する弾性係数の割合を有する材料を選択するのが好ましい。例えば、NiZr 合金は、MoCr 合金よりも低い飽和応力を有する。別の可能性としては、他の Ni 合金、NiCu 合金（例えば Monel(R)）、BeCu、燐青銅、又は Mo、Cr

50

、T a、W、N b等の耐熱性材料の合金を使用することが挙げられる。別の例では、1つ以上の“軟らかい”金属（例えばI n、A g、A u、C u）を含むことにより、M o C r合金の降伏点を調整（低下）してもよい。

【0035】

たとえ顕著な緩和及び/又は飽和点調整を用いても、圧縮及び引張飽和応力層を用いたばね材料膜は顕著な応力モーメントを生じ、その結果、ばね剥離層に沿った又は剥離層/基体界面に沿ったばね構造の層剥離を生じる場合がある。ばね材料が耐えられる圧縮の最高値から引張の最高値までの範囲内で、連続して（徐々に）レベルが変化する、等方性応力を有するばね材料を付着させるのが望ましい。応力の連続変化は、剥離後のばねに溜まる残存弾性エネルギーの量を低減するので、望ましい。例えば、図6では、応力飽和ばねの実質的な残存応力（破線）が示されているが、初期応力が階段状ではなく線形のプロフィールで構成されていた場合には、（曲がる方向の）残存応力は概ねゼロになる。2つを超える段階を有する階段状のプロフィールは、より良好に線形プロフィールを近似し、より低い残存応力を有する。このようなプロフィールでは、応力の変化もそれほど急激ではない。各変化は、ばね内の内部剪断を生じる。本発明の発明者は、ある条件下では、ばねの破損が応力レベルの変化の急激さと相関することを観察した。図5（B）に示されているような飽和応力ばねと関連した、応力レベルの急激な変化に対する1つの解決法は、破損を抑制するために、ばね材料の上及び/又は下に通常はめっきではなくスパッタリングされる、付加的な金属層（例えば金）を含むことである。しかし、この解決法を含むと製造コストが増加する。従って、応力の連続範囲（即ち、圧縮性から引張性へと徐々に変化）の上に等方性の応力を作る工程を有するのが望ましい。

【0036】

本発明の別の実施形態では、付着プロセス中に圧力を変化させることで、ばね材料膜の異方性が低減される。特に、付着チャンバ内の圧力を高めることにより、到達する種がスパッタリングガス（一般的にA rガス）によって拡散される。W i l d e r M V 4 0モジュール垂直マグネトロン付着ツール（垂直陰極スパッタリングシステム）を用いた実験は、M o C r合金（85/15）膜の異方性が、約20mTでほぼゼロに低下することを示した。図19は、基体とターゲットとの間隔が1インチのW i l d e r ツールのための、応力v s 圧力の較正データを示している。この図は、最も高い圧力（20mT）では、3つの個別のパレット位置で測定された応力が集中していることを示している。一方、10mTでは応力差が最大となる。約15mTを超えると、適切な異方性の低減が達成される。高過ぎる圧力（例えば20mTを超える圧力）では、低温及び/又はゼロのバイアスで成長した膜は機械的に脆弱になりがちであり、その結果、引張応力が減少する。機械的に脆弱になる原因は、恐らくは材料中の大きな空隙であろう。この脆弱性が生じる圧力は、スパッタリング構成及び、距離及び出力等の他のパラメータに非常に依存する。圧力・距離の積が10～350mT・cmの範囲内である場合に、適切な膜が形成される。印加R Fバイアス（例えば0.05ワット/cm²以上）は、基体の衝撃を増加させ、それにより密度を増加させる傾向がある。基体の温度を上げると（例えば150℃以上）、成長膜に組み込まれた材料の表面拡散が高まり、これも密度を増加させる傾向がある。基体の加熱及び/又はバイアスは、機械的に脆弱になることを回避するために有用である。圧力、温度及びバイアスの適切なバランスをとると、多孔性に起因する膜の機械的劣化を回避しつつ、ガス拡散を介して引張応力の均質性を生じると思われる。ガス拡散を介した応力の均質化は、ばねの設計で要求される任意の応力設定点で効果が潜在的に作用可能な点と、応力が潜在的に連続変化可能な点という、材料の飽和を凌駕する2つの顕著な長所を有する。図19では、圧力の均質化は、均一な引張応力を生じるためのみに作用するように見えるかもしれないが、基体へ十分なバイアスを印加すれば、高圧においてもばね材料が衝撃されて圧縮状態になると、本発明者は考える。本実施形態によれば、圧縮性から引張性への応力傾向を作るために、付着の実行中に印加R Fバイアスを徐々に下げつつ高圧で付着させることにより、圧縮（下部）層及び引張（上部）層を含み、且つ、それらの間に連続変化する内部応力プロフィールを有するばね構造が作られる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 7 】

本発明の別の実施形態によれば、指向性の付着技術を用いて、等方性ばね材料膜が形成される。本発明者は、ばね材料膜の内部応力を均一にする別の方法は、成長膜に当たるあらゆる原子又はイオンが、少なくとも平均的に、基体に垂直に移動する、指向性の付着プロセスを用いることにありと判断した。

【 0 0 3 8 】

図 2 0 (A) は、ウェハ (基体) 1 1 0 1 上のばね材料膜 1 1 2 0 の形成に用いる、一般的なスパッタリング付着プロセスを示しており、ウェハ 1 1 0 1 上には剥離材料層 1 1 1 0 が形成される。公知の方法によれば、ばね材料 (例えば MoCr) でできているターゲット 1 1 3 0 に電圧が印加され、ターゲット 1 1 3 0 から粒子状材料 1 1 3 5 が分離 (ス 10
パッタリング) され、ウェハ 1 1 0 1 に向かって移動する。図 2 0 (A) に示されるように、一般的なスパッタリング付着プロセスでは、付着材料 1 1 3 5 が、ばね材料膜 1 1 2 0 を形成する幅広い角度分布をとる。ウェハ 1 1 0 1 上の複数の個別の点は、材料の異なる角度分布を受けるので、ばね材料膜 1 1 2 0 に形成される応力の主軸は、ウェハ 1 1 0 1 全体にわたって様々な方向に揃う。例えば、ウェハを二重回転機構に取り付けるプラネタリーシステムでは、応力の主軸が、ウェハの半径方向及び接線方向に揃う傾向がある。スパッタリング源の背後で回転磁石を用いる最も集束したツールでは、類似の効果が期待される。

【 0 0 3 9 】

図 2 0 (B) に示される方法によれば、成長膜 1 1 2 0 に当たる原子又はイオンの大部分 20
が基体 1 1 0 1 に垂直に移動するよう、ターゲット 1 1 3 0 を離れる材料 1 1 3 5 がとる経路に影響を及ぼすために、1 つ以上の指向性の付着方法が用いられる。本発明者は、実験から、材料 1 1 3 5 がウェハ 1 1 0 1 上の全ての点に 1 方向のみから当たり、それによって従来の付着方法に伴う異なる角度分布を解消するので、指向性の付着法の使用がばね材料膜 1 1 2 0 の応力の異方性を大きく低減すると判断した。なお、剥離材料層 1 1 1 0 は、図 8 を参照して上述した方法で形成され、図 1 2 乃至図 1 7 を参照して上述したように、等方性ばね材料膜 1 1 2 0 の更なる処理が行われる。

【 0 0 4 0 】

本発明によれば、例えば、従来の集積回路装置のバイア (v i a) 構造を作るために用いられてきた様々な指向性の付着方法が、等方性ばね材料膜の製造に用いられる。このよう 30
な方法は、バイアスされたイオン付着、ロングスロー (long throw) スパッタリング及びコリメートスパッタリングの使用を含み、それぞれの詳細については後述する。これらの指向性の付着方法は、高いアスペクト比のバイアを埋めるのに用いられており、この技術は、IC (集積回路) の製造にとって、キャパシタンスを低減し、抵抗を下げ、1 つのチップにより多くの回路を詰め込むために重要である。しかし、1 つには、ばね材料膜の形成において対処される問題は、バイア形成の問題とはかなり異なることを理由として、本発明者は、これらの方法が、ばね材料膜の製造用に以前から考慮されていたとは考えない。即ち、原子を穴の中に向かわせるバイア形成とは対照的に、ばね材料膜の形成中に内部 40
応力の異方性を最小化するために指向性の付着が用いられる。指向性の付着は、ばねの設計で必要とされる任意の応力設定点で効果が潜在的に作用可能な点と、本発明のばね材料膜と関連づけられた圧縮性から引張性への応力プロファイルを生じるために応力が潜在的に連続変化可能な点という、材料の飽和を凌駕する 2 つの顕著な長所を有する。

【 0 0 4 1 】

バイアスイオン付着では、印加 RF バイアスを用いて、原子/イオンの指向性に影響を及ぼす。スパッタリング付着は、通常、アルゴンガス雰囲気を含む付着チャンバ内でプラズマを生じることによって行われる。従来のプラズマ中のアルゴンガス及びスパッタリングされるばね材料 (即ち金属類) は、主に、ニュートラル (中性原子) と陽イオンとで構成される。一般的なプラズマ中の金属の大半はニュートラルであり、よって、印加バイアスには影響されない。圧縮応力を生じるアルゴン衝撃の多くは、反射されたアルゴンニュートラルからのものである。従って、より多くのイオンを生じるためには、0 . 2 5 ワット 50

/cm²以上のRFバイアスを使用して、衝撃の方向及び付着するフラックスを配向する必要がある。バイア形成及びスパッタリングされた膜のリフトオフに関しては、スパッタリングのプラズマ中により多くのイオンを作るために、多くの努力が注がれてきた。バイアの充填には、印加バイアス（一般的に、基体に対するRFバイアスから生じる負の自己バイアス）に加え、プラズマ中の金属種の大半（即ち、50%を超える）をイオン化する努力がなされなければならない。より多くのイオンの生成は、当該技術分野で公知の様々な方法で達成できる。

【0042】

図21は、本発明の一実施形態によるばね材料膜を製造するために、付着（真空）チャンバ1200内で高度にイオン化されたプラズマを生成するシステムを示す概略側面図である。基体（ウェハ）1201は、付着チャンバ1200の底部の台座型電極1205上に配置される。基体1201上には、既に、剥離材料層1210が上述の方法で形成されている。チャンバ1200の上端部には、ターゲット1230が配置され、垂直に配向されたコイル1240が、ターゲット1230と基体1201との間に位置する空間を包んでいる。DC電源1250は、ターゲット1230を負にバイアスする。RF電源1253は、電力をメガヘルツの範囲で誘導コイル1240に供給する。ターゲット1230と基体1201との間にDC電圧が印加されると、チャンバに供給されたプロセスガスが放電してプラズマを形成する。コイル1240によってチャンバ1200内へと誘導的に結合されたRFコイルの電力は、プラズマ密度を高める。スパッタリング効率を高めるために、ターゲット1230の上方に設けられた磁石1260が、ターゲット1230付近のプラズマの密度を顕著に高める。台座1205をプラズマに関してバイアスするために、別のRF電源1257が、台座1205に100kHz～数メガヘルツの周波数範囲の電力を印加する。この技術は、ロスナゲル（S. M. Rossnagel）及びホプウッド（J. Hopwood）の「イオン化マグネトロンスパッタリング放電による金属イオン付着（Metal Ion Deposition from Ionized Magnetron Sputtering）」、J. Vac. Sci. Tech., B12(1), pp449-453で説明されており、サティトゥンワイチャ（Satitunwaycha）等の米国特許第6,238,533号も参照されたい。得られる、ターゲット1230からスパッタリングされたMoCr材料の付着は、RFバイアスによって、剥離材料1210上の成長膜に当たる原子又はイオンの大半が基体1201に対して垂直に移動するよう作用される。

【0043】

パルス式スパッタリングは、本発明による等方性ばね材料膜を形成するためにより多くのイオンを生じる別の方法である。高電流パルス式スパッタリングは、多くのイオンを生じる1つの方法である。この分野で、スウェーデン国リンケーピン（Linköping Sweden）のウルフ・ヘルマーソン（Ulf Hermersson）が率いた幾つかの最近の進展がある。これらの開発された技術は、数十～数百マイクロ秒間持続する数百アンペアのパルス及び数メガワットの電力を用いる（グドムンドソン（Gudmundsson, J. T.）、アラミ（Alami, J.）、ヘルマーソン（Hermersson, U.）の「パルス式マグネatron放電における電子エネルギー分布及びプラズマパラメータの進化（Evolution of the Electron Energy Distribution and Plasma Parameters in a Pulsed Magnetron Discharge）」、Applied Physics Letters, 78(22), pp3427-9(2001)を参照されたい。また、ヘルマーソン、カーン（Khan, Z. S.）、アラミの「VLSIにおける高アスペクト比構造の金属化のためのTaのパルス式スパッタリングによるイオン化PVD（Ionized-PVD by Pulsed Sputtering of Ta for Metalization of High-Aspect-Ratio Structure in VLSI）」、Proceedings of International Conference on Advanced Semiconductor Devices an

10

20

30

40

50

d Microsystems (ASDAM), pp 191 - 5 (2000) も参照されたい。これは、連続動作条件下で達成されるよりも遙かに密度の高いプラズマを生じる。この技術の大きな長所は、処理チャンバ内に RF コイルを配置する必要がないことである。イオン化の程度は 100% に近く、電界又は磁界を与えることによって、基体に当たるばね材料の方向を制御できる。

【0044】

別の実施形態によれば、ウェハ（基体）がターゲットからウェハの直径 1 つ分以上離れて配置される（即ち、ウェハが静止している場合）、“ロングスロー（long throw）” 技術を用いて、ばね材料が成長させられる。スパッタリング源が離れているほど、10
付着される材料がよりコリメートされる。このスパッタリング系を作る手法は、パイアの充填にも用いられている。一般的に、クラスターツール内でのターゲットと基体との間の距離は約 2 インチである（1 つのウェハの直径より小さい）。しかし、1 つのウェハ直径以上に距離を増加させた場合には、フラックスが到達する角度範囲が小さくなる。最も浅い付着角度を除くことにより、応力の異方性が低くなると考えられる。ウェハ（基体）が移動している場合、又は複数の基体を用いる場合には、ロングスローの効果を達成するために、距離は、基体を収容するホルダーのサイズ及び、ターゲットに対するホルダーの相対的な移動範囲（もしあれば）とほぼ同じでなければならない。

【0045】

本発明者は、様々な付着ジオメトリー及びウェハ取扱い構成を調べた。複数のターゲットを有する単一チャンバシステムでは、相互汚染（クロスコンタミネーション）が幾つかの20
予期しない結果を生じている。これには、所与の処理条件に対して膜の応力レベルを変える金属汚染、界面での混合から生じるエッチング中の電気化学的影響、及び、不溶性の汚染物質に起因するエッチング後の残存物の存在が含まれる。これらの影響の全ては、単一チャンバシステムが、ばねの剝離層、ばね層、及びクラッド層を形成する複数の材料用の複数のスパッタリング陰極を有することから生じている。1 つの陰極がスパッタリング中に、他の陰極が露出していると、露出した陰極が、そのターゲット上にたまった汚染を蓄積する。

【0046】

本発明の別の実施形態によれば、スパッタリングターゲット及びエッチング機能のそれぞれに対して個別のチャンバが用いられることにより、製造プロセスを通してスパッタリン30
グターゲットの完全性が保たれるよう構成された、統合型複数チャンバツール（“クラスターツール”）を用いてばね構造が作られる。

【0047】

図 22 は、本発明の一実施形態に従って構成されたクラスターツール 1300 を示している。このようなクラスターツールの 1 つは、テップマン等（Tepman et al.）の米国特許第 5, 186, 718 号に機能的に説明されている Endura RTM 55
00 プラットフォームである。

【0048】

個々のロードロックチャンバにロードされたウェハカセットからシステムへと、又はシステムから、ウェハを移動させるよう構成された、独立操作される 2 つのロードロックチャン40
バ 1305 により、複数のウェハ 1301 がシステムにロードされる。図示しないスリット弁を介してロードロックを選択的に接続可能な、第 1 ウェハ移動チャンバ 1304 の圧力は、調整可能である。第 1 移動チャンバ 1304 及び選択されたロードロックチャンバ 1303 のポンプダウン後、第 1 移動チャンバ 1304 内に配置された第 1 ロボット 1306 が、カセットから 2 つのウェハ配向器 1308 の一方へとウェハを移動させ、次に、脱ガス配向チャンバ 1312 へと移動させる。次に、第 1 ロボット 1306 は、中間に配置されたプラズマ予備クリーニングチャンバ 1314 内にウェハを通し、そこから、第 2 ロボット 1316 が、低圧に保たれた第 2 移動チャンバ 1318 へとウェハを移動させる。第 2 ロボット 1316 は、ウェハを、その周辺を取り囲むように配置された反応チャン50
バへと又は反応チャンバから選択的に移動させる。ポリイミド等の基体中の材料が、水

分を保持する傾向を有する場合には、スパッタリングツールは、処理前に保持された水分をベーキングで除去する脱水チャンバを含むのが一般的である。この工程は、通常、予備クリーニング工程の前に行われる。

【 0 0 4 9 】

本実施形態によれば、第 1 付着チャンバ 1 3 2 0 は、上述した方法に従って各基体の上に剥離材料層を形成するために用いられ、1 つ以上の第 2 付着チャンバ 1 3 2 2 及び 1 3 2 4 は、剥離材料層の上にばね材料膜を形成するために用いられる。第 1 付着チャンバは、選択された剥離材料（例えばチタン）から形成された適切なターゲットを有して構成され、第 2 付着チャンバ 1 3 2 2 及び/又は 1 3 2 4 は、選択されたばね材料（例えば Mo C r 合金）から形成された適切なターゲットを有して構成される。図 2 3 のフロー図に示されるように、各ウェハ 1 3 0 1 は、剥離層の形成（ブロック 1 4 2 0）のために第 1 チャンバ 1 3 2 0 へと移動され（ブロック 1 4 1 0）、次に、上述した方法の 1 つ以上に従ったばね材料膜形成（ブロック 1 4 4 0）のために、第 2 チャンバ 1 3 2 2 / 1 3 2 4 へと移動される（ブロック 1 4 3 0）。圧縮層及び引張層の製造に、2 つの異なる処理パラメータを用いる場合には、チャンバ 1 3 2 2 及び 1 3 2 4 は、類似のばね材料ターゲットを有して構成され、異なる処理のそれぞれに対して別様で最適化される。圧縮層及び引張層が異なる温度で形成される場合には、2 つの温度間での変更に必要な時間を最小限にするために、チャンバ 1 3 2 2 及び 1 3 2 4 はそれらの異なる温度に保たれる。ばね材料膜の形成後、基体 1 3 0 1 はクラスターツールから除去され、上述したプロセスに従った、次のエッチング及びばねフィンガー形成（ブロック 1 4 6 0）のために、適切な第 3 チャンバへと移動される（図 2 3 のブロック 1 4 5 0）。これらの付着プロセスを個別のチャンバで行い、エッチング/剥離を更に別の（1 つ以上の）チャンバで行うことにより、個々のターゲットの相互汚染が回避され、それにより、単一チャンバでの製造に伴う問題が回避される。

【 0 0 5 0 】

更に別の実施形態では、クラスターツール 1 3 0 0 の代わりに、垂直の直列ジオメトリに配列されると共に上述のように構成された複数のチャンバを有する、複数チャンバ式スパッタリングツールを用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】（A）は、従来のばね材料膜の異方性応力偏差によって生じた螺旋状の捻れを示すばね材料応力ゲージの上面図であり、（B）はその部分正面図である。

【図 2】図 1（A）及び図 1（B）に示されている応力ゲージを用いて測定された二軸応力成分に対するスキューの偏差を示すグラフである。

【図 3】本発明によるばね構造を示す上面図である。

【図 4】図 3 に示されているばね構造を線 4 - 4 に沿って切り取った斜視図である。

【図 5】（A）及び（B）は、本発明に従って形成されたばね構造の別の実施形態を示す、図 3 の線 5 - 5 に沿って切った正面断面図である。

【図 6】平衡ばね構造の応力プロファイルを示すグラフである。

【図 7】不平衡ばね構造の応力プロファイルを示すグラフである。

【図 8】本発明の複数の実施形態によるばね構造の製造と関連づけられた処理工程を示す、簡略化した断面側面図である。

【図 9】本発明の複数の実施形態によるばね構造の製造と関連づけられた処理工程を示す、簡略化した断面側面図である。

【図 10】本発明の複数の実施形態によるばね構造の製造と関連づけられた処理工程を示す、簡略化した断面側面図である。

【図 11】本発明の複数の実施形態によるばね構造の製造と関連づけられた処理工程を示す、簡略化した断面側面図である。

【図 12】本発明の複数の実施形態によるばね構造の製造と関連づけられた処理工程を示す、簡略化した断面側面図である。

【図 13】本発明の複数の実施形態によるばね構造の製造と関連づけられた処理工程を示す

10

20

30

40

50

す、簡略化した断面側面図である。

【図 1 4】本発明の複数の実施形態によるばね構造の製造と関連づけられた処理工程を示す、簡略化した断面側面図である。

【図 1 5】本発明の複数の実施形態によるばね構造の製造と関連づけられた処理工程を示す、簡略化した断面側面図である。

【図 1 6】本発明の複数の実施形態によるばね構造の製造と関連づけられた処理工程を示す、簡略化した断面側面図である。

【図 1 7】本発明の複数の実施形態によるばね構造の製造と関連づけられた処理工程を示す、簡略化した断面側面図である。

【図 1 8】M o C r 合金の内部応力に対するアニールの効果を示すグラフである。

10

【図 1 9】付着チャンバ内の様々な地点で測定された、M o C r 合金の内部応力に対する圧力の効果を示すグラフである。

【図 2 0】(A) 及び (B) は、非指向性付着技術及び指向性付着技術をそれぞれ用いたばね材料の付着を示す簡略化した側面図である。

【図 2 1】本発明の別の実施形態によるばね構造の製造に用いられる付着チャンバを示す簡略化した側面図である。

【図 2 2】本発明の更に別の実施形態によるばね構造の製造に用いられるクラスターツールを示す簡略化した上面図である。

【図 2 3】図 2 2 のクラスターツールを用いてばね構造を製造するためのプロセスを示すフロー図である。

20

【符号の説明】

1 0 応力ゲージ

1 0 0 ばね構造

1 0 1 基体

1 1 0 剥離材料部

1 2 0 ばねフィンガー

1 2 2 固定部

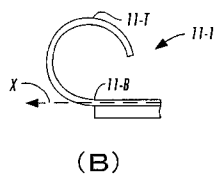
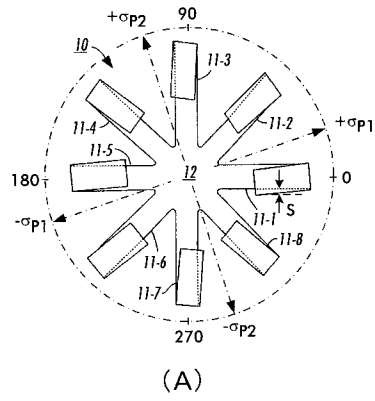
1 2 5 自由部

1 2 6 第 1 層 (下部層)

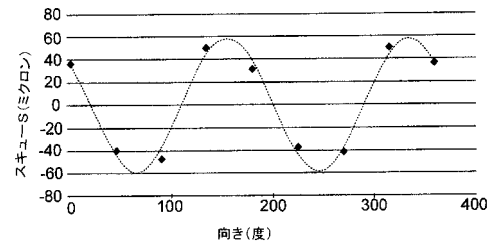
1 2 7 第 2 層 (上部層)

30

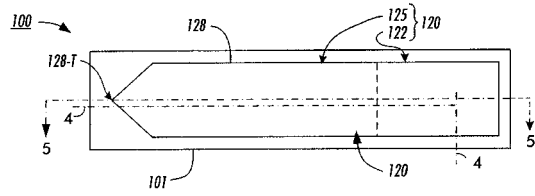
【図 1】



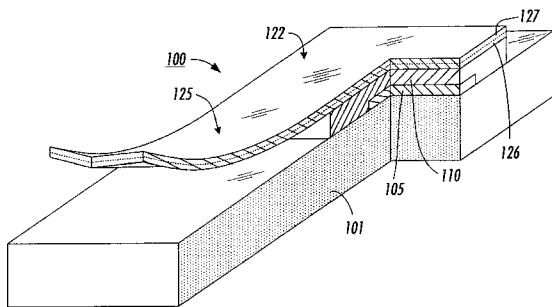
【図 2】



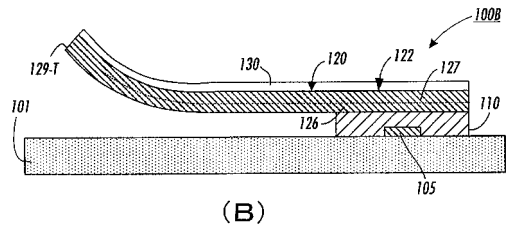
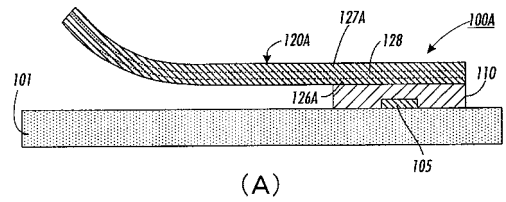
【図 3】



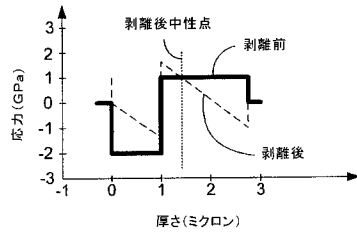
【図 4】



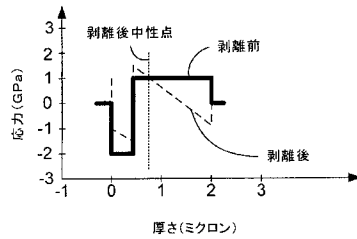
【図 5】



【図 6】



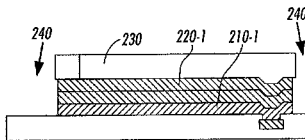
【図 7】



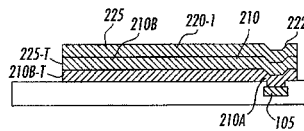
【図 8】



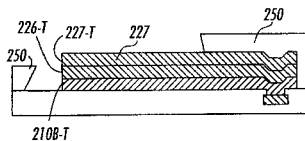
【図 13】



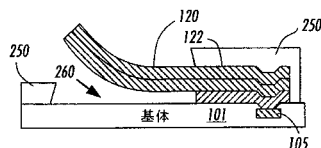
【図 14】



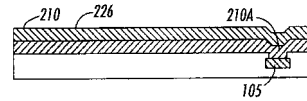
【図 15】



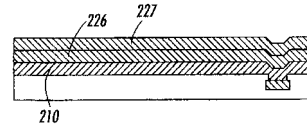
【図 16】



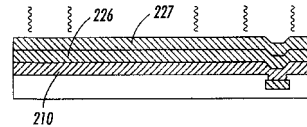
【図 9】



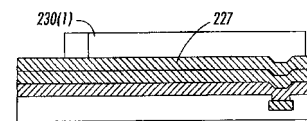
【図 10】



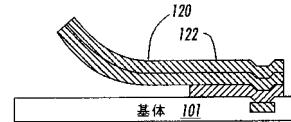
【図 11】



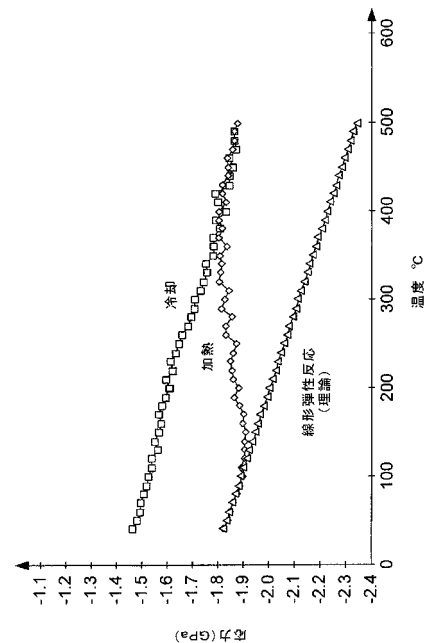
【図 12】



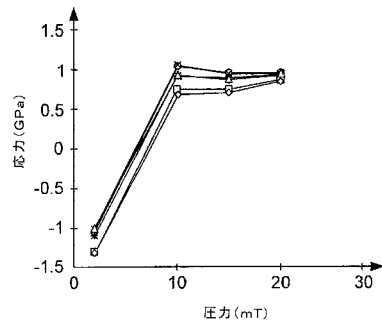
【図 17】



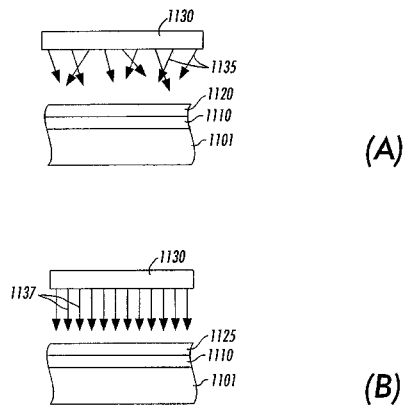
【図 18】



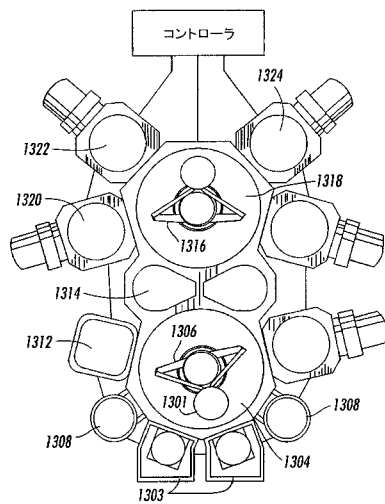
【図 19】



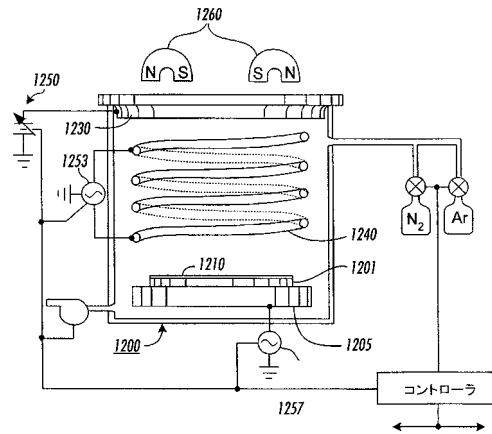
【図 20】



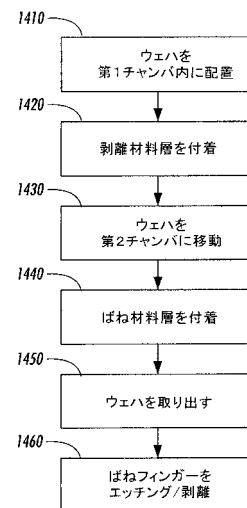
【図 22】



【図 21】



【図 23】



フロントページの続き

(72)発明者 スコット イー・ソルバーク

アメリカ合衆国 9 4 0 4 1 カリフォルニア州 マウンテン ビュー ナンバー 4 マリポサ
アベニュー 5 8 6

(72)発明者 カール エー・リッター

アメリカ合衆国 9 4 3 0 6 カリフォルニア州 パロ アルト ブライアント ストリート 3
2 7 8

審査官 栗田 雅弘

(56)参考文献 特表 2 0 0 1 - 5 1 4 4 3 4 (J P , A)

特開平 1 0 - 0 5 6 1 8 6 (J P , A)

特表平 1 1 - 5 0 6 8 2 9 (J P , A)

特表平 1 1 - 5 0 4 7 2 5 (J P , A)

特開平 0 9 - 0 0 7 9 4 6 (J P , A)

特開 2 0 0 3 - 0 9 7 6 1 7 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

B81B 3/00

B81C 1/00

G01R 1/073

H01L 21/66