

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5574653号  
(P5574653)

(45) 発行日 平成26年8月20日 (2014. 8. 20)

(24) 登録日 平成26年7月11日 (2014. 7. 11)

(51) Int.Cl.		F I		
HO 1 L 21/3065 (2006. 01)		HO 1 L 21/302	1 O 5 A	
HO 1 L 21/027 (2006. 01)		HO 1 L 21/30	5 7 O	
GO 3 F 1/00 (2012. 01)		GO 3 F 1/00	N	

請求項の数 14 外国語出願 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2009-217751 (P2009-217751)	(73) 特許権者	390040660
(22) 出願日	平成21年9月18日 (2009. 9. 18)		アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド
(65) 公開番号	特開2010-114424 (P2010-114424A)		APPLIED MATERIALS, INCORPORATED
(43) 公開日	平成22年5月20日 (2010. 5. 20)		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
審査請求日	平成24年9月18日 (2012. 9. 18)	(74) 代理人	100109726
(31) 優先権主張番号	12/234, 101		弁理士 園田 吉隆
(32) 優先日	平成20年9月19日 (2008. 9. 19)	(74) 代理人	100101199
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 小林 義教

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スペーサマスクパターニングプロセスフローを用いた大きい特徴部と配列との一体パターニング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上にパターン形成特徴部を形成する方法であって、  
 該基板上にコア材料の犠牲構造層を形成するステップと、  
 該犠牲構造層上に保護材料の保護層を形成するステップと、  
 該犠牲構造層と該保護層をエッチングによりパターン形成して、パターン形成構造とさらされた基板領域とを形成するステップであって、該パターン形成構造が、第一ライン幅と第一間隔を持つ少なくとも二つの狭いパターン形成構造と、該第一ライン幅より大きい第二ライン幅を持つ少なくとも一つの広いパターン形成構造とを含み、該狭いパターン形成構造と広いパターン形成構造は、各々が該コア材料の層の上に該保護材料の層を備える、前記ステップと、

10

該保護材料を自己制限的等方性エッチングするステップを少なくとも三サイクル繰り返して、該保護材料が該少なくとも二つの狭いパターン形成構造の該コア材料の層の上から実質的に除去され（少なくとも二つの狭いコアを後に残し）、該保護材料の一部が該少なくとも一つの広いパターン形成構造の該コア材料の層の上に残存する（広いコア上に保護部分を後に残す）ステップと、

該残存している構造と、さらされた基板とにスペーサ材料のコンフォーマル層を形成するステップと、

該コンフォーマル層を異方性エッチングして、該少なくとも二つの狭いコアと、さらされた基板領域とをさらすステップと、

20

該少なくとも二つの狭いコアを除去するステップと、  
を含む、前記方法。

【請求項 2】

該さらされた基板領域を所定の深さまでエッチングするステップと、  
残存するスペーサ材料と残存する保護材料と、残存するコア材料とを除去するステップ  
と、  
を更に含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

スペーサ材料のコンフォーマル層を形成するステップが、スペーサ材料のコンフォーマ  
ル層を形成する工程を含み、該コンフォーマル層の厚さが該第一ライン幅にほぼ等しい、  
請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 4】

該犠牲構造層をパターン形成するステップが、該犠牲構造層をパターン形成する工程を  
含み、該第二ライン幅が該第一ライン幅より少なくとも三倍だけ大きい、請求項 1 に記載  
の方法。

【請求項 5】

保護材料の保護層を形成するステップが、酸化シリコン又は窒化シリコンの層を形成す  
る工程を含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

保護材料の保護層を形成するステップが、該コア材料の上にシリコンを多く含む酸化シ  
リコンの初期薄層を形成し、その後、該シリコンを多く含む酸化シリコンの初期薄層の上  
に酸化シリコンのバルク層を形成する工程を含む、請求項 5 に記載の方法。

20

【請求項 7】

コア材料の犠牲構造層を形成するステップであって、該コア材料が、約 10% の水素～  
約 60% の水素の原子組成を持つ水素化アモルファス炭素を含む、前記ステップを含む、  
請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

単一高解像度フォトリソグラフィを用いて保護材料層がコア材料犠牲層の上に形成された基板  
をパターン形成する方法であって、

該保護材料層の上にフォトリソグラフィ層を堆積させるステップと、

30

該フォトリソグラフィ層を該単一高解像度フォトリソグラフィを通して放射線にさらし、該フォ  
トリソグラフィ層を現像して、該高解像度フォトリソグラフィによって画成された第一パターンを形成  
することによって、該フォトリソグラフィ層をパターン形成するステップであって、該第一パ  
ターンが、第一幅と第一ピッチを持つ複数の狭い構造と該第一幅より大きい第二幅を持つ  
少なくとも一つの広い構造を含む、前記ステップと、

該第一パターンを該保護材料層と該コア材料犠牲層にエッチングにより転写し、その後  
、該フォトリソグラフィ層を除去して、該複数の狭い構造に対応する複数の狭いスタックと、  
該少なくとも一つの広い構造に対応する少なくとも一つの広いスタックとを含む犠牲材料  
の上に保護材料のパターン形成スタックを形成するステップと、

自己制限的等方性エッチングプロセスを用いて該保護材料層をエッチングするステップ  
を少なくとも三サイクル繰り返して、該複数の狭いスタックの該コア材料犠牲層の上から  
実質的に全ての保護材料を除去し、複数の狭い該コア材料層が後に残り且つ該少なくとも  
一つの広いスタックの該コア材料犠牲層の上に保護材料が残るステップと、  
を含む、前記方法。

40

【請求項 9】

該残存している構造と、さらされた基板とにスペーサ材料のコンフォーマル層を形成す  
るステップと、

該コンフォーマル層をエッチングして、該狭いコアの各側面上に低いスペーサと該広い  
スタックの各側面上に高いスペーサとを残しつつ該複数の狭いコアをさらすステップと、  
該複数の狭いスタックにおける該犠牲構造材料を取り除き、低いスペーサと高いスペー

50

サが残り且つ該広いスタックが残るステップと、

該基板をエッチングしつつハードマスクとして該低いスペーサと高いスペーサと広いスタックを用いて、該基板に第二パターンを転写するステップであって、該第二パターンの一部が、該第一ピッチより小さい第二ピッチを持つ、前記ステップと、

スペーサ材料の該低いスペーサと、高いスペーサと、該広いスタックとを除去するステップと、

を更に含む、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

スペーサ材料のコンフォーマル層を形成するステップが、スペーサ材料のコンフォーマル層を形成する工程を含み、該狭い構造の側壁上の該コンフォーマル層の厚さが、該第一ライン幅の約 80% ~ 約 120% である、請求項 9 に記載の方法。

10

【請求項 11】

該フォトリソ層をパターン形成するステップが、該フォトリソ層をパターン形成する工程を含み、該複数の狭い構造がフォトリソグラフィプロセスの該解像限界において或いはその近くでパターン形成される、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 12】

該犠牲層の上に形成された該保護材料層が、該第一幅の少なくとも二倍の厚さを持ち、該保護材料層が、酸化シリコンを含み、該コア材料が、水素化アモルファス炭素を含む、請求項 8 に記載の方法。

20

【請求項 13】

該第二ピッチが、該第一ピッチの半分である、請求項 9 に記載の方法。

【請求項 14】

可変幅ラインと可変幅スペースの双方を作る、請求項 9 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【背景】

【0001】

[0001]本出願は、一般的には、基板処理法、特に、基板上の特徴部の密度を増加させるプロセスの順序に関する。

【0002】

[0002]集積回路 (IC) の小型化によって、性能の向上、容量の増加及び/又はコストの低下が得られることになる。各々のデバイスの小型化には、特徴部を形成するのにより精巧な技術が要求される。基板上に特徴部をパターン形成するために、一般に、フォトリソグラフィが用いられている。例示的な特徴部は、金属、半導体、又は絶縁体であってもよい材料のラインである。ライン幅は、ラインの幅であり、間隔は、隣接ラインの間の距離である。ピッチは、二つの隣接するライン上の同一点の間の距離として定義される。ピッチは、ライン幅と間隔の和に等しい。しかしながら、光学部品や光又は放射線の波長のような要因のために、フォトリソグラフィ技術は最小のピッチを持ち、そのピッチより小さい特定のフォトリソグラフィ技術は、特徴部を確実に形成することができない。従って、フォトリソグラフィ技術の最小ピッチによって、特徴部サイズの縮小が制限され得る。

30

【0003】

[0003]自己整合型ダブルパターンニング (SADP) は、想定される最小ピッチを超えてフォトリソグラフィ技術の能力を伸ばす一つの方法である。このような方法は、図 1A - 図 1H に示される。図 1A を参照すると、フォトリソグラフィを用いて、基板 100 上に形成される犠牲構造層 105 上のフォトリソ層内にライン 114 のパターンを作る。図 1B に示されるように、その後、エッチングプロセスを用いてパターンを犠牲構造層 105 に転写して、プレイスホルダー、マンドレル又はコア 106 と呼ばれる特徴部を形成する。その後、フォトリソライン 114 を取り除き (図 1C)、引き続き、図 1D に示されるように、コア 106 の上にコンフォーマル層 120 の材料を堆積させる。その後、異方性スペーサエッチングで水平な表面からコンフォーマル材料を優先的にエッチングすることによってコア 106 の側面上にスペーサ 121 を形成する。得られた構造を図 1

40

50

Eに示す。その後、コア106を除去して、後にスペーサ121(図1F)が残る。この時点で、図1Gに示されるように、基板をパターン形成するためのエッチングマスクとしてスペーサ121を用い、引き続き、除去してもよい(図1H)。従って、パターン形成フォトリソ114の所定ピッチが一つの特徴部を含む場合には、同一幅が二つの特徴部を含む。リソグラフィライン幅が変化せずに、ピッチが縮小されている。

#### 【0004】

[0004]上記のSADP法は、隣接ライン或いは特徴部の間隔を変化させているが、典型的には、元のコンフォーマル層120の所定の厚さに対して単一の幅だけの特徴部を作る。他のSADP技術、例えば、図1A-1Hに説明されるSADP法のプロセスのネガティブトーンの変形例は、相互に唯一の間隔距離だけ離して間隔がとられる可変幅の特徴部を可能にする。

10

#### 【0005】

[0005]多くの集積回路は、異なる幅と間隔距離(間隔)の特徴部を使っている。従って、複数の高解像度フォトマスクを使って、隣接特徴部の間に異なる幅の特徴部を製造し更に/又は異なる間隔を可能にする一部のSADP技術が開発されている。複数の高解像度フォトマスクを使うと、アラインメントの難問が存在し、製造コストも増大する。

#### 【概要】

#### 【0006】

[0006]本発明の実施形態は、パターン形成特徴部(patterned features)の幅とパターン形成特徴部の間隔(トレンチ幅)の双方を集積回路内で変化させつつ単一高解像度フォトマスクを用いた標準フォトリソグラフィ処理技術を用いて可能であるものと比較して高密度(即ち、低ピッチ)を持つ基板上にパターン形成特徴部を形成する方法に関する。

20

#### 【0007】

[0007]一実施形態において、基板上にパターン形成特徴部を形成する方法であって、基板上にコア材料の犠牲構造層を形成するステップと、犠牲構造層上に保護材料の保護層を形成するステップと、犠牲構造層と保護層をパターン形成して、パターン形成特徴部とさらされた基板領域とを形成するステップであって、パターン形成構造が、第一ライン幅と第一間隔を持つ少なくとも二つの狭いパターン形成構造と、第一ライン幅より大きい第二ライン幅を持つ少なくとも一つの広いパターン形成構造を含み且つ狭いパターン形成構造と広いパターン形成構造が各々コア材料の層の上に保護材料の層を含む、前記ステップと、保護材料をエッチングして、保護材料が少なくとも二つの狭いパターン形成構造から実質的に除去され(少なくとも二つの狭いコアが後に残り)、保護材料の一部が少なくとも一つの広いパターン形成構造上に残存する(広いコア上に保護部分が後に残る)ステップと、残存している構造とさらされた基板の上にスペーサ材料のコンフォーマル層を形成するステップと、コンフォーマル層を異方性エッチングして、少なくとも二つの狭いコアとさらされた基板領域をさらすステップと、少なくとも二つの狭いコアを除去するステップとを含む。

30

#### 【0008】

[0008]一実施形態において、コンフォーマル層の厚さは第一ライン幅とほぼ同じであり、第二ライン幅は第一ライン幅より少なくとも三倍だけ大きく、保護材料層は酸化シリコン又は窒化シリコンの層を備え、更に/又はコア材料はポリシリコン、水素化アモルファスカーボン、窒化シリコン及び酸化シリコンの少なくとも一つを含んでいる。

40

#### 【0009】

[0009]他の実施形態において、単一高解像度フォトマスクを用いて保護材料層がコア材料犠牲層の上に形成された基板をパターン形成する方法であって、保護材料層の上にフォトリソ層を堆積させるステップと、フォトリソ層を単一高解像度フォトマスクを通して放射線にさらし、それを現像して、高解像度フォトマスクによって画成された第一パターンを形成することによって、フォトリソ層をパターン形成するステップであって、第一パターンが、第一幅と第一ピッチを持つ複数の狭い構造と、第一幅より大きい第

50

二幅を持つ少なくとも一つの広い構造とを含む、前記ステップと、第一パターンを保護材料層とコア材料層に転写して、複数の狭い構造に対応する複数の狭いスタックと、少なくとも一つの広い構造に対応する少なくとも一つの広いスタックとを含む犠牲材料の上に保護材料のパターン形成スタックを形成するステップと、自己制限的等方性エッチングを用いて保護材料層をエッチングして、複数の狭いスタックから実質的に全ての保護材料を除去し、複数の狭いコアが後に残り且つ少なくとも一つの広いスタック上に保護材料が残るステップとを含む。

【 0 0 1 0 】

【0010】一部の実施形態において、その方法は、更に、残存している構造とさらされた基板の上にスペーサ材料のコンフォーマル層を形成するステップと、コンフォーマル層をエッチングして、狭いコアの各側面上に低いスペーサと広いスタックの各側面上に高いスペーサとを残しつつ複数の狭いコアをさらすステップと、複数の狭いスタックにおける犠牲構造材料を取り除き、低いスペーサと高いスペーサが残り且つ広いスタックが残るステップと、基板をエッチングしつつハードマスクとして低いスペーサと高いスペーサと広いスタックとを用いて、基板に第二パターンを転写し、第二パターンの一部が第一ピッチより小さい第二ピッチを持つステップと、スペーサ材料の低いスペーサと高いスペーサと広いスタックを除去するステップとを含む。

10

【 0 0 1 1 】

【0011】個々の一実施形態において、狭い構造の側壁上のコンフォーマル層の厚さは、第一ライン幅の約80%～約120%である。他の個々の実施形態において、狭い構造の側壁上のコンフォーマル層の厚さは、第一ライン幅の約90%～約110%である。

20

【 0 0 1 2 】

【0012】一部の実施形態において、複数の狭い構造は、フォトリソグラフィプロセスの解像限界において或いはその近くでパターン形成され、更にノ又は犠牲層の上に形成された保護材料の層は、第一幅の少なくとも二倍の厚さを持つ。更に一部の追加実施形態において、自己制限的等方性エッチングプロセスは、二サイクル以上を含み、更にノ又はHF蒸気エッチングか又は基板を $NF_3$ と、 $NH_3$ 及び $H_2$ の少なくとも一つにさらすことを含む。

【 0 0 1 3 】

【0013】この開示内容の適用領域は、更に、以下に示される詳細な説明から明らかになるであろう。様々な実施形態を示しつつ、詳細な説明及び個々の例は、説明のためだけを意図し、この開示内容の範囲を必ずしも制限することを意図しないことは理解されるべきである。

30

【 0 0 1 4 】

【0014】本発明の本質及び利点の理解は、更に、以下に示される明細書及び図面の残りの部分によって可能になる。図は、本発明の詳細な説明の部分に組み込まれている。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 5 】

【図1A】図1Aは、従来技術による在来の自己整合型ダブルパターンング(SADP)プロセスを示す断面図である。

40

【図1B】図1Bは、従来技術による在来の自己整合型ダブルパターンング(SADP)プロセスを示す断面図である。

【図1C】図1Cは、従来技術による在来の自己整合型ダブルパターンング(SADP)プロセスを示す断面図である。

【図1D】図1Dは、従来技術による在来の自己整合型ダブルパターンング(SADP)プロセスを示す断面図である。

【図1E】図1Eは、従来技術による在来の自己整合型ダブルパターンング(SADP)プロセスを示す断面図である。

【図1F】図1Fは、従来技術による在来の自己整合型ダブルパターンング(SADP)プロセスを示す断面図である。

50

【図 1 G】図 1 G は、従来技術による在来の自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスを示す断面図である。

【図 1 H】図 1 H は、従来技術による在来の自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスを示す断面図である。

【図 2】図 2 は、本発明の一実施形態による自己整合型ダブルパターンングプロセスと関連があるステップを示すフローチャートである。

【図 3 A】図 3 A は、本発明の実施形態による自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスを示す断面図である。

【図 3 B】図 3 B は、本発明の実施形態による自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスを示す断面図である。

【図 3 C】図 3 C は、本発明の実施形態による自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスを示す断面図である。

【図 3 D】図 3 D は、本発明の実施形態による自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスを示す断面図である。

【図 3 E】図 3 E は、本発明の実施形態による自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスを示す断面図である。

【図 3 F】図 3 F は、本発明の実施形態による自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスを示す断面図である。

【図 3 G】図 3 G は、本発明の実施形態による自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスを示す断面図である。

【図 3 H】図 3 H は、本発明の実施形態による自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスを示す断面図である。

【図 3 I】図 3 I は、本発明の実施形態による自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスを示す断面図である。

【図 3 J】図 3 J は、本発明の実施形態による自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスを示す断面図である。

【図 3 K】図 3 K は、本発明の実施形態による自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスを示す断面図である。

【 0 0 1 6 】

[0018]添付の図において、同様の要素及び/又は特徴部は、同一の参照符号を有する場合がある。更に、同一タイプの様々な要素は、符号を同様の要素の間で区別するダッシュや第二符号で続けることによって区別する場合がある。明細書において第一符号だけが用いられる場合には、第二符号に無関係に同一の第一符号を持つ同様の要素のいずれか一つに説明が適用できる。

【詳細な説明】

【 0 0 1 7 】

[0019]本発明の実施形態は、パターン形成特徴部の幅とパターン形成特徴部の間の間隔 ( トレンチ幅 ) の双方を集積回路内で変化させつつ単一高解像度フォトマスクを用いた標準フォトリソグラフィ処理技術を用いて可能なものと比較して高密度 ( 即ち、低ピッチ ) を持つ基板上にパターン形成特徴部を形成する方法に関する。

【 0 0 1 8 】

[0020]自己整合型ダブルパターンング ( S A D P ) プロセスの最も一般的な使用の一つは、平行ラインの高密度配列を形成することである。ポジティブトーンの S A D P プロセス ( 例えば、図 1 のプロセス ) は、エッチングマスクとしてスペーサを用い、同一幅のラインが得られる。このことは、これ自体容易にビットラインを形成することに役立つが、より広いラインと特徴部 ( 例えば、パッド、電力供給ライン、ストリングセレクトライン等 ) は、通常、ワーキングデバイスを形成する為に同一層上に必要である。ネガティブトーンの S A D P プロセスは、図 1 F に示されるステップ後、スペーサ 1 2 1 の間にギャップ充填材料を導入する。その後、ギャップ充填材料を平坦化し、スペーサ 1 2 1 を除去し、ギャップ充填材料をエッチングマスクとして使用する。従って、ネガティブトーンの S

10

20

30

40

50

A D Pプロセスにおいてトレンチは同一幅であり、ラインの幅は集積回路内で変化してもよい。一定のライン幅又は一定のトレンチ幅を持つことの制約を除去することは、回路設計者がより柔軟にS A D Pを用いることを可能にする。本明細書に説明される方法は、単一高解像度フォトマスクを用いつつ、この柔軟さを達成している。

【 0 0 1 9 】

[0021]本発明をより理解し評価するために、本発明の一実施形態による自己整合型ダブルパターンングプロセスに関連するステップを示すフローチャートである図2と、図2に示されるステップによって形成される構造の断面図である図3 A-図3 Kを参照する。この方法は、基板300上に(しばしばコア層と呼ばれる)犠牲構造層302と構造層302の上の保護層304を形成することによって開始する(ステップ252)。その後、層のスタックをフォトレジストで被覆し、フォトレジストをパターン形成して(ステップ254)、図3 Aに示されるように狭いパターン形成構造306と広いパターン形成構造308を形成する。狭いパターン形成構造306はフォトリソグラフィプロセスの解像限界において或いはその近くでパターン形成することになり、保護層は狭いパターン形成構造306の幅の少なくとも二倍の厚さを持つことになる。例えば、狭いパターン形成構造306は狭いラインの配列であってもよく、広いパターン形成構造308は広いライン、パッド、又は他の同様の構造であってもよい。図3 Aに示されるように、広い構造308の幅は狭い構造306よりかなり大きくなり得る。

10

【 0 0 2 0 】

[0022]その後、エッチングプロセスによってパターンが保護層304と犠牲構造層302の双方に転写されて(ステップ256)、(図3 Bに示されるように)狭い構造310と広い構造312を形成する。次に、フォトレジストを、例えば、標準的フォトレジストストリッピングプロセスを用いて除去して、図3 Cに示されるように狭いパターン形成構造314と広いパターン形成構造316が残る。各々の狭いパターン形成構造314は、コア材料の層314 Bの上に形成された保護材料の層314 Aを含む層のスタックを含む。同様に、広いパターン形成構造316は、コア材料の層316 Bの上に形成された保護材料の層316 Aを含む。

20

【 0 0 2 1 】

[0023]その後、高度に制御可能な等方性エッチングステップ(ステップ260)を用いて、図3 D-図3 Fに示されるように狭いパターン形成構造314の最上部から保護材料層314 Aを除去するとともに広いパターン形成構造316の最上部から保護材料層316 Bの一部を除去する。本明細書に用いられるように、高度に制御可能な等方性エッチングプロセスは、特徴部のサイズ或いは密度に無関係に高度のエッチング速度の均一性を持つエッチングプロセスである。このようなプロセスは、側壁と最上部をほぼ同一速度でエッチングし、比較的急に停止させることができる。整数回繰り返すことができる自己制限的エッチングプロセスは、各繰り返しが保護材料のさらされた表面から同様の厚さを除去し、このタイプの制御を達成する一方法である。自己制限的エッチングを用いる利点と特徴は、プロセスフローの最初の導入後に、より詳細に述べる。

30

【 0 0 2 2 】

[0024]三サイクルの自己制限的エッチングプロセスの一サイクルの後のパターン形成構造を図3 Dに示す。狭いパターン形成構造314の層314 Aと広いパターン形成構造316の層316 Aの側壁と最上部をほぼ同量エッチングする。自己制限的エッチングプロセスは、コア層302と基板300と比較して保護層304に対するエッチング選択性が高くなければならない。即ち、このプロセスは、層302或いは基板300より非常に速い速度で層304をエッチングしなければならない。

40

【 0 0 2 3 】

[0025]自己制限的エッチングの第二サイクルは、追加の材料(第一サイクルと同一のエッチング深さ)を除去し、得られた構造を図3 Eに示す。自己制限的エッチングの第三の繰り返しは、狭いコア314 Bの最上部から保護材料314 Aを完全に除去する(図3 Fに図示する)が、広いコア316 B上に保護材料316 Aを残す。制御可能なエッチング

50

プロセスの終わりに、保護材料 3 1 6 A は高さや幅が縮小する。最上部と両側面から直線的に測られる縮小量はプルバック 3 1 8 と呼ばれ、示される大きさは狭いコア 3 1 4 B の幅の約半分である。広いコア 3 1 6 B の幅は、保護材料 3 1 6 A の一部を自己制限的エッチングの第三の繰り返しの後に残ることを可能にするために狭いコア 3 1 4 B の幅の少なくとも三倍であってもよい。

【 0 0 2 4 】

[0026]その後、図 3 G に示されるようにスペーサ材料のコンフォーマル層 3 2 0 を、残存している構造 (ステップ 2 6 2 ) とさらされた基板上に堆積させる。典型的には、コンフォーマル層 3 2 0 は、S A C V D 酸化シリコン層或いは窒化シリコン層のような誘電体層であり、好ましくは狭いパターン形成構造 3 1 4 の幅とほぼ同じ厚さに堆積させる。本明細書に用いられるコンフォーマルカバレッジは、表面と同一の形に表面上に大体均一な材料層を与えることを意味する。即ち、層の表面と覆われている表面は大体平行である。堆積された材料が 1 0 0 % コンフォーマルであり得ないので、“大体”という用語は許容され得る許容範囲を可能にすることを当業者は認識する。スペーサ材料のコンフォーマル層は、狭いコア 3 1 4 B の幅の約 8 0 % ~ 約 1 2 0 % 或いは約 9 0 % ~ 約 1 1 0 % の側壁厚さ 3 1 9 があってもよい。

10

【 0 0 2 5 】

[0027]その後、コンフォーマル層を異方性エッチング (垂直エッチング) して、図 3 H に示されるように基板 3 0 0 を面積 3 2 3 でさらすとともに各々の狭いコア 3 1 4 B の上面をさらす (ステップ 2 6 4 )。異方性エッチングステップは、狭いコア 3 1 4 B の各々の側部上に低いスペーサ 3 2 1 を作る。コンフォーマル層 3 2 0 部分の上に低いスペーサが残る。異方性エッチングは、典型的には、広いパターン形成特徴部 3 1 6 の最上部からコンフォーマル材料を除去するが、広いコア 3 1 6 B の上に保護材料 3 1 6 A の少なくとも一部を残す。異方性エッチングによって、広いコア 3 1 6 B と、残存している保護材料 3 1 6 A との双方に隣接する高いスペーサ 3 2 2 も残る。従って、広いコア 3 1 6 B は、下の基板 3 0 0、各々の側部が高いスペーサ 3 2 2、上の保護材料 3 1 6 A によって境を接することになる。続いてのステップ中にマスクの完全性を維持するために、この処理段階で広いコアの部分さらされることはない。

20

【 0 0 2 6 】

[0028]次に、さらされたコア材料をエッチングステップで除去して (ステップ 2 6 6 )、図 3 I に示されるように高いスペーサ 3 2 2 が取り囲む残存している広いパターン形成構造 3 1 6 と共に低いスペーサ 3 2 1 が残る。コア材料を除去するために用いられるエッチングステップは、広いコアとスペーサのコンフォーマル材料 (スペーサ材料) との上の保護材料に相対してコア材料をエッチングするのに高い選択性を示す。保護材料は、コアエッチングプロセス中、実質的に無傷のままであるか又は不完全な侵食に耐える。その後、低いスペーサ 3 2 1、高いスペーサ 3 2 2、広いパターン形成構造 3 1 6 を含む残存する特徴部を、エッチングステップ中、ハードマスクとして用い、図 3 J に示されるように低いスペーサ 3 2 1 によって画成されたパターンが、さらされた基板 3 0 0 に転写される (ステップ 2 6 8 )。その後、低いスペーサ 3 2 1、高いスペーサ 3 2 2、保護材料 3 1 6 A、コア材料 3 1 6 B を除去して (ステップ 2 7 0 )、図 3 K に示される基板 3 0 0 を残すことができ、ここには、図 3 A について述べたフォトリソグラフィプロセスによって形成されたピッチの本質的に半分の狭いパターン面積 3 3 0 のピッチを持つエッチングされたパターンが含まれている。基板 3 0 0 には、また、狭いパターン形成特徴部 3 3 2 と広いパターン形成特徴部 3 3 4 の双方が含まれている。

30

40

【 0 0 2 7 】

[0029]本明細書に用いられる“基板”は、層がその上に形成された或いは形成されていない支持基板であってもよい。支持基板は、様々なドーピング濃度やプロファイルの絶縁体或いは半導体であってもよく、例えば、集積回路の製造において用いられるタイプの半導体基板であってもよい。コア、保護層、スペーサに用いられる材料の選択には、かなりの柔軟性がある。例示的材料系は、開示された実施形態による自己整合型ダブルパターニ

50



ングプロセスの追加の詳細を説明するのに有効になる場合がある。第一例として、犠牲構造層 302、保護層 304、コンフォーマル層 320 は、それぞれ、アモルファス炭素、酸化シリコン、窒化シリコンである。アモルファス炭素膜は、カリフォルニア州サンタクララの Applied Materials 製の Advanced Patterning Film<sup>TM</sup> (APF) であってもよい。APF は、2003 年 6 月 3 日に発行された米国特許第 6,573,030 号に説明され、この開示内容は、本明細書にすべてのために全体で援用されている。

#### 【0028】

[0030] コアエッチングは、アモルファス炭素コアをアッシングして、図 3 I の構成を得るステップを含んでもよい。アッシングは、基板の上のプラズマに O<sub>2</sub> 又は O<sub>3</sub> を導入して、アモルファス炭素を酸化し、且つ副生成物をポンプで排気することによって、しばしば行われる。アッシングプロセスは、また、ハロゲン含有ガスを含んでもよい。用いられる前駆物質と無関係に、高いスペーサ 322 と保護層 316 A は、広いコア 316 B と化学反応することからプラズマ励起アッシング物質を維持する。この保護は、図 3 H において広い複合特徴部 316、322 の下の基板をエッチングすることを避けるために望ましい。高いスペーサ 322 が広いコア 316 B を保護するために、図 3 F の狭いコア 314 B の最上部から保護材料 314 A を除去するのに用いられるエッチングプロセスのオーバーエッチングは少しでなければならない。

#### 【0029】

[0031] このステップに用いられる任意のエッチングプロセスは、保護材料のほとんどすべてが狭いコア 314 B の上から実質的に除去されることを確実にするために少なくとも多少のオーバーエッチングを持つ。ほとんどのエッチングプロセスは、かなりのオーバーエッチングを必要とし、ウエハ、複数のウエハ、また、多くのウエハ全体のエッチング速度の固有のばらつきのために一部の特徴部から非常に多くの材料を除去することになる。プロセスの不均一性と、遅いエッチング可能な表面積の領域に比べて速いエッチング可能な表面積の領域におけるエッチング速度の差を説明するマイクロローディングとを含むこのばらつきには多くの原因がある。速いエッチング可能な表面積の領域は、より急速にエッチングガスを消費し、すぐ隣りの正味のエッチング速度が遅くなる。湿式プロセスは、また、突然の方法でウエハ又は多くのウエハのすべての一部からエッチング剤を同時に除去することができない欠点を持っている。

#### 【0030】

[0032] 結果として、エッチングプロセスは、この場合は、ゆっくりとエッチングされた領域が狭いコア 314 B の最上部から保護材料 314 A を取り除くことを確実にするために 100% (2x) のオーバーエッチングを目標としてもよい。100% オーバーエッチングは、一部の特徴部が 100% 未満を受けることを意味するが、多くの特徴部は 100% を超えるオーバーエッチングを受けることを意味する。保険余力 (insurance margin) の結果として、プロセスは、プロセスフローに影響するのに必要であるより多くの材料を消費する。広いコアの上の保護材料 316 A が減退する距離をプルバック 318 と呼ぶ。プルバックは、オーバーエッチングが 100% に近づくにつれて高いスペーサ 322 の中央付近にギャップを作るのに十分な大きさになり得る。アッシング剤を浸透させるのに十分に大きな高いスペーサ 322 中のギャップは、広いコア 316 B の著しい酸化を生じることになり、基板 300 の一部をさらしてもよい。

#### 【0031】

[0033] 高い均一性と比較的突然の終了とを特徴とする高度に制御可能なエッチングプロセスが用いられてもよい。自己制限的エッチングプロセスにおいて、ガス或いは蒸気 (エッチング剤) が表面と反応して、後で除去される固体の副生成物を形成する場合がある。固体の副生成物は、エッチング剤と反応することを許容する表面の厚さを制限する。ガス濃度や基板温度のようなプロセスパラメータは、プロセスがかなり遅くなる前に材料から除去される厚さを決定することを援助する。この自己制限的エッチングプロセス順序は、整数回繰り返して、選択可能な全ての厚さが除去可能である。プロセスパラメータは、サ

10

20

30

40

50

イクル数が、除去される全ての厚さのスルーットと正確さとの間の釣り合いを与えるように選ばれる。自己制限的エッチングが非常に高い均一性とエッチング速度制御を示すが、開示された実施形態は自己制限的エッチングプロセスに限定されない。他のエッチングプロセスは、必要とされる均一性と制御を示し、高いスペーサ322中にギャップを作ることを避けてもよい。実施形態において、十分に制御されたエッチングプロセスは、狭いコア314Bの最上部から保護材料314Aを取り除くために約50%未満のオーバーエッチングを必要とする場合がある。他の十分に制御されたエッチングプロセスを用いるプロセスフローも、本明細書に示される実施形態と特許請求の範囲内である。

#### 【0032】

[0034]保護層は、異なる実施形態において、窒化シリコン又は酸化シリコンから作られる場合がある。成熟した自己制限的エッチングプロセスは、酸化シリコンに利用可能であるが、今のところ窒化シリコンに利用可能でなく、第一例の保護層として二酸化シリコンが用いられる結果となっている。酸化シリコンに対して調整される自己制限的エッチングプロセスは、固体の副生成物を形成するHF蒸気に表面をさらし、固体の副生成物が除去されるまで更に反応を抑えることを含む。HF蒸気にさらすことと固体の副生成物の除去を交互に行う対のステップの順序は繰り返すことができ、エッチング速度のほぼ原子層制御を与えることができる。より高いエッチング速度は、エッチング速度の一部の制御性を犠牲にすることによって自己制限的エッチングプロセスによって達成することができる。HF蒸気は、別のチャンネルを通過して基板プロセスチャンバに前駆物質（例えば、 $\text{NH}_3$ 又は $\text{H}_2$ と $\text{NF}_3$ ）を流すことによって生成されてもよい。チャンバに入った後、前駆物質が反応して、HF蒸気を形成する。HF蒸気技術は、カリフォルニア州サンタクララのApplied Materials製のいくつかの製品に一体化される。

#### 【0033】

[0035]広いアモルファス炭素コア316Bとの接合部付近の保護層316Aの酸素含有量は、アッシングを引き起こす可能性がある。このことは、広い特徴部の完全性を危うくする。アッシングを避けるために、酸化シリコンの堆積はシリコンを多く含む接合部から始め、その後、酸化シリコンの標準化学量論組成に移行してもよい。シリコンを多く含む接合部の酸素含量は少なく、広いコア316Bのアッシングを抑制する。

#### 【0034】

[0036]犠牲構造層（コア）302、保護層304、コンフォーマル層（スペーサ）320に用いられる材料の選択は、これまで説明したものと異なってもよい。一般に、アモルファス炭素の犠牲構造層302とシリコン基板300については、エッチング剤が酸化シリコン及び窒化シリコン双方の上に高シリコン選択性で利用可能であるので、保護層304は酸化シリコン又は窒化シリコンであってもよい。これにより、保護層を完全に除去せずにトレンチが基板内でエッチングされることを許容する。特に、図2A-図2Kに関して説明されたプロセスフローが実際には幾何学的図形であるので、他の基板が用いられてもよく、他の材料層がシリコン基板の最上部に用いられ、その後、他の材料をこれらの役割に適切にされてもよい。開示された実施形態において、スペーサは、酸化シリコン、窒化シリコン又はポリシリコンであってもよい。スペーサの為に酸化シリコンをアモルファス炭素コアと用いると、酸化シリコンアモルファス炭素接合部が形成され、シリコンを多く含む接合部の生成から利益を受けて、アッシングを防止することになる。

#### 【0035】

[0037]更に材料の選択を一般化すると、本明細書に説明されるプロセスフローの利点を得るために、コア314Bのエッチング速度は低いスペーサ321のエッチング速度より大きくなければならない。その差が、低いスペーサ321の少なくとも一部を残して、ポジティブトーンプロセスにおいて下に横たわる基板を保護しつつ、コア314Bを除去することを可能にする。エッチングプロセスガスとエッチング速度は、しばしば窒化シリコンと酸化シリコンに似ている。酸化シリコンスペーサを残しつつ窒化シリコンコアを除去すると（又は逆もまた同じ）、特殊エッチングが要求されることになり、おそらくありそうな選択でないことになる。しかしながら、窒化シリコン或いは酸化シリコンのスペーサ

10

20

30

40

50

と保護層と組み合わせてポリシリコンをコアに用いてもよい。実施形態において、コア材料は、ポリシリコン、水素化アモルファス炭素、窒化シリコン、又は酸化シリコンであってもよい。水素化アモルファス炭素の原子組成は、約10%の水素～約60%の水素であってもよい。

【0036】

[0038]ポリシリコンは、また、スペーサにも用いられ、窒化シリコンと酸化シリコンは、コアと保護材料に用いられる。保護材料とスペーサ材料は、コアを除去するエッチングプロセスとアッシングプロセスだけでなくトレンチを形成するものにも共に耐えなければならない。異なる実施形態において、保護材料はアモルファス炭素と水素（水素化アモルファス炭素）、窒化シリコン又は酸化シリコンの組み合わせである。

10

【0037】

[0039]上記の説明は、本発明の原理を具体的に説明することを援助するために示してきた。決して本発明の範囲を制限するものではない。広範な種々の変形例が明らかであり、これらは本発明の範囲内に包含される。例えば、本発明の具体的な一実施形態は、ステップの各々が同量の材料を除去する三ステップの自己制限的エッチングプロセスを使うように図3-図3Fと共に説明されたが、本発明はこのように限定されない。例えば、一実施形態において、自己制限的エッチングステップは、単一ステップにおいて保護材料314Aの全部を除去することができる。他の実施形態において、自己制限的エッチングステップは、任意の相当の回数だけ繰り返すことができ、所望の結果を達成することができる。更に、各々の一体的なエッチングステップにおいて除去される材料の量は、例えば、基板

20

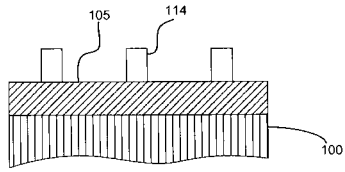
【符号の説明】

【0038】

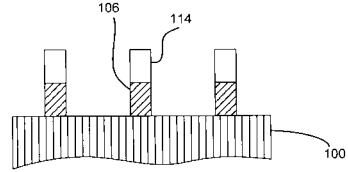
105...犠牲構造層、106...コア、114...フォトレジストライン、120...コンフォーマル層、121...スペーサ、300...基板、302...犠牲構造層、304...保護層、306...狭いパターン形成構造、308...広いパターン形成構造、310...狭い構造、312...広い構造、314...狭いパターン形成構造、314A...保護材料層、314B...コア材料層、316...広いパターン形成構造、316A...保護材料層、316B...コア材料層、318...プルバック、319...側壁の厚さ、320...コンフォーマル層、321...低いスペーサ、322...高いスペーサ、323...面積、330...狭いパターン面積、332...狭いパターン形成特徴部、334...広いパターン形成特徴部。

30

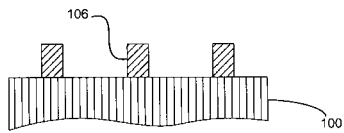
【図 1 A】



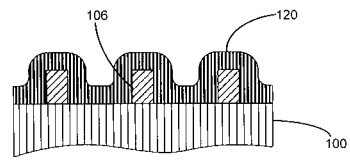
【図 1 B】



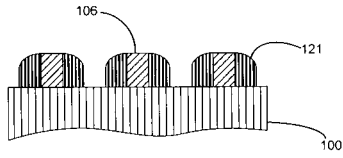
【図 1 C】



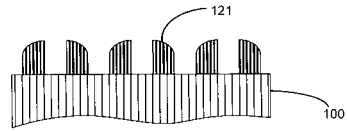
【図 1 D】



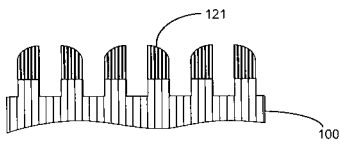
【 1 E】



【 1 F】



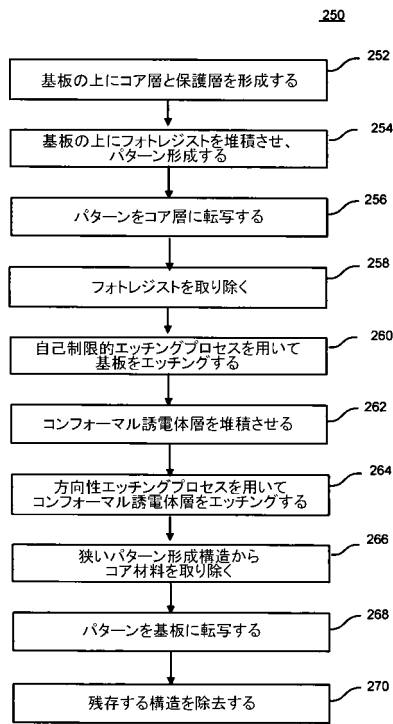
【 1 G】



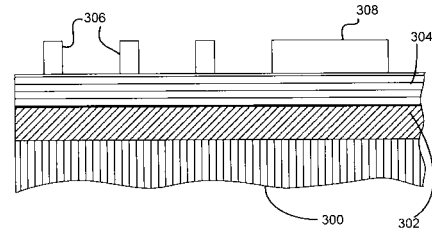
【 1 H】



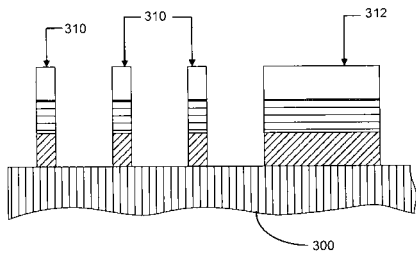
【図2】



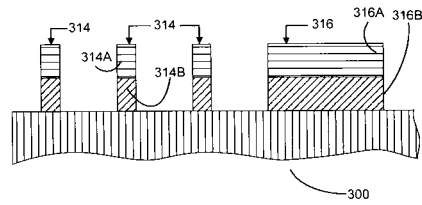
【図3A】



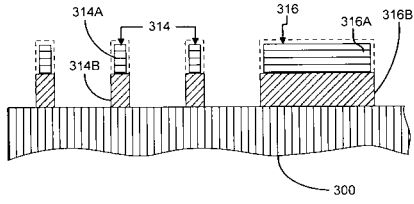
【図3B】



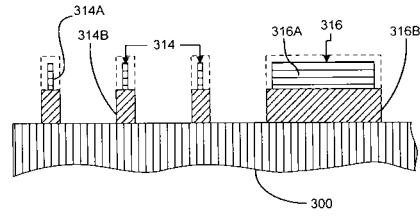
【図3C】



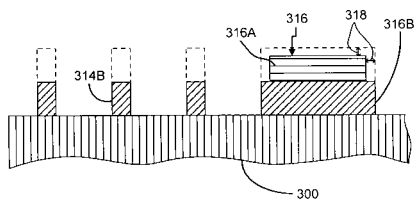
【図 3 D】



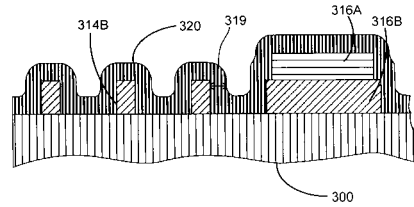
【図 3 E】



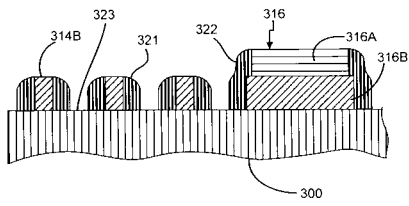
【図 3 F】



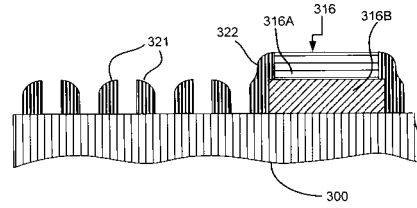
【図 3 G】



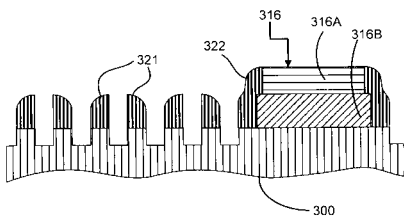
【 図 3 H 】



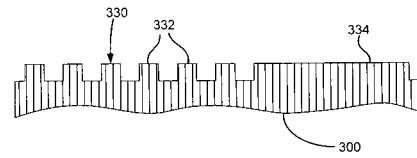
【 図 3 I 】



【 図 3 J 】



【 図 3 K 】





---

フロントページの続き

- (72)発明者 クリストファー デニス ベンチャー  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, サン ホゼ, ハズレット コート 1251
- (72)発明者 ジン タン  
アメリカ合衆国, カリフォルニア州, クパーティノ, ウンダーリッチ ドライヴ 1040  
5

審査官 今井 淳一

- (56)参考文献 特開2008-027978(JP,A)  
特開2000-294633(JP,A)  
国際公開第2008/033695(WO,A2)  
国際公開第2008/108921(WO,A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- |      |         |
|------|---------|
| H01L | 21/3065 |
| G03F | 1/00    |
| H01L | 21/027  |