

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第2区分

【発行日】平成24年2月16日(2012.2.16)

【公表番号】特表2010-503207(P2010-503207A)

【公表日】平成22年1月28日(2010.1.28)

【年通号数】公開・登録公報2010-004

【出願番号】特願2009-526632(P2009-526632)

【国際特許分類】

H 01 L 21/3065 (2006.01)

H 01 L 21/768 (2006.01)

H 01 L 21/28 (2006.01)

【F I】

H 01 L 21/302 105 A

H 01 L 21/90 A

H 01 L 21/28 L

【誤訳訂正書】

【提出日】平成23年12月26日(2011.12.26)

【誤訳訂正1】

【訂正対象書類名】特許請求の範囲

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

反応チャンバ内に、上を覆うマスキング層を持つ層間誘電体(ILD)層を提供するステップであって、前記マスキング層は前記ILD層の一部分を露出する開口部を持つ、ステップと、

炭素化合物から生成されたプラズマ励起種を含むエッチングケミストリで、前記ILD層の前記露出部分をエッチングするステップと、

その後、ケイ素化合物を含むガスから生成されたプラズマ励起種を前記エッチングケミストリに加えることによって前記ILD層をエッチングし続けるステップと、  
を含む、半導体処理のための方法。

【請求項2】

前記ケイ素化合物を含む前記ガスからプラズマ励起種を生成するステップは、 $Si_xM_yH_z$ からプラズマ励起種を生成するステップを含み、Siはケイ素、Hは水素、Mはフッ素(F)、臭素(Br)、塩素(Cl)、およびヨウ素(I)からなる群から選択される一つ以上のハロゲンであり、 $x \geq 1$ 、 $y \geq 0$ 、 $z \geq 0$ である、請求項1の方法。

【請求項3】

前記ケイ素化合物を含む前記ガスからプラズマ励起種を生成するステップは、 $x = 1$ 、 $y = 1$ 、 $z = 0$ である $Si_xM_yH_z$ からプラズマ励起種を生成するステップを含む、請求項2の方法。

【請求項4】

前記炭素化合物から生成されたプラズマ励起種で、前記ILD層の前記露出部分をエッチングするステップは、C M H からプラズマ励起種を生成するステップを含み、Cは炭素、Hは水素、Mはフッ素(F)、臭素(Br)、塩素(Cl)、およびヨウ素(I)からなる群から選択される一つ以上のハロゲンであり、 $x = 1$ 、 $y = 0$ 、 $z = 0$ である、請求項2の方法。

【請求項5】

C M H からプラズマ励起種を生成するステップは、 1、 1、 0であるC M H からプラズマ励起種を生成するステップを含む、請求項4の方法。

【請求項6】

前記ILD層の前記露出部分に、酸素化合物から生成されたプラズマ励起種を接触させるステップをさらに含む、請求項3の方法。

【請求項7】

前記ILD層の前記露出部分に前記酸素化合物から生成されたプラズマ励起種を接触させるステップは、分子酸素(O<sub>2</sub>)からプラズマ励起種を生成するステップを含む、請求項6の方法。

【請求項8】

前記ILD層の前記露出部分に前記ケイ素化合物から生成された前記プラズマ励起種を接触させるステップは断続的に行われ、前記ILD層の前記露出部分は、前記炭素化合物から生成された前記プラズマ励起種と連続的に接触する、請求項1の方法。

【請求項9】

前記炭素化合物から生成されたプラズマ励起種を含む前記エッチングケミストリで、前記ILD層の前記露出部分をエッチングするステップは、前記エッチングケミストリによって前記誘電体層内にエッチングされる開口部の深さを増加しながら、前記開口部の側壁の少なくとも一部上に不動態化層を同時に形成するステップを含む、請求項1の方法。

【請求項10】

前記誘電体層内にエッチングされる前記開口部は、80 nm以下の幅と、15:1以上のアスペクト比を持つ、請求項9の方法。

【請求項11】

前記誘電体層内にエッチングされる開口部の幅のばらつきが、3シグマ以内、10 nm RMS未満である、請求項10の方法。

【誤訳訂正2】

【訂正対象書類名】明細書

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】高アスペクト比のフィーチャを形成するための選択的エッチングケミストリおよび関連構造

【技術分野】

【0001】

本発明は、様々な実施形態において、概して集積回路製造に関し、特に集積回路製造中に材料をエッチングするための方法と、その結果得られる構造とに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、集積回路製造は、ソフトマスクもしくはハードマスクに開口部のパターンを形成すること、および、パターニングされたマスクを通して材料をエッチングし、材料に開口部を形成することを含む。いくつかの用途では、エッチングされた材料は、順に、下にある材料への次のパターン転写のためのハードマスク（もしくは第二のハードマスク）として使用され得る。ダマシン応用では、エッチングされた開口部は、絶縁層において例えばビアおよび／またはトレンチの形をとることができ、これは、導電性コンタクト、相互接続線、および、キャパシタやトランジスタなどの電気デバイスを含む、集積回路の様々な部品を形成するために使用できる。

【0003】

材料のエッチングは乾式エッチングを行うことを含む可能性があり、そこで材料は指向性プラズマに晒され、励起種は緊密な角度分布で材料に向けられる。原則として、乾式エッチングは、比較的真っ直ぐな側壁を持つ均一な開口部を形成する。励起種は、材料と共に

に揮発性の種を形成することによって、および／または、励起種による衝撃により、材料を物理的にスパッタリングして除去することによって、材料をエッティングする。

#### 【0004】

一般に、エッティングされる材料は層間誘電体などの誘電体を含む。誘電体内の開口部は、集積回路の中に様々な導電性もしくは半導電性のフィーチャを保持するために使用でき、誘電体はフィーチャ間に電気絶縁性をもたらす。

#### 【0005】

酸化ケイ素は一般に使用される誘電材料であり、様々な方法で形成することができ、様々な他の構成要素を含むことができる。酸化ケイ素ベースの材料のための典型的な乾式エッティングケミストリは、ヒドロフルオロカーボン、酸素(O<sub>2</sub>)および不活性ガスを含む。図1を参照すると、エッティングケミストリは、マスキング層20内の開口部10を通してプラズマ励起種として方向づけられ、酸化ケイ素層30をエッティングする。図2を参照すると、プラズマ励起種の流れは主に垂直であるが、いくらかのプラズマ励起種の経路は水平成分を持ち、これは側壁のエッティングを引き起こす可能性がある。このエッティングは弓状化した側壁の形成を引き起こし、その結果、“弓状化(ボウイング)”と一般に称される。結果として生じるビア間もしくはトレンチ間の絶縁材料の薄化は、とりわけ、破損、ビア／トレンチを充填する導体素子間の短絡、もしくは寄生容量につながる可能性がある。

#### 【0006】

図2を引き続き参照すると、エッティングケミストリのヒドロフルオロカーボンからの炭素が、エッティング中に開口部50に堆積して重合し、それによって重合体膜60を形成し得る。一般に、堆積は主に、開口部50の上部付近でマスキング層20の壁に隣接して起こる。重合体膜60は、重合体膜60の最も厚い部分でいわゆるネックを形成する。ある場合には、重合体膜60は開口部50を遮るもしくは塞ぐほど厚く成長し得る。しかしながら典型的には、開口部50は開いたままであり、これらのネックは、側壁40の上に“影”を形成することができ、それによって側壁40をエッティングから保護し、それによって弓状化を減らすことができるので、有用となり得る。

#### 【0007】

側壁40を保護するために好ましいものの、厚いネック領域を持つ重合体膜60は、開口部50へのいくらかのエッチャントの流れを遮る可能性もある。つまり、周辺部分よりも開口部50の底部の中央部分により多くのエッチャントが達するにつれて、中央部分にある材料が優先的に除去されるようになる。その結果、開口部50は層30の中にさらに進行するにつれて先細りし得る。重合体膜60が開口部50内で非対称に堆積する場合、あるいは異なる開口部50間で異なる量で堆積する場合、先細りは不均一になる可能性があり、不均一な開口部50を形成することになる。当然のことながら、集積回路製造においては、例えば最終製品の特性の予測可能性、信頼性、および均一性を可能にするために、真っ直ぐな側壁40と均一な開口部50の形成が一般的に望まれる。しかしながら、ネック領域においてより薄い重合体膜60を形成することによって先細りを最小化することは、側壁40の保護が不十分になる可能性があり、過度の弓状化を生じ得る。

#### 【発明の概要】

#### 【0008】

従って、エッティングされる開口部の特性の効果的な制御を可能にする方法と構造が必要とされる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0009】

【図1】先行技術に従う、エッティングされる材料の上にあるパターニングされたソフトマスクもしくはハードマスクを持つ、部分的に製造された集積回路の断面側面図である。

【図2】先行技術に従う、指向性プラズマエッティングを行った後の、図1の部分的に製造された集積回路の断面側面図である。

【図3】本発明の実施形態に従う、誘電材料の上にあるパターニングされたマスクを持つ、部分的に製造された集積回路の断面側面図である。

【図4】本発明の実施形態に従う、誘電材料をエッティングした後の、図3の部分的に製造された集積回路の断面側面図である。

【図5】本発明の実施形態に従う、マスクを除去し、エッティングされた開口部を洗浄した後の、図4の部分的に製造された集積回路の断面側面図である。

【図6】本発明の他の実施形態に従う、誘電材料を通してエッティングし、マスクを除去し、エッティングされた開口部を洗浄した後の、図3の部分的に製造された集積回路の断面側面図である。

【図7】本発明の実施形態に従って形成されたトレンチの走査電子顕微鏡写真である。

【図8A】本発明の実施形態に従う、および先行技術に従う、エッティングの特性を示すチャートである。

【図8B】本発明の実施形態に従う、および先行技術に従う、エッティングの特性を示すチャートである。

【図8C】本発明の実施形態に従う、および先行技術に従う、エッティングの特性を示すチャートである。

【図8D】本発明の実施形態に従う、および先行技術に従う、エッティングの特性を示すチャートである。

【図8E】本発明の実施形態に従う、および先行技術に従う、エッティングの特性を示すチャートである。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0010】

本発明の実施形態は、高いプロファイル制御と、高いプロファイル均一性と共に、誘電材料にエッティングされる開口部の壁の不動態化（パッシベーション）を可能にするエッティングケミストリを提供する。エッティングケミストリは、ケイ素種とハロゲン種、または好ましくは炭素種と酸素種を含む。これらの種の少なくとも一つ、および好ましくは各々は、プラズマ励起種であってもよい。

##### 【0011】

いくつかの実施形態では、プラズマ励起種は、ケイ素化合物、炭素化合物、および／または酸素化合物から生じる、もしくは生成される。いくつかの実施形態では、ケイ素化合物は $\text{Si}_x\text{M}_y\text{H}_z$ としてあらわすことができ、“Si”はケイ素、“M”は一つ以上のハロゲン（例えばフッ素、臭素、および／または塩素），“H”は水素であり、 $x > 1$ 、 $y > 0$ 、 $z > 0$ である（好ましくは $y = 1$ ）。上述したように、エッティングケミストリは炭素化合物も含んでもよく、これは $\text{C}_x\text{M}_y\text{H}_z$ としてあらわすことができ、“C”は炭素、“M”は一つ以上のハロゲン、“H”は水素であり、 $x > 1$ 、 $y > 0$ 、 $z > 0$ である（好ましくは $x = 1$ ）。加えて、エッティングケミストリは酸素化合物（例えば分子酸素（ $\text{O}_2$ ）、過酸化水素（ $\text{H}_2\text{O}_2$ ）、もしくは水（ $\text{H}_2\text{O}$ ））を含んでもよい。当然のことながら、ある場合には、それからケイ素、ハロゲン、炭素、および酸素のプラズマ励起種のうちの二つ以上を生成できる化合物を利用することが可能となり得る。例えば、ケイ素、炭素、およびハロゲン原子で形成された化合物が考慮される。

##### 【0012】

エッティングケミストリは、高アスペクト比の開口部を形成するために、層間誘電体もししくはケイ素含有誘電材料などの誘電材料のプラズマエッティングを有利に可能にする。ケイ素化合物中のケイ素は、側壁にケイ素層を形成して開口部の側壁を不動態化し得る。ケイ素層は、例えば従来のフッ化炭素化学物質を用いて形成し得るケイ素を含まない重合体層よりも、エッチャントに対する耐性が有利に高い。このエッチャントに対する耐性は、フッ化炭素のみの使用と比較して側壁の弓状化を減少する。さらに、下記でさらに述べるように、ケイ素化合物は、ケイ素化合物および／または炭素化合物（炭素化合物がエッティングケミストリに含まれる際）にとって適切なハロゲン成分を選択することによって、不動態化とエッティングの程度を有利に調整することができる。

##### 【0013】

加えて、開示された実施形態に従うエッティングケミストリ（ $\text{SiF}_4$ を含むものなど）は、

多くの従来のエッティングケミストリよりも高い選択性を提供することが有利にわかっている。さらに、ケイ素不動態化層は、プラズマエッティング中に蓄積し得る、開口部を画定する表面からプラズマ励起種を跳ね返す可能性がある電荷を散逸させることができる。電荷の蓄積を最小化することによって、より多くのプラズマ励起種が誘電材料内の開口部（例えばビアもしくはトレチ）の表面に達することができるので、エッティング速度を増加することができる。

#### 【0014】

ここで図を参照するが、同様の数字は全体を通して同様の部分をあらわす。当然のことながら、図およびその中の部分は必ずしも縮尺通りに描かれていない。

#### 【0015】

図3を参照すると、部分的に製造された集積回路100が図示されている。パターニングされたマスキング層120が、下記で述べるように、エッティングされる誘電材料もしくは絶縁材料の層130の上にある。マスキング層120は開口部110のパターンを含む。図示された実施形態では、パターニングされたマスキング層120は炭素含有ハードマスク層であり、例えば光透過性の高い透明非晶質炭素層などの非晶質炭素層であることが好ましい。透明性の高い炭素を形成するための堆積技術は、A. Helmbold, D. Meissner, Thin Solid Films, 283 (1996) 196-203に見られ、この全開示は引用により本明細書に組み込まれる。

#### 【0016】

開口部110のパターンは、フォトレジスト層および一つ以上の介在ハードマスク層などの、一つ以上の上を覆っている層からのパターン転写後に形成され得る。フォトレジストはレチクルを通して放射に晒され、その後、マスキング層120に転写される所望のパターンを形成するために現像され得る。

#### 【0017】

マスキング層120のための別の炭素材料の例は、フォトレジストそのものである。他の材料の例では、マスキング層120は、層130の誘電材料に対して選択的にエッティングされ、選択され得る、例えばケイ素もしくは窒化ケイ素などのケイ素含有材料で形成されてもよい。

#### 【0018】

層130は、ケイ素を含有し得る誘電材料を含む。例えば、層130は酸化ケイ素の形であってもよく、層間誘電体（ILD）層であることが好ましい。図示された実施形態では、層130は、例えば、二酸化ケイ素などの非ドープ酸化ケイ素、フッ化酸化ケイ素（FSG）、ホウリン酸ケイ酸ガラス（BPSG）およびリン酸ケイ酸ガラス（PSG）などのケイ酸ガラス、ドープもしくは非ドープの熱成長酸化ケイ素、ドープもしくは非ドープのTEOS堆積酸化ケイ素などの酸化ケイ素で形成される。

#### 【0019】

図4を参照すると、酸化ケイ素層130が乾式エッティングに晒されている。エッティング中、指向性プラズマ励起種は、マスキング層120の開口部110（図3）を通して移動した後、層130に接触し、それによって、層130をエッティングし、開口部150を形成する。当然のことながら、“プラズマ励起種”とは、ガスへのエネルギーの印加を介して生成されるラジカル、イオン、もしくは他の励起種をあらわす。プラズマ励起種は、基板を含む反応チャンバの内部でダイレクトプラズマ発生器を用いる（すなわち、“インサイチュ（in situ）”もしくは“直接”のプラズマ発生）か、もしくはリモートプラズマ発生器を用いて（すなわち、“エクスサイチュ（ex situ）”もしくは“遠隔”のプラズマ発生）生成され得る。プラズマ励起種はインサイチュで生成されてもよい。エネルギーは、誘導結合、紫外線放射、マイクロ波、容量結合、RF電力の印加などの様々な方法を介してガスに印加（もしくは結合）され得る。結合エネルギーがないと、プラズマ発生は終了する。プラズマ励起種は、限定されることなく、ハロゲンラジカルおよびイオンを含んでもよい。エッティング中、プラズマ励起種（例えばF<sup>+</sup>）は、方向性エッティングもしくは異方性エッティングをもたらすために、好ましくは電場の印加を介して、エッティングされる材料の表面に向けられることが好ましい。

## 【0020】

プラズマ種は、ケイ素化合物、およびより好ましくはケイ素とハロゲンの化合物を含むエッチングケミストリから生成される。実施形態では、ケイ素化合物は一般に $\text{Si}_x\text{M}_y\text{H}_z$ であらわされ、“Si”はケイ素、“M”はフッ素、臭素、塩素、もしくはヨウ素などの一つ以上のハロゲン、“H”は水素であり、 $x > 1$ 、 $y > 0$ 、 $z > 0$ である。より好ましくは、 $y = 1$ となるように、ケイ素化合物は層130のエッチングに役立つハロゲンを含む。例えば、いくつかの実施形態では、ケイ素化合物は比較的強力なエッチング化合物である $\text{SiF}_4$ である。あまり強力でない他のケイ素化合物の例は、下記で述べる通り、 $\text{SiBr}_2\text{F}_2$ 、 $\text{SiBr}_2\text{H}_2$ 、 $\text{SiBr}_4$ 、 $\text{SiBr}_3\text{H}$ 、および $\text{SiH}_4$ である。加えて、エッチングケミストリは異なるケイ素化合物の組み合わせも含むことができる。エッチングケミストリは、不活性搬送ガス（例えばヘリウム（He）、アルゴン（Ar）、およびネオン（Ne））を用いて、部分的に製造された集積回路100を含む反応チャンバに供給されることが好ましい。

## 【0021】

エッチングケミストリは炭素化合物も含むことが好ましい。炭素化合物はC M Hとしてあらわされ、“C”は炭素、“M”は一つ以上のハロゲン、“H”は水素であり、 $x > 1$ 、 $y > 0$ 、 $z > 0$ である。より好ましくは、 $x = 1$ となるように、層130のエッチングに役立つ少なくとも一つのハロゲンが含まれる。炭素化合物の例は $\text{CF}_4$ と $\text{C}_2\text{Br}_6$ を含む。異なる炭素含有化合物の組み合わせも考慮される。

## 【0022】

理論に制限されることなく、例えば誘電体層130のケイ素と（炭素もしくはケイ素の化合物からの）ハロゲン種との反応に起因する揮発性化合物の形成を伴う、励起種との物理的衝撃による層130の材料のスパッタリングは、層130からの材料の除去を引き起こし、それによって開口部150を形成すると考えられる。材料の除去に役立つために、エッチングケミストリは炭素化合物も含むことが好ましい。炭素原子は、酸素原子の除去に役立つ揮発性の炭素と酸素の化合物（例えばCOおよび/または $\text{CO}_2$ ）を形成するために、例えば酸化ケイ素からの酸素原子と有利に反応する。

## 【0023】

いくつかの実施形態では、エッチングケミストリは酸素化合物も含むことが好ましく、これは炭素を燃焼することができるようである。酸素化合物の例は分子酸素（ $\text{O}_2$ ）である。

## 【0024】

理論に制限されることなく、酸素化合物は、（例えば“燃焼”反応を通して）炭素と揮発性化合物を形成することによって、開口部150から炭素を除去することで、プロセス許容度を増加するために使用され得る。例えば、炭素化合物からの炭素は、開口部150から誘電体層130の酸素を除去するために利用でき、いくつかの用途では、これは、例えばエッチングの強力さを増すために、開口部150に過剰の炭素化合物を供給するために望ましいことがある。酸素化合物は、さもなければ開口部150に蓄積してしまう炭素を除去することができるので、酸素化合物の使用は、開口部150に供給される炭素化合物の量において、より大きなプロセス許容度を有利に可能にする。

## 【0025】

当然のことながら、本明細書で開示された様々な化合物の様々な添字（ $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $、$ 、 $、$ および $、$ など）の数値は、化合物を形成する様々な構成原子によって形成され得る結合の数によって制限される。例えば、当業者は、ケイ素と炭素の原子は他の原子に対して四つの結合を形成し、一方ハロゲンと水素は一つの他の原子と一つの結合を形成することができるだろう。

## 【0026】

引き続き図4を参照すると、エッチングケミストリは、マスキング層120の表面上を含む、開口部150の側壁140に不動態化膜160を有利に堆積する。理論に制限されることなく、ケイ素化合物のケイ素は、不動態化膜160を形成するために堆積および重合化することによって、側壁140を不動態化すると考えられる。さらに、炭素化合物からの炭素もまた

、特にマスキング層120の表面上で、不動態化膜160の形成に役立つように堆積および重合し得る。ある場合には、開口部150の上端に向かって、マスキング層120の表面上では、不動態化膜160は炭素含有重合体（主に炭素で形成される）で形成され得るが、開口部150の下方では、誘電体層130上で、不動態化膜160はシリコーンなどのケイ素含有重合体（主にケイ素で形成される）となり得る。

#### 【0027】

有利なことに、不動態化膜160のケイ素は、膜をエッチャントによるエッチングに対して高耐性にする。従って、不動態化膜160は側壁140をエッチングから保護し、それによつて弓状化を最小化する。当然のことながら、不動態化膜160の多少のエッチングは起こるが、これは、好ましい実施形態のケイ素化合物を使用しないフッ化炭素を用いる従来のエッチングと比較すれば、ごくわずかと考えられる。不動態化膜160を全くエッチングされないままにするというよりも、エッチングケミストリは、不動態化膜160が側壁140を保護し、弓状化を最小化することができるようにながら、開口部150を塞ぐように不動態化膜160が成長するのを妨げるために十分な速度で、不動態化膜160をエッチングするように選択されることが好ましい。

#### 【0028】

さらに、不動態化膜160の比較的高いエッチング耐性は、より薄い不動態化層が形成されることを可能にし、それによって、ネック領域162における開口部のサイズを増加する。この比較的狭い不動態化層160と、比較的広いネック開口部162は、改良されたプロファイル制御に有利に寄与する。有利なことに、ネックによるエッチャントの遮断が減少され、それによって開口部150の先細りを減少することができる。結果として、より真っ直ぐで垂直な側壁140を形成することができ、開口部150の幅は開口部の高さを通してより均一になる。加えて、開口部150の先細りの減少は、フィーチャのアスペクト比を効果的に減少することによって、エッチング速度を有利に増加し得る。

#### 【0029】

当然のことながら、不動態化膜160は所望の垂直エッチング速度を有利に増加し得る。エッチング中のプラズマ励起種の生成と使用により、側壁140に電荷が蓄積し得る。これらの電荷は、帯電エッチャント種をはじくことによって、および、開口部150の底部に作用するそのような帯電励起種の数を好ましくなく減らすことによって、エッチング速度を減少し得る。有利なことに、ケイ素含有層は半導電性で、電荷の散逸と、電荷蓄積の最小化を可能にする。結果として、より多くの帯電エッチャント種が開口部150の底部に達し、その底部で材料をエッチングすることができ、それによってエッチング速度を増加する。例えば、開口部150の底部は正に帯電し、エッチングケミストリの陽イオンの反発を引き起こし得る。ケイ素含有膜160などの導電性もしくは半導電性の膜の堆積を介して、開口部150の底部の正電荷を減らすことで、この反発を減らすことにより、エッチング速度を増加し得る。

#### 【0030】

不動態化の相対的な程度と、エッチングケミストリのエッチング強度は、他のパラメータの中でも、適切なハロゲン（群）の選択によって調整できる。当然のことながら、様々なハロゲンの相対的なエッチング強度は、最も強力な(F)から最も強度の低い(I)に至るまで、F>Cl>Br>Iと一般化できる。ハロゲンと水素の組み合わせ（例えばSiF<sub>a</sub>Cl<sub>b</sub>Br<sub>c</sub>H<sub>d</sub>）は、不動態化の相対的な程度とエッチング強度をさらに調整するために利用できる。側壁140の不動態化の程度と、不動態化膜160のエッチング速度は、弓状化を最小化するためにバランスがとれていることが好ましいので、ケイ素化合物を含むエッチングケミストリのエッチング強度を調整する能力は、このバランス調節を有利に促進する。いくつかの実施形態では、ケイ素化合物はより強力なエッチャントと併用され、ケイ素化合物は、例えばSiH<sub>4</sub>であってもよく、主に不動態化剤として機能でき、一方ハロゲンエッチャントは例えばフッ化炭素として供給される。

#### 【0031】

上述の通り、いくつかの実施形態では、当然のことながら、開口部150のプロファイル

制御は、プロセスパラメータ（例えばプラズマエネルギー、プラズマパルス期間、基板温度、反応器圧力、および流速）を適切に選択することによって、および、反応チャンバに供給されるエッティングケミストリのケイ素化合物、炭素化合物、および酸素化合物の組成と相対比率を選択することによって、実現され得る。例えば、エッティングケミストリの強力さは、エッティング強度が大きいもしくは小さいハロゲンを有するケイ素および／または炭素の化合物を選択することによって調整できる。いくつかの実施形態では、ケイ素化合物のみがエッティングケミストリに含まれる（この場合、エッティングケミストリはハロゲンを含むが炭素種は含まない）が、好ましくは炭素化合物、より好ましくは炭素と酸素の化合物も含まれる。

#### 【0032】

また、当然のことながら、エッティングケミストリの様々な化合物は、別々にもしくは断続的に反応チャンバに流すことができる。いくつかの実施形態では、炭素化合物と酸素化合物は連続的にチャンバに流され得、ケイ素化合物は断続的にチャンバに流される。炭素化合物はマスク開口部の側壁に不動態化膜（パッシベーション膜）を形成し得る。しかしながら、エッティングが進行するにつれて、上を覆っているマスキング層120と、マスキング層120の表面上のいくらかの不動態化膜もエッティングされる。その結果、マスキング層120は薄くなり、エッティングによって形成されるネックおよびいくらかの弓状化が誘電体層130に入り込む可能性がある。例えば、マスキング層120が徐々に薄くなるにつれ、炭素不動態化膜もエッティングされ、炭素不動態化膜によって形成されるネックが徐々に開口部150の下方に形成されるようになり得る。ある場合には、ネックはマスク開口部の側壁から誘電体層130の側壁に移動し得る。こうしてネックが下げられると、ネックの上の誘電体層130の部分がエッチャントから保護されないままになる可能性がある。これが起こる前に、不動態化膜のエッティングに対する耐性を増して、それによってネックの降下を減らし、マスキング層120の薄化を減らすために、ケイ素化合物をエッティングケミストリに加えることができる。エッティング耐性をもたらすことに加えて、ケイ素化合物は、マスクの高さを増加してマスキング層120の薄化を妨げるために、マスキング層120上に堆積し得る。不動態化膜の過度の堆積もしくは成長を防ぐために、ケイ素化合物の流れは一時の間止めることができる。その後、マスキング層120の薄化と、不動態化膜のエッティングが再度好ましくないレベルにまで進行する前に、ケイ素化合物を再度加えることができる。従って、ケイ素含有不動態化剤は、時間的に離れたパルスで周期的に流すことができ、一方炭素含有エッチャントは、連続的に流されるか、あるいはケイ素含有不動態化剤と交互に流されるかのいずれかである。

#### 【0033】

図5を参照すると、エッティング後、マスキング層120を除去することができ、開口部150をエッティング後の洗浄プロセスに晒して、洗浄された開口部150aを形成することができる。当然のことながら、マスキング層120は、層を形成する材料を除去するために適切なエッティングもしくは他のプロセスに晒すことができる。例えば、フォトレジストを除去するためにアッシングプロセスが使用できる。不動態化膜160は、例えばCF<sub>4</sub>などのフッ素含有ガスをO<sub>2</sub>およびN<sub>2</sub>と併用するアッシングプロセスを含む、様々なプロセスによって除去できる。多くの量のケイ素が使用されるいくつかの場合では、エッティングケミストリからのケイ素は、側壁140（図4）に、除去し難いケイ素化合物を形成する可能性がある。そのような場合には、ケイ素化合物を除去するために、ストリッピングプロセスで従来使用されるマイクロ波ストリッパーよりも、バイアスストリッパーが適用され得る。

#### 【0034】

層130を通って部分的にしかのびていないように示されるが、いくつかの実施形態では、当然のことながら、層130を完全に貫通する開口部が形成されるようにエッティングが行われ得る。図6を参照すると、下にある層170がエッティング停止層としてはたらく。すなわち、エッティングは層130を形成する材料と比較して、下にある層170に選択的である。結果として、層130を完全に貫通する開口部150bが形成され、それによって下にある層170を露出する。

### 【 0 0 3 5 】

部分的に製造された集積回路100は、その後、完成した集積回路を形成するためにさらに処理され得る。例えば、引き続き図6を参照すると、開口部150bは、層170が相互接続などの導電性フィーチャを含む場合、導電性コンタクトなどの様々なフィーチャを形成するために、材料で充填され得る。他の用途では、エッティングされた層130は、開口部150bによって画定されるパターンを下にある層170に転写するためのマスクとして使用され得る。別の実施例では、図6を参照すると、また、開口部150bはトランジスタもしくはキャパシタなどの様々な電気デバイスを形成するために材料で充填され得る。例えば、開口部150bは、容器型のキャパシタへのコンタクトのためのポリシリコンプラグを形成するために使用でき、これもまた、開口部150b内に形成され得る。

### 【 0 0 3 6 】

有利なことに、好ましい実施形態に従う処理は、均一で高アスペクト比のフィーチャもしくは開口部の形成を可能にする。例えば、開口部150a(図5)もしくは150b(図6)は約15:1以上、約20:1、またはより好ましくは約30:1以上、または約40:1以上のアスペクト比(深さ対開口部の上端における幅)を持ち得る。また、開口部150aもしくは150bは、100nm未満の幅で有利に狭くなり得、約80nm未満、もしくは約65nmほど小さくなり得る。開口部150aもしくは150bは、その深さを通して非常に均一となり得、幅のばらつきは約10nm RMS(3シグマ以内)未満である。

### 【 0 0 3 7 】

さらに、開示された実施形態は、エッティング速度、エッティング選択性、形成されるフィーチャの均一性、および形成され得る開口部のアスペクト比において、従来のエッティングに勝る改良を有利に可能にする。これらのカテゴリーにおいて、15%、より好ましくは25%の改良が可能である。例えば、これらの実施形態は、穴150a、150b(図5および6)の形成において、約50-60 /min以上のエッティング速度と、約4:1以上の選択性(例えば酸化ケイ素層のエッティング速度と非晶質炭素層のエッティング速度の比率)を可能にする。

### 【 0 0 3 8 】

加えて、形成される開口部は、より均一でほとんど垂直な側壁を持つ。当然のことながら、開口部の間に材料もしくは仕切り132を持つ開口部150a、150b、および、側壁140の弓状化の量は、仕切り132に関連して特徴付けられ得る。上端幅134(開口部150aの上端における仕切り132の幅)対弓状化幅136(最も狭い点における仕切り132の幅)の比率は、約1.4:1以下、約1.3:1以下、もしくはさらに約1.2:1以下となり得る。いくつかの実施形態では、上端幅134対弓状化幅136の比率は約1.15:1である。従って、弓状化の程度は有利に低くなる。当然のことながら、仕切り132は開口部150a、150b内に形成される導電体間の絶縁分離として機能し得る。例えば、同じアスペクト比の開口部に対し、同じ選択性を持ち、同じエッティング速度を用いる従来のエッティングを行うと、本発明のいくつかの実施形態から得られるものよりも約25-30%大きい上端幅134対弓状化幅136の比率がもたらされ得る。

### [ 実施例 ]

酸化ケイ素誘電体層が、トレンチを形成するために非晶質炭素マスキング層を通してエッティングされた。エッティングは、日本の東京の東京エレクトロン株式会社から市販されている二重周波数容量結合反応器で行った。エッティングケミストリはSiF<sub>4</sub>、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>、およびO<sub>2</sub>を含み、アルゴン搬送ガスと共に反応チャンバに供給した。SiF<sub>4</sub>は約18立方センチメートル毎分(sccm)の流速で反応チャンバに供給し、C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>は約35 sccmで流し、O<sub>2</sub>は13 sccmで流した。基板温度は約50°で、反応チャンバの圧力は約35 mTorrであった。60 MHzで1500Wの電力を上端電極に結合し、2 MHzで2750Wの電力を底部電極に結合した。得られたトレンチは約25:1のアスペクト比を持ち、上端の幅は約90 nmであった。

### 【 0 0 3 9 】

図7を参照すると、得られたトレンチの走査電子顕微鏡写真が示される。有利なことに、トレンチは非常に均一で真っ直ぐな側壁を持つ。

### 【 0 0 4 0 】

図 8 A - 8 E を参照すると、エッチングは、Ar搬送ガスと共にC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>およびO<sub>2</sub>からなるエッチングケミストリを利用する基準エッチングに勝る様々な改良を与えることがわかった。とりわけ、依然として高いエッチング速度を実現しながら（図 8 B）、非晶質炭素ハーダマスクと比較して酸化ケイ素に対するエッチングの選択性が増加した（図 8 A）。加えて、弓状化CD（トレンチ間のエッチングされていない誘電材料の幅）、もしくは弓状化幅が増加し、これは弓状化が減少したことを示す（図 8 C）。また、ネックと弓状化の寸法間の差（ネック - 弓状化寸法）は有利に低く、これは、トレンチの壁が非常に真っ直ぐであることを示す（図 8 D）。

#### 【0041】

また、いくらかの弓状化の発生の深さは、基準エッチングケミストリよりも低かった（図 8 E）。有利なことに、これは弓状化の程度と、エッチングされる開口部のプロファイルの制御を容易にする。例えば、いくつかの実施形態では、いくらかの弓状化が開口部の高さにわたってより均一に分布するように、エッチングの過程でエッチングケミストリを変更できる。例えば、エッチングケミストリは、比較的浅い弓状化の深さを与えるエッチングケミストリ（たとえば基準エッチングケミストリ）から、比較的深い弓状化の深さを与えるもの(SiF<sub>4</sub>)に変更できる。結果として、所定の高さにおける弓状化の量が減少するように、いくらかの弓状化が開口部の高さにわたって分布され得る。

#### 【0042】

本発明は様々な実施形態を含むことが本明細書の記載から理解されるだろう。例えば、本発明の一実施形態に従って、集積回路を形成するための方法が提供される。方法は、反応チャンバ内に、上を覆うマスキング層を持つ層間誘電体（ILD）層を提供するステップを含む。マスキング層は、ILD層の一部分を露出する開口部を持つ。プラズマ励起種がケイ素化合物を含むガスから生成される。ILD層は、ILD層の露出部分にプラズマ励起種を接触させることによってエッチングされる。

#### 【0043】

本発明の別の実施形態に従って、半導体処理のための方法が提供される。方法は、ケイ素含有誘電体層の露出部分に、ハロゲン化合物とケイ素化合物を含む化学物質を接触させることによって、ケイ素含有誘電体の層をエッチングするステップを含む。化合物の少なくとも一つはプラズマ励起状態にある。

#### 【0044】

本発明のさらに別の実施形態に従って、半導体基板の上の層間誘電体（ILD）層に高アスペクト比のフィーチャを形成するための方法が提供される。方法はILD層の上にマスキング層を提供するステップを含む。マスキング層は、誘電体層を部分的に露出する一つ以上の開口部を持つ。ILD層の露出部分は、エッチングケミストリを用いてマスキング層に対して選択的にエッチングされる。エッチングケミストリは、ケイ素種、ハロゲン種、炭素種、および酸素種を含む。

#### 【0045】

本発明の別の実施形態に従って、層間誘電体（ILD）層を持つ部分的に製造された集積回路が提供される。部分的に製造された集積回路は、ILD層に形成される複数のフィーチャを含む。フィーチャはILD層内の開口部によって画定される側壁を持つ。フィーチャの各々の上端の幅は上端幅を画定し、フィーチャの最小幅は弓状化幅を画定する。上端幅対弓状化幅の弓状化比は、約1.4:1以下である。部分的に製造された集積回路は、少なくとも側壁の一部分上にケイ素重合体膜も含む。

#### 【0046】

上記の開示に加えて、本発明の範囲から逸脱することなく、上記の方法と構造に、様々な省略、付加、および変更がなされてもよいことも、当業者に理解されるだろう。そのような変更および変化は、添付の請求項によって規定される本発明の範囲の内にあるように意図される。