

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4294696号  
(P4294696)

(45) 発行日 平成21年7月15日(2009.7.15)

(24) 登録日 平成21年4月17日(2009.4.17)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 L 21/3205 (2006.01)

H O 1 L 21/88 M

H O 1 L 23/52 (2006.01)

H O 1 L 21/02 Z

H O 1 L 21/02 (2006.01)

H O 1 L 21/304 6 4 5 C

H O 1 L 21/304 (2006.01)

H O 1 L 21/304 6 4 8 A

H O 1 L 21/3065 (2006.01)

H O 1 L 21/304 6 4 8 G

請求項の数 29 (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2007-24212 (P2007-24212)  
 (22) 出願日 平成19年2月2日(2007.2.2)  
 (65) 公開番号 特開2008-192739 (P2008-192739A)  
 (43) 公開日 平成20年8月21日(2008.8.21)  
 審査請求日 平成20年8月29日(2008.8.29)

(73) 特許権者 000219967  
 東京エレクトロン株式会社  
 東京都港区赤坂五丁目3番1号  
 (74) 代理人 100099944  
 弁理士 高山 宏志  
 (72) 発明者 佐古 卓司  
 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放  
 送センター 東京エレクトロン株式会社内  
 (72) 発明者 柏木 勇作  
 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放  
 送センター 東京エレクトロン株式会社内  
 (72) 発明者 戸島 宏至  
 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放  
 送センター 東京エレクトロン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体装置の製造方法および製造装置、ならびに記憶媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

表面に銅含有金属膜が露出した状態の半導体基板を準備する工程と、  
 前記銅含有金属膜の表面をラジカルまたは熱化学的手法により清浄化処理する工程と、  
 前記銅含有金属膜の表面にS iを導入する工程と、  
 前記銅含有金属膜のS iが導入された部分をラジカルにより窒化する工程と  
 を有する半導体装置の製造方法であって、  
 前記清浄化処理工程、前記S i導入工程、および前記窒化工程を真空を破ることなく連  
 続的に行うことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項2】

10

前記窒化工程により形成された窒化膜の上に誘電体膜を形成する工程をさらに有し、  
 前記清浄化処理工程、前記S i導入工程、前記窒化工程および前記誘電体膜形成工程を  
 真空を破ることなく連続的に行うことを特徴とする請求項1に記載の半導体装置の製造方  
 法。

【請求項3】

前記清浄化工程は、H<sub>2</sub>ガス、N<sub>2</sub>ガス、Arガス、NH<sub>3</sub>ガスの1種以上の処理ガス  
 のラジカルにより行われることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の半導体装置  
 の製造方法。

【請求項4】

20

前記清浄化工程は、複数のスロットを有する平面アンテナから放射されたマイクロ波により前記処理ガスをプラズマ化して形成されたラジカルにより行われることを特徴とする請求項 3 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 5】

前記清浄化工程は、前記処理ガスを高温の触媒に接触させることにより生成されたラジカルにより行われることを特徴とする請求項 3 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 6】

前記清浄化工程を実施する熱化学的手法は、半導体基板を加熱しつつ還元ガスを前記銅含有金属膜の表面に供給することにより行われることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 7】

前記窒化工程は、N 含有ガスのラジカルを用いて行われることを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 8】

前記窒化工程は、複数のスロットを有する平面アンテナから放射されたマイクロ波により前記処理ガスをプラズマ化して形成されたラジカルにより行われることを特徴とする請求項 7 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 9】

前記窒化工程は、前記処理ガスを高温の触媒に接触させることにより生成されたラジカルにより行われることを特徴とする請求項 7 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 10】

前記一連の工程を、同一チャンバ内で実施することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 11】

前記清浄化工程と前記 Si 導入工程とを第 1 のチャンバで行い、他の工程を第 2 のチャンバで行うことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 12】

前記清浄化工程と前記 Si 導入工程とを第 1 のチャンバで行い、前記窒化工程と前記誘電体膜形成工程とを第 2 のチャンバで行うことを特徴とする請求項 2 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 13】

前記清浄化工程と前記 Si 導入工程と前記窒化工程とを第 1 のチャンバで行い、前記誘電体膜形成工程を第 2 のチャンバで行うことを特徴とする請求項 2 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 14】

前記第 1 のチャンバは、複数のスロットを有する平面アンテナから放射されたマイクロ波により清浄化工程のためのガスおよび窒化工程のためのガスをプラズマ化してラジカルを生成する機能を有することを特徴とする請求項 13 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 15】

前記第 1 のチャンバは、清浄化工程のためのガスおよび窒化工程のためのガスを高温の触媒に接触させることによりラジカルを生成する機能を有することを特徴とする請求項 13 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 16】

前記各工程をそれぞれ別個のチャンバで行うことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項 17】

表面に銅含有金属膜が露出した状態の半導体基板の前記銅含有金属膜の表面を真空中でラジカルまたは熱化学的手法により清浄化処理する機構と、

前記銅含有金属膜の表面に真空中で Si を導入する機構と、

前記銅含有金属膜の Si が導入された部分を真空中でラジカルにより窒化する機構と

10

20

30

40

50

を有する半導体装置の製造装置であって、

前記清浄化処理、前記Si導入、および前記窒化を真空を破ることなく連続的に行うことを特徴とする半導体装置の製造装置。

【請求項18】

前記窒化により形成された窒化膜の上に真空中で誘電体膜を形成する機構をさらに有し、

前記清浄化処理、前記Si導入、前記窒化、および前記誘電体膜の形成を真空を破ることなく連続的に行うことを特徴とする請求項17に記載の半導体装置の製造装置。

【請求項19】

前記ラジカルにより清浄化する機構および前記ラジカルにより窒化する機構は、マイクロ波発生機構と、複数のスロットを有する平面アンテナと、前記マイクロ波発生機構で発生したマイクロ波を前記平面アンテナに伝送するマイクロ波伝送機構とを有し、前記平面アンテナにより放射されたマイクロ波により処理ガスをプラズマ化してラジカルを生成することを特徴とする請求項17または請求項18に記載の半導体装置の製造装置。

【請求項20】

前記ラジカルにより清浄化する機構および前記ラジカルにより窒化する機構は、高温に加熱されて処理ガスが接触する触媒を有し、処理ガスが前記触媒に接触した際にラジカルを生成することを特徴とする請求項17または請求項18に記載の半導体装置の製造装置。

【請求項21】

前記熱化学的手法により清浄化する機構は、半導体基板を加熱する手段と、前記銅含有金属膜の表面に還元ガスを供給する手段とを有することを特徴とする請求項17または請求項18に記載の半導体装置の製造装置。

【請求項22】

前記各機構による処理が実施される単一のチャンバを具備することを特徴とする請求項17または請求項18に記載の半導体装置の製造装置。

【請求項23】

前記清浄化する機構と、前記Siを導入する機構と、前記窒化する機構を備える第1のチャンバと、

前記誘電体膜を形成する機構を備える第2のチャンバと、

前記第1のチャンバと前記第2のチャンバとの間で真空を破らずに半導体基板を搬送する搬送機構とを具備することを特徴とする請求項18に記載の半導体装置の製造装置。

【請求項24】

前記清浄化する機構および前記窒化する機構は、マイクロ波発生機構と、複数のスロットを有する平面アンテナと、前記マイクロ波発生機構で発生したマイクロ波を前記平面アンテナに伝送するマイクロ波伝送機構とを備え、前記平面アンテナにより放射されたマイクロ波を前記チャンバまたは前記第1のチャンバに導いて処理ガスをプラズマ化してラジカルを生成することを特徴とする請求項22または請求項23に記載の半導体装置の製造装置。

【請求項25】

前記清浄化する機構および前記窒化する機構は、前記チャンバまたは前記第1のチャンバ内に設けられた、高温に加熱されて処理ガスが接触する触媒を有し、処理ガスが前記触媒に接触した際に前記チャンバ内または前記第1のチャンバ内にラジカルを生成することを特徴とする請求項22または請求項23に記載の半導体装置の製造装置。

【請求項26】

前記清浄化する機構と、前記Siを導入する機構とを備える第1のチャンバと、

前記窒化する機構を備える第2のチャンバと、

前記第1のチャンバと前記第2のチャンバとの間で真空を破らずに半導体基板を搬送する搬送機構と

10

20

30

40

50

を具備することを特徴とする請求項 17 に記載の半導体装置の製造装置。

【請求項 27】

前記清浄化する機構と、前記 Si を導入する機構とを備える第 1 のチャンバと、  
前記窒化する機構と、前記誘電体膜を形成する機構とを備える第 2 のチャンバと、  
前記第 1 のチャンバと前記第 2 のチャンバとの間で真空を破らずに半導体基板を搬送する搬送機構と

を具備することを特徴とする請求項 18 に記載の半導体装置の製造装置。

【請求項 28】

前記各機構をそれぞれ備えた複数のチャンバと、これらチャンバ間で真空を破ることなく半導体基板を搬送する搬送機構とを具備することを特徴とする請求項 17 または請求項 18 に記載の半導体装置の製造装置。

10

【請求項 29】

コンピュータ上で動作し、処理装置を制御するプログラムが記憶された記憶媒体であって、前記制御プログラムは、実行時に、請求項 1 から請求項 16 のいずれかの半導体装置の製造方法が行われるように、コンピュータに前記処理装置を制御させることを特徴とする記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、銅含有金属膜を有する半導体装置を製造する方法および製造装置、ならびにその方法を実行するためのプログラムを記憶した記憶媒体に関する。

20

【背景技術】

【0002】

近時、半導体デバイスの高速化、配線パターンの微細化、高集積化の要求に対応して、配線の導電性向上が求められており、それに対応して、配線材料としてアルミニウム (Al) やタングステン (W) よりも導電性に優れている銅 (Cu) が注目されている。

【0003】

しかしながら、Cu は容易に酸化して脆い酸化銅を形成するため、密着性および機械的強度が低下しやすい。また、Cu は拡散しやすく、層間絶縁膜中に拡散することによる配線間の導通が生じやすい。このため、従来、Cu 配線の周囲のバリア性を高めて Cu の酸化や拡散の問題を解消すべく、Cu 配線の側壁および底部には Ta や TaN 等のバリアメタルを形成し、上面にはエッチングストoppaを兼ねた SiN、SiCN、SiC 等の誘電体膜を形成している。

30

【0004】

ところで、近時、半導体デバイスの微細化および高速化の観点から配線間の容量の低下が指向されており、層間絶縁膜の低誘電率化が用いられているが、上記 SiN、SiCN、SiC 等は比誘電率が大きいため (SiN = 7、SiCN = 4.5、SiC = 3.5)、より誘電率の小さいバリア誘電体膜が求められている。また、これらの膜は十分なバリア性を発揮するためには 30 nm より大きな膜厚が必要であり、デバイスの小型化に十分対応することができないという問題もある。

40

【0005】

このような問題を解決する技術として、表面に銅含有金属膜が露出した状態の半導体基板をチャンバ内に配し、プラズマにより銅含有金属膜の表面の酸化膜を除去する前処理を実施し、次いで、銅含有金属膜の表面に Si を導入し、その後、銅含有金属膜の Si が導入された部分をプラズマにより窒化して銅配線の表面に CuSiN を形成するものが提案されている (特許文献 1)。この技術によれば、Cu 表面のみでバリア膜を形成することができ、誘電体バリア膜を薄膜化することができる。そして、その上に SiC 膜等からなるエッチングストoppaを形成してもトータルの膜厚を薄くすることができ、Cu 配線表面の誘電体膜の誘電率を低下させることができる。

【0006】

50

しかしながら、この技術にも以下に示すような欠点がある。すなわち、この技術では、前処理工程と窒化処理工程にプラズマを使用するため、層間絶縁膜がプラズマ中の主にイオンによってダメージを受ける。特に、層間絶縁膜として、低誘電率膜（Low-k膜）を使用する場合には、膜の構造が破壊され、大気開放により水分を吸着してCu配線に対するバリア性や誘電率およびリーク電流が上昇してしまう。また、上層の層間絶縁膜の形成時に密着性が低下してしまう。

【特許文献1】特開2006-237257号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

10

本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、銅含有金属膜の表面にSiを導入し、その部分を窒化してCuSiNバリアを形成する技術を採用する際に、層間絶縁膜へのダメージおよび大気開放による水分吸着の生じ難い半導体装置の製造方法および製造装置を提供することを目的とする。

また、そのような半導体装置の製造方法を実行するプログラムが記憶された記憶媒体を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するため、本発明の第1の観点では、表面に銅含有金属膜が露出した状態の半導体基板を準備する工程と、前記銅含有金属膜の表面をラジカルまたは熱化学的手法により清浄化処理する工程と、前記銅含有金属膜の表面にSiを導入する工程と、前記銅含有金属膜のSiが導入された部分をラジカルにより窒化する工程とを有する半導体装置の製造方法であって、前記清浄化処理工程、前記Si導入工程、および前記窒化工程を真空を破ることなく連続的に行うことを特徴とする半導体装置の製造方法を提供する。

20

【0009】

上記第1の観点において、前記窒化工程により形成された窒化膜の上に誘電体膜を形成する工程をさらに有し、前記清浄化処理工程、前記Si導入工程、前記窒化工程および前記誘電体膜形成工程を真空を破ることなく連続的に行うようにすることができる。

【0010】

上記第1の観点において、前記清浄化工程は、H<sub>2</sub>ガス、N<sub>2</sub>ガス、Arガス、NH<sub>3</sub>ガスの1種以上の処理ガスのラジカルにより行うことができる。この場合に、前記清浄化工程は、複数のスロットを有する平面アンテナから放射されたマイクロ波により前記処理ガスをプラズマ化して形成されたラジカル、または前記処理ガスを高温の触媒に接触させることにより生成されたラジカルにより行うことができる。さらに、前記清浄化工程を実施する熱化学的手法としては、半導体基板を加熱しつつ還元ガスを前記銅含有金属膜の表面に供給するものを用いることができる。

30

【0011】

また、上記第1の観点において、前記窒化工程は、N含有ガスのラジカルを用いて行うことができる。この場合に、前記窒化工程は、複数のスロットを有する平面アンテナから放射されたマイクロ波により前記処理ガスをプラズマ化して形成されたラジカル、または前記処理ガスを高温の触媒に接触させることにより生成されたラジカルにより行うことができる。

40

【0012】

さらに、上記第1の観点において、前記一連の工程を、同一チャンバ内で実施するようにすることができる。

【0013】

さらにまた、上記第1の観点において、前記清浄化工程と前記Si導入工程とを第1のチャンバで行い、他の工程を第2のチャンバで行うようにすることができ、また、前記誘電体膜形成工程を有する場合には、前記清浄化工程と前記Si導入工程とを第1のチャンバで行い、前記窒化工程と前記誘電体膜形成工程とを第2のチャンバで行うようにするこ

50

とができる。

【0014】

さらにまた、上記第1の観点において、前記誘電体膜形成工程を有する場合には、前記清浄化工程と前記Si導入工程と前記窒化工程とを第1のチャンバで行い、前記誘電体膜形成工程を第2のチャンバで行うようにすることができる。この場合に、前記第1のチャンバは、複数のスロットを有する平面アンテナから放射されたマイクロ波により清浄化工程のためのガスおよび窒化工程のためのガスをプラズマ化してラジカルを生成する機能を有するものであってもよいし、清浄化工程のためのガスおよび窒化工程のためのガスを高温の触媒に接触させることによりラジカルを生成する機能を有するものであってもよい。

【0015】

さらにまた、上記第1の観点において、前記各工程をそれぞれ別個のチャンバで行うようにしてもよい。

【0016】

本発明の第2の観点では、表面に銅含有金属膜が露出した状態の半導体基板の前記銅含有金属膜の表面を真空中でラジカルまたは熱化学的手法により清浄化処理する機構と、前記銅含有金属膜の表面に真空中でSiを導入する機構と、前記銅含有金属膜のSiが導入された部分を真空中でラジカルにより窒化する機構と

を有する半導体装置の製造装置であって、前記清浄化処理、前記Si導入、および前記窒化を真空を破ることなく連続的に行うことを特徴とする半導体装置の製造装置を提供する。

【0017】

上記第2の観点において、前記窒化により形成された窒化膜の上に真空中で誘電体膜を形成する機構をさらに有し、前記清浄化処理、前記Si導入、前記窒化、および前記誘電体膜の形成を真空を破ることなく連続的に行うようにすることができる。

【0018】

上記第2の観点において、前記ラジカルにより清浄化する機構および前記ラジカルにより窒化する機構として、マイクロ波発生機構と、複数のスロットを有する平面アンテナと、前記マイクロ波発生機構で発生したマイクロ波を前記平面アンテナに伝送するマイクロ波伝送機構とを有し、前記平面アンテナにより放射されたマイクロ波により処理ガスをプラズマ化してラジカルを生成するものを用いることができ、また、高温に加熱されて処理ガスが接触する触媒を有し、処理ガスが前記触媒に接触した際にラジカルを生成するものを用いることができる。また、前記熱化学的手法により清浄化する機構としては、半導体基板を加熱する手段と、前記銅含有金属膜の表面に還元ガスを供給する手段とを有するものを用いることができる。

【0019】

また、上記第2の観点において、前記各機構による処理が実施される単一のチャンバを具備するものとすることができる。また、前記誘電体膜を形成する機構を有する場合に、前記清浄化する機構と、前記Siを導入する機構と、前記窒化する機構を備える第1のチャンバと、前記誘電体膜を形成する機構を備える第2のチャンバと、前記第1のチャンバと前記第2のチャンバとの間で真空を破らずに半導体基板を搬送する搬送機構とを具備するものとすることができる。これらにおいて、前記清浄化する機構および前記窒化する機構として、マイクロ波発生機構と、複数のスロットを有する平面アンテナと、前記マイクロ波発生機構で発生したマイクロ波を前記平面アンテナに伝送するマイクロ波伝送機構とを備え、前記平面アンテナにより放射されたマイクロ波を前記チャンバまたは前記第1のチャンバに導いて処理ガスをプラズマ化してラジカルを生成するもの、あるいは、前記チャンバまたは前記第1のチャンバ内に設けられた、高温に加熱されて処理ガスが接触する触媒を有し、処理ガスが前記触媒に接触した際に前記チャンバ内または前記第1のチャンバ内にラジカルを生成するものとすることができる。

【0020】

上記第2の観点において、前記清浄化する機構と、前記Siを導入する機構とを備え

10

20

30

40

50

る第1のチャンバと、前記窒化する機構を備える第2のチャンバと、前記第1のチャンバと前記第2のチャンバとの間で真空を破らずに半導体基板を搬送する搬送機構とを具備する構成とすることができる。また、前記誘電体膜を形成する機構を有する場合に、前記清浄化する機構と、前記Siを導入する機構とを備える第1のチャンバと、前記窒化する機構と、前記誘電体膜を形成する機構とを備える第2のチャンバと、前記第1のチャンバと前記第2のチャンバとの間で真空を破らずに半導体基板を搬送する搬送機構とを具備する構成とすることができる。

【0021】

さらにまた、上記第2の観点において、前記各機構をそれぞれ備えた複数のチャンバと、これらチャンバ間で真空を破ることなく半導体基板を搬送する搬送機構とを具備するものとすることができる。

10

【0022】

本発明の第3の観点では、コンピュータ上で動作し、処理装置を制御するプログラムが記憶された記憶媒体であって、前記制御プログラムは、実行時に、上記第1または第2の観点の半導体装置の製造方法が行われるように、コンピュータに前記処理装置を制御させることを特徴とする記憶媒体を提供する。

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、銅含有金属膜の表面の清浄化処理をラジカルまたは熱化学的手法により行い、Siが導入された部分の窒化処理をラジカルにより行うので、プラズマ中のイオンによるダメージが生じ難く、また、清浄化処理工程、Si導入工程、および窒化工程を真空を破ることなく連続的に行うので、層間絶縁膜に水分が吸着することによる不都合が生じ難い。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

以下、添付図面を参照して本発明の実施形態について具体的に説明する。

図1は本発明の半導体装置の製造方法の工程を説明するためのフローチャート、図2はその際の工程断面図、図3は本発明においてCuSiN膜が形成される過程を模式的に示す説明図である。

【0025】

30

まず、Si基体1の上に第1の層間絶縁膜2、Cu拡散バリアである誘電体膜3および第2の層間絶縁膜4が形成され、第1および第2の層間絶縁膜2、4の中にCu配線5が、その表面が露出した状態で埋め込まれ、Cu配線5の側壁およびCu配線5の第1および第2の層間絶縁膜2、4に対応する部分の底部にそれぞれバリアメタル層6が形成された構造を有する半導体基板を準備する(ステップ1)。層間絶縁膜2、4としては、典型的にはLow-k膜が用いられる。なお、実際には、配線層は10層程度積層されているが、便宜上、2層の場合について示す。

【0026】

次いで、露出したCu配線5の表面を、真空雰囲気中で、ラジカルまたは熱化学的手法により清浄化処理し、表面に形成された自然酸化膜等を除去する(ステップ2、図2の(a))。これにより、従来のようなイオンを主体としたプラズマ処理に比べて第2の層間絶縁膜4に対するダメージの小さい処理が可能である。

40

【0027】

ラジカルによる処理の場合には、清浄化処理ガスとしてH<sub>2</sub>ガス、N<sub>2</sub>ガス、Arガス、NH<sub>3</sub>ガスの1種以上を用いることができる。ラジカルを生成するための手法としては、複数のスロットを有する平面アンテナ、例えばRLSA(Radial Line Slot Antenna; ラジアルラインスロットアンテナ)にてチャンバ内にマイクロ波を導入して高密度かつ低電子温度マイクロ波プラズマ(RLSAマイクロ波プラズマ)を形成することによりラジカルを生成するものや、加熱された高融点触媒体に処理ガスを接触させて触媒反応によりラジカルを生成するものを挙げることができる。

50

## 【0028】

熱化学的手法による処理としては、チャンバ内で半導体基板を加熱しつつ、水素や有機酸等の還元ガスを供給して還元処理を行うものを挙げることができる。有機酸としては、蟻酸、酢酸、酪酸などのカルボン酸を用いることができ、好適には無水酢酸等の無水カルボン酸を用いることができる。

## 【0029】

この清浄化処理工程に引き続いて、真空を破ることなく、Cu配線5の表面にSiを導入する処理を行う(ステップ3、図2の(b))。この処理は、SiH<sub>4</sub>ガス、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>ガス、SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>ガス、Si(CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>ガス、SiH(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>ガス、SiH<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>ガス、SiH<sub>3</sub>(CH<sub>3</sub>)ガス等のSi含有ガスを半導体基板1に供給することにより行われ、図3の(a)に示すように、Cu配線5の表面の結晶粒界を含む領域にSiが拡散により導入され、図2の(b)、図3の(b)に示すように、このSiがCuと反応した反応層7が薄く形成される。このときの基板温度は、例えば100~400に設定する。

## 【0030】

このSi導入工程に引き続いて、真空を破ることなく、ラジカル窒化処理によりSi導入部分の窒化処理を行う(ステップ4)。これにより、図2の(c)に示すように、Cu配線5の表面の反応層7が窒化されてCuSiNからなるバリア層8が形成された半導体装置が得られる。このようなラジカル窒化処理により、従来のようなイオンを主体としたプラズマ処理による窒化に比べて第2の層間絶縁膜4に対するダメージの小さい窒化処理が可能である。このような窒化処理によって、図3の(c)に示すように、Cu配線5の表面の結晶粒界を含む領域に拡散したSiがより表面に近い領域に集まってCuSiNが形成されるため、バリア膜8を薄く形成することが可能である。

## 【0031】

このようなラジカル窒化処理は、処理ガスとしてN含有ガスが用いられ、N含有ガスとしては、N<sub>2</sub>ガス単独、N<sub>2</sub>ガスとArガス、N<sub>2</sub>ガスとH<sub>2</sub>ガス、NH<sub>3</sub>ガス等を用いることができる。ラジカルを生成するための手法としては、ステップ2の清浄化処理と同様、複数のスロットを有する平面アンテナ、例えばRLSA(Radial Line Slot Antenna; ラジアルラインスロットアンテナ)にてチャンバ内にマイクロ波を導入して高密度かつ低電子温度マイクロ波プラズマを形成することによりラジカルを生成するものや、加熱された高融点触媒体に処理ガスを接触させて触媒反応によりラジカルを生成するものを挙げることができる。

## 【0032】

このような窒化処理によってバリア層8を形成した後、必要に応じて、エッチングストッパや拡散防止膜のための誘電体膜9を形成する。この誘電体膜9としては、SiN、SiCN、SiCを用いることができる。この場合に、バリア層8の存在により、この誘電体膜9はバリア機能は必要ないか、必要であってもバリア層8を補助する程度のものでよいので、膜厚を薄くでき、誘電率が不所望に高くなることはない。このときの誘電体膜9の形成は、窒化処理後、真空を破らずに行う。このときの膜形成は、常法に従って行えばよく、CVDやPVD等適宜の方法を採用することができる。

## 【0033】

このように、清浄化処理をラジカルまたは熱化学的手法で行い、および窒化処理をラジカル窒化処理で行うことにより第2の層間絶縁膜4に対するダメージを少なくすることができ、しかも清浄化処理工程、Si導入工程、窒化処理工程、および必要に応じて行われる誘電体膜形成工程を真空を破ることなく連続的に行うことにより、第2の層間絶縁膜4を構成するLow-k膜が水分を吸着してCu配線に対するバリア性や誘電率およびリーク電流が上昇してしまうことを抑制することができ、上層の層間絶縁膜の形成時に密着性が低下してしまうことを防止することができる。

## 【0034】

次に、実際に本発明を実施する場合の具体的な実施の形態について説明する。



### 〔第１の実施の形態〕

ここでは、清浄化処理工程、Ｓｉ導入工程、窒化処理工程、および必要に応じて行われる誘電体膜形成工程を、全てＲＬＳＡマイクロ波プラズマ処理装置を用いて行う場合について説明する。

#### 【００３５】

図４は、第１の実施の形態に係る半導体装置の製造方法を実施するためのＲＬＳＡマイクロ波プラズマ処理装置を示す概略断面図である。図４に示すように、このＲＬＳＡマイクロ波プラズマ処理装置１０は、半導体基板を収容する真空に保持可能な略円筒状のチャンバ１１と、その底部に設けられた、半導体基板Ｓを載置するサセプタ１２と、チャンバ１１の側壁に設けられた処理ガスを導入するためのリング状をなすガス導入部１３と、チャンバ１１の上部の開口部に臨むように設けられ、多数のマイクロ波透過孔１４ａが形成された平面アンテナ１４と、マイクロ波を発生させるマイクロ波発生部１５と、マイクロ波発生部１５を平面アンテナ１４に導くマイクロ波伝送機構１６と、ガス導入部１３に処理ガスを供給する処理ガス供給部１７とを有している。

10

#### 【００３６】

平面アンテナ１４の下方には誘電体からなるマイクロ波透過板２１が設けられ、平面アンテナ１４の上にはシールド部材２２が設けられている。マイクロ波伝送機構１６は、マイクロ波発生部１５からマイクロ波を導く水平方向に伸びる導波管３１と、平面アンテナ１４から上方に伸びる内導体３３および外導体３４からなる同軸導波管３２と、導波管３１と同軸導波管３２との間に設けられたモード変換機構３５とを有している。

20

#### 【００３７】

チャンバ１１の底部には排気管２３が接続されており、排気管２３にはチャンバ１１内を排気するためのバルブや真空ポンプ等からなる排気機構２４が接続されている。また、チャンバ１１の側壁には半導体基板Ｓを搬入出可能な搬入出口２５が設けられており、この搬入出口２５はゲートバルブＧにより開閉可能となっている。また、サセプタ１２内にはヒータ１８が埋設されている。

#### 【００３８】

処理ガス供給部１７は、清浄化処理工程を実施するための上述したような清浄化処理ガスを供給する清浄化処理ガス供給源３６と、Ｓｉ導入工程を実施するためのＳｉ含有ガスを供給するＳｉ含有ガス供給源３７と、窒化処理工程を実施するためのＮ含有ガスを供給するＮ含有ガス供給源３８と、誘電体膜形成工程を実施するための誘電体膜形成ガスを供給する誘電体膜形成ガス供給源３９とを有している。これら清浄化処理ガス供給源３６、Ｓｉ含有ガス供給源３７、Ｎ含有ガス供給源３８、および誘電体膜形成ガス供給源３９から、それぞれガス供給ライン４１、４２、４３、４４が接続されており、これらが共通のガス供給ライン４０に接続されて上記ガス導入部１３に接続されている。なお、ガス供給ライン４１、４２、４３、４４には開閉バルブ４５およびマスフローコントローラ等の流量制御器（図示せず）が介装されている。

30

#### 【００３９】

このＲＬＳＡマイクロ波プラズマ処理装置１０は、各構成部を制御するマイクロプロセッサ（コンピュータ）からなるプロセスコントローラ５０を有しており、各構成部がこのプロセスコントローラ５０に接続されて制御される構成となっている。また、プロセスコントローラ５０には、オペレータがＲＬＳＡマイクロ波プラズマ処理装置１０を管理するためにコマンドの入力操作等を行うキーボードや、プラズマ処理装置の稼働状況を可視化して表示するディスプレイ等からなるユーザーインターフェース５１が接続されている。

40

#### 【００４０】

また、プロセスコントローラ５０には、ＲＬＳＡマイクロ波プラズマ処理装置１０で実行される各種処理をプロセスコントローラ５０の制御にて実現するための制御プログラムや、処理条件に応じてＲＬＳＡマイクロ波プラズマ処理装置１０の各構成部に処理を実行させるためのプログラムすなわちレシピが格納された記憶部５２が接続されている。レシピは記憶部５２の中の記憶媒体に記憶されている。記憶媒体は、ハードディスクや半導体

50

メモリであってもよいし、CDROM、DVD、フラッシュメモリ等の可搬性のものであってもよい。また、他の装置から、例えば専用回線を介してレシピを適宜伝送させるようにしてもよい。

#### 【0041】

そして、必要に応じて、ユーザーインターフェース51からの指示等にて任意のレシピを記憶部52から呼び出してプロセスコントローラ50に実行させることで、プロセスコントローラ50の制御下で、RLSAマイクロ波プラズマ処理装置10での所望の処理が行われる。

#### 【0042】

次に、上記構成のRLSAマイクロ波プラズマ処理装置10において行われる本実施形態の方法について説明する。

まず、半導体基板Sをチャンバ11内に搬入し、サセプタ12上に載置し、半導体基板Sの表面に露出したCu配線の表面の清浄化処理を行う。

#### 【0043】

具体的には、排気機構24によりチャンバ11内を真空排気しながら、ガス供給部17からガス導入部13を介して上述したH<sub>2</sub>ガス、N<sub>2</sub>ガス、Arガス、NH<sub>3</sub>ガス等の清浄化処理ガスをチャンバ11内に供給して、チャンバ11内を所定圧力に維持し、マイクロ波発生部15で発生したマイクロ波をマイクロ波伝送機構16を介して所定のモードで平面アンテナ14に導き、平面アンテナ14のマイクロ波透過孔14aおよびマイクロ波透過板21を通してチャンバ11内に均一に供給し、そのマイクロ波により清浄化処理ガスをプラズマ化してそのプラズマによりラジカルを主体とした清浄化処理を施し、Cu配線表面の自然酸化膜等を除去する。この処理の際のチャンバ11内の圧力は、例えば0.13Pa~1333Pa(1mTorr~10Torr)とし、基板温度は、例えば100~400とする。

#### 【0044】

このRLSAマイクロ波方式のプラズマ処理は、低電子温度で高密度のラジカルを主体とするプラズマが形成されるため、層間絶縁膜へほとんどダメージを与えずに高速での処理が可能である。

#### 【0045】

このような清浄化処理が終了後、真空排気を継続しながら図示しないパージガス供給源からパージガス、例えばArガスをチャンバ11内に供給し、チャンバ11内に残留しているガスをパージする。

#### 【0046】

次いで、チャンバ11内の真空を破ることなく、ガス供給部17からのガスを上述したSiH<sub>4</sub>ガス、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>ガス、SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>ガス、Si(CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>ガス、SiH(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>ガス、SiH<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>ガス、SiH<sub>3</sub>(CH<sub>3</sub>)ガス等のSi含有ガスに切り替えてSi導入処理を行う。このSi導入処理の際には、特にプラズマを形成する必要はないが、ガスによっては、マイクロ波プラズマを形成して分解を促進してもよい。このSi導入処理の際のチャンバ11内の圧力は、例えば1.3~1333Pa(10mTorr~10Torr)とし、基板温度は、例えば100~400とする。この処理により、上述のようにCu配線表面にCuSiが形成される。

#### 【0047】

このようなSi導入処理が終了後、真空排気を継続しながら図示しないパージガス供給源からパージガス、例えばArガスをチャンバ11内に供給し、チャンバ11内に残留しているガスをパージする。または真空引ききりでもよい。

#### 【0048】

次いで、チャンバ11内の真空を破ることなく、ガス供給部17からのガスを上述したN<sub>2</sub>ガス単独、N<sub>2</sub>ガスとArガス、N<sub>2</sub>ガスとH<sub>2</sub>ガス、NH<sub>3</sub>ガス等のN含有ガスに切り替え、マイクロ波発生部15で発生したマイクロ波をマイクロ波伝送機構16を介して所定のモードで平面アンテナ14に導き、平面アンテナ14のマイクロ波透過孔14a

10

20

30

40

50

およびマイクロ波透過板 21 を通ってチャンバ 11 内に均一に供給し、そのマイクロ波により N 含有ガスをプラズマ化してラジカルを主体としたラジカル窒化処理を施し、Cu 配線表面に形成された CuSi を窒化して CuSiN を形成する。この窒化処理の際のチャンバ 11 内の圧力は、例えば  $1.3 \sim 1333 \text{ Pa}$  ( $10 \text{ mTorr} \sim 10 \text{ Torr}$ ) とし、基板温度は、例えば  $100 \sim 400$  とする。

#### 【0049】

この処理においては、清浄化処理の場合と同様、RLSA マイクロ波方式のプラズマ処理を採用しているため、低電子温度で高密度のラジカルを主体とするプラズマが形成されるため、層間絶縁膜へほとんどダメージを与えずに高速での処理が可能である。

#### 【0050】

この処理によって、Cu 配線の表面に CuSiN からなるバリア膜が形成された半導体装置が得られるが、上述したように、必要に応じて、引き続きバリア膜の上にエッチングストップパや拡散防止膜のための誘電体膜を形成してもよい。この誘電体膜の形成は、チャンバ 11 内の真空を破ることなく、ガス供給部 17 からのガスを誘電体膜形成ガスに切り替えて、CVD によりバリア膜上に SiN、SiCN、SiC 等の誘電体膜を堆積する。この場合に、 $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ 、 $\text{SiH}(\text{CH}_3)_3$ 、 $\text{SiH}_2(\text{CH}_3)_2$ 、 $\text{SiH}_3(\text{CH}_3)$ 、Dimethyl Phenyl Silane 等のガスを用い、例えば基板温度  $100 \sim 400$  とすることが好ましい。

#### 【0051】

このように、本実施形態では、一つのチャンバ内を真空に保持したまま、清浄化処理工程、Si 導入工程、窒化処理工程、誘電体膜形成工程を行うので、Low-k 膜からなる層間絶縁膜への水分の吸着をほぼ完全に防止することができる。また、上述したように、清浄化処理および窒化処理を RLSA マイクロ波プラズマによるラジカル処理で行うので、従来のイオンを主体としたプラズマ処理に比べて層間絶縁膜へのダメージが小さい。

#### 【0052】

##### [ 第 2 の実施の形態 ]

ここでは、清浄化処理工程、Si 導入工程、窒化処理工程、および必要に応じて行われる誘電体膜形成工程を、全て触媒処理装置を用いて行う場合について説明する。

#### 【0053】

図 5 は、第 2 の実施の形態に係る半導体装置の製造方法を実施するための触媒処理装置を示す概略断面図である。図 5 に示すように、この触媒処理装置 60 は、半導体基板を収容する真空に保持可能な略円筒状のチャンバ 61 を有しており、チャンバ 61 の底部には、サセプタ 62 が設けられている。サセプタ 62 内には、半導体基板 S を加熱するヒータ 63 が埋設されている。

#### 【0054】

チャンバ 61 内の上部には、サセプタ 62 に対向するように処理ガスをチャンバ 61 内に導入するための中空円盤状のシャワーヘッド 65 が設けられている。シャワーヘッド 65 は、上面中央にガス導入口 66 を有し、下面に多数のガス吐出孔 67 を有している。

#### 【0055】

上記シャワーヘッド 65 には、処理ガスを供給する処理ガス供給部 68 が接続されている。処理ガス供給部 68 は、清浄化処理工程を実施するための上述したような清浄化処理ガスを供給する清浄化処理ガス供給源 70 と、Si 導入工程を実施するための Si 含有ガスを供給する Si 含有ガス供給源 71 と、窒化処理工程を実施するための N 含有ガスを供給する N 含有ガス供給源 72 と、誘電体膜形成工程を実施するための誘電体膜形成ガスを供給する誘電体膜形成ガス供給源 73 とを有している。これら清浄化処理ガス供給源 70、Si 含有ガス供給源 71、N 含有ガス供給源 72、および誘電体膜形成ガス供給源 73 には、それぞれガス供給ライン 74、75、76、77 が接続されており、これらが共通のガス供給ライン 69 に接続されて上記シャワーヘッド 65 のガス導入口 66 に接続されている。なお、ガス供給ライン 74、75、76、77 には開閉バルブ 78 およびマスフローコントローラ等の流量制御器（図示せず）が介装されている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 6 】

チャンバ 6 1 の底部には排気管 8 1 が接続されており、排気管 8 1 にはチャンバ 6 1 内を排気するためのバルブや真空ポンプ等からなる排気機構 8 2 が接続されている。また、チャンバ 6 1 の側壁には半導体基板 S を搬入出可能な搬入出口 8 3 が設けられており、この搬入出口 8 3 はゲートバルブ G により開閉可能となっている。

## 【 0 0 5 7 】

チャンバ 6 1 内のサセプタ 6 2 とシャワーヘッド 6 5 との間には、導電性の高融点材料例えばタングステンからなる触媒ワイヤ 8 7 が設けられている。この触媒ワイヤ 8 7 の一端には給電線 8 8 が接続されており、この給電線 8 8 には可変直流電源 8 9 が設けられており、この可変直流電源 8 9 から触媒ワイヤ 8 7 に給電されることにより触媒ワイヤ 8 7 が 1 4 0 0 以上の所定の温度に加熱される。一方、触媒ワイヤ 8 7 の他端は接地されている。なお、触媒ワイヤ 8 7 の材料はタングステンに限らず、1 4 0 0 以上の高温に加熱可能な他の高融点金属、例えば、タンタル、モリブデン、バナジウム、白金、トリウムを挙げることができる。また、これらタングステン等の高融点金属は単体でなくても構わない。

10

## 【 0 0 5 8 】

そして、触媒ワイヤ 8 7 が所定の高温に加熱された状態でチャンバ 6 1 内に処理ガスが導入され、触媒ワイヤ 8 7 に接触することにより、処理ガスが接触分解反応により励起されてラジカルとなり、このラジカルにより清浄化処理や窒化処理が行われる。

## 【 0 0 5 9 】

20

この触媒処理装置 6 0 は、各構成部を制御するマイクロプロセッサ（コンピュータ）からなるプロセスコントローラ 9 0 を有しており、各構成部がこのプロセスコントローラ 9 0 に接続されて制御される構成となっている。プロセスコントローラ 9 0 にはユーザーインターフェース 9 1 および記憶部 9 2 が接続されている。これらプロセスコントローラ 9 0、ユーザーインターフェース 9 1 および記憶部 9 2 は、第 1 の実施の形態におけるプロセスコントローラ 5 0、ユーザーインターフェース 5 1 および記憶部 5 2 と同様に構成される。

## 【 0 0 6 0 】

次に、上記構成の触媒処理装置 6 0 において行われる本実施形態の方法について説明する。

30

まず、半導体基板 S をチャンバ 6 1 内に搬入し、サセプタ 6 2 上に載置し、半導体基板 S の表面に露出した C u 配線の表面の清浄化処理を行う。

## 【 0 0 6 1 】

具体的には、排気機構 8 2 によりチャンバ 6 1 内を真空排気しながら、処理ガス供給部 6 8 からシャワーヘッド 6 5 を介して上述した H<sub>2</sub> ガス、N<sub>2</sub> ガス、A r ガス、N H<sub>3</sub> ガス等の清浄化処理ガスをチャンバ 6 1 内に供給して、チャンバ 6 1 内を所定圧力に維持し、ヒータ 6 3 によりサセプタ 6 2 上の半導体基板 S を所定の温度に加熱する。

## 【 0 0 6 2 】

一方、触媒ワイヤ 8 7 には可変直流電源 8 9 から給電されて所定の高温、好ましくは、1 4 0 0 ~ 2 0 0 0 に加熱制御される。このように触媒ワイヤ 8 7 を高温に加熱した状態で、上述のように清浄化処理ガスが導入されると、触媒ワイヤ 8 7 に清浄化処理ガスが接触し、接触分解反応により励起されてラジカルが生成され、生成したラジカルを半導体基板 S の C u 配線の表面に接触させることにより、その表面の自然酸化膜等を接触分解反応により除去する。この処理は、例えば、触媒ワイヤ温度 1 0 0 0 ~ 2 0 0 0 、基板温度 1 0 0 ~ 4 0 0 として清浄化処理ガスを流すことにより行うことができる。

40

## 【 0 0 6 3 】

この装置は、極めて簡便な構成により、高密度のラジカルを生成することができ、低コストの処理装置を実現することができる。また、このようにラジカルでの処理のため層間絶縁間へほとんどダメージを与えずに高速での処理が可能である。

## 【 0 0 6 4 】

50

このような清浄化処理が終了後、真空排気を継続しながら図示しないパージガス供給源からパージガス、例えばArガスをチャンバ61内に供給し、チャンバ61内に残留しているガスをパージする。

#### 【0065】

次いで、チャンバ61内の真空を破ることなく、処理ガス供給部68からのガスを上述したSiH<sub>4</sub>ガス、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>ガス、SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>ガス、Si(CH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>ガス、SiH(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>ガス、SiH<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>ガス、SiH<sub>3</sub>(CH<sub>3</sub>)ガス等のSi含有ガスに切り替え、サセプタ62を所定温度にして、Si導入処理を行う。このSi導入処理の際には、特にラジカルを形成する必要はないが、ガスによっては、触媒ワイヤ87を加熱してラジカル化してもよい。このSi導入処理の際のチャンバ61内の圧力は、例えば1.3~1333Pa(10mTorr~10Torr)とし、基板温度は、例えば100~400とする。この処理により、上述のようにCu配線表面にCuSiが形成される。

10

#### 【0066】

このようなSi導入処理が終了後、真空排気を継続しながら図示しないパージガス供給源からパージガス、例えばArガスをチャンバ61内に供給し、チャンバ61内に残留しているガスをパージする。または真空引ききりでもよい。

#### 【0067】

次いで、チャンバ61内の真空を破ることなく、ガス供給部68からのガスを上述したN<sub>2</sub>ガス単独、N<sub>2</sub>ガスとArガス、H<sub>2</sub>ガスとArガス、NH<sub>3</sub>ガス等のN含有ガスに切り替え、チャンバ61内を所定圧力に維持し、ヒータ63によりサセプタ62上の半導体基板Sを所定の温度に加熱する。一方、触媒ワイヤ87には可変直流電源89から給電されて所定の高温、好ましくは、1400~2000に加熱制御される。このように触媒ワイヤ87を高温に加熱した状態で、窒素含有ガスをチャンバ61に導入することにより、触媒ワイヤ87にN含有ガスが接触し、接触分解反応により励起されてN含有ラジカルが生成され、このN含有ラジカルによりラジカル窒化処理を施し、Cu配線表面に形成されたCuSiを窒化してCuSiNを形成する。この窒化処理は、例えば、触媒ワイヤ温度1000~2000、基板温度100~400としてN含有ガスを流すことにより行うことができる。

20

#### 【0068】

この処理においては、清浄化処理の場合と同様、極めて簡便な構成の装置により、高密度のラジカルを生成することができ、低コストの処理装置を実現することができる。また、このようにラジカルでの処理のため層間絶縁膜へほとんどダメージを与えずに高速での処理が可能である。

30

#### 【0069】

この処理によって、Cu配線の表面にCuSiNからなるバリア膜が形成された半導体装置が得られるが、上述したように、必要に応じて、引き続きバリア膜の上にエッチングストッパや拡散防止膜のための誘電体膜を形成してもよい。この誘電体膜の形成は、チャンバ61内の真空を破ることなく、ガス供給部68からのガスを誘電体膜形成ガスに切り替えて、CVDによりバリア膜上にSiN、SiCN、SiC等の誘電体膜を堆積する。この場合に、特に触媒ワイヤ87を加熱する必要はないが、ガスによっては、触媒ワイヤ87を加熱してラジカルを生成してもよい。

40

#### 【0070】

このように、本実施形態では、一つのチャンバ内を真空中に保持したまま、清浄化処理工程、Si導入工程、窒化処理工程、誘電体膜形成工程を行うので、Low-k膜からなる層間絶縁膜への水分の吸着をほぼ完全に防止することができる。また、上述したように、清浄化処理および窒化処理を加熱した触媒ワイヤ87にガスが接触して生成されたラジカルにより行うので、従来のイオンを主体としたプラズマ処理に比べて層間絶縁膜へのダメージが小さい。

#### 【0071】

50

## 〔第3の実施の形態〕

上記第1および第2の実施の形態では、単一のチャンバにて清浄化処理工程、Si導入工程、窒化処理工程および誘電体膜形成工程を行った場合について示したが、これら処理を同一のチャンバで行う際にはガス供給系が複雑になったり、工程の間のガスパージ等によりスループットが低下するおそれがあるため、このような点を解消するために、本実施の形態では、複数の処理チャンバを備え、これら複数の処理チャンバ間を真空を破らずに搬送可能な装置により、これら工程を実施する。

## 【0072】

図6は、第3の実施の形態に係る半導体装置の製造方法を実施するためのマルチチャンバタイプの処理装置の概略構造を示す水平断面図である。この処理装置200は、4つの処理ユニット101、102、103、104を備えており、これらの各ユニット101～104は六角形をなす搬送室105の4つの辺にそれぞれ対応して設けられている。また、搬送室105の他の2つの辺にはそれぞれロードロック室106、107が設けられている。これらロードロック室106、107の搬送室105と反対側には搬入出室108が設けられており、搬入出室108のロードロック室106、107と反対側には半導体基板（半導体ウエハ）Sを収容可能な3つのキャリアCを取り付けるポート109、110、111が設けられている。

## 【0073】

処理ユニット101～104、ならびにロードロック室106、107は、同図に示すように、搬送室105の各辺にゲートバルブGを介して接続され、これらに対応するゲートバルブGを開放することにより搬送室105と連通され、対応するゲートバルブGを閉じることにより搬送室105から遮断される。また、ロードロック室106、107の搬入出室108に接続される部分にもゲートバルブGが設けられており、ロードロック室106、107は、対応するゲートバルブGを開放することにより搬入出室108に連通され、対応するゲートバルブGを閉じることにより搬入出室108から遮断される。

## 【0074】

搬送室105内には、処理ユニット101～104、ロードロック室106、107に対して、半導体基板Sの搬入出を行う搬送装置112が設けられている。このウエハ搬送装置112は、搬送室105の略中央に配設されており、回転および伸縮可能な回転・伸縮部113の先端に半導体基板Sを保持する2つのブレード114a、114bを有しており、これら2つのブレード114a、114bは互いに反対方向を向くように回転・伸縮部113に取り付けられている。なお、この搬送室105内は所定の真空度に保持されるようになっている。

## 【0075】

搬入出室108のキャリアC取り付け用の3つのポート109、110、111にはそれぞれ図示しないシャッタが設けられており、これらポート109、110、111に半導体基板Sを収容した、または空のキャリアCが直接取り付けられ、取り付けられた際にシャッタが外れて外気の侵入を防止しつつ搬入出室108と連通するようになっている。また、搬入出室108の側面にはアライメントチャンバ115が設けられており、そこで半導体基板Sのアライメントが行われる。

## 【0076】

搬入出室108内には、キャリアCに対する半導体基板Sの搬入出およびロードロック室106、107に対する半導体基板Sの搬入出を行う搬送装置116が設けられている。この搬送装置116は、多関節アーム構造を有しており、キャリアCの配列方向に沿ってレール118上を走行可能となっていて、その先端のハンド117上に半導体基板Sを載せてその搬送を行う。

## 【0077】

この処理装置200は、各構成部、すなわち各処理ユニットや搬送系、ガス供給系等を制御するマイクロプロセッサ（コンピュータ）からなるプロセスコントローラ130を有しており、各構成部がこのプロセスコントローラ130に接続されて制御される構成とな

10

20

30

40

50

っている。プロセスコントローラ 130 にはユーザーインターフェース 131 および記憶部 132 が接続されている。これらプロセスコントローラ 130、ユーザーインターフェース 131 および記憶部 132 は、第 1 の実施の形態におけるプロセスコントローラ 50、ユーザーインターフェース 51 および記憶部 52 と同様に構成される。

#### 【0078】

本実施の形態では、清浄化処理工程、Si 導入工程、窒化処理工程、誘電体膜形成工程の一部を処理ユニット 101 ~ 104 のいずれかで行い、残りの工程を他の 1 または 2 以上の処理ユニットで行う。

#### 【0079】

具体的には、

(1) 清浄化処理工程、Si 導入工程、窒化処理工程を 1 つの処理ユニットで行い、誘電体膜形成工程を他の処理ユニットで行う、

(2) 清浄化処理工程および Si 導入工程を 1 つの処理ユニットで行い、窒化処理工程および誘電体膜形成工程を他の処理ユニットで行う、

(3) 清浄化処理工程、Si 導入工程、窒化処理工程、誘電体膜形成工程を全て異なる処理ユニットで行う、

の組み合わせを行うことができる。もちろん、他の組み合わせも可能である。

#### 【0080】

上記 (1) の組み合わせの場合、清浄化処理工程、Si 導入工程、窒化処理工程を行う処理ユニットは、上記第 1 の実施の形態の RLSA マイクロ波プラズマ処理装置 10 から誘電体膜形成ガス供給源 39 を除いたもの、または上記第 2 の実施の形態の触媒処理装置 60 から誘電体膜形成ガス供給源 73 を除いたものを用い、清浄化処理工程、Si 導入工程、窒化処理工程を上記した手順で行うようにすることができる。

#### 【0081】

誘電体膜形成工程を行う処理ユニットとしては、例えば図 7 のような構成のものを用いることができる。この処理ユニットは、半導体基板を収容する真空に保持可能な略円筒状のチャンバ 141 を有しており、チャンバ 141 の底部には、サセプタ 142 が設けられている。サセプタ 142 内には、半導体基板 S を加熱するヒータ 143 が埋設されている。

#### 【0082】

チャンバ 141 内の上部には、サセプタ 142 に対向するように誘電体膜形成ガスをチャンバ 141 内に導入するための中空円盤状のシャワーヘッド 145 が設けられている。シャワーヘッド 145 は、上面中央にガス導入口 146 を有し、下面に多数のガス吐出孔 147 を有している。

#### 【0083】

上記シャワーヘッド 145 のガス導入口 146 にはガス供給配管 148 が接続されており、ガス供給配管 148 の他端には誘電体膜形成ガス供給源 150 が設けられている。またガス供給配管 148 には開閉バルブ 149 とマスフローコントローラ等の流量制御器 (図示せず) が介装されている。

#### 【0084】

チャンバ 141 の底部には排気管 151 が接続されており、排気管 151 にはチャンバ 141 内を排気するためのバルブや真空ポンプ等からなる排気機構 152 が接続されている。また、チャンバ 141 の側壁には半導体基板 S を搬入出可能な搬入出口 153 が設けられており、この搬入出口 153 はゲートバルブ G により開閉可能となっている。

#### 【0085】

このように構成される処理ユニットにおいては、まず、窒化処理工程を経て Cu 配線の表面に CuSiN からなるバリア膜が形成された半導体基板 S をチャンバ 141 内に搬入し、サセプタ 142 上に載置する。この状態で、排気機構 152 によりチャンバ 141 内を真空排気しながら、誘電体膜形成ガス供給源 150 からシャワーヘッド 145 を介して誘電体形成ガスをチャンバ 141 内に供給して、チャンバ 141 内を所定圧力に維持し、

10

20

30

40

50

ヒータ１４３によりサセプタ１４２上の半導体基板Ｓを所定の温度に加熱する。これにより、ＣＶＤによりバリア膜の上に誘電体膜が形成される。この処理の際のチャンバ１４１内の圧力は、例えば１．３～１３３３Ｐａ（１０ｍＴｏｒｒ～１０Ｔｏｒｒ）とし、基板温度は、例えば１００～４００とする。

【００８６】

上記（２）の組み合わせの場合、清浄化処理工程、Ｓｉ導入工程を行う処理ユニットは、上記第１の実施の形態のＲＬＳＡマイクロ波プラズマ処理装置１０からＮ含有ガス供給源３８および誘電体膜形成ガス供給源３９を除いたもの、または上記第２の実施の形態の触媒処理装置６０からＮ含有ガス供給源７２および誘電体膜形成ガス供給源７３を除いたものを用い、清浄化処理工程、Ｓｉ導入工程を上述した手順で行うようにすることができる。

10

【００８７】

また、これらのラジカルによる処理が可能な装置の他、図８に示すような熱化学的な手法によって清浄化処理を行うことができる処理ユニットにより清浄化処理工程、Ｓｉ導入工程を行うようにしてもよい。

【００８８】

この処理ユニットは、半導体基板を収容する真空中に保持可能な略円筒状のチャンバ１６１を有しており、チャンバ１６１の底部には、サセプタ１６２が設けられている。サセプタ１６２内には、半導体基板Ｓを加熱するヒータ１６３が埋設されている。

【００８９】

20

チャンバ１６１内の上部には、サセプタ１６２に対向するように処理ガスをチャンバ１６１内に導入するための中空円盤状のシャワーヘッド１６５が設けられている。シャワーヘッド１６５は、上面中央にガス導入口１６６を有し、下面に多数のガス吐出孔１６７を有している。

【００９０】

上記シャワーヘッド１６５には、処理ガスを供給する処理ガス供給部１７０が接続されている。処理ガス供給部１７０は、清浄化処理工程を実施するための上述したような水素や有機酸等の還元ガスを供給する還元ガス供給源１７１と、Ｓｉ導入工程を実施するためのＳｉ含有ガスを供給するＳｉ含有ガス供給源１７２とを有している。これら還元ガス供給源１７１、Ｓｉ含有ガス供給源１７２には、それぞれガス供給ライン１７３、１７４が接続されており、これらが共通のガス供給ライン１６８に接続されて上記シャワーヘッド１６５のガス導入口１６６に接続されている。なお、ガス供給ライン１７３、１７４には開閉バルブ１７５およびマスフローコントローラ等の流量制御器（図示せず）が介装されている。

30

【００９１】

チャンバ１６１の底部には排気管１７６が接続されており、排気管１７６にはチャンバ１６１内を排気するためのバルブや真空ポンプ等からなる排気機構１７７が接続されている。また、チャンバ１６１の側壁には半導体基板Ｓを搬入出可能な搬入出口１７８が設けられており、この搬入出口１７８はゲートバルブＧにより開閉可能となっている。

【００９２】

40

このように構成される処理ユニットにおいては、まず、半導体基板Ｓをチャンバ１６１内に搬入し、サセプタ１６２上に載置する。この状態で、排気機構１７７によりチャンバ１６１内を真空排気しながら、処理ガス供給部１７０の還元ガス供給源１７１からシャワーヘッド１６５を介して還元ガスをチャンバ１６１内に供給して、チャンバ１６１内を所定圧力に維持し、ヒータ１６３によりサセプタ１６２上の半導体基板Ｓを所定の温度に加熱する。これにより半導体基板ＳのＣｕ配線の表面に形成された自然酸化膜が還元ガスにより還元されて除去される。この処理の際のチャンバ１６１内の圧力は、例えば１．３～１３３３Ｐａ（１０ｍＴｏｒｒ～１０Ｔｏｒｒ）とし、基板温度は、例えば１００～４００とする。

【００９３】

50



また、上記(2)において窒化処理工程および誘電体膜形成工程を行う処理ユニットとしては、ラジカル窒化を行うことができるものを用いる。すなわち、上記第1の実施の形態のRLSAマイクロ波プラズマ処理装置10から清浄化処理ガス供給源36およびSi含有ガス供給源37を除いたもの、または上記第2の実施の形態の触媒処理装置60から清浄化処理ガス供給源70およびSi含有ガス供給源71を除いたものを用い、窒化処理工程および誘電体膜形成工程を上述した手順で行うようにすることができる。

#### 【0094】

上記(3)の各工程毎に処理ユニットを別個に設ける場合、清浄化処理工程を行う処理ユニットとしては、図4に示すRLSAマイクロ波プラズマ処理装置10、図5に示す触媒処理装置60を用いることができ、これらによりラジカルによる清浄化処理が行われる。

10

#### 【0095】

また、図8に示すような水素ガスや有機酸等の還元ガスを用いた、熱化学的な手法による清浄化処理を行う処理ユニットを用いることもできる。

#### 【0096】

Si導入工程を行う処理ユニットとしては、図8に示す処理ユニットから還元ガス供給源171を除いたものを用いて行うことができる。

#### 【0097】

窒化処理工程を行う処理ユニットとしては、図4に示すRLSAマイクロ波プラズマ処理装置10、図5に示す触媒処理装置60を用いることができ、これらによりラジカル窒化処理が行われる。

20

#### 【0098】

なお、この場合にも、誘電体膜形成工程は、上述した図7に示す装置によって行うことができる。

#### 【0099】

このような処理を図6の処理装置で行う際には、まず、搬送装置116によりキャリアCから半導体基板Sを一枚取り出し、ロードロック室106または107の載置台に載置する。そして、半導体基板Sを収容したロードロック室内を真空引きした後、搬送装置112により半導体基板をそのロードロック室から真空中に保持された搬送室105に搬送し、さらに処理ユニット101～104のうち、最初の処理を行う処理ユニット搬入する。そこでの処理が終了後、後続の処理工程を実施するために、半導体基板Sを搬送装置112により従前の処理ユニットから取り出して搬送室105を経て次の処理ユニットへ搬送する。

30

#### 【0100】

このように、本実施形態では、図6の処理装置を用いて複数の処理ユニットにより上記一連の工程を実施するが、これらの処理ユニットは搬送室105に接続されており、処理ユニット間の半導体基板Sの搬送は搬送装置112により真空を破らずに行うことができるので、Low-k膜からなる層間絶縁膜に水分が吸着することを十分に抑制することができる。

#### 【0101】

なお、本発明は、上記実施の形態に限定されることなく種々変形可能である。例えば、上記実施の形態ではCu配線表面の清浄化処理およびSi導入工程後の窒化処理工程をラジカルにより行う際に、RLSAマイクロ波プラズマ処理装置、触媒処理装置を用いたが、これに限るものではなく、ラジカルによりこれらの処理を行うことができるものであれば適用可能である。また、熱化学的な手法についても、上記実施の形態に限定されることなく、他の手法を採用することができる。さらに、Si導入工程や誘電体膜形成工程を実施する装置についても、上記実施の形態のものは例示に過ぎず、他の装置を用いることができることは言うまでもない。

40

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0102】

50

【図 1】本発明の半導体装置の製造方法の工程を説明するためのフローチャート。

【図 2】本発明の半導体装置の製造方法の工程を説明するための工程断面図。

【図 3】本発明において C u S i N 膜が形成される過程を模式的に示す図。

【図 4】本発明の第 1 の実施の形態に係る半導体装置の製造方法を実施するための R L S A マイクロ波プラズマ処理装置を示す概略断面図。

【図 5】本発明の第 2 の実施の形態に係る半導体装置の製造方法を実施するための触媒処理装置を示す概略断面図。

【図 6】本発明の第 3 の実施の形態に係る半導体装置の製造方法を実施するためのマルチチャンパタイプの処理装置の概略構造を示す水平断面図。

【図 7】図 6 の処理装置に適用可能な誘電体膜形成工程を行う処理ユニットを示す断面図

10

【図 8】図 6 の処理装置に適用可能な、熱化学的な手法によって清浄化処理を行うことができる清浄化処理工程および S i 導入工程を実施する処理ユニットを示す断面図。

【符号の説明】

【 0 1 0 3 】

1 ; S i 基体

2 , 4 ; 層間絶縁膜

3 ; 誘電体膜

5 ; C u 配線

6 ; バリアメタル層

20

7 ; 反応層

8 ; バリア層

9 ; 誘電体膜

1 0 ; R L S A マイクロ波処理装置

5 0 , 9 0 , 1 3 0 ; プロセスコントローラ

5 2 , 9 2 , 1 3 2 ; 記憶部 ( 記憶媒体 )

6 0 ; 触媒処理装置

1 0 1 ~ 1 0 4 ; 処理ユニット

1 0 5 ; 搬送室

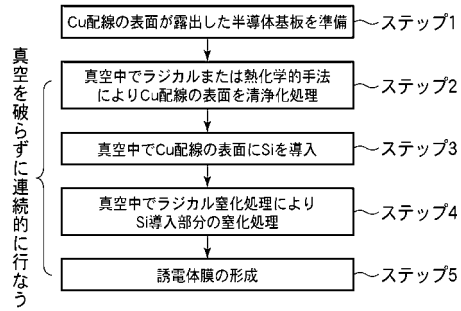
1 1 2 ; 搬送装置

30

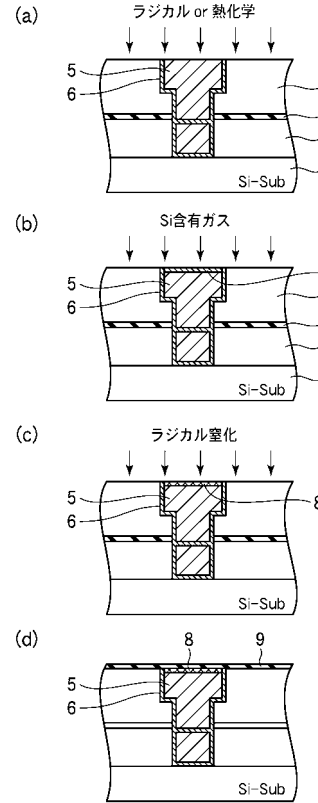
2 0 0 ; 処理装置

S ; 半導体基板

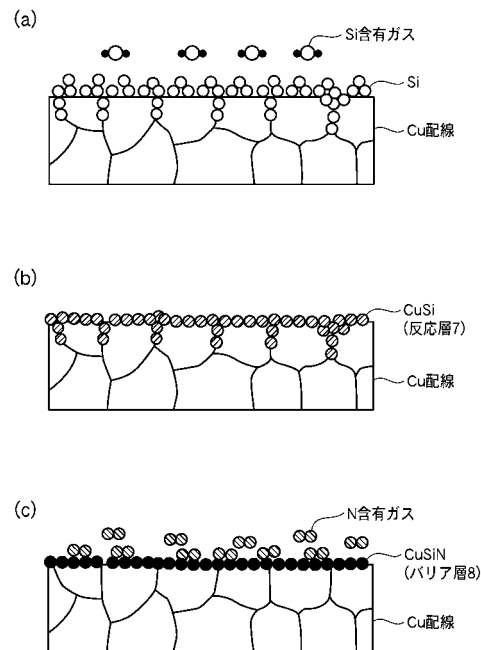
【図 1】



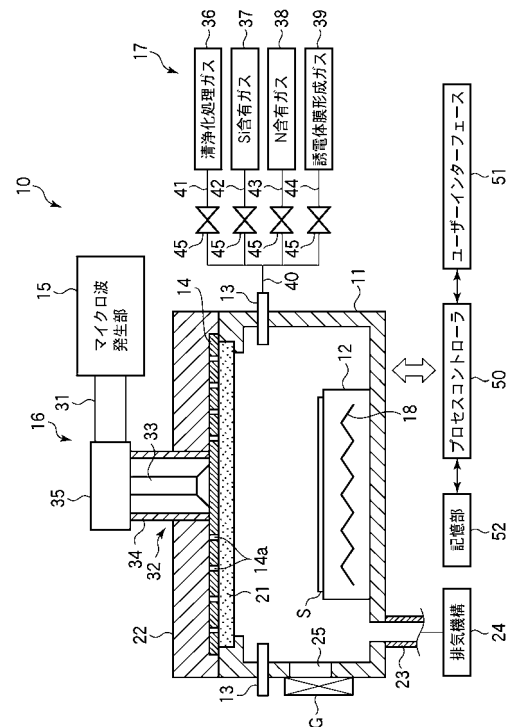
【図 2】



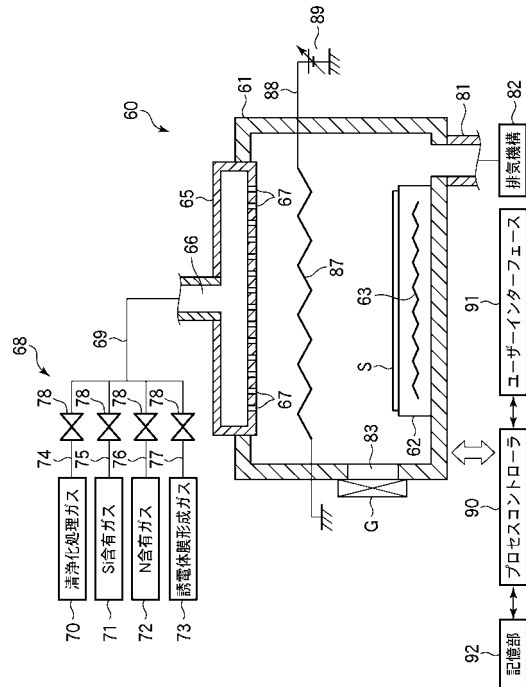
【図 3】



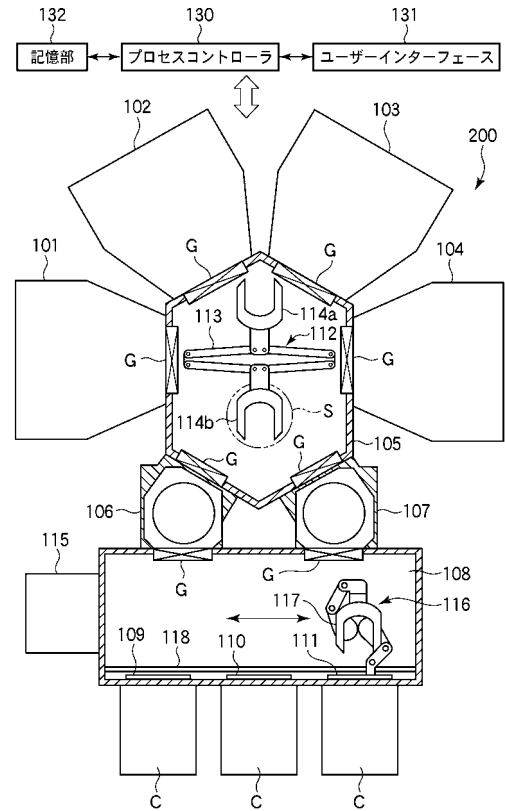
【図 4】



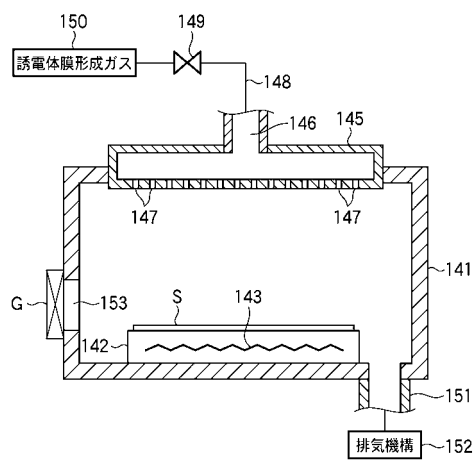
【図 5】



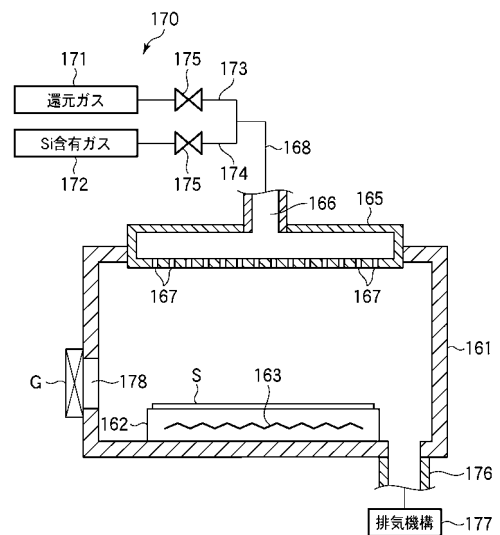
【図 6】



【図 7】



【図 8】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 0 1 L 21/318 (2006.01) H 0 1 L 21/302 1 0 2  
H 0 1 L 21/318 A  
H 0 1 L 21/318 M

(72)発明者 前川 薫  
東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター 東京エレクトロン株式会社内

審査官 小野田 誠

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H 0 1 L 2 1 / 3 2 0 5  
H 0 1 L 2 1 / 0 2  
H 0 1 L 2 1 / 3 0 4  
H 0 1 L 2 1 / 3 0 6 5  
H 0 1 L 2 1 / 3 1 8  
H 0 1 L 2 3 / 5 2