

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5247440号
(P5247440)

(45) 発行日 平成25年7月24日(2013.7.24)

(24) 登録日 平成25年4月19日(2013.4.19)

(51) Int.Cl.

F 1

H01L 21/3065 (2006.01)
H01L 21/027 (2006.01)H01L 21/302 105A
H01L 21/30 570

請求項の数 21 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2008-519292 (P2008-519292)
(86) (22) 出願日	平成18年5月10日 (2006.5.10)
(65) 公表番号	特表2008-547236 (P2008-547236A)
(43) 公表日	平成20年12月25日 (2008.12.25)
(86) 國際出願番号	PCT/US2006/018144
(87) 國際公開番号	W02007/001647
(87) 國際公開日	平成19年1月4日 (2007.1.4)
審査請求日	平成21年5月8日 (2009.5.8)
審判番号	不服2012-12787 (P2012-12787/J1)
審判請求日	平成24年7月5日 (2012.7.5)
(31) 優先権主張番号	11/170,273
(32) 優先日	平成17年6月28日 (2005.6.28)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(73) 特許権者	592010081 ラム リサーチ コーポレーション LAM RESEARCH CORPORATION アメリカ合衆国, カリフォルニア 945 38, フレモント, クッシング パークウ エイ 4650
(74) 代理人	110000028 特許業務法人明成国際特許事務所
(72) 発明者	サジャディ・エス. エム. レザ アメリカ合衆国 カリフォルニア州950 70 サラトガ, キャロル・レーン, 20 311

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】エッチングマスクスタックを用いたマルチマスクプロセス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板の上のエッチング層内にエッチング特徴を形成するための方法であって、少なくとも1枚の層で形成されるエッチングマスクスタックを、前記エッチング層の上に形成する工程と、

第1のピッチおよび幅を伴う複数の間隔を定める第1のマスクを、前記エッチングマスクスタックの上に形成する工程と、

前記第1のマスクによって定められる前記間隔の幅を低減させる側壁層を、前記第1のマスクの上に形成する工程と、

前記第1のマスクによって定められる前記間隔の幅より小さい幅を有する第1組の特徴を、前記側壁層を通して、少なくとも部分的に前記エッチングマスクスタック内へとエッチングする工程と、前記第1のマスクの上に側壁層を形成する工程は、少なくとも2つのサイクルを含み、各サイクルは、

デポジションプラズマを形成して前記第1のマスクの前記側壁の上に堆積物を形成するため、第1のガス化学剤を使用する、第1の堆積の段階と、

前記第1のマスクの前記側壁の上の前記堆積物の輪郭を成形するために、前記第1の化学剤とは異なる第2のガス化学剤を使用する、輪郭成形の段階と、を含むことと、

前記マスクおよび前記側壁層を除去する工程と、

追加の特徴を形成する工程であって、

幅を伴う複数の間隔を定める追加のマスクを、前記エッチングマスクスタックの上に

10

20

形成する工程と、

前記追加のマスクによって定められる前記間隔の幅を低減させる側壁層を、前記追加のマスクの上に形成する工程と、

前記追加のマスクによって定められる前記間隔の幅より小さい幅を有する第2組の特徴を、前記側壁層を通して、少なくとも部分的に前記エッチングマスクスタック内へとエッチングする工程と、前記第1組の特長および前記第2の組の特徴からなる前記エッチングマスクスタック上のマスク特徴は前記第1のピッチよりも狭い第2のピッチを有すること、

前記マスクおよび前記側壁層を除去する工程と、

を含む工程と、

10

前記エッチングマスクスタック内の前記第1組の特徴および前記第2組の特徴からなる前記マスク特徴を通して、複数の特徴を前記エッチング層内にエッチングする工程と、を備える方法。

【請求項2】

請求項1に記載の方法であって、

前記エッチングマスクスタックは、前記第1のマスクおよび前記第2のマスクと比べて剥離に対する耐性が強い材料の、耐剥離性の層を含む、方法。

【請求項3】

請求項2に記載の方法であって、

前記耐剥離性の層は、非晶質炭素、炭化水素、ハイドロフルオロカーボン、およびポリマ材料のうちの少なくとも1つを含む、方法。

20

【請求項4】

請求項3に記載の方法であって、

前記エッチングマスクスタックは、更に、前記耐剥離性の層の上に剥離保護層を含む、方法。

【請求項5】

請求項4に記載の方法であって、

前記エッチングマスクスタックは、更に、前記剥離保護層と前記耐剥離性の層との間にエッチング停止層を含む、方法。

【請求項6】

30

請求項1ないし5のいずれかに記載の方法であって、更に、

前記追加の特徴を形成する工程を少なくとも1回繰り返す工程を備える方法。

【請求項7】

請求項1ないし6のいずれかに記載の方法であって、

前記追加のマスクの上に側壁層を形成する工程は、少なくとも1つのサイクルであり、

デポジションプラズマを形成して前記追加のマスクの前記側壁の上に堆積物を形成するため、第3のガス化学剤を使用する、堆積の段階と、

前記追加のマスクの前記側壁の上の前記堆積物の輪郭を成形するために、第4のガス化学剤を使用する、輪郭成形の段階であって、前記第3のガス化学剤は、前記第4のガス化学剤と異なる、段階と、

40

を含む、方法。

【請求項8】

請求項7に記載の方法であって、

前記追加のマスクの上に側壁層を形成する工程は、少なくとも2つのサイクルに渡って実施される、方法。

【請求項9】

請求項1ないし8のいずれかに記載の方法であって、

前記側壁層を形成する工程は、略垂直の側壁を形成する、方法。

【請求項10】

請求項1ないし9のいずれかに記載の方法であって、

50

前記第1のマスクおよび前記追加のマスクは、フォトレジストマスクであり、前記側壁層は、ポリマ材料で形成される、方法。

【請求項11】

請求項1ないし10のいずれかに記載の方法であって、

前記マスクおよび前記側壁層を除去する工程は、前記マスクおよび前記側壁層をアッシングする工程を含む、方法。

【請求項12】

請求項1ないし11のいずれかに記載の方法であって、

前記第1組の特徴の前記特徴の幅は、前記第1のマスクによって定められる前記間隔の幅の少なくとも50%未満である、方法。

10

【請求項13】

請求項1ないし12のいずれかに記載の方法であって、

前記第1のマスク内の前記間隔は、ピッチ長を有し、前記エッチング層内に形成される前記特徴は、前記第1のマスクによって定められる前記間隔のピッチ長の少なくとも50%未満のピッチ長を有する、方法。

【請求項14】

請求項1ないし13のいずれかに記載の方法であって、

前記第1組の特徴をエッチングする工程は、前記エッチング層をエッチングしない、方法。

【請求項15】

請求項1ないし14のいずれかに記載の方法であって、更に、

前記エッチングマスクスタックを除去する工程を備える方法。

20

【請求項16】

請求項1ないし15のいずれかに記載の方法によって形成される半導体デバイス。

【請求項17】

エッチング層内に特徴を形成するための方法であって、

少なくとも1枚の層で形成されるエッチングマスクスタックを、前記エッチング層の上に形成する工程と、

幅を伴う複数の間隔を定める第1のマスクを、前記エッチングマスクスタックの上に形成する工程であって、前記複数の間隔は、限界寸法およびピッチを有する、工程と、

30

前記第1のマスクによって定められる前記間隔の幅を低減させる側壁層を、前記第1のマスクの上に形成する工程と、前記第1のマスクの上に側壁層を形成する工程は、少なくとも2つのサイクルを含み、各サイクルは、

デポジションプラズマを形成して前記第1のマスクの前記側壁の上に堆積物を形成するため、第1のガス化学剤を使用する、第1の堆積の段階と、

前記第1のマスクの前記側壁の上の前記堆積物の輪郭を成形するために、前記第1のガス化学剤とは異なる第2のガス化学剤を使用する、輪郭成形の段階と、を含むことと、

幅および限界寸法を有する第1組の特徴を、第1のエッチング化学剤を使用して、前記側壁層を通して、少なくとも部分的に前記エッチングマスクスタック内へとエッチングする工程であって、前記特徴の幅は、前記第1のマスク内の前記間隔の幅の少なくとも50%未満であり、前記特徴の限界寸法は、前記第1のマスク内の前記間隔の限界寸法の少なくとも50%未満であり、前記エッチング層は、エッチングされない、工程と、

40

前記マスクおよび前記側壁層を除去する工程と、

追加の特徴の形成を実施する工程であって、

幅を伴う複数の間隔を定める追加のマスクを、前記エッチングマスクスタックの上に形成することであって、前記複数の間隔は、限界寸法およびピッチを有する、工程と、

前記追加のマスクによって定められる前記間隔の幅を低減させる側壁層を、前記追加のマスクの上に形成する工程と、

幅および限界寸法を有する追加の特徴を、前記側壁層を通して、少なくとも部分的に前記エッチングマスクスタック内へとエッチングする工程であって、前記追加の特徴の幅

50

は、前記追加のマスク内の前記間隔の幅の少なくとも 50 %未満であり、前記追加の特徴の限界寸法は、前記追加のマスク内の前記間隔の限界寸法の少なくとも 50 %未満であり、前記特徴および前記追加の特徴は、前記第 1 のマスク内の前記間隔のピッチおよび前記追加のマスク内の前記間隔のピッチの少なくとも 50 %未満のピッチを有し、前記エッチング層は、エッティングされない、工程と、

前記マスクおよび前記側壁層を除去する工程と、
を含む工程と、

前記第 1 のエッティング化学剤と異なる第 2 のエッティング化学剤を使用して、前記エッティングマスクスタックの前記第 1 組の特徴および前記追加の特徴を通して、複数の特徴を前記エッティング層内にエッティングする工程と、

を備える方法。

【請求項 18】

請求項 17 に記載の方法であって、

前記追加のマスクの上に側壁層を形成する工程は、少なくとも 2 つのサイクルを含み、各サイクルは、

デポジションプラズマを形成して前記追加のマスクの前記側壁の上に堆積物を形成するため、第 3 のガス化学剤を使用する、堆積の段階と、

前記追加のマスクの前記側壁の上の前記堆積物の輪郭を成形するために、第 4 のガス化学剤を使用する、輪郭成形の段階であって、前記第 3 のガス化学剤は、前記第 4 のガス化学剤と異なる、段階と、

を含む、方法。

【請求項 19】

請求項 17 ないし 18 のいずれかに記載の方法であって、

前記第 1 のマスクは、フォトレジストマスクであり、前記側壁層は、ポリマ材料の層である、方法。

【請求項 20】

請求項 17 ないし 19 のいずれかに記載の方法であって、

前記エッティングマスクスタックは、前記第 1 のマスクおよび前記第 2 のマスクと比べて剥離に対する耐性が強い材料の、耐剥離性の層を含み、前記方法は、更に、前記エッティングスタックマスクを除去する工程を備える、方法。

【請求項 21】

請求項 1 ないし 15 および請求項 17 ないし 20 のいずれかに記載の方法であって、

前記追加のマスクは、前記第 1 組の特徴を埋める、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体デバイスの形成に関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体ウエハ処理中は、周知のパターン形成プロセスおよびエッティングプロセスを使用して、ウエハ内に半導体デバイスの特徴が定められる。これらのプロセスでは、ウエハ上にフォトレジスト (PR) 材料が堆積され、次いで、レチクルによるフィルタリングを経た光に暴露される。レチクルは、一般に、光の伝搬を遮る代表的な幾何的特徴のパターンを有するガラス板である。

【0003】

レチクルを通過した光は、フォトレジスト材料の表面に接触する。光は、現像剤によってフォトレジスト材料の一部を除去可能にするために、フォトレジスト材料の化学組成を変化させる。ポジ型フォトレジスト材料の場合は、露光された領域が除去され、ネガ型フォトレジスト材料の場合は、露光されなかった領域が除去される。その後、ウエハは、フォトレジスト材料によって保護されなくなった場所から下位の層を除去するべくエッキン

10

20

30

40

50

グされることにより、ウエハ内に所望の特徴を定める。

【0004】

様々な世代のフォトレジストが知られている。深紫外線（DUV）フォトレジストは、248 nmの光によって露光される。理解を容易にするため、図1Aは、基板104の上の層108の概略断面図であって、このエッチングされるべき層108の上にARL（反射防止層）110を、その上にパターン形成されたフォトレジスト層112を設けることによってスタック100を形成した状態を示している。フォトレジストのパターンは、限界寸法（CD）を有し、これは、最小の特徴の幅116であってよい。波長に依存する光学特性ゆえに、フォトレジストは、暴露させる光の波長が長いほど、理論的な最小限界寸法が大きくなる。

10

【0005】

次いで、図1Bに示されるように、フォトレジストパターンを通して特徴120がエッチングされてよい。理想を言えば、特徴のCD（特徴の幅）は、フォトレジスト112内の特徴のCD116に等しい。実際には、特徴116のCDは、切子面の形成、フォトレジストの腐食、またはアンダカットが原因で、フォトレジスト112のCDより大きくなる可能性がある。特徴は、また、先細になる可能性もあり、この場合の特徴は、少なくともフォトレジストのCDと同程度のCDを有する一方で、その底近くでは先細り、細めの幅を有する。このような先細りは、特徴の信頼度を低下させる可能性がある。

【0006】

より小さいCDの特徴を提供するため、より短い波長の光を使用して特徴を形成する試みがなされている。193 nmのフォトレジストは、193 nmの光によって露光される。位相シフトレチクルおよびその他の技術を使用すれば、193 nmのフォトレジストを使用して、CDが90～100 nmのフォトレジストパターンが形成されうる。これは、CDが90～100 nmの特徴を提供できると考えられる。157 nmのフォトレジストは、157 nmの光によって露光される。位相シフトレチクルおよびその他の技術を使用すれば、CDが90 nm以下のフォトレジストパターンが形成されうる。これは、CDが90 nm以下の特徴を提供できると考えられる。

20

【0007】

より短い波長のフォトレジストの使用は、より長い波長を使用するフォトレジストと比べて更に追加の問題を生じる。理論的限界に近いCDを得るためにには、リソグラフィ装置がいっそう精密でなければならず、これは、より高価なリソグラフィ機器を必要とすると考えられる。現在のところ、193 nmフォトレジストおよび157 nmフォトレジストは、より長い波長のフォトレジストと比べて選択性が高くなく、プラズマエッチング条件下で容易に変形する可能性がある。

30

【0008】

メモリデバイスの形成時等の導電層のエッチングでは、性能を低減させることなくデバイス密度を増大させることが望まれている。

【0009】

図2Aは、導電線の作成用の、パターン形成されたフォトレジスト層の断面図であって、従来技術にしたがつた、線間の間隔が近すぎる場合を示している。ウエハ等の基板204の上には、障壁層206が配されてよい。障壁層206の上には、金属層またはポリシリコン層等の誘電体層208が形成される。誘電体層208の上には、DARC層等の反射防止層（ARL）210が形成される。ARL210の上には、パターン形成されたフォトレジスト層212aが形成される。この例では、パターン形成されたフォトレジスト層212aは、図に示されるように、線幅「L」として定められる幅を有する。間隔222は、図に示されるように、幅「S」を有する。ピッチ長「P」は、図に示されるように、線幅と間隔幅との和、すなわち $P = L + S$ として定められる。ピッチ長を低減させることが望まれている。

40

【0010】

ピッチ長を低減させる方法の1つは、間隔幅を低減することによる。図2Bは、導電

50

線または誘電体溝線の作成用の、パターン形成されたフォトレジスト層の断面図であって、従来技術にしたがつた、線間の間隔が近すぎる場合を示している。ウエハ等の基板 204 の上には、障壁層 206 が配されてよい。障壁層 206 の上には、金属層、ポリシリコン層、または誘電体層等の、導電層または誘電体層 208 が形成される。層 208 の上には、D A R C 層等の反射防止層 (A R L) 210 が形成される。 A R L 210 の上には、パターン形成されたフォトレジスト層 212 が形成される。この例では、パターン形成されたフォトレジスト層 212 b は、パターン線 214 b を形成し、これらのパターン線間の間隔内には、フォトレジスト残留物 218 が形成されている。小さい場所から残留物を除去することは難しいので、フォトレジスト残留物 218 の存在は、パターン線 214 b 間の間隔を小さくし過ぎたことに起因する。このため、提供可能な導電線の密度が限られてしまう。 10

【発明の開示】

【0011】

上記を実現するため、そして本発明の目的にしたがつて、基板の上のエッチング層内にエッチングマスクスタックが、エッチング層の上に形成される。幅を伴う複数の間隔を定める第 1 のマスクが、エッチングマスクスタックの上に形成される。第 1 のマスクによって定められる間隔の幅を低減させる側壁層が、第 1 のマスクの上に形成される。第 1 のマスクによって定められる間隔の幅より小さい幅を有する第 1 組の特徴が、側壁層を通して、少なくとも部分的にエッチングマスクスタック内へとエッチングされる。マスクおよび側壁層は、除去される。追加の特徴の工程が実施される。該工程は、幅を伴う複数の間隔を定める追加のマスクを、エッチングマスクスタックの上に形成する工程と、追加のマスクによって定められる間隔の幅を低減させる側壁層を、追加のマスクの上に形成する工程と、追加のマスクによって定められる間隔の幅より小さい幅を有する第 2 組の特徴を、側壁層を通して、少なくとも部分的にエッチングマスクスタック内へとエッチングする工程と、マスクおよび側壁層を除去する工程と、を含む。エッチングマスクスタック内の第 1 組の特徴および第 2 組の特徴を通して、複数の特徴がエッチング層内にエッチングされる。 20

【0012】

本発明のもう 1 つの発現形態では、エッチング層内に特徴を形成するための方法が提供される。少なくとも 1 枚の層で形成されるエッチングマスクスタックが、エッチング層の上に形成される。幅を伴う複数の間隔を定める第 1 のマスクが、エッチングマスクスタックの上に形成される。複数の間隔は、限界寸法およびピッチを有する。第 1 のマスクによって定められる間隔の幅を低減させる側壁層が、第 1 のマスクの上に形成される。幅および限界寸法を有する第 1 組の特徴が、第 1 のエッチング化学剤を使用して、側壁層を通して、少なくとも部分的にエッチングマスクスタック内へとエッチングされる。特徴の幅は、第 1 のマスク内の間隔の幅の少なくとも 50 % 未満であり、特徴の限界寸法は、第 1 のマスク内の間隔の限界寸法の少なくとも 50 % 未満であり、エッチング層は、エッチングされない。マスクおよび側壁層は、除去される。追加の特徴の工程が実施される。該工程は、幅を伴う複数の間隔を定める追加のマスクを、エッチングマスクスタックの上に形成する工程であって、複数の間隔は、限界寸法およびピッチを有する、工程と、追加のマスクによって定められる間隔の幅を低減させる側壁層を、追加のマスクの上に形成する工程と、幅および限界寸法を有する追加の特徴を、側壁層を通して、少なくとも部分的にエッチングマスクスタック内へとエッチングする工程であって、追加の特徴の幅は、追加のマスク内の間隔の幅の少なくとも 50 % 未満であり、追加の特徴の限界寸法は、追加のマスク内の間隔の限界寸法の少なくとも 50 % 未満であり、特徴および追加の特徴は、第 1 のマスク内の間隔のピッチおよび追加のマスク内の間隔のピッチの少なくとも 50 % 未満のピッチを有し、エッチング層は、エッチングされない、工程と、マスクおよび側壁層を除去する工程と、を含む。第 1 のエッチング化学剤と異なる第 2 のエッチング化学剤を使用して、エッチングマスクスタックの第 1 組の特徴および追加の特徴を通して、複数の特徴がエッチング層内にエッチングされる。 30 40 50

【0013】

本発明のこれらの特徴およびその他の特徴が、本発明の詳細な説明において、添付の図面と関連させて、以下で、より詳細に説明される。

【0014】

添付の図面では、限定ではなく例示を目的として本発明が図示されている。図中、類似の参照符号は、類似の要素を示すものとする。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

添付の図面に示されるようないくつかの好ましい実施形態に基づいて、本発明が詳細に説明される。以下の説明では、本発明の完全な理解を可能にするために、多くの詳細が特定されている。しかしながら、当業者ならば明らかなように、本発明は、これらの一部または全部の詳細を特定しなくても実施可能である。また、本発明が不必要に不明瞭になるのを避けるため、周知のプロセス工程およびノ構造の詳細な説明は省略される。 10

【0016】

旧技術のフォトレジストプロセスを使用して小さい限界寸法 (CD) の特徴を提供するため、マルチマスク & エッチングのプロセスを使用する次世代のフォトレジストマスクプロセスが開発された。

【0017】

次世代のマスクプロセスの理解を容易にするため、図3は、本発明の1つの実施形態で使用可能なプロセスのハイレベルな流れ図である。エッチング層の上に、エッチングマスクスタックが形成される(ステップ304)。図4Aは、上に障壁層406を配された、ウエハ等の基板404の断面図である。障壁層406の上に、導電性金属層またはポリシリコン層または誘電体層等のエッチング層408が形成される。エッチング層408の上に、エッチングマスクスタック410が形成される。エッチングマスクスタック410は、1枚または2枚以上の層であってよい。 20

【0018】

次いで、エッチングマスクスタック内に、第1の特徴が形成される(ステップ308)。図5は、エッチングマスクステップ内に第1の特徴を形成するステップの、より詳細な流れ図である。エッチングマスクスタック410の上に、パターン形成された第1のフォトレジスト層412が形成される(ステップ504)。この例では、パターン形成された線414は、図に示されるように、線幅「 L_p 」として定められる幅を有する。フォトレジスト層内の間隔422は、図に示されるように、幅「 S_p 」を有する。パターン形成されたフォトレジスト層のピッチ長「 P_p 」は、図に示されるように、線幅と間隔幅との和、すなわち $P_p = L_p + S_p$ として定められる。これらの幅は、パターン形成されたフォトレジスト層を形成するために使用されるリソグラフィ技術の解像力によって決定される。ピッチ長を低減させることが望まれている。CDを低減させるため、パターン形成されたフォトレジスト層の上に、側壁層が形成される(ステップ508)。図6は、CDを低減させるために、パターン形成されたフォトレジスト層の上に側壁層を形成するステップ(ステップ508)の、より詳細な流れ図であり、該ステップは、ガスの調整を使用する。この実施形態において、CDを低減させるために、パターン形成されたフォトレジスト層の上に側壁層を形成するステップ(ステップ508)は、堆積の段階604と、輪郭成形の段階608とを含む。堆積の段階は、プラズマを形成するために、第1のガス化学剤を使用する。これは、パターン形成されたフォトレジスト層の側壁の上に、側壁層を堆積させる。輪郭成形の段階608は、プラズマを形成するために、第1のガス化学剤と異なる第2のガス化学剤を使用する。これは、略垂直の側壁を形成するために、堆積物の輪郭を成形する。 30

【0019】

図4Bは、側壁の上に側壁層420を堆積された状態の、パターン形成された第1のフォトレジスト層412の断面図である。側壁層420は、パターン形成されたフォトレジスト層の間隔内に側壁層特徴424を形成し、側壁層特徴424は、パターン形成された 40

10

20

30

40

50

第1のフォトレジスト層の間隔 C D より小さい低減された間隔 C D を有する。堆積されたパターン形成された第1のフォトレジスト層の低減された間隔 C D は、パターン形成された第1のフォトレジスト層の特徴の間隔 C D の少なくとも 50 % 未満であることが好ましい。また、側壁層は、図に示されるように極めて正角の、略垂直の側壁 4 2 8 を有することも望まれている。略垂直の側壁の一例は、特徴の底部に対し、底部から頂部にかけて 88 ~ 90 度の角度をなす側壁である。正角の側壁は、特徴の頂部から底部にかけてほぼ同じ厚さの堆積層を有する。非正角の側壁は、切子面状またはパン塊状の構造に形成される可能性があり、これは、非略垂直の側壁を提供する。先細の側壁（切子面状の構造に起因する）またはパン塊状の側壁は、堆積層の C D を増大させ、パターン形成されたフォトレジスト層のエッチングを不十分にする可能性がある。好ましくは、側壁上の堆積物は、パターン形成された第1のフォトレジスト層の特徴の底部上の堆積より厚い。より好ましくは、パターン形成された第1のフォトレジスト層の特徴の底部の上には、層が堆積されない。

【 0 0 2 0 】

次いで、側壁層の間隔を通してエッチングマスク 4 1 0 内へと第1組の特徴がエッチングされる（ステップ 5 1 2）。図 4 C は、エッチングマスク 4 1 0 内へとエッチングされた第1組の特徴 4 3 2 を示している。この例では、エッチングマスク 4 1 0 内にエッチングされた第1組の特徴 4 3 2 は、堆積層特徴の間隔 C D に等しい C D 幅を有する。実際は、第1組の特徴 4 3 2 の特徴の C D は、堆積層 4 2 0 特徴の C D より僅かに大きい可能性がある。しかしながら、堆積層の特徴の C D は、フォトレジスト 4 1 2 の C D より大幅に小さいので、エッチングマスク 4 1 0 内の特徴の C D は、依然として、フォトレジスト 4 1 2 の C D より小さい。もし、堆積層の C D が、フォトレジストの C D より僅かに小さいに過ぎない場合、または堆積層が、切子面状またはパン塊状に形成された場合は、エッチングマスク 4 1 0 内へとエッチングされた特徴の C D は、フォトレジストの C D より小さくならない可能性がある。また、切子面状またはパン塊状に形成された堆積層は、エッチングされるべき層内に、切子面状または不ぞろいな形状の特徴を生じさせる。また、フォトレジスト特徴の底部上の堆積物を最小限にすることも望まれている。この例では、エッチングされるべき層 4 0 8 内にエッチングされた特徴の C D は、フォトレジスト特徴の C D の少なくとも 50 % 未満である。また、この例では、特徴 4 3 2 は、部分的にエッチングマスク 4 1 0 内へとエッチングされる。他の実施形態では、特徴 4 3 2 は、完全にエッチングマスク 4 1 0 内へとエッチングされてよい。

【 0 0 2 1 】

次いで、パターン形成されたフォトレジスト層および堆積された層は、剥離される（ステップ 5 1 6）。これは、単一のステップによってなされても良いし、あるいは、堆積層除去のステップおよびフォトレジスト剥離のステップの2つの別々のステップによってなされても良い。剥離プロセスには、アッシングが使用されてよい。図 4 D は、堆積層およびフォトレジスト層を除去された後の基板 4 0 0 を示している。

【 0 0 2 2 】

追加のエッチングマスク 4 1 0 の上に、パターン形成された追加のフォトレジスト層 4 4 2 が形成される（ステップ 7 0 4）。パターン形成された追加のフォトレジスト層 4 4 2 は、パターン形成された第1のフォトレジスト層と同じピッチおよび同じ C D を有すると考えられる。C D を低減させるため、パターン形成された追加のフォトレジスト層の上に、側壁層が形成される（ステップ 7 0 8）。側壁層は、パターン形成された第1のフォトレジスト層の上に側壁層を形成するのと同じプロセスを使用して形成されてよい。図 4 F は、側壁の上に側壁層 4 5 0 を堆積された状態の、パターン形成された追加のフォトレジスト層 4 4 2 の概略断面図である。側壁層 4 5 0 は、パターン形成されたフォトレジスト層の間隔内に、側壁層特徴 4 5 4 を形成し、側壁層特徴 4 5 4 は、パターン形成された追加のフォトレジスト層の間隔 C D より小さい低減された間隔 C D を有する。好ましくは

、側壁層特徴の低減された間隔は、パターン形成された第2のフォトレジスト層特徴の間隔C Dの少なくとも50%未満である。また、側壁層450は、図に示されるように極めて正角の、略垂直の側壁を有することも望まれている。略垂直の壁の一例は、特徴の底部に対し、底部から頂部にかけて88~90度の角度をなす側壁である。好ましくは、側壁上の堆積物は、フォトレジスト特徴の底部上の堆積より厚い。より好ましくは、フォトレジスト特徴の底部の上には、層が堆積されない。

【0023】

図4Gに示されるように、エッチングマスクスタック内に特徴がエッチングされ(ステップ712)、第1組のエッチング特徴432間に第2組のエッチング特徴452が形成される。次いで、図4Hに示されるように、パターン形成されたフォトレジスト層および堆積された層は、剥離される(ステップ716)。追加のエッチングマスク特徴の形成(ステップ316)は、完了する。

10

【0024】

追加の特徴が形成されるべきか否かについて、チェックがなされる(ステップ320)。この例では、2組の特徴のみが形成されるので、プロセスは、エッチング層内へと特徴をエッチングするステップ(ステップ324)に進む。これは、エッチングマスクとしてエッチングマスクスタック410を使用することによって達成される。

【0025】

次いで、図4Iに示されるように、エッチング層408をエッチングするために、エッチングマスクスタック410がエッチングマスクとして使用される(ステップ324)。好ましくは、このプロセスは、エッチングスタックマスク内に特徴をエッチングするために使用されるエッチング化学剤とは異なるエッチング化学剤を使用する。また、好ましくは、エッチング化学剤は、エッチングスタックマスク410に対してエッチング層408を選択的にエッチングする。

20

【0026】

次いで、図4Jに示されるように、エッチングマスクスタックが除去される(ステップ328)。1つの実施形態では、エッチングマスクスタックは、エッチング層のエッチングの最中に除去される。もう1つの実施形態では、エッチングマスクスタックは、エッチング層が完全にエッチングされた後に、別個のステップで除去される。エッチング層の線幅は、 L_f として示される。エッチング層内の特徴の間隔幅は、 S_f として示される。特徴のピッチ長は、 $P_f = L_f + S_f$ として示される。特徴のピッチ P_f 、特徴の線幅 L_f 、および特徴の間隔幅 S_f との比較のために、図4Aにおけるパターン形成されたフォトレジスト層のピッチ P_p 、フォトレジストの線幅 L_p 、およびフォトレジストの間隔 S_p を、図4Jに示した。この実施形態では、特徴間の線幅 L_f が、パターン形成されたフォトレジスト層の線幅 L_p の半分で、特徴の間隔幅 S_f が、パターン形成されたフォトレジスト層内の間隔 S_p の半分であるので、特徴のピッチの長さ P_f は、パターン形成されたフォトレジスト層のピッチの長さ P_p の半分である。したがって、このプロセスは、同じフォトレジストリソグラフィプロセスを使用しつつ、2つのマスキングステップを使用して、ピッチ長、線幅、および特徴幅を半分に低減させることにより、エッチング特徴の解像力を2倍にすることができる。この例では、図に示されるように、パターン形成された第1のフォトレジスト層からの第1組のエッチング特徴は、パターン形成された第2のフォトレジスト層からの第2組のエッチング特徴と同じ深さ、またはほぼ同じ深さまでエッチングされる。第1のエッチングマスクスタックの特徴からエッチングされた特徴462と、第2のエッチングマスクスタックの特徴からの特徴466とを交互させることによって、低減されたピッチが提供される。

30

【0027】

単層のエッチングマスクスタック

本発明の1つの実施形態では、エッチングマスクスタックは単層である。この実施形態では、単層は、耐剥離性の層である。耐剥離性の層は、非晶質炭素および耐剥離性ポリマーの少なくとも一方であることが好ましい。より好ましくは、耐剥離性の層は、非晶質炭素

40

50

である。本明細書および添付の特許請求の範囲において、非晶質炭素は、ハロゲンフリーのポリマとして定義される。耐剥離性のポリマ、またはエッティングマスクスタックの単層として使用されるその他の材料は、単層が除去することなく湿式または乾式のプロセスによってフォトレジストのパターン形成および剥離がなされるように、フォトレジストと十分に異なることが望まれる。1つの実施形態では、単層を形成する材料は、フォトレジストを剥離するために使用される酸素による剥離に対して耐性である。もう1つの実施形態では、単層は、フォトレジストプロセスで使用される水素含有ガスまたは水素含有液体に対して耐性である。もう1つの実施形態では、紫外線放射を使用する等によって単層が硬化されるので、単層は、剥離プロセスに対して耐性である。あるいは、単層は、使用される剥離プロセスに対して生来的に耐性であり、硬化を必要としない。このような場合、単層の材料は、水素による剥離プロセスについてはH₂またはNH₃等の水素含有プラズマに対して耐性であり、あるいは、酸素による剥離プロセスについては酸素含有プラズマに対して耐性である。

【0028】

多層のエッティングマスクスタック

本発明のもう1つの実施形態では、エッティングマスクスタックは、2枚の層を含む。図8Aは、基板804の上に障壁層806を、その上にエッティング層808を、そしてその上に第1の層810および第2の層811を伴うエッティングマスクスタックを配した断面図である。第2の層811の上に、フォトレジストマスク814が配される。CDを低減させるため、フォトレジストマスクの側壁の上に、側壁層820が配される。第1のエッティング化学剤を使用して、部分的に第2の層811内へと、第1のマスク特徴832がエッティングされるので、図に示されるように、この実施形態では、第1のマスク特徴は第1の層810に達しない。

【0029】

図8Bに示されるように、フォトレジストマスク814および側壁層820は除去され、第2の層811の上に第2のフォトレジストマスク842が形成される。CDを低減させるため、第2のフォトレジストマスク842の上に、側壁層850が形成される。部分的に第2の層811内へと、第2のマスク特徴852がエッティングされるので、図に示されるように、この実施形態では、第2のマスク特徴は第1の層810に達しない。いずれのエッティングでも、第2の層811がエッティングされるので、このエッティングは、第1のエッティング化学剤を使用してよい。

【0030】

図8Cに示されるように、第2の層811の上から、フォトレジストマスクおよび側壁層が除去される。図8Dに示されるように、第2のエッティング化学剤は、エッティングマスクスタックの第1の層810をエッティングするために、第2の層811をエッティングマスクとして使用する。このエッティングは、第2の層811に対して第1の層810を選択的にエッティングするので、第2のエッティング化学剤は、第1のエッティング化学剤と異なることが好ましい。1つの実施形態では、第1の層810は、部分的にのみエッティングされる。もう1つのエッティングでは、第1の層810は、図に示されるように、完全にエッティングされ貫通される。

【0031】

1つの実施形態では、第2の層は除去される。この実施形態では、第2の層は、図8Eに示されるように、第3のエッティング化学剤を使用してエッティング層808内に特徴がエッティングされるまで除去されない。エッティング層808は、エッティングマスクスタックの第1の層810に対して選択的にエッティングされるので、第3のエッティング化学剤は、第2のエッティング化学剤と異なることが好ましい。第1の層810および第2の層811で形成されたエッティングマスクスタックの残りは、次いで、図8Fに示されるように、除去される。もう1つの実施形態では、エッティングマスクスタックの第2の層811は、エッティング層のエッティングの最中に除去される。もう1つの実施形態では、第1の層810および第2の層811の両方が、エッティング層808のエッティングの最中に除去される。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

この実施形態では、第2の層911は、剥離保護マスクとして機能する。これは、次世代のパターン形成マスクとして機能する第1の層のフォトレジスト剥離の最中に、保護マスクとして機能する。剥離保護マスク911は、フォトレジストマスクの剥離の最中の損傷から、次世代のパターン形成マスク910を保護する。

【 0 0 3 3 】

単層の剥離保護マスクによって所望の目標を得られるものの、実施形態によっては、エッチングの均一性の制御が課題となる場合がある。剥離保護マスクが優れた均一性を有する場合でない限り、一部の特徴がエッチングマスクスタックの第1の層内へと突き出して、該第1の層を剥離プロセスに暴露させる可能性がある。これは、第1の層を損傷させる恐れがある。この問題を回避するため、二層の剥離保護マスクが使用されてよい。図9Aは、第1の層910、第2の層911、および第3の層913を含むエッチングスタックマスクの下にエッチング層908、その下に障壁層906、そしてその下に基板904を配した断面図である。第3の層913の上に、フォトレジストマスク914が形成されている。フォトレジストマスク914の側壁の上に、側壁層920が形成される。第2の層911に到るまで第3の層913をエッチングするために、第1のエッチング化学剤を使用したエッチングプロセスが用いられる。第2の層911は、図9Bに示されるように、エッチング停止層として使用される。したがって、第1のエッチング化学剤は、第2の層に対して第3の層を選択的にエッチングする。エッチング停止層を用意することによって、エッチングマスクスタックの第1の層910は、剥離プロセスの最中に暴露されないように保護される。この例では、第3の層913は、剥離保護マスクとして機能する。

10

【 0 0 3 4 】

フォトレジストマスク914および側壁層920は除去され、第3の層913の上に第2のフォトレジストマスク942が形成される。図9Cに示されるように、第2のフォトレジストマスク942の上に、側壁層950が形成される。第1のエッチング化学剤を使用して、エッチング停止層911に到るまで第3の層913の露出部分がエッチングされ、第2組の特徴952が形成される。

20

【 0 0 3 5 】

フォトレジストマスク942および側壁層950は除去される。図9Dに示されるように、第3の層913に対して第2の層911を選択的にエッチングするために、第1のエッチング化学剤と異なる第2のエッチング化学剤が使用される。エッチングマスクスタックの第1の層910をエッチングするために、第3のエッチング化学剤が使用される。本発明の1つの実施形態では、第3のエッチング化学剤は、第2のエッチング化学剤と同じである。本発明のもう1つの実施形態では、第3のエッチング化学剤は、第2のエッチング化学剤と異なる。

30

【 0 0 3 6 】

図9Eに示されるように、エッチングマスクスタックの第1の層910を通してエッチング層908内へと特徴をエッチングするために、第4のエッチング化学剤が使用される。好ましい実施形態では、第1の層910に対してエッチング層908を選択的にエッチング可能にするために、第4のエッチング化学剤は、第3のエッチング化学剤と異なる。次いで、図9Fに示されるように、エッチングマスクスタックは剥離される。1つの実施形態では、エッチングマスクスタックの第3の層913、および恐らくは第2の層911は、エッチング層908のエッチング前に除去される。

40

【 0 0 3 7 】

この三層のエッチングマスクスタックでは、多くの材料の組み合わせを用いることができる。1つの実施形態では、剥離保護マスク913は SiO_2 であり、エッチング停止マスク911は、 SiC 、 Si_2N_3 、 SiOC 、 SiON 、 Ta 、 TaN 、 Ti 、および TiN のうちの少なくとも1つ、または SiO_2 に対して選択的にエッチング可能な任意の他の材料である。もう1つの実施形態では、剥離保護マスク913は SiC であり、エッチング停止マスク911は、 SiO_2 、 Si_2N_3 、 SiOC 、 SiON 、 Ta 、 TaN 、

50

Ti、およびTiNのうちの少なくとも1つである。もう1つの実施形態では、剥離保護マスク913はSi₂N₃であり、エッティング停止マスク911は、SiO₂、SiC、SiOC、SiON、Ta、TaN、Ti、およびTiNのうちの少なくとも1つである。もう1つの実施形態では、剥離保護マスク913はSiONであり、エッティング停止マスク911は、SiO₂、SiC、SiOC、Si₂N₃、Ta、TaN、Ti、およびTiNのうちの少なくとも1つである。もう1つの実施形態では、剥離保護マスク913はSiOCであり、エッティング停止マスク911は、SiO₂、SiC、SiON、Si₂N₃、Ta、TaN、Ti、およびTiNのうちの少なくとも1つである。もう1つの実施形態では、剥離保護マスク913は、TiN、Ta、TaN、およびTiのうちの少なくとも1つであり、エッティング停止マスク911は、SiO₂、SiC、SiON、およびSi₂N₃のうちの少なくとも1つである。SiO₂は、フォトレジスト剥離プロセスの最中の損傷に対して極めて耐性であるので、剥離保護マスクは、SiO₂であることが最も好みしい。

【0038】

本発明の他の実施形態は、3組以上のエッティングマスクスタック特徴を使用してよい。例えば、特徴のレイアウトが各レチクルのピッチの3分の1のピッチを有するように、3組のエッティングマスクスタック特徴が使用されてよい。もう1つの例では、特徴のレイアウトが各レチクルのピッチの4分の1のピッチを有するように、4組のエッティングマスクスタック特徴が使用されてよい。このようなマルチマスクプロセスは、2005年2月3日付けで出願されたJeffrey MarksおよびReza Sadjadiによる米国特許出願第11/050,985「Reduction of Feature Critical Dimensions Using Multiple Masks (複数マスクの使用による、特徴限界寸法の低減)」に記載されており、当該文献は、引用によって本明細書に組み込まれるものとする。

【0039】

エッティングマスクスタックが無いと、異なるフォトレジスト材料または異なるツールによってプロセスシフトが生じる。エッティングマスクスタックは、異なるフォトレジスト材料および異なるツールに起因するプロセスシフトを低減させる。マルチマスクプロセスでは、層は、複数回のフォトレジスト堆積および複数回の剥離を経る。エッティングマスクスタックは、複数回のフォトレジスト堆積および複数回の剥離に起因しうるエッティング層の損傷を低減させる。

【0040】

以上では、好みしい実施形態の観点から本発明が説明された。しかしながら、変形態、置換形態、および様々な代替の等価形態が本発明の範囲に含まれる。また、本発明の方法および装置を実現するものとして、多くの代替の方法がある。したがって、添付の特許請求の範囲は、本発明の真の趣旨および範囲に含まれるものとして、このようなあらゆる変形態、置換形態、および様々な代替の等価形態を含むものと解釈される。

【図面の簡単な説明】

【0041】

【図1A】従来技術にしたがってエッティングされたスタックの概略断面図である。

【図1B】従来技術にしたがってエッティングされたスタックの概略断面図である。

【図2A】従来技術にしたがって形成された、パターン形成されたフォトレジスト層の概略断面図である。

【図2B】従来技術にしたがって形成された、パターン形成されたフォトレジスト層の概略断面図である。

【図3】本発明の1つの実施形態で使用可能なプロセスのハイレベルな流れ図である。

【図4A】本発明の1つの実施形態にしたがって処理されたエッティング層の概略断面図である。

【図4B】本発明の1つの実施形態にしたがって処理されたエッティング層の概略断面図である。

【図4C】本発明の1つの実施形態にしたがって処理されたエッティング層の概略断面図で

10

20

30

40

50

ある。

【図4D】本発明の1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図4E】本発明の1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図4F】本発明の1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図4G】本発明の1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図4H】本発明の1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。 10

【図4I】本発明の1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図4J】本発明の1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図5】エッチングマスクステップ内へと第1の特徴を形成するステップの、より詳細な流れ図である。

【図6】パターン形成されたフォトレジスト層の上に側壁を形成するステップの流れ図である。

【図7】エッチングマスクステップ内へと追加の特徴を形成するステップの、より詳細な流れ図である。 20

【図8A】本発明のもう1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図8B】本発明のもう1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図8C】本発明のもう1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図8D】本発明のもう1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図8E】本発明のもう1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。 30

【図8F】本発明のもう1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図9A】本発明のもう1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図9B】本発明のもう1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図9C】本発明のもう1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図9D】本発明のもう1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。 40

【図9E】本発明のもう1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図9F】本発明のもう1つの実施形態にしたがって処理されたエッチング層の概略断面図である。

【図 1 A】

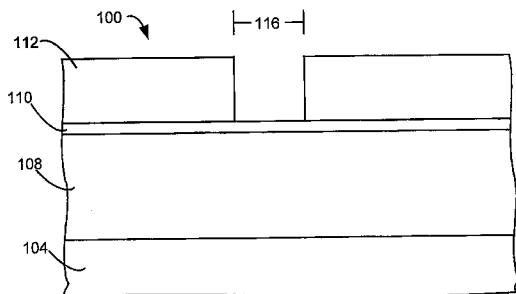


FIG. 1A (従来技術)

【図 1 B】

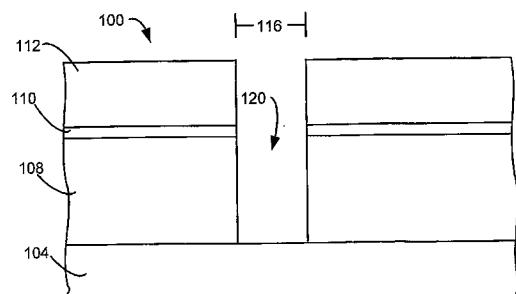


FIG. 1B (従来技術)

【図 2 A】

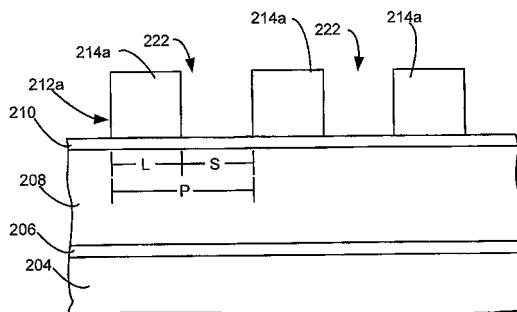


FIG. 2 A (従来技術)

【図 2 B】

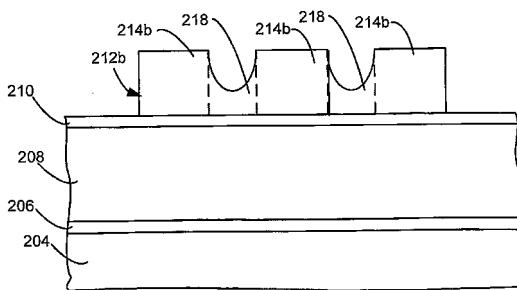
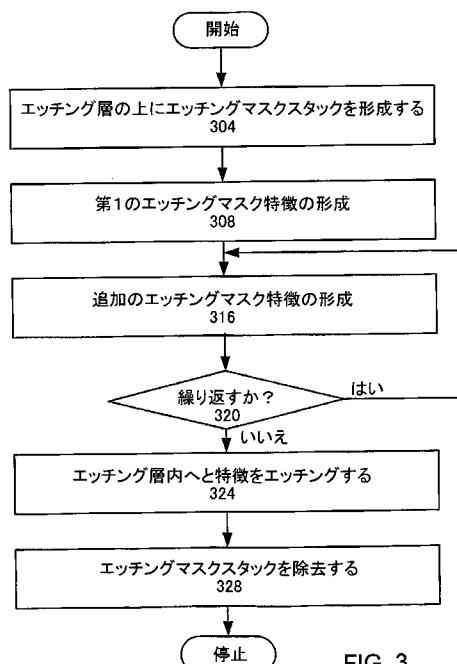


FIG. 2 B (従来技術)

【図 3】



【図 4 A】

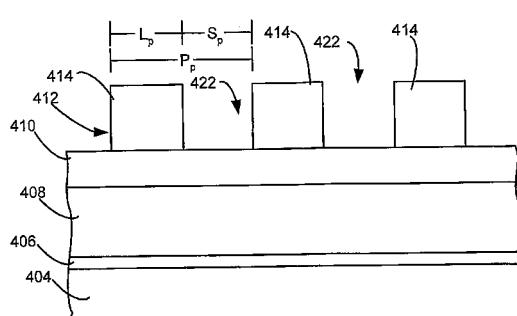


FIG. 4 A

【図 4 B】

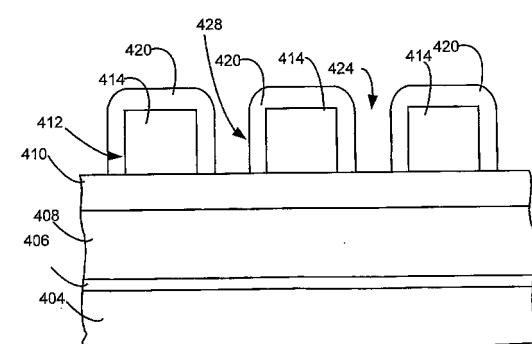


FIG. 4 B

【図 4 C】

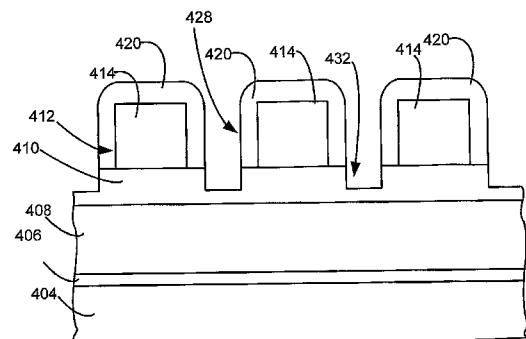


FIG. 4 C

【図 4 E】

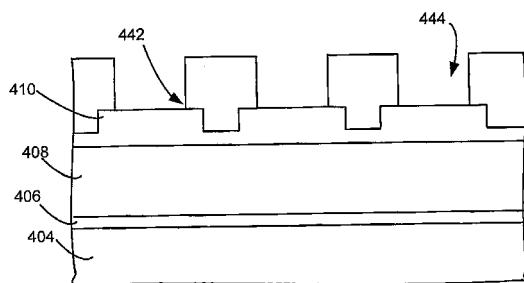


FIG. 4 E

【図 4 D】

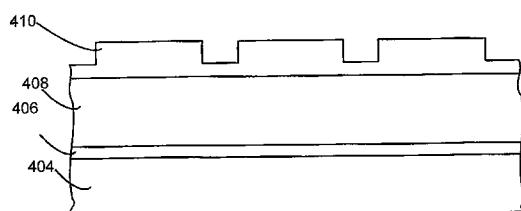


FIG. 4 D

【図 4 F】

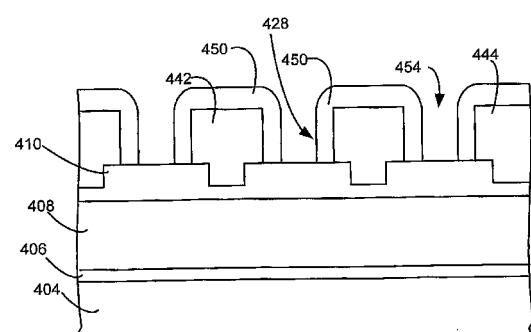


FIG. 4 F

【図 4 G】

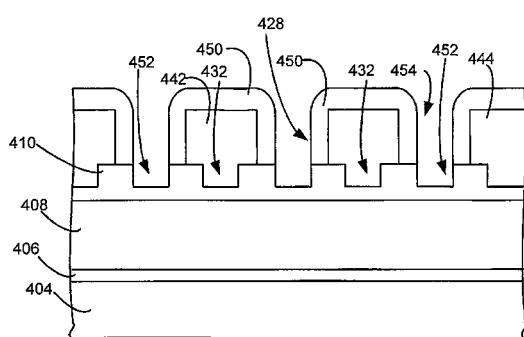


FIG. 4 G

【図 4 I】

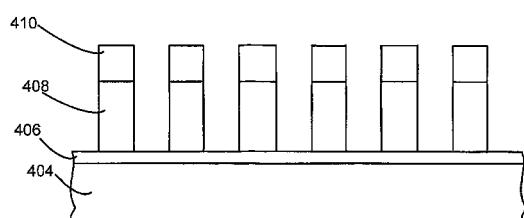


FIG. 4 I

【図 4 H】

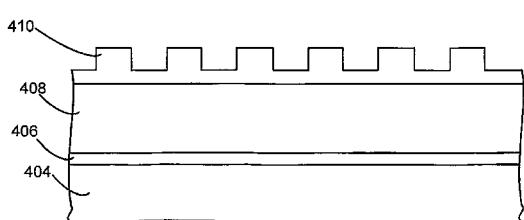


FIG. 4 H

【図 4 J】

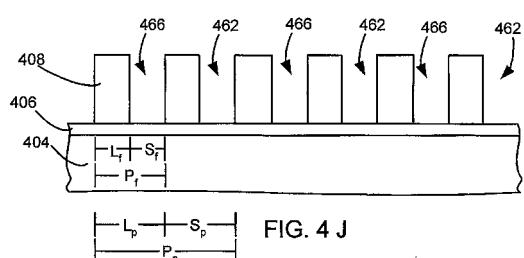


FIG. 4 J

【図5】

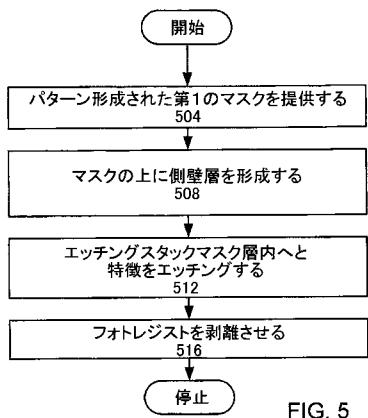


FIG. 5

【図7】

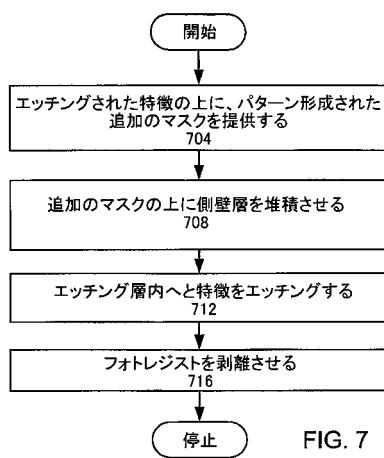


FIG. 7

【図6】

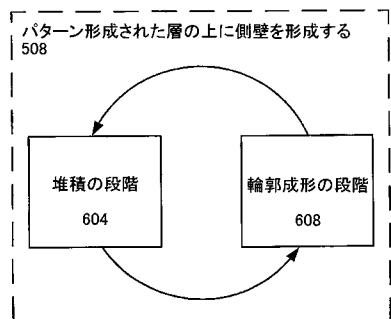


FIG. 6

【図8A】

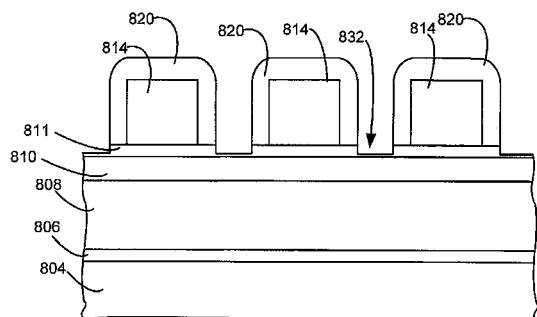


FIG. 8A

【図8C】

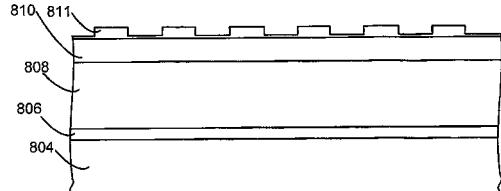


FIG. 8C

【図8B】

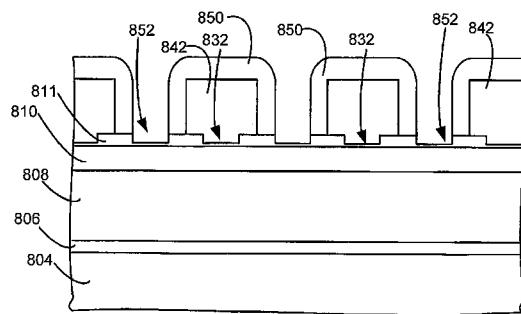


FIG. 8B

【図8D】

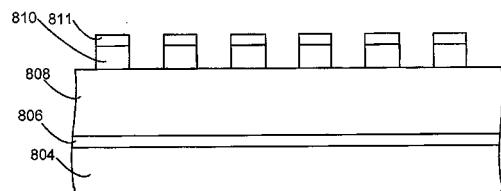


FIG. 8D

【図8E】

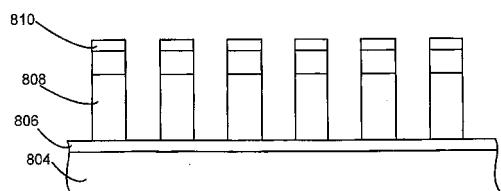


FIG. 8E

【図 8 F】

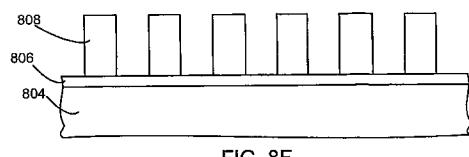


FIG. 8F

【図 9 A】

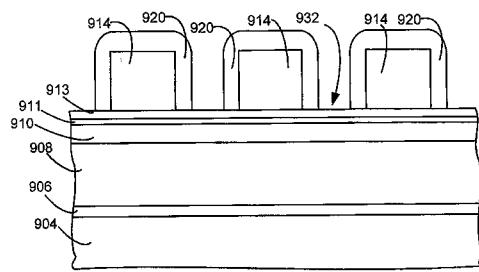


FIG. 9A

【図 9 B】

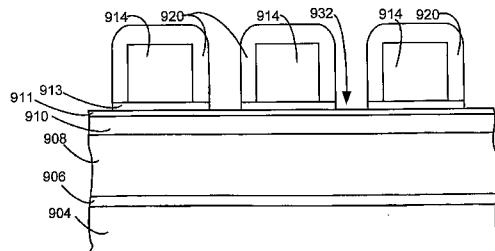


FIG. 9B

【図 9 C】

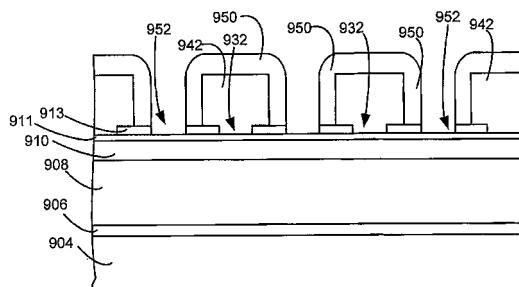


FIG. 9C

【図 9 D】

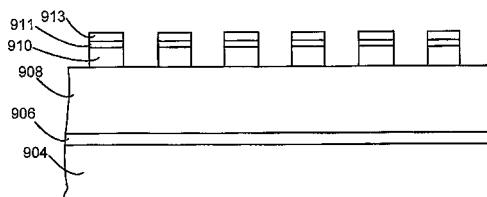


FIG. 9D

【図 9 E】

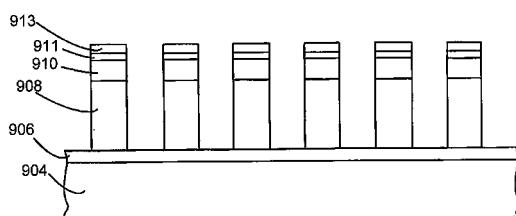


FIG. 9E

【図 9 F】

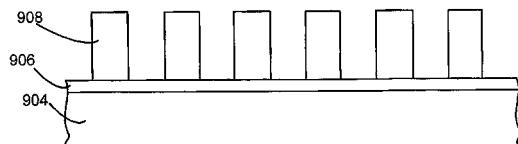


FIG. 9F

フロントページの続き

合議体

審判長 藤原 敬士

審判官 川端 修

審判官 井上 茂夫

(56)参考文献 国際公開第2005/024904 (WO, A2)

特開2004-6930 (JP, A)

米国特許第6110837 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/3065