

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3641869号

(P3641869)

(45) 発行日 平成17年4月27日(2005.4.27)

(24) 登録日 平成17年2月4日(2005.2.4)

(51) Int. Cl.⁷

F I

H O 1 L 21/316

H O 1 L 21/316

X

H O 1 L 21/31

H O 1 L 21/95

請求項の数 4 (全 8 頁)

| | | | |
|-----------|-----------------------|-----------|----------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願平8-62250 | (73) 特許権者 | 000002185 |
| (22) 出願日 | 平成8年3月19日(1996.3.19) | | ソニー株式会社 |
| (65) 公開番号 | 特開平9-260367 | | 東京都品川区北品川6丁目7番35号 |
| (43) 公開日 | 平成9年10月3日(1997.10.3) | (74) 代理人 | 100086298 |
| 審査請求日 | 平成15年2月19日(2003.2.19) | | 弁理士 船橋 國則 |
| | | (72) 発明者 | 佐藤 淳一 |
| | | | 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内 |
| | | 審査官 | 田中 永一 |
| | | (56) 参考文献 | 特開平07-307293 (JP, A) |
| | | | 特開平06-302593 (JP, A) |
| | | | 特開平05-302170 (JP, A) |
| | | | 最終頁に続く |

(54) 【発明の名称】 半導体装置の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

シラン系ガス、酸化性ガス、フッ化カルコゲン化合物を主体とする原料ガスを用いたCVD法により、被処理基板上にフッ素を含む酸化シリコン系絶縁膜を形成する工程を有すること

を特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項2】

フッ化カルコゲン化合物は、 OF_2 、 S_2F_2 、 SF_2 、 SF_4 、 S_2F_{10} 、 SeF_4 および TeF_4 からなる群から選ばれるいずれか少なくとも一種であること

を特徴とする請求項1記載の半導体装置の製造方法。

【請求項3】

シラン系ガスは、無機シラン系ガスおよび有機シラン系ガスのうちのいずれか少なくとも一種であること

を特徴とする請求項1記載の半導体装置の製造方法。

【請求項4】

被処理基板に超音波を印加しつつ、フッ素を含む酸化シリコン系絶縁膜を形成することを特徴とする請求項1記載の半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

10

20

本発明は半導体装置の製造方法に関し、さらに詳しくは、フッ素を含む低誘電率の酸化シリコン系絶縁膜を形成する工程を有する半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

LSI等の半導体装置の高集積化が進展するに伴い、多層配線構造においては同一配線層内の隣り合う配線間の層間絶縁膜の幅が狭まるとともに、異なる配線層間の層間絶縁膜の厚さも薄くなっている。かかる配線間隔の縮小により、配線間容量の上昇が問題となりつつある。このため半導体装置の実動作速度は $1/K$ (K は縮小率)のスケーリング則に合わなくなり、高集積化のメリットを十分に享受することができない。配線間容量の上昇防止は、高集積度半導体装置の高速動作、低消費電力および低発熱等の諸要請に応えるため

10

には、是非とも解決しなければならない要素技術の1つである。

【0003】

高集積度半導体装置の配線間容量の低減方法として、例えば特開昭63-7650号公報に開示されているように、低誘電率材料の層間絶縁膜への採用が有効である。低誘電率材料としては、フッ素を含む酸化シリコン系絶縁膜(以下SiOFと記す)等の無機系材料が代表的であるが、この他にもシロキサン結合を有する有機SOG(Spin On Glass)、ポリイミド、ポリパラキシリレン(商品名パリレン)、ポリナフタレン等の有機高分子材料や、フレア(アライドシグナル社商品名)あるいはパーフルオロ基含有ポリイミドやフッ化ポリアリルエーテル等のフッ素樹脂系の有機高分子材料がある。これら低誘電率材料については、例えば日経マイクロデバイス誌1995年7月号p.105に

20

紹介されている。

【0004】

これら比誘電率が3.5以下の低誘電率材料層を、隣り合う配線間はもとより、異なるレベルの配線層間にも適用し、しかも低誘電率材料層を SiO_2 (比誘電率4)、 $SiON$ (比誘電率4~6)や Si_3N_4 (比誘電率6)等の膜質に優れた絶縁膜により挟み込む構造の積層絶縁膜を、本願出願人は特願平7-3727号明細書に提案し、低誘電率と高信頼性を合わせ持つ層間絶縁膜を有する半導体装置の可能性を示した。

【0005】

低誘電率材料のうち、SiOFはその成膜プロセスが SiO_2 等従来の無機系層間絶縁膜の成膜プロセスと整合性があることから、現用の製造設備でも容易に採用できるので注目

30

【0006】

されている。すなわち、一般的には特開平6-333919号公報に開示されているように、酸化シリコン系絶縁膜を形成する SiH_4 等の原料ガスを SiF_4 等のフルオロシラン系ガスに変更してCVDを施すことによりSi-F結合を酸化シリコン系絶縁膜中に取り込み、SiOFを形成することができる。しかしながら SiF_4 はプラズマ中での解離率が小さいことから、Si-F結合を充分に取り込むことは困難である。

40

【0007】

一方、 NH_3 等の塩基性ガスを添加してプラズマ中の原料ガスの解離を促進する方法を本願出願人は特開平6-295907号公報に開示した。この方法によれば、酸化シリコン系絶縁膜中の水酸基濃度の低減に卓越した効果が見られるが、比誘電率低減の効果は少ない。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は上述した従来技術の問題点に鑑みて発明されたものであり、比誘電率が十分に低減され、しかも添加ガスによるコンタミネーションのない、フッ素を含む酸化シリコン系絶縁膜を形成する工程を有する半導体装置の製造方法を提供することをその課題とする。

【0009】

50

【課題を解決するための手段】

本発明の半導体装置の製造方法は、上述の課題を解決するために提案するものであり、シラン系ガス、酸化性ガス、フッ化カルコゲン化合物を主体とする原料ガスを用いたCVD法により、被処理基板上にフッ素を含む酸化シリコン系絶縁膜を形成する工程を有することを特徴とする。

【0010】

本発明で採用するフッ化カルコゲン化合物は、 OF_2 (mp = -223.8、bp = -144.8)、 S_2F_2 (mp = -120.5、bp = -38.4)、 SF_2 (室温で気体)、 SF_4 (mp = -121、bp = -38)、 S_2F_{10} (mp = -52.7、bp = 30)、 SeF_4 (mp = -13.8、bp = >100)、 TeF_4 (bp > 97) が例示され、これら化合物を単独あるいは複数種組み合わせる用いることができる。

10

また本発明で採用するシラン系ガスは、公知の無機シラン系ガスおよび有機シラン系ガスのうちのいずれも使用することができる。

本発明の一実施態様においては、被処理基板に超音波を印加しつつ、フッ素を含む酸化シリコン系絶縁膜を形成することが望ましい。

【0011】

次に作用の説明に移る。

本発明においては、 $SiOF$ 膜のCVD法による成膜におけるフッ素供給源ガスとして、コンタミネーションとして残留する元素を含まず、プラズマ中での解離にも優れたフッ素化合物として、カルコゲン元素とフッ素原子から構成される化合物を採用する。O、S、SeあるいはTe等のカルコゲン元素は単体で蒸気圧が大きく、気体あるいは昇華性元素である。したがって、 $SiOF$ 膜中にカルコゲン元素が取り込まれる虞れは少ない。また例えば $SiOF$ 膜中にカルコゲン元素が微量取り込まれても、成膜後の熱処理により昇華除去することができる。成膜後、 $SiOF$ 膜を化学的機械研磨等により平坦化後に熱処理すれば、昇華除去は効率的におこなわれる。また例えば $SiOF$ 膜からカルコゲン元素が昇華脱離してマイクロポアが発生しても、マイクロポア中の空気の比誘電率は1であるので、低誘電率化にはむしろ好都合である。

20

【0012】

ところで、フッ化カルコゲン化合物として代表的な SF_6 は、一分子の解離により大量の F^\cdot (フラジカル)が発生しする。 F^\cdot は $SiOF$ 膜のエッチャントともなりうるので、堆積と競合するエッチング反応が顕著となる。このためデポジションレートが飽和する現象が見られ、スループットの観点からは好ましい化合物ではない。

30

【0013】

さらに、CVD反応系に超音波振動を印加することにより、被処理基板の振動エネルギーや、原料ガス分子の並進ないしは回転等の振動エネルギーレベルが高まり、原料ガスの解離反応や、中間生成物の被処理基板上でのマイグレーションが活性化される。このため、従来より低温でも効率良く、ステップカバレッジのよい成膜が可能となる。

【0014】

これらの作用により、コンタミネーションのない $SiOF$ 膜を実用的なデポジションレートで形成することが可能となる。

40

【0015】

なお、本発明に類似の先願として、基板支持具あるいは反応空間に超音波振動を印加しつつ SiO_2 膜を形成する方法が特開平5-44037号公報に開示されている。これは $O_3/TEOS$ 系による熱分解CVDによるものであり、またコンタミネーションのない低誘電率の酸化シリコン系絶縁膜形成については、具体的な記述は見当たらない。

【0016】**【実施例】**

以下、本発明の具体的実施例につき図面を参照しながら説明する。始めに本発明の各実施例で一例として用いる枚葉式プラズマCVD装置の構成例および動作につき、図2に示す

50

概略断面図を参照して説明する。

【 0 0 1 7 】

図 2 に示す装置は、その基本構成は平行平板型プラズマ C V D 装置である。すなわち、S i O F を形成すべき被処理基板 1 1 は、ヒータ 1 3 を内蔵する接地電位の基板ステージ 1 2 上にセッティングする。ガス導入孔 1 6 に導入する原料ガスは、ガス拡散板 1 5 で拡散され、被処理基板 1 1 に対向して多孔板状のガス吹き出し孔を有するガスシャワーヘッド 1 4 を経由して被処理基板 1 1 表面に均一に噴出する。符号 1 7 は被処理基板の外周上面に配設したガスリングであり多数のガス噴出孔をもつ中空円環状のノズル部材であり、必要に応じて原料ガスの 1 部や、希釈ガス等を添加するものである。符号 1 8 は図示しない真空ポンプに接続されたガス排出孔、符号 1 9 は上部電極を兼ねるガスシャワーヘッド 1 4 に R F パワーを供給する R F 電源である。なおガスシャワーヘッド 1 4 と基板ステージ 1 2 の上下関係を逆にした構成、すなわち被処理基板 1 1 を下向きに背面保持するフェースダウン構成とすれば、被処理基板 1 1 表面へのパーティクル付着が防止される。

10

【 0 0 1 8 】

本プラズマ C V D 装置の特徴部分は、超音波振動印加手段 2 0 A、2 0 B および 2 0 C である。このうち、超音波振動印加手段 2 0 A は基板ステージ 1 2 内に組み込み、被処理基板 1 1 を直接に励振するものである。超音波振動印加手段 2 0 B は、ガス拡散板 1 5 に組み込み、ガスシャワーヘッド 1 4 から噴出する原料ガスを励振する。超音波振動印加手段 2 0 B はガスシャワーヘッド 1 4 やガス導入孔 1 6、あるいはガスリング 1 7 に取り付けてもよい。また超音波振動印加手段 2 0 C は C V D チャンバ内壁に取り付け、被処理基板 1 1 上面の原料ガスを励振するものである。超音波振動印加手段 2 0 C は、被処理基板 1 1 近傍の原料ガスを効果的に励振するため、ホーンを取り付け超音波の指向性を高めている。これはスピーカシステムにおけるホーンツイータのごときものである。超音波振動印加手段 2 0 C は、エッチングチャンバ内壁に複数個取り付けることが望ましい。超音波振動印加手段としては、圧電素子、磁歪素子、磁気回路とコイルによる動電型等、各種の電気 / 音響変換器を任意に用いてよい。

20

【 0 0 1 9 】

実施例 1

次に、S i O F の形成工程の具体的実施例を説明する。本実施例は、A l 系金属配線上に S i O F からなる低誘電率層間絶縁膜を、S i H₄、O₂ および S₂ F₂ を原料ガスとしてプラズマ C V D により形成した例であり、これを図 1 (a) ~ (b) を参照して説明する。

30

【 0 0 2 0 】

まず S i 等の半導体基板 1 上の層間絶縁膜 2 上に例えば 0 . 3 5 μ m 幅のラインアンドスペースからなる A l 系金属からなる配線層 3 を形成し、これを被処理基板とする。これを図 1 (a) に示す。

【 0 0 2 1 】

次に S i H₄ と N₂ O をソースガスとした通常のプラズマ C V D により、薄い下層絶縁膜 (図示せず) をコンフォーマルに形成する。この下層絶縁膜は次工程で堆積する S i O F 膜の膜質を補完するために形成するが、必要がなければ成膜を省略してもよい。

40

【 0 0 2 2 】

続けて図 2 に示した C V D 装置の基板ステージ 1 2 にこの被処理基板 1 1 を載置し、本実施例の要部である S i O F 膜のプラズマ C V D を一例として下記条件により施す。

| | | |
|-------------------------------|---------|--|
| S i H ₄ | 5 0 | s c c m |
| O ₂ | 5 0 | s c c m |
| S ₂ F ₂ | 3 0 | s c c m |
| ガス圧力 | 2 7 | P a |
| R F 電源パワー | 0 . 0 8 | W / c m ² (1 3 . 5 6 M H z) |
| 基板温度 | 3 0 0 | |

【 0 0 2 3 】

50

SiOF膜の厚さは、Al系金属配線上部で例えば0.3 μmの厚さとなるまで形成した。この結果、図1(b)に示すようにステップカバレッジが良く、炭素やイオウのコンタミネーションのないSiOFからなる層間絶縁膜4が実用的なデポジションレートで形成された。層間絶縁膜4の比誘導率は3.3であった。この段階で層間絶縁膜4の段差凸部を化学的機械研磨等により平坦化してもよい。

この後、再びSiH₄とN₂Oをソースガスとした通常のプラズマCVDにより、薄い上層絶縁膜(図示せず)を必要に応じて形成する。このような積層構造をとることにより、耐湿性にすぐれた信頼性の高い低誘電率の層間絶縁膜を得ることができる。

【0024】

実施例2

本実施例はS₂F₂の代わりにOF₂を用いた他は、実施例1に準じたものである。

本実施例によっても、実用的な成膜速度で比誘導率3.3を有するSiOFからなる層間絶縁膜4がステップカバレッジよく、またコンタミネーションなく形成された。

【0025】

実施例3

本実施例は、実施例1におけるS₂F₂に替えてSF₄を使用し、併せて被処理基板に超音波を印加しつつSiOFを形成した例である。本実施例で採用した被処理基板は、実施例1において図1(a)で示したものと同じであるので、重複する説明は省略する。この被処理基板11を図2に示したCVD装置の基板ステージ12に載置し、SiOFのプラズマCVDを一例として下記条件により施す。なお超音波振動は、基板ステージ12に組み込んだ超音波振動印加手段20Aを用いて印加した。励振用の電力は一例として100Wとしたが、被処理基板11の直径や重量、電気/音響変換器の変換効率により最適値は変動する。

| | | |
|------------------|------|---------------------------------|
| SiH ₄ | 50 | s c c m |
| O ₂ | 50 | s c c m |
| SF ₄ | 30 | s c c m |
| ガス圧力 | 27 | Pa |
| RF電源パワー | 0.08 | W / cm ² (13.56 MHz) |
| 超音波振動(連続的) | 100 | W (200 kHz) |
| 基板温度 | 300 | |

【0026】

SiOF膜の厚さは、Al系金属配線上部で0.3 μmの厚さとなるまで形成した。この結果、図1(b)に示すようにステップカバレッジが良く、炭素やイオウのコンタミネーションのないSiOFからなる層間絶縁膜4が実用的なデポジションレートで形成された。層間絶縁膜4の比誘導率は、S₂F₂の解離が超音波印加により向上し、効率的にフッ素原子が膜中に取り込まれたことから、3.2の値が得られた。

【0027】

実施例4

本実施例は、実施例1におけるS₂F₂に替えてSeF₄を使用し、併せてガスシャワーヘッド14から噴出する原料ガスに超音波を印加しつつSiOFを形成した例である。かかる構成をとることにより、プラズマ空間および被処理基板の双方に超音波振動エネルギーを与えることができる。

本実施例で採用した被処理基板は、実施例1において図1(a)で示したものと同一であり、重複する説明は省略する。この被処理基板11を図2に示したCVD装置の基板ステージ12に載置し、SiOFのプラズマCVDを一例として下記条件により施す。なお超音波振動は、ガスシャワーヘッド14内のガス拡散板15に組み込んだ超音波振動印加手段20Bを用いて印加した。励振用の電力は一例として100Wとしたが、ガス拡散板15の直径や重量、電気/音響変換器の変換効率あるいはガス流量等により最適値は変動する。

| | | |
|------------------|----|---------|
| SiH ₄ | 50 | s c c m |
|------------------|----|---------|

10

20

30

40

50

| | | |
|--------------------|------|--------------------------------------|
| O ₂ | 50 | s c c m |
| S e F ₄ | 30 | s c c m |
| ガス圧力 | 27 | P a |
| R F 電源パワー | 0.08 | W / c m ² (13.56 M H z) |
| 超音波振動 (連続的) | 100 | W (200 k H z) |
| 基板温度 | 400 | |

【0028】

層間絶縁膜4の厚さは、Al系金属配線上部で0.3 μmの厚さとなるまで形成した。この結果、図1(b)に示すようにステップカバレッジが良く、炭素やセレンのコンタミネーションのないSiOFからなる層間絶縁膜4が実用的なデポジションレートで形成された。層間絶縁膜4の比誘導率は、SeF₄の解離が超音波印加により向上し、効率的にフッ素原子が膜中に取り込まれたことから、3.2の値が得られた。この段階で化学的機械研磨を施し、層間絶縁膜4の段差凸部を除去し平坦化してもよい。また基板の加熱処理により、層間絶縁膜4中に僅かに残留するセレンを昇華除去してもよい。

10

【0029】

以上、本発明を4例の実施例により説明したが、本発明はこれら実施例に何ら限定されるものではない。

【0030】

フッ化カルコゲン化合物としてS₂F₂、OF₂、SF₄およびSeF₄を例示したが、先述した各種化合物を用いることができる。

20

【0031】

シラン系ガスとしてSiH₄を採用したが、Si₂H₆等無機高次シラン系ガスであってもよい。また有機シラン系ガスとしてTEOSをはじめとし、Octa Methyl Cyclo Tetra Siloxane (OMCTS)、Tetra Propoxy Silane (TPOS)、Tetra Methyl Cyclo Tetra Siloxane (TMCTS)、Tetramethyl Orthosilicate (TMOS)、Diacetoxy Diteriallybutoxy Silane (DADBS)、Tetraethyl Silane (TES)、Tetramethyl Silane (TMS)等、他の有機シラン系ガスを適宜使用することができる。またこれら有機シラン系ガスにSiH₄、Si₂H₆等無機系のシランガスを混合して用いてもよい。

30

【0032】

酸化性ガスとしてO₂を用いたが、勿論他の酸化性ガスであるO₃、N₂O、NO₂、H₂OやH₂O₂を用いたり、混合してもよい。

その他、希釈ガスとしてHe、Ar、Xe等の希ガスやN₂を混合して用いてもよい。

【0033】

実施例中では超音波を基板ステージ12に組み込んだ超音波振動印加手段20Aおよびガス拡散板15に組み込んだ超音波印加手段20Bを用いて印加したが、チャンバ壁に直接取り付けられた超音波印加手段20Cを用いてもよい。

また超音波印加は、間欠的に印加してもよい。その周波数も200 kHz以外でもよく、複数の周波数を切り替えて印加したり、周波数や出力をスイープして印加してもよい。

40

【0034】

プラズマCVD法を用いる場合には、上記実施例で用いた平行平板型の装置の他に、マイクロ波CVD装置、ECR-CVD装置、さらにはヘリコン波プラズマや誘導結合プラズマ(ICP)等の高密度プラズマソースを用いることも可能である。また低圧Hgランプ等のUV光線の利用は原料ガスの解離の促進や、基板ダメージ低減に有用である。SiOF膜の下部構造にAl系金属配線が存在しない場合には、LP-CVDや常圧CVD法を採用することも可能である。この場合には、従来のこれらCVD装置の基板ステージやガスノズルあるいはCVDチャンバ等に、適宜超音波印加手段を付設して用いてもよい。

【0035】

50

前述の各実施例は、A1系金属配線上の層間絶縁膜を形成する場合について例示したが、他の配線材料層を用いる場合や、最終パッシベーション膜として用いる場合、さらにはトレンチアイソレーション等をボイドの発生なく平坦に埋め込む場合等に適用することもできることは言うまでもない。

【0036】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本発明によればフッ素原子の供給源となる原料ガスの構成成分である、炭素やイオウ等によるコンタミネーションのないSiOFからなる低誘電率を、実用的なデポジションレートで形成することが可能となる。

したがって、配線間容量による信号遅延が問題となるマイクロプロセッサや高集積度メモリ等の半導体装置を信頼性よく製造することが可能となる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1ないし3のプラズマCVDプロセスを説明する概略断面図であり、(a)は層間絶縁膜上に配線層を形成した状態、(b)は低誘電率酸化シリコン系絶縁膜からなる層間絶縁膜を形成した状態である。

【図2】本発明の実施例1ないし3で用いた枚葉式プラズマCVD装置の一構成例を示す概略断面図である。

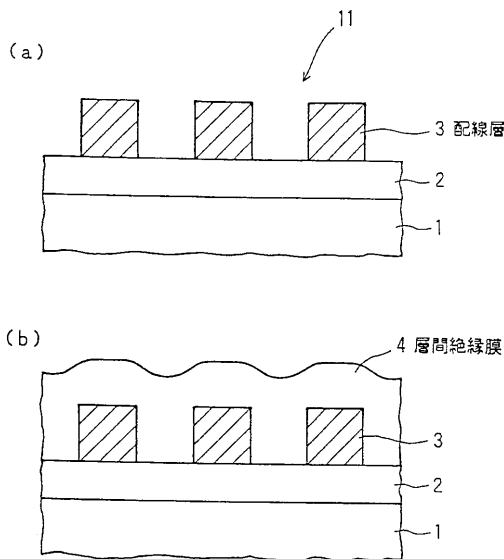
【符号の説明】

1...半導体基板、2...層間絶縁膜、3...配線層、4...層間絶縁膜

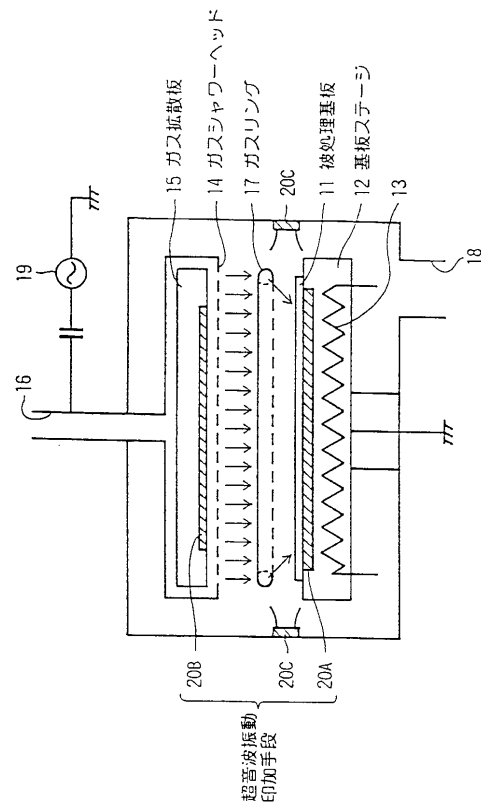
11...被処理基板、12...基板ステージ、13...ヒータ、14...ガスシャワーヘッド、15...ガス拡散板、16...ガス導入孔、17...ガスリング、18...ガス排出孔、19...RF電源、20A、20B、20C...超音波振動印加手段

20

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01L 21/31
H01L 21/312
H01L 21/314
H01L 21/316
H01L 21/318
H01L 21/205