

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7425835号
(P7425835)

(45)発行日 令和6年1月31日(2024.1.31)

(24)登録日 令和6年1月23日(2024.1.23)

(51)国際特許分類	F I
C 2 3 C 16/513 (2006.01)	C 2 3 C 16/513
H 0 1 J 37/305 (2006.01)	H 0 1 J 37/305 A
H 0 1 J 37/08 (2006.01)	H 0 1 J 37/08
H 0 1 J 27/16 (2006.01)	H 0 1 J 27/16
H 0 1 J 37/317 (2006.01)	H 0 1 J 37/317 E
請求項の数 3 外国語出願 (全17頁) 最終頁に続く	

(21)出願番号	特願2022-104305(P2022-104305)	(73)特許権者	500239188
(22)出願日	令和4年6月29日(2022.6.29)		ヴァリアン セミコンダクター イクイップメント アソシエイツ インコーポレイテッド
(62)分割の表示	特願2018-528053(P2018-528053)の分割		アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01930 グローチェスター ドリーロード 35
原出願日	平成28年11月30日(2016.11.30)	(74)代理人	100147485
(65)公開番号	特開2022-141680(P2022-141680A)		弁理士 杉村 憲司
(43)公開日	令和4年9月29日(2022.9.29)	(74)代理人	230118913
審査請求日	令和4年7月20日(2022.7.20)		弁護士 杉村 光嗣
(31)優先権主張番号	14/962,642	(74)代理人	100134577
(32)優先日	平成27年12月8日(2015.12.8)		弁理士 石川 雅章
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(72)発明者	ズン リアン チェン
			アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 傾斜イオンビームを用いて空洞を満たすための装置及び技術

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プラズマをプラズマチャンバの中で生成する、ステップと、
前記プラズマチャンバに隣接するプロセスチャンバの中に基板を供給するステップであって、前記基板は空洞を含む、ステップと、
中性種を前記基板に供給することにより、充填材料を前記空洞内に蒸着する、ステップと、
前記プラズマからの凝縮種及び不活性ガス種の内の少なくとも1つを含むイオンビームとしてのイオンを、前記基板の平面の垂線に対して非ゼロの入射角を形成して、下部面及び側壁を備える前記空洞へ、向ける、ステップであって、前記イオンは、前記蒸着するステップ中、前記空洞の下部面に衝突せず、前記中性種は、前記イオンの軌跡と異なる軌跡を有し、前記蒸着するステップは前記イオンを向けるステップと同時に進行する、ステップと、
エッチャントイオンビームを、前記プラズマチャンバから前記空洞へ、前記基板の前記平面の垂線に対して選択した非ゼロの入射角で、向ける、ステップを有する、選択エッチングを実施する、ステップと、を有し、
前記側壁の上部部分の上で蒸着された充填材料は、前記空洞の他の領域で蒸着された充填材料に対して、選択的に除去される、空洞を満たすための方法。

【請求項 2】

前記基板は第2の材料を備え、

前記選択エッチングを実施するステップは、前記第2の材料に対して、前記充填材料の一部を選択的に除去する、ステップを有する、請求項1に記載の空洞を満たすための方法。

【請求項3】

前記基板はシリコンを含み、前記充填材料はSiO₂を含み、前記エッチャントイオンビームはCH₃Fから得られる、請求項2に記載の空洞を満たすための方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本実施形態は、基板の処理に関し、より詳細には、トレンチ又はビアなどの空洞を満たすための技術に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイス、メモリデバイス及び他のデバイスなどのデバイスは、より小さい大きさに縮小するので、ますます、より小さい構造を処理する機能は、困難であるがやりがいのあることになる。メモリデバイス又は論理デバイスなどのデバイスの製作において、トレンチ又はビアなどの空洞は、所与の層又は材料内で形成することができ、続いて、別の材料で満たすことができる。

【0003】

トレンチを満たすための既知の方法は、高密度プラズマ(HDP)化学蒸着(CVD)などの

化学蒸着を含む。HDPCVDプロセスは、例えば、シラン、アルゴン、酸素(酸化物に対して

)又はNH₃(窒化物に対して)を含む多数の種を用いて化学蒸着を実施することが必要となり得る。HDPCVDプロセスは、少なくとも部分的に材料をエッチングするための種だけで

なく、その役割が材料を蒸着するための種も含むことができる。トレンチを満たすために用いられるとき、HDPCVDプロセスは、トレンチの領域に衝突するイオン化種のように、ア

ルゴンなどのガス分子を供給することができる。シラン及び酸素などの種は、トレンチ内の誘電材料を蒸着するために、追加的に供給することができる。トレンチの表面に蒸着された誘電材料は、アルゴン種からスパッタ-エッチングを同時に受けることになり、トレンチの充填は蒸着及びエッチングを含む。トレンチはより小さい大きさに縮小し、より高いアスペクト比(トレンチの深さ(高さ)/トレンチの幅)を有して形成されるので、HDPCVDプロセスは、満たすべきトレンチの理想的構造を提供するのに、非効果的であり得る。例えば、トレンチが満たされるときに、ファセットを形成することができる。さらに、材料のスパッタリングからの再蒸着だけでなく、蒸着材料の側壁の成長も、側壁に沿う材料のオーバーハングをもたらす得る。このプロセスは、いわゆる、ピンチオフをもたらす得て、トレンチ内に埋められた空間の結果として得られた構成をもたらす得る。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

これらの及び他の考慮に対して、本発明が提供される。

【課題を解決するための手段】

【0005】

一実施態様において、方法は、プラズマをプラズマチャンバの中で生成する、ステップと、前記プラズマからの凝縮種及び不活性ガス種の中の少なくとも1つを含むイオンを、基板内の空洞へ、前記基板の平面の垂線に対して非ゼロの入射角で、向ける、ステップと、を含んでもよい。前記方法は、さらに、前記凝縮種を用いて、充填材料を前記空洞内に蒸着するステップを含んでもよい。該蒸着するステップは前記イオンを向けるステップと同時に進行してもよく、前記充填材料は、前記空洞の下部面上に第1の速度で堆積し、前

10

20

30

40

50

記空洞の側壁の上部部分上に前記第 1 の速度より遅い第 2 の速度で堆積する。

【 0 0 0 6 】

別の実施態様において、装置は、プラズマチャンバと、該プラズマチャンバへ、不活性ガス及び凝縮種を、それぞれ供給する、第 1 のガス源及び第 2 のガス源と、前記不活性ガスから得られる第 1 のイオン及び前記凝縮種から得られる第 2 のイオンを含むプラズマを、前記プラズマチャンバの中で生成する、プラズマジェネレータと、を含んでもよい。前記装置は、さらに、前記プラズマから前記第 1 のイオン及び前記第 2 のイオンのイオンビームを引出し、蒸着露出の前記イオンビームを、基板の平面の垂線に対して非ゼロの入射角で、前記基板内の空洞へ向ける、引出しアセンブリを含んでもよい。前記装置は、さらに、蒸着パラメータの 1 組を制御する、コントローラを含んでもよい。前記装置は、また、命令を含む少なくとも 1 つのコンピュータ可読記憶媒体を含んでもよく、前記命令は、実行されるとき、前記コントローラに、前記蒸着露出中、前記非ゼロの入射角を調整するために、第 1 の制御信号を送信するステップ、及び、前記プラズマチャンバの中への前記凝縮種のガスの流れを調整するために、第 2 の制御信号を送信するステップ、の内の少なくとも 1 つを実行させる。

10

【 0 0 0 7 】

別の実施態様において、方法は、プラズマをプラズマチャンバの中で生成する、ステップと、前記プラズマからの凝縮種及び不活性ガス種の内の少なくとも 1 つを含むイオンを、基板内の下部面及び側壁を備える空洞へ、向ける、ステップと、を含んでもよい。前記方法は、また、前記凝縮種を用いて、充填材料を前記空洞内に蒸着する、ステップを含んでもよい。さらに、前記方法は、エッチャントイオンビームを、前記プラズマチャンバから前記空洞へ、前記基板の平面の垂線に対して選択した非ゼロの入射角で、向ける、ステップを有する、選択エッチングを実施する、ステップを含んでもよい。このように、前記側壁の上部分の上で蒸着された充填材料は、前記空洞の他の領域で蒸着された充填材料に対して、選択的に除去される。

20

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 8 】

【 図 1 】 図 1 A、図 1 B、図 1 C、図 1 D 及び図 1 E は、本発明の実施形態による、空洞を満たす例をまとめて示す。

【 図 2 】 図 2 A、図 2 B、図 2 C、図 2 D 及び図 2 E は、本発明の追加の実施形態による、空洞を満たす例をまとめて示す。

30

【 図 3 】 図 3 A は、本発明の実施形態による、例示的処理システムを示し、図 3 B は、図 3 A に示す引出しアセンブリの実施形態の平面図を示す。

【 図 4 】 本発明の実施形態による、例示的プロセスフローを示す。

【 図 5 】 本発明の他の実施形態による、別の例示的プロセスフローを示す。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 0 9 】

図面は必ずしも縮尺されているとは限らない。図面は単に表示であり、本発明の特定のパラメータを描くことを意図していない。図面は本発明の例示的実施形態を図示することを意図しており、したがって、本発明の範囲を限定するように考慮されない。図面において、同様の数字は同様の要素を表わす。

40

【 0 0 1 0 】

さらに、いくつかの図面において特定の要素は省略することができ、又は、例示の明確性のために、正確な縮尺ではなく例示される。さらに、明確性のために、いくつかの参照数字は特定の図面において省略することができる。

【 0 0 1 1 】

本発明の方法及び装置の実施形態を示す添付図面を参照して本発明による方法及び装置を以下に詳細に説明する。これらの本発明の方法及び装置は多くの異なる形態で実施できるものであり、ここに開示した実施形態に限定されるものとして解釈されるものではない。むしろ、これらの実施形態は、本発明の開示が完全無欠となるように提供するものであ

50

るとともに、本発明のシステム及び方法の範囲を当業者に完全に伝達するものである。

【0012】

便宜上及び明瞭化のために、“上部”、“底部”、“上側”、“下側”、“垂直方向”、“水平方向”、“横方向”及び“長手方向”のような用語は、図面中に表した半導体製造デバイスの構成要素の配置及び向きに対する上述した構成要素及びこれらの構成部品の相対的な配置及び向きを記述するためにここで用いることができる。専門用語には、具体的に述べた用語、その派生語及び同様な意味の用語が含まれるものである。

【0013】

本明細書で用いられるように、単数で記載され、及び、単語「1つの」で始められる、1つの要素又は動作は、そのような除外が明記されるまでは、複数の要素又は動作を含むものとして解釈すべきである。本発明の“一実施形態”に関する言及はこの実施形態に限定されるものではない。ここに列挙した特徴事項は追加の実施形態にも導入しうるものである。

10

【0014】

様々な実施形態において、トレンチ又はビアの向上した充填などの基板における空洞の向上した処理を提供する技術及び装置が開示される。特に、本発明は、空洞の充填中、傾斜イオンビームの使用を含み、イオンは、基板の平面の垂線に対して非ゼロの入射角で基板へ向けられる。

【0015】

図1A、図1B、図1C、図1D及び図1Eは、本発明の実施形態による、空洞を満たす例をまとめて示す。図1A、図1B及び図1Cに示すシナリオは、デバイス構造102の処理の異なる例を例示する。図1Aにおいて、デバイス構造102は空洞106を含む基板104として示される。様々な実施形態において、空洞は、側壁108、下部面110及び上部面112を有するトレンチ、ビア又は類似の構造とすることができる。基板104は、図示しない他の特徴を含むことができ、例えば、少なくともいくつかの層は異なる材料から作られる、任意の数の層を含むことができる。基板104は、例えば、空洞106に類似の多数の空洞を含むことができる。基板104は、所定の材料から構成することができる、側壁108、下部面110及び上部面112は、同一の材料から構成される。本実施形態は、本文脈に限定されない。基板の材料は、いくつかの例において、単結晶シリコンもしくは他の構造のシリコン、酸化物又は窒化物から構成することができる。本実施形態は、本文脈に限定されない。

20

30

【0016】

特定の実施形態において、空洞106の大きさは、少なくとも1つの方向に沿って、100nmより小さくすることができる。例えば、空洞106は、トレンチの幅Wが100nmより小さいトレンチ構造を有することができる。いくつかの例において、そのようなトレンチの高さHは、100nmより大きくすることができる。そのような例において、アスペクト比H/Wは1より大きいと判断される。図1A~図1Cの実施形態は、1より大きいアスペクト比を有することを含む前述の小さい大きさを有する空洞などの空洞を満たすための、困難であるがやりがいのあることに対処する。本実施形態は、本文脈に限定されない。

40

【0017】

さて、図1B及び図1Cに戻るに、本発明の実施形態による、空洞106を満たすために、イオンを用いる例が示される。いくつかの実施形態において、イオン120は、1つのイオンビーム又は複数のイオンビームとして供給することができる、1つのイオンビーム内の異なるイオンの軌跡は、互いに平行であり、又は、10度以下に広がる角度の範囲内に、通常はある。本実施形態は、本文脈に限定されない。図1B及び図1Cにおいて実施される動作は、異なる実施形態において、同時に又は連続して実施することができる。図1Bに示すように、基板104の平面Pに対する垂線122に対して、角度として示す非ゼロの入射角を形成するために、イオンの軌跡が配置される、一方向のイオンビームとして、イオン120を供給することができる。図1Bにさらに例示するように、イオン1

50

20はプラズマ源130から供給することができ、プラズマ源130は、様々な実施形態において、プラズマチャンバを含むことができる。本明細書で用いられるように、総称「プラズマ源」は、パワージェネレータ、プラズマ励起装置、プラズマチャンバ、及び、プラズマ自体を含むことができる。プラズマ源130は、誘導結合プラズマ(ICP)源、トロイダル結合プラズマ(TCP)源、容量結合プラズマ(CCP)源、ヘリコン源、電子サイクロトロン共鳴(ECR)源、傍熱型陰極(IHC)源、グロー放電源、又は、当業者に既知の他のプラズマ源とすることができる。特定の実施形態において、プラズマ源130は、引出しプレート134及びビームブロッカー136を含む引出しアセンブリ132を含むことができる。これらのコンポーネントの動作は、図3A及び図3Bに対して、もっと詳細に論じられる。

10

【0018】

プラズマ源130は、不活性ガス種だけでなく、凝縮種も含むイオン種を供給するために、用いることができる。以下に詳細に述べるように、これらの種は、充填材料のボトムアップの成長を高める方法で、充填材料の空洞106内の蒸着を制御するために、相互打用することができる。このように、ピンチオフを避けることができ、不必要な空間の空洞106内の形成を防止する。

【0019】

特定の実施形態において、イオン120は、不活性ガス及び凝縮ガスの混合を含むことができ、一方、他の実施形態において、イオン120は、凝縮ガスを含むことができる。プラズマ源130の種の組成は、既知の材料を蒸着するために用いる、既知のHDPCVDプロ

20

セスに対する組成に類似にすることができる。例えば、 SiO_2 などの充填材料を蒸着する例において、シラン(SiH_4)、 N_2O 及びアルゴンを含む種をプラズマ源130へ供給することができる。少なくともこれらの種のいくつかは、イオン化することができ、図示のようにイオン120を形成することができる。他の実施形態において、 SiO_2 を形成するためにシラン(SiH_4)及び酸素(O_2)を用いるなどで、以下に論じるように、酸素は、基板104へ個別に供給することができる。様々な実施形態において、イオン120に加えて、空洞106の中の充填材料を形成するのに役立つ蒸着種を含む中性種(図示せず)を、イオン120に呼応して供給することができる。中性種は、いくつかの場合において、イオン120の軌跡と異なる軌跡を有することができる。

30

【0020】

特定の実施形態において、イオン120と共に、基板104に供給される中性種は、反応種(図示せず)を含むことができ、反応種は、プラズマチャンバを横切ることなく、基板104に供給される。反応種は、イオン120の部分形成する他の中性種又は凝縮種を含む他の種と反応するために、選択することができる。反応種は、したがって、空洞106内に堆積する充填材料の部分形成することができる。本発明の実施形態による充填材料124の例は、 SiO_2 、 Si_3N_4 、 Al_2O_3 、アモルファスシリコン、CO、Ta、W、Alを含む

。本実施形態は、本文脈に限定されない。

【0021】

図1B及び図1Cの実施形態において、空洞106内の充填材料124の堆積は、イオン120の方向性を制御することにより、制御することができる。例えば、充填材料124は、下部面110、側壁108及び上部面112を含む空洞106の様々な表面の上に瞬間的に蒸着することができる。同時に、イオン120にさらされる表面からの材料の再スパッタリングなどのエッチングを始めるのに十分なエネルギーを有するイオン120を供給することができる。イオン120の軌跡を制御することにより、充填材料124が空洞106内に蒸着される間に、空洞106の特定の部分は、イオン120によるエッチングのターゲットとすることができる。充填材料124の正味の堆積プロファイルは、したがって、蒸着、及び、空洞106の部分の空間的にターゲットとされたエッチングの組合せを表わすことができる。

40

50

【 0 0 2 2 】

図 1 B 及び図 1 C に示されるように、充填材料 1 2 4 は、空洞 1 0 6 の下部面 1 1 0 に、第 1 の速度で堆積することができ、側壁 1 0 8 の下部分 1 0 8 B に、異なる速度で、又は、第 1 の速度に類似の速度で堆積することができる。さらに、充填材料 1 2 4 は、側壁 1 0 8 の上部分 1 0 8 A に、第 1 の速度より小さい第 2 の速度で堆積することができる。特定の実施形態において、 θ として示される非ゼロの入射角は、垂線 1 2 2 に対して、30 度以下にすることができる。イオン 1 2 0 は、したがって、側壁 1 0 8 のさらされる領域に突き当たることができ、上部分 1 0 8 A などのさらされる領域の中への充填材料 1 2 4 の堆積速度を低減する。様々な実施形態において、イオン 1 2 0 のイオンエネルギーは、デバイス 1 0 2 への不必要な損傷を引き起こさず、充填材料 1 2 4 のエッチングを生成するために、調整することができる。イオン 1 2 0 に対する例示的イオンエネルギーの範囲は、500 eV から 1500 eV を含む。上部面 1 1 2 によるイオン 1 2 0 の陰影のため、空洞 1 0 6 の下部領域は、イオン 1 2 0 によるエッチングに、より少なくさらされ得る。このように、下部面 1 1 0 及び側壁 1 0 8 の下部分 1 0 8 B への材料の堆積速度は、充填材料 1 2 4 を形成する蒸着種の蒸着速度により、主として決定することができる。

10

【 0 0 2 3 】

図 1 D 及び図 1 E は、図 1 D 及び図 1 E のシナリオの後の過程での充填材料 1 2 4 のプロファイルの発達を例示する。図 1 D 又は図 1 E に示す充填材料 1 2 4 の構造を生成するために、通常、図 1 B 及び図 1 C に示す動作は、繰り返し、又は、継続することができる。なお、イオン化されない材料は、一部分において、空洞 1 0 6 内で凝縮することができ、一方、イオン 1 2 0 は、非ゼロの入射角で、空洞 1 0 6 の中に向けられる。このプロセスにより、上部分 1 0 8 A の近くの領域におけるのに対して、下部面 1 1 0 の近く及び下部分 1 0 8 B の近くではより早く、充填材料 1 2 4 の継続する堆積をもたらす。図 1 E は、図 1 D のシナリオの後の追加の過程を示し、最も低い表面を表わす充填材料 1 2 4 の下部面は、空洞 1 0 6 の上部面 1 1 2 とほとんど同一平面である。図 1 A から図 1 E に例示する充填プロセスは、したがって、充填材料 1 2 4 の蒸着の異なる段階中、充填材料 1 2 4 の再入不可プロファイルを生成し、ピンチオフ又は空間形成のない空洞 1 0 6 を満たす機能をもたらす。

20

【 0 0 2 4 】

本発明の追加の実施形態により、空洞を満たすために用いられる充填材料のプロファイルを制御するために、蒸着動作に加えて、別個のエッチング動作を用いることができる。図 2 A、図 2 B、図 2 C 及び図 2 D は、本発明の追加の実施形態による、空洞を満たす例をまとめて示す。図 2 A において、例示的充填動作が示され、垂線 1 2 2 に対して非ゼロの入射角で、イオンが空洞 1 0 6 へ向けられる。この特定の実施形態において、イオン 2 0 2 は 1 つの側壁へ向けることができ、一方、イオン 2 0 4 は反対側の側壁へ向けられ、2 つの側壁は側壁 1 0 8 として示される。イオン 2 0 2 及びイオン 2 0 4 は、イオン化されない種（図示せず）と共に、空洞 1 0 6 へ供給することができ、イオン化されない種の少なくとも一部が、充填材料の蒸着をもたらす。イオン 2 0 2 及びイオン 2 0 4 は、いくつかの実施形態において、互いに、同時に供給することができる。

30

【 0 0 2 5 】

図 1 B を再び参照するに、一例において、プラズマ源 1 3 0 から引出しアパーチャ 1 4 4 を通るイオンビームとして、イオンを引出すことにより、イオン 2 0 2 及びイオン 2 0 4 は、供給することができ、引出しアパーチャ 1 4 4 は引出しアセンブリ 1 3 2 内に形成される。特に、イオン 2 0 2 として示すイオンの第 1 の部分は、引出しアパーチャ 1 4 4 の第 1 の部分を通る第 1 のイオンビームとして、引出すことができ、一方、イオン 2 0 4 として示すイオンの第 2 の部分は、引出しアパーチャ 1 4 4 の第 2 の部分を通して引出すことができる。一実施形態において、イオン 2 0 2 は、角度 θ_1 として示す垂線 1 2 2 に対して第 1 の非ゼロの入射角を形成することができ、一方、イオン 2 0 4 は、角度 θ_2 として示す垂線 1 2 2 に対して第 2 の非ゼロの入射角を形成することができる。特に、垂線 1 2 2 は、第 1 の非ゼロの入射角 θ_1 及び第 2 の非ゼロの入射角 θ_2 を 2 等分することがで

40

50

きる。空洞 106 の対称空洞構造のために、この形状により、イオン 202 及びイオン 204 が、同じ（絶対値の）入射角で、向かい合った側壁の同じそれぞれの部分を捕まえることを引き起こすことができる。そのような状況下で、充填材料 210 の対称プロファイルが発達することができる。他の実施形態において、イオン 202 及びイオン 204 は、垂線 122 に対して異なる角度で供給することができる。

【0026】

図 2A に一般的に示すプロセスが、図 1B から図 1E に一般的に例示されるように、成長中の充填材料 210 の受け入れ可能なプロファイルをもたらすことができる間に、いくつかの条件下で、図 2A のシナリオの後に実施するために、少なくとも 1 つのエッチング動作を有用にすることができる。このエッチングは、ボトムアッププロセスにより、空洞 104 の充填の強化をさらに低減することができ、ピンチオフ及び覆われた空間を避ける。

10

【0027】

さて、図 2B に戻るに、充填材料 210 の一部を除去するために、エッチングプロセスが実施される、図 2A の後のシナリオが示される。図 2B において、エッチャント 212 が空洞 106 へ向けられる。様々な実施形態において、エッチャント 212 は選択的エッチャントとすることができ、エッチャント 212 は充填材料 210 の選択的エッチングを実施することをもたらす。特に、充填材料 210 の一部は、基板 104 の材料に対して、選択的に除去されることができる。エッチャント 212 は選択的エッチングのための既知の種を含むことができる。例えば、充填材料が SiO_2 の中で蒸着され、空洞 106 がシリコンの中で形成される実施形態において、エッチャント 212 は CH_3F から得ることができる。特定の例において、 CH_3F は、プラズマ源 130 などのプラズマ源の中へ流れることができ、少なくとも部分的にイオン化することができ、空洞 106 へ供給することができる。図 2B において、エッチャント 212 により選択的エッチングプロセスが実施された後の、充填材料 210 の結果として得られるプロファイルを示す。充填材料 210 は、側壁 108 の上部分 108A から除去され、一方、基板 104 の材料は除去しない。

20

【0028】

様々な実施形態において、充填材料 210 を蒸着するステップと充填材料の選択的エッチングをするステップは、充填サイクルを構成することができ、少なくとも 1 つの追加の充填サイクルが、最初の充填サイクルの後に、実施される。図 2C に例示されるように、例えば、図 2A の動作に類似の続く蒸着プロセスを、追加の充填材料 210 を蒸着するために、実施することができる。例示されるように、イオン 224 として示されるイオンビーム、及び、イオン 226 として示される別のイオンビームは、一対の向かい合わせの側壁の方へ向けることができ、一方、イオン化されない種（図示せず）は空洞 106 へ供給することができる。これにより、図示の充填材料 210 のプロファイルを生成することができる。図 2D において、図 2C に示す蒸着の後に、エッチャント 232 を空洞 106 の中へ向けることにより、追加の選択的エッチングを実施することができる。いくつかの実施形態において、エッチャント 232 はエッチャント 212 と同じにすることができる。再び、充填材料 210 は、側壁 108 の上部分 108A から選択的に除去することができる。いくつかの実施形態において、図 2A ~ 2B の動作が多数回、繰り返されるときに、エッチャント 212 だけでなくエッチャント 232 も、下部面 110 の近くの充填材料 210 を部分的にエッチングすることができる間に、充填材料 210 の全体のプロファイルは再入不可を続けることができ、ピンチオフ構造を避けながら、空洞 106 を満たすことを可能にする。図 2E は、図 2A ~ 2B の動作が多数回、繰り返されるときに、生成される、充填材料のプロファイル発達例を示す。プロファイル 240 は、図 2D のシナリオの後の第 1 の過程での充填材料 210 の充填材料プロファイルを示し、一方、プロファイル 242 は、プロファイル 240 により表わされる過程の後の第 2 の過程を示す。

30

40

【0029】

いくつかの実施形態において、図 2B 及び図 2D のシナリオにおいて、例えば、イオン 202 及びイオン 204 の配置に類似して、垂線 122 に対して、非ゼロの入射角で、イ

50

オンが向けられるときに、選択的エッチャントを空洞106へ供給することができる。このように、選択的エッチャントは、イオンにさらされる充填材料の部分のみをエッチングすることができ、一方、下部面110に隣接する部分などの充填材料の他の部分はエッチングにさらすことができない。そのような選択的エッチャントの例は、 CH_3F を含むことができる。選択的エッチャントの別の例は、 CH_3F 及びアルゴンの混合物とすることができる。空洞の側壁の一部が、蒸着プロセスの後に、さらされるままであるいくつかの例において、イオンのビームのイオンエネルギーは、空洞の壁を形成するさらされる基板の材料のかなりのスパッタリングが起こるレベルより下に維持することができる。

【0030】

このタイプの選択的エッチングは、したがって、空洞の特定の領域がイオンにさらされないままであるため、空間的に選択するエッチングを提供し、一方、充填材料のエッチングに対して、基板04が、エッチングされないままか、又は、低減した速度でエッチングされるかの化学的選択性も提供する。このように、充填材料を側壁の上部領域から除去する間に、空洞の下部部分の方への充填材料の蒸着が有利に働くようにすることにより、ボトムアップの充填プロセスを強化することができる。

10

【0031】

さらに別の実施形態において、充填材料を蒸着するための既知の蒸着動作の後に、充填材料の選択的エッチングが続くことができ、通常、図2Aに示す配置により、選択的エッチャントを形成するイオンは、空洞の側壁の方へ向けられる。既知の蒸着動作の例は、HDPCVDプロセスを含み、イオンは、垂線に沿って、基板面へ向けられる。既知のHDPCVD

20

プロセス自体の使用が、空洞の中の充填材料のための理想的でないプロファイルを生成する傾向があり得るのに、本実施形態において、蒸着動作は、垂直でないイオンを用いる選択的エッチング動作と交互に起こることができ、充填材料は、下部領域とは対照的に、側壁の上部部分に沿って優先的に除去される。

【0032】

なお更なる本発明の実施形態において、空洞の方へ向けられるイオンの軌跡は、充填プロセス中、調整することができる。例えば、再び、図1B~1Eを参照するに、イオン120の非ゼロの入射角の大きさは、一方では図1B、1Cのシナリオと、図1Dのシナリオとの間で調整することができる。1つの特定の例において、の大きさは、図1B及び1Cのシナリオでは25度とすることができ、一方、の大きさは、図1Dのシナリオでは15度に低減することができる。の大きさは、図1Eのシナリオでは、さらに10度に低減することができる。この調整は、異なる実施形態において、離散的動作で、又は、連続的方法で行うことができる。トレンチの受け入れ角度は充填材料の堆積と共に変わるので、の大きさの調整は、イオンを、充填プロセスの異なる段階で適切な角度で向けることを可能にする。

30

【0033】

図3Aは、本発明の実施形態による、システム300として示す例示的処理システムを示す。システム300は、本明細書で開示する技術により、基板の中の空洞の充填を実施するために、特別に、調整することができる。システム300は、プラズマチャンバ302、プロセスチャンバ310、並びに、プラズマチャンバポンプ330及びプロセスチャンバポンプ332を含む様々な既知のコンポーネントを含むことができる。異なる実施形態において、プラズマチャンバ302は、誘導結合プラズマ(ICP)源、トロイダル結合プラズマ(TCP)源、容量結合プラズマ(CCP)源、ヘリコン源、電子サイクロトロン共鳴(ECR)源、傍熱型陰極(IHC)源、グロー放電源、又は、当業者に既知の他のプラズマ源の部分形成することができる。図3Aで示唆されるように、プラズマチャンバ302は、RF電源308により駆動される誘導結合プラズマ源の部分とすることができる。システム300は、さらに、凝縮種を形成するための前駆ガスを供給するガス源304を含むことができる。一例において、前駆ガスは、酸化シリコン(SiO_2)又は窒化シリコン(Si_3N_4)を形成するために用いるべきシランとすることができる。本実施形態は、本文脈に

40

50

限定されない。ガス源 304 は、アルゴン又は他の不活性ガスなどの不活性ガスをプラズマチャンバ 302 へ供給するために用いることができる。そのような不活性ガスは、例えば、イオン 120、イオン 202、イオン 204、イオン 224 又はイオン 226 の一部を形成することができる。本実施形態は、本文脈に限定されない。追加の実施形態において、酸素含有ガス又は窒素含有ガスなどの他のガスを供給するために、追加のガス源（図示せず）をプラズマチャンバに連結することができる。

【0034】

システム 300 は、プロセスチャンバ 310 に対してプラズマチャンバ 302 にバイアスがかかるために配置されるバイアスシステム 318 を含むことができる。図 3A に示す特殊な例において、正の電圧がバイアスシステム 318 によりプラズマチャンバ 302 へ印加される間に、プロセスチャンバ 310 は接地することができる。

10

【0035】

システム 300 は、さらに、引出しアセンブリ 316 を含むことができ、引出しアセンブリ 316 は引出しアセンブリ 132 の変形である。引出しアセンブリ 316 は、プラズマチャンバ 302 の中で創生されるプラズマと、プロセスチャンバ 310 の中に配置される基板ステージ 312 との間に配置することができる。基板ステージ 312 は、基板 104 に連結することができ、X 軸に平行な方向に沿って可動にすることができる。いくつかの実施形態において、基板ステージ 312 は、Z 軸に平行な方向に沿って可動にすることができ、さらに、Y 軸に平行な方向に沿って可動にすることができる。

【0036】

ガスがプラズマチャンバ 302 へ供給され、電力が RF 電源 308 により供給されるとき、プラズマをプラズマチャンバ 302 の中に生成することができる。バイアス電圧が、パルス状に又は連続的に、プラズマチャンバ 302 へ印加されるとき、イオンは、プラズマチャンバ 302 の中のプラズマから引出すことができ、基板 314 へ向けることができる。図 3A に示す例において、イオンビーム 320 は、プラズマチャンバ 302 から基板 314 へ向けられる。図 1B 及び図 1C も参照するに、図 3A のイオンビーム 320 は、垂線 122 に対して非ゼロの入射角で基板 314 に衝突する一対のイオンビームとして、向けることができる。図 3A の例において、垂線 122 は、図示のデカルト座標系の Z 軸に平行に配置される。

20

【0037】

様々な実施形態により、凝縮種はプラズマチャンバ 302 の中で生成することができ、少なくとも一部の凝縮種は、イオンビーム 320 に含まれるイオンを形成する。凝縮種は、さらに、上記で論じたように、中性種を含むことができる。システム 300 により生成される結果として得られる充填材料のプロファイルは、前記の図に示す充填材料のプロファイルに類似とすることができる。

30

【0038】

様々な実施形態により、システム 300 は、プラズマチャンバを横切ることなく、反応性ガス種を基板 104 へ供給するために、反応性ガスアセンブリを含むことができる。図 3A の例において、ガス源 322 は第 1 のガス 326 をプロセスチャンバ 310 へ供給することができ、一方、ガス源 324 は第 2 のガス 328 をプロセスチャンバ 310 へ供給することができる。これらのガスは、プラズマチャンバ 302 をバイパスすることによるガスラインを用いて、供給することができ、それ故に、ガスはプラズマチャンバ 302 を通って流れない。例えば、図 1A から図 2E に一般的に示されるプロセスにより、空洞の中に SiO_2 を蒸着するために、シランをプラズマチャンバ 302 へ供給することができ、シランからの凝縮種はイオンビーム 320 の一部を形成する。空洞内に SiO_2 を形成するために、酸素の源をシランと共に供給することができる。特に、ガス源 322 又はガス源 324 を用いて酸素を直接、プロセスチャンバ 310 へ流すことは、有用であり得る。これにより、シリコンを供給する凝縮種から分離して、成長する充填材料の中に酸素の源を供給することにより、放出ライン中のいかなる蒸着も避けることができる。

40

【0039】

50

さて、図 3 B に戻るに、引出しアセンブリ 3 1 6 の実施形態の平面図が示される。本例において、引出しアセンブリ 3 1 6 は、X 軸に沿う長さに対して、Y 軸に沿う、より大きい幅を有する細長い引出しアパーチャ 3 4 4 を含む。引出しアセンブリ 3 1 6 は、また、細長い引出しアパーチャ 3 4 4 に隣接して配置されたビームブロッカー 3 4 6 も含むことができる。ビームブロッカー 3 4 6 及び細長い引出しアパーチャ 3 4 4 は、したがって、第 1 のリボンビームとして、ギャップ 3 4 8 を通ってイオンビーム 3 2 0 を引出し、かつ、ギャップ 3 5 0 を通って第 2 のリボンビームを引出すように、配置することができる。

【 0 0 4 0 】

そのようなリボンビームは、所定の過程での基板 1 0 4 の全体の幅をさらすために用いることができる。前述の実施形態で説明したように、これにより、充填プロセスに対し、基板 1 0 4 にわたって配置された多数の空洞 1 0 6 をさらすことができる。細長い引出しアパーチャ 3 4 4 を通って引出されたリボンビームは、通常、X 軸に平行な軌跡を有することができる。一方、軌跡は、また、Z 軸に対して、又は、垂線 1 2 2 に対して非ゼロの入射角を形成する。したがって、基板 1 0 4 の幅にわたって Y 軸に沿って配置されたトレンチなどの多数の空洞は、類似の方法でイオンビーム 3 2 0 にさらすことができる。向上した空洞の充填プロセスは、したがって、基板 1 0 4 の幅にわたって、即時に、提供することができる。さらに、X 方向に沿って基板 1 0 4 をスキャンすることにより、基板 1 0 4 の全体などの基板 1 0 4 のターゲット領域は、向上した空洞の充填プロセスに対して、逐次的方法でさらすことができる。

【 0 0 4 1 】

いくつかの実施形態により、例えば、図 2 A ~ 2 D に示すように、交互の蒸着及びエッチング動作を含むプロセスを実施するために、システム 3 0 0 を使用することができる。例えば、空洞を SiO₂ で満たすために、蒸着動作は、シラン及びアルゴンをプラズマチャンバ 3 0 2 の中に流すことを必然的に伴い得て、プラズマを形成する。ガス源 3 2 4 が、空洞を SiO₂ で満たすための蒸着動作において、酸素を基板 1 0 4 に供給する間に、イオンビーム 3 2 0 を基板 1 0 4 に向けることができる。エッチング動作において、CH₃F などのガスをプラズマチャンバ 3 0 2 に供給することができ、CH₃F は、空洞 1 0 6 のターゲットの部分に衝突するエッチングイオンビームを形成するために、用いることができる。異なる動作で用いられる種の間のかなる二次汚染も除去するために、所定の蒸着動作とエッチング動作との間に除去動作を実施することができる。

【 0 0 4 2 】

様々な実施形態において、システム 3 0 0 は、空洞の充填中、充填材料の動的プロファイル制御を提供するために、コンポーネントを含むことができる。一例において、さらに、図 3 A に示すように、システム 3 0 0 は、システム 3 0 0 の様々なコンポーネントを制御するために用いる、制御システム 3 4 0 を含むことができる。制御システム 3 4 0 は、エッチングパラメータだけでなく、蒸着パラメータの 1 組も制御するために、コントローラ 3 4 0 A を含むことができる。制御システム 3 4 0 は、さらに、命令を含む少なくとも 1 つのコンピュータ可読記憶媒体などの媒体 3 4 0 B を含むことができ、命令は、実行されるとき、コントローラ 3 4 0 A に特定の動作を実施させる。これらの動作の中に含まれるのは、プラズマチャンバの中に供給される凝縮種のガスの流れを調整するために、第 2 の制御信号を送信することだけでなく、蒸着露出中、イオンビームの非ゼロ入射角を調整するために、第 1 の制御信号を送信することでもある。他の動作の中でも、これらの動作の制御は、システム 3 0 0 に、所定の空洞内に充填材料の独自に調整したプロファイルを提供する機能を与える。

【 0 0 4 3 】

異なる実施形態において、非ゼロ入射角を調整するために用いられる第 1 の制御信号を送信することは、プラズマチャンバ 3 0 2 の中のプラズマの電力を調整するために、調整信号を RF 電源 3 0 8 へ送信することを含むことができる。既知のプラズマシステムにおいて、プラズマの電力を調整することは、引出しアパーチャで形成されるプラズマのメニスカスの形状を調整し得ることであり、したがって、プラズマからのイオンの引出しの角

10

20

30

40

50

度を調整し得ることであり、空洞に入射するイオンビームの非ゼロの入射角の変化をもたらす。上記のように、充填プロセスを進めるときに、垂線に対して入射角を低減することは、有用であり得る。したがって、空洞内の充填材料の量が増大するとき、入射角を調整するため、蒸着露出中、プラズマの電力を周期的に又は連続的に調整するために、制御システム340を用いることができる。これにより、例えば、ピンチオフのない空洞の適切な充填を確かにするために、充填材料の発達するプロフィルの最適な調整を可能にし得る。

【0044】

異なる実施形態において、非ゼロの入射角を調整するために用いられる第1の制御信号を送信することは、Z軸に平行な方向に沿って、基板104と引出しアセンブリ316との間の分離を調整するために移動信号を送信することを必然的に伴う。この分離の調整は、また、プラズマチャンバ302から引出されるイオンビームの非ゼロの入射角に作用することができる。したがって、充填中のイオンビームの入射角を動的に変更するために、用いることができる。

10

【0045】

プラズマチャンバ302の中へのガスの流れを調整するための制御信号の送信は、例えば、空洞をSiO₂で満たす間に、シランの流れを調整するために、用いることができる。このシランの流れの調整は、充填プロセス中の蒸着とエッチングとの比率を調整するために、用いることができ、したがって、充填材料の結果として生じるプロフィルに作用することができる。

20

【0046】

図4は、本発明の実施形態による、例示的プロセスフロー400を示す。ブロック402において、プラズマがプラズマチャンバの中で生成される。いくつかの実施形態において、プラズマは、不活性ガス種だけでなく、凝縮種も含むことができる。

【0047】

ブロック404において、プラズマからの凝縮種及び不活性ガス種の内の少なくとも1つを含むイオンを、基板内の空洞へ向ける動作が実施される。特に、イオンは、基板の平面の垂線に対して非ゼロの入射角で、向けることができる。

【0048】

ブロック406において、凝縮種を用いて、充填材料を空洞内に蒸着する動作が実施される。充填材料は、空洞の下部面上に第1の速度で堆積することができ、空洞の側壁の上部部分上に第1の速度より遅い第2の速度で堆積することができる。このプロフィルにより、例えば、ピンチオフのない空洞の充填を促進することができる。

30

【0049】

図5は、本発明の実施形態による、例示的プロセスフロー500を示す。ブロック502において、プラズマがプラズマチャンバの中で生成される。ブロック504において、プラズマからの凝縮種及び不活性ガス種の内の少なくとも1つを含むイオンを、基板内の下部面及び側壁を有する空洞へ向ける動作が実施される。

【0050】

ブロック506において、凝縮種を用いて、充填材料を空洞内に蒸着する動作が実施される。いくつかの実施形態において、基板の平面の垂線に対して非ゼロの入射角で、向けられるイオンビームの中に、凝縮種を供給することができる。

40

【0051】

ブロック508において、選択エッチングが実施される。選択エッチングは、基板の平面の垂線に対して選択した非ゼロの入射角で、プラズマチャンバからのエッチャントイオンビームを空洞へ向けることを含むことができる。蒸着動作中に空洞の側壁の上部部分に蒸着された充填材料は、したがって、空洞の他の領域に蒸着された充填材料に対して、選択的に除去することができる。

【0052】

要約すれば、本実施形態は、アクティブなデバイス領域の損傷を防止するためのより良

50

い機能を提供することを含み、トレンチ又は他の空洞を満たすための既知の技術に対して優位性を提供する。例えば、特に、トレンチの充填の初期段階において、垂線に対して非ゼロの入射角で、イオンを向けることにより、高精度なデバイスコンポーネントを配置することができるトレンチの底に衝突することから、イオンを遮蔽することができる。さらに、本発明の実施形態は、トレンチにおいて高いアスペクト比を有することも含めて、空間の形成を回避する、より良い機能を提供する。

【 0 0 5 3 】

本発明の特定の実施形態を本明細書において説明したけれども、本発明は、技術が可能であり、本明細書が同様に読むことができると同じく、その範囲は広いので、本発明はそれらに限定されない。したがって、上記説明は限定するものとして解釈すべきでない。その代わりに、上記説明は、単に、特定の実施形態の例示である。当業者は、添付の特許請求の範囲及び精神内で、他の実施形態を思い描くであろう。

10

20

30

40

50

【図面】

【図 1 A】

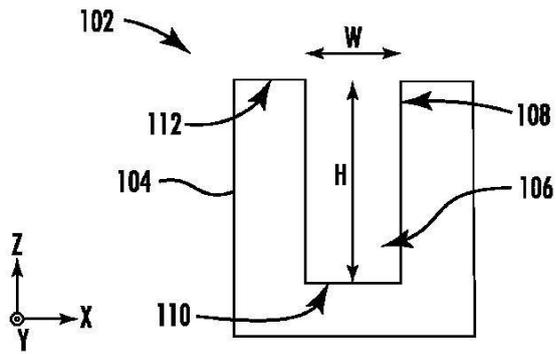


FIG. 1A

【図 1 B】

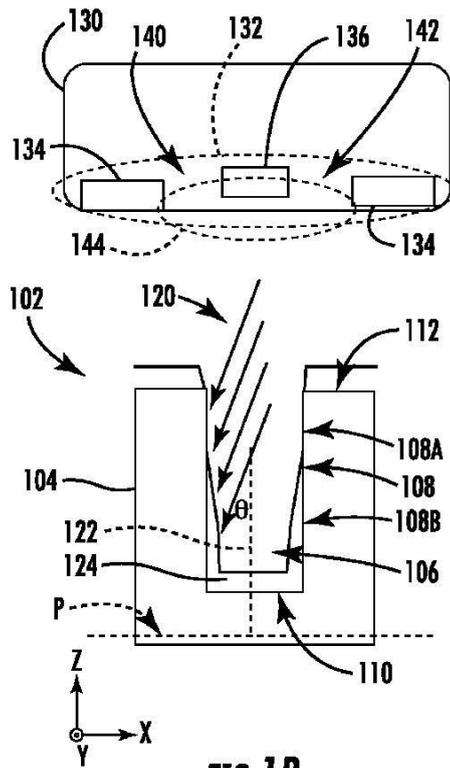


FIG. 1B

10

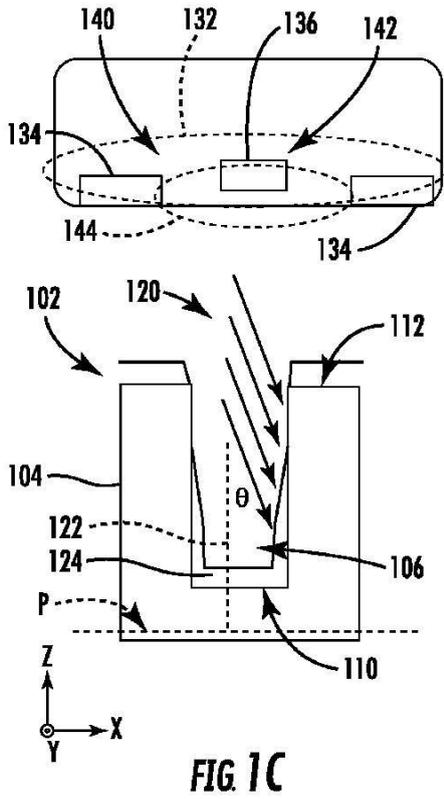
20

30

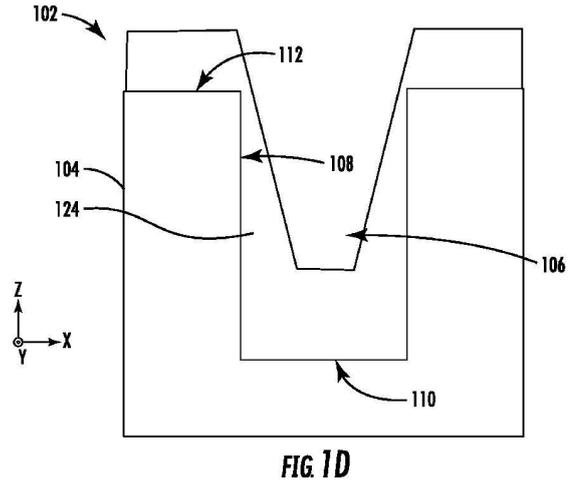
40

50

【 図 1 C 】



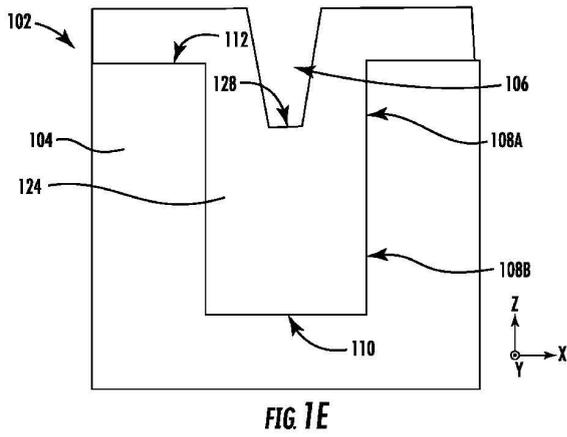
【 図 1 D 】



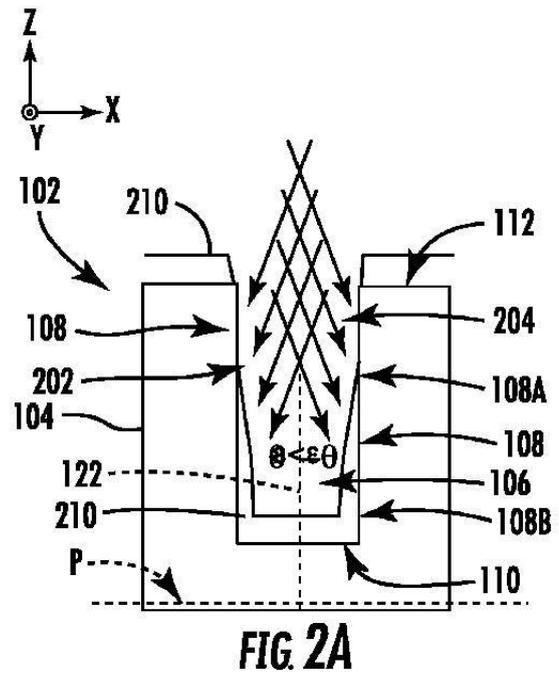
10

20

【 図 1 E 】



【 図 2 A 】

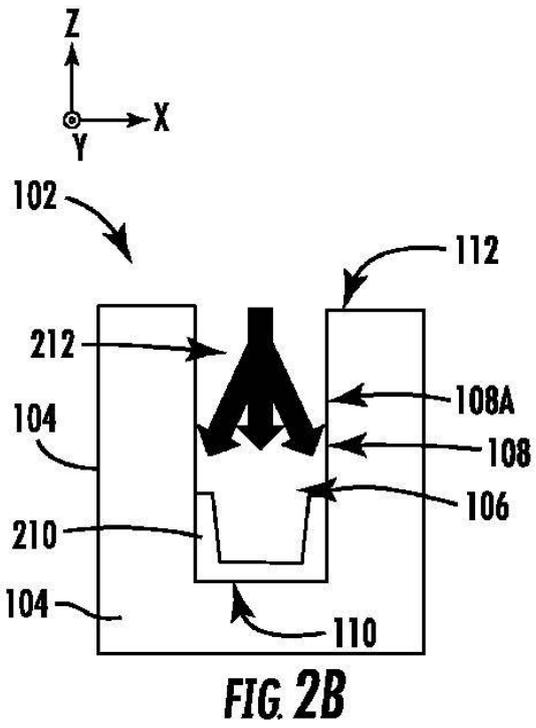


30

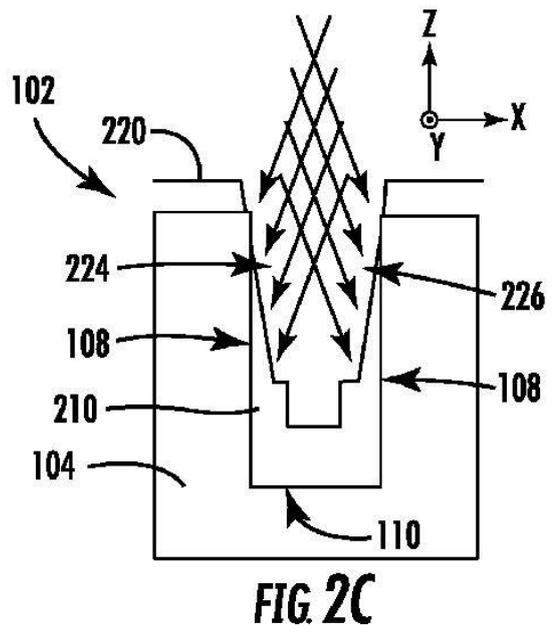
40

50

【 図 2 B 】



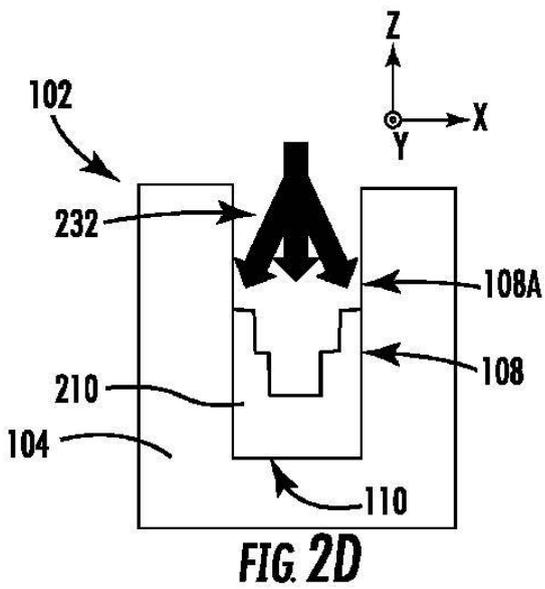
【 図 2 C 】



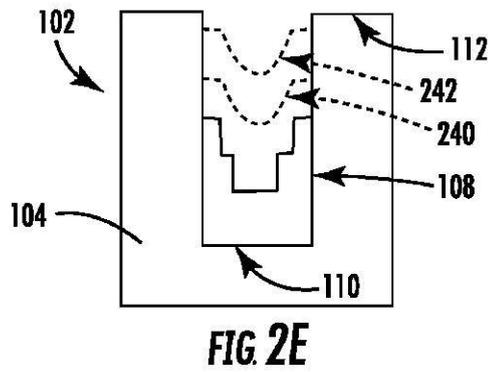
10

20

【 図 2 D 】



【 図 2 E 】

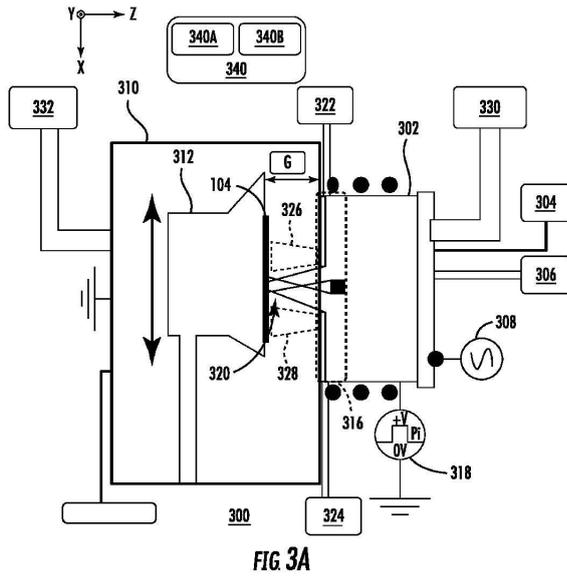


30

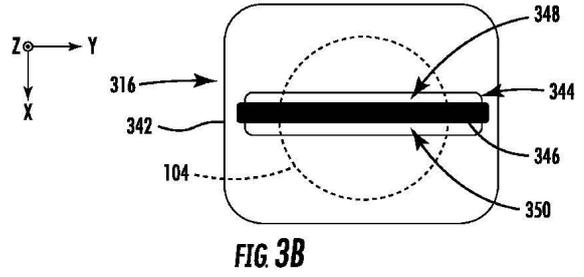
40

50

【 図 3 A 】

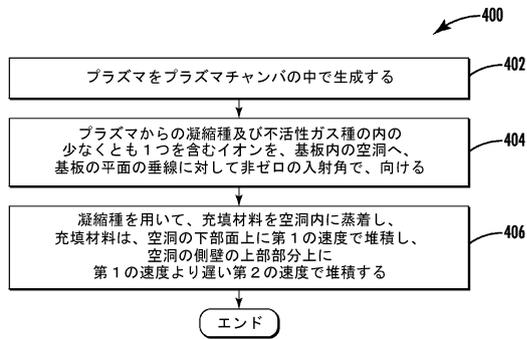


【 図 3 B 】

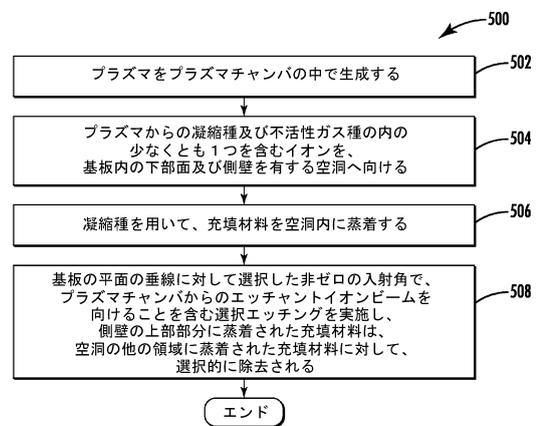


10

【 図 4 】



【 図 5 】



20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

<i>C 2 3 C</i>	<i>16/455 (2006.01)</i>	<i>C 2 3 C</i>	<i>16/455</i>	
<i>C 2 3 C</i>	<i>14/32 (2006.01)</i>	<i>C 2 3 C</i>	<i>14/32</i>	F
<i>H 0 1 L</i>	<i>21/31 (2006.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	<i>21/31</i>	C
<i>H 0 1 L</i>	<i>21/316 (2006.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	<i>21/316</i>	X

1 9 3 0 グローチェスター ドリー ロード 3 5

(72)発明者

ジョン ホータラ

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0 1 9 3 0 グローチェスター ドリー ロード 3 5

(72)発明者

シュロン リアン

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 0 1 9 3 0 グローチェスター ドリー ロード 3 5

審査官 山本 一郎

(56)参考文献

米国特許第06117345 (US, A)

米国特許第06106678 (US, A)

特開2002-353215 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

C 2 3 C 1 6 / 5 1 3

H 0 1 J 3 7 / 3 0 5

H 0 1 J 3 7 / 0 8

H 0 1 J 2 7 / 1 6

H 0 1 J 3 7 / 3 1 7

C 2 3 C 1 6 / 4 5 5

C 2 3 C 1 4 / 3 2

H 0 1 L 2 1 / 3 1

H 0 1 L 2 1 / 3 1 6