

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7232823号
(P7232823)

(45)発行日 令和5年3月3日(2023.3.3)

(24)登録日 令和5年2月22日(2023.2.22)

(51)国際特許分類	F I			
H 0 1 L 21/316(2006.01)	H 0 1 L	21/316	X	
H 0 1 L 21/31(2006.01)	H 0 1 L	21/31	C	
H 0 1 L 21/318(2006.01)	H 0 1 L	21/318	B	
H 0 1 L 21/3065(2006.01)	H 0 1 L	21/318	C	
C 2 3 C 16/455(2006.01)	H 0 1 L	21/302	1 0 5 A	
請求項の数 26 (全47頁) 最終頁に続く				

(21)出願番号	特願2020-514992(P2020-514992)	(73)特許権者	592010081 ラム リサーチ コーポレーション L A M R E S E A R C H C O R P O R A T I O N アメリカ合衆国, カリフォルニア 9 4 5 3 8 , フレモント, クッシング パー クウェイ 4 6 5 0
(86)(22)出願日	平成30年9月7日(2018.9.7)	(74)代理人	110000028 弁理士法人明成国際特許事務所
(65)公表番号	特表2020-535633(P2020-535633 A)	(72)発明者	アベル・ジョセフ・アール . アメリカ合衆国 オレゴン州 9 7 0 6 8 ウエスト・リン, ブランドン・ブレース , 2 1 9 5
(43)公表日	令和2年12月3日(2020.12.3)	(72)発明者	アガワル・ブルキット アメリカ合衆国 オレゴン州 9 7 0 0 7 最終頁に続く
(86)国際出願番号	PCT/US2018/050049		
(87)国際公開番号	WO2019/055317		
(87)国際公開日	平成31年3月21日(2019.3.21)		
審査請求日	令和3年9月3日(2021.9.3)		
(31)優先権主張番号	15/703,917		
(32)優先日	平成29年9月13日(2017.9.13)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

(54)【発明の名称】 犠牲エッチングキャップ層を利用した高アスペクト比フィーチャの誘電体ギャップ充填

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体基板を処理するための装置であって、

(a) 前記半導体基板を保持するための台座を備える少なくとも1つのプロセスチャンバと、

(b) 真空中に結合するための少なくとも1つの出口と、

(c) 1つ以上のプロセスガス源に結合されている1つ以上のプロセスガス入口と、

(d) 前記装置の動作を制御するためのコントローラであって、

(i) ケイ素含有前駆体および酸化剤を導入して、前記半導体基板上のフィーチャを充填するには不十分な期間、前記半導体基板上に第1の量の酸化シリコンを堆積させ、前記フィーチャはフィーチャ開口部および側壁トポグラフィを有し、前記側壁トポグラフィは前記フィーチャの前記側壁にスタブを有し、

(i i) 前記第1の量の前記酸化シリコンの少なくとも一部をエッチングする期間、前記少なくとも1つのプロセスチャンバにエッチング剤を導入し、

(i i i) 前記少なくとも1つのプロセスチャンバに前記エッチング剤を導入した後、前記ケイ素含有前駆体および前記酸化剤を導入して、前記エッチングされた第1の量の前記酸化シリコン上に第2の量の酸化シリコンを堆積させるための機械が読み取り可能な命令を含むコントローラと

を備え、

前記コントローラは、(i i i) の前記期間を (i) の前記期間よりも長くするための

機械が読み取り可能な命令をさらに含む、装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の装置であって、

前記コントローラは、真空を破ることなく (i) および (i i) を実施させるための機械が読み取り可能な命令をさらに含む、装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の装置はさらに、

プラズマを発生させるためのプラズマ発生器を備える、装置。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の装置であって、

前記コントローラは、前記酸化剤が導入されるときにプラズマを発生させるための命令をさらに備える、装置。

【請求項 5】

半導体基板を処理するための装置であって、

(a) 前記半導体基板を保持するための台座を備える少なくとも 1 つのプロセスチャンバと、

(b) 真空に結合するための少なくとも 1 つの出口と、

(c) 1 つ以上のプロセスガス源に結合されている 1 つ以上のプロセスガス入口と、

(d) 前記装置の動作を制御するためのコントローラであって、

(i) 堆積前駆体および反応剤を導入して、前記半導体基板上のフィーチャを充填するには不十分な期間、第 1 の量の材料を堆積させ、

(i i) エッチング剤を導入して前記フィーチャ内の前記第 1 の量の前記材料の少なくとも一部をエッチングし、

(i i i) 前記エッチング剤を導入した後、前記堆積前駆体および前記反応剤を導入して、前記エッチングされた第 1 の量の前記材料上に第 2 の量の前記材料を堆積させるための機械が読み取り可能な命令を含むコントローラと

を備え、

前記コントローラは、(i i i) の前記期間を (i) の前記期間よりも長くするための命令をさらに含む、

前記材料は、炭化シリコン、窒化シリコン、シリコン、タングステン、ルテニウム、銅、コバルト、およびモリブデンのいずれか 1 つである、

装置。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の装置であって、

前記コントローラは、真空を破ることなく (i) および (i i) を実施させるための機械が読み取り可能な命令をさらに含む、装置。

【請求項 7】

請求項 5 に記載の装置はさらに、

プラズマを発生させるためのプラズマ発生器を備える、装置。

【請求項 8】

請求項 5 に記載の装置であって、

前記コントローラは、前記反応剤が導入されるときにプラズマを発生させるための命令をさらに含む、装置。

【請求項 9】

半導体基板を処理するための装置であって、

(a) 前記半導体基板を保持するための台座を備える少なくとも 1 つのプロセスチャンバと、

(b) 真空に結合するための少なくとも 1 つの出口と、

(c) 1 つ以上のプロセスガス源に結合されている 1 つ以上のプロセスガス入口と、

(d) 前記装置の動作を制御するためのコントローラであって、

前記コントローラは、(i i i) の前記期間を (i) の前記期間よりも長くするための命令をさらに含む、

前記材料は、炭化シリコン、窒化シリコン、シリコン、タングステン、ルテニウム、銅、コバルト、およびモリブデンのいずれか 1 つである、

装置。

10

20

30

40

50

(i) ケイ素含有前駆体および酸化剤を導入して、前記半導体基板上のフィーチャを充填するには不十分な期間、前記半導体基板上に第 1 の量の酸化シリコンを堆積させ、前記フィーチャはフィーチャ開口部および側壁トポグラフィを有し、前記側壁トポグラフィは前記フィーチャの前記側壁にスタブを有し、

(i i) 過剰堆積部を形成する犠牲ヘルメットを前記半導体基板のフィールド表面上に堆積させるための 1 つ以上のプロセスガスを導入し、

(i i i) 前記第 1 の量の前記酸化シリコンの少なくとも一部をエッチングする期間、前記少なくとも 1 つのプロセスチャンバにエッチング剤を導入し、

(i v) 前記少なくとも 1 つのプロセスチャンバに前記エッチング剤を導入した後、前記ケイ素含有前駆体および前記酸化剤を導入して、前記エッチングされた第 1 の量の前記酸化シリコン上に第 2 の量の酸化シリコンを堆積させるための機械が読み取り可能な命令を含むコントローラと

を備え、

前記コントローラは、(i i) の間に第 2 のケイ素含有前駆体および窒素含有反応剤を供給させて前記犠牲ヘルメットを堆積させるための命令を含み、前記犠牲ヘルメットは窒化シリコンを含む、装置。

【請求項 10】

半導体基板を処理するための装置であって、

(a) 前記半導体基板を保持するための台座を備える少なくとも 1 つのプロセスチャンバと、

(b) 真空中に結合するための少なくとも 1 つの出口と、

(c) 1 つ以上のプロセスガス源に結合されている 1 つ以上のプロセスガス入口と、

(d) 前記装置の動作を制御するためのコントローラであって、

(i) 第 1 の材料を堆積させるための第 1 のセットの堆積前駆体を導入して、前記半導体基板上のフィーチャを充填するには不十分な期間、前記半導体基板上に第 1 の量の前記第 1 の材料を堆積させ、

(i i) 過剰堆積部を形成する犠牲ヘルメットを前記半導体基板のフィールド表面上に堆積させるための 1 つ以上のプロセスガスを導入し、前記犠牲ヘルメットは第 2 の材料を含み、

(i i i) 前記第 1 の量の前記第 1 の材料の少なくとも一部をエッチングする期間、前記少なくとも 1 つのプロセスチャンバにエッチング剤を導入し、

(i v) 前記少なくとも 1 つのプロセスチャンバに前記エッチング剤を導入した後、第 1 のセットの堆積前駆体を導入して、前記エッチングされた第 1 の量の前記第 1 の材料上に第 2 の量の前記第 1 の材料を堆積させるための機械が読み取り可能な命令を含むコントローラと

を備え、

前記第 1 の材料は前記第 2 の材料とは異なる、装置。

【請求項 11】

基板上のフィーチャを充填する方法であって、

前記フィーチャを備える前記基板をプロセスチャンバに供給し、前記フィーチャはフィーチャ開口部および側壁を備え、前記側壁は、前記側壁の表面のスタブおよび前記スタブ間の領域を含む側壁トポグラフィを有し、

前記側壁トポグラフィを有する第 1 の量の材料を形成するため、前駆体および第 2 の反応剤を使用して、前記フィーチャを充填するには不十分な期間、前記第 1 の量の前記材料を前記側壁トポグラフィ上の前記フィーチャ内に共形的に堆積させ、

前記第 1 の量の前記材料の前記側壁トポグラフィを平滑化し、エッチングされた第 1 の量の前記材料を形成するため、エッチング剤に前記第 1 の量の前記材料を曝露して前記第 1 の量の前記材料の一部をエッチングし、

前記第 1 の量の前記材料をエッチングした後、前記エッチングされた第 1 の量の前記材料上に第 2 の量の前記材料を堆積させ、

10

20

30

40

50

前記第 2 の量の前記材料を堆積させた後、前記エッチング剤に前記第 1 の量の前記材料を曝露するために使用される前記期間よりも長い期間、前記エッチング剤に前記第 2 の量の前記材料を曝露し、

前記材料は、炭化シリコン、窒化シリコン、シリコン、酸化シリコン、タンゲステン、ルテニウム、銅、コバルト、およびモリブデンからなる群から選択されること

を備える、方法。

【請求項 1 2】

請求項 1 1 に記載の方法であって、

前記第 1 の量の前記材料を堆積させる前の前記表面の前記スタブは、前記側壁の平面に垂直な 20 から 300 の寸法を有する、方法。

10

【請求項 1 3】

請求項 1 1 に記載の方法であって、

前記第 1 の量の前記材料を前記フィーチャ内に堆積させるには不十分な前記期間は、前記基板のフィールド表面上に材料の過剰堆積部を形成する、方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載の方法であって、

前記エッチング剤に前記第 1 の量の前記材料を曝露することは、前記フィーチャの内部よりも前記フィーチャ開口部の前記スタブ間の領域またはその付近で前記第 1 の量の前記材料の前記一部を優先的にエッチングすることを含む、方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 1 に記載の方法であって、

前記第 2 の量の前記材料は、プラズマ強化化学気相堆積によって堆積される、方法。

20

【請求項 1 6】

請求項 1 1 に記載の方法であって、

前記フィーチャの前記側壁は、スタックに積層された 2 つ以上の材料を含む、方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 1 に記載の方法であって、

前記第 1 の量の前記材料の前記堆積および前記エッチング剤への前記第 1 の量の前記材料の前記曝露は、真空を破ることなく実施される、方法。

【請求項 1 8】

請求項 1 1 に記載の方法であって、

前記エッチング剤への前記第 1 の量の前記材料の前記曝露および前記第 2 の量の前記材料の前記堆積は、真空を破ることなく実施される、方法。

30

【請求項 1 9】

請求項 1 1 に記載の方法であって、

前記第 1 の量の前記材料は、原子層堆積の 1 つ以上のサイクルによって堆積され、原子層堆積の各サイクルは、前記第 2 の反応剤と前記前駆体の交互のパルスを含む、方法。

【請求項 2 0】

請求項 1 9 に記載の方法であって、

プラズマは、前記第 2 の反応剤のパルス中に点火される、方法。

40

【請求項 2 1】

請求項 1 1 に記載の方法であって、

前記エッチング剤は、三フッ化窒素、フルオロホルム (CHF_3)、オクタフルオロシクロブタン (C_4F_8)、テトラフルオロメタン (CF_4)、およびそれらの組み合わせからなる群から選択される、方法。

【請求項 2 2】

請求項 1 1 に記載の方法であって、

前記フィーチャは、少なくとも 6 : 1 のアスペクト比を有する、方法。

【請求項 2 3】

基板上のフィーチャを充填する方法であって、

50

前記フィーチャを備える前記基板をプロセスチャンバに供給し、前記フィーチャはフィーチャ開口部および側壁を備え、前記側壁は、前記側壁の表面のスタブおよび前記スタブ間の領域を含む側壁トポグラフィを有し、

前記側壁トポグラフィを有する第1の量の材料を形成するため、ケイ素含有前駆体および酸化剤を使用して、前記フィーチャを充填するには不十分な期間、前記第1の量の前記材料を前記側壁トポグラフィ上の前記フィーチャ内に共形的に堆積させ、

前記第1の量の材料を堆積させた後、かつエッチング剤に前記第1の量の材料を曝露する前に、過剰堆積部を形成する犠牲ヘルメットを前記基板のフィールド表面上に堆積させ、前記犠牲ヘルメットは、前記フィーチャ内に堆積される前記材料とは別の材料を含み、

前記第1の量の前記材料の前記側壁トポグラフィを平滑化し、エッチングされた第1の量の前記材料を形成するため、前記エッチング剤に前記基板を曝露して前記第1の量の前記材料の一部をエッチングし、

前記第1の量の前記材料をエッチングした後、前記エッチングされた第1の量の前記材料上に第2の量の前記材料を堆積させて前記フィーチャを少なくとも部分的に充填し、

前記材料は、炭化シリコン、窒化シリコン、シリコン、酸化シリコン、タングステン、ルテニウム、銅、コバルト、およびモリブデンからなる群から選択されること

を備える、方法。

【請求項24】

請求項23に記載の方法であって、

前記犠牲ヘルメットは、プラズマ強化化学気相堆積によって堆積される、方法。

【請求項25】

請求項23に記載の方法はさらに、

前記第2の量の前記材料を堆積させた後、前記エッチング剤に前記第1の量の前記材料を曝露するために使用される前記期間よりも短い期間、前記エッチング剤に前記第2の量の前記材料を曝露することを備える、方法。

【請求項26】

請求項23に記載の方法であって、

前記フィーチャは、少なくとも15:1のアスペクト比を有する、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[関連出願の相互参照]

本出願は、2017年9月13日に出願された、名称を「DIELECTRIC GAFILL OF HIGH ASPECT RATIO FEATURES UTILIZING A SACRIFICIAL ETCH CAP LAYER」とする、米国特許出願第15/703,917号に基づく優先権を主張する。この出願は、参照により、その全体があらゆる目的のために本明細書に組み込まれる。

【背景技術】

【0002】

半導体製作プロセスは、半導体基板上への様々な材料の堆積およびエッチングを含むパターンニング動作を伴う。基板は、水平および垂直フィーチャ、傾斜する側壁のネガティブフィーチャ、凹型フィーチャのフィーチャ、および2つ以上の材料の多層スタックを有する基板にネガティブフィーチャとして作成されたフィーチャなど、様々なタイプのフィーチャを含み、それによりフィーチャの側壁の表面上の材料の組成は、フィーチャの深さによって異なる。そのようなフィーチャを充填するための様々な技術が存在するが、デバイスが縮小してフィーチャが小さくなるにつれて、ポイドまたはシームのないフィーチャ充填はますます困難になる。

【発明の概要】

【0003】

本明細書では、半導体基板を処理するための方法および装置が提供される。一態様は、

10

20

30

40

50

基板上的のフィーチャを充填する方法を含み、方法はフィーチャを含む基板をプロセスチャンバに供給し、フィーチャはフィーチャ開口部および側壁トポグラフィを含み、側壁トポグラフィはフィーチャの側壁にスタブを含み、ケイ素含有前駆体および酸化剤を使用して、フィーチャを充填するには不十分な期間、第1の量の酸化シリコンを堆積させ、エッチング剤に第1の量の酸化シリコンを曝露して第1の量の酸化シリコンの少なくとも一部をエッチングし、第1の量の酸化シリコンをエッチングした後、エッチングされた第1の量の酸化シリコン上に第2の量の酸化シリコンを堆積させることを含む。

【0004】

様々な実施形態において、スタブは、側壁の平面に垂直な100 から約300 の寸法を有する。

10

【0005】

様々な実施形態において、第1の量の酸化シリコンをフィーチャ内に堆積させるには不十分な期間は、基板のフィールド表面上に酸化シリコンの過剰堆積部を形成する。いくつかの実施形態では、エッチング剤に第1の量の酸化シリコンを曝露することは、フィーチャの内部よりもフィーチャ開口部またはその付近で第1の量の酸化シリコンの少なくとも一部をエッチングすることを含む。

【0006】

様々な実施形態において、第2の量の酸化シリコンは、プラズマ強化化学気相堆積によって堆積される。いくつかの実施形態では、方法はまた、第2の量の酸化シリコンを堆積させた後、エッチング剤に第1の量の酸化シリコンを曝露するために使用される期間よりも長い期間、エッチング剤に第2の量の酸化シリコンを曝露することを含んでもよい。

20

【0007】

いくつかの実施形態では、フィーチャの側壁は、スタックに積層された2つ以上の材料を含む。

【0008】

様々な実施形態において、第1の量の酸化シリコンの堆積およびエッチング剤への第1の量の酸化シリコンの曝露は、真空を破ることなく実施される。様々な実施形態において、第1の量の酸化シリコンの堆積およびエッチング剤への第1の量の酸化シリコンの曝露は、同じチャンバで実施される。

【0009】

いくつかの実施形態では、エッチング剤への第1の量の酸化シリコンの曝露および第2の量の酸化シリコンの堆積は、真空を破ることなく実施される。いくつかの実施形態では、エッチング剤への第1の量の酸化シリコンの曝露および第2の量の酸化シリコンの堆積は、同じチャンバで実施される。

30

【0010】

様々な実施形態において、第1の量の酸化シリコンの堆積、エッチング剤への第1の量の酸化シリコンの曝露、および第2の量の酸化シリコンの堆積は、真空を破ることなく実施される。様々な実施形態において、第1の量の酸化シリコンの堆積、エッチング剤への第1の量の酸化シリコンの曝露、および第2の量の酸化シリコンの堆積は、同じチャンバで実施される。

40

【0011】

様々な実施形態において、第1の量の酸化シリコンは、原子層堆積の1つ以上のサイクルによって堆積され、原子層堆積の1つ以上のサイクルの各サイクルは、酸化剤とケイ素含有前駆体の交互のパルスを含む。様々な実施形態において、フィーチャを充填するには不十分な期間とは、約40サイクル以下の原子層堆積を実施するための期間である。いくつかの実施形態では、プラズマは、酸化剤のパルス中に点火される。様々な実施形態において、原子層堆積の1つ以上のサイクルの各サイクルは、酸化剤とケイ素含有前駆体の交互のパルスの間にプロセスチャンバをパージすることをさらに含む。いくつかの実施形態では、プロセスチャンバは、第1の量の酸化シリコンを堆積させた後、かつエッチング剤に第1の量の酸化シリコンを曝露する前にパージされる。いくつかの実施形態では、プロ

50

セスチャンバは、エッチング剤に第1の量の酸化シリコンを曝露した後、かつ第2の量の酸化シリコンを堆積させる前にパージされる。

【0012】

様々な実施形態において、エッチング剤は、三フッ化窒素 (NF_3)、フルオロホルム (CHF_3)、オクタフルオロシクロブタン (C_4F_8)、テトラフルオロメタン (CF_4)、およびそれらの組み合わせのいずれか1つである。

【0013】

様々な実施形態において、フィーチャは、少なくとも5ミクロンの深さを有する。様々な実施形態において、フィーチャは、少なくとも15:1のアスペクト比を有する。

【0014】

基板上的フィーチャを充填する方法であって、方法は、フィーチャを含む基板をプロセスチャンバに供給することであって、フィーチャは、フィーチャ開口部および側壁トポグラフィを含み、側壁トポグラフィは、フィーチャの側壁にスタブを含むことと、ケイ素含有前駆体および酸化剤を使用して、フィーチャを充填するには不十分な期間、第1の量の酸化シリコンを堆積させることと、第1の量の酸化シリコンを堆積させた後、かつエッチング剤に第1の量の酸化シリコンを曝露する前に、過剰堆積部を形成する犠牲ヘルメットを基板のフィールド表面上に堆積させることと、エッチング剤に基板を曝露して第1の量の酸化シリコンの少なくとも一部をエッチングすることと、第1の量の酸化シリコンをエッチングした後、エッチングされた第1の量の酸化シリコン上に第2の量の酸化シリコンを堆積させてフィーチャを少なくとも部分的に充填することを含む。

【0015】

様々な実施形態において、スタブは、側壁の平面に垂直な100 から約300 の寸法を有する。

【0016】

様々な実施形態において、犠牲ヘルメットはプラズマ強化化学気相堆積によって堆積される。

【0017】

様々な実施形態において、犠牲ヘルメットは窒化シリコンを含む。

【0018】

様々な実施形態において、犠牲ヘルメットは酸化シリコンを含む。

【0019】

様々な実施形態において、第1の量の酸化シリコンの堆積および犠牲ヘルメットの堆積は、真空を破ることなく実施される。いくつかの実施形態では、第1の量の酸化シリコンの堆積およびエッチング剤への基板の曝露は、真空を破ることなく実施される。いくつかの実施形態では、第1の量の酸化シリコンの堆積、犠牲ヘルメットの堆積、およびエッチング剤への基板の曝露は、真空を破ることなく実施される。いくつかの実施形態では、エッチング剤への基板の曝露および第2の量の酸化シリコンの堆積は、真空を破ることなく実施される。いくつかの実施形態では、犠牲ヘルメットの堆積、エッチング剤への基板の曝露、および第2の量の酸化シリコンの堆積は、真空を破ることなく実施される。いくつかの実施形態では、第1の量の酸化シリコンの堆積、犠牲ヘルメットの堆積、エッチング剤への基板の曝露、および第2の量の酸化シリコンの堆積は、真空を破ることなく実施される。

【0020】

様々な実施形態において、第1の量の酸化シリコンの堆積および犠牲ヘルメットの堆積は、同じチャンバで実施される。いくつかの実施形態では、第1の量の酸化シリコンの堆積およびエッチング剤への基板の曝露は、同じチャンバで実施される。いくつかの実施形態では、第1の量の酸化シリコンの堆積、犠牲ヘルメットの堆積、およびエッチング剤への基板の曝露は、同じチャンバで実施される。いくつかの実施形態では、犠牲ヘルメットの堆積、エッチング剤への基板の曝露、および第2の量の酸化シリコンの堆積は、同じチャンバで実施される。いくつかの実施形態では、第1の量の酸化シリコンの堆積、犠牲へ

10

20

30

40

50

ルメットの堆積、エッチング剤への基板の曝露、および第2の量の酸化シリコンの堆積は、同じチャンバで実施される。

【0021】

様々な実施形態において、第1の量の酸化シリコンは、原子層堆積の1つ以上のサイクルによって堆積され、原子層堆積の1つ以上のサイクルの各サイクルは、酸化剤とケイ素含有前駆体の交互のパルスを含む。様々な実施形態において、フィーチャを充填するには不十分な期間とは、約40サイクル以下の原子層堆積を実施するための期間である。いくつかの実施形態では、プラズマは、酸化剤のパルス中に点火される。様々な実施形態において、原子層堆積の1つ以上のサイクルの各サイクルは、酸化剤とケイ素含有前駆体の交互のパルスの間にプロセスチャンバをパージすることをさらに含む。いくつかの実施形態では、プロセスチャンバは、第1の量の酸化シリコンを堆積させた後、かつエッチング剤に第1の量の酸化シリコンを曝露する前にパージされる。いくつかの実施形態では、プロセスチャンバは、エッチング剤に第1の量の酸化シリコンを曝露した後、かつ犠牲ヘルメットを堆積させる前にパージされる。

10

【0022】

様々な実施形態において、エッチング剤は、三フッ化窒素(NF_3)、フルオロホルム(CHF_3)、オクタフルオロシクロブタン(C_4F_8)、テトラフルオロメタン(CF_4)、およびそれらの組み合わせのいずれか1つである。

【0023】

様々な実施形態において、フィーチャは、少なくとも5ミクロンの深さを有する。様々な実施形態において、フィーチャは、少なくとも15:1のアスペクト比を有する。

20

【0024】

別の態様は、基板上のフィーチャを充填する方法を含み、方法は、フィーチャを含む基板をプロセスチャンバに供給し、フィーチャはフィーチャ開口部および1つ以上の凹型面を有する側壁を含み、フィーチャを充填するには不十分な期間、第1の量の材料を堆積させ、エッチング剤に第1の量の材料を曝露して、フィーチャ内の第1の量の材料の少なくとも一部をエッチングし、第1の量の材料をエッチングした後、エッチングされた第1の量の材料上に第2の量の材料を堆積させることを備え、材料は、炭化シリコン、窒化シリコン、シリコン、タングステン、ルテニウム、銅、コバルト、およびモリブデンのいずれかである。

30

【0025】

様々な実施形態において、フィーチャ内に第1の量の材料を堆積させるのに不十分な期間は、基板のフィールド表面上に酸化シリコンの過剰堆積部を形成する。

【0026】

様々な実施形態において、エッチング剤に第1の量の材料を曝露することは、フィーチャの内部よりもフィーチャ開口部またはその付近で第1の量の材料の少なくとも一部をエッチングすることを含む。

【0027】

様々な実施形態において、第2の量の材料はプラズマ強化化学気相堆積によって堆積される。

40

【0028】

いくつかの実施形態では、方法はまた、第2の量の材料を堆積させた後、エッチング剤に第1の量の材料を曝露するために使用される期間よりも長い期間、エッチング剤に第2の量の材料を曝露することを含む。

【0029】

様々な実施形態において、フィーチャの側壁は、スタックに積層された2つ以上の材料を含む。

【0030】

様々な実施形態において、第1の量の材料の堆積およびエッチング剤への第1の量の材料の曝露は、真空を破ることなく実施される。

50

【 0 0 3 1 】

様々な実施形態において、エッチング剤への第 1 の量の材料の曝露および第 2 の量の材料の堆積は、真空を破ることなく実施される。

【 0 0 3 2 】

別の態様は、基板上のフィーチャを充填する方法を含み、方法は、フィーチャを含む基板をプロセスチャンバに供給し、フィーチャはフィーチャ開口部および側壁トポグラフィを含み、側壁トポグラフィはフィーチャの側壁にスタブを含み、フィーチャを充填するには不十分な期間、第 1 の量の第 1 の材料を堆積させ、第 1 の量の第 1 の材料を堆積させた後、かつエッチング剤に第 1 の量の第 1 の材料を曝露する前に、過剰堆積部を形成する犠牲ヘルメットを基板のフィールド表面上に堆積させ、犠牲ヘルメットは第 2 の材料を含み、エッチング剤に基板を曝露して第 1 の量の第 1 の材料の少なくとも一部をエッチングし、第 1 の量の第 1 の材料をエッチングした後、エッチングされた第 1 の量の第 1 の材料上に第 2 の量の材料を堆積させてフィーチャを少なくとも部分的に充填することを備える。

10

【 0 0 3 3 】

様々な実施形態において、スタブは、側壁の平面に垂直な 1 0 0 から約 3 0 0 の寸法を有する。

【 0 0 3 4 】

様々な実施形態において、第 1 の材料は第 2 の材料とは異なる。様々な実施形態において、第 1 の材料は第 2 の材料と組成的に同じである。様々な実施形態において、第 2 の材料は、プラズマ強化化学気相堆積によって堆積される。

20

【 0 0 3 5 】

様々な実施形態において、第 1 の材料は、原子層堆積によって堆積される。いくつかの実施形態では、第 2 の材料は、ケイ素含有前駆体および窒素含有反応剤を同時に導入する一方でプラズマを点火して窒化シリコンを形成することによって堆積される。様々な実施形態において、窒素含有反応剤は、酸素と共に導入される。いくつかの実施形態では、エッチング剤は、ハロゲン含有エッチング剤である。例えば、いくつかの実施形態では、エッチング剤は、三フッ化窒素である。様々な実施形態において、犠牲ヘルメットは、エッチング剤を使用するとき第 1 の材料に対してエッチング選択性を有する。いくつかの実施形態では、第 1 の材料に対する犠牲ヘルメットのエッチング選択性は、約 1 : 2 から約 1 : 5 であり、その場合、第 1 の材料は犠牲ヘルメットよりも約 2 倍から約 5 倍速くエッチングされる。

30

【 0 0 3 6 】

別の態様は、半導体基板を処理するための装置を含み、装置は、(a) 半導体基板を保持するための台座を含む少なくとも 1 つのプロセスチャンバと、(b) 真空に結合するための少なくとも 1 つの出口と、(c) 1 つ以上のプロセスガス源に結合された 1 つ以上のプロセスガス入口と、(d) 装置の動作を制御するためのコントローラであって、(i) ケイ素含有前駆体および酸化剤を導入して、半導体基板上のフィーチャを充填するには不十分な期間、半導体基板上に第 1 の量の酸化シリコンを堆積させ、フィーチャはフィーチャ開口部および側壁トポグラフィを有し、側壁トポグラフィはフィーチャの側壁にスタブを有し、(i i) 第 1 の量の酸化シリコンの少なくとも一部をエッチングする期間、少なくとも 1 つのプロセスチャンバにエッチング剤を導入し、(i i i) 少なくとも 1 つのプロセスチャンバにエッチング剤を導入した後、ケイ素含有前駆体および酸化剤を導入して、エッチングされた第 1 の量の酸化シリコン上に第 2 の量の酸化シリコンを堆積させるための機械が読み取り可能な命令を含むコントローラとを備える。

40

【 0 0 3 7 】

様々な実施形態において、コントローラは、(i i i) の期間を(i) の期間よりも長く設定するための命令をさらに含む。様々な実施形態において、コントローラは、真空を破ることなく(i) および(i i) を実施するための機械が読み取り可能な命令をさらに含む。

【 0 0 3 8 】

50

様々な実施形態において、装置はまた、プラズマを発生させるためのプラズマ発生器を含む。いくつかの実施形態では、コントローラは、酸化剤を導入するときにプラズマを点火するための命令をさらに含む。

【 0 0 3 9 】

別の態様は、半導体基板を処理するための装置を含み、装置は、(a)半導体基板を保持するための台座を含む少なくとも1つのプロセスチャンバと、(b)真空中に結合するための少なくとも1つの出口と、(c)1つ以上のプロセスガス源に結合された1つ以上のプロセスガス入口と、(d)装置の動作を制御するためのコントローラであって、(i)堆積前駆体および反応剤を導入して、半導体基板上のフィーチャを充填するには不十分な期間、第1の量の材料を堆積させ、(i i)エッチング剤を導入してフィーチャ内の第1の量の材料の少なくとも一部をエッチングし、(i i i)エッチング剤を導入した後、堆積前駆体および反応剤を導入して、エッチングされた第1の量の材料上に第2の量の材料を堆積させるための機械が読み取り可能な命令を含むコントローラとを備え、材料は、炭化シリコン、窒化シリコン、シリコン、タングステン、ルテニウム、銅、コバルト、およびモリブデンのいずれか1つである。

10

【 0 0 4 0 】

様々な実施形態において、コントローラは、(i i i)の期間を(i)の期間よりも長く設定するための命令をさらに含む。様々な実施形態において、コントローラは、真空を破ることなく(i)および(i i)を実施するための機械が読み取り可能な命令をさらに含む。

20

【 0 0 4 1 】

様々な実施形態において、装置はまた、プラズマを発生させるためのプラズマ発生器を備える。いくつかの実施形態では、コントローラは、酸化剤を導入するときにプラズマを点火するための命令をさらに含む。

【 0 0 4 2 】

別の態様は、半導体基板を処理するための装置を含み、装置は、(a)半導体基板を保持するための台座を含む少なくとも1つのプロセスチャンバと、(b)真空中に結合するための少なくとも1つの出口と、(c)1つ以上のプロセスガス源に結合された1つ以上のプロセスガス入口と、(d)装置の動作を制御するためのコントローラであって、(i)ケイ素含有前駆体および酸化剤を導入して、半導体基板上のフィーチャを充填するには不十分な期間、半導体基板に第1の量の酸化シリコンを堆積させ、フィーチャはフィーチャ開口部および側壁トポグラフィを有し、側壁トポグラフィはフィーチャの側壁にスタブを有し、(i i)過剰堆積部を形成する犠牲ヘルメットを半導体基板のフィールド表面上に堆積させるための1つ以上のプロセスガスを導入し、(i i i)第1の量の酸化シリコンの少なくとも一部をエッチングする期間、少なくとも1つのプロセスチャンバにエッチング剤を導入し、(i v)少なくとも1つのプロセスチャンバにエッチング剤を導入した後、ケイ素含有前駆体および酸化剤を導入して、エッチングされた第1の量の酸化シリコン上に第2の量の酸化シリコンを堆積させるための機械が読み取り可能な命令を含むコントローラとを備える。

30

【 0 0 4 3 】

様々な実施形態において、コントローラは、(i i)の間に第2のケイ素含有前駆体および窒素含有反応剤を供給して犠牲ヘルメットを堆積させるための命令を含み、犠牲ヘルメットが窒化シリコンを含む。

40

【 0 0 4 4 】

別の態様は、半導体基板を処理するための装置を含み、装置は、(a)半導体基板を保持するための台座を含む少なくとも1つのプロセスチャンバと、(b)真空中に結合するための少なくとも1つの出口と、(c)1つ以上のプロセスガス源に結合された1つ以上のプロセスガス入口と、(d)装置の動作を制御するためのコントローラであって、(i)第1の材料を堆積させるための第1のセットの堆積前駆体を導入して、半導体基板上のフィーチャを充填するには不十分な期間、半導体基板に第1の量の第1の材料を堆積させ

50

、(i i) 過剰堆積部を形成する犠牲ヘルメットを半導体基板のフィールド表面上に堆積させるための1つ以上のプロセスガスを導入し、犠牲ヘルメットが第2の材料を含み、(i i i) 第1の量の第1の材料の少なくとも一部をエッチングする期間、少なくとも1つのプロセスチャンバにエッチング剤を導入し、(i v) 少なくとも1つのプロセスチャンバにエッチング剤を導入した後、第1のセットの堆積前駆体を導入して、エッチングされた第1の量の第1の材料上に第2の量の第1の材料を堆積させるための機械が読み取り可能な命令を含むコントローラとを備える。

【0045】

様々な実施形態において、第1の材料は第2の材料とは異なる。様々な実施形態において、第1の材料は第2の材料と組成的に同じである。

10

【0046】

これらの態様および他の態様は、図面を参照して以下でさらに説明される。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図1A】図1Aは、様々なタイプのフィーチャを有する例示的な基板の概略図である。

【図1B】図1Bは、様々なタイプのフィーチャを有する例示的な基板の概略図である。

【図1C】図1Cは、様々なタイプのフィーチャを有する例示的な基板の概略図である。

【図1D】図1Dは、様々なタイプのフィーチャを有する例示的な基板の概略図である。

【図1E】図1Eは、様々なタイプのフィーチャを有する例示的な基板の概略図である。

【0048】

【図2A】図2Aは、材料が充填された様々なタイプのフィーチャを有する例示的な基板の概略図である。

【図2B】図2Bは、材料が充填された様々なタイプのフィーチャを有する例示的な基板の概略図である。

【図2C】図2Cは、材料が充填された様々なタイプのフィーチャを有する例示的な基板の概略図である。

【図2D】図2Dは、材料が充填された様々なタイプのフィーチャを有する例示的な基板の概略図である。

【図2E】図2Eは、材料が充填された様々なタイプのフィーチャを有する例示的な基板の概略図である。

20

30

【0049】

【図3A】図3Aは、フィーチャ充填を受けている凹型フィーチャを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図3B】図3Bは、フィーチャ充填を受けている凹型フィーチャを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図3C】図3Cは、フィーチャ充填を受けている凹型フィーチャを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図3D】図3Dは、フィーチャ充填を受けている凹型フィーチャを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【0050】

【図4A】図4Aは、フィーチャ充填を受けている側壁振動部を有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図4B】図4Bは、フィーチャ充填を受けている側壁振動部を有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図4C】図4Cは、フィーチャ充填を受けている側壁振動部を有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図4D】図4Dは、フィーチャ充填を受けている側壁振動部を有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【0051】

【図5A】図5Aは、フィーチャ充填を受けている多層スタックを有する基板の例示的な

40

50

フィーチャの概略図である。

【図 5 B】図 5 B は、フィーチャ充填を受けている多層スタックを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図 5 C】図 5 C は、フィーチャ充填を受けている多層スタックを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【 0 0 5 2】

【図 6】図 6 は、特定の開示の実施形態に従って実施される方法で実施される動作を図示するプロセスフロー図である。

【図 7】図 7 は、特定の開示の実施形態に従って実施される方法で実施される動作を図示するプロセスフロー図である。

【 0 0 5 3】

【図 8 A】図 8 A は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている凹型フィーチャを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図 8 B】図 8 B は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている凹型フィーチャを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図 8 C】図 8 C は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている凹型フィーチャを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図 8 D】図 8 D は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている凹型フィーチャを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【 0 0 5 4】

【図 9 A】図 9 A は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている側壁トポグラフィを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図 9 B】図 9 B は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている側壁トポグラフィを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図 9 C】図 9 C は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている側壁トポグラフィを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図 9 D】図 9 D は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている側壁トポグラフィを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【 0 0 5 5】

【図 9 E】図 9 E は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている側壁トポグラフィを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図 9 F】図 9 F は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている側壁トポグラフィを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図 9 G】図 9 G は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている側壁トポグラフィを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図 9 H】図 9 H は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている側壁トポグラフィを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【 0 0 5 6】

【図 1 0 A】図 1 0 A は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている多層スタックを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図 1 0 B】図 1 0 B は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている多層スタックを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【図 1 0 C】図 1 0 C は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ充填を受けている多層スタックを有する基板の例示的なフィーチャの概略図である。

【 0 0 5 7】

【図 1 1】図 1 1 は、特定の開示の実施形態に従って実施される動作の例を図示するタイミング概略図である。

【 0 0 5 8】

【図 1 2】図 1 2 は、特定の開示の実施形態を実施するための例示的なプロセスチャンパの概略図である。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 9 】

【 図 1 3 】 図 1 3 は、特定の開示の実施形態を実施するための例示的なプロセスツールの概略図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 6 0 】

以下の説明では、提示される実施形態への十分な理解を提供するために多くの具体的な詳細が記載される。本開示の実施形態は、これらの具体的な詳細のいくつかまたは全てなしに実施されてもよい。他の例では、本開示の実施形態を不必要に曖昧にしないように、周知のプロセス動作は詳細に説明されていない。本開示の実施形態は、具体的な実施形態と併せて説明されるが、本開示の実施形態を限定する意図はないことを理解されたい。

10

【 0 0 6 1 】

半導体製作プロセスは、多くの場合、化学気相堆積（CVD）および/または原子層堆積（ALD）法を使用してフィーチャを充填する誘電体ギャップ充填を含む。本明細書で説明するのは、誘電体または金属材料などの材料（酸化シリコンを含むが、これに限定されない）でフィーチャを充填する方法、ならびに関連するシステムおよび装置である。本明細書で説明する方法は、垂直のネガティブフィーチャを充填するために使用することができる。基板に形成されたフィーチャは、狭いおよび/または凹型の開口部、フィーチャ内の狭窄、ならびに高アスペクト比の1つ以上によって特徴付けることができる。基板は、シリコンウエハ、例えば、200mmウエハ、300mmウエハ、または450mmウエハであってもよく、誘電体材料、導電性材料、または半導電性材料などの材料の1つ以上の層がウエハ上に堆積されたものを含む。

20

【 0 0 6 2 】

フィーチャは、これらの層の1つ以上に形成され得る。例えば、フィーチャは、誘電体層に少なくとも部分的に形成されてもよい。本明細書で説明される単一の基板は、ONON（酸化物 - 窒化物 - 酸化物 - 窒化物）スタック、OPOP（ポリシリコン上に酸化シリコンを積層）スタック、またはOMOMスタック（タングステン、コバルト、またはモリブデンなどの金属上に酸化シリコンを積層）などの2つ以上の材料を有する多層ラミネートスタックを含み、フィーチャはそのような多層基板に形成することができ、そのようなフィーチャの側壁は2つ以上の組成物を含む。多層ラミネートスタックは、2層（ONなど）から500層の複合層（{ON}₁₅₀など）に及ぶ範囲であり得る。フィーチャはまた、傾斜した側壁または側壁トポグラフィを有してもよい。側壁トポグラフィは、1つ以上のスタブを有するギザギザの側壁を含み、各スタブは、側壁の平面に垂直な100 から約300 の寸法を有する。様々な実施形態において、側壁トポグラフィは、フィーチャの深さ方向の側壁に存在する2つ以上のスタブによって特徴付けられる。すなわち、側壁上の1つのスタブは、第2のスタブが側壁に存在する深さとは異なる深さにある。加えて、フィーチャはまた、凹型プロファイルを含む場合がある。

30

【 0 0 6 3 】

また、フィーチャ孔は、開口部付近において約1nmから約1ミクロン、例えば約25nmから約300nm（約200nmなど）の寸法（例えば、開口部直径または線幅）を有し得る。フィーチャ孔は、未充填フィーチャまたは単にフィーチャと呼ばれることがある。いくつかの実施形態では、フィーチャ孔は、少なくとも約2:1、少なくとも約4:1、少なくとも約6:1、または少なくとも約20:1、またはそれ以上のアスペクト比を有し得る。

40

【 0 0 6 4 】

図1A～図1Eは、様々なタイプのフィーチャを有する例示的な基板を示す。図1Aに示すフィーチャ102aは、交互の水平層に2つの組成物104aおよび114aを含む多層スタックを有する基板に設けられており、このフィーチャ102aはライナ106aに孔をエッチングすることによって画定される。ライナ106aは、本明細書で説明される様々な例で図示されているが、ライナが存在しない実施形態もあることに注意されたい。ライナが存在する場合、ライナは、窒化物材料（窒化シリコンなどが挙げられるが、こ

50

れに限定されない)であってもよく、またはいくつかの実施形態では、ライナは、ポリシリコン材料であってもよい。

【0065】

図1Bは、ライナ106bによって画定された真っ直ぐな側壁を有する基板104bのフィーチャ102bを示す。図1Bのフィーチャ102bは、真っ直ぐな側壁の高アスペクト比を有する。図1Cは、ライナ106cを有する基板104cの例示的なフィーチャ102cを示し、それによってフィーチャ102cの上部のフィーチャ開口部120cが底部112cの幅よりも大きい、正に傾斜した側壁を有するフィーチャ102cを形成する。図1Dは、基板104dのフィーチャ102dを示し、フィーチャ102dは、ライナ106dに孔をエッチングすることによって画定され、フィーチャ102dは、負に傾斜した側壁、または凹型プロファイルを含み、フィーチャ102dの上部のフィーチャ開口部120dは、フィーチャ102dの底部112dの幅よりも狭い。図1Eは、基板104eのフィーチャ102eを示し、フィーチャ102eは、ライナ106eに孔をエッチングすることによって画定され、フィーチャ102eは、スタブを有する側壁トポグラフィを含む。場合によっては、フィーチャは、フィーチャを形成するために実施されるエッチングのタイプ、またはフィーチャが形成される1つ以上の材料に由来する側壁トポグラフィを有することがある。図1A~図1Eに示すこれらの例などのフィーチャのギャップ充填は、フィーチャのタイプおよびプロファイルに依存する。CVDおよびALDなどの既存の技術を使用してそのようなフィーチャを充填することができるが、従来の技術では、フィーチャ内に望ましくないシームまたはボイドが形成される。

10

20

【0066】

図2Aは、交互の層に材料204aおよび214aを有する多層スタックを含む基板にライナ206aを有する例示的なフィーチャ202aを示す。誘電体材料208aは、共形ALDによってフィーチャ202a内に堆積されるが、フィーチャ202aの中央にシーム210が形成される。これは、側壁から誘電体材料208aが成長してフィーチャ202aの中央で対面することによってシーム210が形成されるからである。

【0067】

図2Bは、基板204bに真っ直ぐな側壁を有するフィーチャ202bを画定するライナ206b上に、ALDによって誘電体材料208bが充填されたフィーチャ202bについて、同様の現象を示す。図2Cでは、右上がりに傾斜する(上方に広がる)フィーチャ202cは、ライナ206cによって画定される側壁を有する基板204cに幅が狭い底部212aを有するが、このフィーチャ202cの場合も同様に、誘電体材料208cが共形ALDによって堆積されるときにシーム210cを形成する。図2Dに示される右下がりに傾斜する(下方に広がる)フィーチャは、基板204dにライナ206dによって画定されている、幅が広い底部212dを備えている。この例でもやはり、誘電体材料208dが堆積されるときにシーム210dが形成される。場合によっては、ALDによる共形充填により、フィーチャ202dの底部またはその付近にボイドが形成されることもある。図2Eは、基板204eにライナ206eによって画定された側壁トポグラフィを有するフィーチャ202eの例を示す。側壁トポグラフィは、スタブ216eによって特徴付けられ、フィーチャ202eの底部212eはスタブ216eの幅よりも広い。材料208eがALDによって堆積されるとマイクロボイド210eが形成され、フィーチャを完全に充填することが不可能になる。マイクロボイドは、直径が約50nm未満、またはいくつかの実施形態では、直径が約30nmから約50nm、または直径が30nm未満(幅が約15nm未満など)のボイドとして定義することができる。

30

40

【0068】

いくつかのdep-etch-dep(堆積、エッチング、堆積)技術は、誘電体材料で様々なフィーチャを充填するために行われている。しかし、既存のdep-etch-dep技術はまた、基板上の他の材料まで不適切にエッチングしてしまい、それによって材料損失をもたらす。以下、図3A~図3D、図4A~図4D、および図5A~図5Cに示される例について説明する。

50

【 0 0 6 9 】

図 3 A は、基板 3 0 4 a のフィーチャ 3 0 2 a の例を示し、フィーチャプロファイルは、ライナ 3 0 6 a によって画定される。図中に符号 3 1 2 a で示されるフィーチャの底部はフィーチャ開口部またはその付近の幅部分よりも狭い幅を有し、この形状が凹型プロファイルで表されている。従来の共形 A L D では、図 3 B に示すように、材料 3 0 8 b が層ごとにフィーチャ 3 0 2 b を充填する。図 3 B では、材料 3 0 8 b は、フィーチャ 3 0 2 b 内に堆積されるものとして図示されており、そのフィーチャプロファイルは、基板 3 0 4 b のライナ 3 0 6 b に画定される。しかし、A L D 堆積は共形的であり、その結果、フィーチャの底部 3 1 2 b が完全に充填された状態で、ポイド 3 1 0 b が形成されることになる。従来の *dep - etch - dep* は、図 3 C に示すように、A L D による堆積後にエッチングを伴う。図 3 C では、堆積された誘電体材料 3 0 8 c がエッチバックされ、基板 3 0 4 c にフィーチャ 3 0 2 c の狭いフィーチャ開口部を開く。しかし、誘電体材料 3 0 8 c がライナ 3 0 6 c の表面までエッチングされた後であっても、開口部がまだ開いていない間はポイド 3 1 0 c が残っている。フィーチャ 3 1 2 c の底部は、充填されたままである。従来の *dep - etch - dep* では、フィーチャが開かれてフィーチャのさらなる充填が可能となるまでエッチングが実施される。そのため、図 3 D に示すように、フィーチャ 3 0 2 d を開き、A L D によって先に堆積された材料 3 0 8 d から形成されたポイド 3 1 0 d へのアクセスを確保するために、エッチバックによってライナ 3 0 6 d の材料損失 3 1 6 d が引き起こされる。フィーチャの底部 3 1 2 d は、基板 3 0 8 d 内で充填された状態を保っている。しかし、そのような材料損失 3 1 6 d は望ましくない。

10

20

【 0 0 7 0 】

図 4 A ~ 図 4 D もまた、誘電体材料でフィーチャを充填するための従来の *dep - etch - dep* プロセスによって引き起こされる不適切なエッチングの例を示す。図 4 A は、ライナ 4 0 6 a でのエッチングによって形成された側壁トポグラフィを有する基板 4 0 4 a のフィーチャ 4 0 2 a を含み、側壁トポグラフィは、スタブを有し、スタブにおけるフィーチャ幅は、フィーチャの底部 4 1 2 a における幅よりも狭い。そのような実施形態では、いくつかのスタブは、同じ深さにある。図 4 B では、A L D は、ライナ 4 0 6 b 上のフィーチャ 4 0 2 b 内に共形的に誘電体材料 4 0 8 b を堆積させるために実施される。フィーチャ 4 0 2 b の側壁上の堆積材料間の空間 4 1 0 b は開いたままであり、材料 4 0 8 b は、底部 4 1 2 b を含んでスタブ 4 1 6 b 上に堆積されることに注意されたい。しかし、側壁トポグラフィ間のポイドの形成を回避するために、図 4 C では、材料 4 0 8 c の平滑化された表面 4 1 4 c によって図示されるように、堆積された誘電体材料 4 0 8 b がエッチバックされて堆積材料を平滑化する。ただし、フィーチャ 4 0 2 c は依然として、基板 4 0 4 c のフィーチャ 4 0 2 c のスタブ 4 1 6 c および底部 4 1 2 c の付近に、滑らかでない堆積材料を含んでいる。図 4 D では、フィーチャの上部 4 1 4 d の平滑化およびフィーチャの底部 4 1 6 d の平滑化に示すように、基板 4 0 4 がさらにエッチバックされて側壁全体に沿って平滑化され、マイクロポイドの形成を低減することが可能になる。フィーチャのスタブ 4 1 6 d および底部 4 1 2 d またはその付近の誘電体材料 4 0 8 d は、A L D による後続の堆積によってマイクロポイドが形成されないように平滑化されることに注意されたい。しかし、そのようなエッチバックは、ライナ 4 0 6 d の材料損失 4 1 6 d をもたらし、それによって下流で問題を引き起こし得る。

30

40

【 0 0 7 1 】

図 5 A ~ 図 5 C はまた、2つの組成物 5 0 4 a および 5 1 4 a の多層スタックを有する基板の例を示し、基板は、共形的にライナ 5 0 6 a 上に堆積された材料 5 0 8 a を有するフィーチャ 5 0 2 a を含む。図 5 B では、材料 5 0 8 b がエッチバックされてフィーチャ 5 0 2 b のフィーチャ開口部を開くが、そのようなエッチングによりライナ 5 0 6 b がエッチングされて先細プロファイルとなる。その後、図 5 C に示される材料 5 0 8 c の堆積では、材料が先細プロファイル上に堆積させ、その結果得られる基板は、充填されたフィーチャを有するがスタックの材料損失を伴うことになる。

【 0 0 7 2 】

50

既存の技術に関するこれらおよび他の問題は、高アスペクト比のフィーチャおよび側壁トポグラフィを有するフィーチャのギャップ充填について、望ましくないフィーチャプロファイルを与えている。

【0073】

本明細書では、高アスペクト比、側壁トポグラフィ、多層スタック組成、および凹型プロファイルを有するフィーチャ内に誘電体材料を堆積させるための方法および装置が提供される。方法は、基板のフィーチャプロファイルおよび下層のエッチングを低減および排除するために $dep - etch - dep$ の期間および条件が調整されることを含み、基板のフィールド表面上にプラズマ強化化学気相堆積を使用して犠牲ヘルメットを堆積させ、それによってフィーチャ開口部に材料の過剰堆積部を形成し（フィーチャ内に堆積される材料と同じ材料であっても異なる材料であってもよい）、より長い期間エッチバックを実施してフィーチャを開く一方で、基板の下にある層をエッチングすることなく材料の犠牲的過剰堆積部のみを消費してフィーチャプロファイルのエッチングを防ぐことを含む。

10

【0074】

以下の説明は誘電体フィーチャの充填に焦点を当てているが、本開示の態様はまた、他の材料でフィーチャを充填する際に実施されてもよい。例えば、本明細書で説明される1つ以上の技術を使用するフィーチャ充填は、ケイ素含有材料（例えば、炭化シリコン、窒化シリコン、酸化シリコン、シリコン）および金属含有材料（例えば、タングステン、ルテニウム、銅、コバルト、モリブデン、それらの窒化物および炭化物）を含む他の材料でフィーチャを充填するために使用され得る。

20

【0075】

図6は、特定の開示の実施形態に従って実施される方法の動作を図示するプロセスフロー図である。図6の動作は、約50 から約650 の基板温度で実施することができる。

【0076】

動作602では、側壁トポグラフィを有するフィーチャを有する基板が供給される。例えば、フィーチャは、図1Eに図示するようなプロファイルを有する場合がある。図6について説明される例は側壁トポグラフィを有するフィーチャに関係するが、いくつかの実施形態では、開示の実施形態は、それぞれ図1B、図1C、図1D、および図1Aに図示するような、垂直側壁を有する高アスペクト比のフィーチャ、凹型プロファイルを有するフィーチャ、正に傾斜した側壁を有するフィーチャ、負に傾斜した側壁を有するフィーチャ、および複数の組成物が側壁に多重積層されているフィーチャのいずれか1つ以上に実施されてもよいことが理解されるだろう。基板は、1つ以上のウエハを処理するための単一ステーションまたはマルチステーション装置のステーション内にあり得るプロセスチャンバに供給されてもよい。

30

【0077】

動作604では、第1の量の誘電体材料がフィーチャ内に堆積される。様々な実施形態において、第1の量の誘電体材料は、フィーチャを充填するには不十分である。不十分に充填されたフィーチャは、若干の誘電体材料が内部に堆積され、かつ、1つ以上のボイドを内部に有するフィーチャとして定義される。不十分に充填されたフィーチャには、材料がフィーチャの側壁に沿って堆積されているがフィーチャ開口部は開いたままであるフィーチャが含まれる。動作604における堆積は、約0.1 Torr から約15 Torr、例えば約6 Torr のチャンバ圧力で実施されてもよい。

40

【0078】

様々な実施形態において、誘電体材料は、酸化シリコンである。酸化シリコンは、ALD、プラズマ強化ALD (PEALD)、CVD、またはプラズマ強化CVD (PECVD) によって堆積させることができる。ALDは、連続的な自己制限反応を使用して材料の薄層を堆積させる技術である。ALDプロセスは、表面を介した堆積反応を使用して、サイクルで層ごとに膜を堆積させる。一例を挙げると、ALDサイクルは、以下の動作を含み得る。(i) 前駆体の供給/吸着、(ii) チャンバからの前駆体のパーズ、(iii) 第2の反応剤の供給および任意的プラズマ点火、および(iv) チャンバからの副産

50

物のパーズ。基板の表面に膜を形成するための第2の反応剤と吸着された前駆体との間の反応は、不均一性、応力、ウェットエッチング速度、ドライエッチング速度、電気的性質（例えば、ブレークダウン電圧およびリーク電流）など、膜の組成および性質に影響を及ぼす。

【0079】

A LDプロセスの一例では、表面活性部位の集合を含む基板表面は、基板を収容するチャンバに供給される分量で、ケイ素含有前駆体などの第1の前駆体のガス相分布に曝露される。この第1の前駆体の分子は、第1の前駆体の化学吸着された種および/または物理吸着された分子を含んで、基板表面上に吸着される。本明細書で説明されるように化合物が基板表面上に吸着されると、吸着層は、化合物ならびに化合物の誘導体を含み得ることを理解されたい。例えば、ケイ素含有前駆体の吸着層は、ケイ素含有前駆体ならびにケイ素含有前駆体の誘導体を含み得る。第1の前駆体の供給後、次にチャンバを排気してガス相に残っている第1の前駆体のほとんどまたは全てを除去し、吸着された種の大部分が、または、吸着された種だけが残るようにする。いくつかの実施形態では、チャンバは完全に排気されない場合がある。例えば、リアクタは、ガス相中の第1の前駆体の分圧が反応を緩和するのに十分に低くなるように排気されてもよい。酸素含有ガスなどの第2の反応剤がチャンバに導入され、それによりこれらの分子の一部は、表面に吸着された第1の前駆体と反応する。いくつかのプロセスでは、第2の反応剤は、吸着された第1の前駆体とすぐに反応する。他の実施形態では、第2の反応剤は、プラズマなどの活性化源が一時的に適用された後のみ反応する。次に、チャンバを再び排気して、第2の反応剤の非結合分子を除去することができる。上述のように、いくつかの実施形態では、チャンバは完全に排気されない場合がある。追加のA LDサイクルを使用して、膜厚を構築することが可能である。

【0080】

いくつかの実施形態では、A LD法は、プラズマ活性化を含む。本明細書に記載のように、本明細書で説明されるA LD法および装置は、共形膜堆積(CFD)法であってもよい。これは2011年4月11日に出願された、名称を「PLASMA ACTIVATED CONFORMAL FILM DEPOSITION」とする米国特許出願第13/084,399号(現在は米国特許第8,728,956号)に一般的に記載されており、この出願は参照により、その全体が本明細書に組み込まれる。

【0081】

酸化シリコンを堆積させるために、1つ以上のケイ素含有前駆体を使用することができる。開示の実施形態に従って好適に使用されるケイ素含有前駆体は、ポリシラン($\text{H}_3\text{Si}-(\text{SiH}_2)_n-\text{SiH}_3$ 、ただし、 $n \geq 0$)を含む。シランの例は、シラン(SiH_4)、ジシラン(Si_2H_6)、およびオルガノシラン(例えば、メチルシラン、エチルシラン、イソプロピルシラン、*t*-ブチルシラン、ジメチルシラン、ジエチルシラン、ジ-*t*-ブチルシラン、アシルシラン、*sec*-ブチルシラン、テキシルシラン、イソアミルシラン、*t*-ブチルジシラン、ジ-*t*-ブチルジシラン)などである。

【0082】

ハロシランは、少なくとも1つのハロゲン基を含み、水素および/または炭素基を含んでも含まなくてもよい。ハロシランの例は、ヨードシラン、プロモシラン、クロロシラン、およびフルオロシランである。ハロシラン、特にフルオロシランは、プラズマが当てられるとシリコン材料をエッチングすることができる反応性ハロゲン化合物種を形成し得る。しかし、いくつかの実施形態ではプラズマが当てられるときにハロシランがチャンバに導入されない場合があり、その場合は、ハロシランからの反応性ハロゲン化合物種の形成が緩和され得る。具体的なクロロシランは、テトラクロロシラン、トリクロロシラン、ジクロロシラン、モノクロロシラン、クロロアシルシラン、クロロメチルシラン、ジクロロメチルシラン、クロロジメチルシラン、クロロエチルシラン、*t*-ブチルクロロシラン、ジ-*t*-ブチルクロロシラン、クロロイソプロピルシラン、クロロ-*sec*-ブチルシラン、*t*-ブチルジメチルクロロシラン、テキシルジメチルクロロシランなどである。

【0083】

アミノシランは、シリコン原子に結合した少なくとも1つの窒素原子を含むが、水素、酸素、ハロゲン、および炭素も含有してもよい。アミノシランの例は、モノ -、ジ -、トリ - およびテトラ - アミノシラン (それぞれ $H_3Si(NH_2)$ 、 $H_2Si(NH_2)_2$ 、 $HSi(NH_2)_3$ および $Si(NH_2)_4$)、ならびに置換モノ -、ジ -、トリ - およびテトラ - アミノシラン、例えば、*t*-ブチルアミノシラン、メチルアミノシラン、*tert*-ブチルシランアミン、ビス(*tert*-ブチルアミノ)シラン ($SiH_2(NHC(CH_3)_3)_2$ (BTBAS))、*tert*-ブチルシリルカルバメート、 $SiH(CH_3)-(N(CH_3)_2)_2$ 、 $SiHCl-(N(CH_3)_2)_2$ 、 $(Si(CH_3)_2NH)_3$ などである。アミノシランのさらなる例は、トリシリルアミン ($N(SiH_3)$) である。

10

【0084】

動作604中には、追加の反応剤も使用される。PECVDによる酸化シリコンヘルメットの堆積の場合、酸化剤がケイ素含有前駆体と共にプロセスチャンバに流されて反応し、基板上に酸化シリコンを堆積させる。例示的な酸化剤は、酸素ガス、水、二酸化炭素、亜酸化窒素、およびそれらの組み合わせを含む。様々な実施形態において、基板が同時に酸化剤および不活性ガスに曝露される一方で、プラズマが点火される。例えば、一実施形態では、酸素とアルゴンの混合物が基板に導入される一方で、プラズマが点火される。例示的な不活性ガスは、ヘリウムおよびアルゴンを含む。いくつかの実施形態では、不活性ガスは、基板にプロセスガスを供給するためのキャリアガスとして作用し、チャンバの上流で迂回される。ALDまたはPEALDによる堆積の場合、ケイ素含有前駆体および反応剤は、パルスで順次導入されるが、これはパージ動作によって分離されてもよい。そのような例は、図7に関して以下でさらに説明される。

20

【0085】

動作604においてALD、PEALD、CVD、およびPECVDのいずれかの組み合わせを利用して誘電体材料を堆積させる実施形態では、両方の堆積法で同じ反応剤および前駆体を使用してもよい。いくつかの実施形態では、堆積法に応じて異なる前駆体を選択することができる。例えば、いくつかの実施形態では、ハロシランを使用してALDを実施した後、ケイ素含有前駆体としてシランを使用してPECVDを実施してもよい。いくつかの実施形態では、プラズマは、誘電体材料を堆積させるために使用される1つ以上の堆積法の実施中に点火される。

30

【0086】

動作607では、犠牲ヘルメットが基板のフィールド表面上に堆積される。ヘルメットは、基板上のフィーチャの内部よりも基板のフィールド表面上に優先的に堆積される材料の過剰堆積部である。様々な実施形態において、ヘルメットは、下層のフィーチャプロファイルのエッチングまたは損傷から保護するため、後続のエッチングプロセスにおける緩衝材として使用される犠牲材料である。

【0087】

様々な実施形態において、ヘルメット材料は、動作604で堆積されて基板のフィールド表面上に残存している誘電体材料の上に成長する。したがって、犠牲ヘルメットはフィーチャ開口部を覆って閉じるのではなく、フィーチャ開口部は開いたままである。様々な実施形態において、犠牲ヘルメットは、PECVDによって堆積される。犠牲ヘルメットは、後続のエッチング動作608中に下層の基板およびフィーチャプロファイルを保護するために使用される層として機能する。犠牲ヘルメットは、フィーチャ内に堆積された誘電体材料と同じ材料であっても異なる材料であってもよい。例えば、いくつかの実施形態では、犠牲ヘルメットはPECVDによって堆積される酸化シリコン材料であり、フィーチャ内に堆積される材料も酸化シリコンである。

40

【0088】

いくつかの実施形態では、ヘルメットは、約10 から約500 の厚さに堆積される。ヘルメットは、ALD、CVD、またはその両方の組み合わせを使用して堆積させることができる。様々な実施形態において、ヘルメットは、PECVDによって堆積される。

50

様々な実施形態において、フィーチャは、ヘルメットの形成に十分な期間、ヘルメットを堆積させるための堆積前駆体（窒化シリコンヘルメットを堆積させるためのケイ素含有前駆体および窒素含有前駆体など）に曝露される。この期間は、フィーチャ開口部のサイズ、フィーチャ開口部の深さ、材料の堆積に使用される技術、材料がフィーチャ内に堆積される材料と同じか異なるか、および材料がフィーチャ内に堆積される材料と同じである場合に、既にフィーチャ内に材料が堆積されているならばその材料の堆積量に依存する。

【0089】

ヘルメット材料とフィーチャ内に堆積される材料が同じであるいくつかの実施形態では、動作604の堆積をサイクルで継続して、動作607の犠牲ヘルメットの堆積を行ってもよい。様々な実施形態において、動作604の堆積はPEALDまたはALDによって実施されるが、動作607はPECVDによって実施される。ヘルメットの材料とフィーチャ内に堆積される材料が同じである場合、動作604と動作607の両方で同じ前駆体を使用することができる。例えば、動作604に関して上述した前駆体および反応剤のいずれかを、動作607での酸化シリコンヘルメットの堆積に利用してもよい。

10

【0090】

いくつかの実施形態では、犠牲ヘルメットは、フィーチャ内に堆積される材料とは異なる材料である。例えば、いくつかの実施形態では、犠牲ヘルメットはPECVDによって堆積される窒化シリコン材料であり、フィーチャ内に堆積される材料は酸化シリコンである。様々な実施形態において、犠牲ヘルメットは、動作608で使用されるエッチング剤に曝露されたときに堆積される材料に対してエッチング選択性を有し、それにより動作608でのエッチングは犠牲ヘルメットに損傷を与えず、したがってヘルメットは、フィーチャ内に堆積される材料の堆積およびエッチングの多くのサイクルに耐えることができる。いくつかの実施形態では、ヘルメットは、シリコン前駆体および窒素プラズマを同時にまたは交互のパルスでそれぞれ使用してPECVDまたはPEALDによって堆積された窒化シリコン材料である。様々な実施形態において、窒化シリコンヘルメットの形成は、酸化シリコンを使用してフィーチャ内に第1の量の酸化シリコンを堆積させた後に実施され、窒化シリコンは、基板のフィールド表面上に堆積される。様々な実施形態において、ヘルメットとして使用される窒化シリコンは、エッチング中に酸化物に対するエッチング選択性を高める。CVDによる堆積の場合、基板は、約2秒から約120秒の期間、堆積前駆体（酸化シリコンを堆積させるためのケイ素含有前駆体および酸化剤など）に曝露されてもよい。いくつかの実施形態では、ヘルメットは、PEALDまたはPECVDなどのプラズマ強化プロセスを使用して堆積される。

20

30

【0091】

PECVDによる窒化シリコンヘルメットの堆積のために、窒素などの窒素含有ガスは、ケイ素含有前駆体と共にプロセスチャンバに流されて窒化シリコンを形成する。様々な実施形態において、窒素は、プラズマで点火されて窒化シリコンを形成する。

【0092】

一例では、シランは、窒化シリコンおよび/または酸化シリコンのPECVDを実施するためのシリコン前駆体として使用される。PECVDによる堆積中、前駆体および反応剤は、様々な流量で流される。例えば、酸化シリコンを堆積させるために、シランを窒素および/または亜酸化窒素と共に流してもよい。シランは、約50 sccmから約200 sccm、例えば約75 sccmの流量で導入されてもよい。窒素は、約1000 sccmから約15000 sccm、例えば約3000 sccmの流量で導入することができる。亜酸化窒素は、約5000 sccmから約25000 sccm、例えば約20000 sccmの流量で導入されてもよい。

40

【0093】

動作608では、誘電体材料がフィーチャ開口部からエッチングされ、フィーチャには部分的にエッチングされた誘電体材料が残る。エッチングは、後続の堆積がフィーチャの底部に達することができるようフィーチャ開口部を広げるために十分な時間実施されてもよい。例えば、いくつかの実施形態では、エッチングは、約100秒から約400秒、例

50

例えば約115秒、または約200秒、または約300秒、または約400秒の期間実施される。様々な実施形態において、エッチングは、動作604においてフィーチャ内に堆積された誘電体材料の層の下にある材料を除去することなく、フィーチャ開口部を開くのに十分な期間実施される。様々な実施形態において、エッチングは、ヘルメット材料に対するエッチング選択性を用いて実施される。例えば、いくつかの実施形態では、動作608中に使用されるエッチング剤は三フッ化窒素(NF_3)であり、犠牲窒化シリコンヘルメットに対する酸化シリコンのエッチング選択性は、約3:1から約5:1である。

【0094】

動作604が過剰堆積部、すなわちヘルメットの堆積を伴ういくつかの実施形態では、フィールド表面上の犠牲誘電体材料のヘルメットの全部ではなく一部を消費しながらフィーチャ開口部が露出されるようにエッチングを実施することによって、部分的にエッチングされた誘電体層をフィーチャに残している。ヘルメットの材料が堆積される材料とは異なる場合でも、ヘルメットの一部が消費される可能性がある。しかし、いくつかの実施形態では、フィーチャ内に堆積される材料に対してエッチング選択性を有する別材料のヘルメットは、堆積される材料と同材料のヘルメットが同じプロセス条件でエッチングされる場合と同じ速さでは消費されず、より長いエッチング時間に耐えることが可能である。いくつかの実施形態では、フィーチャ内に堆積される材料に対してエッチング選択性を有する別材料のヘルメットは、フィーチャプロファイルのエッチングを緩和しながらも、より薄いヘルメットとして堆積させることが可能になる。

【0095】

選択されるエッチング剤は、エッチングされる材料に依存する。例えば、酸化シリコンをエッチングする場合、エッチングは、フッ素含有エッチング化学物質を使用して(例えば、三フッ化窒素(NF_3)を流すことなどによって)実施することができる。酸化シリコンをエッチングするための例示的なエッチング剤は、三フッ化窒素、フルオロホルム(CHF_3)、オクタフルオロシクロブタン(C_4F_8)、テトラフルオロメタン(CF_4)、およびそれらの組み合わせを含む。フィーチャ充填に使用される材料である炭化シリコン、窒化シリコン、シリコン、タングステン、ルテニウム、銅、コバルト、およびモリブデンをエッチングするための例示的なエッチング剤は、臭化水素酸(HBr)、フルオロメタン(CHF_3)、塩素(Cl_2)、四フッ化ケイ素(SiF_4)、テトラフルオロメタン(CF_4)、三塩化ホウ素(BCl_3)、フルオロホルム(CHF_3)、およびそれらの組み合わせを含む。

【0096】

別の例では、炭化シリコンがフィーチャ内に堆積される予定である場合、炭化シリコンのエッチングは、臭化水素酸、または CHF_3 を使用して実施されてもよい。

【0097】

別の例では、窒化シリコンがフィーチャ内に堆積される予定である場合、窒化シリコンのエッチングは、 CHF_3 を使用して実施されてもよい。

【0098】

様々な実施形態において、エッチング剤は、酸素、窒素、および/またはアルゴンなどの1つ以上のキャリアガスと共に流すことができる。

【0099】

様々な実施形態において、プラズマが動作608中に点火されてエッチングを強化する。いくつかの実施形態では、プラズマは、高周波プラズマを使用して点火される。いくつかの実施形態では、自己バイアスバイアスがエッチング中に基板を保持する電動台座に適用され得る。様々な実施形態において、プラズマは、約1000Wから約5000Wのプラズマ電力を使用して三フッ化窒素ガスを流しながら点火される。様々な実施形態において、プラズマは、*in-situ*で生成される。いくつかの実施形態では、プラズマは、基板を収容するプロセスチャンバに供給する前に、遠隔プラズマチャンバで遠隔で生成されてもよい。

【0100】

10

20

30

40

50

いくつかの実施形態では、動作604および608は、異なるチャンバで実施される。いくつかの実施形態では、動作604および608は、同じチャンバで実施される。いくつかの実施形態では、動作604および608は、真空を破ることなく実施される。例えば、いくつかの実施形態では、動作604および608は、真空を破ることなくマルチステーションチャンバの別々のステーションで実施される。開示の実施形態は、堆積とエッチングを同じチャンバまたは同じツールで実施してもよいので、効率を促進する。

【0101】

いくつかの実施形態では、動作608は、側壁を平滑化するために実施することができる。開示の実施形態は、誘電体材料の堆積の合間に実施されるエッチングを利用して表面を均一にし、フィーチャの側壁上のスタブの存在を低減するように、側壁トポグラフィを有するフィーチャへの堆積中に側壁を平滑化するのもも適している。エッチングは、フィーチャの側壁に堆積された誘電体材料を、その下の基板上の材料を露出させることなく平滑化するのに十分な期間エッチングするために、期間およびプラズマ電力を調整することによって実施することができる。側壁の平滑化は、エッチングの期間を、約200秒もしくは約200秒未満の期間、またはフィーチャ開口部を開くための期間よりも短い期間にして実施され得る。

10

【0102】

動作610では、部分的にエッチングされた誘電体材料上に第2の量の誘電体材料が堆積される。様々な実施形態において、第2の量の誘電体材料は、ALD、PEALD、CVD、PECVD、またはそれらの任意の組み合わせによって堆積される。堆積は、任意の適切な前駆体および反応剤を使用して実施されてもよい。例えば、第2の量の酸化シリコンを堆積させるために、動作604に関して上述した任意のケイ素含有前駆体を動作610に使用することができる。同様に、前駆体と反応するための任意の適切な反応剤が使用されてもよい。例えば、酸化シリコンを堆積させるために、酸素または亜酸化窒素などの酸化剤を使用してケイ素含有前駆体と反応することができる。動作604に関して上述した任意の酸化剤を動作610に使用することができる。

20

【0103】

いくつかの実施形態では、プロセスチャンバは、動作604と動作608との間でパージされる。いくつかの実施形態では、プロセスチャンバは、動作608と610との間でパージされる。いくつかの実施形態では、プロセスチャンバは、動作610の後にパージされる。チャンバのパージは、パージガスまたはスリーブガスを流すことを伴う場合があり、これは他の動作で使用されるキャリアガスであってもよく、または異なるガスであってもよい。例示的なパージガスは、アルゴン、窒素、水素、およびヘリウムを含む。様々な実施形態において、パージガスは、不活性ガスである。例示的な不活性ガスは、アルゴン、窒素、およびヘリウムを含む。いくつかの実施形態では、パージは、チャンバを排気することを伴い得る。いくつかの実施形態では、パージは、プロセスチャンバを排気するための1つ以上の排気の副段階を含んでもよい。あるいは、パージは、いくつかの実施形態では省略されてもよいことが理解されよう。パージは、約0.1秒から約2秒など、任意の適切な期間実施すればよい。

30

【0104】

いくつかの実施形態では、第2の量の誘電体材料がフィーチャを充填する。いくつかの実施形態では、フィーチャが充填されるまで、さらなる動作が実施される。例えば、いくつかの実施形態では、動作604、608、および610がサイクルで繰り返される。いくつかの実施形態では、動作604を実施した後、動作608および610が順次繰り返される。

40

【0105】

いくつかの実施形態では、動作604は、ALDによって第1の量の誘電体を堆積させること、およびPECVDによってヘルメットを堆積させることを含み、動作608におけるエッチングは、ヘルメットの堆積後に実施される。いくつかの実施形態では、ヘルメットは、フィーチャを充填するために使用される誘電体とは異なる材料である。例えば、

50

いくつかの実施形態では、酸化シリコンがフィーチャに堆積されるが、窒化シリコンは、エッチングの前にヘルメットとして堆積される。いくつかの実施形態では、フィーチャ内に堆積される材料が酸化シリコンである場合にヘルメットとして窒化シリコンを使用することは、フィーチャ内に堆積された材料が除去されることを防ぐために、エッチング中に酸化シリコン材料と比較して窒化シリコン犠牲ヘルメット材料の高いエッチング選択性を達成するように使用されてもよい。加えて、窒化シリコンヘルメットの使用は、酸化シリコンヘルメットを使用する場合と比較して、より少ない堆積量の窒化シリコンに、より長い期間エッチングを実施することを可能にし得る。例えば、窒化シリコンヘルメットと酸化シリコンヘルメットの堆積厚さが同じである場合、酸化シリコンヘルメットは、窒化シリコンヘルメットよりも速くエッチングされる。そのため、薄い窒化シリコン材料が使用される場合にフィーチャを開くための特定のエッチング期間を、酸化シリコンヘルメットを使用して達成するには、より厚い酸化シリコンヘルメットが使用される。

10

【0106】

図7は、特定の開示の実施形態に従って実施される例示的な方法の例示的なプロセスフロー図を提供する。図7の例示的なプロセスは、図6の動作604、608、および610などの様々な動作の繰り返しを含む。

【0107】

動作701では、側壁トポグラフィを有するフィーチャを有する基板がプロセスチャンバに供給される。本明細書で説明される例は側壁トポグラフィを有するフィーチャに言及しているが、そのような実施形態は、多層ラミネートスタックのフィーチャ、正に傾斜した側壁を有するフィーチャ、負に傾斜した側壁を有するフィーチャ、および凹型プロファイルを有するフィーチャを有する基板に適用することができることが理解されよう。動作701は、図6に関して上述した動作602の実施形態に対応し得る。

20

【0108】

動作702a-1、702b-1、702c-1、および702d-1では、第1の量の誘電体材料がフィーチャ内に堆積されてもよく、そのような動作は、いくつかの実施形態では、図6に関して上述した動作604の実施形態に対応し得る。この特定の例では、動作702a-1から702d-1は、1つのALDサイクルを構成することができる。動作702a-1において、基板は、ケイ素含有前駆体（例えば、動作604に関して上述したもののいずれか）に曝露され、フィーチャの表面上に前駆体を吸着させる。様々な実施形態において、この動作は自己制限的である。いくつかの実施形態では、前駆体は、フィーチャの表面上の活性部位の全てに吸着するわけではない。動作702b-1において、プロセスチャンバは、未吸着のケイ素含有前駆体を除去するために任意でパージされる。動作702c-1において、基板は酸化剤に曝露され、プラズマが点火されてフィーチャ内に第1の酸化シリコン層を形成する。様々な実施形態において、この層は、図6に関して動作604にて上記で言及した、フィーチャ内に堆積された第1の量の誘電体材料である。様々な実施形態において、動作702c-1は、吸着されたケイ素含有前駆体層を酸化シリコンに変換する。動作702d-1において、プロセスチャンバは、ケイ素含有前駆体と酸化剤との間の反応に由来する副産物を除去するために任意でパージされる。動作702a-1から702d-1は、酸化シリコンをフィーチャ内に所望の厚さで堆積させるために、必要に応じて2以上のサイクルで任意に繰り返されてもよい。

30

40

【0109】

動作708aでは、第1の量の酸化シリコンがフィーチャから部分的にエッチングされる。様々な実施形態において、これは図6の動作608に対応する。動作708aは、フィーチャ開口部を開くのに十分な期間実施すればよい。例えば、いくつかの実施形態では、動作702a-1から702b-1のサイクルは、ピンチオフまでフィーチャ内に酸化シリコンを堆積させ、ピンチオフと同時に動作708aを実施してフィーチャ開口部を開くことによって後続の堆積を可能にする。エッチング化学物質としては、動作608に関して上述したような、任意のエッチング化学物質を使用することができる。いくつかの実施形態では、エッチングを促進するためにプラズマが点火される。エッチング化学物質お

50

よびプラズマ条件は、フィーチャ内に堆積される材料に依存することが理解されよう。例えば、酸化シリコンの堆積の場合、動作708aは、酸化シリコンをエッチングするために、三フッ化窒素を流し、約1000Wから約5000Wの電力でプラズマを点火することを伴い得る。

【0110】

動作710では、基板は、ケイ素含有前駆体および酸化剤に曝露され、PECVDによって第2の量の酸化シリコンを形成する。これは、上述した図6の動作610に対応し得る。いくつかの実施形態では、使用されるケイ素含有前駆体は、動作702a-1で使用されるものと同じである。いくつかの実施形態では、使用されるケイ素含有前駆体は、702a-1で使用されるケイ素含有前駆体とは異なる。ケイ素含有前駆体の選択は、使用される酸化剤および使用される技術(ALD、PEALD、CVD、PECVDなど)に依存する。酸化剤はまた、動作702c-1で使用される酸化剤と同じであっても異なってもよい。第2の量の酸化シリコンを使用して、基板のフィールド表面上にヘルメットを堆積させることができる。

10

【0111】

動作708bでは、酸化シリコンは、フィーチャ開口部からエッチングされてもよい。これは、上述した図6の動作608が繰り返される動作に対応し得る。いくつかの実施形態では、動作710で堆積されたヘルメットは、フィーチャの内部よりもフィーチャ開口部をエッチングしながらヘルメットをエッチングすることができるように、酸化シリコン下にある材料およびフィーチャプロファイルを保護する。例えば、フィーチャ開口部のエッチングは、フィーチャの深さの上部5%または上部10%をエッチングすることを伴い得る。いくつかの実施形態では、フィーチャの高いアスペクト比のため、エッチング種がフィーチャの底部に達しない場合があり、したがってフィーチャ内に堆積された材料の上部から約50%までしかエッチングされない。そのようなエッチングは、2秒から約200秒の期間、約1000Wから約5000Wのプラズマ電力を使用することによって調整することができる。

20

【0112】

動作702a-2から702d-2は、ALDサイクルを構成し得る。そのような例は、例えば、図6の動作604の繰り返しを示す。動作702a-2は、動作702a-1と同じであってもよく、または動作702a-1と同じ前駆体および条件を伴ってもよい。動作702b-2は、動作702b-1と同じであってもよく、または動作702b-1と同じパージ条件を伴ってもよい。動作702c-2は、動作702c-1と同じであってもよく、または動作702c-1と同じ酸化剤および/もしくはプラズマ条件を伴ってもよい。動作702d-2は、動作702d-1と同じであってもよく、または動作702d-1と同じパージ条件を伴ってもよい。動作702a-2の間、基板は、フィーチャ表面に前駆体を吸着させるためにケイ素含有前駆体に曝露される。このフィーチャ表面は、先行する動作で以前に堆積および/またはエッチングされた酸化シリコンを含んでいる。いくつかの実施形態では、動作702a-1、702b-1、702c-1、702d-1、708a、710、708b、702a-2、702b-2、702c-2、および702d-2は、フィーチャが充填されるまで任意に繰り返されてもよい。

30

40

【0113】

図8A~図8Dは、特定の開示の実施形態による、フィーチャ802aを有する基板804aの例を示しており、凹型フィーチャがライナ806aによって画定され、フィーチャの底部812aがフィーチャ充填動作を受けている。図8Bでは、第1の量の酸化シリコン808bが基板上に堆積されてヘルメットを形成する。一例として酸化シリコンが図示されているが、いくつかの実施形態では、ヘルメットは、窒化シリコン、または酸窒化シリコンである。凹型プロファイルを有しているため、ボイド810bが形成される。これは、図6の動作604における堆積に対応し得る。図8Cでは、エッチングされた酸化シリコン808cで示されるように、基板がエッチバックされる。これは、図6の動作608に対応し得る。図8Dでは、基板のエッチバックが完了し、露出したボイド810d

50

で示されるようにフィーチャが開かれている。エッチバック中に消費されたのは犠牲ヘルメットであったため、材料損失 8 1 6 d はない。そして、図 3 D と比較されるように、フィーチャ 8 0 2 d は、ポイドを有することなく酸化シリコンを堆積させるために後続の A L D 動作で充填され得る。

【 0 1 1 4 】

図 9 A ~ 図 9 D は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ 9 0 2 a を有する基板 9 0 4 a の例を示しており、フィーチャプロファイルがスタブ 9 1 6 a を有するライナ 9 0 6 a によって画定され、フィーチャの底部 9 1 2 a がフィーチャ充填動作を受けている。図 9 B では、第 1 の量の酸化シリコン 9 0 8 b が基板上に堆積され、ライナ 9 0 6 b のフィールド表面を覆う過剰堆積部によって示すように、ヘルメットを形成する。側壁トポグラフィを有しているため、堆積された酸化シリコンの側壁同士の間空間 9 1 0 b が存在する。この堆積は、図 6 の動作 6 0 4 における堆積に対応し得る。図 9 C では、エッチングされた酸化シリコン 9 0 8 c で示されるように基板がエッチバックされ、平滑化された表面 9 1 4 c をもたらす。これは、図 6 の動作 6 0 8 に対応し得る。図 9 D では、基板のエッチバックが完了し、フィーチャが開かれ、符号 9 1 4 d および 9 1 6 d で示される側壁が両方とも図示のように平滑化されている。エッチバック中に消費されたのは犠牲ヘルメットであったため、側壁 9 1 6 d の材料損失はない。そして、図 4 D と比較されるように、フィーチャ 9 0 2 d は、ポイドを有することなく酸化シリコンを堆積させるために後続の A L D 動作で充填され得る。

【 0 1 1 5 】

図 9 E ~ 図 9 H は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ 9 0 2 e を有する基板 9 0 4 e の例を示しており、フィーチャプロファイルがスタブ 9 1 6 e を有するライナ 9 0 6 e によって画定され、フィーチャの底部 9 1 2 e がフィーチャ充填動作を受けている。図 9 F では、第 1 の量の酸化シリコン 9 0 8 f がフィーチャ 9 0 2 f に堆積され、窒化シリコンヘルメット 9 9 9 f が、ライナ 9 0 6 f のフィールド表面を覆う過剰堆積部によって示すように、基板上に堆積される。この堆積は、図 6 の動作 6 0 4 および 6 0 7 における堆積に対応し得る。側壁トポグラフィを有しているため、堆積された酸化シリコンの側壁同士の間空間 9 1 0 b が存在する。図 9 G では、エッチングされた酸化シリコン 9 0 8 g で示されるように基板がエッチバックされ、平滑化された表面 9 1 4 g をもたらす。これは、図 6 の動作 6 0 8 に対応し得る。窒化シリコンは酸化シリコンに対してエッチング選択性を有するため、酸化シリコンの多くが残り、窒化シリコンヘルメットはより長い期間エッチング動作に耐えることができるが、ここでのエッチング選択性は必ずしも無限ではないので、一部の窒化シリコンはエッチングプロセス中に除去される可能性があることに注意されたい。図 9 H では、基板のエッチバックが完了し、フィーチャが開かれ、符号 9 1 4 h および 9 1 6 h で示される側壁が両方とも図示のように平滑化されている。犠牲ヘルメット 9 9 9 h が酸化シリコンに対するエッチング選択性を有するため、側壁 9 1 6 h の材料損失はない。いくつかの実施形態では、ヘルメット 9 9 9 h の一部が除去される可能性があるが、エッチング条件が同じであると仮定すると酸化シリコンほど多くは除去されないことに注意されたい。そして、図 4 D と比較されるように、フィーチャ 9 0 2 h は、ポイドを有することなく酸化シリコンを堆積させるために後続の A L D 動作で充填され得る。

【 0 1 1 6 】

図 1 0 A ~ 図 1 0 C は、特定の開示の実施形態による、フィーチャ 1 0 0 2 a を有する基板の例を示しており、多層ラミネートスタックが 2 つの材料 1 0 0 4 a および 1 0 1 4 a を有し、フィーチャ 1 0 0 2 a がフィーチャ充填動作を受けている。第 1 の量の酸化シリコン 1 0 0 9 b が基板上に堆積され、ヘルメットを形成する。これは、図 6 の動作 6 0 4 における堆積に対応し得る。図 1 0 B では、エッチングされた酸化シリコン 1 0 0 8 b で示されるように基板がエッチバックされる。これは、図 6 の動作 6 0 8 に対応し得る。そして、図 1 0 C では、図 5 C と比較されるように、フィーチャ 1 0 0 2 c は、フィーチャプロファイルに損傷を与えることなく酸化シリコンを堆積させるために後続の A L D 動

作で充填される。

【0117】

図11は、堆積動作中に酸化シリコンを堆積させるためにPEALDおよびPECVDの組み合わせを使用する、図6の繰り返し動作の例による例示的なパルスのタイミングシーケンス図である。図11は、様々なプロセスパラメータについて、例示的なプロセス1100における各段階を示す。そのようなプロセスパラメータとしては、キャリアガスまたはパージガスの流れ、ケイ素含有前駆体の流れ、酸化剤の流れ、プラズマ電力、およびエッチング剤の流れなどが挙げられる。図中の線は、流れまたはプラズマ電力がオンおよびオフにされるタイミングを示す。また、図11に示されていない他のプロセスパラメータも、特定の開示の実施形態を調整するために関連する場合がある。そのようなパラメータには、前駆体ガス、不活性ガス、反応剤ガス、およびエッチングガスの流量、基板温度、ならびにプロセスチャンバの圧力が含まれるが、これらに限定されない。

10

【0118】

プロセス1100は、ALDサイクル1102-1、エッチング段階1108-1、ALDサイクル1110-1、PECVD曝露段階1110-2、長いエッチバック段階1108-2、およびALDサイクル1102-2を含む。図11には例示的な動作の特定のシーケンスが示されているが、これは一例であり、ALD、PECVD、およびエッチングの他の変形が様々なタイプのフィーチャを有する基板および様々な材料に使用され得ることが理解されよう。さらに、図11は酸化シリコンを堆積させるためのシリコン前駆体および酸化剤の流れを示すが、実施形態は、本明細書の他の場所に記載されるような任意の所望の材料の堆積にも適し得ることが理解されよう。

20

【0119】

ALDサイクル1102-1は、ケイ素含有前駆体曝露段階1102a、パージ段階1102b、酸化剤曝露段階1102c、およびパージ段階1102dを含む。ケイ素含有前駆体曝露段階1102aでは、ケイ素含有前駆体ガスの流れがオンの状態で、アルゴンがキャリアガスとして流れる一方、酸化剤およびエッチング剤の流れはオフであり、プラズマはオフにされる。パージ段階1102bでは、アルゴンガスがオンのままである一方、ケイ素含有ガス、酸化剤ガス、およびエッチングガスの流れはオフであり、プラズマはオフである。酸化剤曝露段階1102cでは、酸化剤およびパージガスの流れがオンである一方、プラズマはオンにされ、ケイ素含有前駆体およびエッチングガスの流れはオフである。パージ段階1102dでは、アルゴンガスがオンである一方、ケイ素含有ガスの流れ、酸化剤ガスの流れ、およびエッチングガスの流れはオフであり、プラズマはオフにされる。ここでは1つのALDサイクルが図示されているが、いくつかの実施形態では、複数のサイクルが実施されてもよいことが理解されよう。

30

【0120】

エッチング段階1108-1は、1つのエッチング段階1108aを含み、これによりアルゴンガスおよびエッチングガスの流れがオンであり、プラズマがオンにされる一方、ケイ素含有前駆体および酸化剤ガスの流れはオフである。

【0121】

パージ段階1153aでは、アルゴンがパージガスとして作用し、アルゴンガスの流れがオンにされる一方、ケイ素含有前駆体ガス、酸化剤ガス、およびエッチング液ガスの流れはオフであり、プラズマはオフにされる。

40

【0122】

ALDサイクル1110-1は、エッチング段階1108-1でのエッチング後、より多くの酸化シリコン材料を堆積させるために実施される。ALDサイクル1110-1は、ALDサイクル1102-1からの反復動作を含み、それによりALDサイクル1110-1は、ケイ素含有前駆体曝露段階1102a、パージ段階1102b、酸化剤曝露段階1102c、およびパージ段階1102dを含む。ケイ素含有前駆体曝露段階1102aでは、ケイ素含有前駆体ガスの流れがオンの状態で、アルゴンがキャリアガスとして流れる一方、酸化剤およびエッチング剤の流れはオフであり、プラズマはオフにされる。パ

50

ージ段階 1 1 0 2 b では、アルゴンガスがオンのままである一方、ケイ素含有ガス、酸化剤ガス、およびエッチングガスの流れはオフであり、プラズマはオフである。酸化剤曝露段階 1 1 0 2 c では、酸化剤およびパージガスの流れがオンである一方、プラズマはオンにされ、ケイ素含有前駆体およびエッチングガスの流れはオフである。パージ段階 1 1 0 2 d では、アルゴンガスがオンである一方、ケイ素含有ガスの流れ、酸化剤ガスの流れ、およびエッチングガスの流れはオフであり、プラズマはオフにされる。1つのALDサイクルが図示されているが、いくつかの実施形態では、複数のサイクルが実施されてもよいことが理解されよう。

【0123】

この例では、エッチング段階 1 1 0 8 - 1でのエッチング後に第2の量の酸化シリコンを堆積させるために、ALDサイクル 1 1 1 0 - 1とPECVD曝露 1 1 1 0 - 2の組み合わせが実施される。PECVD曝露段階 1 1 1 0 - の間、PECVD曝露 1 1 1 0 の1つの動作のみが図示されており、これによりアルゴンが流れ、ケイ素含有前駆体ガスが流れ、酸化剤ガスが流れ、プラズマが点火されて酸化シリコンを堆積させる。ケイ素含有前駆体は、ALDサイクル 1 1 0 2 - 1および 1 1 1 0 - 1で使用されるケイ素含有前駆体と同じであっても異なってもよいことが理解されよう。PECVD曝露 1 1 1 0 - 2は、基板のフィールド表面上でのヘルメットの形成に対応し得る。

【0124】

長いエッチバック段階 1 1 0 8 - 2では、より長いエッチング 1 1 0 8 bの期間が図示されており、これによりアルゴンが流れ、エッチングガスが流れ、プラズマが点火されてエッチングを促進し、ケイ素含有前駆体および酸化剤ガスの流れがオフにされる。これは、基板上に犠牲ヘルメットを形成した後のエッチングによるフィーチャ開口部の開口動作に対応し得る。

【0125】

パージ段階 1 1 5 3 bは、アルゴンガスを流すことを伴う一方、ケイ素含有ガス、酸化剤ガス、およびエッチングガスの流れはオフにされ、プラズマはオフである。ALDサイクル 1 1 0 2 - 2は、ALDサイクル 1 1 0 2 - 1からの反復動作を含み、それによりALDサイクル 1 1 1 0 - 2は、ケイ素含有前駆体曝露段階 1 1 0 2 a、パージ段階 1 1 0 2 b、酸化剤曝露段階 1 1 0 2 c、およびパージ段階 1 1 0 2 dを含む。ケイ素含有前駆体曝露段階 1 1 0 2 aでは、ケイ素含有前駆体ガスの流れがオンの状態で、アルゴンがキャリアガスとして流れる一方、酸化剤およびエッチング剤の流れはオフであり、プラズマはオフにされる。パージ段階 1 1 0 2 bでは、アルゴンガスがオンのままである一方、ケイ素含有ガス、酸化剤ガス、およびエッチングガスの流れはオフであり、プラズマはオフである。酸化剤曝露段階 1 1 0 2 cでは、酸化剤およびパージガスの流れがオンである一方、プラズマはオンにされ、ケイ素含有前駆体およびエッチングガスの流れはオフである。パージ段階 1 1 0 2 dでは、アルゴンガスがオンである一方、ケイ素含有ガスの流れ、酸化剤ガスの流れ、およびエッチングガスの流れはオフであり、プラズマはオフにされる。1つのALDサイクルが図示されているが、いくつかの実施形態では、複数のサイクルが実施されてもよいことが理解されよう。

【0126】

装置

図12は、低圧環境を維持するためのプロセスチャンバ本体 1 2 0 2を有する原子層堆積(ALD)プロセスステーション 1 2 0 0の一実施形態の概略図を図示する。そのようなステーションは、ALD、PEALD、CVD、PECVDによる堆積、ならびにエッチバック動作を含む、特定の開示の実施形態を実施するために使用されてもよい。複数のALDプロセスステーション 1 2 0 0を、1つの共通の低圧プロセスツール環境に含めてもよい。例えば、図13は、マルチステーション処理ツール 1 3 0 0の一実施形態を図示する。いくつかの実施形態では、以下で詳細に説明されるものを含むALDプロセスステーション 1 2 0 0の1つ以上のハードウェアパラメータは、1つ以上のコンピュータコントローラ 1 2 5 0によってプログラマ的に調整することができる。

10

20

30

40

50

【0127】

A L Dプロセスステーション1200は、分配シャワーヘッド1206にプロセスガスを供給するために、反応剤供給システム1201aと流体的に連通している。反応剤供給システム1201aは、シャワーヘッド1206に供給するケイ素含有前駆体ガス、または酸化剤ガス（例えば、酸素または亜酸化窒素）、不活性ガス、エッチングガス（例えば、三フッ化窒素）などのプロセスガスをブレンドおよび/または調整するための混合容器1209を含む。1つ以上の混合容器入口弁1220は、混合容器1209へのプロセスガスの導入を制御し得る。三フッ化窒素および/または酸化剤プラズマはまた、シャワーヘッド1206に供給されてもよく、またはA L Dプロセスステーション1200内で生成されてもよい。

10

【0128】

一例として、図12の実施形態は、混合容器1209に供給される液体反応剤を気化させるための気化ポイント1203を含む。いくつかの実施形態では、気化ポイント1203は、加熱気化器であってもよい。そのような気化器から生成された飽和反応剤蒸気は、下流の供給配管内で凝縮し得る。凝縮した反応剤に不適合ガスが曝露されると、小粒子が形成されることがある。これらの小粒子は、配管を詰まらせ、弁の動作を妨げ、基板を汚染するなどの恐れがある。これらの問題に対処するためのいくつかのアプローチは、残留反応剤を除去するために供給配管をパージおよび/または排気することを伴う。しかし、供給配管をパージすると、プロセスステーションのサイクル時間が増加し、プロセスステーションの処理量が低下する可能性がある。したがって、いくつかの実施形態では、気化ポイント1203の下流の供給配管をヒートトレースしてもよい。いくつかの例では、混合容器1209もヒートトレースしてもよい。1つの非限定的な例では、気化ポイント1203の下流の配管は、混合容器1209で約100 から約150 に及ぶ昇温プロファイルを有する。

20

【0129】

いくつかの実施形態では、液体前駆体または液体反応剤は、液体注入器で気化されてもよい。例えば、液体注入器は、液体反応剤のパルスを混合容器の上流のキャリアガス流に注入することができる。一実施形態では、液体注入器は、液体を高圧から低圧に勢いよく流すことによって反応剤を気化させることができる。別の例では、液体注入器は、液体を分散微小液滴に霧化してから、加熱された供給パイプ内でその微小液滴を気化させてもよい。小さな液滴は、大きな液滴よりも速く蒸発することができ、液体注入と完全な気化との間の遅延が減少する。気化が速くなるほど、気化ポイント1203から下流の配管までの長さを短くすることができる。1つのシナリオでは、液体注入器を混合容器1209に直接取り付けるとよく、別のシナリオでは、液体注入器をシャワーヘッド1206に直接取り付けるとよい。

30

【0130】

いくつかの実施形態では、気化およびプロセスステーション1200への供給のための液体の質量流量を制御するために、液体流コントローラ（LFC）を気化ポイント1203の上流に設けることができる。例えば、LFCは、LFCの下流に位置する熱質量流量計（MFM）を含み得る。次に、LFCのプランジャ弁は、MFMと電氣的に通信する比例積分微分（PID）コントローラによって提供されるフィードバック制御信号にตอบสนองして調整され得る。しかし、フィードバック制御を使用して液体の流れを安定化するには1秒以上かかる場合がある。これは、液体反応剤の供給時間を延長する可能性がある。したがって、いくつかの実施形態では、LFCは、フィードバック制御モードと直接制御モードとの間で動的に切り替えられてもよい。いくつかの実施形態では、これは、LFCの感知管およびPIDコントローラを無効にすることによって実施され得る。

40

【0131】

シャワーヘッド1206は、基板1212に向けてプロセスガスを分配する。図12に示す実施形態では、基板1212は、シャワーヘッド1206の下に位置し、台座1208上に載置された状態で示されている。シャワーヘッド1206は、任意の適切な形状と

50

することができ、プロセスガスを基板 1 2 1 2 に分配するためのポートを任意の適切な数、任意の適切な配置で有することができる。

【 0 1 3 2 】

いくつかの実施形態では、台座 1 2 0 8 は、基板 1 2 1 2 とシャワーヘッド 1 2 0 6 との間の体積に基板 1 2 1 2 を曝露するために上下させることができる。いくつかの実施形態では、台座の高さは、適切なコンピュータコントローラ 1 2 5 0 によってプログラムの調整されてもよいことが理解されよう。いくつかの実施形態では、台座に電力が供給され、電力の印加により台座にバイアスを生成することができる。

【 0 1 3 3 】

別のシナリオでは、台座 1 2 0 8 の高さを調整することにより、プラズマが点火される実施形態のプロセスにおけるプラズマ活性化サイクル中にプラズマ密度を変化させることが可能になり得る。プロセス段階の終わりには、別の基板移送段階中に台座 1 2 0 8 を下げ、台座 1 2 0 8 からの基板 1 2 1 2 の除去を可能にすることができる。

10

【 0 1 3 4 】

いくつかの実施形態では、台座 1 2 0 8 は、ヒータ 1 2 1 0 を介して温度制御されてもよい。いくつかの実施形態では、台座 1 2 0 8 は、約 5 0 から約 6 5 0 の温度に加熱されてもよい。いくつかの実施形態では、台座は、約 5 0 から約 5 0 0 の温度、例えば約 2 0 0 から約 2 7 5 の温度に設定される。いくつかの実施形態では、台座は、約 5 0 から約 3 0 0 の温度に設定される。いくつかの実施形態では、台座は、約 2 0 0 から約 2 7 5 の温度に設定される。

20

【 0 1 3 5 】

さらに、いくつかの実施形態では、プロセスステーション 1 2 0 0 の圧力制御は、バタフライ弁 1 2 1 8 によって行われてもよい。図 1 2 の実施形態に示すように、バタフライ弁 1 2 1 8 は、下流の真空ポンプ（図示せず）によって提供される真空を絞る。しかし、いくつかの実施形態では、プロセスステーション 1 2 0 0 の圧力制御は、プロセスステーション 1 2 0 0 に導入される 1 つ以上のガスの流量を変化させることによって調整することもできる。

【 0 1 3 6 】

いくつかの実施形態では、シャワーヘッド 1 2 0 6 の位置を台座 1 2 0 8 に対して調整し、基板 1 2 1 2 とシャワーヘッド 1 2 0 6 との間の体積を変化させることができる。さらに、台座 1 2 0 8 および/またはシャワーヘッド 1 2 0 6 の垂直位置は、本開示の範囲内の任意の適切な機構によって変更されてもよいことが理解されよう。いくつかの実施形態では、台座 1 2 0 8 は、基板 1 2 1 2 の向きを回転させるための回転軸を含み得る。いくつかの実施形態では、これらの例示的な調整の 1 つ以上は、1 つ以上の適切なコンピュータコントローラ 1 2 5 0 によってプログラムの実施され得ることが理解されよう。

30

【 0 1 3 7 】

プラズマが上述のように使用され得るいくつかの実施形態では、シャワーヘッド 1 2 0 6 および台座 1 2 0 8 は、プラズマに電力を供給するための高周波（RF）電源 1 2 1 4 および整合ネットワーク 1 2 1 6 と電気的に通信する。いくつかの実施形態では、プラズマエネルギーは、プロセスステーション圧力、ガス濃度、RF 源電力、RF 源周波数、およびプラズマ電力パルスタイミングの 1 つ以上を制御することによって制御されてもよい。例えば、RF 電源 1 2 1 4 および整合ネットワーク 1 2 1 6 は、ラジカル種の所望の組成を有するプラズマを形成するために任意の適切な電力で動作されてもよい。適切な電力の例は、上記に含まれている。同様に、RF 電源 1 2 1 4 は、任意の適切な周波数の RF 電力を提供し得る。いくつかの実施形態では、RF 電源 1 2 1 4 は、高周波および低周波 RF 電源を互いに独立して制御するように構成され得る。例示的な低周波 RF 周波数は、0 kHz から 5 0 0 kHz の周波数を含んでもよいが、これに限定されない。例示的な高周波 RF 周波数は、1 . 8 MHz から 2 . 4 5 GHz、または約 1 3 . 5 6 MHz を超える、または 2 7 MHz を超える、または 4 0 MHz を超える、または 6 0 MHz を超える周波数を含んでもよいが、これに限定されない。表面反応のためのプラズマエネルギーを

40

50

提供するために、任意の適切なパラメータが離散的または連続的に調整されてもよいことが理解されよう。プラズマ電力は、ステーションが堆積を実施しているかエッチングを実施しているかに応じて変化してもよい。例えば、例示的なエッチングプラズマ電力は、1000Wから5000Wを含む。

【0138】

いくつかの実施形態では、プラズマは、1つ以上のプラズマモニタによって *in-situ* で監視され得る。1つのシナリオでは、プラズマ電力は、1つ以上の電圧電流センサ（例えば、VIプローブ）によって監視され得る。別のシナリオでは、プラズマ密度および/またはプロセスガス濃度は、1つ以上の発光分光センサ（OES）によって測定されてもよい。いくつかの実施形態では、1つ以上のプラズマパラメータは、そのような *in-situ* のプラズマモニタからの測定値に基づいてプログラマ的に調整され得る。例えば、OESセンサは、プラズマ電力のプログラム制御を提供するためのフィードバックループで使用されてもよい。いくつかの実施形態では、プラズマおよび他のプロセス特性を監視するために他のモニタが使用されてもよいことが理解されよう。このようなモニタとしては、赤外線（IR）モニタ、音響モニタ、および圧力トランスデューサが挙げられるが、これらに限定されない。

10

【0139】

いくつかの実施形態では、コントローラ1250に対する命令は、入力/出力制御（IOC）シーケンス命令を介して提供されてもよい。一例では、プロセス段階の条件を設定するための命令は、プロセスレシピの対応するレシピ段階に含めることができる。場合によっては、プロセスレシピ段階が順次配置されてもよく、それによりプロセス段階の全ての命令がそのプロセス段階と同時に実施される。いくつかの実施形態では、1つ以上のリアクタパラメータを設定するための命令は、レシピ段階に含まれ得る。例えば、第1のレシピ段階は、不活性ガスおよび/または反応剤ガス（例えば、ケイ素含有前駆体などの第1の前駆体）の流量を設定するための命令、キャリアガス（アルゴンなど）の流量を設定するための命令、ならびに第1のレシピ段階の時間遅延命令を含み得る。続く第2のレシピ段階は、不活性ガスおよび/または反応剤ガスの流量を調整または停止するための命令、ならびにキャリアガスまたはパージガスの流量を調整するための命令、および第2のレシピ段階の時間遅延命令を含み得る。第3のレシピ段階は、酸素などの第2の反応剤ガスの流量を調整するための命令、キャリアガスまたはパージガスの流量を調整するための命令、および第3のレシピ段階の時間遅延命令を含み得る。続く第4のレシピ段階は、エッチングガスの流量を調整または停止するための命令、ならびにキャリアガスまたはパージガスの流量を調整するための命令、および第4のレシピ段階の時間遅延命令を含み得る。第5のレシピ段階は、ケイ素含有ガスの流量と、窒化シリコンヘルメットを堆積させるための窒素含有ガスまたは酸化物ヘルメットを堆積させるための酸素含有ガスの流量とを調整するための命令、キャリアガスまたはパージガスの流量を調整するための命令、および第5のレシピ段階の時間遅延命令を含み得る。これらのレシピ段階は、本開示の実施形態の範囲内で、任意の適切な方法でさらに細分化および/または反復されてもよいことが理解されよう。いくつかの実施形態では、コントローラ1250は、図13のシステムコントローラ1350に関して以下で説明される特徴のいずれかを含み得る。

20

30

40

【0140】

上述のように、マルチステーション処理ツールには1つ以上のプロセスステーションを含めることができる。図13は、インバウンドロードロック1302およびアウトバウンドロードロック1304を備え、これらのいずれかまたは両方が遠隔プラズマ源を含み得るマルチステーション処理ツール1300の一実施形態の概略図を示す。ロボット1306は、大気圧において、ポッド1308を通してロードされたカセットから、大気圧ポート1310を介してインバウンドロードロック1302にウエハを移動させるように構成される。ウエハは、ロボット1306によって、インバウンドロードロック1302の台座1312上に載置され、大気圧ポート1310が閉じられ、ロードロックがポンプダウンされる。インバウンドロードロック1302が遠隔プラズマ源を含む場合、ウエハは、

50

処理チャンバ1314に導入される前にロードロックにおいて遠隔プラズマ処理を受けてもよい。さらに、ウエハはまた、例えば、水分および吸着したガスを除去するためにインバウンドロードロック1302においても加熱されてもよい。次に、処理チャンバ1314へのチャンバ移送ポート1316が開かれ、別のロボット（図示せず）が、処理のためにリアクタに示す第1のステーションの台座上のリアクタにウエハを載置する。なお、図13に図示される実施形態はロードロックを含んでいるが、いくつかの実施形態では、プロセスステーションにウエハを直接進入させてもよいことを理解されたい。

【0141】

図示の処理チャンバ1314は、図13に示す実施形態において1から4まで番号が付けられた4つのプロセスステーションを含む。各ステーションは、加熱台座（ステーション1に対して1318で示す）と、ガスライン入口とを有する。いくつかの実施形態では、各プロセスステーションは、異なる目的または複数の目的を有し得ることが理解されよう。例えば、いくつかの実施形態では、プロセスステーションは、ALDプロセスモードとプラズマ強化ALDプロセスモードとの間で切り替え可能であり得る。これに加えて、またはこれに代えて、いくつかの実施形態では、処理チャンバ1314は、ALDプロセスステーションおよびプラズマ強化ALDプロセスステーションの対応するペアを1つ以上含み得る。図示の処理チャンバ1314は4つのステーションを含むが、本開示による処理チャンバは、任意の適切な数のステーションを有してもよいことが理解されよう。例えば、いくつかの実施形態では、処理チャンバは、5つ以上のステーションを有してもよく、他の実施形態では、処理チャンバは、3つ以下のステーションを有してもよい。

【0142】

図13は、処理チャンバ1314内でウエハを移送するためのウエハハンドリングシステム1390の一実施形態を図示する。いくつかの実施形態では、ウエハハンドリングシステム1390は、様々なプロセスステーション同士の間および/またはプロセスステーションとロードロックとの間でウエハを移送することができる。任意の適切なウエハハンドリングシステムが用いられてもよいことが理解されよう。非限定的な例として、ウエハカールセルおよびウエハハンドリングロボットが挙げられる。図13はまた、プロセスツール1300のプロセス条件およびハードウェア状態を制御するために用いられるシステムコントローラ1350の一実施形態を図示する。システムコントローラ1350は、1つ以上のメモリデバイス1356、1つ以上の大容量記憶デバイス1354、および1つ以上のプロセッサ1352を含むことができる。プロセッサ1352は、CPUまたはコンピュータ、アナログおよび/またはデジタル入出力接続、ステッピングモータコントローラボードなどを含み得る。

【0143】

いくつかの実施形態では、システムコントローラ1350は、プロセスツール1300の活動の全てを制御する。システムコントローラ1350は、大容量記憶デバイス1354に記憶され、メモリデバイス1356にロードされ、プロセッサ1352で実施されるシステム制御ソフトウェア1358を実行する。あるいは、制御論理がコントローラ1350においてハードコード化されてもよい。これらの目的のために、特定用途向け集積回路、プログラマブル論理デバイス（例えば、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ、FPGA）などを使用することができる。以下の説明では、「ソフトウェア」または「コード」が使用されている場合は常に、機能的に同等のハードコード化された論理を代わりに使用することができる。システム制御ソフトウェア1358は、タイミング、ガスの混合、ガス流量、チャンバ圧力および/またはステーション圧力、チャンバ温度および/またはステーション温度、ウエハ温度、ターゲット電力レベル、RF電力レベル、基板台座、チャック位置および/またはサセプタ位置、ならびにプロセスツール1300によって実施される特定のプロセスの他のパラメータを制御するための命令を含み得る。システム制御ソフトウェア1358は、任意の適切な方法で構成され得る。例えば、様々なプロセスツール構成要素サブルーチンまたは制御オブジェクトは、様々なプロセスツールプロセスを実施するために使用されるプロセスツール構成要素の動作を制御するために書か

れてもよい。システム制御ソフトウェア 1358 は、任意の適切なコンピュータが読み取り可能なプログラミング言語でコード化され得る。

【0144】

いくつかの実施形態では、システム制御ソフトウェア 1358 は、上述の様々なパラメータを制御するための入力/出力制御 (I/O C) シーケンス命令を含み得る。システムコントローラ 1350 に関連する大容量記憶デバイス 1354 および/またはメモリデバイス 1356 に記憶された他のコンピュータソフトウェアおよび/またはプログラムは、いくつかの実施形態で用いられてもよい。この目的のためのプログラムの例またはプログラムのセクションの例は、基板位置決めプログラム、プロセスガス制御プログラム、圧力制御プログラム、ヒータ制御プログラム、およびプラズマ制御プログラムを含む。

10

【0145】

基板位置決めプログラムは、基板を台座 1318 上にロードし、基板とプロセスツール 1300 の他の部分との間の間隔を制御するために使用されるプロセスツール構成要素のプログラムコードを含み得る。

【0146】

プロセスガス制御プログラムは、ガス組成 (例えば、本明細書で説明されるケイ素含有ガス、酸化剤ガス、エッチングガス、キャリアガス、およびパージガス) と流量を制御するためのコード、および任意で、プロセスステーションの圧力を安定化するため堆積前に 1 つ以上のプロセスステーションにガスを流すためのコードを含み得る。圧力制御プログラムは、例えば、プロセスステーションの排気システムのスロットル弁、プロセスステーションへのガス流などを調節することによってプロセスステーションの圧力を制御するためのコードを含み得る。

20

【0147】

ヒータ制御プログラムは、基板を加熱するために使用される加熱ユニットへの電流を制御するためのコードを含み得る。あるいは、ヒータ制御プログラムは、基板への熱伝達ガス (ヘリウムなど) の供給を制御することができる。

【0148】

プラズマ制御プログラムは、本明細書の実施形態に従って 1 つ以上のプロセスステーションのプロセス電極に印加される RF 電力レベルを設定するためのコードを含み得る。

【0149】

圧力制御プログラムは、本明細書の実施形態に従って反応チャンバの圧力を維持するためのコードを含み得る。

30

【0150】

いくつかの実施形態では、システムコントローラ 1350 に関連するユーザインターフェースが存在してもよい。ユーザインターフェースは、ディスプレイ画面、装置および/またはプロセス条件のグラフィカルソフトウェアディスプレイ、ならびにポインティングデバイス、キーボード、タッチスクリーン、マイクロフォンなどのユーザ入力デバイスを含み得る。

【0151】

いくつかの実施形態では、システムコントローラ 1350 によって調整されたパラメータは、プロセス条件に関係するものであってもよい。非限定的な例として、プロセスガスの組成および流量、温度、圧力、プラズマ条件 (RF バイアス電力レベルなど) などが挙げられる。これらのパラメータは、レシピの形態でユーザに提供されてもよく、ユーザインターフェースを利用して入力することができる。

40

【0152】

プロセスを監視するための信号は、様々なプロセスツールセンサからシステムコントローラ 1350 のアナログおよび/またはデジタル入力接続によって提供されてもよい。プロセスを制御するための信号は、プロセスツール 1300 のアナログおよびデジタル出力接続で出力することができる。監視することができるプロセスツールセンサの非限定的な例は、マスフローコントローラ、圧力センサ (圧力計など)、熱電対などを含む。適切に

50

プログラムされたフィードバックおよび制御アルゴリズムをこれらのセンサからのデータと共に使用して、プロセス条件を維持することができる。

【0153】

システムコントローラ1350は、上述の堆積プロセスを実行するためのプログラム命令を提供することができる。プログラム命令は、DC電力レベル、RFバイアス電力レベル、圧力、温度など、様々なプロセスパラメータを制御することができる。命令は、本明細書で説明される様々な実施形態に従って、膜スタックの*in-situ*堆積を実施するようにパラメータを制御し得る。

【0154】

システムコントローラ1350は、通常、開示の実施形態による方法を装置が実施するように命令を実施するよう構成された1つ以上のメモリデバイスおよび1つ以上のプロセッサを含む。開示の実施形態に従ってプロセス動作を制御するための命令を含む機械が読み取り可能な媒体は、システムコントローラ1350に結合されてもよい。

10

【0155】

いくつかの実施形態では、システムコントローラ1350は、上述した例の一部であり得るシステムの一部である。そのようなシステムは、1つまたは複数の処理ツール、1つまたは複数のチャンバ、1つまたは複数の処理用プラットフォーム、および/または特定の処理構成要素（ウエハ台座、ガス流システムなど）を含む半導体処理装置を含むことができる。これらのシステムは、半導体ウエハまたは基板の処理前、処理中、および処理後のシステム動作を制御するための電子機器と一体化されてもよい。そのような電子機器は「コントローラ」と呼ばれることがあり、1つまたは複数のシステムの様々な構成要素または副部品を制御してもよい。システムコントローラ1350は、処理条件および/またはシステムのタイプに応じて、本明細書に開示されているプロセスのいずれかを制御するようにプログラムされてもよい。そのようなプロセスとしては、処理ガスの供給、温度設定（例えば、加熱および/または冷却）、圧力設定、真空設定、電力設定、高周波（RF）発生器設定、RF整合回路設定、周波数設定、流量設定、流体供給設定、位置および動作設定、ツールに対するウエハ搬送（搬入および搬出）、ならびに、特定のシステムと接続または連動する他の搬送ツールおよび/またはロードロックに対するウエハ搬送（搬入および搬出）が含まれる。

20

【0156】

広義には、システムコントローラ1350は、命令を受信し、命令を発行し、動作を制御し、クリーニング動作を可能にし、エンドポイント測定を可能にするなどの様々な集積回路、ロジック、メモリ、および/またはソフトウェアを有する電子機器として定義されてもよい。集積回路は、プログラム命令を記憶するファームウェアの形式のチップ、デジタル信号プロセッサ（DSP）、特定用途向け集積回路（ASIC）として定義されたチップ、および/または、1つまたは複数のマイクロプロセッサ、すなわちプログラム命令（例えば、ソフトウェア）を実行するマイクロコントローラを含んでもよい。プログラム命令は、様々な個々の設定（またはプログラムファイル）の形式でシステムコントローラ1350に通信される命令であって、特定のプロセスを半導体ウエハ上で、または半導体ウエハ用に、またはシステムに対して実行するための動作パラメータを定義してもよい。動作パラメータは、いくつかの実施形態では、1つまたは複数の層、材料、金属、酸化物、ケイ素、二酸化ケイ素、表面、回路、および/またはウエハダイの製作における1つまたは複数の処理ステップを実現するためプロセスエンジニアによって定義されるレシピの一部であってもよい。

30

【0157】

いくつかの実施態様において、システムコントローラ1350は、システムと統合または結合されるか、その他の方法でシステムにネットワーク接続されるコンピュータの一部であってもよく、またはそのようなコンピュータに結合されてもよく、またはそれらの組み合わせであってもよい。例えば、システムコントローラ1350は、「クラウド」内にあってもよいし、ファブホストコンピュータシステムのすべてもしくは一部であってもよ

40

50

い。これにより、ウエハ処理のリモートアクセスが可能となる。コンピュータは、システムへのリモートアクセスを可能にして、製作動作の現在の進捗状況を監視し、過去の製作動作の履歴を検討し、複数の製作動作から傾向または性能基準を検討し、現在の処理のパラメータを変更し、現在の処理に続く処理ステップを設定するか、または新しいプロセスを開始してもよい。いくつかの例では、リモートコンピュータ（例えば、サーバ）は、ネットワークを通じてプロセスレシピをシステムに提供することができる。そのようなネットワークは、ローカルネットワークまたはインターネットを含んでいてもよい。リモートコンピュータは、パラメータおよび/または設定のエントリまたはプログラミングを可能にするユーザインターフェースを含んでもよく、そのようなパラメータおよび/または設定は、その後リモートコンピュータからシステムに通信される。いくつかの例では、システムコントローラ 1350 は命令をデータの形式で受信する。そのようなデータは、1つまたは複数の動作中に実施される各処理ステップのためのパラメータを特定するものである。パラメータは、実施されるプロセスのタイプ、およびシステムコントローラ 1350 が連動または制御するように構成されるツールのタイプに特有のものであってもよいことを理解されたい。したがって、上述したように、システムコントローラ 1350 は、例えば、互いにネットワーク接続され共通の目的（本明細書に記載のプロセスおよび制御など）に向けて協働する1つまたは複数の個別のコントローラを含むことによって分散されてもよい。このような目的のための分散型コントローラの例として、チャンバ上の1つまたは複数の集積回路であって、（例えば、プラットフォームレベルで、またはリモートコンピュータの一部として）遠隔配置されておりチャンバにおけるプロセスを制御するよう組み合わせられる1つまたは複数の集積回路と通信するものが挙げられるであろう。

10

20

【0158】

限定はしないが、例示的なシステムは、プラズマエッチングチャンバまたはモジュール、堆積チャンバまたはモジュール、スピンドルチャンバまたはモジュール、金属めっきチャンバまたはモジュール、洗浄チャンバまたはモジュール、ベベルエッジエッチングチャンバまたはモジュール、物理気相堆積（PVD）チャンバまたはモジュール、化学気相堆積（CVD）チャンバまたはモジュール、ALDチャンバまたはモジュール、原子層エッチング（ALE）チャンバまたはモジュール、イオン注入チャンバまたはモジュール、追跡チャンバまたはモジュール、ならびに半導体ウエハの製作および/または製造に関連するか使用されてもよい任意の他の半導体処理システムを含んでもよい。

30

【0159】

上述のように、ツールによって実施される1つまたは複数のプロセスステップに応じて、システムコントローラ 1350 は、1つまたは複数の他のツール回路もしくはモジュール、他のツール構成要素、クラスタツール、他のツールインターフェース、隣接するツール、近接するツール、工場全体に位置するツール、メインコンピュータ、別のコントローラ、または半導体製造工場においてツール場所および/もしくはロードポートに対してウエハの容器を搬入および搬出する材料搬送に使用されるツールと通信してもよい。

【0160】

本明細書に開示される方法を実施するための適切な装置は、2011年4月11日に出願された、名称を「PLASMA ACTIVATED CONFORMAL FILM DEPOSITION」とする米国特許出願第13/084,399号（現在は米国特許第8,728,956号）、および、2011年4月11日に開示された、名称を「SILICON NITRIDE FILMS AND METHODS」とする米国特許出願第13/084,305号にさらに説明および記載されており、各々の出願の全体が本明細書に組み込まれる。

40

【0161】

本明細書で説明される装置/プロセスは、例えば、半導体デバイス、ディスプレイ、LED、太陽光パネルなどの製作または製造のために、リソグラフィパターンニングツールまたはプロセスと併せて使用されてもよい。通常、必須ではないが、そのようなツール/プロセスは、共通の製作施設で共に使用または実施される。膜のリソグラフィパターンニング

50

は、通常、以下の操作のいくつかまたは全てを含み、各操作が使用可能な多くのツールを用いて可能にされる：(1) スピンオンツールまたはスプレーオンツールを使用して、ワークピース（すなわち、基板）にフォトリソを塗布する操作、(2) ホットプレートまたは炉またはUV硬化ツールを使用してフォトリソを硬化する操作、(3) ウェハステッパなどのツールを用いて可視光またはUV光またはX線光にフォトリソを露光する操作、(4) ウェットベンチなどのツールを使用して、レジストを現像してレジストを選択的に除去し、それによってレジストをパターンニングする操作、(5) ドライエッチングツールまたはプラズマ支援エッチングツールを使用することによって、下層の膜またはワークピースにレジストパターンを転写する操作、および(6) RFまたはマイクロ波プラズマレジストストリッパなどのツールを使用してレジストを除去する操作。

10

【0162】

実験

実験1

実験は、5ミクロンの深さを有する15:1のフィーチャを有する基板で実施され、凹状タングステンと酸化シリコンのスタブ、およびフィーチャ開口部付近のフィーチャの上部に凹型部があった。そのような基板上への酸化シリコンの堆積を、従来の原子層堆積によって基板上で実施した結果、酸化物スタブが側壁上で出会う位置にボイドが形成された。フィーチャの上部に存在する凹型部により、上部にもボイドが形成された。別の同様の基板に対して、300サイクルのALD、 NF_3 を使用したエッチバック、複数サイクルのALD、PECVDを利用した60秒間のヘルメットの堆積、長いエッチバック、およびフィーチャを充填するためのALD堆積を行った。得られた基板にボイドは発生せず、フィーチャ開口部の角部分から材料は除去されなかった。これらの結果は、側壁トポグラフィを有する高アスペクト比のフィーチャにおいて、ボイドを形成することなく誘電体材料によるギャップ充填を行うために利用される特定の開示のdep-etch-dep動作の実現可能性を示唆した。

20

【0163】

実験2

実験は、160nmの深さを有する凹状フィーチャを有する基板で実施され、凹状フィーチャの表面は窒化シリコンであり、フィーチャの上部のフィーチャ開口部は25nmであり、側壁はフィーチャの底部に向かって深さ方向に狭まっていた。酸化シリコンは、プラズマとアミノシラン前駆体および $\text{N}_2\text{O}/\text{O}_2$ を使用し、40サイクルのALDを利用してフィーチャ内に堆積された。ALDに続いて、酸化シリコンヘルメットがPECVDによって125Åの厚さに堆積された。ヘルメットの堆積後、基板は NF_3 を使用して32秒の期間エッチングされた。ヘルメットは、エッチング中に完全に消費された。フィーチャを完全に充填するために、後続のALDが実施された。フィーチャは、ボイドがほとんど形成されないか全く形成されない状態で充填された。

30

【0164】

実験は、160nmの深さを有する凹状フィーチャを有する基板で実施され、凹状フィーチャの表面は窒化シリコンであり、フィーチャの上部のフィーチャ開口部は25nmであり、側壁はフィーチャの底部に向かって深さ方向に狭まっていた。酸化シリコンは、プラズマとアミノシラン前駆体および $\text{N}_2\text{O}/\text{O}_2$ を使用し、40サイクルのALDを利用してフィーチャ内に堆積された。ALDに続いて、窒化シリコンヘルメットがアミノシラン前駆体および窒素プラズマを使用したPECVDによって125Åの厚さに堆積された。ヘルメットの堆積後、基板は NF_3 を使用して32秒の期間エッチングされた。エッチング後もヘルメットの50%超が残っていた。フィーチャを完全に充填するために、後続のALDが実施された。ALDによって堆積された酸化シリコンに対する窒化シリコンヘルメットのエッチング選択性により、フィーチャを開くためのエッチング期間をより長くすることが可能になった。

40

【0165】

実験は、160nmの深さを有する凹状フィーチャを有する基板で実施され、凹状フィー

50

ーチャの表面は窒化シリコンであり、フィーチャの上部のフィーチャ開口部は25 nmであり、側壁はフィーチャの底部に向かって深さ方向に狭まっていた。酸化シリコンは、プラズマとアミノシラン前駆体および N_2O/O_2 を使用し、40サイクルのALDを利用してフィーチャ内に堆積された。ALDに続いて、窒化シリコンヘルメットがアミノシラン前駆体および窒素プラズマを使用したPECVDによって65 nmの厚さに堆積された。ヘルメットの堆積後、基板は NF_3 を使用して32秒の期間エッチングされた。ヘルメットはエッチング中に完全に消費された。フィーチャを完全に充填するために、後続のALDが実施された。ALDによって堆積された酸化シリコンに対する窒化シリコンヘルメットのエッチング選択性により、より薄いヘルメットを使用しつつ、ポイドが形成されないフィーチャ充填を達成することができた。

10

【0166】

結論

前述の実施形態は、明確な理解のために多少詳しく説明されてきたが、一定の変更および修正が添付の特許請求の範囲の範囲内で実施されてもよいことは明らかであろう。本実施形態のプロセス、システム、および装置の実施には多くの別の方法があることに注意されたい。したがって、本実施形態は、限定ではなく例示と見なされるべきであり、それらの実施形態は本明細書に述べられる詳細に限定されるべきではない。

20

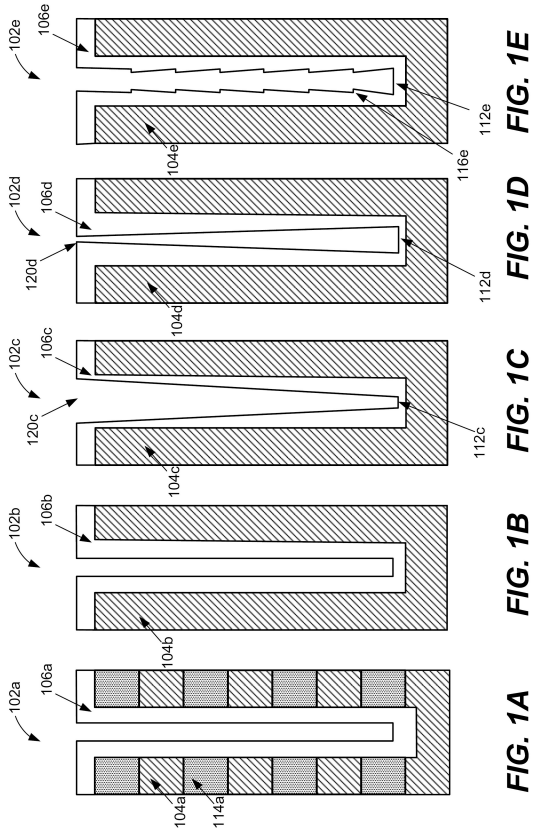
30

40

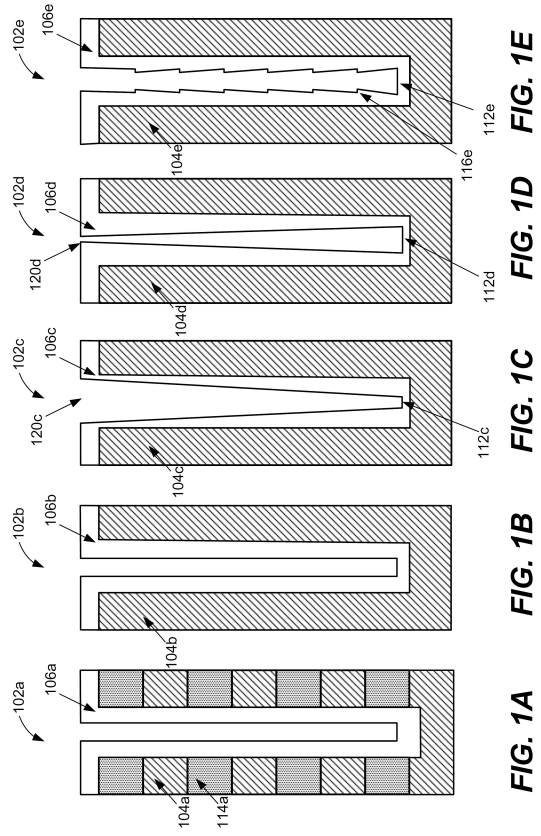
50

【図面】

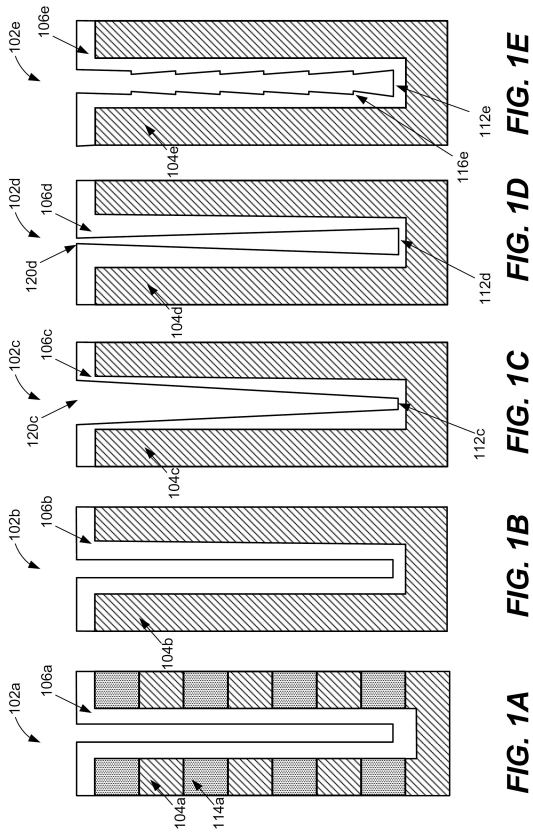
【図 1 A】



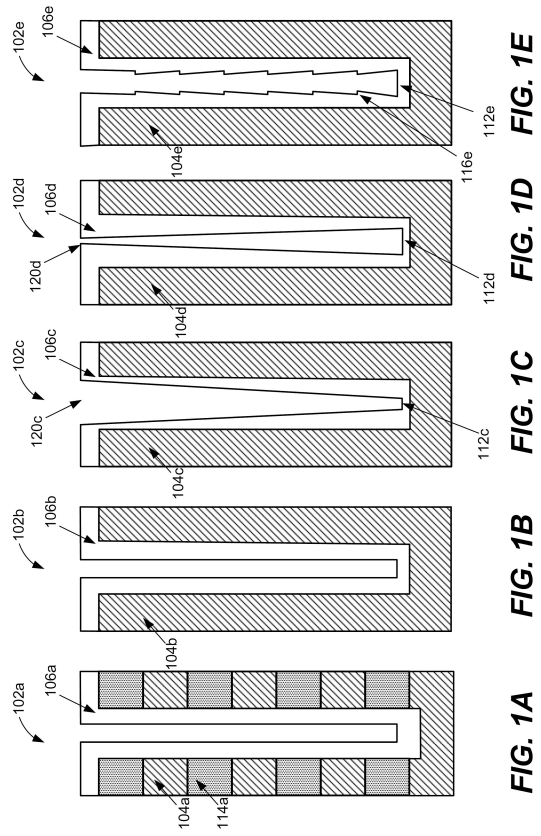
【図 1 B】



【図 1 C】



【図 1 D】



10

20

30

40

50

【 1 E 】

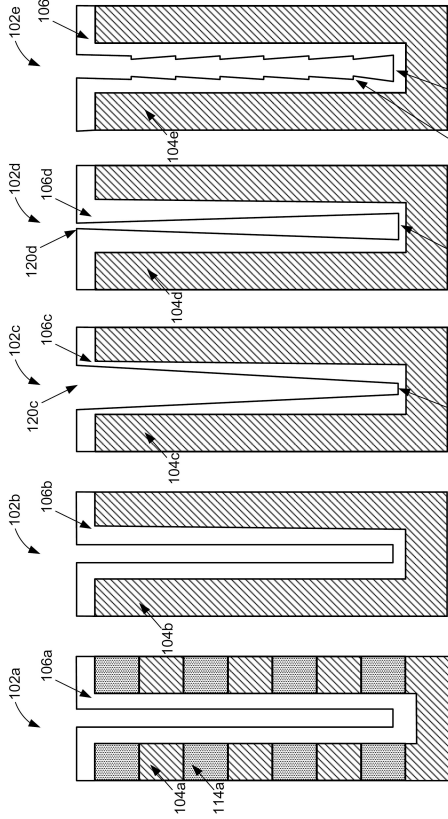


FIG. 1A

FIG. 1B

FIG. 1C

FIG. 1D

FIG. 1E

【 2 A 】

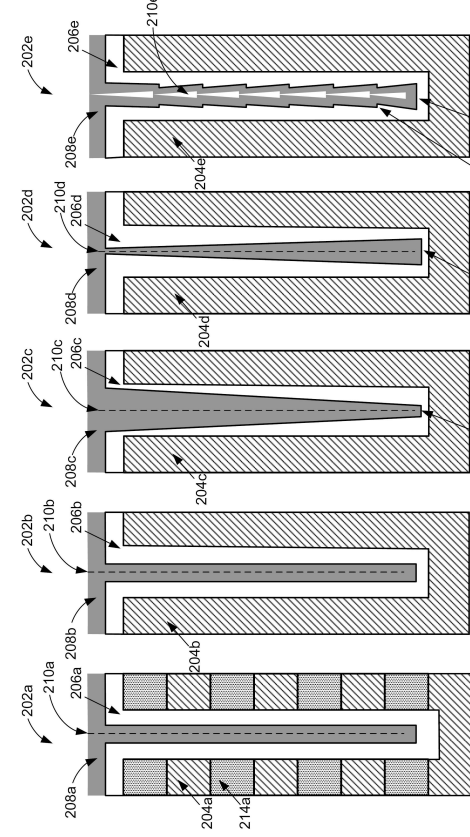


FIG. 2A

FIG. 2B

FIG. 2C

FIG. 2D

FIG. 2E

【 2 B 】

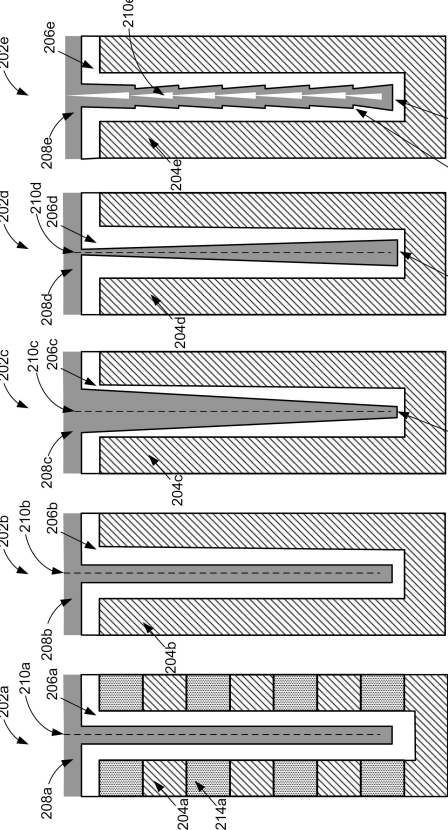


FIG. 2A

FIG. 2B

FIG. 2C

FIG. 2D

FIG. 2E

【 2 C 】

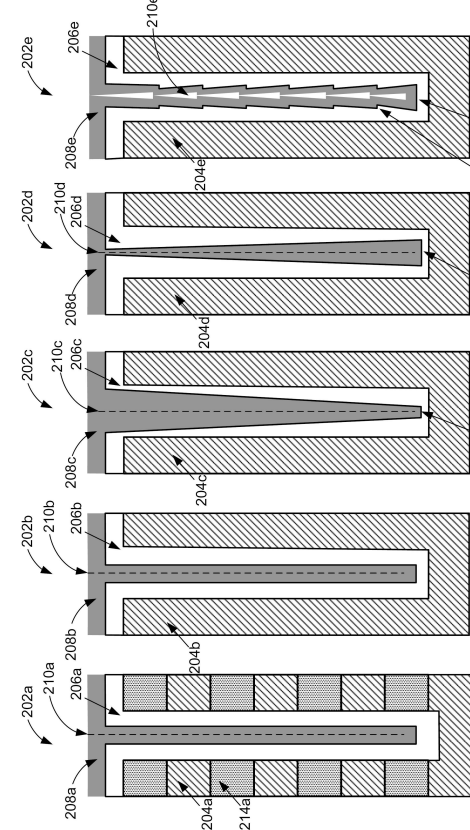


FIG. 2A

FIG. 2B

FIG. 2C

FIG. 2D

FIG. 2E

10

20

30

40

50

【 2 D 】

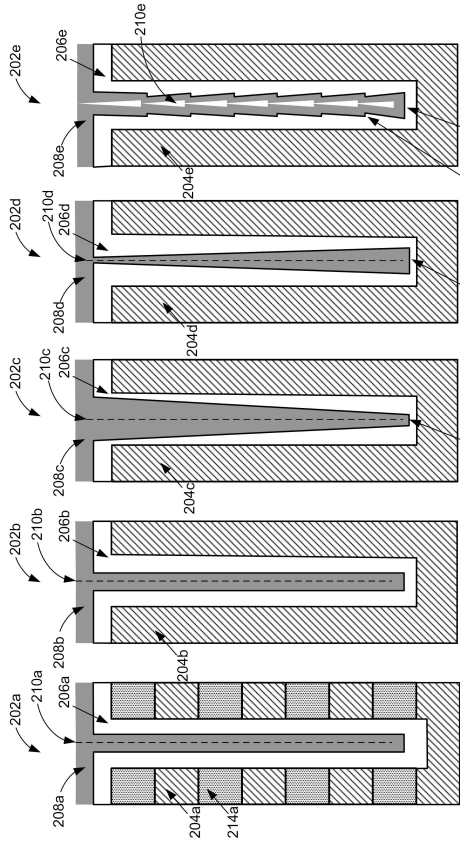


FIG. 2A

FIG. 2B

FIG. 2C

FIG. 2D

FIG. 2E

【 2 E 】

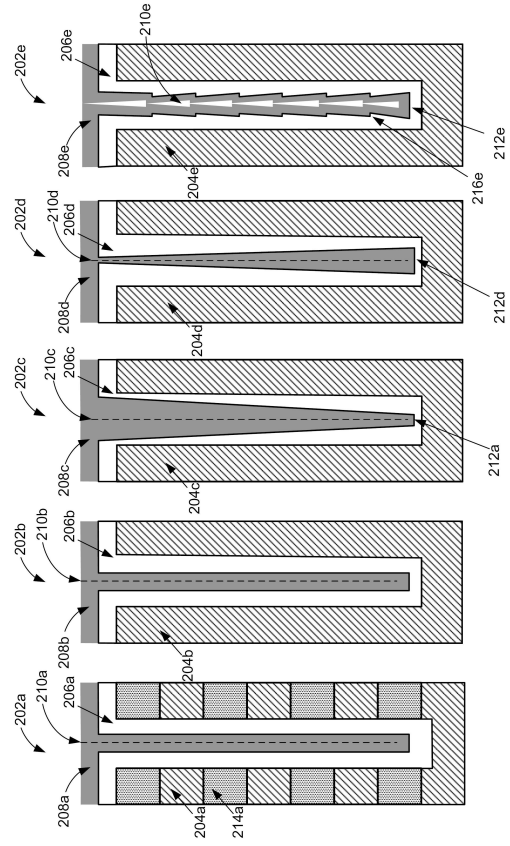


FIG. 2A

FIG. 2B

FIG. 2C

FIG. 2D

FIG. 2E

【 3 A 】

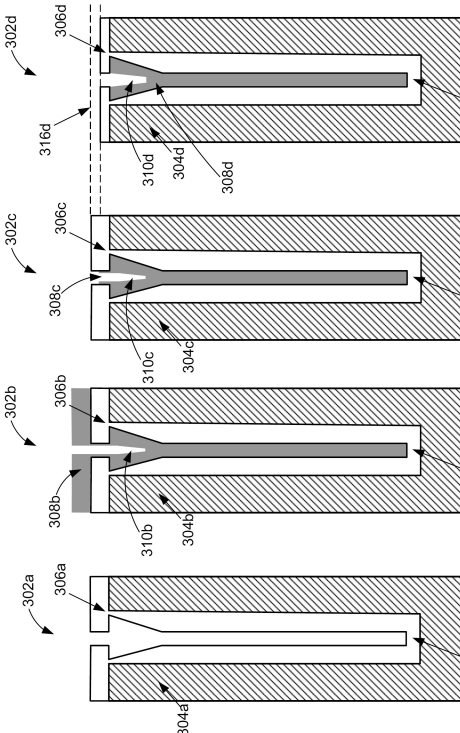


FIG. 3A

FIG. 3B

FIG. 3C

FIG. 3D

【 3 B 】

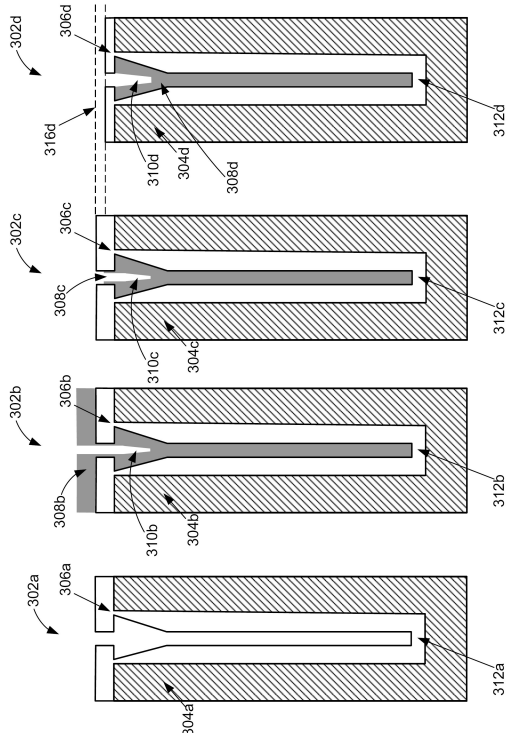


FIG. 3A

FIG. 3B

FIG. 3C

FIG. 3D

10

20

30

40

50

【 3 C 】

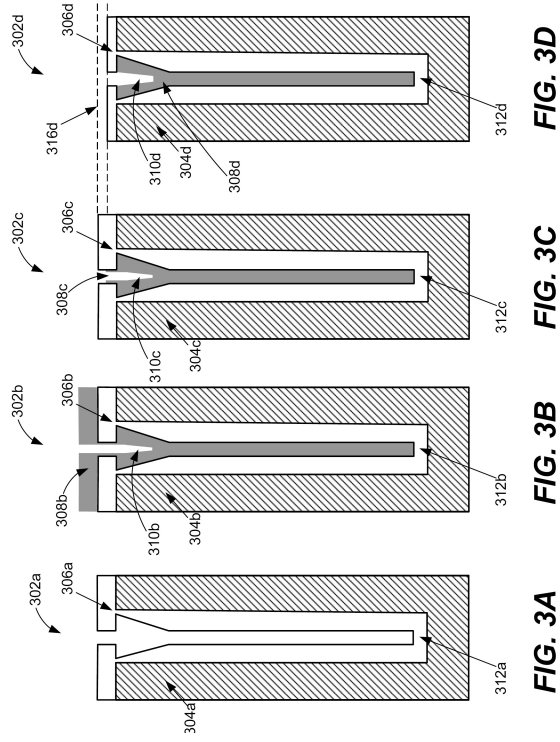


FIG. 3D

FIG. 3C

FIG. 3B

FIG. 3A

【 3 D 】

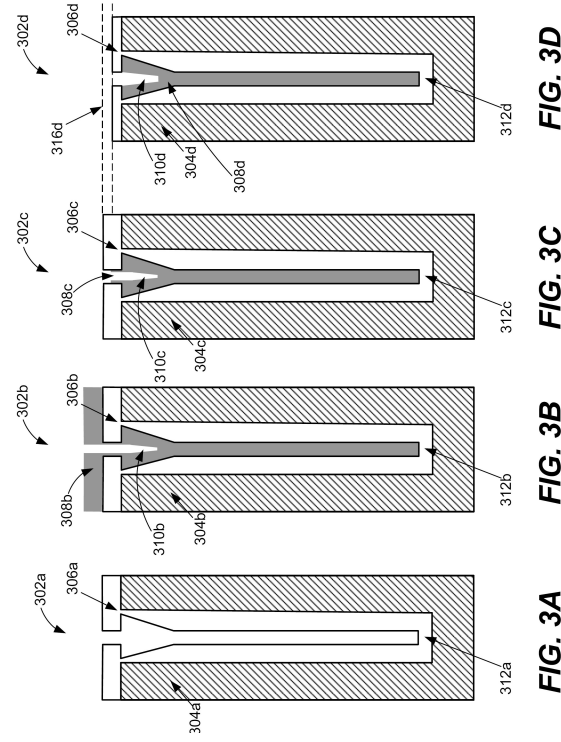


FIG. 3D

FIG. 3C

FIG. 3B

FIG. 3A

10

20

【 4 A 】

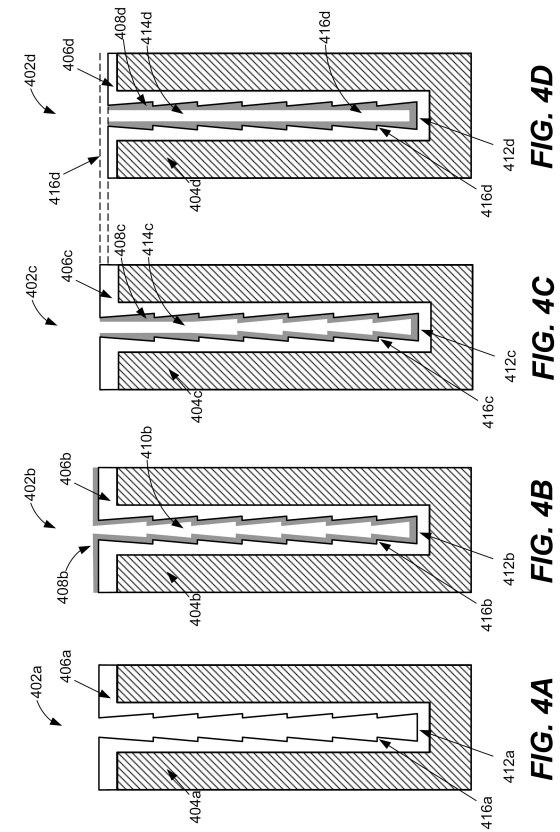


FIG. 4A

FIG. 4B

FIG. 4C

FIG. 4D

【 4 B 】

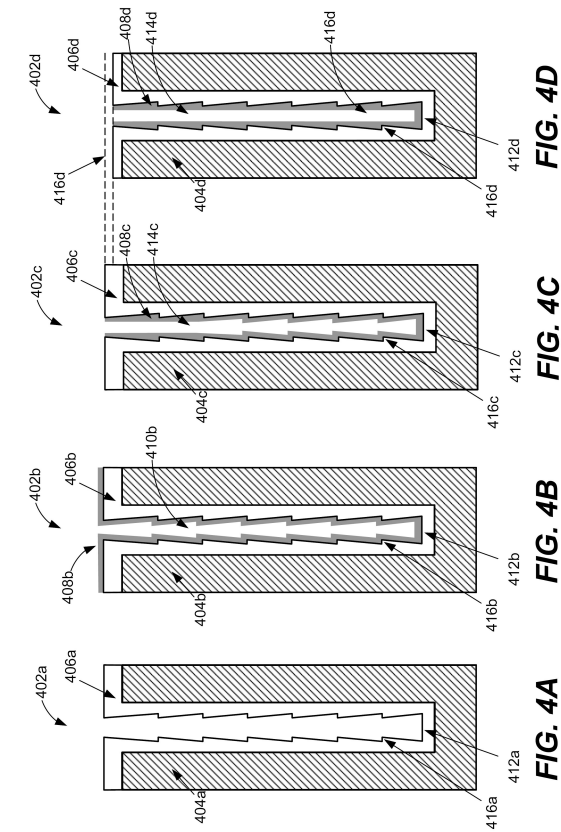


FIG. 4A

FIG. 4B

FIG. 4C

FIG. 4D

30

40

50

【 4 C 】

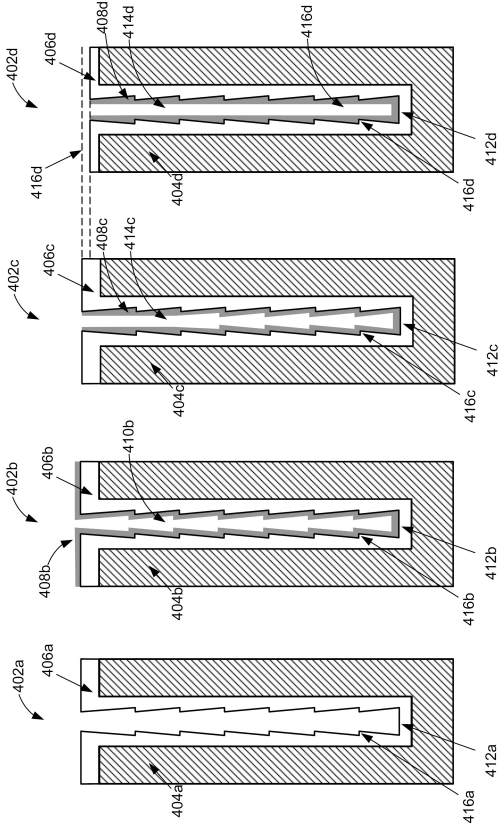


FIG. 4A

FIG. 4B

FIG. 4C

FIG. 4D

【 4 D 】

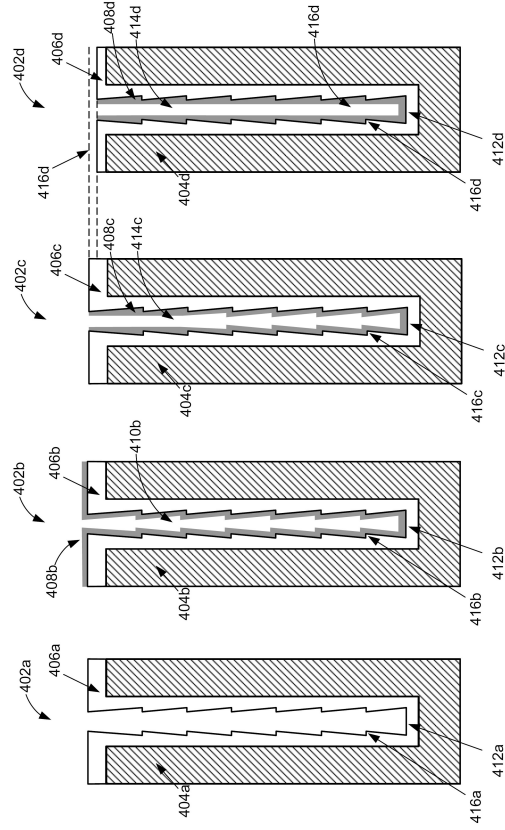


FIG. 4A

FIG. 4B

FIG. 4C

FIG. 4D

【 5 A 】

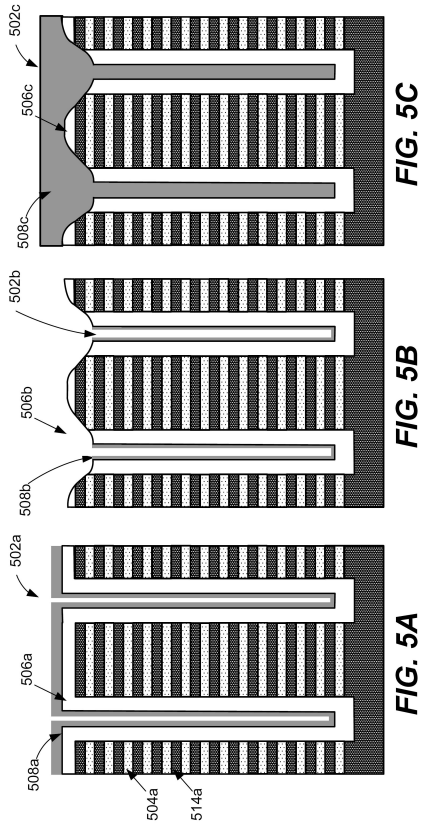


FIG. 5A

FIG. 5B

FIG. 5C

【 5 B 】

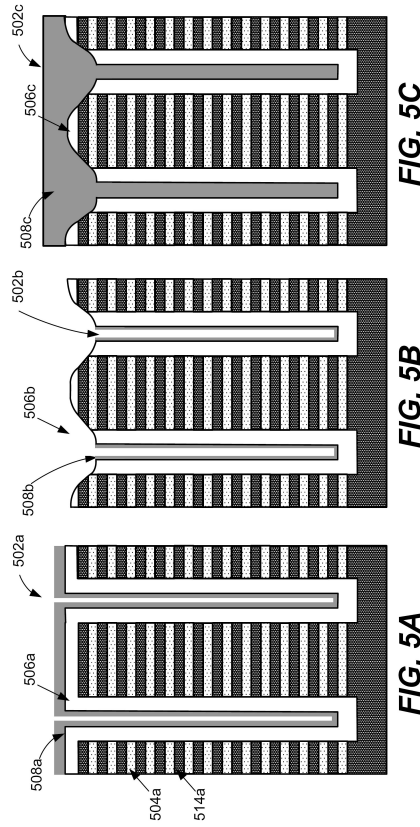


FIG. 5A

FIG. 5B

FIG. 5C

10

20

30

40

50

【 8 B 】

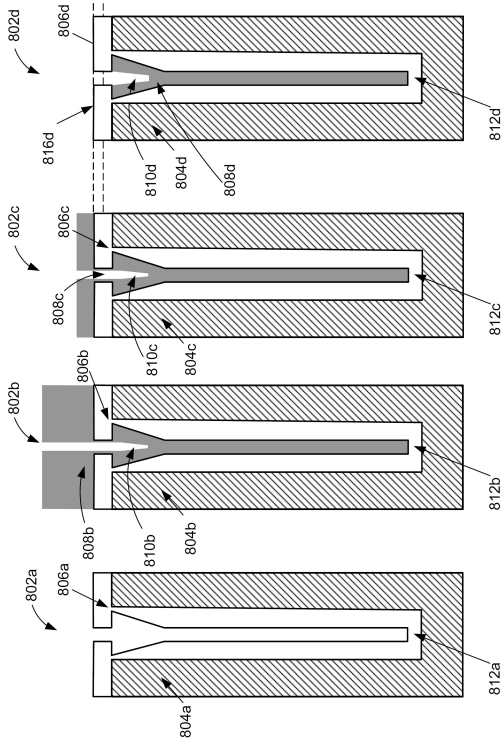


FIG. 8A

FIG. 8B

FIG. 8C

FIG. 8D

【 8 C 】

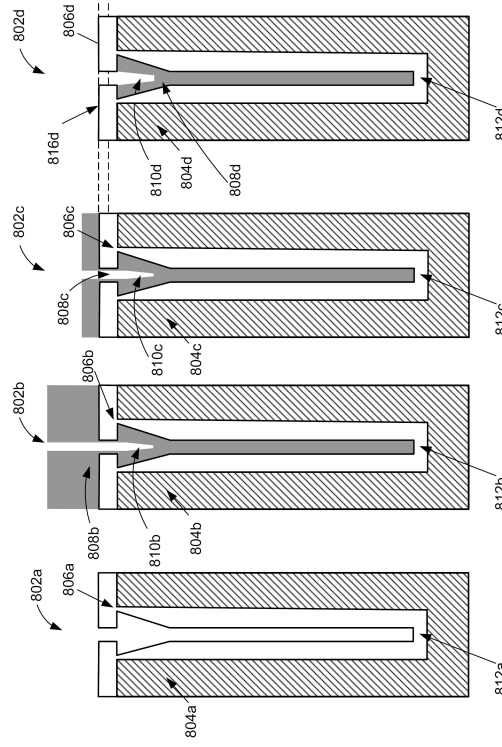


FIG. 8A

FIG. 8B

FIG. 8C

FIG. 8D

【 8 D 】

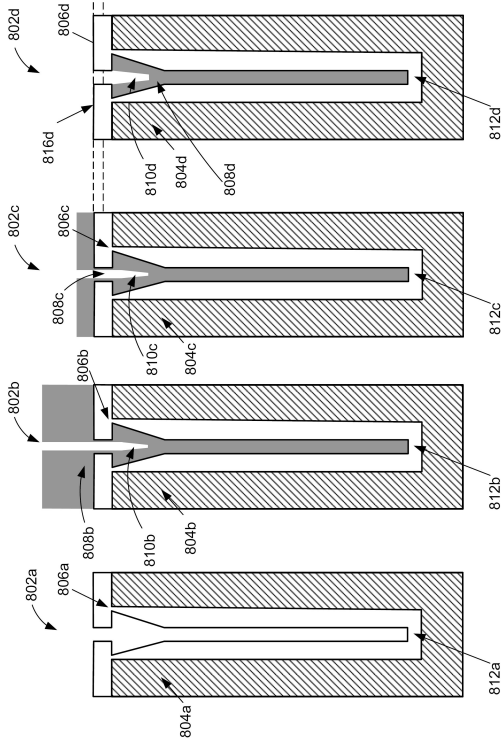


FIG. 8A

FIG. 8B

FIG. 8C

FIG. 8D

【 9 A 】

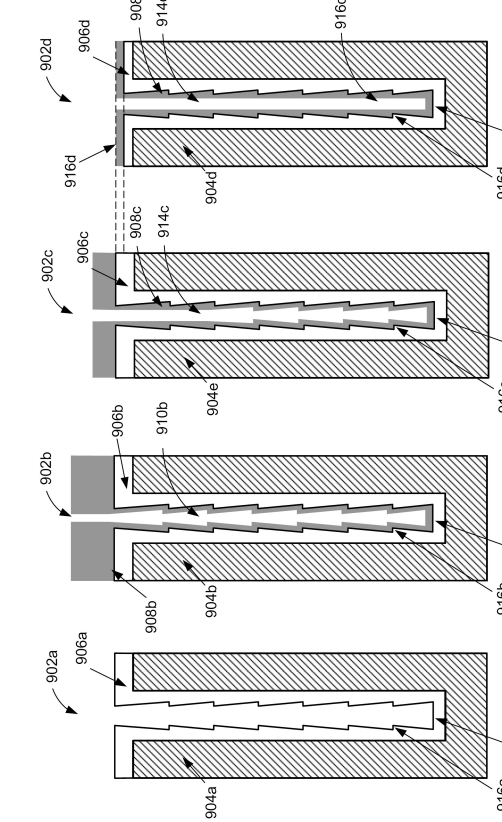


FIG. 9A

FIG. 9B

FIG. 9C

FIG. 9D

10

20

30

40

50

【図 9 B】

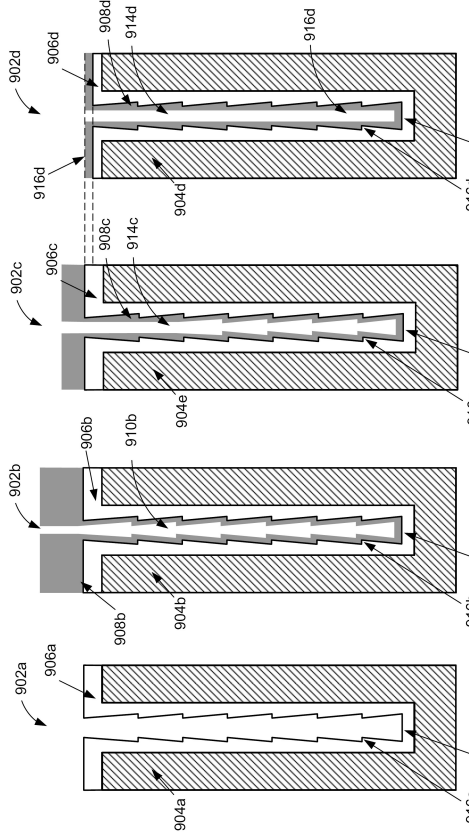


FIG. 9A

FIG. 9B

FIG. 9C

FIG. 9D

【図 9 C】

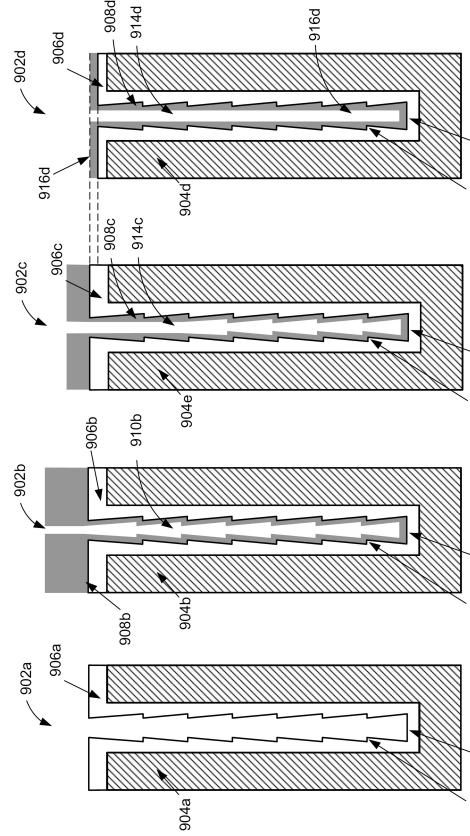


FIG. 9A

FIG. 9B

FIG. 9C

FIG. 9D

【図 9 D】

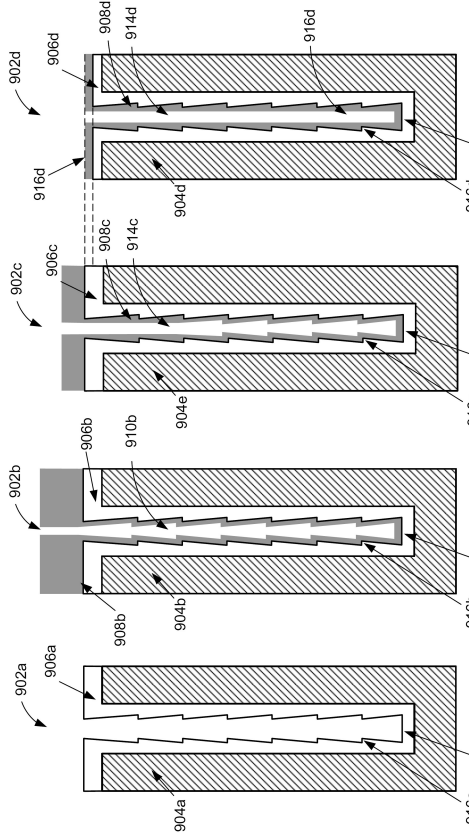


FIG. 9A

FIG. 9B

FIG. 9C

FIG. 9D

【図 9 E】

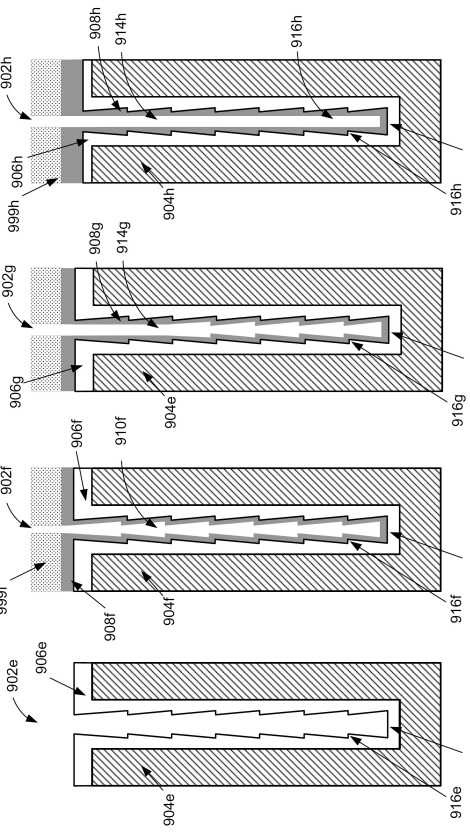


FIG. 9E

FIG. 9F

FIG. 9G

FIG. 9H

10

20

30

40

50

【 9 F 】

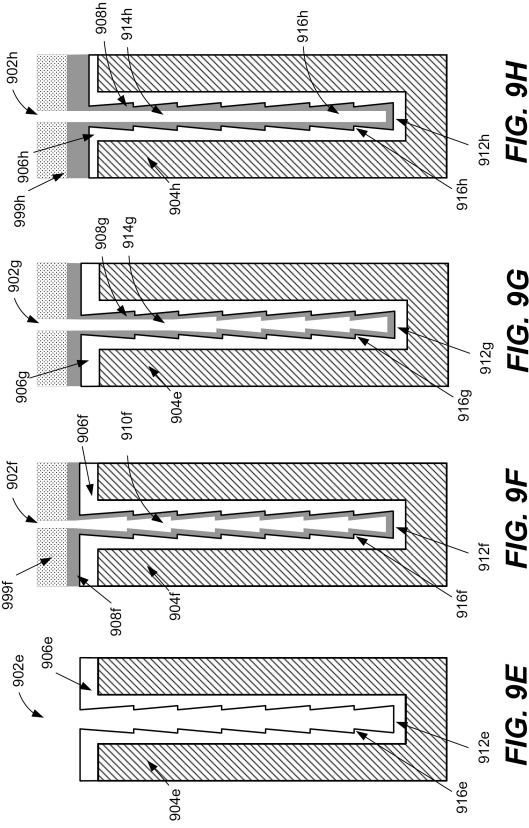


FIG. 9E

FIG. 9F

FIG. 9G

FIG. 9H

【 9 G 】

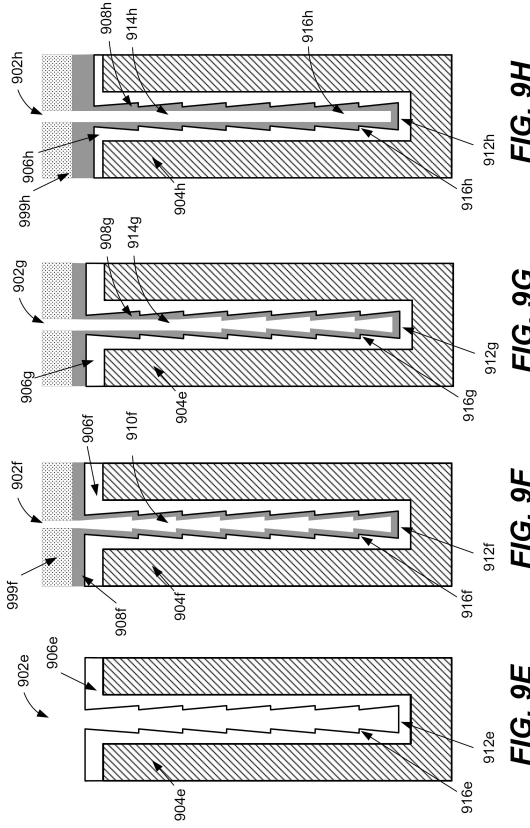


FIG. 9E

FIG. 9F

FIG. 9G

FIG. 9H

【 9 H 】

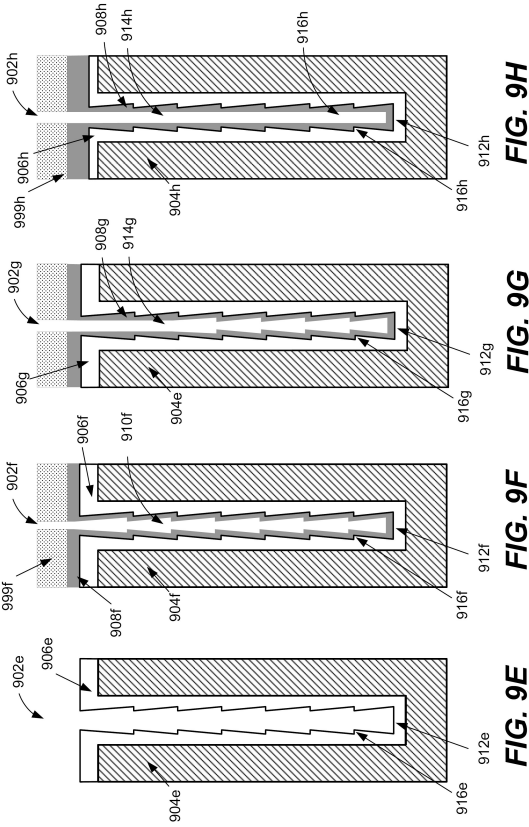


FIG. 9E

FIG. 9F

FIG. 9G

FIG. 9H

【 1 0 A 】

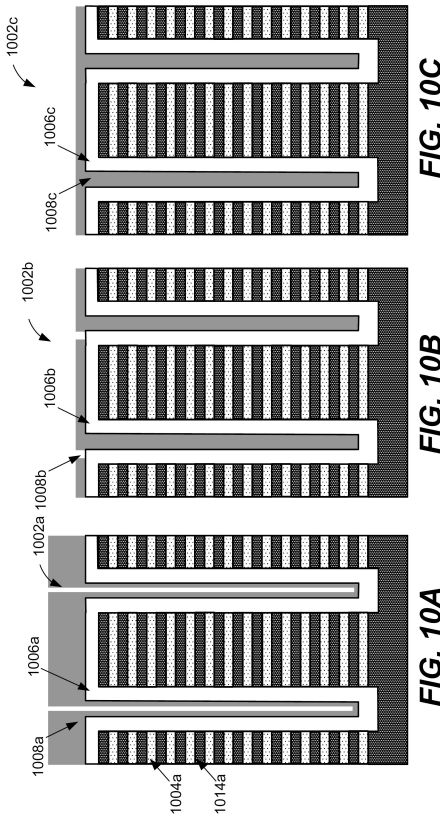


FIG. 10A

FIG. 10B

FIG. 10C

10

20

30

40

50

【図 10 B】

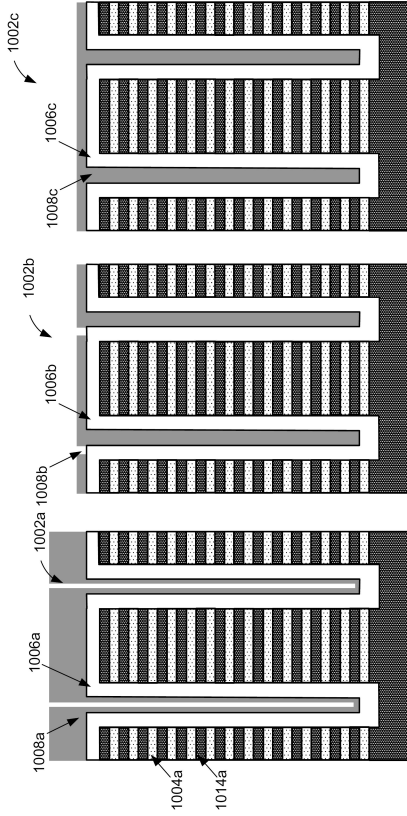


FIG. 10C

FIG. 10B

FIG. 10A

【図 10 C】

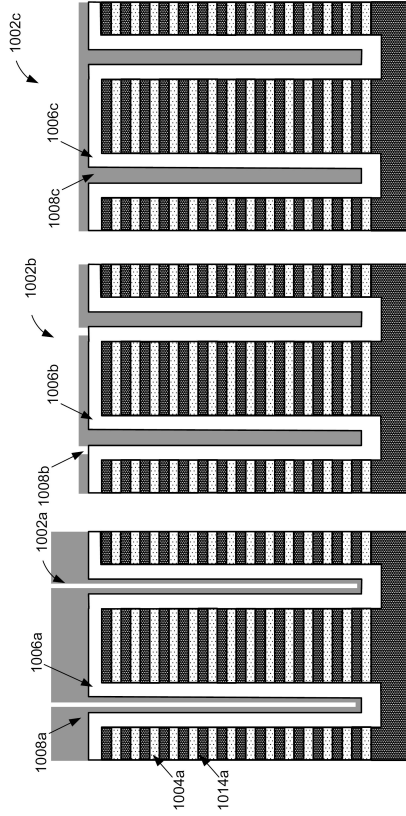


FIG. 10C

FIG. 10B

FIG. 10A

【図 11】

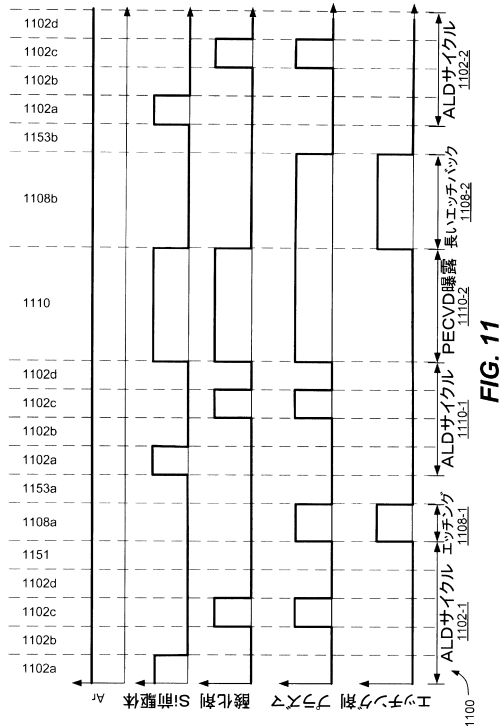


FIG. 11

【図 12】

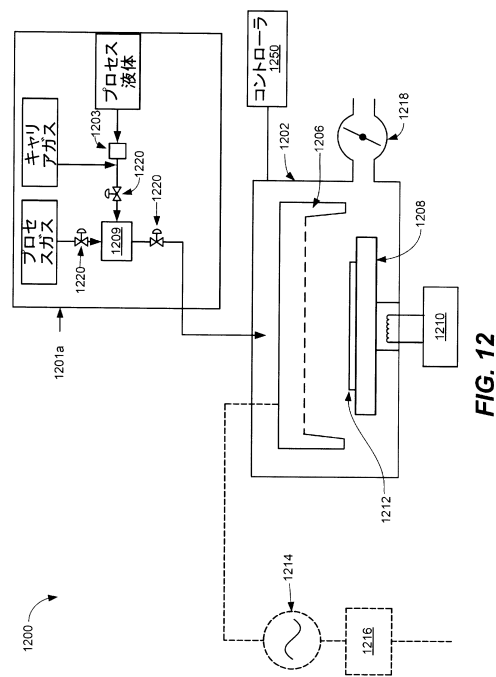


FIG. 12

10

20

30

40

50

【 1 3 】

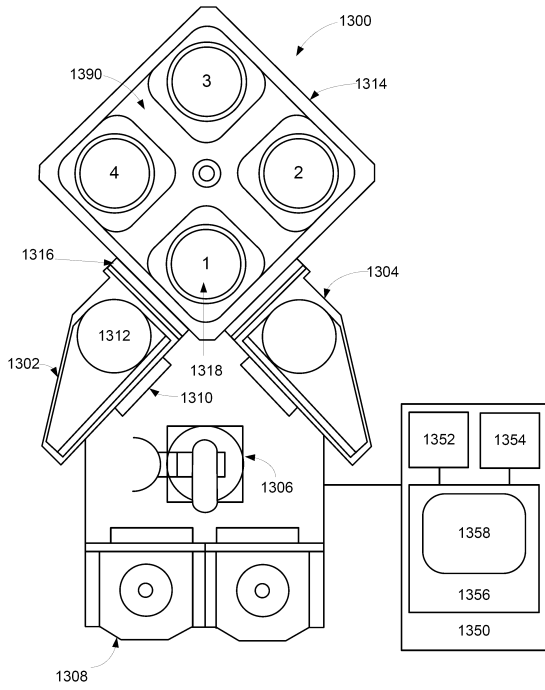


FIG. 13

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I
C 2 3 C 16/455

ビーバートン, サウスウエスト・テフラ・テラス, 9 8 9 0

(72)発明者

フィリップス・リチャード

アメリカ合衆国 オレゴン州 9 7 0 6 2 チュアラチン, サウスウエスト・チュアラチン・ロード,
1 1 8 6 5, ナンバー 8 5

(72)発明者

クマル・プルショッタム

アメリカ合衆国 オレゴン州 9 7 1 2 4 ヒルズボロー, ノースイースト・カールソン・コート, 6
6 1 6

(72)発明者

ラボワ・アドリアン

アメリカ合衆国 オレゴン州 9 7 1 3 2 ニューバーグ, コヨーテ・ループ, 1 2 7 0 5

審査官 長谷川 直也

(56)参考文献

特表 2 0 1 5 - 5 1 2 5 6 8 (J P , A)

特表 2 0 1 4 - 5 3 2 3 0 4 (J P , A)

特開 2 0 1 5 - 0 2 9 0 9 7 (J P , A)

(58)調査した分野

(Int.Cl., D B 名)

H 0 1 L 2 1 / 3 1 6

H 0 1 L 2 1 / 3 1

H 0 1 L 2 1 / 3 1 8

H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5

C 2 3 C 1 6 / 4 5 5