

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5236996号  
(P5236996)

(45) 発行日 平成25年7月17日(2013.7.17)

(24) 登録日 平成25年4月5日(2013.4.5)

(51) Int.Cl.

F 1

**H01L 21/305 (2006.01)**  
**H01L 21/306 (2006.01)**  
**H01L 21/768 (2006.01)**  
**H01L 21/3205 (2006.01)**

H01L 21/302 105A  
H01L 21/306 S  
H01L 21/88 B

請求項の数 18 外国語出願 (全 22 頁)

(21) 出願番号

特願2008-138376 (P2008-138376)

(22) 出願日

平成20年5月27日 (2008.5.27)

(65) 公開番号

特開2009-27146 (P2009-27146A)

(43) 公開日

平成21年2月5日 (2009.2.5)

審査請求日

平成23年5月27日 (2011.5.27)

審判番号

不服2012-17430 (P2012-17430/J1)

審判請求日

平成24年9月7日 (2012.9.7)

(31) 優先権主張番号

60/932,618

(32) 優先日

平成19年6月1日 (2007.6.1)

(33) 優先権主張国

米国(US)

(31) 優先権主張番号

11/875,205

(32) 優先日

平成19年10月19日 (2007.10.19)

(33) 優先権主張国

米国(US)

(73) 特許権者 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド  
APPPLIED MATERIALS, INCORPORATED  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95  
054 サンタクララ バウアーズ アベニュー 3050

(74) 代理人 100101502

弁理士 安齋 嘉章

(72) 発明者 クリストファー ディー ベンチャー  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 95  
131 サンノゼ ハズレット コート  
1251

早期審査対象出願

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】介挿領域を有するスペーサマスクを用いた頻度の3倍化

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

半導体マスクを製造する方法であって、  
一連のラインを含む犠牲マスクを有する半導体スタックを提供する工程と、  
前記一連のラインの側壁に近接するスペーサーラインと、前記スペーサーライン間に介挿ラインとを含むスペーサマスクを形成する工程であって、前記スペーサーラインと前記介挿ラインは同じ層からできており、同じ幅を有しており、前記スペーサマスクのスペーサーラインと介挿ラインの頻度が前記犠牲マスクの前記一連のラインの頻度の3倍である工程と、  
前記犠牲マスクを除去する工程を含む方法。

## 【請求項 2】

前記犠牲マスクの前記一連のラインのピッチが約6である請求項1記載の方法。

## 【請求項 3】

前記スペーサマスクの前記スペーサーラインの夫々の一部をトリミングして、介挿ラインを有するトリミングされたスペーサマスクを形成する工程を更に含み、介挿ラインを有する前記トリミングされたスペーサマスクを形成した後で、前記犠牲マスクを除去する請求項1記載の方法。

## 【請求項 4】

半導体マスクを製造する方法であって、

一連のラインを含む犠牲マスクを有する半導体スタックを提供する工程と、

前記半導体スタック上に、前記犠牲マスクと共にスペーサ層を堆積する工程と、

10

20

前記スペーサ層上に、フォトレジスト層を堆積し、前記フォトレジスト層をパターニングして、前記犠牲マスクの前記一連のラインの間にパターン化されたフォトレジスト層を形成する工程と、

前記スペーサ層をエッチングして、前記一連のラインの側壁に近接するスペーサラインと、前記スペーサライン間に介挿ラインとを有するスペーサマスクを提供する工程であって、前記スペーサ層のエッチングによって、前記犠牲マスクの上面を露出する工程と、

前記スペーサマスクの前記スペーサラインの夫々の一部をトリミングして、介挿ラインを有するトリミングされたスペーサマスクを形成する工程と、

介挿ラインを有する前記トリミングされたスペーサマスクを形成した後で、前記犠牲マスクを除去する工程とを含む方法。

10

#### 【請求項 5】

前記スペーサ層が、ケイ素を実質的に含み、前記犠牲マスクの上部が、窒化ケイ素及び酸化ケイ素からなる群より選択される材料を実質的に含み、前記スペーサ層をエッチングして、前記スペーサマスクを提供する工程が、 $C_{12}$  及び  $HBr$  からなる群より選択されるガスによるドライエッチングプロセスを用いる請求項4 記載の方法。

#### 【請求項 6】

前記犠牲マスクを除去する工程が、ホット  $H_3PO_4$  ウェットエッチング、含水フッ酸ウェットエッチング及び  $SiCONi$  エッチングからなる群より選択されるエッチングプロセスを用いる請求項5 記載の方法。

20

#### 【請求項 7】

前記スペーサ層が、酸化ケイ素を実質的に含み、前記犠牲マスクの上部が、窒化ケイ素及びケイ素からなる群より選択される材料を実質的に含み、前記スペーサ層をエッチングして、前記スペーサマスクを提供する工程が、 $C_4F_8$  及び  $CHF_3$  からなる群より選択されるガスによるドライエッチングプロセスを用いる請求項4 記載の方法。

#### 【請求項 8】

前記犠牲マスクを除去する工程が、ホット  $H_3PO_4$  ウェットエッチング、 $SiCONi$  エッチング、 $Cl_2$  プラズマエッチング及び  $CF_4/O_2$  プラズマエッチングからなる群より選択されるエッチングプロセスを用いる請求項7 記載の方法。

#### 【請求項 9】

前記スペーサ層が、窒化ケイ素を実質的に含み、前記犠牲マスクの上部が、酸化ケイ素及びケイ素からなる群より選択される材料を実質的に含み、前記スペーサ層をエッチングして、前記スペーサマスクを提供する工程が、 $CH_2F_2$  及び  $CHF_3$  からなる群より選択されるガスによるドライエッチングプロセスを用いる請求項4 記載の方法。

30

#### 【請求項 10】

前記犠牲マスクを除去する工程が、含水フッ酸ウェットエッチング、 $SiCONi$  エッチング、 $Cl_2$  プラズマエッチング及び  $CF_4/O_2$  プラズマエッチングからなる群より選択されるエッチングプロセスを用いる請求項9 記載の方法。

#### 【請求項 11】

前記スペーサマスクのスペーサラインと介挿ラインの頻度が、前記犠牲マスクの前記一連のラインの頻度の 3 倍である請求項4 記載の方法。

40

#### 【請求項 12】

半導体マスクを製造する方法であって、  
マスク層を有する半導体スタックを提供する工程と、

第 1 のフォトレジスト層を堆積し、パターン化して、前記マスク層上に画像を形成する工程と、

前記マスク層をエッチングして、前記画像を有する犠牲マスクを形成する工程であって、前記犠牲マスクが一連のラインを含む工程と、

前記半導体スタック上に、前記犠牲マスクと共にスペーサ層を堆積する工程と、

第 2 のフォトレジスト層を堆積し、パターン化して、介挿マスク及びエリア保存マスクを、前記スペーサ層上に形成する工程と、

50

前記スペーサ層をエッチングして、スペーサライン、介挿ライン及びエリア保存領域を含むスペーサマスクを提供する工程であって、前記スペーサラインが、前記犠牲マスクの前記一連のラインの側壁に近接していて、前記介挿ラインが前記スペーサライン間であり、前記スペーサ層のエッチングによって、前記犠牲マスクの上面を露出する工程と、

前記スペーサマスク及び前記犠牲マスク上に第3のフォトレジスト層を堆積し、パターン化して、前記スペーサマスクの前記スペーサラインの少なくとも一部を露出する工程と、

前記スペーサマスクの前記スペーサラインの前記露出した部分をエッチングして、前記スペーサマスクをトリミングする工程と、

前記犠牲マスクを除去する工程とを含む方法。

10

#### 【請求項13】

前記スペーサ層が、ケイ素を実質的に含み、前記犠牲マスクの上部が、窒化ケイ素及び酸化ケイ素からなる群より選択される材料を実質的に含み、前記スペーサ層をエッチングして、前記スペーサマスクを提供する工程が、 $C_{12}$ 及び $HBr$ からなる群より選択されるガスによるドライエッチングプロセスを用いる請求項12記載の方法。

#### 【請求項14】

前記犠牲マスクを除去する工程が、ホット $H_3PO_4$ ウェットエッチング、含水フッ酸ウェットエッチング及び $SiCONi$ エッチングからなる群より選択されるエッチングプロセスを用いる請求項13記載の方法。

20

#### 【請求項15】

前記スペーサ層が、酸化ケイ素を実質的に含み、前記犠牲マスクの上部が、窒化ケイ素及びケイ素からなる群より選択される材料を実質的に含み、前記スペーサ層をエッチングして、前記スペーサマスクを提供する工程が、 $C_4F_8$ 及び $CHF_3$ からなる群より選択されるガスによるドライエッチングプロセスを用いる請求項12記載の方法。

#### 【請求項16】

前記犠牲マスクを除去する工程が、ホット $H_3PO_4$ ウェットエッチング、 $SiCONi$ エッチング、 $C_{12}$ プラズマエッチング及び $CF_4/O_2$ プラズマエッチングからなる群より選択されるエッチングプロセスを用いる請求項15記載の方法。

#### 【請求項17】

前記スペーサ層が、窒化ケイ素を実質的に含み、前記犠牲マスクの上部が、酸化ケイ素及びケイ素からなる群より選択される材料を実質的に含み、前記スペーサ層をエッチングして、前記スペーサマスクを提供する工程が、 $CH_2F_2$ 及び $CHF_3$ からなる群より選択されるガスによるドライエッチングプロセスを用いる請求項12記載の方法。

30

#### 【請求項18】

前記犠牲マスクを除去する工程が、含水フッ酸ウェットエッチング、 $SiCONi$ エッチング、 $C_{12}$ プラズマエッチング及び $CF_4/O_2$ プラズマエッチングからなる群より選択されるエッチングプロセスを用いる請求項17記載の方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【関連出願の相互参照】

#### 【0001】

40

本出願は、ここに参考文献として組み込まれる2007年6月1日出願の米国特許仮出願第60/932,618号の利益を主張する。

#### 【背景】

#### 【0002】

##### (1) 分野

本発明の実施形態は半導体処理の分野である。特に、本発明の実施形態は半導体マスクの製造方法に関する。

#### 【0003】

##### (2) 関連技術の説明

過去数十年にわたって、集積回路のフィーチャーの縮小は、成長し続ける半導体業界を

50

支える推進力となっている。益々小さくなるフィーチャーの縮小によって、半導体チップの限られた面積での機能単位の密度を増やすことができる。例えば、収縮するトランジスタのサイズによって、多数のロジック及びメモリデバイスをマイクロプロセッサに組み込むことができ、複雑な製品の製造に役立っている。

#### 【0004】

しかしながら、縮小には結果がつきものである。マイクロエレクトロニクス回路の礎石の寸法が減じ、ある領域で製造される礎石の数が非常に多くなるにつれて、これらの礎石をパターン化するのに用いるリソグラフィープロセスに対する制約は計り知れないものとなっている。特に、半導体スタックにおけるパターン化フィーチャーの最低寸法（限界寸法）とかかるフィーチャー間の間隔とは相反するものである。図1A～Cに、先行技術による従来の半導体リソグラフィープロセスを表す断面図を示す。10

#### 【0005】

図1Aを参照すると、フォトレジスト層104が、半導体スタック102上に提供されている。マスク又はレチクル106が、フォトレジスト層104上に配置されている。リソグラフィープロセスには、図1Aの矢印に示されるような、特定の波長を有するフォトレジスト層104の光( $h\nu$ )への露光が含まれる。図1Bを参照すると、フォトレジスト層104は、後に現像されて、半導体スタック102上にパターン化フォトレジスト層108が提供される。フォトレジスト層104の露光された部分が除去されている。パターン化フォトレジスト層108の各フィーチャーの幅は、幅「x」で示されている。各フィーチャー間の間隔は、間隔「y」で示されている。典型的に、特定のリソグラフィープロセスについての限界によって、図1Bに図示するような、フィーチャー間の間隔に等しい限界寸法、即ち、 $x = y$ 、を有するフィーチャーが提供される。20

#### 【0006】

図1Cを参照すると、フィーチャーの限界寸法（即ち、幅「x」）を減じて、半導体スタック102上にパターン化フォトレジスト層110を形成してもよい。限界寸法は、図1Aに図示するリソグラフィー工程中に、フォトレジスト層104を過露光することにより、又は、図1Bから、パターン化フォトレジスト層108を後にトリミングすることにより収縮する。限界寸法のこの減少は、図1Cに間隔「y」で示されるフィーチャー間の間隔を増やすことにより成される。パターン化フォトレジスト層110の各フィーチャーの最小可能な寸法と、各フィーチャー間の間隔とは相反するものである。30

半導体リソグラフィープロセスの頻度の3倍化について、ここに説明する。

#### 【詳細な説明】

#### 【0007】

半導体リソグラフィープロセスの頻度を3倍化する方法について説明する。以下の説明では、本発明を完全に理解するために、製造条件や材料レジメ等数多くの具体的な詳細を示す。当業者であれば、これらの具体的な詳細なしで本発明を実施できることは明白であろう。他の例では、集積回路設計レイアウトやフォトレジスト現像プロセス等の周知の特徴は、本発明を必要に曖昧にしないため、詳細は記載していない。更に、図面に示した様々な実施形態は、例示のためであり、必ずしも縮尺は合っていないものと考えられる。40

#### 【0008】

一実施形態において、半導体マスクを製造する方法が提供される。一連のラインを含む犠牲マスクを有する半導体スタックが、先ず提供される。一実施形態において、犠牲マスクの一連のラインの側壁に近接するスペーサーラインを含むスペーサーマスクを形成する。スペーサーマスクはまた、スペーサーライン間に介挿ラインも有する。犠牲マスクを除去すると、介挿ラインを有するスペーサーマスクのみが提供される。具体的な実施形態において、スペーサーマスクは、先ず、スペーサ層を半導体スタック上に、犠牲マスクと共に堆積することにより形成される。フォトレジスト層を、スペーサ層上に、堆積し、パターン化し、犠牲マスクの一連のラインを介挿する。スペーサ層をエッチングして、スペーサーライン間の介挿ラインに沿って、犠牲マスクの一連のラインの側壁に近接するスペーサーラインを有するスペーサーマスクを提供する。エッチングプロセスはまた、犠牲マスクの上面を露出す50

る。最後に、犠牲マスクを除去すると、介挿ラインを有するスペーサマスクのみが残る。

#### 【0009】

リソグラフィーパターンの頻度は、例えば、介挿ラインを有するスペーサマスクを製造することにより3倍化することができる。例えば、本発明の実施形態によれば、スペーサマスクは、スペーサライン間の介挿ラインに沿って、リソグラフィー的にパターン化された犠牲マスクの側壁に近接して形成されたスペーサラインを有するように製造される。犠牲マスクの各ラインについて、スペーサマスクの2つのスペーサラインが、1つの介挿ラインに沿って生成される。各ラインに同じ限界寸法、又は同じフィーチャー幅を実質的に与えるが、特定の領域のラインの密度が3倍の半導体パターン化マスクを、犠牲マスクを除去する際に製造できる。例えば、本発明の実施形態によれば、ピッチが2のスペーサマスクを最終的に与えるために、犠牲マスクのピッチを選択して6とする。

#### 【0010】

犠牲マスクのラインの端部周囲を覆わないスペーサラインを提供するには、スペーサマスクをトリミングする必要がない。トリミング中のスペーサマスクへの損傷は、スペーサマスクがトリミングされるまで、犠牲マスクを保持することにより防ぐことができる。例えば、本発明の実施形態によれば、スペーサマスクは、犠牲マスクの各ラインの端部周囲を含め、犠牲マスクのラインの側壁に直接接するスペーサラインを含む。一実施形態において、犠牲マスクの各ラインに関連するスペーサマスクの各対のスペーサラインは、連続している、又は接続されている。

#### 【0011】

互いに不連続のラインを、スペーサマスクに生成するのが望ましい。一実施形態において、犠牲マスクのラインの端部周囲を覆うスペーサマスクの部分を、パターン化／エッチングプロセスにおいてトリミングする。犠牲マスクがないと、スペーサマスクは、パターン化／エッチングプロセスに耐えるだけの十分な完全性が恐らくない。本発明の一実施形態によれば、プロセス中、構造的なサポートをスペーサマスクに与えるために、トリミング中、構造的なサポートを保持する。スペーサマスクの介挿ラインは、犠牲マスクのラインの側壁に沿って形成されず、スペーサマスクトリミング工程中、サポートされない。本発明の実施形態によれば、スペーサマスクの介挿ラインは、スペーサマスクのスペーサラインの高さ未満の高さで形成される。スペーサマスクの介挿ラインの構造的な安定性は、これらの介挿ラインのアスペクト比を、スペーサラインのアスペクト比に比べて減じることにより増大する。スペーサマスクのトリミングの際、犠牲マスクを除去すると、トリミングされたスペーサマスクのみが得られ、これは、介挿ラインに沿って、トリミングされたスペーサラインを含む。具体的な実施形態において、トリミングされたスペーサマスクの画像は、半導体スタックに後に転写される。

#### 【0012】

スペーサマスクの製造には、トリミングプロセスシーケンスが含まれ、犠牲マスクが保持されて、スペーサマスクに構造上の完全性を与える。図2は、本発明の実施形態によるスペーサマスクの例示の製造方法を表すフローチャート200である。図3A～Jは、本発明の実施形態により、半導体スタックに適用されたフローチャート200に示された／関連した操作を示す断面及び見下ろし図である。

#### 【0013】

フローチャート200の操作202及び対応の図3Aを参照すると、半導体スタック300が提供される。半導体スタック300は、半導体層308上の第1のマスクスタック304及び第2のマスクスタック306を含む。パターン化フォトレジスト層302は、半導体スタック300上に形成されている。

#### 【0014】

パターン化フォトレジスト層302は、リソグラフィープロセスに用いるのに好適な材料を含んでいてよい。パターン化フォトレジスト層302は、先ず、フォトレジスト材料のプランケット層をマスキングしてから、それを光源に露光することにより形成される。次に、プランケットフォトレジスト層を現像することにより、パターン化フォトレジスト

10

20

30

40

50

層 302 を形成する。一実施形態において、光源に露光されたフォトレジスト層の部分は、フォトレジスト層の現像の際に除去される。パターン化フォトレジスト層 302 は、ポジのフォトレジスト材料を含む。具体的な実施形態において、パターン化フォトレジスト層 302 は、248 nm のレジスト、193 nm のレジスト、157 nm のレジスト及びジアゾナフトキノン増感剤とのエノール樹脂マトリックスからなる群より選択されるポジのフォトレジスト材料を含む。他の実施形態において、光源に露光されるフォトレジスト層の部分は、フォトレジスト層の現像の際に保持される。パターン化フォトレジスト層 302 は、ネガのフォトレジスト材料を含む。具体的な実施形態において、パターン化フォトレジスト層 302 は、ポリ - シス - イソブレン及びポリ - ビニル - シンナメートからなる群より選択されるネガのフォトレジスト材料を含む。

10

#### 【0015】

パターン化フォトレジスト層 302 は、スペーサマスク製造プロセスに好適な寸法を有していてよい。本発明の実施形態によれば、パターン化フォトレジスト層 302 の各フィーチャーの幅「x」は、半導体デバイスフィーチャーの所望の限界寸法、例えば、ゲート電極を画定するラインの幅と実質的に相互に関連するものを選択する。一実施形態において、幅「x」は 10 ~ 100 ナノメートルの範囲である。ライン「y」間の間隔は、頻度 3 倍化のスキームを最適化するものを選択する。本発明の実施形態によれば、後に製造されるスペーサマスクの目的は、スペーサラインの幅と、スペーサマスクの介挿ラインが、パターン化フォトレジスト層 302 の各フィーチャーの幅「x」と実質的に同じにすることである。更に、後に形成されるスペーサラインと介挿ラインの間の間隔の目的は、各スペーサ領域の幅に実質的に等しくすることである。一実施形態において、頻度は最終的に 3 倍化されるため、パターン化フォトレジスト層 302 における各フィーチャー間の間隔「y」は、図 3A に図示する通り、値「x」の約 5 倍に等しい。パターン化フォトレジスト層 302 のピッチを約 6 に選択して、約 2 のピッチを有するスペーサラインと介挿ラインを有するスペーサマスクを最終的に提供する。具体的な実施形態において、193 nm のリソグラフィーを用いて、フィーチャー幅が約 40 ナノメートルで、フィーチャー間の間隔が約 200 ナノメートルのパターン化フォトレジスト 302 を生成する。

20

#### 【0016】

一実施形態において、パターン化フォトレジスト層 302 のフィーチャーについて、約 5 : 1 の間隔 : 幅比は、露光ステップでポジのフォトレジスト層を過露光することにより、又はリソグラフィー / 現像プロセス後にフォトレジスト層をトリミングすることにより得られる。一実施形態において、パターン化フォトレジスト 302 は、193 nm のポジのフォトレジストを含んでおり、N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、CF<sub>4</sub>、Ar 及び He からなる群より選択されるガスを含むプラズマエッチング化学薬品を用いることによる現像後にトリミングされたものである。頻度 3 倍化スキームについて、パターン化フォトレジスト層 302 の各フィーチャーの理想的な幅は、パターン化フォトレジスト層 302 のピッチの 1 / 6 であるが、最初にターゲットとする幅は、第 1 のマスクスタック 304 をパターン化するのに用いるエッチングプロセスを補うために僅かに厚くする必要がある。本発明の実施形態によれば、パターン化フォトレジスト層 302 の各ラインの最初の幅のターゲットは、ピッチの 0.14 ~ 0.18 倍である。

30

#### 【0017】

フローチャート 200 の操作 204 及び対応の図 3B を参照すると、パターン化フォトレジスト層 302 の画像が、エッチングプロセスにより第 1 のマスクスタック 304 へ転写されて、犠牲マスク 310 を形成する。画像を転写するのに用いるエッチングプロセスは、パターン化フォトレジスト層 302 から実質的に同じ画像を、第 1 のマスクスタック 304 へ転写するのに好適なプロセスであればよい。

40

#### 【0018】

第 1 のマスクスタック 304、即ち、犠牲マスク 310 は、スペーサマスク製造プロセスにおいて、犠牲マスクとして機能するのに好適な材料又は材料の組み合わせを含んでいてよい。本発明の実施形態によれば、第 1 のマスクスタック 304 は、図 3A に 1 本斜線

50

で示す单一材料を含む。单一材料を含む第1のマスクスタック304の組成及び厚さは、パターン化フォトレジスト層302に実質的に影響の弱いエッチングプロセスによりエッチングするのに好適なものであればよい。一実施形態において、单一材料を含む第1のマスクスタック304の寸法及びエッチング特性を選択して、パターン化に従うようなものとし、その間、パターン化フォトレジスト層302が実質的に無傷に保持されるようにする。具体的な実施形態において、パターン化フォトレジスト層302は、カーボン系材料を含んでおり、第1のマスクスタック304は、窒化ケイ素、酸化ケイ素及びアモルファス又は多結晶ケイ素からなる群より選択される材料を含む。特定の実施形態において、第1のマスクスタック304は、窒化ケイ素を実質的に含み、犠牲マスク310を形成するのに用いるエッチングプロセスは、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>及びCHF<sub>3</sub>からなる群より選択されるガスを利用する。他の特定の実施形態において、第1のマスクスタック304は、酸化ケイ素を実質的に含み、犠牲マスク310を形成するのに用いるエッチングプロセスは、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>及びCHF<sub>3</sub>からなる群より選択されるガスを利用する。他の特定の実施形態において、第1のマスクスタック304は、アモルファス又は多結晶ケイ素を実質的に含み、犠牲マスク310を形成するのに用いるエッチングプロセスは、Cl<sub>2</sub>及びHBrからなる群より選択されるガスを利用する。本発明の実施形態において、单一材料を含む第1のマスクスタック304の厚さは、頻度3倍化スキームにおいて、スペーサマスクを後に形成するのに最適なものを選択する。第1のマスクスタック304の厚さは、後に形成されるスペーサマスクのスペーサマスクラインが壊れないよう十分に薄く、且つ、スペーサマスクラインの限界寸法が制御可能なように十分に厚いものとする。一実施形態において、单一材料を含む第1のマスクスタック304の厚さは、犠牲マスク310のターゲットとするライン幅の4.06~5.625倍の範囲である。  
10  
20

#### 【0019】

本発明の変形実施形態によれば、第1のマスクスタック304は、図3Aに図示された2枚の層により示される通り、第1のマスク層304B上に第1のハードマスク層304Aを含む。犠牲マスク310は、図3Bに図示する通り、犠牲マスク部分310B上に犠牲ハードマスク部分310Aを含む。一実施形態において、第1のハードマスク層304Aと第1のマスク層304Bは、2つの別のエッチング操作で、パターン化フォトレジスト層302の画像がパターン化される。第1のハードマスク層304Aは、パターン化フォトレジスト層302に実質的に影響の弱いエッチングプロセスによりエッチングするのに好適な材料を含む。一実施形態において、第1のハードマスク層304Aの寸法及びエッチング特性を選択して、パターン化プロセスに従うようなものとし、その間、パターン化フォトレジスト層302が実質的に無傷に保持されるようにする。具体的な実施形態において、第1のマスク層304B(第1のハードマスク層304Aの下にある)は、パターン化フォトレジスト層302のエッチング特性と同様のエッチング特性を備えた材料を含む。第1のハードマスク層304Aを用いて、第1のマスク層304Bの後のエッチング中、パターン化フォトレジスト層302からの画像を保つ。具体的な実施形態において、パターン化フォトレジスト層302及び第1のマスク層304Bは、カーボン系材料を含み、第1のハードマスク層304Aは、窒化ケイ素、酸化ケイ素及びアモルファス又は多結晶ケイ素からなる群より選択される材料を含む。特定の実施形態において、第1のハードマスク層304Aは、窒化ケイ素を実質的に含み、パターン化フォトレジスト層302及び第1のマスク層304Bに対して選択的な第1のハードマスク層304Aをパターン化するのに用いるエッチングプロセスは、CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>及びCHF<sub>3</sub>からなる群より選択されるガスを利用する。他の特定の実施形態において、第1のハードマスク層304Aは、酸化ケイ素を実質的に含み、パターン化フォトレジスト層302及び第1のマスク層304Bに対して選択的な第1のハードマスク層304Aをパターン化するのに用いるエッチングプロセスは、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>及びCHF<sub>3</sub>からなる群より選択されるガスを利用する。他の特定の実施形態において、第1のハードマスク層304Aは、アモルファス又は多結晶ケイ素を実質的に含み、パターン化フォトレジスト層302及び第1のマスク層304Bに対して選択的な第1のハードマスク層304Aをパターン化するのに用いるエッチング  
30  
40  
50

プロセスは、C<sub>1</sub><sub>2</sub>及びHBrからなる群より選択されるガスを利用する。第1のハードマスク層304Aの厚さは、パターン化フォトレジスト層302に対して極めて選択性のエッチングが行えるよう十分に薄く、且つ、第1のマスク層304Bを露出する望ましくないピンホールを排除するよう十分に厚いものとする。一実施形態において、第1のハードマスク層304Aの厚さは、20~50ナノメートルの範囲である。

#### 【0020】

第1のマスクスタック304が、第1のマスク層304B上に第1のハードマスク層304Aを含む場合には、第1のマスク層304Bは、制御されたエッチングプロセス及び後のスペーサマスク形成プロセスに耐える好適な材料を含む。一実施形態において、第1のマスク層304Bは、パターン化フォトレジスト層302のエッチング特性と同様のエッチング特性を有する。具体的な実施形態において、パターン化フォトレジスト層302及び第1のマスク層304Bの厚さを選択して、第1のハードマスク層304Aのエッチング後に残ったパターン化フォトレジスト層302の全ての部分が、第1のマスク層304Bのエッチング中に除去されるようとする。例えば、本発明の実施形態によれば、パターン化フォトレジスト層302と第1のマスク層304Bの両方が、炭素原子を実質的に含む。一実施形態において、第1のマスク層304Bは、炭化水素前駆体分子を用いる化学蒸着プロセスから形成されたsp<sup>3</sup>(ダイヤモンドライク)、sp<sup>2</sup>(グラフィティック)及びsp<sup>1</sup>(パイロリティック)ハイブリッド炭素原子の混合物を含む。かかるフィルムは、アドバンスドパターンニングフィルム(Advanced Patternning Film)(登録商標)(APF)のアモルファスカーボンフィルムとして業界で知られている。具体的な実施形態において、第1のマスク層304Bは、かかるアモルファスカーボンフィルムを含み、O<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>の組み合わせ、又はCH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>の組み合わせからなる群より選択されるガスを用いてエッチングされる。特定の実施形態において、パターン化フォトレジスト層302の実質的に全てを、第1のマスク層304Bをパターン化するのに用いるのと同じエッチング操作で除去する。第1のマスク層304Bの厚さは、後に形成されるスペーサマスクのスペーサマスクラインが壊れないよう十分に薄く、且つ、スペーサマスクラインの限界寸法が制御可能なように十分に厚いものとする。一実施形態において、第1のハードマスク層304Aと第1のマスク層304Bを含む第1のマスクスタック304の合計厚さは、犠牲マスク310のターゲットとするライン幅の4.06~5.625倍の範囲である。

#### 【0021】

再び図3Bを参照すると、第1のマスクスタック304をパターン化して、第2のマスクスタック306に対して選択的な犠牲マスク310を形成する。第2のマスクスタック306は、図3Bに図示する通り、第2のマスク層306B上の第2のハードマスク層306Aを含む。第2のハードマスク層306Aは、犠牲マスク310を形成するのに用いるエッチングプロセスから、第2のマスク層306Bを保護するのに好適な特性を有している。本発明の実施形態において、第1のマスクスタック304は、単一材料を含み、第2のハードマスク層306Aに対して選択的にエッチングされる。一実施形態において、第1のマスクスタック304は、窒化ケイ素を含み、第2のハードマスク層306Aは、窒化ケイ素及びアモルファス又は多結晶ケイ素からなる群より選択される材料を含む。他の実施形態において、第1のマスクスタック304は、窒化ケイ素を含み、第2のハードマスク層306Aは、窒化ケイ素及びアモルファス又は多結晶ケイ素からなる群より選択される材料を含む。他の実施形態において、第1のマスクスタック304は、アモルファス又は多結晶ケイ素を含み、第2のハードマスク層306Aは、窒化ケイ素及び酸化ケイ素からなる群より選択される材料を含む。本発明の変形実施形態によれば、第1のマスクスタック304は、第1のハードマスク層304Aと第1のマスク層304Bを含む。一実施形態において、第1のマスク層304Bは、O<sub>2</sub>とN<sub>2</sub>の組み合わせ、又はCH<sub>4</sub>とN<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>の組み合わせからなる群より選択されるガスによりエッチングされたアモルファスカーボンフィルムを含み、第2のハードマスク層306Aは、窒化ケイ素、酸化ケイ素及びアモルファス又は多結晶ケイ素からなる群より選択される材料を含む。第2のハ

10

20

30

40

50

ドマスク層306Aの厚さは、第2のマスク層306Bに対して後に極めて選択性のエッチングが行えるよう十分に薄く、且つ、第2のマスク層306Bを、第1のマスクスタック304に適用されるエッチングプロセスに露出する望ましくないピンホールを排除するよう十分に厚いものとする。一実施形態において、第2のハードマスク層306Aの厚さは、15～40ナノメートルの範囲である。

#### 【0022】

フローチャート200の操作206及び対応の図3Cを参照すると、スペーサ層312が、犠牲マスク310を覆って、第2のハードマスク層306A上に、共形で堆積する。スペーサ層312は、最終的に、頻度3倍化スキームに用いるスペーサマスクとなる材料源である。

10

#### 【0023】

スペーサ層312は、後のエッチングプロセスに用いる信頼性のあるマスクを形成するのに好適な材料を含む。本発明の実施形態によれば、スペーサ層312は、窒化ケイ素、酸化ケイ素及びアモルファス又は多結晶ケイ素からなる群より選択される材料を含む。スペーサ層312は、図3Cに図示する通り、犠牲マスク310の側壁に共形の層を提供するのに好適なプロセスにより堆積される。一実施形態において、スペーサ層312は、分子有機CVD、低圧CVD及びプラズマエンハンストCVDからなる群より選択される化学蒸着(CVD)により堆積する。スペーサ層312の厚さを選択して、後に形成されるスペーサマスクにおけるフィーチャーの幅を決める。本発明の実施形態によれば、スペーサ層312の厚さは、図3Cに図示する通り、犠牲マスク310のフィーチャーの幅と実質的に同じである。頻度3倍化スキームについて、スペーサ層312の理想的な厚さは、犠牲マスク310のフィーチャーの幅と同じであるが、最初にターゲットとする幅は、スペーサ層312をパターン化するのに用いるエッチングプロセスを補うために僅かに厚くする必要がある。一実施形態において、スペーサ層312は、犠牲マスク310のフィーチャーの幅の約1.06倍、即ち、後に形成されるスペーサマスクのラインの所望のフィーチャー幅の1.06倍である。

20

#### 【0024】

フローチャート200の操作208及び対応の図3Dを参照すると、フォトレジストスタック315がスペーサ層312上に堆積する。一実施形態において、フォトレジストスタック315は、図3Aのパターン化フォトレジスト層302について記載した材料を含むフォトレジスト層315Bを有する。更に、フォトレジストスタック315は、図3Dに図示する通り、フォトレジスト層315Bに平坦な表面を提供するために、フォトレジスト層315Bとスペーサ層312の間に、反射防止コーティング(BARC)下層315Aを含む。一実施形態において、フォトレジストスタック315をパターン化するのに用いるリソグラフィープロセスには、実質的に平坦な下面を有するフォトレジスト層315Bの露光と現像が組み込まれている。具体的な実施形態において、BARC層は、有機基を有するスピノンガラス材料である。変形実施形態において、フォトレジストスタック315は、フォトレジスト層のみを含む、即ち、フォトレジストスタック315には、BARC下層が組み込まれていない。

30

#### 【0025】

フォトレジストスタック315は、フォトレジストスタック315に平坦な上面を提供するプロセスにより堆積してよい。例えば、本発明の実施形態において、フォトレジストスタック315は、BARC層315A上にフォトレジスト層315Bを含み、フォトレジスト層315BとBARC層315Aの両方が、スピノンプロセスにより堆積する。他の実施形態において、フォトレジストスタック315は、スピノンプロセスにより堆積するフォトレジスト層を実質的に含む。BARC層315A又はフォトレジスト層(フォトレジストスタック315が、BARC層を含まない場合)を堆積するのに用いるスピノンプロセスは、犠牲マスク310の薄いフィーチャーを倒すのに十分な力を生成する。本発明の実施形態によれば、スペーサ層312の連続性によって、犠牲マスク310の微細なフィーチャーが保護される。

40

50

## 【0026】

フローチャート200の操作208及び対応の図3Eを参照すると、フォトレジストスタック315がパターン化されて、介挿マスクスタック317を形成する。フォトレジストスタック315は、図3Aのパターン化フォトレジスト層302のパターン化について記載したリソグラフィープロセスによりパターン化される。本発明の実施形態によれば、介挿マスクスタック317は、スペーサマスク形成エッチング操作で除去されるはずのスペーサ層312の一部を保持するために生成される。一実施形態において、介挿マスクスタック317は、スペーサ層312の一部を保持するために形成され、これは、後に形成されるスペーサラインと、間接的に、かかるライン間で、実質的に同じ幅である。具体的な実施形態において、介挿マスクスタック317は、スペーサ層312の厚さと実質的に同じ幅を有している。一実施形態において、介挿マスクスタック317は、スペーサ層312の一部を、頻度3倍化プロセススキームにおいて、保持するために形成される。10

## 【0027】

フローチャート200の操作210及び対応の図3Fを参照すると、介挿ライン319を有するスペーサ層314を提供し、犠牲マスク310及び第2のハードマスク層306Aの上面を露出するために、スペーサ層312はエッチングされ、介挿マスクスタック317が除去される。スペーサマスク314のスペーサラインは、犠牲マスク310のフィーチャーの側壁と共に形である。一実施形態において、図3Fに図示する通り、犠牲マスク310の各ラインについて、スペーサマスク314の2つのスペーサラインと1つの介挿ラインとがある。20

## 【0028】

スペーサ層312は、犠牲マスク310の限界寸法の幅を維持するために良好に制御された寸法を与えるのに好適なプロセスによりエッチングされる。本発明の実施形態によれば、図3Fに図示する通り、スペーサマスク314のスペーサラインが、犠牲マスク310のフィーチャーと実質的に同じ高さになるまで、スペーサ層312はエッチングされる。他の実施形態において、スペーサマスク314のスペーサラインは、犠牲マスク310のフィーチャーの上面より僅か下に凹んでいて、スペーサ層312の連続性が、スペーサマスク314のスペーサライン上及び間で途切れるようにしてある。スペーサ層312をエッチングして、スペーサマスク314のスペーサラインの幅が、スペーサ層312の元の厚さの大部分を保持し、介挿ライン319の幅が、介挿マスクスタック317の幅と実質的に同じになるようとする。特定の実施形態において、図3Fに図示する通り、スペーサマスク314の各スペーサライン及び各介挿ラインの上面の幅が、スペーサマスク314と第2のハードマスク層306Aの界面の幅と実質的に同じである。30

## 【0029】

スペーサ層312をまたエッチングして、犠牲マスク310及び第2のハードマスク層306Aに対して高エッチング選択性を備えたスペーサマスク314を形成してもよい。特定の実施形態において、犠牲マスク310は、単層マスクであり、所望のエッチング選択性は、単層に対してである。他の特定の実施形態において、犠牲マスク310は、スタッカされた層であり、所望のエッチング選択性は、第1のハードマスク層304Aの材料に対する犠牲ハードマスク部分に対してである。本発明の実施形態によれば、スペーサ層312及びスペーサマスク314は、犠牲マスク310及び第2のハードマスク層306Aの上部の材料とは異なる材料を含む。一実施形態において、犠牲マスク310の上部は、窒化ケイ素を含み、第2のハードマスク層306Aは、酸化ケイ素を含み、スペーサ層312は、アモルファス又は多結晶ケイ素を含み、ガスC<sub>1</sub><sub>2</sub>又はHBrから生成されたプラズマを用いるドライエッチングプロセスにより、エッチングされてスペーサマスク314を形成する。他の実施形態において、犠牲マスク310の上部は、酸化ケイ素を含み、第2のハードマスク層306Aは、窒化ケイ素を含み、スペーサ層312は、アモルファス又は多結晶ケイ素を含み、ガスC<sub>1</sub><sub>2</sub>とHBrの組み合わせから生成されたプラズマを用いるドライエッチングプロセスにより、エッチングされてスペーサマスク314を形成する。他の実施形態において、犠牲マスク310の上部は、アモルファス又は多結晶ケ4050

イ素を含み、第2のハードマスク層306Aは、窒化ケイ素を含み、スペーサ層312は、酸化ケイ素を含み、ガスC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>から生成されたプラズマを用いるドライエッティングプロセスにより、エッティングされてスペーサマスク314を形成する。他の実施形態において、犠牲マスク310の上部は、アモルファス又は多結晶ケイ素を含み、第2のハードマスク層306Aは、酸化ケイ素を含み、スペーサ層312は、窒化ケイ素を含み、ガスCH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>から生成されたプラズマを用いるドライエッティングプロセスにより、エッティングされてスペーサマスク314を形成する。他の実施形態において、犠牲マスク310の上部は、酸化ケイ素を含み、第2のハードマスク層306Aは、アモルファス又は多結晶ケイ素を含み、スペーサ層312は、窒化ケイ素を含み、ガスCHF<sub>3</sub>とCH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>の組み合わせから生成されたプラズマを用いるドライエッティングプロセスにより、エッティングされてスペーサマスク314を形成する。他の実施形態において、犠牲マスク310の上部は、窒化ケイ素を含み、第2のハードマスク層306Aは、アモルファス又は多結晶ケイ素を含み、スペーサ層312は、酸化ケイ素を含み、ガスCHF<sub>3</sub>から生成されたプラズマを用いるドライエッティングプロセスにより、エッティングされてスペーサマスク314を形成する。本発明の具体的な実施形態において、スペーサマスク314を形成するのに用いるエッティングプロセスは、犠牲マスク310と第2のハードマスク層306Aの上面の露光の際の終点である。特定の実施形態において、スペーサマスク314のラインが互いに不連続になるようにするため、終点検出後に僅かにオーバーエッティングを行う。介挿マスクスタック317は、O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>ドライアッティングプロセス又はウェットクリーニング操作により、後に除去してよい。

10  
20

### 【0030】

フローチャート200の操作212及び対応の図3G及び図3G-を参照して、フォトレジストスタック320を、スペーサマスク314の上、犠牲マスク310及び第2のハードマスク層306Aの露出した部分に堆積する。図3Fで記載したスペーサマスク314を形成するためのエッティング中、スペーサマスク314のスペーサライン及び介挿ラインを、一実施形態において、犠牲マスク310の隣接するライン間で、不連続とした。一実施形態において、犠牲マスク310の同じラインと関連するスペーサマスク314のスペーサラインは、犠牲マスク310の各ラインの端部周囲で連続したままであり、これは、図3G-の見下ろし図のスペーサマスク314の端部316により図示されている。特定の用途の、後の半導体デバイス製造のためには、スペーサライン対間のこの連続性が途切れるのが望ましい。本発明の実施形態によれば、端部316は、図3G-に図示する通り、フォトレジストスタック320のパターン化の際に、ウィンドウ330により露出する。

30

### 【0031】

フォトレジストスタック320は、図3Aのパターン化フォトレジスト層302について記載した材料を含むフォトレジスト層324を有する。更に、フォトレジストスタック320は、図3Gに図示する通り、フォトレジスト層324に平坦な表面を提供するために、フォトレジスト層324とスペーサマスク314の間に、反射防止コーティング(BARC)下層322を含む。一実施形態において、フォトレジストスタック320をパターン化するのに用いるリソグラフィープロセスには、実質的に平坦な下面を有するフォトレジスト層324の露光と現像が組み込まれている。具体的な実施形態において、BARC層は、有機基を有するスピノンオンガラス材料である。変形実施形態において、フォトレジストスタック320は、フォトレジスト層のみを含む。

40

### 【0032】

フォトレジストスタック320は、フォトレジストスタック320に平坦な上面を提供するプロセスにより堆積される。例えば、本発明の実施形態において、フォトレジストスタック320は、BARC層322上にフォトレジスト層324を含み、フォトレジスト層324とBARC層322の両方が、スピノンオンプロセスにより堆積する。他の実施形態において、フォトレジストスタック320は、スピノンオンプロセスにより堆積するフォトレジスト層を実質的に含む。BARC層322又はフォトレジスト層(フォトレジスト

50

スタック 320 が、B A R C 層を含まない場合) を堆積するのに用いるスピノンプロセスは、スペーサマスクにおいて、薄いフィーチャー又はラインを倒すのに十分な力を生成する。本発明の実施形態によれば、犠牲マスク 310 は、スペーサトリミングプロセス中保持されて、スペーサマスク 314 の個々のスペーサラインに構造的なサポートを提供する。特定の実施形態において、犠牲マスク 310 を保持することにより、スペーサマスク 314 のスペーサラインは、フォトレジストスタック 320 を堆積するのに用いるスピノンプロセスでは倒されない。介挿ライン 319 は、犠牲マスク 310 からの構造的サポートは受けない。それらは、犠牲マスク 310 のフィーチャーの側壁近傍に形成されないからである。本発明の実施形態によれば、スペーサマスク 314 の介挿ライン 319 に対するアスペクト比は、アスペクト比が低いため、スペーサマスク 314 のスペーサラインよりも倒れにくい。一実施形態において、介挿ライン 319 の高さは、スペーサ層 312 の高さと等しく、介挿ライン 319 のアスペクト比は、1 に略等しい。一実施形態において、短めの介挿ライン 319 は、スピノンプロセス中、スペーサマスク 314 の高めのスペーサラインにより保護される。  
10

#### 【0033】

フォトレジストスタック 320 は、図 3A のパターン化フォトレジスト層 302 のパターン化について記載したリソグラフィープロセスによりパターン化される。一実施形態において、フォトレジストスタック 320 をパターン化して、スペーサマスク 314 の端部 316 を露出するウィンドウ 330 を形成する。ウィンドウ 330 のサイズは、スペーサマスク 314 をトリミングするのに好適な寸法とする。ウィンドウ 330 は、スペーサマスク 314 の全端部 316 を少なくとも露出する。本発明の実施形態によれば、ウィンドウ 330 の寸法を選択して、犠牲マスク 310 の一部も露出するようにする。一実施形態において、フォトレジストスタック 320 におけるウィンドウ 330 の寸法及び位置を選択して、パターン化及びトリミングプロセスにおける僅かなずれを吸収するようする。  
20

#### 【0034】

フロー チャート 200 の操作 212 及び対応の見下ろし図の図 3H を再び参照して、スペーサマスク 314 をトリミングして、介挿ライン 341 を有するトリミングされたスペーサマスク 340 を形成する。スペーサマスク 314 は、スペーサマスク 314 の露出した部分を除去するエッチングプロセスによりトリミングされる。図示する通り、端部 316 は、フォトレジストスタック 320 及び第 2 のハードマスク層 306A に対して選択的にトリミングされる。エッチングプロセスは、必ずしも、犠牲マスク 310 の露出した部分に対して選択でなくてもよい。しかしながら、一実施形態によれば、トリミングエッチングプロセスは、図 3H に図示する通り、犠牲マスク 310 の露出した部分に対して選択的である。図 3C 及び 3F に関連して、スペーサ層 312 のエッチングについて記載した材料とエッチングプロセスの組み合わせを用いて、トリミングされたスペーサマスク 340 を形成してもよい。トリミングプロセスと介挿マスク成形プロセスは、順不同である。本発明の変形実施形態によれば、トリミングプロセスは、介挿マスク形成プロセスの前に実施する。  
30

#### 【0035】

フロー チャート 200 の操作 214 及び図 3I、3I-を参照して、フォトレジストスタック 320 及び犠牲マスク 310 を除去する。本発明の実施形態によれば、犠牲マスク 310 を保持して、スペーサマスク 314 のトリミング中、構造的なサポートを与えて、介挿ライン 341 を有するトリミングされたスペーサマスク 340 を形成する。トリミングされたスペーサマスクが形成されたら、犠牲マスク 310 を除去して、頻度 3 倍化マスク製造プロセスを完了する。  
40

#### 【0036】

フォトレジストスタック 320 を、犠牲マスク 310 の除去と同じプロセス工程又は前のプロセス工程で除去する。一実施形態において、フォトレジストスタック 320 は、カーボン含有種を含み、ガス O<sub>2</sub> 及び N<sub>2</sub> を利用する先に行うウェット又はドライアッシュ工程で除去される。犠牲マスク 310 は、トリミングされたスペーサマスク 340 及び第  
50

2 のハードマスク層 306 A に対して極めて選択性の技術により除去してもよい。本発明の実施形態によれば、犠牲マスクは、単層を含み、單一プロセス工程で、トリミングされたスペーサマスク 340 に対して選択的に除去される。一実施形態において、トリミングされたスペーサマスク 340 は、アモルファス又は多結晶ケイ素を含み、第 2 のハードマスク層 306 A は、酸化ケイ素を含み、犠牲マスク 310 は、窒化ケイ素を実質的に含み、ホット  $H_3PO_4$  ウェットエッティング又は  $SiCoNi$  エッティングからなる群より選択される单一エッティング操作により除去される。他の実施形態において、トリミングされたスペーサマスク 340 は、アモルファス又は多結晶ケイ素を含み、第 2 のハードマスク層 306 A は、窒化ケイ素を含み、犠牲マスク 310 は、酸化ケイ素を実質的に含み、含水フッ酸ウェットエッティング又は  $SiCoNi$  エッティングからなる群より選択される单一エッティング操作により除去される。他の実施形態において、トリミングされたスペーサマスク 340 は、酸化ケイ素を含み、第 2 のハードマスク層 306 A は、窒化ケイ素を含み、犠牲マスク 310 は、アモルファス又は多結晶ケイ素を実質的に含み、 $C_{l_2}$  プラズマエッティング及び  $CF_4/O_2$  プラズマエッティングからなる群より選択される单一エッティング操作により除去される。他の実施形態において、トリミングされたスペーサマスク 340 は、窒化ケイ素を含み、第 2 のハードマスク層 306 A は、酸化ケイ素を含み、犠牲マスク 310 は、アモルファス又は多結晶ケイ素を実質的に含み、 $C_{l_2}$  プラズマエッティング及び  $CF_4/O_2$  プラズマエッティングからなる群より選択される单一エッティング操作により除去される。他の実施形態において、トリミングされたスペーサマスク 340 は、窒化ケイ素を含み、第 2 のハードマスク層 306 A は、アモルファス又は多結晶ケイ素を含み、犠牲マスク 310 は、酸化ケイ素を実質的に含み、含水フッ酸ウェットエッティング又は  $SiCoNi$  エッティングからなる群より選択される单一エッティング操作により除去される。他の実施形態において、トリミングされたスペーサマスク 340 は、酸化ケイ素を含み、第 2 のハードマスク層 306 A は、アモルファス又は多結晶ケイ素を含み、犠牲マスク 310 は、窒化ケイ素を実質的に含み、ホット  $H_3PO_4$  ウェットエッティング又は  $SiCoNi$  エッティングからなる群より選択される单一エッティング操作により除去される。

### 【0037】

変形実施形態において、犠牲マスク 310 は、図 3B に関連した変形実施形態に記載されている通り、犠牲マスク部分上に犠牲ハードマスク部分を含む。例えば、一実施形態において、犠牲ハードマスク部分は、窒化ケイ素、酸化ケイ素及びアモルファス又は多結晶ケイ素からなる群より選択される材料を含み、犠牲マスク部分は、第 1 のマスク層 304 B について記載したアモルファスカーボン材料等のアモルファスカーボン材料を含む。本発明の実施形態において、トリミングされたスペーサマスク 340 及び第 2 のハードマスク層 306 A に対して選択性のある犠牲マスク 310 を除去するのに上記の通りに具体化された同じ材料の組み合わせとエッティングプロセスを用いて、トリミングされたスペーサマスク 340 及び第 2 のハードマスク層 306 A に対して選択性のある犠牲ハードマスク部分を除去する。スタックされた犠牲マスクの犠牲ハードマスク部分の下にある犠牲マスク部分は、犠牲ハードマスク部分を除去するのに用いるのと同じエッティング操作で実質的に除去してもよい。或いは、第 2 のエッティング操作が、犠牲マスク部分に必要とされることもある。一実施形態において、犠牲マスク部分は、アモルファスカーボンを含み、 $O_2$  と  $N_2$  の組み合わせ、又は  $CH_4$  と  $N_2$  と  $O_2$  の組み合わせからなる群より選択されるガスを含むプラズマを有するドライエッティングにより除去される。

### 【0038】

フローチャート 200 の操作 216 及び対応の図 3J を参照すると、介挿ライン 341 を有するトリミングされたスペーサマスク 340 の画像が、第 2 のマスクスタック 306 へ転写されて、半導体層 308 上にエッティングマスク 370 を形成する。一実施形態において、第 2 のマスクスタック 306 は、單一材料を実質的に含み、1 回のエッティング操作で、エッティングされて、エッティングマスク 370 を形成する。具体的な実施形態において、第 2 のマスクスタック 306 は、窒化ケイ素、酸化ケイ素及びアモルファス又は多結晶ケイ素からなる群より選択される單一材料を実質的に含む。変形実施形態において、第 2

のマスクスタック 306 は、図 3B に関連して図示及び記載した通り、第 2 のマスク層 306B 上に第 2 のハードマスク層 306A を含む。一実施形態において、エッティングマスク 370 は、図 3J に図示する通り、ハードマスク部分 370A とマスク部分 370B を含む。第 2 のハードマスク層 306A とハードマスク部分 370A の材料組成及び厚さの実施形態は、図 3B で記載した。本発明の実施形態によれば、トリミングされたスペーサマスク 340 の画像は、マスク部分 370B を形成するのに最終的に用いられるパターン化操作とは異なるエッティング操作で、第 2 のハードマスク層 306A に転写される。一実施形態において、第 2 のハードマスク層 306A は、アモルファス又は多結晶ケイ素を実質的に含み、ガス  $\text{CH}_3\text{F}_3$  を用いたドライエッティングによりエッティングして、ハードマスク部分 370A を形成する。他の実施形態において、第 2 のハードマスク層 306A は、酸化ケイ素を実質的に含み、 $\text{CH}_2\text{F}_2$  及び  $\text{Cl}_2$  と  $\text{HBr}$  の組み合わせからなる群より選択されるガスを用いたドライエッティングによりエッティングして、ハードマスク部分 370A を形成する。他の実施形態において、第 2 のハードマスク層 306A は、窒化ケイ素を実質的に含み、 $\text{C}_4\text{F}_8$ 、 $\text{Cl}_2$  及び  $\text{HBr}$  からなる群より選択されるガスを用いたドライエッティングにより、エッティングして、ハードマスク部分 370A を形成する。  
10

#### 【0039】

本発明の実施形態において、トリミングされたスペーサマスク 340 の画像が、第 2 のエッティング操作において、ハードマスク部分 370A からマスク部分 370B へ転写される。第 2 のマスク層 306B 及びエッティングマスク 370 のマスク部分 370B は、後に半導体層 308 をパターン化するのに用いられるエッティングプロセスに実質的に耐える好適な材料を含む。一実施形態において、第 2 のマスク層 306B は、第 1 のマスク層 304B の組成の実施形態について記載したアモルファスカーボン材料等のアモルファスカーボン材料を含む。特定の実施形態において、第 2 のマスク層 306B 及びエッティングマスク 370 のマスク部分 370B の厚さは、エッティングマスク 370 の各ラインの幅の 3.125 ~ 6.875 倍である。図 3J に図示する通り、エッティングマスク 370 の各ラインについて実質的に垂直断面を維持するエッティングプロセスにより、第 2 のマスク層 306B をエッティングして、マスク部分 370B を形成する。一実施形態において、第 2 のマスク層 306B は、アモルファスカーボンを含み、 $\text{O}_2$  と  $\text{N}_2$  の組み合わせ、又は  $\text{CH}_4$  と  $\text{N}_2$  と  $\text{O}_2$  の組み合わせからなる群より選択されるガスを含むプラズマを用いたドライエッティングプロセスにより除去される。  
20

#### 【0040】

様々な実施形態を通して、犠牲マスクのラインの頻度を 3 倍化するラインを含むエッティングマスク 370 を製造する 1 つ以上的方法について説明してきた。エッティングマスク 370 は、例えば、集積回路用デバイス製造のために、半導体層 308 をパターン化するのに用いてもよい。本発明の実施形態によれば、エッティングマスク 370 は、アモルファスカーボン材料を実質的に含むマスク部分 370B を有する。半導体層 308 をパターン化するのに用いるエッティングプロセス中、アモルファスカーボン材料はパッシベートされて、半導体層 308 の全エッティングにわたって、その画像及び次元性を保持できる。トリミングされたスペーサマスク 340 は、半導体層 308 をパターン化するのに所望の寸法を有しているが、トリミングされたスペーサマスク 340 の材料は、半導体層の正確な画像転写に耐える好適なものではなく、エッティングプロセス中、劣化する恐れがある。本発明の実施形態によれば、トリミングされたスペーサマスクの画像は、図 3I 及び 3J で記載した通り、半導体層に画像を転写する前に、先ず、アモルファスカーボン材料を含む層に転写される。  
30

#### 【0041】

半導体層 308 は、3 倍化頻度マスクを必要とするデバイス製造又はその他半導体構造に望ましい層であればよい。本発明の実施形態によれば、半導体層 308 は、明瞭に画定された半導体構造の配列へとパターン化するのに好適な材料を含む。一実施形態において、半導体層 308 は、IV 族系材料又は III - V 族材料を含む。更に、半導体層 308 は、明瞭に画定された半導体構造の配列へとパターン化するのに好適なモルホロジーを含  
40

む。一実施形態において、半導体層308のモルホロジーは、アモルファス、単結晶及び多結晶からなる群より選択される。一実施形態において、半導体層308は、電荷担体ドーパント不純物原子を含む。半導体層308は、更に、基板上に配置されていてもよい。基板は製造プロセスに耐える好適な材料を含んでいてよい。一実施形態において、基板は、可撓性プラスチックシートを含む。基板は、更に、製造プロセスに耐える好適で、半導体層が好適に配置される材料を含んでいてよい。一実施形態において、基板は、結晶ケイ素、ゲルマニウム及び／又はケイ素／ゲルマニウム等のⅠⅤ族系材料を含む。他の実施形態において、基板は、ⅢⅣ - V族材料を含む。基板はまた、絶縁層を含んでいてよい。一実施形態において、絶縁層は、酸化ケイ素、窒化ケイ素、酸窒化ケイ素及び高-k誘電体層からなる群より選択される材料を含む。

10

#### 【0042】

本発明の実施形態は、犠牲マスクのラインの端部を囲む領域でトリミングされるスペーサマスクの製造に限定されない。本発明の他の実施形態によれば、ライン端部以外の構造を囲むスペーサマスクの部分は、構造的にサポートされる犠牲マスクの存在下で、トリミングされる。図4A～Bに、本発明の実施形態による、スペーサマスク製造プロセスにおける操作を表す見下ろし図を示す。

#### 【0043】

図4Aを参照すると、パターン化フォトレジスト層420が、介挿ライン419を有し、犠牲マスク410により構造的にサポートされたスペーサマスク414上に形成されている。スペーサマスク414のスペーサラインの端部領域416は、犠牲マスク410の非線形フィーチャーを囲んでおり、パターン化フォトレジスト層420において、ウインドウ430により露出している。この見下ろし図は、図3G-に対応しており、図3G-に図示されたライン端部に比べ、スペーサマスク314の異なる領域を表している。図4Bを参照すると、スペーサマスク414はトリミングされて、介挿ライン441を有するトリミングされたスペーサマスク440を形成している。更に、パターン化フォトレジスト層420と犠牲マスク410が除去される。本発明の実施形態によれば、犠牲マスク410は構造的サポートのために維持され、スペーサマスク414の非線形部分はトリミングされる。このプロセスによって、図4Bに図示する通り、トリミングされたスペーサマスク440のスペーサラインと介挿ラインの間隔よりも広い距離分離された、スペーサ端部480を備えたスペーサラインを有するトリミングされたスペーサマスク440を形成することができる。一実施形態において、各スペーサ端部480に対する後の接触形成が促進される。この際、2つ以上のスペーサ又は介挿ラインが、1回の接触で、トリミングされたスペーサマスク440と不適切に接触する危険性はない。

20

#### 【0044】

スペーサマスクの形成において、スペーサラインと介挿ライン以外のものを保持するのが望ましい。エリア保存領域が、スペーサマスク形成中、保持されてもよい。図5A～Dに、本発明の実施形態による、エリア保存工程を含むスペーサマスク製造方法における一連を操作を示す断面図を示す。

30

#### 【0045】

図5Aを参照すると、スペーサ層512が、犠牲マスク510と共に堆積している。介挿マスクスタック517は、スペーサ層512上に、犠牲マスク510のライン間に形成されている。スペーサ層512は、エリア保存工程を組み込んだ頻度3倍化スキームに用いられるスペーサマスクに最終的になる材料源である。図5Aは、上述した図3Eに対応している。エリア保存マスクスタック590は、介挿マスクスタック517の形成と同じ工程で形成される。本発明の実施形態によれば、スペーサ層512の一部を保持するために、エリア保存マスクスタック590をパターン化する。そうしないと、スペーサマスク形成エッティング操作で除去されることになる。一実施形態において、スペーサ層512は、介挿マスクスタック517とエリア保存マスクスタック590を形成するのに用いるフォトレジストスタックの堆積及びパターン化中に、犠牲マスク510の構造的サポートとなる。

40

50

**【0046】**

図5Bを参照すると、スペーサ層512はエッチングされ、介挿マスクスタック517及びエリア保存マスクスタック590を除去して、介挿ライン519を有するスペーサマスク514を形成する。スペーサマスク514はまた、エリア保存マスクスタック590による保護のために、保持されるエリア保存マスク部分592も含む。スペーサマスク514は、トリミングプロセスシーケンスでトリミングされ、トリミング中、犠牲マスク510は保持される。更に、本発明の実施形態によれば、エリア保存部分592もまた、トリミングプロセス中保持される。

**【0047】**

図5Cを参照すると、犠牲マスク510は除去され、介挿ライン541とエリア保存部分592を有するトリミングされたスペーサマスク540のみが残る。図5Dを参照すると、介挿ライン541とエリア保存部分592を有するトリミングされたスペーサマスク540の画像が、第2のマスクスタック506に転写されて、エッチングマスク570を形成する。本発明の実施形態によれば、エリア保存プロセスの結果、エッチングマスク570は、図5Dに図示する通り、エッチングマスク570において最薄ラインの幅より広い幅を有する少なくとも1つのフィーチャーを含む。トリミングプロセスと、エリア保存／介挿マスク形成プロセスは、順不同である。本発明の変形実施形態によれば、トリミングプロセスは、エリア保存／介挿マスク形成プロセスの前に実施される。

**【0048】**

エリア保存プロセスは、スペーサマスクプロセスと組み合わせて用いて、接触を形成するのに用いる半導体層の領域を最終的に形成してもよい。図6A～Bに、本発明の実施形態による、エリア保存プロセスを組み込んだスペーサマスク製造方法における操作を示す見下ろし図を示す。

**【0049】**

図6Aを参照すると、介挿ライン619とエリア保存領域692を有するスペーサマスク614が、図5Bで記載した通り、犠牲マスク610に関連して形成されている。図6Bを参照すると、スペーサマスク614がトリミングされて、介挿ライン619とエリア保存領域692を有するトリミングされたスペーサマスク640が形成され、犠牲マスク610が除去される。エリア保存領域692は、接触が形成される大きな領域を与える。本発明の実施形態によれば、スペーサマスク形成エッチング操作において除去されるスペーサマスクの一部が、エリア保存マスクにより保持される。

**【0050】**

半導体マスクを製造する方法を開示した。一実施形態において、一連のラインを含む犠牲マスクを有する半導体スタックが提供される。次に、犠牲マスクの一連のラインの側壁に近接するスペーサラインを有するスペーサマスクが形成される。スペーサマスクはまた、スペーサライン間に介挿ラインも有する。犠牲マスクは最終的に除去されて、スペーサマスクのみが提供される。一実施形態において、スペーサマスクは、半導体スタック上に、犠牲マスクと共に形成でスペーサ層を堆積することにより形成される。フォトレジスト層が、スペーサ層上に堆積され、パターン化されて、犠牲マスクの一連のラインが介挿される。スペーサ層は後にエッチングされて、スペーサライン間の介挿ラインに沿って犠牲マスクの一連のラインの側壁に近接するスペーサラインを有するスペーサマスクを提供する。最終的に、犠牲マスクは除去されて、スペーサマスクのみが提供される。特定の実施形態において、スペーサマスクのスペーサライン及び介挿ラインは、犠牲マスクの一連のラインの頻度を3倍化する。

**【図面の簡単な説明】****【0051】**

本発明の実施形態を添付図面に例として示すが、これらに限定されるものではない。

**【図1A】～**

【図1C】先行技術による従来の半導体リソグラフィープロセスを表す断面図である。

【図2】本発明の実施形態によるスペーサマスク製造プロセスの例示の方法を示す図であ

10

20

30

40

50

る。

【図3A】～

【図3J】本発明の実施形態による半導体スタックに適用された図2のフローチャートの一連の操作を表す見下ろし図の断面図である。

【図4A】～

【図4B】本発明の実施形態によるスペーサマスク製造方法の例示の方法の見下ろし図である。

【図5A】～

【図5D】本発明の実施形態によるスペーサマスク製造方法の例示の方法の断面図である。  
10

【図6A】～

【図6B】本発明の実施形態によるペーサマスク製造方法の例示の方法の見下ろし図である。

【図1A】

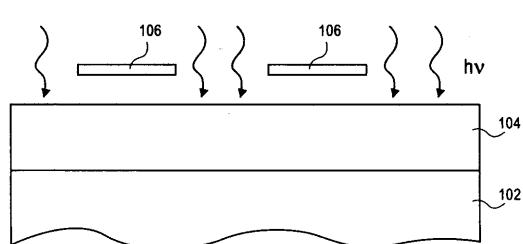


FIG. 1A

(先行技術)

【図1C】

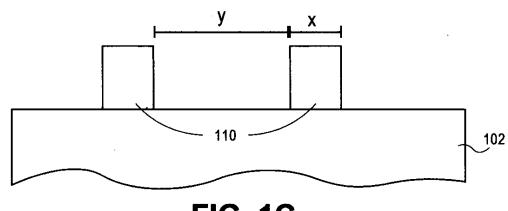


FIG. 1C

(先行技術)

【図1B】

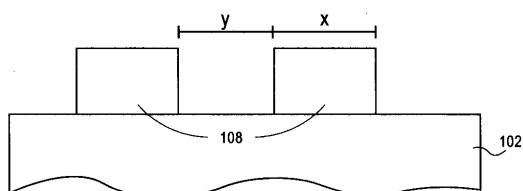


FIG. 1B

(先行技術)

【図2】

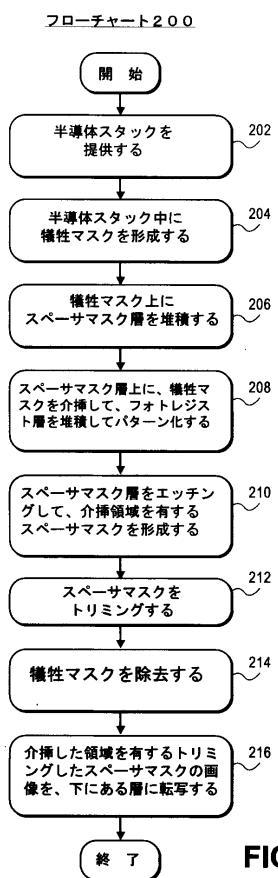


FIG. 2

【図3A】

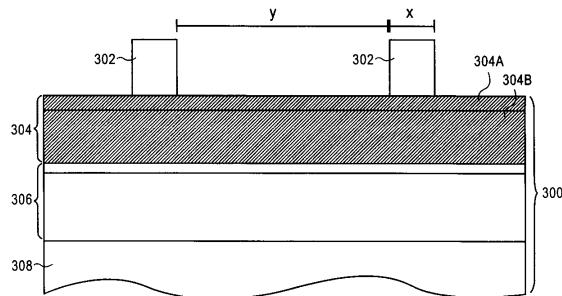


FIG. 3A

【図3B】

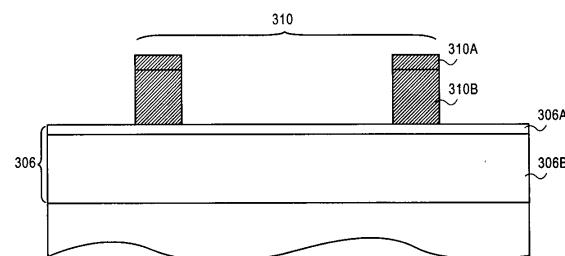


FIG. 3B

【図3C】

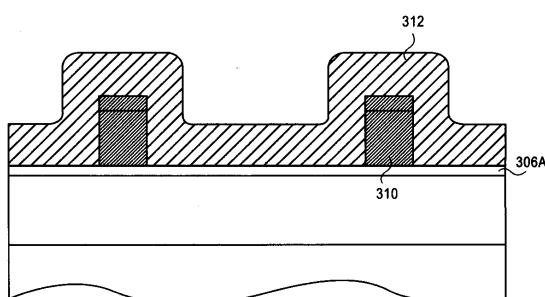


FIG. 3C

【図3E】

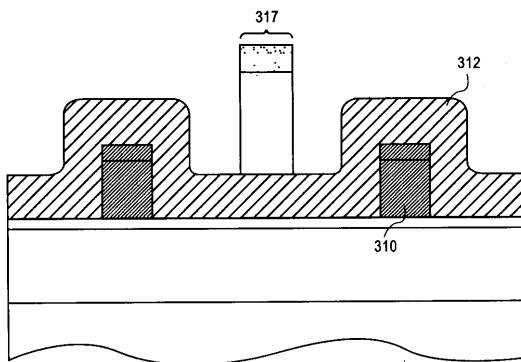


FIG. 3E

【図3D】

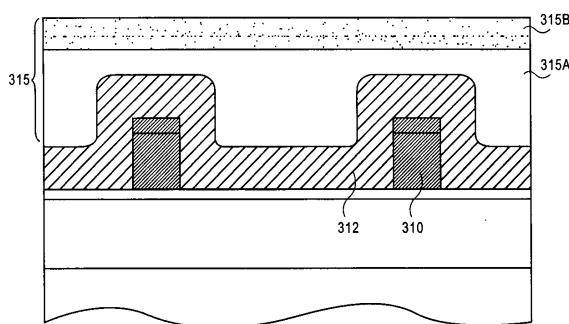


FIG. 3D

【図 3 F】

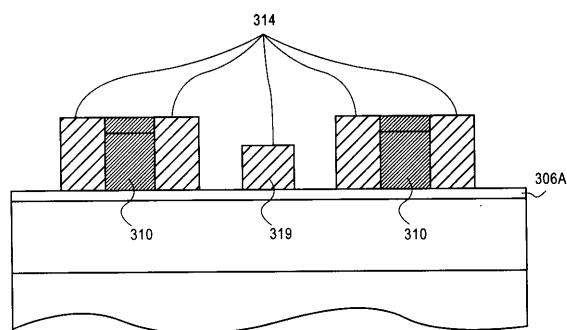


FIG. 3F

【図 3 G - 】

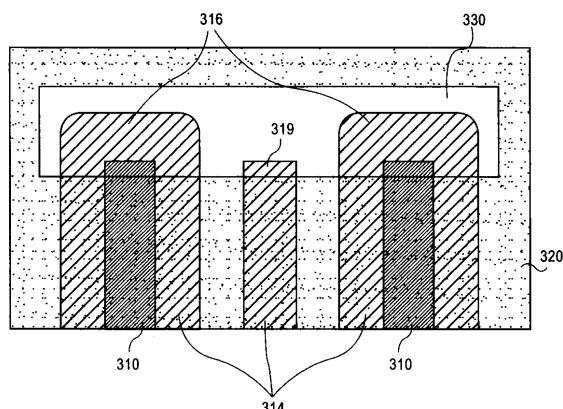


FIG. 3G'

【図 3 G】

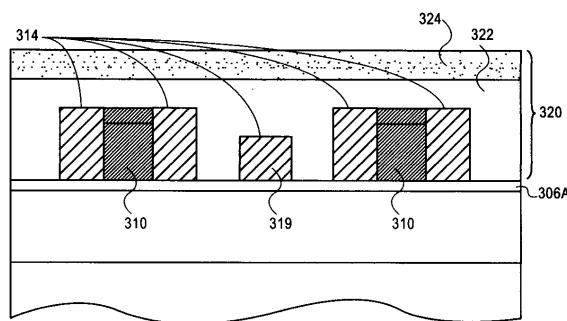


FIG. 3G

【図 3 H】

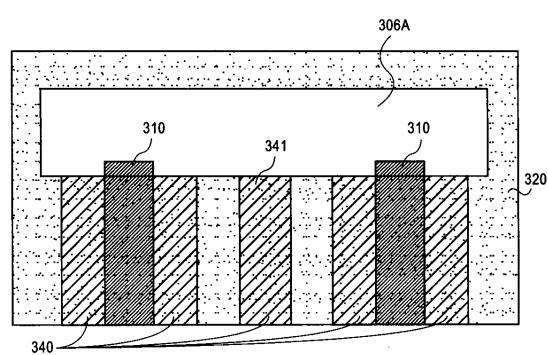


FIG. 3H

【図 3 I - 】

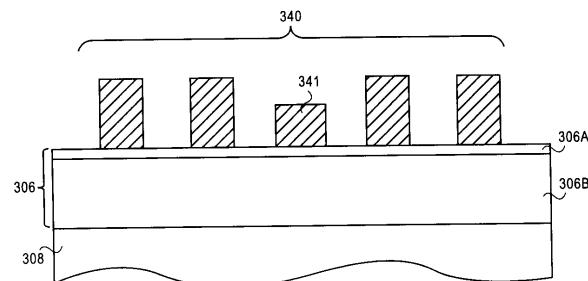


FIG. 3I'

【図 3 I】

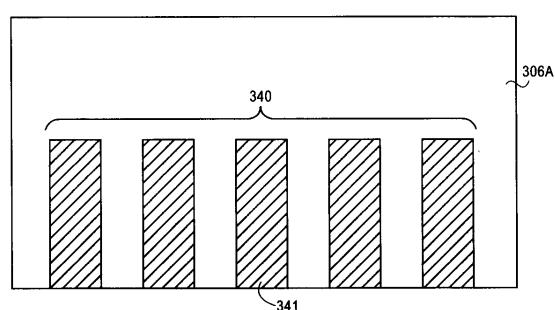


FIG. 3I

【図 3 J】

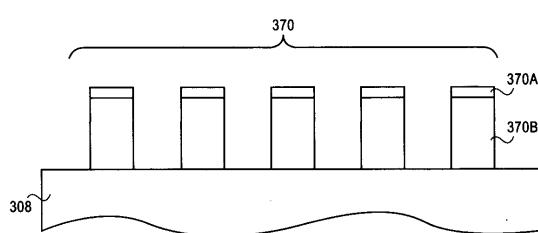


FIG. 3J

【図 4 A】

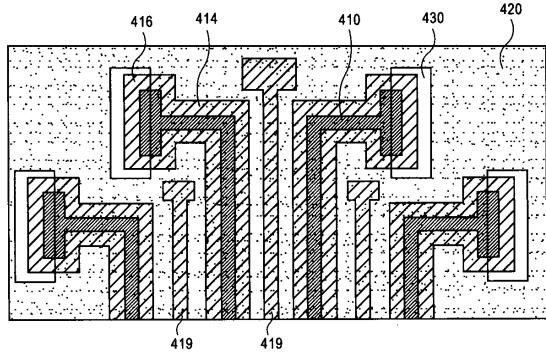


FIG. 4A

【図 5 A】

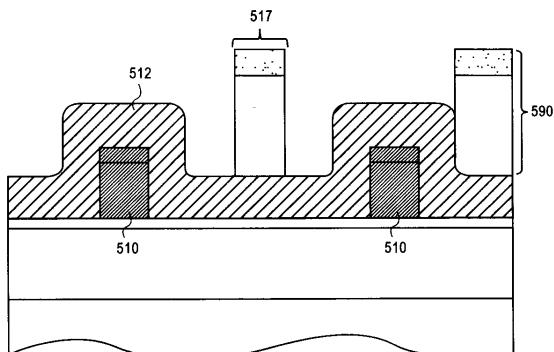


FIG. 5A

【図 4 B】

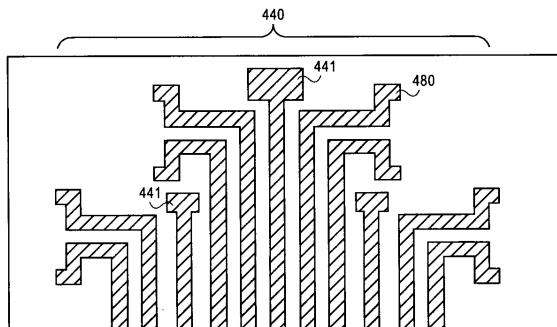


FIG. 4B

【図 5 B】

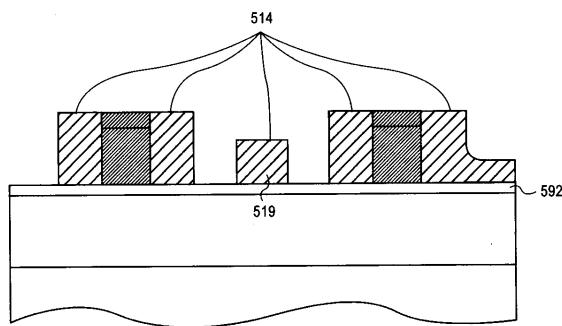


FIG. 5B

【図 5 D】

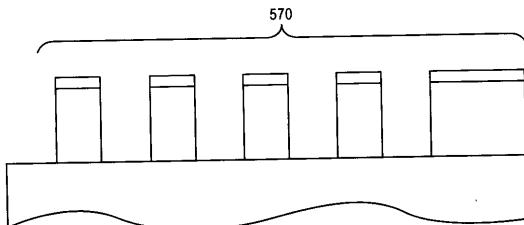


FIG. 5D

【図 5 C】

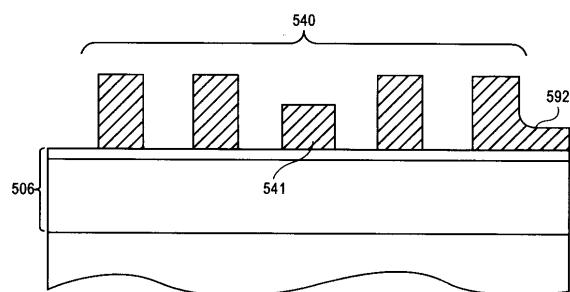


FIG. 5C

【図 6 A】

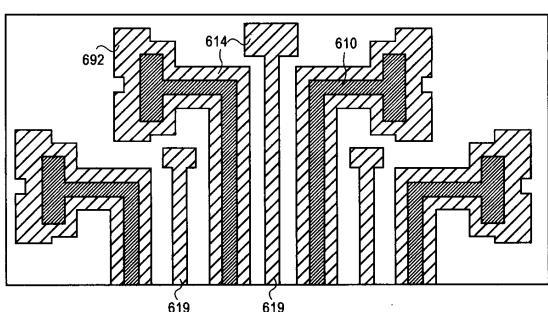
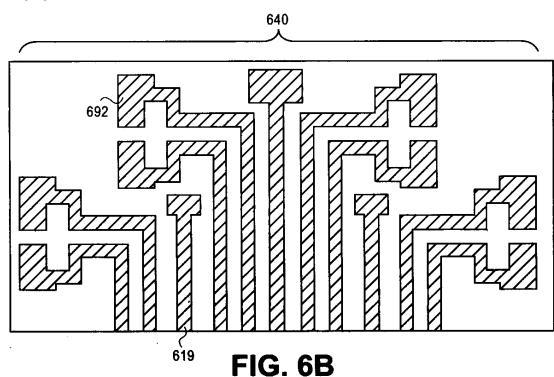


FIG. 6A

【図 6B】

**FIG. 6B**

---

フロントページの続き

(72)発明者 堀岡 啓治  
東京都文京区水道1丁目2番17-705号

合議体  
審判長 鈴木 正紀  
審判官 加藤 友也  
審判官 井上 茂夫

(56)参考文献 米国特許出願公開第2002/0068447(US,A1)  
特表2008-536297(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L21/3065  
H01L21/306  
H01L21/3205  
H01L21/768