

(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 I

H O 1 L 21/3065 (2006. 01)

H O 1 L 21/302 1 O 5 A

H O 1 L 21/027 (2006. 01)

H O 1 L 21/30 5 7 O

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) 国際出願番号 PCT/US2006/018144
 (87) 国際公開番号 W02007/001647
 (87) 国際公開日 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 CORPOR
 ATION
 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
 ェイ 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
 るために、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。

【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】

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に、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、

10

20

30

40

50

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

【請求項 1 1】

請求項 1 ないし 1 0 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 1 2】

請求項 1 ないし 1 1 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 5 0 % 未満である、方法。

10

【請求項 1 3】

請求項 1 ないし 1 2 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 5 0 % 未満のピッチ長を有する、方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 ないし 1 3 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 1 5】

20

請求項 1 ないし 1 4 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キスタックを除去する工程を備える方法。

【請求項 1 6】

請求項 1 ないし 1 5 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 1 7】

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キスタックを、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キ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に、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キ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 5 0 % 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 5 0 % 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キ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キ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、エッチングされない、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、前記エッチ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に、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、フォトリソマスクであり、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、耐剥離性の層を含み、前記方法は、更に、前記エッチ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チ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、ウエハ上にフォトリソ(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学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、フォトリソ材料の表面に接触する。光は、現像剤によってフォトリソ材料の一部を除去可能にするために、フォトリソ材料の化学組成を変化させる。ポジ型フォトリソ材料の場合は、露光された領域が除去され、ネガ型フォトリソ材料の場合は、露光されなかった領域が除去される。その後、ウエハは、フォトリソ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チン

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。

【 0 0 0 4 】

様々な世代のフォトレジストが知られている。深紫外線 (D U V) 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 1 A 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 A R L (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 (C D) 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

【 0 0 0 5 】

次いで、図 1 B 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 C D (特徴の幅) は、フォトレジスト 112 内の特徴の C D 116 に等しい。実際には、特徴 116 の C D 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 C D 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 C D と同程度の C D 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。

【 0 0 0 6 】

より小さい C D 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、C D 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、C D 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、C D 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、C D が 90 nm 以下の特徴を提供できると考えられる。

20

【 0 0 0 7 】

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 C D を得るためには、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

【 0 0 0 8 】

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。

【 0 0 0 9 】

図 2 A 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、従来技術にしたがった、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、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 a 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 a 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

【 0 0 1 0 】

ピッチ長を低減させる方法の 1 つは、間隔幅を低減させることによる。図 2 B 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リソ層の断面図であって、従来技術にしたがった、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、DARC 層等の反射防止層 (ARL) 210 が形成される。ARL 210 の上には、パターン形成されたフォトリソ層 212 が形成される。この例では、パターン形成されたフォトリソ層 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、フォトリソ残留物 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、フォトリソ残留物 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って、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。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

【 0 0 1 3 】

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。

【 0 0 1 4 】

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】

【 0 0 1 5 】

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／構造の詳細な説明は省略される。

【 0 0 1 6 】

旧技術のフォトリソ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リソマスクプロセスが開発された。

【 0 0 1 7 】

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。

【 0 0 1 8 】

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タック内に第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のフォトリソ層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。フォトリソ層内の間隔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リソ層のピッチ長「 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リソ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リソ層の上に、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リソ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リソ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リソ層の側壁の上に、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。

【 0 0 1 9 】

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のフォトリソ層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リソ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

10

20

30

40

50

第1のフォトリソ層の間隔CDより小さい低減された間隔CDを有する。堆積されたパターン形成された第1のフォトリソ層の低減された間隔CDは、パターン形成された第1のフォトリソ層の特徴の間隔CD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428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CDを増大させ、パターン形成されたフォトリソ層のエッチングを不十分にすることがある。好ましくは、側壁上の堆積物は、パターン形成された第1のフォトリソ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のフォトリソ層の特徴の底部の上には、層が堆積されない。

【0020】

次いで、側壁層の間隔を通してエッチングスタックマスク410内へと第1組の特徴がエッチングされる(ステップ512)。図4Cは、エッチングマスクスタック内へとエッチングされた第1組の特徴432を示している。この例では、エッチングマスクスタック内にエッチングされた第1組の特徴432は、堆積層特徴の間隔CDに等しいCD幅を有する。実際は、第1組の特徴432の特徴のCDは、堆積層420特徴のCD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CDは、フォトリソ412のCDより大幅に小さいので、エッチングマスクスタック410内の特徴のCDは、依然として、フォトリソ412のCDより小さい。もし、堆積層のCDが、フォトリソのCD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、エッチングマスクスタックのCDは、フォトリソのCD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、フォトリソ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408内にエッチングされる特徴のCDは、フォトリソ特徴のCDの少なくとも50%未満である。また、この例では、特徴432は、部分的にエッチングマスクスタック410内へとエッチングされる。他の実施形態では、特徴432は、完全にエッチングマスクスタック410内へとエッチングされてよい。

【0021】

次いで、パターン形成されたフォトリソ層および堆積された層は、剥離される(ステップ516)。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リソ剥離のステップの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4Dは、堆積層およびフォトリソ層を除去された後の基板400を示している。

【0022】

追加のエッチングマスクスタック特徴が形成される(ステップ316)。図7は、エッチングマスクスタック内に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。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追加のフォトリソ層442が形成される(ステップ704)。パターン形成された追加のフォトリソ層442は、パターン形成された第1のフォトリソ層と同じピッチおよび同じCDを有すると考えられる。CDを低減させるため、パターン形成された追加のフォトリソ層の上に、側壁層が形成される(ステップ708)。側壁層は、パターン形成された第1のフォトリソ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4Fは、側壁の上に側壁層450を堆積された状態の、パターン形成された追加のフォトリソ層442の概略断面図である。側壁層450は、パターン形成されたフォトリソ層の間隔内に、側壁層特徴454を形成し、側壁層特徴454は、パターン形成された追加のフォトリソ層の間隔CDより小さい低減された間隔CD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のフォトリソ層特徴の間隔CD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、フォトリソ層特徴の底部上の堆積より厚い。より好ましくは、フォトリソ層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リソ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、エッチングマスクスタッ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、エッチングマスクスタック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リソ層のピッチ P_p 、フォトリソ層の線幅 L_p 、およびフォトリソ層の間隔 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リソ層の線幅 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リソ層内の間隔 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リソ層のピッチの長さ P_p の半分である。したがって、このプロセスは、同じフォトリソトリソグラフィプロセスを使用しつつ、2つのマスク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のフォトリソ層からの第1組のエッチング特徴は、パターン形成された第2のフォトリソ層からの第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

40

【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

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、またはエッチ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させ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 H_2 または NH_3 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。

10

【 0 0 2 8 】

多層のエッチングマスクスタック

本発明のもう１つの実施形態では、エッチングマスクスタックは、２枚の層を含む。図 8 A は、基板 8 0 4 の上に障壁層 8 0 6 を、その上にエッチング層 8 0 8 を、そしてその上に第 1 の層 8 1 0 および第 2 の層 8 1 1 を伴うエッチングマスクスタックを配した断面図である。第 2 の層 8 1 1 の上に、フォトレジストマスク 8 1 4 が配される。C D 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 8 2 0 が配される。第 1 のエッチング化学剤を使用して、部分的に第 2 の層 8 1 1 内へと、第 1 のマスク特徴 8 3 2 がエッチングされるので、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 8 1 0 に達しない。

20

【 0 0 2 9 】

図 8 B に示されるように、フォトレジストマスク 8 1 4 および側壁層 8 2 0 は除去され、第 2 の層 8 1 1 の上に第 2 のフォトレジストマスク 8 4 2 が形成される。C D を低減させるため、第 2 のフォトレジストマスク 8 4 2 の上に、側壁層 8 5 0 が形成される。部分的に第 2 の層 8 1 1 内へと、第 2 のマスク特徴 8 5 2 がエッチングされるので、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 8 1 0 に達しない。いずれのエッチングでも、第 2 の層 8 1 1 がエッチングされるので、このエッチングは、第 1 のエッチング化学剤を使用してよい。

30

【 0 0 3 0 】

図 8 C に示されるように、第 2 の層 8 1 1 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 8 D に示されるように、第 2 のエッチング化学剤は、エッチングマスクスタックの第 1 の層 8 1 0 をエッチングするために、第 2 の層 8 1 1 をエッチングマスクとして使用する。このエッチングは、第 2 の層 8 1 1 に対して第 1 の層 8 1 0 を選択的にエッチングするので、第 2 のエッチング化学剤は、第 1 のエッチ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 8 1 0 は、部分的にのみエッチングされる。もう１つのエッチングでは、第 1 の層 8 1 0 は、図に示されるように、完全にエッチングされ貫通される。

40

【 0 0 3 1 】

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 8 E に示されるように、第 3 のエッチング化学剤を使用してエッチング層 8 0 8 内に特徴がエッチングされるまで除去されない。エッチング層 8 0 8 は、エッチングマスクスタックの第 1 の層 8 1 0 に対して選択的にエッチングされるので、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ことが好ましい。第 1 の層 8 1 0 および第 2 の層 8 1 1 で形成されたエッチングマスクスタックの残りは、次いで、図 8 F に示されるように、除去される。もう１つの実施形態では、エッチングマスクスタックの第 2 の層 8 1 1 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、第 1 の層 8 1 0 および第 2 の層 8 1 1 の両方が、エッチング層 8 0 8 のエッチングの最中に除去される。

50

【 0 0 3 2 】

この実施形態では、第 2 の層 8 1 1 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 8 1 1 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 8 1 0 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 9 A は、第 1 の層 9 1 0、第 2 の層 9 1 1、および第 3 の層 9 1 3 を含むエッチングスタックマスクの下にエッチング層 9 0 8、その下に障壁層 9 0 6、そしてその下に基板 9 0 4 を配した断面図である。第 3 の層 9 1 3 の上に、フォトレジストマスク 9 1 4 が形成されている。フォトレジストマスク 9 1 4 の側壁の上に、側壁層 9 2 0 が形成される。第 2 の層 9 1 1 に到るまで第 3 の層 9 1 3 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 9 1 1 は、図 9 B 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 9 1 0 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 9 1 3 は、剥離保護マスクとして機能する。

【 0 0 3 4 】

フォトレジストマスク 9 1 4 および側壁層 9 2 0 は除去され、第 3 の層 9 1 3 の上に第 2 のフォトレジストマスク 9 4 2 が形成される。図 9 C に示されるように、第 2 のフォトレジストマスク 9 4 2 の上に、側壁層 9 5 0 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 9 1 1 に到るまで第 3 の層 9 1 3 の露出部分がエッチングされ、第 2 組の特徴 9 5 2 が形成される。

【 0 0 3 5 】

フォトレジストマスク 9 4 2 および側壁層 9 5 0 は除去される。図 9 D に示されるように、第 3 の層 9 1 3 に対して第 2 の層 9 1 1 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 9 1 0 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。

【 0 0 3 6 】

図 9 E 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 9 1 0 を通してエッチング層 9 0 8 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 9 1 0 に対してエッチング層 9 0 8 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 9 F 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 9 1 3、および恐らくは第 2 の層 9 1 1 は、エッチング層 9 0 8 のエッチング前に除去される。

【 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 9 1 3 は SiO_2 であり、エッチング停止マスク 9 1 1 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 9 1 3 は SiC であり、エッチング停止マスク 9 1 1 は、 SiO_2 、 Si_2N_3 、 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Si₂N₃であり、エッチング停止マスク911は、SiO₂、SiC、SiOC、SiON、Ta、Ta₂N₃、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、エッチング停止マスク911は、SiO₂、SiC、SiOC、Si₂N₃、Ta、Ta₂N₃、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、エッチング停止マスク911は、SiO₂、SiC、SiON、Si₂N₃、Ta、Ta₂N₃、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、Ta₂N₃、およびTiのうちの少なくとも1つであり、エッチング停止マスク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、フォトリソ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ましい。

10

【0038】

本発明の他の実施形態は、3組以上のエッチ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組のエッチ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組のエッチ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。

20

【0039】

エッチングマスクスタックが無いと、異なるフォトリソ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。エッチングマスクスタックは、異なるフォトリソ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、複数回のフォトリソスト堆積および複数回の剥離を経る。エッチングマスクスタックは、複数回のフォトリソスト堆積および複数回の剥離に起因するエッチング層の損傷を低減させる。

30

【0040】

以上では、好ま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、変更形態、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更形態、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チ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チングされたスタックの概略断面図である。

40

【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リソ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リソ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チ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チ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チング層の概略断面図で

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リソ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】

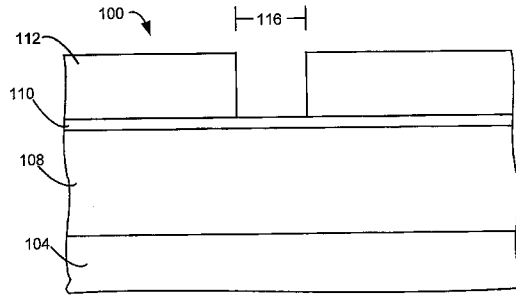


FIG. 1A (従来技術)

【図 2 A】

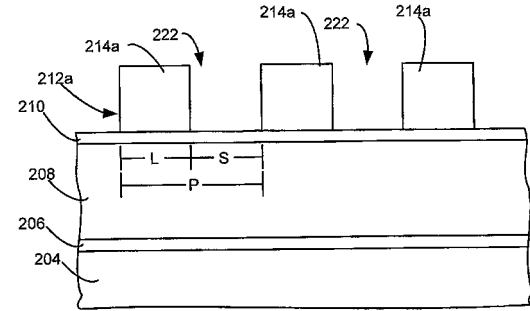


FIG. 2 A (従来技術)

【図 1 B】

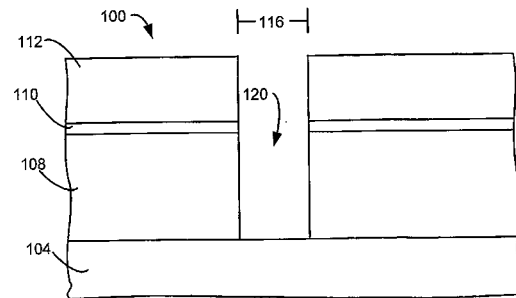


FIG. 1B (従来技術)

【図 2 B】

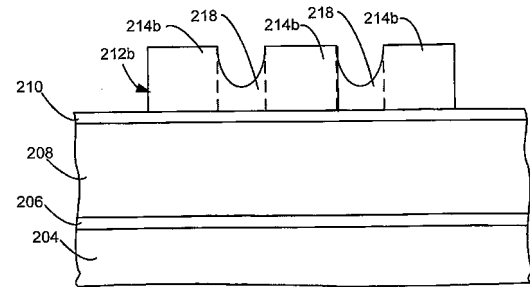


FIG. 2 B (従来技術)

【図 3】

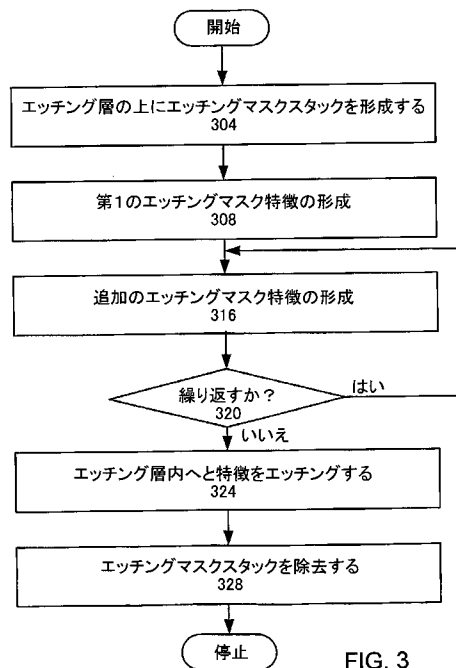


FIG. 3

【図 4 A】

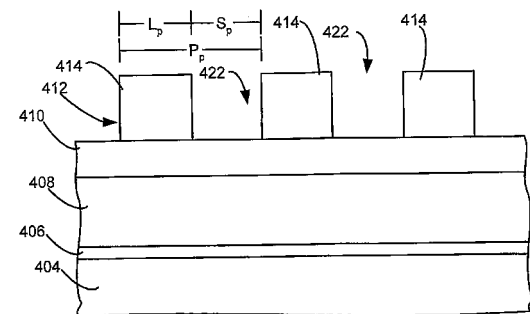


FIG. 4 A

【図 4 B】

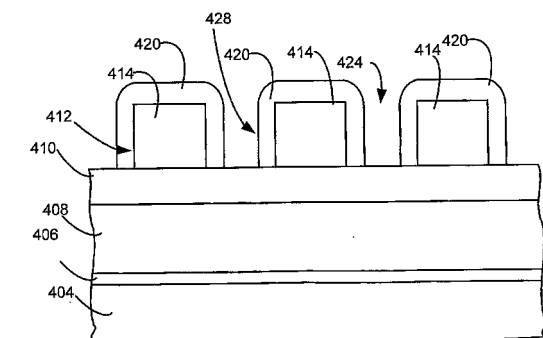


FIG. 4 B

【図 4 C】

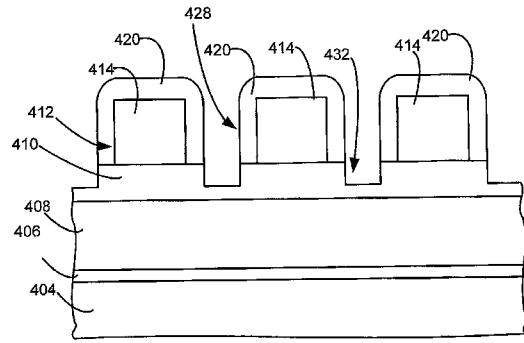


FIG. 4 C

【図 4 D】

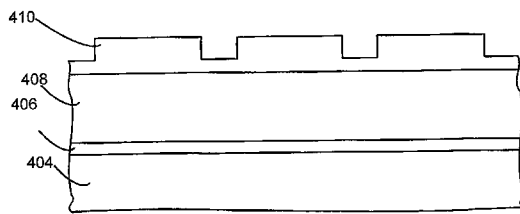


FIG. 4 D

【図 4 E】

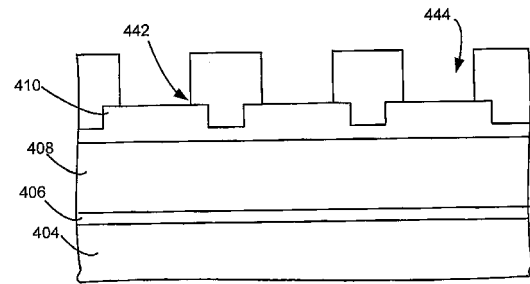


FIG. 4 E

【図 4 F】

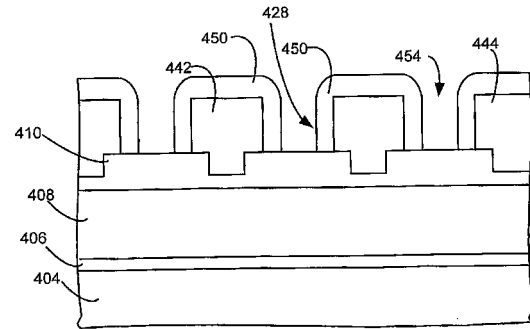


FIG. 4 F

【図 4 G】

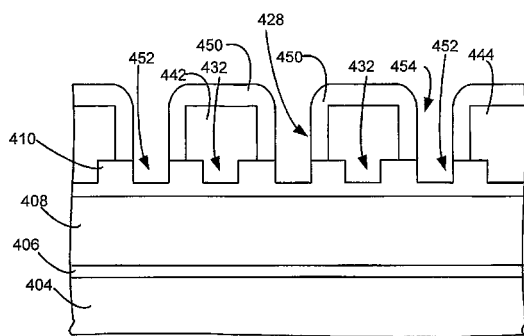


FIG. 4 G

【図 4 I】

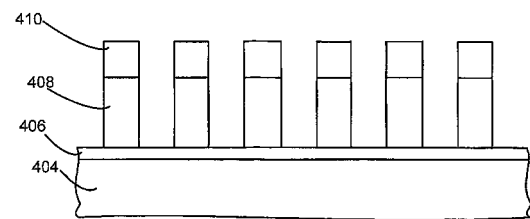


FIG. 4 I

【図 4 H】

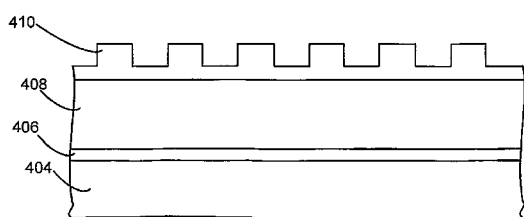


FIG. 4 H

【図 4 J】

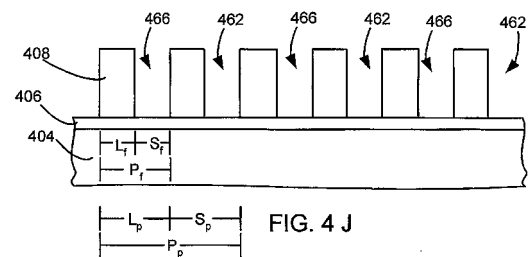


FIG. 4 J

【図 5】

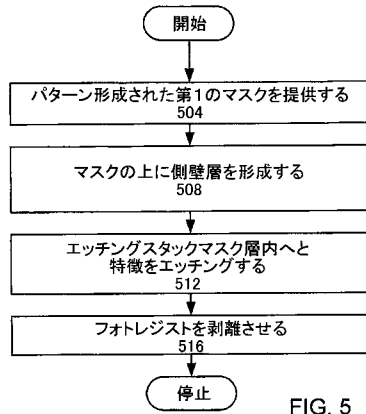


FIG. 5

【図 7】

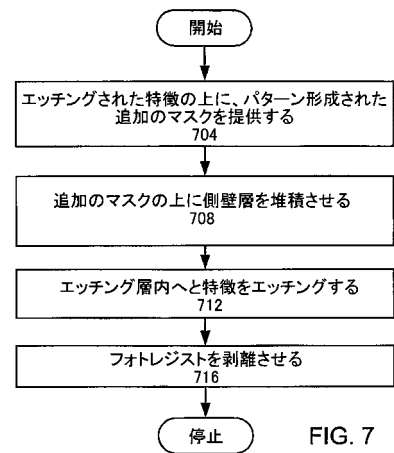


FIG. 7

【図 6】

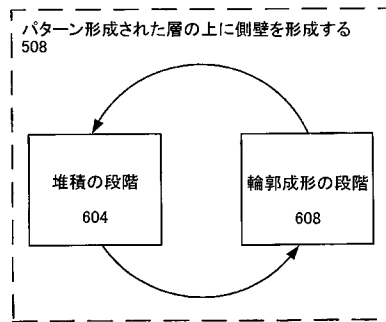


FIG. 6

【図 8 A】

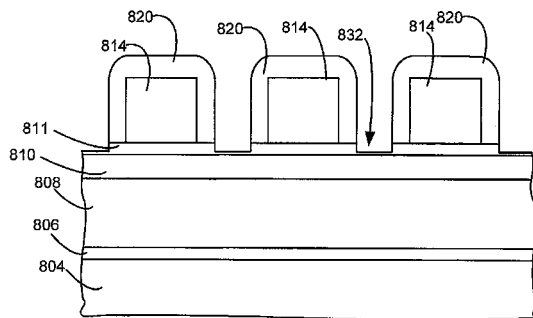


FIG. 8A

【図 8 C】

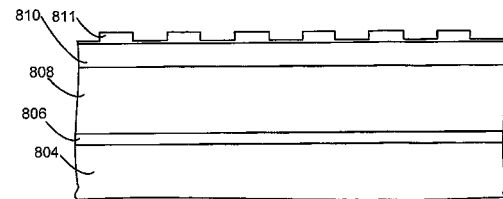


FIG. 8C

【図 8 D】

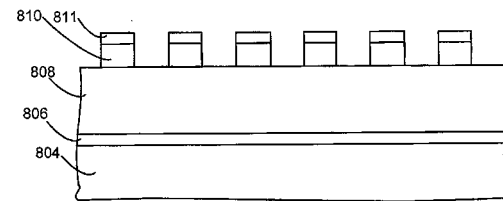


FIG. 8D

【図 8 B】

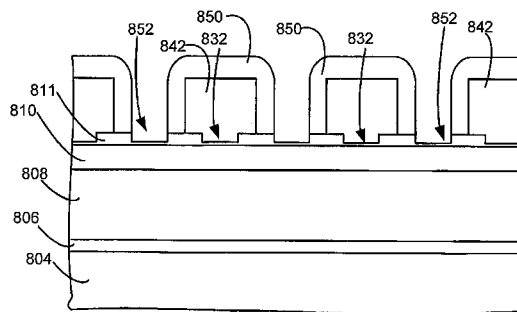


FIG. 8B

【図 8 E】

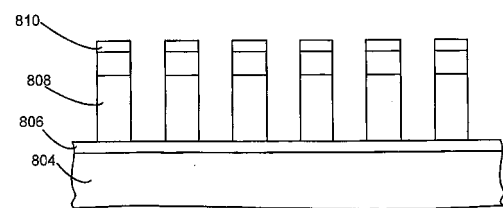


FIG. 8E

【図 8 F】

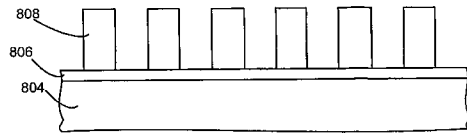


FIG. 8F

【図 9 A】

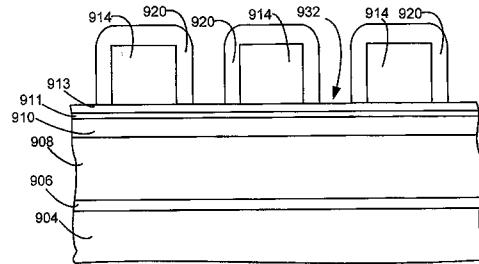


FIG. 9A

【図 9 B】

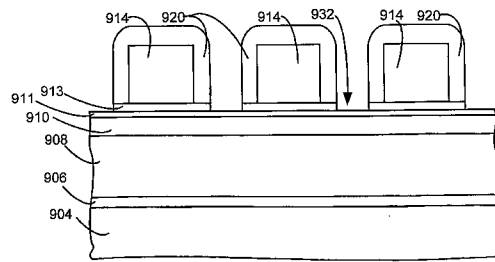


FIG. 9B

【図 9 E】

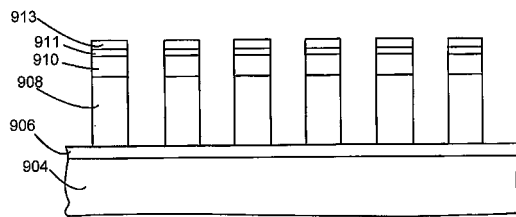


FIG. 9E

【図 9 F】

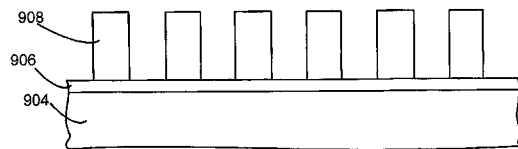


FIG. 9F

【図 9 C】

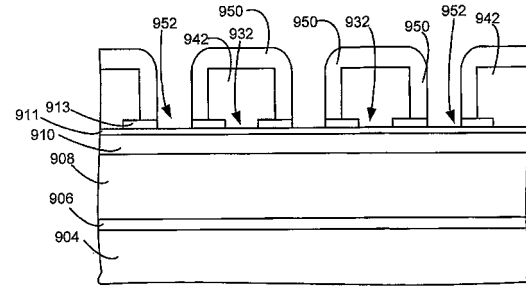


FIG. 9C

【図 9 D】

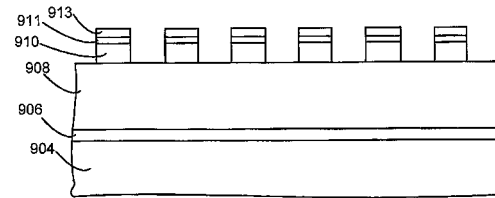


FIG. 9D

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