

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6726834号  
(P6726834)

(45) 発行日 令和2年7月22日 (2020.7.22)

(24) 登録日 令和2年7月2日 (2020.7.2)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 21/027 (2006.01)	HO 1 L 21/30 5 7 O
HO 1 L 21/3065 (2006.01)	HO 1 L 21/302 1 O 5 A

請求項の数 19 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2018-515551 (P2018-515551)	(73) 特許権者	000219967
(86) (22) 出願日	平成28年9月20日 (2016.9.20)		東京エレクトロン株式会社
(65) 公表番号	特表2018-530156 (P2018-530156A)		東京都港区赤坂五丁目3番1号
(43) 公表日	平成30年10月11日 (2018.10.11)	(74) 代理人	100107766
(86) 国際出願番号	PCT/US2016/052668		弁理士 伊東 忠重
(87) 国際公開番号	W02017/053296	(74) 代理人	100070150
(87) 国際公開日	平成29年3月30日 (2017.3.30)		弁理士 伊東 忠彦
審査請求日	令和1年7月8日 (2019.7.8)	(74) 代理人	100091214
(31) 優先権主張番号	62/232,005		弁理士 大貫 進介
(32) 優先日	平成27年9月24日 (2015.9.24)	(72) 発明者	デヴィリアーズ, アントン ジェイ.
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		アメリカ合衆国 ニューヨーク州 120
(31) 優先権主張番号	62/258,119		65 クリフトン パーク タナー ロード 734
(32) 優先日	平成27年11月20日 (2015.11.20)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	審査官	長谷 潮

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 サブ解像度基板パターンニングのためのエッチングマスクを形成する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板をパターンニングする方法であって、

下地層上に位置したマンドレルを有する基板を提供するステップであって、該マンドレルは第1の材料で構成される、提供するステップと、

前記マンドレルの露出した側壁に第1の側壁スペーサを形成するステップであって、該第1の側壁スペーサは第2の材料で構成される、形成するステップと、

前記第1の側壁スペーサの露出した側壁に第2の側壁スペーサを形成するステップであって、該第2の側壁スペーサは第3の材料で構成される、形成するステップと、

互いに向き合う前記第2の側壁スペーサの露出した側壁の間に規定された開スペースを充填する充填構造を形成するステップであって、該充填構造は第4の材料で構成され、前記マンドレルの上面、前記第1の側壁スペーサの上面、前記第2の側壁スペーサの上面、及び該充填構造の上面はすべて覆われず、前記第1の材料、前記第2の材料、前記第3の材料及び該第4の材料は、すべて互いに化学的に異なる、形成するステップと、

前記第1の材料、前記第2の材料、前記第3の材料、及び前記第4の材料を覆わない開口を規定する第1のエッチングマスクを前記基板上に設けるステップと、

前記第1のエッチングマスク及び第1のエッチング化学を使用して、第1の選択材料を選択的にエッチングするステップと、を含む方法。

【請求項 2】

前記第1の材料、前記第2の材料、前記第3の材料、及び前記第4の材料は、すべて互

10

20

いに化学的に異なり、第1のエッチング化学は、残りの材料に対して前記第1の材料を選択的にエッチングし、第2のエッチング化学は、残りの材料に対して前記第2の材料を選択的にエッチングし、第3のエッチング化学は、残りの材料に対して前記第3の材料を選択的にエッチングし、第4のエッチング化学は、残りの材料に対して前記第4の材料を選択的にエッチングする、請求項1に記載の方法。

【請求項3】

前記第1の材料、前記第2の材料、前記第3の材料、及び前記第4の材料は、すべて互いに化学的に異なり、所定のエッチング化学を使用してエッチングするときに、所与の2つの材料が残りの材料に対して選択的にエッチングされる、請求項1に記載の方法。

【請求項4】

前記第1の材料、前記第2の材料、前記第3の材料、及び前記第4の材料は、すべて互いに化学的に異なり、所定のエッチング化学を使用して前記基板をエッチングすることは、残りの材料に対して所与の3つの材料を選択的にエッチングすることである、請求項1に記載の方法。

【請求項5】

前記第1の材料、前記第2の材料、前記第3の材料、及び前記第4の材料のうちの2つは同じ材料であり、第1のエッチング化学は、残りの材料に対して前記第1の材料、前記第2の材料、前記第3の材料、及び第4の材料のうちの2つを同時選択的にエッチングする、請求項1に記載の方法。

【請求項6】

残りの材料に対して、1つ以上の選択された材料を選択的にエッチングする所定のエッチング化学を使用して、エッチングプロセスを実行するステップをさらに含む、請求項1に記載の方法。

【請求項7】

前記下地層は、前記第1の材料、前記第2の材料、前記第3の材料、及び前記第4の材料とは化学的に異なる第5の材料で構成される、請求項1に記載の方法。

【請求項8】

前記第1のエッチングマスク及び第2のエッチング化学を使用して、第2の選択材料を選択的にエッチングするステップと、さらに含む、請求項1に記載の方法。

【請求項9】

少なくとも一部の前記第1の側壁スペーサは、前記第2の側壁スペーサを形成するステップの前に、互いの間に開スペースを規定する、請求項1に記載の方法。

【請求項10】

前記マンドレルのピッチは、所与のフォトリソグラフィシステムの光学解像度よりも小さい、請求項1に記載の方法。

【請求項11】

前記マンドレルのハーフピッチ間隔は16ナノメートル未満である、請求項1に記載の方法。

【請求項12】

前記第2の側壁スペーサを形成するステップは、

前記第3の材料を前記基板上にコンフォーマルに付着させるステップと、

前記第3の材料を前記マンドレルの上面から、及び前記第1の側壁スペーサの側壁に付着した前記第3の材料の間における前記下地層から除去するスペーサ・オープン・エッチングを実行するステップと、を含む、請求項1に記載の方法。

【請求項13】

前記第2の側壁スペーサの露出した側壁の間に規定された開スペースを充填する前記充填構造を形成するステップは、

過剰な前記第4の材料を前記基板上に付着させるステップと、

前記第4の材料が前記第2の側壁スペーサの上面より下に窪むまで、前記第4の材料をエッチバックするステップと、を含む、請求項1に記載の方法。

## 【請求項 14】

基板をパターニングする方法であって、

下地層上に位置したマンドレルを有する基板を提供するステップであって、該マンドレルは2つの材料で構成され、該マンドレルの下側部分は第1の材料で構成され、該マンドレルの上側部分は第6の材料で構成され、前記第1の材料は、化学機械研磨に耐性のあるストップ材料層として選択されている、提供するステップと、

前記マンドレルの露出した側壁に第1の側壁スペーサを形成するステップであって、該第1の側壁スペーサは第2の材料で構成される、形成するステップと、

前記第1の側壁スペーサの露出した側壁に第2の側壁スペーサを形成するステップであって、該第2の側壁スペーサは第3の材料で構成される、形成するステップと

互いに向き合う前記第2の側壁スペーサの露出した側壁の間に規定された開スペースを充填する充填構造を形成するステップであって、該充填構造は第4の材料で構成され、前記マンドレルの上面、前記第1の側壁スペーサの上面、前記第2の側壁スペーサの上面、及び前記充填構造の上面はすべて覆われず、前記第1の材料、前記第2の材料、前記第3の材料及び前記第4の材料のうちの少なくとも2つの材料は、残りの材料に対して化学的に異なる、形成するステップと、を含む方法。

10

## 【請求項 15】

前記マンドレル、前記第1の側壁スペーサ、前記第2の側壁スペーサ、及び前記充填構造を下方の前記マンドレルの下側部分の上面に向けて平坦化する化学機械研磨プロセスを実行することによって、前記マンドレルの上面、前記第1の側壁スペーサの上面、前記第2の側壁スペーサの上面、及び充填構造の造面がすべて同一平面上にあるようにする、前記基板を平坦化するステップをさらに含む、請求項14に記載の方法。

20

## 【請求項 16】

基板をパターニングする方法であって、

下地層上に位置したマンドレルを有する基板を提供するステップであって、該マンドレルは第1の材料で構成される、提供するステップと、

前記マンドレルの露出した側壁に第1の側壁スペーサを形成するステップであって、該第1の側壁スペーサは第2の材料で構成され、該第1の側壁スペーサを形成するステップは、前記第2の材料を前記基板上にコンフォーマルに付着させるステップと、前記第2の材料を前記マンドレルの上面から、及び前記マンドレルの側壁に付着した前記第2の材料の間における前記下地層から除去するスペーサ・オープン・エッチングを実行するステップと、を含み、該スペーサ・オープン・エッチングを実行するステップは、前記下地層内にまで部分的にエッチングするステップを含む、形成するステップと、

30

前記第1の側壁スペーサの露出した側壁に第2の側壁スペーサを形成するステップであって、該第2の側壁スペーサは第3の材料で構成される、形成するステップと、

互いに向き合う前記第2の側壁スペーサの露出した側壁の間に規定された開スペースを充填する充填構造を形成するステップであって、該充填構造は第4の材料で構成され、前記マンドレルの上面、前記第1の側壁スペーサの上面、前記第2の側壁スペーサの上面、及び前記充填構造の上面はすべて覆われず、前記第1の材料、前記第2の材料、前記第3の材料及び前記第4の材料のうちの少なくとも2つの材料は、残りの材料に対して化学的に異なる、形成するステップと、を含む方法。

40

## 【請求項 17】

基板をパターニングする方法であって、

下地層上に位置したマンドレルを有する基板を提供するステップであって、該マンドレルは第1の材料で構成される、提供するステップと、

前記マンドレルの露出した側壁に第1の側壁スペーサを形成するステップであって、前記第1の側壁スペーサは第2の材料で構成される、形成するステップと、

前記第1の側壁スペーサの露出した側壁に第2の側壁スペーサを形成するステップであって、前記第2の側壁スペーサは第3の材料で構成される、形成するステップと、

互いに向き合う前記第2の側壁スペーサの露出した側壁の間に規定された開スペースを

50

充填する充填構造を形成するステップであって、該充填構造は第4の材料で構成され、前記マンドレルの上面、前記第1の側壁スペーサの上面、前記第2の側壁スペーサの上面、及び該充填構造の上面はすべて覆われず、前記第1の材料、前記第2の材料、前記第3の材料及び該第4の材料のうちの少なくとも2つの材料は、残りの材料に対して化学的に異なる、形成するステップと、

前記第1の材料、前記第2の材料、前記第3の材料、及び前記第4の材料を覆わない開口を規定する第1のエッチングマスクを前記基板上に設けるステップと、

前記第1のエッチングマスク及び第1のエッチング化学を使用して、残りの材料に対して1つ以上の材料を選択的にエッチングするステップと、を含む方法。

【請求項18】

前記第1のエッチングマスクを除去するステップと、

前記第1の材料、前記第2の材料、前記第3の材料、及び前記第4の材料を覆わない開口を規定する第2のエッチングマスクを前記基板上に設けるステップと、

前記第2のエッチングマスク及び第2のエッチング化学を使用して、残りの材料に対して1つ以上の材料を選択的にエッチングするステップと、さらに含む、請求項17に記載の方法。

【請求項19】

半導体基板上にパターン形成された構造であって、

4つの異なる材料のラインを有する、基板上のナノ加工構造であって、4つ異なる材料の該ラインは、該基板の少なくとも一部においてA - B - C - D - C - B - Aの繰り返し配列を規定し、各ラインの上面が覆われておらず、4つの異なる材料の該ラインのうち少なくとも2つは、マンドレル上のコンフォーマル付着とそれに続く指向性エッチングとを使用した側壁スペーサとして作成されており、少なくとも1つのラインは充填構造として形成されている、ナノ加工構造を含み、

前記マンドレルは、16ナノメートル未満のハーフピッチ間隔を有し、

4つの異なる材料の前記ラインは互いに化学的に異なり、1つ以上の材料が残りの材料に対して選択的にエッチングされ得る、構造。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本出願は、2015年9月24日に出願された「Methods of Forming Etch Masks for Sub-Resolution Substrate Patterning」と題する米国仮特許出願第62/232,005号の利益を主張し、その全体が参照により本明細書に援用される。本出願は、2015年11月20日に出願された「Methods of Forming Etch Masks for Sub-Resolution Substrate Patterning」と題する米国仮特許出願第62/258,119号の利益も主張し、その全体が参照により本明細書に援用される。

【0002】

本開示は、基板処理に関連し、より詳細には、半導体ウェハをパターンニングすることを含む、基板をパターンニングするための技術に関連する。

【背景技術】

【0003】

リソグラフィプロセスにおける線幅を縮小する方法は、歴史的には、より大きなNA光学（開口数）、より短い露光波長、又は空気以外の界面媒体（例えば、水浸漬）を使用することを伴ってきた。従来のリソグラフィプロセスの解像度が理論上の限界に近づいてきたため、製造者は光学的限界を克服するために二重パターンニング（DP）方法に取り掛かり始めた。

【0004】

（フォトリソグラフィのような）材料処理方法では、パターン形成された層を作成することは、フォトレジストのような放射線感受性材料の薄層を基板の上面に塗布することを

10

20

30

40

50

含む。この放射線感受性材料は、パターンを基板上の下地層に転写するためのエッチングマスクとして使用され得るレリーフパターンに変換される。放射線感受性材料のパターニングは、一般的に、例えばフォトリソグラフィシステムを使用して、放射線感受性材料上へのレチクル（及び関連する光学系）を通した化学線への暴露を伴う。この暴露の後に、現像溶媒を使用した（ポジティブフォトレジストの場合のように）放射線感受性材料の照射領域又は（ネガティブレジストの場合のように）非照射領域の除去が続く。このマスク層は、複数のサブ層を含むことができる。

#### 【 0 0 0 5 】

放射線又は光のパターンを基板上に暴露するための従来のリソグラフィ技術は、暴露されるフィーチャのサイズを制限し、暴露されるフィーチャ間のピッチ又は間隔を制限する様々な課題を有する。暴露限界を緩和する1つの従来技術は、二重パターニング手法を使用するものであり、従来のリソグラフィ技術で現在可能なものよりもより小さいピッチでのより小さいフィーチャのパターニングを可能にしている。

#### 【 発明の概要 】

#### 【 0 0 0 6 】

半導体技術は、14ナノメートル、7ナノメートル、5ナノメートル、及びそれ未満のフィーチャサイズを含む、より小さいフィーチャサイズ又はノードに継続的に進歩している。様々な要素が加工されるフィーチャのサイズがこのように連続的に小さくなることにより、フィーチャを形成するために使用される技術に対する要求がますます高まっている。「ピッチ」の概念は、これらのフィーチャのサイジングを説明するために使用され得る。ピッチは、2つの隣接する繰り返しフィーチャにおける2つの同一点間の距離である。ハーフピッチは隣接フィーチャの同一フィーチャ間の距離の半分である。

#### 【 0 0 0 7 】

ピッチ縮小技術は、「ピッチ倍化 (pitch doubling)」などによって例示されるように（しばしば、やや間違っていながらも日常的に）「ピッチ増倍 (pitch multiplication)」と呼ばれる。ピッチ縮小技術は、フォトリソグラフィの能力をフィーチャサイズの限界（光学解像度の限界）を超えて拡張することができる。すなわち、所定のファクタによる従来のピッチの増倍（より正確には、ピッチの縮小又はピッチ密度の増倍）は、特定のファクタによるターゲットピッチの縮小を伴う。193 nmの液浸リソグラフィで使用するダブルパターニング技術が22 nm以下のパターニングをする最も有望な技術の1つとして従来考えられてきた。注目すべきなのは、自己整合スパーサ二重パターニング (SADP) 又は自己整合四重パターニング (SAQP) が既にピッチ密度倍化プロセスとして確立されており、NANDフラッシュメモリーデバイスの大量生産に順応していることである。さらに、ピッチ四重化としてSADPステップを2回繰り返して超精細解像度が得られる。

#### 【 0 0 0 8 】

パターン密度又はピッチ密度を増加させるためのいくつかのパターニング技術が存在するが、従来のパターニング技術は、低い解像度又はエッチングされた粗いフィーチャに悩まされている。従って、従来の技術では、非常に小さい寸法（20 nm以下）に対して所望されるレベルでの均一性及び忠実度を提供することができない。信頼性のあるリソグラフィ技術では約80 nmのピッチを有するフィーチャを生成することはできる。しかし、従来及び新興の設計仕様は、約20 nm又は10 nm未満の限界寸法を有するフィーチャを加工することを望んでいる。さらに、ピッチ密度二重化及び四重化技術により、サブ解像度ラインが作成され得るが、これらのライン間にカット又は接続を作ることは困難である。これは、特に、そのようなカットに必要なピッチ及び寸法が従来のフォトリソグラフィシステムの能力よりはるかに小さいためである。

#### 【 0 0 0 9 】

本明細書に開示された技術は、高解像度フィーチャを作成するため、及びサブ解像度フィーチャのピッチ上でのカッティングのためのピッチ縮小（ピッチ/フィーチャ密度を増加させる）のための方法を提供する。技術は、異なるエッチング特性を有する複数の材料

10

20

30

40

50

を使用して、フィーチャを選択的にエッチングし、指定された箇所にカットを作成することを含む。したがって、本明細書における方法は、選択的な自己整合を提供する材料の配列を提供する。下地の転写層又は記憶層と組み合わせられて、5つの異なるエッチング選択性にアクセスすることができる。

#### 【0010】

一実施形態は、基板をパターニングする方法を含む。本方法は、下地層上に位置したマンドレルを有する基板を提供するステップを含み、マンドレルは第1の材料で構成される。第1の側壁スペーサはマンドレルの露出した側壁に形成され、第1の側壁スペーサは第2の材料で構成される。第2の側壁スペーサは第1の側壁スペーサの露出した（覆われていない）側壁に形成され、第2の側壁スペーサは第3の材料で構成される。互いに向き合う第2の側壁スペーサの露出した側壁の間に規定された開スペースを充填する充填構造が形成され、充填構造は第4の材料で構成される。マンドレルの上面、第1の側壁スペーサの上面、第2の側壁スペーサの上面、及び充填構造の上面はすべて覆われていない。第1の材料、第2の材料、第3の材料、及び第4の材料はすべて互いに化学的に異なり、それらの材料のうちの1つ以上が残りの材料に対して選択的にエッチングされ得る。

10

#### 【0011】

もちろん、本明細書において説明される異なるステップの説明の順序は、明瞭にするために提示されている。一般に、これらのステップは、任意の適切な順序で実行され得る。追加的に、本明細書における異なる特徴、技術、構成などの各々は、この開示の異なる箇所

20

で論じられ得るが、概念の各々は互いに独立して、又は互いに組み合わさって実行され得ることを意図している。したがって、本発明は多くの異なるやり方で具現化及び捉えられ得る。

#### 【0012】

この概要のセクションは、本開示又は特許請求の範囲に記載された発明のすべての実施形態及び/又は段階的に新規な態様を特定するものではないことに留意されたい。その代わりに、この概要は、異なる実施形態及び従来の技術に対する新規な対応する点の予備的な議論のみを提供する。本発明及び実施形態の追加的な詳細及び/又は可能な視点については、読者は、以下でさらに論じるように、本開示の詳細な説明のセクション及び対応する図面に指向される。

#### 【図面の簡単な説明】

30

#### 【0013】

本発明の様々な実施形態のより完全な理解及びそれらに付随する利点の多くは、添付の図面と併せて考慮される以下の詳細な説明を参照すれば容易に明らかとなるであろう。図面は必ずしも縮尺通りではなく、その代わりに特徴、原理及び概念を示すことに重点が置かれている。

#### 【0014】

【図1】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

【図2】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

40

【図3】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

【図4】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

【図5】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

【図6】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

【図7】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

50

【図 8】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面斜視図である。

【図 9】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

【図 10】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

【図 11】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

【図 12】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

10

【図 13】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

【図 14】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの上面図である。

【図 15】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの上面図である。

【図 16】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの上面図である。

【図 17】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの上面図である。

20

【図 18】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの上面図である。

【図 19】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの上面図である。

【図 20】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの上面図である。

【図 21】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの上面図である。

【図 22】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

30

【図 23】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

【図 24】本明細書で開示される実施形態による例示的な基板セグメントの断面側面図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

本明細書に開示される技術は、高解像度フィーチャを作成するため、また、サブ解像度フィーチャのピッチ上でのカッティングのために、ピッチ縮小（ピッチ／フィーチャ密度の増加させる）のための方法及び加工構造を提供する。技術は、異なるエッチング特性を有する複数の材料を使用して、フィーチャを選択的にエッチングし、指定された箇所にカット（cuts）又はブロック（block）を作成することを含む。これは、A - B - C - D - C - B - Aのパターンを有する、材料の繰り返しパターンを生成することを含むことができ、ハーフピッチは40ナノメートル未満、さらには12ナノメートル未満であり、より小さくなっている。材料の限界寸法は、光学解像度だけで制御されるのではなく、原子層堆積を用いること等により付着厚さのタイプによって制御され得る。

40

【0016】

一実施形態は、基板をパターンングする方法を含む。そのような方法は、半導体デバイス及び集積回路の微細加工に有用である。ここで、図1を参照すると、本方法は、下地層115上に位置したマンドレル111を有する基板105を提供することを含む。マンドレル111は、第1の材料で構成される。基板105は、シリコンウェハを含むことがで

50

きる。所与の加工フロー内の基板の進行状況に応じて、１つ以上の追加の下地層及び／又は埋め込み構造が含まれ得る。マンドレルを構成することができる多くの異なる材料がある。材料は、様々な窒化物、酸化物、有機物、金属はもちろん他の従来から利用可能な材料を含むことができる。マンドレル１１１は、従来のパターニング技術を使用して形成され得る。例えば、マンドレル１１１は、自己整合二重パターニング又は自己整合四重パターニング技術の結果とすることができ、したがって、サブ解像度のハーフピッチを有することができる。

#### 【００１７】

第１の側壁スペーサ１１２は、図３に示すように、マンドレル１１１の露出した側壁に形成される。第１の側壁スペーサ１１２は、第２の材料で構成される。図３がマンドレル１１１の縦方向側壁に形成されたスペーサを示すことに留意されたい。第１の側壁スペーサ１１２を形成することは、第２の材料を基板上にコンフォーマルに付着させることを含むことができる。図２は、基板１０５上に付着したコンフォーマル膜１２２を示す。そのようなスペーサの形成は従来から知られている。例えば、原子層堆積（ＡＬＤ）などの高度にコンフォーマルな付着技術が、マンドレル１１１及び下地層１１５をほぼ均一に覆うスペーサ材料を付着させるために選択され得る。スペーサ・オープン・エッチング（spacer open etch）が、次いで実行されて、側壁スペーサの形成を完了することができる。そのようなスペーサ・オープン・エッチングは、代表的には、第２の材料をマンドレル１１１の上面から、及びマンドレル１１１の側壁に付着した第２の材料の間における（マンドレルの側壁上の材料が下地層１１５を覆う場所を除く）下地層１１５から除去する指向性エッチングである。

#### 【００１８】

第２の側壁スペーサ１１３は、図５に示すように、第１の側壁スペーサ１１２の露出した側壁に形成される。第２の側壁スペーサ１１３は、第３の材料で構成される。図５が第１の側壁スペーサ１１２の縦方向側壁に形成されたスペーサを示すことに留意されたい。第２の側壁スペーサ１１３を形成することは、第３の材料を基板上にコンフォーマルに付着させることを含むことができる。図４は、基板１０５上に付着したコンフォーマル膜１２３を示す。そのようなスペーサの形成は従来から知られている。例えば、原子層堆積（ＡＬＤ）などの高度にコンフォーマルな付着技術が、マンドレル１１１、第１の側壁スペーサ１１２、及び下地層１１５を含み得る基板上の既存の構造をほぼ均一に覆うスペーサ材料を付着させるために選択され得る。スペーサ・オープン・エッチングが、次いで実行されて、側壁スペーサの形成を完了することができる。そのようなスペーサ・オープン・エッチングは、代表的には、第３の材料をマンドレル１１１の上面から、第１の側壁スペーサ１１２の上面から、及び第１の側壁スペーサ１１２の側壁に付着した第３の材料の間における（構造の縦方向側壁にある材料が下地層１１５を覆う場所を除く）下地層１１５から除去する指向性エッチングである。少なくとも一部の第１の側壁スペーサ１１２は、第２の側壁スペーサを形成する前に、互いの間に開スペースを規定する。いくつかの場所では、マンドレルのハーフピッチを短くすることができ、第１の側壁スペーサを形成することにより、選択されたマンドレル対の間のスペースを完全に充填して、そのような場所に第２の側壁スペーサが形成されないようにする。言い換えると、マンドレルのピッチを変化させると、第１の側壁スペーサ又は第２の側壁スペーサのいずれかによる合体したスペーサを生じさせる可能性がある。そのような加工技術は、例えば、集積回路のための電力レールを形成する際に有益であり得る。

#### 【００１９】

ここで図７を参照すると、充填構造１１４が次いで基板１０５上に形成される。充填構造１１４は、（充填構造１１４を形成する前に）互いに向き合った第２の側壁スペーサ１１３の露出した側壁間に規定された開スペースを充填する。充填構造１１４は、第４の材料で構成される。充填構造１１４は、マンドレル１１１の上面、第１の側壁スペーサ１１２の上面、第２の側壁スペーサ１１３の上面、及び充填構造１１４の上面がすべて覆われないように形成される。形成中の材料選択は、第１の材料、第２の材料、第３の材料、及



び第4の材料がすべて互いに化学的に異なるようにする。充填構造114を形成することは、第4の材料の過剰材料124を基板上に付着させることを含むことができる。図6は、基板105上に付着した過剰材料124を示し、それは既存の構造を完全に覆うことができる。過剰材料124を付着させるために、スピンオン付着を含め、様々な付着技術が使用され得る。付着後、第4の材料が第2の側壁スペーサ113の上面よりも下に窪むまで、過剰材料124がエッチバックされ得る。第4の材料は、また、第1の側壁スペーサ112の上面及びマンドレル111の上面よりも下に窪む。

#### 【0020】

図8は、マンドレル111、第1の側壁スペーサ112、第2の側壁スペーサ113、及び充填構造114による4つの異なるラインアレイを有する基板セグメントの斜視図を示す。この結果において、マンドレル111、第1の材料、第2の材料、第3の材料、及び第4の材料は、すべて互いに化学的に異なり、第1のエッチング化学は、残りの材料に対して第1の材料を選択的にエッチングし、第2のエッチング化学は、残りの材料に対して第2の材料を選択的にエッチングし、第3のエッチング化学は、残りの材料に対して第3の材料を選択的にエッチングし、第4のエッチング化学は、残りの材料に対して第4の材料を選択的にエッチングする。言い換えると、4つの異なる材料のいずれも、残りの材料に対して選択的にエッチングされ得る。他の実施形態では、第1の材料、第2の材料、第3の材料、及び第4の材料は、すべて互いに化学的に異なり、所定のエッチング化学を使用してエッチングするときに、所与の2つの材料が残りの材料に対して選択的にエッチングされる。別の実施形態では、第1の材料、第2の材料、第3の材料、及び第4の材料は、すべて互いに化学的に異なり、所定のエッチング化学を使用して基板をエッチングすることは、残りの材料に対して所与の3つの材料を選択的にエッチングすることである。別の実施形態では、第1の材料、第2の材料、第3の材料、及び第4の材料のうちの少なくとも2つの材料が残りの材料とは化学的に異なる。従って、残りの材料に対して1つ以上の選択材料をエッチングする所定のエッチング化学を使用して、エッチングプロセスが実行され得る。

#### 【0021】

他の実施形態では、第1の材料、第2の材料、第3の材料、及び第4の材料のうちの2つは同じ材料であり、第1のエッチング化学は、残りの材料に対して第1の材料、第2の材料、第3の材料、及び第4の材料のうちの2つを同時選択的にエッチングする。したがって、すべての異なる材料を有する代わりに、2つ以上の材料は同じ材料であり、それゆえ一致するエッチング特性を本質的に有する。特定の異なる材料が、両方のエッチングに適合する特定の化学で同様にエッチングすることができ、それゆえ、同時にエッチングされ得るフィーチャを作成するための異なる方法が存在する。同じ材料の材料は、例えば、所与の基板上の隣接するライン又は交互にあるラインとすることができる。

#### 【0022】

ここで、図9～図13を参照すると、過剰材料124を窪ませる際に有益となり得る代替的な方法が開示されている。この方法は、第1の側壁スペーサ112を形成するときに、下地層115内にまで部分的にエッチングすることを伴う。図9は、スペーサ・オープン・エッチングが下地層115内にまで部分的にエッチングすることを含むことを除いて、図3と同様である。指向性エッチャントに暴露される下地層115の上面は、今やマンドレル111の底面よりも下にあることに留意されたい。この窪みの利点は、コンフォーマル膜123が比較的高い側壁を有する構造に付着されるため、図10においてより明らかになる。図11は、第1の側壁スペーサ112よりも長い第2の側壁スペーサ113を示す。こうして、過剰材料124が付着されるときには(図12)、第2の側壁スペーサ113間に付着した過剰材料124の量が長くなり、図13に示すように、エッチバックを実行して充填構造114を形成するときにより長くなり、耐性を持たせることを意味する。

#### 【0023】

様々なエッチング化学が4つの材料のうちの1つ以上を選択的にエッチングするために

10

20

30

40

50

使用され得る。様々な選択比で他のタイプの材料に対して特定のタイプの材料を選択的にエッチングすることができるエッチング化学（プロセスガス及びガスの組み合わせ）が知られている。

【0024】

下地層115は、第1の材料、第2の材料、第3の材料及び第4の材料とは化学的に異なる第5の材料で構成され得る。第5の材料が他の4つの材料とは異なることによって、下地層は、他の層に転写するための複合パターンを作成するための記憶層又は転写層として使用され得る。

【0025】

マスキング層を使用すると、パターン転写をさらに助けることができる。図14は、図8の例示的な基板セグメントの上面図である。さらなるパターン化動作のために4つの異なる材料のラインが形成されていることに留意されたい。概して、基板の少なくとも一部分は、セグメント130に示すように、材料タイプパターンがA-B-C-D-C-B-Aであるラインの繰り返しパターンを含むことができる。したがって、材料のタイプに応じて、様々な間隔距離が利用可能である。例えば、材料A又は材料Dの繰り返しインスタンス間には、異なる材料の5つのラインが存在する。これらの材料は、マンドレル材料及び充填構造材料に対応することができる。材料B又は材料Cの繰り返しインスタンス間には、代表的には、異なる材料タイプの1つ又は3つのラインが存在する。

【0026】

図15に示すように、第1の材料、第2の材料、第3の材料及び第4の材料を覆わない開口を規定する第1のエッチングマスク141が基板上に設けられ得る。そのようなエッチングマスクは、一方向においてより小さい寸法で直線的とすることができる開口を規定することができることに留意されたい。第1のエッチングマスク141及び対応する開口は、従来のフォトリソグラフィシステムによって規定され得る。

【0027】

第1の選択材料は、第1のエッチングマスク141及び第1のエッチング化学を使用して選択的にエッチングされる。図16は、この選択的なエッチングの結果の例示的な結果を示す。材料Aのマスクされていない部分が除去され、それらの位置で今や下地層115が見えていることに留意されたい。このエッチングステップ中、残りの材料は除去されなかったことにも留意されたい。図17は、第1のエッチングマスク141が除去された、これらの結果を示す。他の実施形態では、第2の選択材料が、第1のエッチングマスクと第2のエッチング化学を使用して選択的にエッチングされ得る。代替的には、1つ以上の材料が、残りの1つ以上の材料に対して選択的にエッチングされ得る。

【0028】

ここで、図18を参照すると、第1の材料、第2の材料、第3の材料及び第4の材料を覆わない開口を規定する第2のエッチングマスク142が基板上に作成され得る。1つ以上のマスクされていない材料が、次いで、第2のエッチングマスク及び第2のエッチング化学を使用して、残りの材料に対して選択的にエッチングされ得る。図18は、エッチングされた材料Cのマスクされていない部分を示す。図19は、第2のエッチングマスク142が除去された基板セグメントを示す。図20は、下地層を介して複合パターンを転写した結果を示す。図21に示す非限定的な例では、材料B及びDは、保持されているか、又は反転されて、転送されたセグメント又はカットと組み合わせられて、図21に示す構造を提供する。マンドレルのピッチは、所与のフォトリソグラフィシステムの光学解像度よりも小さいことに留意されたい。例えば、マンドレルのハーフピッチ間隔は、40ナノメートル未満、12ナノメートル未満、又はそれよりも小さくすることができ、本明細書における技術は、従来のフォトリソグラフィシステムを使用してそのような狭ピッチライン間にカットを生成することができる。

【0029】

4つの材料の同一平面上の表面が望ましい用途には、他の方法が使用され得る。そのような実施形態では、下地層上に位置するマンドレル111を有する基板105を提供する

10

20

30

40

50

ことは、2つの材料で構成されるマンドレルを含む。マンドレルの下側部分151は第1の材料で構成され、マンドレルの上側部分152は第6の材料で構成される。この例を図22に示す。第1の材料は、窒化物のような、化学機械研磨に耐性のあるストップ材料層として選択される。図1～図6において前述したように、プロセスの流れは、次いで、図23に示すように過剰材料124が基板105上に付着する時点まで継続する。この時点でエッチバックを省略してもよいし、部分的に実行してもよい。この実施形態は、マンドレル、第1の側壁スペーサ、第2の側壁スペーサ、及び充填構造を、下方のマンドレルの下側部分151の上面に向けて平坦化する化学機械研磨プロセスを実行することによって基板を平坦化する平坦化ステップを含み、図24に示すように、マンドレルの上面、第1の側壁スペーサの上面、第2の側壁スペーサの上面、及び充填構造の上面がすべて同一平面上にあるようにする。そのような技術の1つの利点は、側壁スペーサの湾曲した、尖った、又は傾斜した表面を除去することである。

10

#### 【0030】

別の実施形態は、半導体基板上のパターン形成された構造を含む。このパターン形成された構造は、4つの異なる材料のラインを有する、基板上のナノ加工構造を含む。4つの異なる材料のラインは、基板の少なくとも一部においてA-B-C-D-C-B-Aの繰り返し配列を規定する。各ラインの上面は覆われておらず、それゆえ指向的にエッチングされ得る。ラインのうちの少なくとも2つは、コンフォーマル付着とそれに続く指向性エッチングを使用した側壁スペーサとして作成されている。それぞれの材料のラインは、16ナノメートル未満のハーフピッチ間隔を有する。4つの異なる材料は、互いに化学的に異なり、1つ以上の材料が残りの材料に対して選択的にエッチングされ得る。図8は、このパターン形成された構造の例示的な実施形態の図示である。このパターン形成された構造は、代表的には最終構造ではなく、その後続くパターン形成、ピッチ上でのカットティング等のための有効化構造である。

20

#### 【0031】

理解され得るように、選択可能な材料及び材料の組み合わせのマトリクスが作成されて、従来のフォトリソグラフィシステムの解像度能力よりも小さい所望の位置及び長さでフィーチャを作成することができる。エッチングされたフィーチャそのものは、記憶層及び/又はターゲット層に転写されることができ、パターンを反転するためにも使用され得ることに留意されたい。したがって、選択エッチングのために5つの異なる材料にアクセスすることができる。自己整合がエッチングマスク及び異なる材料の異なるエッチング選択性を使用して、基板上の様々な場所で選択され得る。言い換えると、既知の寸法の4つの異なる材料により、設計者はエッチングを実行する場所を選択し、そのエッチングがサブ解像度の寸法で自己整合するようにすることができる。例えば、フォトレジスト材料による所与のコンタクトパターンが比較的大きく、複数の材料にまたがる場合、コンタクトは、そのコンタクトパターン開口内の材料のうちの1つでのみエッチングされる。

30

#### 【0032】

本明細書における技術は、ペDESTAL化された (pedestalized) カラースキーム、すなわち、異なるエッチング選択性を有する材料を提供するために使用され得る。それ自体がサブ解像度の複数のパターンニングの製品であり得るマンドレルから出発して、スペーサ (コンフォーマルな材料) でダブルラップ (double wrapped) され、残りのスペースは第4の材料で充填される。カットの長さは、SADP / SAQP 及び ALD 技術によって制御され、フォトリソグラフィ解像度に対してかなり小さい寸法に制御することができる。例えば、SADP / SAQP 技術は、光学的に設定された解像度パターンを開始サイズの8分の1又は16分の1に縮小することができ、スペーサ付着技術はナノメートル以下で制御することができる。従来は、ピッチ上でのカットをすることは非常に難しかった。従来のフォトリソグラフィシステムは、約42ナノメートルのカットを行うことができる。しかし、本明細書における技術により、コンタクトは思いのままに任意の場所に配置又はカットすることができる。このパターンニング技法は、色をまたいだピッチ分割も可能にする。いくつかの領域では、マンドレル間のように、材料間に完全なハーフピッチが存在し

40

50

、他の領域には比較的大きな量の自己整合がある。さらに、2つの材料が互いに隣接している5つの色の材料のうちの2つ以上を選択することによって、図21に示すことができるように、オフピッチ又は混合サイズのエッチングが実行され得る。したがって、本明細書の技術により、様々なピッチ倍数をカット又はブロックとして作成することができる。

【0033】

前述の説明では、処理システムの特定のジオメトリ、及びそこで使用される様々な構成要素及びプロセスの説明等、特定の詳細が明示されている。しかし、本明細書における技術は、これらの特定の詳細から逸脱する他の実施形態において実施されることができ、そのような詳細は、説明を目的とし、限定ではないと理解されるべきである。本明細書において開示された実施形態は、添付の図面を参照して説明されている。同様に、説明を目的として、徹底的な理解を提供するために、特定の数、材料、及び構成が明示されている。それでも、そのような具体的な詳細なしに実施形態を実施することができる。実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、類似の符号により示され、任意の冗長説明は省略され得る。

【0034】

様々な技術を、様々な実施形態の理解を助けるために複数の離散的な動作として説明した。説明の順序は、これらの操作が必然的に順序に依存することを意味するものとして解釈されるべきではない。実際に、これらの操作は、提示順に実行される必要がない。説明された動作が、説明された実施形態と異なる順序で実行され得る。様々な追加の動作が実行されてもよく、及び/又は説明された動作が追加の実施形態において省略されてもよい。

【0035】

本明細書で使用される「基板」又は「ターゲット基板」は、一般に、本発明に従って処理される物体を指す。基板は、デバイス、特に半導体又は他の電子工学デバイスの任意の材料部分又は構造を含むことができ、例えば、半導体ウェハ、レチクル、又はベース基板構造の上又は上に横たわる薄膜のような層とすることができる。したがって、基板は、いかなる特定のベース構造であること、下地層又は上層であること、及びパターン形成されていること又はパターン形成されていないことには限定されず、むしろそのような層又はベース構造、及び層及び/又はベース構造の任意の組み合わせを含むと考えられる。この説明は、特定のタイプの基板を参照することができるが、これは例示的な目的のみのためである。

【0036】

当業者であれば、本発明の同じ目的を依然として達成しつつ、上述した技術の動作に対してなされる多くのバリエーションが存在し得るとも理解するだろう。そのようなバリエーションが本開示の範囲によって網羅されることを意図している。このように、本発明の実施形態の前述の説明が限定することを意図していない。むしろ、本発明の実施形態に対する任意の制限は、以下の特許請求の範囲において提示される。

【図 1】

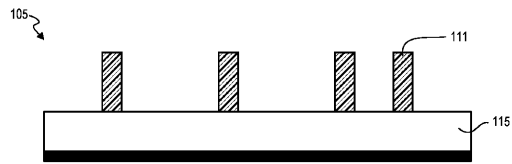


FIG. 1

【図 2】

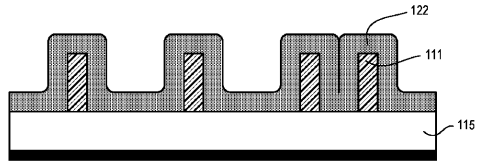


FIG. 2

【図 3】

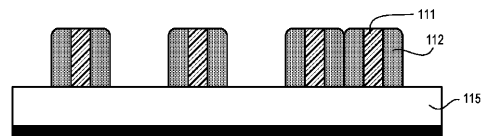


FIG. 3

【図 7】

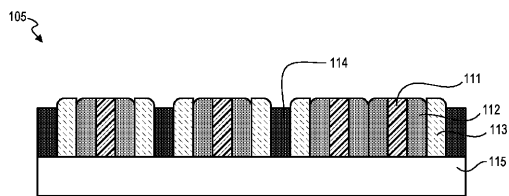


FIG. 7

【図 8】

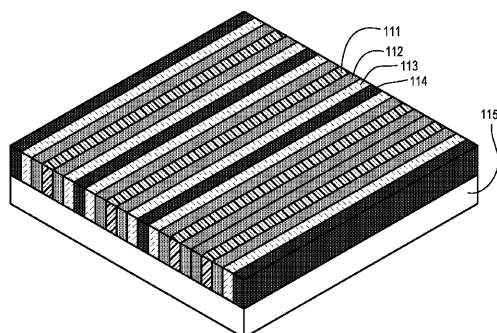


FIG. 8

【図 4】

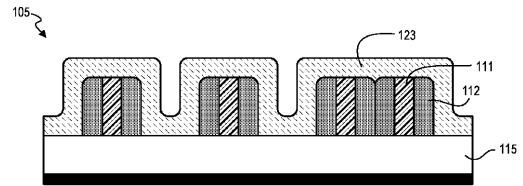


FIG. 4

【図 5】

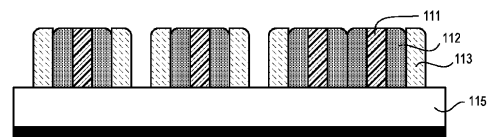


FIG. 5

【図 6】

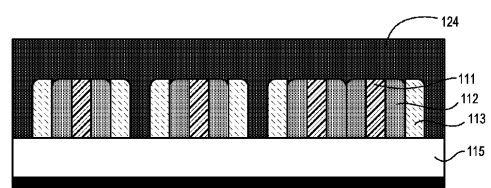


FIG. 6

【図 9】

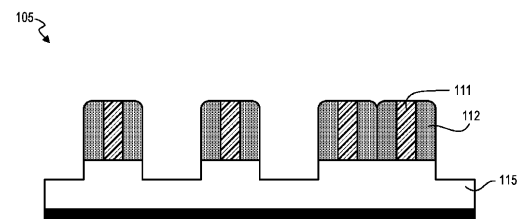


FIG. 9

【図 10】

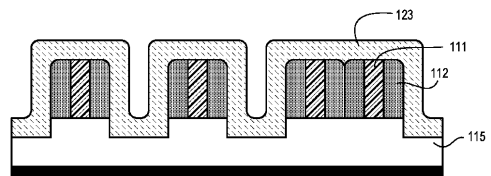


FIG. 10

【図 11】

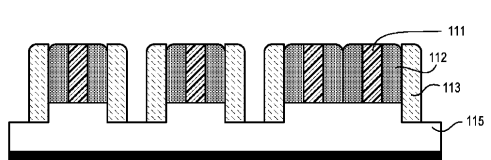


FIG. 11

【図 12】

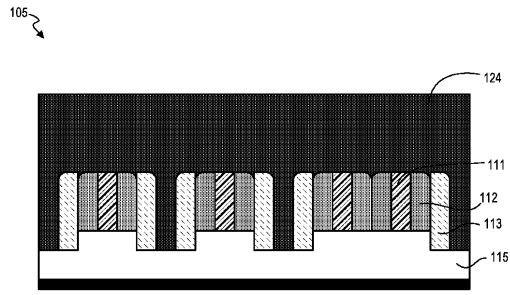


FIG. 12

【図 14】

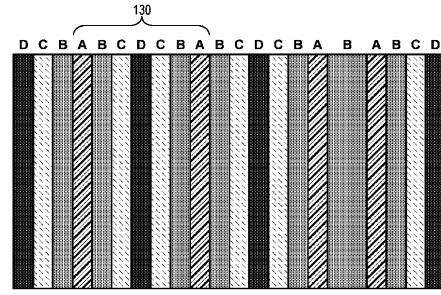


FIG. 14

【図 13】

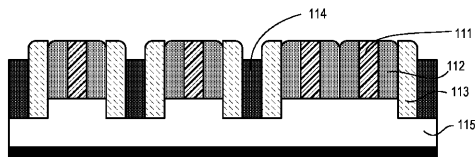


FIG. 13

【図 15】

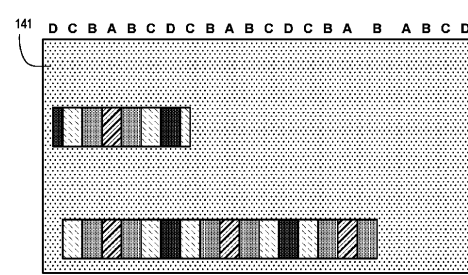


FIG. 15

【図 16】

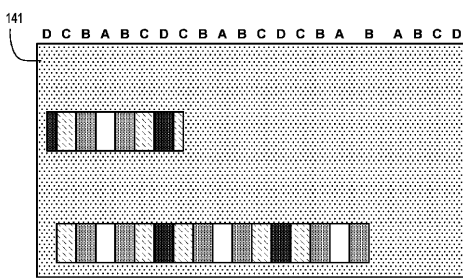


FIG. 16

【図 18】

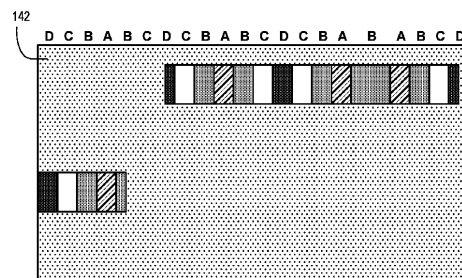


FIG. 18

【図 17】

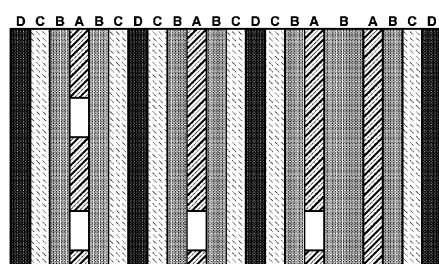


FIG. 17

【図 19】

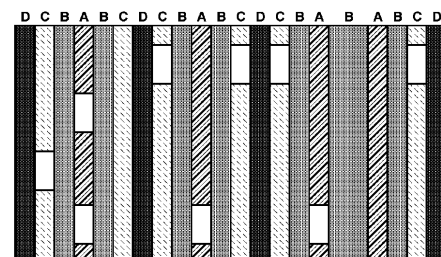


FIG. 19

【 図 2 0 】

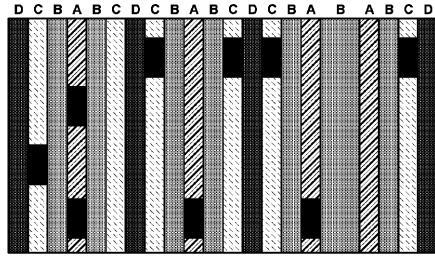


FIG. 20

【 図 2 1 】



FIG. 21

【 図 2 2 】

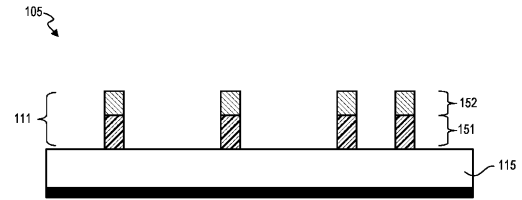


FIG. 22

【 図 2 3 】

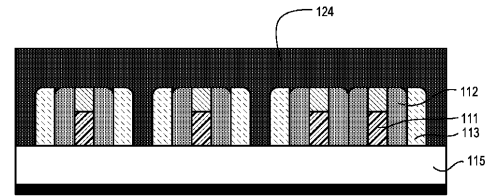


FIG. 23

【 図 2 4 】

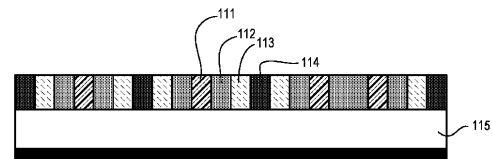


FIG. 24

---

フロントページの続き

(56)参考文献 米国特許出願公開第2009/0258492(US,A1)  
米国特許出願公開第2007/0099431(US,A1)  
米国特許出願公開第2015/0243518(US,A1)  
米国特許出願公開第2015/0171009(US,A1)  
米国特許第6632741(US,B1)  
米国特許出願公開第2006/0027889(US,A1)  
特表2010-503206(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

H01L 21/027  
H01L 21/3065