

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5503976号  
(P5503976)

(45) 発行日 平成26年5月28日 (2014. 5. 28)

(24) 登録日 平成26年3月20日 (2014. 3. 20)

(51) Int. Cl.

F I

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

H O 1 L 21/302 1 O 5 A

H O 1 L 21/768 (2006. 01)

H O 1 L 21/90 C

請求項の数 20 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2009-548493 (P2009-548493)  
 (86) (22) 出願日 平成20年2月4日 (2008. 2. 4)  
 (65) 公表番号 特表2010-518605 (P2010-518605A)  
 (43) 公表日 平成22年5月27日 (2010. 5. 27)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2008/052950  
 (87) 国際公開番号 W02008/097925  
 (87) 国際公開日 平成20年8月14日 (2008. 8. 14)  
 審査請求日 平成23年2月4日 (2011. 2. 4)  
 審判番号 不服2013-13340 (P2013-13340/J1)  
 審判請求日 平成25年7月11日 (2013. 7. 11)  
 (31) 優先権主張番号 11/671, 342  
 (32) 優先日 平成19年2月5日 (2007. 2. 5)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 592010081  
 ラム リサーチ コーポレーション  
 LAM RESEARCH CORPOR  
 ATION  
 アメリカ合衆国, カリフォルニア 945  
 38, フレモント, クッシング パークウ  
 ェイ 4650  
 (74) 代理人 110000028  
 特許業務法人明成国際特許事務所  
 (72) 発明者 チ・キョンク  
 アメリカ合衆国 カリフォルニア州951  
 29 サン・ホセ, ロングフェロウ・ウェ  
 イ, 1440

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超高アスペクト比の誘電体パルスエッチング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

エッチングチャンバ内で炭素系マスクを介して楕円形状の超高アスペクト比フィーチャを誘電体層にエッチングするための方法であって、

前記炭素系マスクに対して前記誘電体層を選択的にエッチングし、前記選択的なエッチングは前記炭素系マスク上にフルオロカーボン系ポリマの正味の蒸着を提供することと、

前記選択的なエッチングを停止し、蒸着した前記フルオロカーボン系ポリマを選択的に除去することと、

前記フルオロカーボン系ポリマが除去された前記炭素系マスクに対して前記誘電体層をさらに選択的にエッチングすることとを備え、

前記さらに選択的にエッチングは、

フルオロカーボン含有分子および酸素含有分子を含むエッチングガスの流れを前記エッチングチャンバへ供給し、

パルスバイアス R F 信号を供給し、

励起 R F 信号を供給することと、

を備える、方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法において、前記炭素系マスクに対して前記誘電体層の選択的なエッチングは、

エッチングガスおよびフルオロカーボンポリマガスの流れを前記エッチングチャンバへ

供給し、

連続波バイアス R F 信号を供給し、

励起 R F 信号を供給すること、

を備える、方法。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の方法において、前記炭素系マスクは、フォトレジストおよび非晶質炭素の内的一方である、方法。

【請求項 4】

請求項 1 または 2 に記載の方法において、前記炭素系マスクは、非晶質炭素である、方法。

10

【請求項 5】

請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の方法において、前記超高アスペクト比フィーチャは、少なくとも 30 : 1 のアスペクト比を有する、方法。

【請求項 6】

請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載の方法において、前記選択的エッチングは、3 : 1 より大きい選択比を有する、方法。

【請求項 7】

請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載の方法において、前記さらに選択的なエッチングは、3 : 1 より大きい選択比を有する、方法。

【請求項 8】

20

請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載の方法において、前記選択的なエッチングは、5 : 1 より大きい選択比を有する、方法。

【請求項 9】

請求項 1 ないし 8 のいずれかに記載の方法において、前記さらに選択的なエッチングは、5 : 1 より大きい選択比を有する、方法。

【請求項 10】

請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の方法において、前記選択的なエッチングは無限大の選択比を有する、方法。

【請求項 11】

請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載の方法において、前記さらに選択的なエッチングは、無限大の選択比を有する、方法。

30

【請求項 12】

請求項 1 ないし 11 に記載の方法において、前記誘電体層は、酸化シリコン系または窒化シリコン系の層である、方法。

【請求項 13】

請求項 1 ないし 12 のいずれかに記載の方法において、前記誘電体層は、単一の均一層である、方法。

【請求項 14】

エッチングチャンバ内で炭素系マスクを介して楕円形状の超高アスペクト比フィーチャを誘電体に選択的エッチングする方法であって、

40

前記炭素系マスクに対して前記誘電体層を選択的にエッチングし、前記選択的なエッチングは前記炭素系マスク上にフルオロカーボンポリマの蒸着物を形成し、

前記選択的エッチングを停止し、前記フルオロカーボンポリマの蒸着物を選択的に除去し、

フルオロカーボン含有分子および酸素含有分子を含むエッチングガスの流れを前記エッチングチャンバへ供給し、

パルスバイアス R F 信号を供給し、

励起 R F 信号を供給して、前記エッチングガスをプラズマに変換し、

前記炭素系マスクを介してフィーチャが 25 : 1 以上の高アスペクト比を有するまでエッチングすること、

50

を備える、方法。

【請求項 15】

請求項 14 に記載の方法において、前記炭素系マスクは、非晶質炭素である、方法。

【請求項 16】

請求項 14 または 15 に記載の方法において、前記超高アスペクト比フィーチャは、少なくとも 30 : 1 のアスペクト比を有する、方法。

【請求項 17】

請求項 14 ないし 16 のいずれかに記載の方法において、前記選択的エッチングは、無限大の選択比を有する、方法。

【請求項 18】

請求項 14 ないし 17 のいずれかに記載の方法において、前記誘電体層は、単一の均一な酸化シリコン系または窒化シリコン系の層である、方法。

【請求項 19】

炭素系マスクの下方のエッチング層に楕円形状の U H A R フィーチャをエッチングするための装置であって、

プラズマ処理チャンバであって、

プラズマ処理チャンバ容器を形成するチャンバ壁と、

前記プラズマ処理チャンバ容器内で基板を支持するための基板支持部と、

前記プラズマ処理チャンバ容器内の圧力を調整するための圧力調整部と、

前記プラズマ処理チャンバ容器に電力を供給してプラズマを維持するための少なくとも 1 つの電極と、

1 k H z から 1 0 M H z の間の R F 周波数を有する信号を供給する R F バイアス電源と、

前記 R F バイアス電源に接続され、前記 R F バイアス電源をパルス化することが可能なパルス生成部と、

1 k H z から 5 M H z の間の R F 周波数を有する信号を供給する第 1 の R F 励起電源と、

1 0 M H z から 4 0 M H z の間の R F 周波数を有する信号を供給する第 2 の R F 励起電源と、

前記プラズマ処理チャンバ容器内にガスを供給するためのガス流入口と、

前記プラズマ処理チャンバ容器からガスを排出するためのガス流出口と、

を備える、プラズマ処理チャンバと、

前記ガス流入口と流体連通したガス源であって、

酸素源と、

フルオロカーボンポリマガス源と、

を備える、ガス源と、

前記ガス源、前記 R F バイアス電源、前記第 1 の R F 励起電源、前記第 2 の R F 励起電源、および、前記少なくとも 1 つの電極に対して、制御可能に接続された制御部であって、

少なくとも 1 つのプロセッサと、

コンピュータ読み取り可能な媒体と、を備える、制御部と、

を備え、

前記コンピュータ読み取り可能な媒体は、前記炭素系マスクに対する前記誘電体層の選択的なエッチングを提供するためのコンピュータ読み取り可能なコードを備え、

前記選択的なエッチングを提供するためのコンピュータ読み取り可能なコードは、

前記炭素系マスクに対して前記誘電体層を選択的にエッチングするためのコンピュータ読み取り可能なコードと、前記選択的なエッチングは前記炭素系マスク上にフルオロカーボンポリマの蒸着物を形成し、

前記選択的エッチングを停止し、前記フルオロカーボンポリマの蒸着物を選択的に除去するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、

10

20

30

40

50

前記酸素源からの酸素と前記フルオロカーボンポリマガス源からのフルオロカーボンポリマガスとを含むエッチングガスの流れを、前記処理チャンバ容器に供給するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、

前記 R F バイアス電源に電圧を印加するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、

前記 R F バイアス電源をパルス化するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、

前記炭素系マスクを介してフィーチャが 2.5 : 1 以上の高アスペクト比を有するまでエッチングするように、前記第 1 の R F 励起電源および前記第 2 の R F 励起電源に電圧を印加して、エネルギーを供給し、前記エッチングガスおよびポリマ形成ガスからプラズマを形成するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、  
を備える、装置。

10

【請求項 20】

炭素系マスクの下方のエッチング層に楕円形状の U H A R フィーチャをエッチングするための装置であって、

プラズマ処理チャンバであって、

プラズマ処理チャンバ容器を形成するチャンバ壁と、

前記プラズマ処理チャンバ容器内で基板を支持するための基板支持部と、

前記プラズマ処理チャンバ容器内の圧力を調整するための圧力調整部と、

前記プラズマ処理チャンバ容器に電力を供給してプラズマを維持するための少なくとも 1 つの電極と、

20

1 k H z から 10 M H z の間の R F 周波数を有する信号を供給する R F バイアス電源と、

前記 R F バイアス電源に接続され、前記 R F バイアス電源をパルス化することが可能なパルス生成部と、

1 k H z から 5 M H z の間の R F 周波数を有する信号を供給する第 1 の R F 励起電源と、

10 M H z から 40 M H z の間の R F 周波数を有する信号を供給する第 2 の R F 励起電源と、

前記プラズマ処理チャンバ容器内にガスを供給するためのガス流入口と、

30

前記プラズマ処理チャンバ容器からガスを排出するためのガス流出口と、

を備える、プラズマ処理チャンバと、

前記ガス流入口と流体連通したガス源であって、

酸素源と、

フルオロカーボンポリマガス源と、

を備える、ガス源と、

前記ガス源、前記 R F バイアス電源、前記第 1 の R F 励起電源、前記第 2 の R F 励起電源、および、前記少なくとも 1 つの電極に対して、制御可能に接続された制御部であって、

、

少なくとも 1 つのプロセッサと、

40

コンピュータ読み取り可能な媒体と、を備える、制御部と、  
を備え、

前記コンピュータ読み取り可能な媒体は、

前記炭素系マスクに対する前記誘電体層の第 1 の選択的なエッチングを提供するためのコンピュータ読み取り可能なコードであって、前記第 1 の選択的なエッチングはフルオロカーボン系ポリマの正味の蒸着を提供する、コンピュータ読み取り可能なコードと、

前記第 1 の選択的なエッチングを停止し、蒸着した前記フルオロカーボン系ポリマを選択的に除去するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、

前記フルオロカーボン系ポリマが除去された前記炭素系マスクに対する前記誘電体層の第 2 の選択的なエッチングを提供するためのコンピュータ読み取り可能な媒体とを備え、

50

前記第 2 の選択的なエッチングを提供するためのコンピュータ読み取り可能なコードは、

前記酸素源からの酸素と前記フルオロカーボンポリマガス源からのフルオロカーボンポリマガスを含むエッチングガスの流れを、前記処理チャンバ容器に供給するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、

前記 R F バイアス電源に電圧を印加するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、

前記 R F バイアス電源をパルス化するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、

前記第 1 の R F 励起電源および前記第 2 の R F 励起電源に電圧を印加して、エネルギーを供給し、前記エッチングガスおよびポリマ形成ガスからプラズマを形成するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、を含む前記フルオロカーボン系ポリマが除去された前記炭素系マスクに対して前記誘電体層を選択的にエッチングするためのコンピュータ読み取り可能なコードと、前記第 2 の選択的なエッチングは前記炭素系マスク上にフルオロカーボン系ポリマの正味の蒸着を提供し、

前記選択的エッチングを停止し、蒸着した前記フルオロカーボン系ポリマを選択的に除去するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、

を備える、装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体デバイスの製造に関し、特に、超高アスペクト比のフィーチャを用いる半導体デバイスの製造に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスの製造では、プラズマエッチング処理が一般に用いられる。一般に、フォトリソ材料が、エッチングされるウエハの表面上にフィーチャのパターンを形成し、その後、ウエハを特定の種類のエッチングガスに曝露することによって、フィーチャがウエハにエッチングされる。プラズマエッチングの抱える課題の一つは、特に超高密度の構造について、設計要件を満たすのに必要なアスペクトが大きくなり続けていることである。半導体ウエハにフィーチャをエッチングする場合、エッチングされたフィーチャのアスペクト比は、フィーチャの深さとフィーチャのクリティカルディメンション (CD) との間の比として定義される。より高密度の構造を作り出すためには、より多くのフィーチャが 1 枚のウエハに形成されるので、個々のフィーチャの CD は必然的に小さくなるが、フィーチャの深さは変わらない。従って、個々のフィーチャのアスペクト比は、デバイスのフィーチャが縮小するにつれて大きくなる。

【0003】

エッチング中に楕円率が変化するという問題が見つまっている。

【発明の概要】

【0004】

上記に鑑みて本発明の目的に従い、エッチングチャンバ内で炭素系マスクを介して超高アスペクト比フィーチャの誘電体を選択的エッチングするための方法が提供される。フルオロカーボン含有分子および酸素含有分子を含むエッチングガスの流れが、エッチングチャンバに供給される。パルスバイアス R F 信号が供給される。エッチングガスをプラズマに変換するために、励起 R F 信号が供給される。

【0005】

本発明の別の態様では、エッチングチャンバ内で炭素系マスクを介して超高アスペクト比フィーチャの誘電体を選択的エッチングするための方法が提供されている。フルオロカーボン含有分子および酸素含有分子を含むエッチングガスの流れが、エッチングチャンバに供給される。パルスバイアス R F 信号が供給される。エッチングガスをプラズマに変換

10

20

30

40

50

するために、励起 R F 信号が供給される。

【 0 0 0 6 】

本発明の別の態様では、炭素系マスクの下方のエッチング層に U H A R フィーチャをエッチングするための装置が提供されている。プラズマ処理チャンバが、プラズマ処理チャンバ容器を形成するチャンバ壁と、プラズマ処理チャンバ容器内で基板を支持するための基板支持と、プラズマ処理チャンバ容器内の圧力を調整するための圧力調整部と、プラズマ処理チャンバ容器に電力を供給してプラズマを維持するための少なくとも 1 つの電極と、1 k H z から 1 0 M H z の間の R F 周波数を有する信号を供給する R F バイアス電源と、R F バイアス電源に接続され、R F バイアス電源をパルス化することが可能なパルス生成部と、1 k H z から 5 M H z の間の R F 周波数を有する信号を供給する第 1 の R F 励起電源と、1 0 M H z から 4 0 M H z の間の R F 周波数を有する信号を供給する第 2 の R F 励起電源と、プラズマ処理チャンバ容器内にガスを供給するためのガス流入口と、プラズマ処理チャンバ容器からガスを排出するためのガス流出口と、を備える。ガス源が、ガス流入口と流体連通しており、酸素源およびフルオロカーボンポリマガス源を備えている。制御部が、ガス源、R F バイアス源、第 1 の R F 励起電源、第 2 の R F 励起電源、および、少なくとも 1 つの電極に対して、制御可能に接続されており、少なくとも 1 つのプロセッサと、炭素系マスクに対する誘電体層の選択的エッチングを提供するためのコンピュータ読み取り可能なコードであって、第 1 の選択的エッチングはフルオロカーボン系ポリマの正味の蒸着を提供する、コンピュータ読み取り可能なコードを備えたコンピュータ読み取り可能な媒体と、を備える。誘電体層の選択的エッチングを提供するためのコンピュータ読み取り可能なコードは、酸素源からの酸素とフルオロカーボンポリマガス源からのフルオロカーボンポリマガスとを含むエッチングガスの流れを、処理チャンバ容器に供給するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、R F バイアス電源に電圧を印加するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、R F バイアス電源をパルス化するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、第 1 の R F 励起電源および第 2 の R F 励起電源に電圧を印加して、エネルギーを供給し、エッチングガスおよびポリマ形成ガスからプラズマを形成するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、を備える。

【 0 0 0 7 】

添付の図面を参照しつつ行う本発明の詳細な説明において、本発明の上述の特徴およびその他の特徴を詳述する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図 1】本発明の一実施形態の概略フローチャート。

【図 2】本発明の実施の際に利用可能なエッチングリアクタを示す説明図。

【図 3 A】本発明の 1 または複数の実施形態で用いられる制御部の実装に適したコンピュータシステムを示す図。

【図 3 B】本発明の 1 または複数の実施形態で用いられる制御部の実装に適したコンピュータシステムを示す図。

【図 4 A】本発明の一実施形態に従って、エッチングされた層の略断面図。

【図 4 B】本発明の一実施形態に従って、エッチングされた層の略断面図。

【図 4 C】本発明の一実施形態に従って、エッチングされた層の略断面図。

【図 4 D】本発明の一実施形態に従って、エッチングされた層の略断面図。

【図 5】ねじれの量の測定を示す説明図。

【図 6】楕円を示す説明図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 9 】

以下では、添付図面に例示されたいくつかの好ましい実施形態を参照しつつ、本発明の詳細な説明を行う。以下の説明では、本発明の完全な理解を促すために、数多くの具体的な詳細事項が示されている。しかしながら、当業者にとって明らかなように、本発明は、これらの具体的な詳細事項の一部または全てがなくとも実施することが可能である。また

10

20

30

40

50

、本発明が不必要に不明瞭となるのを避けるため、周知の処理工程および／または構造については、詳細な説明を省略した。

【0010】

ホールなどの超高アスペクト比（UHAR）フィーチャのエッチング中に、ねじれ（twisting）が生じる。以下に制約されることは望まないが、ねじれは非対称なエッチングの結果であるという仮説がある。フィーチャのアスペクト比が増大すると、非対称なエッチングの原因となるいくつかのメカニズムが生じる。発見された1つのメカニズムは、マスク上に正味のフルオロカーボンポリマ層を蒸着するエッチング中に、フルオロカーボンポリマが非対称に（不均一に）蒸着されるというメカニズムである。

【0011】

一部のUHARフィーチャについては、コンタクトの間隔をより近接させることができるように、楕円断面が望ましい。かかる楕円断面は長径と短径を有しており、楕円の直径とは楕円の長径を指す。楕円率は、短径に対する長径の比と定義される。かかるUHARフィーチャのエッチングで見いだされる別の歪みは、楕円の短径が減少すると共に楕円の長径が増大しうることから楕円率が増大する傾向があるという点である。

【0012】

本発明は、UHAR誘電体エッチングにおけるねじれを低減するための装置および方法を提供する。半導体デバイスの加工の際には、しばしば、基板上のエッチング対象となる層内にマスクを介して、フィーチャがエッチングされる。フィーチャのアスペクト比は、フィーチャ開口部分の深さと幅の比である。本明細書および特許請求の範囲において、本発明にとってフィーチャの超高アスペクト比（UHAR）とは、深さと幅の比が25：1より大きいものと定義する。本発明でのフィーチャのUHARは、少なくとも30：1と定義することがより好ましい。UHARは、少なくとも40：1と定義することが最も好ましい。さらに、本発明は、300ナノメートル（nm）以下の幅を有する誘電体層におけるフィーチャのエッチングに適用されることが好ましい。本発明は、200nm以下の幅を有する誘電体層におけるフィーチャのエッチングに適用されることがさらに好ましい。本発明は、150nm以下の幅を有する誘電体層におけるフィーチャのエッチングに適用されることが最も好ましい。

【0013】

本発明は、任意の誘電体エッチングに適用されることが好ましい。本発明は、誘電体層が酸化シリコンまたは窒化シリコン系である誘電体エッチングに適用されることがさらに好ましい。換言すると、誘電体層は、主に酸化シリコンまたは窒化シリコンで形成され、より少量の他の種類の材料が混合される。

【0014】

図1は、本発明の一実施形態の概略フローチャートである。誘電体層が、炭素系マスクに対して選択的にエッチングされ、その際、フルオロカーボン系ポリマが、炭素系マスク上に正味で蒸着される（工程104）。正味の蒸着とは、除去されるよりも蒸着されるポリマの方が多く、その結果、成長するフルオロカーボンポリマ層が蒸着されることを意味する。一般に、エッチングガスが供給される。エッチングガスは、プラズマ内に供給され、選択的エッチングを提供する。エッチング処理が停止されている間に、フルオロカーボンポリマは、炭素系マスクから部分的または完全に、選択的に除去される（工程108）。一般に、酸素またはフッ素を含むフラッシングガス（ $O_2$ または $CF_4$ など）のようなトリミングガスが供給される。次いで、トリミングガスは、炭素系マスクよりも速やかにフルオロカーボンポリマをアッシングまたはトリミングするプラズマに変換される。炭素系マスクに対するフルオロカーボンポリマの選択的除去が停止される。誘電体層のさらなる選択的エッチングが提供され、その第2の選択的エッチングは、炭素系マスク上にフルオロカーボン系ポリマの正味の蒸着を提供する（工程112）。以下では、上述の実施形態のより具体的な実装について説明する。

【0015】

図2は、本発明を実施する際に利用可能なエッチングリアクタを示す説明図である。本

10

20

30

40

50

発明の１または複数の実施形態において、エッチングリアクタ２００は、上部中央電極２０６と、上部外側電極２０４と、底部中央電極２０８と、底部外側電極２１０とを、チャンバ壁２５０内に備える。上部絶縁体リング２０７が、上部中央電極２０６を上部外側電極２０４から絶縁している。底部絶縁体リング２１２が、底部中央電極２０８を底部外側電極２１０から絶縁している。また、エッチングリアクタ２００内では、基板２８０が、底部中央電極２０８の上部に配置される。随意的に、底部中央電極２０８は、基板２８０を保持するための適切な基板保持機構（例えば、静電チャック、機械的クランプ、または、同様のもの）を備える。

#### 【００１６】

ガス源２２４が、エッチングリアクタ２００と接続されており、エッチング処理中にエッチングガスをエッチングリアクタ２００に供給する。この例において、ガス源２２４は、エッチングガス源２６０と、トリミングガス源２６４と、エッチング中にフルオロカーボンポリマを蒸着させるためのポリマガス源２６８とを備える。

#### 【００１７】

バイアスＲＦ電源２４８、第１の励起ＲＦ電源２５２、および、第２の励起ＲＦ電源２５６が、電極２０４、２０６、２０８、および、２１０に電力を供給するために、制御部２３５を介してエッチングリアクタ２００に電氣的に接続される。バイアスＲＦ電源２４８は、バイアスＲＦ電力を生成し、そのバイアスＲＦ電力をエッチングリアクタ２００に供給する。バイアスＲＦ電力は、１キロヘルツ（kHz）から１０メガヘルツ（MHz）の間の周波数を有することが好ましい。バイアスＲＦ電力は、１MHzから５MHzの間の周波数を有することがより好ましい。バイアスＲＦ電力は、約２MHzの周波数を有することがさらに好ましい。

#### 【００１８】

第１の励起ＲＦ電源２５２は、ソースＲＦ電力を生成し、そのソースＲＦ電力をエッチングリアクタ２００に供給する。このソースＲＦ電力は、バイアスＲＦ電力より大きい周波数を有することが好ましい。このソースＲＦ電力は、１０MHzから４０MHzの間の周波数を有することがより好ましい。このソースＲＦ電力は、２７MHzの周波数を有することが最も好ましい。

#### 【００１９】

第２の励起ＲＦ電源２５６は、第１の励起ＲＦ電源２５２によって生成されたＲＦ電力とは別に、ソースＲＦ電力を生成し、そのソースＲＦ電力をエッチングリアクタ２００に供給する。このソースＲＦ電力は、バイアスＲＦ電源および第１のＲＦ励起電源の電力より大きい周波数を有することが好ましい。この第２の励起ＲＦ電源は、４０MHz以上の周波数を有することがより好ましい。このソースＲＦ電力は、６０MHzの周波数を有することが最も好ましい。

#### 【００２０】

異なるＲＦ信号が、様々な組み合わせの上部および底部電極に対して供給されてよい。最も低い周波数のＲＦは、エッチングされる材料が上に配置された底部電極を介して、すなわち、この例においては底部中央電極２０８を介して印加されることが好ましい。

#### 【００２１】

制御部２３５は、ガス源２２４、バイアスＲＦ電源２４８、第１の励起ＲＦ電源２５２、および、第２の励起ＲＦ電源２５６に接続される。制御部２３５は、エッチングリアクタ２００に流れ込むエッチングガスの流れ、３つのＲＦ電源２４８、２５２、２５６からのＲＦ電力の生成を制御すると共に、電極２０４、２０６、２０８、および、２１０、並びに、排出ポンプを制御する。

#### 【００２２】

この例においては、閉じ込めリング２０２が、プラズマおよびガスの閉じ込めを実現するために設けられており、プラズマおよびガスは、閉じ込めリングの間を通過し排出ポンプによって排出される。

#### 【００２３】

10

20

30

40

50



図 3 A および 3 B は、本発明の 1 または複数の実施形態で用いられる制御部 2 3 5 の実装に適したコンピュータシステムを示す図である。図 3 A は、コンピュータシステム 3 0 0 の物理的形態の一例を示している。もちろん、コンピュータシステムは、集積回路、プリント基板、および、小型携帯デバイスから大型スーパーコンピュータまで、多くの物理的形態を有してよい。コンピュータシステム 3 0 0 は、モニタ 3 0 2、ディスプレイ 3 0 4、筐体 3 0 6、ディスクドライブ 3 0 8、キーボード 3 1 0、および、マウス 3 1 2 を備える。ディスク 3 1 4 は、コンピュータシステム 3 0 0 とデータをやり取りするために用いられるコンピュータ読み取り可能な媒体である。

#### 【 0 0 2 4 】

図 3 B は、コンピュータシステム 3 0 0 のブロック図の一例である。システムバス 3 2 0 には、様々なサブシステムが取り付けられている。1 または複数のプロセッサ 3 2 2 (中央処理装置すなわち C P U と呼ぶ) が、メモリ 3 2 4 などの記憶装置に接続されている。メモリ 3 2 4 は、ランダムアクセスメモリ ( R A M ) および読み出し専用メモリ ( R O M ) を含む。当技術分野で周知のように、R O M は、C P U に対して単方向的にデータや命令を転送するよう機能し、R A M は、通例、双方向的にデータや命令を転送するために用いられる。これらの種類のメモリは両方とも、後に示す任意の適切なコンピュータ読み取り可能な媒体を備えてよい。C P U 3 2 2 には、さらに、固定ディスク 3 2 6 が、双方向的に接続されており、さらなるデータ記憶容量を提供している。固定ディスク 3 2 6 は、後に示すコンピュータ読み取り可能な媒体のいずれを備えてもよい。固定ディスク 3 2 6 は、プログラムやデータなどを格納するために用いられてよく、通例は、一次記憶装置よりも遅い二次記憶媒体 (ハードディスクなど) である。固定ディスク 3 2 6 内に保持された情報は、必要に応じて、メモリ 3 2 4 内に仮想メモリなどの標準的な方法で組み込まれてよいことを理解されたい。リムーバブルディスク 3 1 4 は、後に示すコンピュータ読み取り可能な媒体のいずれの形態を取ってもよい。

#### 【 0 0 2 5 】

C P U 3 2 2 は、さらに、ディスプレイ 3 0 4、キーボード 3 1 0、マウス 3 1 2、および、スピーカ 3 3 0 など、様々な入力 / 出力装置に接続されている。一般に、入力 / 出力装置は、ビデオディスプレイ、トラックボール、マウス、キーボード、マイク、タッチセンサ式ディスプレイ、トランスデューサ式カードリーダー、磁気または紙テープリーダー、タブレット、スタイラス、音声または手書き認識装置、バイオメトリクスリーダー、または、他のコンピュータ、のいずれであってもよい。C P U 3 2 2 は、必要に応じて、ネットワークインターフェース 3 4 0 を用いて、他のコンピュータや電気通信ネットワークに接続されてもよい。かかるネットワークインターフェースを用いて、C P U は、上述の方法の工程を実行する際に、ネットワークから情報を受信、または、ネットワークに情報を出力してよい。さらに、本発明の方法の実施形態は、C P U 3 2 2 単体で実行されてもよいし、インターネットなどのネットワークを介して、処理の一部を分担する遠隔 C P U と協働で実行されてもよい。

#### 【 0 0 2 6 】

さらに、本発明の実施形態は、コンピュータによる様々な動作を実行するためのコンピュータコードを有するコンピュータ読み取り可能な媒体を備えたコンピュータストレージ製品に関する。媒体およびコンピュータコードは、本発明のために、特別に設計および構成されてもよいし、コンピュータソフトウェア分野における当業者にとって周知および利用可能なものであってもよい。コンピュータ読み取り可能な媒体の例としては、ハードディスク、フレキシブルディスク、磁気テープなどの磁気媒体 ; C D - R O M、ホログラフィック素子などの光学媒体 ; フロブティカルディスクなどの光磁気媒体 ; 特定用途向け集積回路 ( A S I C )、プログラム可能論理回路 ( P L D )、R O M および R A M など、プログラムコードを格納および実行するよう特別に構成されたハードウェア装置、が挙げられるが、それらに限定されない。コンピュータコードの例としては、コンパイラによって生成されたコードなどのマシンコードや、インタープリタを用いてコンピュータによって実行される高級言語コードを含むファイルが挙げられる。コンピュータ読み取り可能な媒

体は、搬送波で具現化されたコンピュータデータ信号によって転送されると共にプロセッサが実行可能な一連の命令を表すコンピュータコードであってもよい。

【0027】

例

本発明の一実施形態の具体的な一例においては、基板が準備され、その上に誘電体が形成され、その上に炭素系マスクが形成される。図4Aは、基板404、誘電体層408、および、炭素系マスク412の略断面図である。この例では、図に示すように、誘電体層408は、基板404の上部に位置し、炭素マスク412は、誘電体層408上に位置しているが、これらの層の間に1または複数の層が配置されてもよく、その場合、誘電体層は、基板404の上方に位置するが基板404と直接接触せず、炭素系マスク412は、誘電体層408の上方に位置するが、誘電体層408と直接接触しない。この例において、誘電体層408は、単一の均一な材料の単一層である。

10

【0028】

この例において、基板404はシリコンウエハであり、誘電体層は酸化シリコン(SiO)または窒化シリコン(SiN)系材料の単一層である。この例において、炭素系マスクは非晶質炭素であるが、別の例では、炭素系マスクはフォトレジストポリマであってもよい。非晶質炭素は、ポリマに類似しているが、水素が少なく炭素が多いので、ポリマよりもエッチング耐性が高い。別の実施形態では、マスクはフォトレジストであってもよい。

【0029】

炭素系マスクに対して誘電体層を選択的にエッチングしつつ、十分な選択比を提供するために炭素系マスク上に正味のフルオロカーボンポリマ層を蒸着する(工程104)。かかるSiO<sub>2</sub>誘電体層のエッチングの一例では、200sccmのAr、20sccmのC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、82sccmのC<sub>4</sub>F<sub>6</sub>、および、64sccmのO<sub>2</sub>を含むエッチングおよびポリマガスが、エッチングガス源260およびポリマガス源268からエッチングチャンバ240の内部に供給される。バイアスRF電源は、2MHzで4,000ワット(W)を供給する。第1の励起RF電源は、27MHzで150Wを供給する。第2の励起RF電源は、60MHzで500Wを供給する。エッチングおよびポリマガスは、プラズマに変換される。25mTorrの圧力が維持される。約1500nmの深さまでエッチングするために、エッチングは、300秒間維持される。次いで、エッチングが停止される。

20

30

【0030】

図4Bは、選択的エッチング後の略断面図である。選択的エッチングは、フィーチャ420が部分的にエッチングされる間に、マスク412上に正味のフルオロカーボンポリマ蒸着物416を提供する。フルオロカーボンポリマ蒸着物は、より多くの蒸着物を受ける片側がより多くの蒸着物を受け続けることでさらに非対称になるように蒸着され、非対称になる傾向にあることが予期せず見いだされている。かかる非対称な蒸着物は、エッチングフィーチャの底部の中央が不等間隔になることから、ねじれの原因になる。理解を促すため、図4Bは、距離x<sub>1</sub>だけ隔たった2つのフィーチャの底部と、距離x<sub>1</sub>よりも大きい距離x<sub>2</sub>だけ隔たった2つのフィーチャの底部とを示している。

【0031】

フルオロカーボンポリマは、選択的にマスクから除去される(工程108)。かかる選択的除去の一例では、400sccmのArおよび10sccmのO<sub>2</sub>を含むアッシングまたはトリミングガスが、トリミングガス源264からエッチングチャンバ240の内部へ供給される。バイアスRF電源は、2MHzで300Wを供給する。第1の励起RF電源は、27MHzで100Wを供給する。第2の励起RF電源は、60MHzで200Wを供給する。トリミングガスは、プラズマに変換される。20mTorrの圧力が維持される。この除去は、25秒間維持される。次いで、除去が停止される。O<sub>2</sub>によってポリマのアッシングが可能になる。Arはいくらかの衝撃を提供しうるが、除去のほとんどはO<sub>2</sub>によってなされる。

40

【0032】

50

図4Cは、フルオロカーボンポリマ除去後の略断面図であり、マスクが再成形されている。非対称なフルオロカーボンポリマが除去されているため、再成形されたマスクは、より正確にパターンニングされている。また、この処理は、マスクフィーチャを元々の幅により近くなるように開口する。

#### 【0033】

再び、炭素系マスクに対して誘電体層を選択的にエッチングしつつ、無限大の選択比を提供するために炭素系マスク上に正味のフルオロカーボンポリマ層を蒸着する(工程112)。かかる $\text{SiO}_2$ 誘電体層のエッチングの一例では、200 sccmの $\text{Ar}$ 、20 sccmの $\text{C}_4\text{F}_8$ 、82 sccmの $\text{C}_4\text{F}_6$ 、および、64 sccmの $\text{O}_2$ を含むエッチングおよびポリマガスが、エッチングガス源260およびポリマガス源268からエッチングチャンバ240の内部に供給される。バイアスRF電源は、2 MHzで4,000ワット(W)を供給する。第1の励起RF電源は、27 MHzで150 Wを供給する。第2の励起RF電源は、60 MHzで500 Wを供給する。エッチングおよびポリマガスは、プラズマに変換される。25 mTorrの圧力が維持される。エッチングは、誘電体層が完全にエッチングされるまで維持される。次いで、エッチングが停止される。

#### 【0034】

図4Dは、選択的エッチング後の略断面図である。選択的エッチングは、フィーチャ420が部分的にエッチングされる間に、マスク412上に正味のフルオロカーボンポリマ蒸着物416を提供する。フルオロカーボンポリマ蒸着物は、より多くの蒸着物を受ける片側がより多くの蒸着物を受け続けるように蒸着され、非対称になる傾向を有する。かかる非対称な蒸着物は、エッチングフィーチャの底部の中央が不等間隔になることから、ねじれの原因になる。理解を促すため、図4Dは、距離 $x_1$ だけ隔たった2つのフィーチャの底部と、距離 $x_1$ よりも大きい距離 $x_2$ だけ隔たった2つのフィーチャの底部とを示している。

#### 【0035】

マスクからフルオロカーボンポリマを選択的に除去することによって、結果としてマスク再成形がなされ、ねじれが低減される。例えば、マスクの再成形がなければ、 $x_1$ と $x_2$ の間の差は2倍になりうる。

#### 【0036】

上述の例において、2.1  $\mu$ の深さのエッチングに対しては、30:1のアスペクト比が達成された。3  $\mu$ の深さのエッチングに対しては、40:1のアスペクト比が達成された。

#### 【0037】

図5は、ねじれの量を測定するのに有効な概略図である。楕円504は、エッチングフィーチャの底部を概略的に示したものである。格子508は、元々のマスクのレイアウトにおけるフィーチャの中心の位置を示しており、各フィーチャの中心は格子点に位置する。図に示すように、エッチングフィーチャの底部の楕円504の中心は、必ずしもすべてが格子点と揃っている訳ではない。この例において、ねじれを測定するには、x方向のねじれが、楕円の中心とそれに対応する格子点との間のx方向における差の二乗平均平方根(rms)の平均値を用いて決定され、y方向のねじれが、楕円の中心とそれに対応する格子点との間のy方向における差のrmsの平均値を用いて決定され、楕円の中心とそれに対応する格子点との間のrms距離が、総ねじれになる。

#### 【0038】

あるレイアウトは、2.40 nmのx方向のねじれをフィーチャにもたらす。エッチングのみを用いた対照例では、6.4 nmのx方向のねじれを有することがわかった。マスクからのフルオロカーボンポリマの選択的除去を用いた上述の例では、4.03 nmのねじれが測定された。

#### 【0039】

図に示したように、フィーチャは、x方向においてフィーチャをより近く配置できるように、楕円形になっている。フィーチャがx方向において互いにより近くに位置するため

10

20

30

40

50

、 $x$ 方向における距離がより重要であり、 $x$ 方向の許容誤差がより小さくなる。

#### 【0040】

##### パルス化の例

別の例では、炭素系マスクに対して誘電体層を選択的にエッチングしつつ、無限大の選択比を提供するために炭素系マスク上に正味のフルオロカーボンポリマ層を蒸着する（工程104）。かかる $\text{SiO}_2$ 誘電体層のエッチングの一例では、200 sccmの $\text{Ar}$ 、20 sccmの $\text{C}_4\text{F}_8$ 、82 sccmの $\text{C}_4\text{F}_6$ 、および、64 sccmの $\text{O}_2$ を含むエッチングおよびポリマガスが、エッチングガス源260およびポリマガス源268からエッチングチャンバ240の内部に供給される。バイアスRF電源は、2 MHzで4,000ワット（W）を供給する。第1の励起RF電源は、27 MHzで150 Wを供給する。第2の励起RF電源は、60 MHzで500 Wを供給する。エッチングおよびポリマガスは、プラズマに変換される。25 mTorrの圧力が維持される。このエッチングは、240秒間維持される。次いで、エッチングが停止される。

10

#### 【0041】

フルオロカーボンポリマは、選択的にマスクから除去される（工程108）。かかる選択的除去の一例では、400 sccmの $\text{Ar}$ および10 sccmの $\text{O}_2$ を含むアッシングまたはトリミングガスが、トリミングガス源264からエッチングチャンバ240の内部へ供給される。バイアスRF電源は、2 MHzで300 Wを供給する。第1の励起RF電源は、27 MHzで100 Wを供給する。第2の励起RF電源は、60 MHzで200 Wを供給する。トリミングガスは、プラズマに変換される。20 mTorrの圧力が維持される。この除去は、25秒間維持される。次いで、除去が停止される。

20

#### 【0042】

誘電体層は、再び、炭素系マスクに対して選択的にエッチングされる（工程112）。この例では、バイアスRF電源はパルス化される。かかる $\text{SiO}_2$ 誘電体層のエッチングの一例では、200 sccmの $\text{Ar}$ 、20 sccmの $\text{C}_4\text{F}_8$ 、82 sccmの $\text{C}_4\text{F}_6$ 、および、70 sccmの $\text{O}_2$ を含むエッチングおよびポリマガスが、エッチングガス源260およびポリマガス源268からエッチングチャンバ240の内部に供給される。バイアスRF電源は、2 MHzで4,000ワット（W）を供給し、バイアス信号は、80  $\mu\text{s}$ で50%のデューティサイクルでパルス化される。第1の励起RF電源は、27 MHzで150 Wを供給する。第2の励起RF電源は、60 MHzで500 Wを供給する。エッチングおよびポリマガスは、プラズマに変換される。25 mTorrの圧力が維持される。パルスエッチングは、誘電体層が完全にエッチングされるまで維持され、この例においては、600秒間維持される。次いで、パルスエッチングは停止される。パルス化された処理では、より多くの重合が起きるために、重合を低減するためにより多くの酸素が必要になることから、この工程では、同様の非パルス化工程よりも多くの酸素を供給する。

30

#### 【0043】

図6は、長径 $y$ および短径 $x$ を有する楕円604の概略図である。楕円率は、短径に対する長径の比 $y/x$ と定義される。レイアウトフィーチャの楕円率は、1.69である。非パルスのバイアスRFを用いた対照試験では、楕円率は3.11であった。標準的なエッチング条件下では、フィーチャの断面は、長径が長くなり短径が短くなる傾向があり、楕円率が大きくなることがわかっている。パルス化は、エッチング処理を減速することによってエッチング時間を長くするが、楕円率は低減されることが、予期せずわかった。上述の例において、楕円率は1.94であることがわかった。

40

#### 【0044】

パルスエッチングを用いた別の実施形態において、エッチングされたフィーチャのCDが大きい場合などは、ねじれを問題にしなくてもよい。かかる場合には、マスクに対するフルオロカーボンポリマの選択的除去の工程なしに、エッチングの際にパルスバイアスを用いてもよい。かかるエッチングでは、エッチング処理全体にわたって、パルスエッチングを用いてもよい。

#### 【0045】

50

マスクに対する誘電体層の選択的エッチングは、3 : 1 よりも大きい選択比を有することが好ましい。選択比は、5 : 1 より大きいことが好ましい。選択比は、無限大の選択比であることが最も好ましい。

【0046】

炭素系マスクに対するフルオロカーボンポリマの選択的除去は、少なくとも2 : 1 であることが好ましい。選択比は、少なくとも1 . 3 : 1 であることがより好ましい。選択比は、少なくとも1 . 1 : 1 であることが最も好ましい。

【0047】

誘電体層は、窒化シリコン系、酸化シリコン系、様々な有機または無機の低誘電体など、多くの様々な誘電材料の1つから作られてよい。

10

【0048】

上述の例では、2回の選択的エッチングの合間に、マスクからのフルオロカーボンポリマの選択的除去を行ったが、他の例では、より多くの選択的エッチングの合間に、フルオロカーボンポリマの選択的除去を行うものとしてもよい。例えば、フルオロカーボンポリマの選択的除去を合計3回必要とする5回の選択的エッチングが用いられてもよい。かかる処理では、処理時間が長くなりうるが、ねじれがさらに低減される。フルオロカーボンポリマの選択的除去の回数が多すぎると、炭素系マスクを除去しすぎる場合があり、望ましくない。

【0049】

誘電体の選択的エッチングは、フルオロカーボンまたはハイドロフルオロカーボンガスのいずれかを含むエッチングおよびポリマガスの供給を必要とする。エッチングおよびポリマガスは、フルオロカーボンガスを含むことがより好ましい。エッチングおよびポリマガスは、さらに、酸素含有ガス( $\text{CO}_2$ または $\text{O}_2$ であってよい)を含むことがより好ましく、その酸素含有ガスは $\text{O}_2$ であることが好ましい。エッチングおよびポリマガスは、Ar など、衝撃ガスをさらに含むことがより好ましい。

20

【0050】

炭素系マスクに対するフルオロカーボンポリマの除去の選択比を大きくするために、炭素系マスクは、非晶質炭素マスクであることがより好ましい。

【0051】

以上、いくつかの好ましい実施形態を参照しつつ本発明について説明したが、本発明の範囲内で、様々な代替物、置換物、および等価物が存在する。また、本発明の方法および装置を実施する他の態様が数多く存在することにも注意されたい。したがって、添付の特許請求の範囲は、本発明の真の趣旨および範囲内に含まれる代替物、置換物、および等価物の全てを網羅するものとして解釈される。たとえば、エッチングチャンバ内で炭素系マスクを介して超高アスペクト比フィーチャの誘電体層をエッチングするための方法を提供する。この方法は、前記炭素系マスクに対して前記誘電体層を選択的にエッチングし、前記炭素系マスク上にフルオロカーボン系ポリマの正味の蒸着を提供することと、前記選択的エッチングを停止することと、前記炭素系マスクに対して前記誘電体層をさらに選択的にエッチングすることとを備え、前記さらに選択的にエッチングは、フルオロカーボン含有分子および酸素含有分子を含むエッチングガスの流れを前記エッチングチャンバへ供給し、パルスバイアスRF信号を供給し、励起RF信号を供給することと、を備える。

30

40

また、エッチングチャンバ内で炭素系マスクを介して超高アスペクト比フィーチャの誘電体を選択的エッチングする方法を提供する。この方法は、フルオロカーボン含有分子および酸素含有分子を含むエッチングガスの流れを前記エッチングチャンバへ供給し、パルスバイアスRF信号を供給し、励起RF信号を供給して、前記エッチングガスをプラズマに変換することを備える。

さらに、炭素系マスクの下方のエッチング層にUHARフィーチャをエッチングするための装置を提供する。この装置は、プラズマ処理チャンバであって、プラズマ処理チャンバ容器を形成するチャンバ壁と、前記プラズマ処理チャンバ容器内で基板を支持するための基板支持部と、前記プラズマ処理チャンバ容器内の圧力を調整するための圧力調整部と

50

、前記プラズマ処理チャンバ容器に電力を供給してプラズマを維持するための少なくとも1つの電極と、1kHzから10MHzの間のRF周波数を有する信号を供給するRFバイアス電源と、前記RFバイアス電源に接続され、前記RFバイアス電源をパルス化することが可能なパルス生成部と、1kHzから5MHzの間のRF周波数を有する信号を供給する第1のRF励起電源と、10MHzから40MHzの間のRF周波数を有する信号を供給する第2のRF励起電源と、前記プラズマ処理チャンバ容器内にガスを供給するためのガス流入口と、前記プラズマ処理チャンバ容器からガスを排出するためのガス流出口と、を備えるプラズマ処理チャンバと、

前記ガス流入口と流体連通したガス源であって、酸素源と、フルオロカーボンポリマガス源と、を備えるガス源と、

10

前記ガス源、前記RFバイアス電源、前記第1のRF励起電源、前記第2のRF励起電源、および、前記少なくとも1つの電極に対して、制御可能に接続された制御部であって、少なくとも1つのプロセッサと、コンピュータ読み取り可能な媒体と、を備える、制御部とを備え、

前記コンピュータ読み取り可能な媒体は、前記炭素系マスクに対する前記誘電体層の選択的なエッチングを提供するためのコンピュータ読み取り可能なコードであって、前記第1の選択エッチングはフルオロカーボン系ポリマの正味の蒸着を提供する、コンピュータ読み取り可能なコードを備え、前記選択的なエッチングを提供するためのコンピュータ読み取り可能なコードは、前記酸素源からの酸素と前記フルオロカーボンポリマガス源からのフルオロカーボンポリマガスとを含むエッチングガスの流れを、前記処理チャンバ容器に供給するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、前記RFバイアス電源に電圧を印加するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、前記RFバイアス電源をパルス化するためのコンピュータ読み取り可能なコードと、前記第1のRF励起電源および前記第2のRF励起電源に電圧を印加して、エネルギーを供給し、前記エッチングガスおよびポリマ形成ガスからプラズマを形成するためのコンピュータ読み取り可能なコードとを備える

20

。

【図 1】

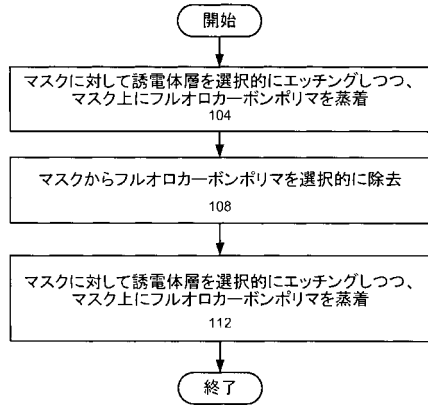


FIG. 1

【図 2】

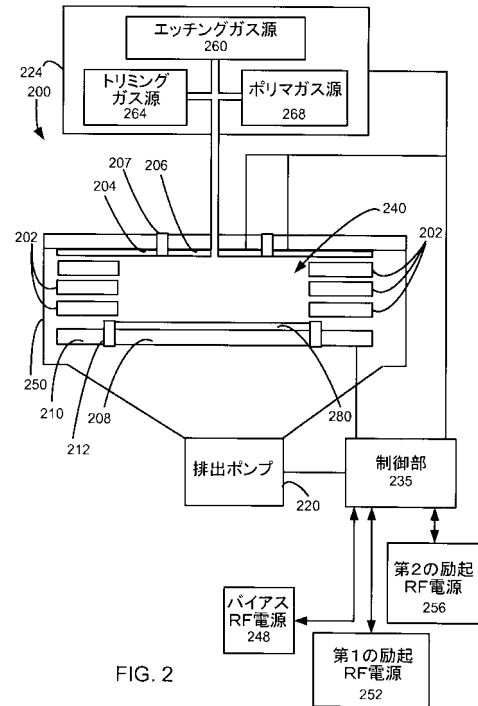


FIG. 2

【図 3 A】

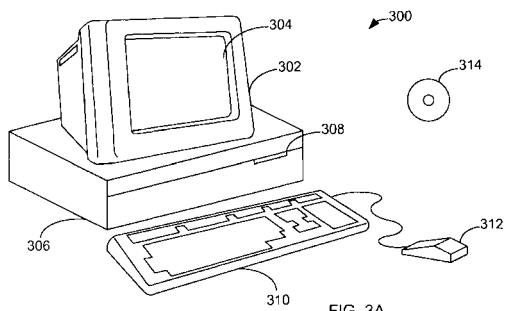


FIG. 3A

【図 4 A】

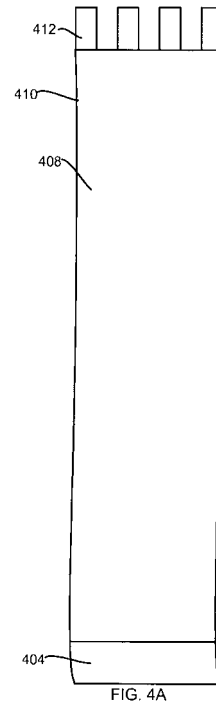


FIG. 4A

【図 3 B】

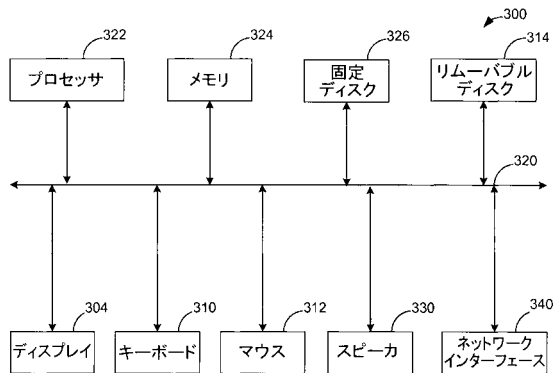
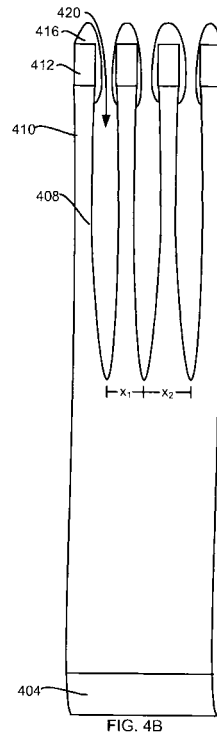
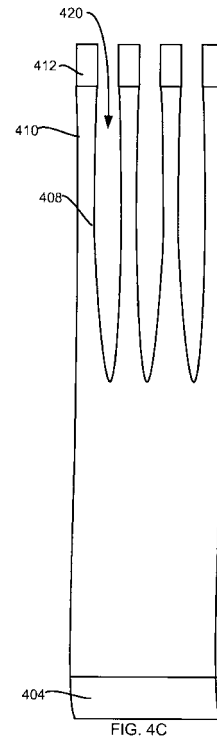


FIG. 3B

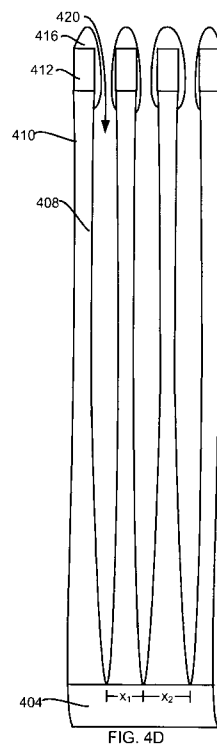
【図 4 B】



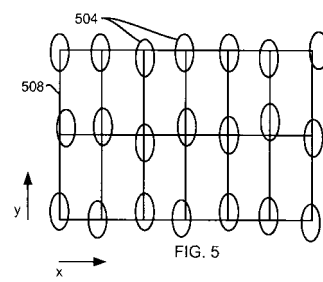
【図 4 C】



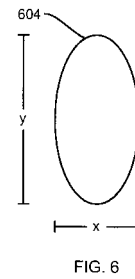
【図 4 D】



【図 5】



【図 6】





---

フロントページの続き

(72)発明者 エデルバーグ・エリック・エー・  
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 4 5 8 2 サン・ラモン, エンフィールド・ストリート, 3  
1 5 2

## 合議体

審判長 鈴木 正紀

審判官 豊永 茂弘

審判官 木村 孔一

(56)参考文献 特開 2 0 0 0 - 1 3 3 6 3 8 ( J P , A )  
特開 2 0 0 1 - 3 3 2 5 1 0 ( J P , A )