

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5276437号  
(P5276437)

(45) 発行日 平成25年8月28日(2013.8.28)

(24) 登録日 平成25年5月24日(2013.5.24)

(51) Int.Cl.	F I
C 2 3 C 16/42 (2006.01)	C 2 3 C 16/42
H O 1 L 21/318 (2006.01)	H O 1 L 21/318 B
H O 1 L 21/8247 (2006.01)	H O 1 L 27/10 4 3 4
H O 1 L 27/115 (2006.01)	H O 1 L 29/78 3 7 1
H O 1 L 21/336 (2006.01)	H O 1 L 29/78 3 O 1 N
請求項の数 16 (全 24 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号 特願2008-517959 (P2008-517959)	(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
(86) (22) 出願日 平成19年5月30日(2007.5.30)	(74) 代理人 100099944 弁理士 高山 宏志
(86) 国際出願番号 PCT/JP2007/060974	(72) 発明者 鴻野 真之 兵庫県尼崎市扶桑町1-8 東京エレクトロンAT株式会社内
(87) 国際公開番号 W02007/139140	(72) 発明者 西田 辰夫 兵庫県尼崎市扶桑町1-8 東京エレクトロンAT株式会社内
(87) 国際公開日 平成19年12月6日(2007.12.6)	(72) 発明者 中西 敏雄 兵庫県尼崎市扶桑町1-8 東京エレクトロンAT株式会社内
審査請求日 平成22年5月25日(2010.5.25)	
(31) 優先権主張番号 特願2006-152433 (P2006-152433)	
(32) 優先日 平成18年5月31日(2006.5.31)	
(33) 優先権主張国 日本国(JP)	
早期審査対象出願	最終頁に続く

(54) 【発明の名称】窒化珪素膜の形成方法、半導体装置の製造方法、およびプラズマCVD装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

プラズマCVDにより高いストレスを有する窒化珪素膜を形成する窒化珪素膜の形成方法であって、

処理室内に被処理基板を配置し、

前記処理室内に窒素ガスとシリコン含有ガスを導入し、

複数のスロットを有する平面アンテナを通じて前記処理室にマイクロ波を導入して前記窒素ガスとシリコン含有ガスとのプラズマを生成し、

前記プラズマによるプラズマCVDを用いて前記被処理基板に高い圧縮ストレスを有する窒化珪素膜を形成し、

前記窒化珪素膜は、前記処理室内の1.3~5.3Paの処理圧力及び300~800の処理温度下で、800MPaを超える圧縮ストレスを有するように形成され、

前記圧縮ストレスの強さは前記処理圧力を変化させることにより制御され、

前記プラズマ内の活性窒素種は前記窒素ガスから由来し、

前記窒化珪素膜の前記高い圧縮ストレスは、前記窒化珪素膜がアニールされる時も前記800MPaを超える値に維持されることを特徴とする窒化珪素膜の形成方法。

【請求項2】

前記プラズマは、前記処理室内の処理圧力を1.3~4Paにして生成され、このプラズマにより1000MPa以上の圧縮ストレスを持つ窒化珪素膜が成膜されることを特徴とする請求項1に記載の窒化珪素膜の形成方法。

## 【請求項 3】

プラズマ CVD により高いストレスを有する窒化珪素膜を形成する窒化珪素膜の形成方法であって、

処理室内に被処理基板を配置し、

前記処理室内にアンモニアガスとシリコン含有ガスとを導入し、

複数のスロットを有する平面アンテナを通じて前記処理室にマイクロ波を導入して前記アンモニアガスおよびシリコン含有ガスとのプラズマを生成し、

前記プラズマによるプラズマ CVD を用いて前記被処理基板に高い引張りストレスを有する窒化珪素膜を形成し、

前記窒化珪素膜は、前記処理室内の  $6.7 \text{ Pa}$  以上の処理圧力及び  $300 \sim 800$  の 10  
処理温度下で、 $400 \text{ MPa}$  以上の引張りストレスを有するように形成され、

前記引張りストレスの強さは前記処理圧力を変化させることにより制御され、

前記プラズマ内の活性窒素種は前記アンモニアガスから由来し、

前記窒化珪素膜の前記高い引張りストレスは、前記窒化珪素膜がアニールされる時も前記  $400 \text{ MPa}$  以上の値に維持されることを特徴とする窒化珪素膜の形成方法。

## 【請求項 4】

前記プラズマは、前記処理室内の処理圧力を  $40 \sim 266.6 \text{ Pa}$  にして生成され、このプラズマにより  $800 \sim 2000 \text{ MPa}$  の引張りストレスを持つ窒化珪素膜が成膜されることを特徴とする、請求項 3 に記載の窒化珪素膜の形成方法。

## 【請求項 5】

前記プラズマは、前記処理室内の処理圧力を  $133.3 \sim 266.6 \text{ Pa}$  にして生成され、このプラズマにより  $1500 \sim 2000 \text{ MPa}$  の引張りストレスを持つ窒化珪素膜が成膜されることを特徴とする、請求項 4 に記載の窒化珪素膜の形成方法。

## 【請求項 6】

前記シリコン含有ガスが、ジシラン ( $\text{Si}_2\text{H}_6$ ) であることを特徴とする、請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の窒化珪素膜の形成方法。

## 【請求項 7】

高いストレスを有する窒化珪素膜を形成するプラズマ CVD 装置であって、

被処理基板が配置される処理室と、

前記処理室に窒素ガスとシリコン含有ガスとを供給するガス供給機構と、 30

複数のスロットを有する平面アンテナを通じて前記処理室にマイクロ波を導入して前記処理室内に前記窒素ガスとシリコン含有ガスとのプラズマを生成するプラズマ生成ユニットと、

前記処理室内を排気する排気ユニットと、

前記ガス供給機構から前記窒素ガス及びシリコン含有ガスを前記処理室内に導入し、前記プラズマ生成ユニットにより前記処理室内で、 $5.3 \text{ Pa}$  より低い処理圧力及び  $300 \sim 800$  の処理温度下で、前記窒素ガス及びシリコン含有ガスのプラズマを生成して、

前記プラズマによるプラズマ CVD により前記被処理基板に  $800 \text{ MPa}$  を超える圧縮ストレスを有する窒化珪素膜が形成されるように、前記プラズマ CVD 装置を制御する制御部を含み、 40

前記圧縮ストレスの強さは前記処理圧力を変化させることにより制御され、

前記プラズマ内の活性窒素種は前記窒素ガスから由来し、

前記窒化珪素膜の前記高い圧縮ストレスは、前記窒化珪素膜がアニールされる時も前記  $800 \text{ MPa}$  を超える値に維持されることを特徴とするプラズマ CVD 装置。

## 【請求項 8】

請求項 1 から請求項 6 のいずれかの窒化珪素膜の形成方法を含む CMOS トランジスタの製造方法。

## 【請求項 9】

プラズマ CVD を用いて窒化珪素膜を形成する方法において、

被処理基板を処理室内に配置することと、 50

窒素、珪素及び水素からなる処理ガスを前記処理室内に導入することと、  
前記処理ガスのプラズマを生成するために複数のスロットを有する平面アンテナを介してマイクロ波を前記処理室に導入することと、

前記マイクロ波により形成されたプラズマによるプラズマCVDを用いて前記被処理基板に窒化珪素膜を形成することと、を含み、

プラズマ生成空間の高さが100mmから300mmに設定される反面、前記窒化珪素膜は1.3～5.3Paの処理圧力下で800MPaを超える圧縮ストレスを有するように形成され、

前記窒化珪素膜の前記圧縮ストレスは前記窒化珪素膜がアニール処理された時にも前記800MPaを超える値に維持されることを特徴とする窒化珪素膜の形成方法。

10

【請求項10】

プラズマCVDを用いて窒化珪素膜を形成する方法において、  
被処理基板を処理室内に配置することと、  
窒素、珪素および水素からなる処理ガスを前記処理室内に導入することと、  
前記処理ガスのプラズマを生成するために複数のスロットを有する平面アンテナを介してマイクロ波を前記処理室に導入することと、

前記マイクロ波により形成されたプラズマによるプラズマCVDを用いて前記被処理基板に窒化珪素膜を形成することと、を含み、

プラズマ生成空間の高さが100mmから300mmに設定される反面、前記窒化珪素膜は6.7～266.6Paの処理圧力下で400MPa以上の引張りストレスを有するように形成され、

20

前記窒化珪素膜の前記引張りストレスは前記窒化珪素膜がアニール処理された時にも前記400MPa以上の値に維持されることを特徴とする窒化珪素膜の形成方法。

【請求項11】

窒化珪素膜は、前記処理室内で300～800の処理温度で成膜されることを特徴とする請求項9または請求項10に記載の窒化珪素膜の形成方法。

【請求項12】

前記処理ガスは、シリコン含有ガスと窒素含有ガスとを含み、窒素含有ガス流量に対するシリコン含有ガス流量の比率は0.1以下であることを特徴とする請求項9から請求項11のいずれか1項に記載の窒化珪素膜の形成方法。

30

【請求項13】

半導体装置を製造する方法において、  
絶縁膜を介してその上に形成されたゲート電極、前記ゲート電極の両側の主面領域に形成されたソースおよびドレイン、ならびに前記ソースと前記ドレインとの間に形成されたチャンネル領域とを有する半導体基板を準備することと、

前記半導体基板を処理室内に配置することと、  
窒素、珪素および水素からなる処理ガスを前記処理室内に導入することと、  
前記処理ガスのプラズマを生成するために複数のスロットを有する平面アンテナを介してマイクロ波を前記処理室に導入することと、

前記マイクロ波により形成されたプラズマによるプラズマCVDを用いて前記半導体基板に窒化珪素膜を形成することと、  
を含み、

40

プラズマ生成空間の高さが100mmから300mmに設定される反面、前記窒化珪素膜は1.3～5.3Paの処理圧力下で800MPaを超える圧縮ストレスを有するように形成され、

前記窒化珪素膜の前記圧縮ストレスは前記窒化珪素膜がアニール処理された時にも前記800MPaを超える値に維持されることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項14】

半導体装置を製造する方法において、  
絶縁膜を介してその上に形成されたゲート電極、前記ゲート電極の両側の主面領域に形

50

成されたソースおよびドレイン、ならびに前記ソースと前記ドレインとの間に形成されたチャンネル領域とを有する半導体基板を準備することと、

前記半導体基板を処理室内に配置することと、

窒素、珪素及び水素からなる処理ガスを前記処理室内に導入することと、

前記処理ガスのプラズマを生成するために複数のスロットを有する平面アンテナを介してマイクロ波を前記処理室に導入することと、

前記マイクロ波により形成されたプラズマによるプラズマCVDを用いて前記半導体基板に窒化珪素膜を形成することと、  
を含み、

プラズマ生成空間の高さが100mmから300mmに設定される反面、前記窒化珪素膜は6.7~266.6Paの処理圧力下で400MPa以上の引張りストレスを有するように形成され、

前記窒化珪素膜の前記引張りストレスは前記窒化珪素膜がアニール処理された時にも前記400MPa以上の値に維持されることを特徴とする半導体装置の製造方法。

#### 【請求項15】

窒化珪素膜は、前記処理室内で300~800の処理温度で成膜されることを特徴とする請求項13または請求項14に記載の半導体装置の製造方法。

#### 【請求項16】

前記処理ガスは、シリコン含有ガスと窒素含有ガスとを含み、窒素含有ガス流量に対するシリコン含有ガス流量の比率は0.1以下であることを特徴とする請求項13から請求項15のいずれか1項に記載の半導体装置の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、プラズマCVD (Chemical Vapor Deposition) による窒化珪素膜の形成方法、半導体装置の製造方法、およびプラズマCVD装置に関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

窒化珪素膜は、各種半導体装置における絶縁膜や保護膜等として使用されている。このような窒化珪素膜は、例えば、原料ガスとしてシラン( $\text{SiH}_4$ )などのシリコン含有化合物のガスと、窒素やアンモニアのような窒素含有化合物のガスを使用するプラズマCVD法により形成できることが知られている(例えば、特開2000-260767号公報)。

#### 【0003】

従来のプラズマCVD法により形成される窒化珪素膜においては、デバイス特性に悪影響を及ぼす膜の応力、すなわち引張り(Tensile)ストレスおよび圧縮(Compressive)ストレスを抑制することが重要な課題であった。例えば窒化珪素膜の圧縮ストレスが大きい場合には、膜直下の金属配線がストレスにより断線を引き起こすストレスマイグレーションが発生することが知られており、これを防止するためには圧縮ストレスを小さく抑える必要がある。窒化珪素膜のストレスの方向(引張りストレスであるか圧縮ストレスであるか)や大きさは、プラズマCVD法の場合、圧力、温度、成膜ガス種などの成膜条件に左右される。このため、従来は窒化珪素膜に強いストレスが生じない条件を選定し、プラズマCVD法によりストレスを有さない窒化珪素膜の成膜が行なわれてきた(例えば、前田和夫「VLSIとCVD」槇書店、1997年7月31日発行)

#### 【0004】

近年ある種のデバイスにおいて、窒化珪素膜のストレスを積極的に利用してデバイス特性を改善しようとする試みがなされている。しかし、例えば平行平板方式や誘導結合型のプラズマCVD装置では、比較的高い電子温度のプラズマを用いるため、高いストレスを導入する目的で高周波出力、圧力、温度などの条件を変えようとする、成膜された窒化珪素膜にプラズマダメージが入りやすい成膜条件となるので、良質な窒化珪素膜を得ること

10

20

30

40

50

が難しいという問題がある。このため、高ストレスの膜を成膜することが困難である。また、プラズマ処理条件の選択範囲が限られるため、ストレスを高精度に制御することも困難になる。

【発明の開示】

【0005】

本発明の目的は、プラズマCVDを用いて所望のストレスが導入された窒化珪素膜を低プラズマダメージで得ることができる窒化珪素膜の形成方法を提供することにある。

本発明の他の目的は、このような窒化珪素膜を用いた半導体装置の製造方法を提供することにある。

本発明のさらに他の目的は、このような窒化珪素膜を形成することができるプラズマCVD装置を提供することにある。

【0006】

本発明の第1の観点によれば、プラズマCVDにより高いストレスを有する窒化珪素膜を形成する窒化珪素膜の形成方法であって、処理室内に被処理基板を配置し、前記処理室内に窒素ガスとシリコン含有ガスとを導入し、複数のスロットを有する平面アンテナを通じて前記処理室にマイクロ波を導入して前記窒素ガスとシリコン含有ガスとのプラズマを生成し、前記プラズマによるプラズマCVDを用いて前記被処理基板に高い圧縮ストレスを有する窒化珪素膜を形成し、前記窒化珪素膜は、前記処理室内の1.3~5.3Paの処理圧力及び300~800の処理温度下で、800MPaを超える圧縮ストレスを有するように形成され、前記圧縮ストレスの強さは前記処理圧力を変化させることにより制御され、前記プラズマ内の活性窒素種は前記窒素ガスから由来し、前記窒化珪素膜の前記高い圧縮ストレスは、前記窒化珪素膜がアニールされる時も前記800MPaを超える値に維持されることを特徴とする窒化珪素膜の形成方法が提供される。

【0007】

上記第1の観点において、前記プラズマは、前記処理室内の処理圧力を1.3~4Paにして生成され、このプラズマにより1000MPa以上の圧縮ストレスを持つ窒化珪素膜を成膜することができる。

【0008】

本発明の第2の観点によれば、プラズマCVDにより高いストレスを有する窒化珪素膜を形成する窒化珪素膜の形成方法であって、処理室内に被処理基板を配置し、前記処理室内にアンモニアガスとシリコン含有ガスとを導入し、複数のスロットを有する平面アンテナを通じて前記処理室にマイクロ波を導入して前記アンモニアガスおよびシリコン含有ガスとのプラズマを生成し、前記プラズマによるプラズマCVDを用いて前記被処理基板に高い引張りストレスを有する窒化珪素膜を形成し、前記窒化珪素膜は、前記処理室内の6.7Pa以上の処理圧力及び300~800の処理温度下で、400MPa以上の引張りストレスを有するように形成され、前記引張りストレスの強さは前記処理圧力を変化させることにより制御され、前記プラズマ内の活性窒素種は前記アンモニアガスから由来し、前記窒化珪素膜の前記高い引張りストレスは、前記窒化珪素膜がアニールされる時も前記400MPa以上の値に維持されることを特徴とする窒化珪素膜の形成方法が提供される。

【0009】

上記第2の観点において、前記プラズマは、前記処理室内の処理圧力を40~266.6Paにして生成され、このプラズマにより800~2000MPaの引張りストレスを持つ窒化珪素膜を成膜することができる。また、前記プラズマは、前記処理室内の処理圧力を133.3~266.6Paにして生成され、このプラズマにより1500~2000MPaの引張りストレスを持つ窒化珪素膜を成膜することができる。

【0010】

上記第1の観点および第2の観点において、前記シリコン含有ガスとしてジシラン(Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)を用いることができる。

【0011】

10

20

30

40

50

本発明の第3の観点によれば、高いストレスを有する窒化珪素膜を形成するプラズマCVD装置であって、被処理基板が配置される処理室と、前記処理室に窒素ガスとシリコン含有ガスを供給するガス供給機構と、複数のスロットを有する平面アンテナを通じて前記処理室にマイクロ波を導入して前記処理室内に前記窒素ガスとシリコン含有ガスのプラズマを生成するプラズマ生成ユニットと、前記処理室内を排気する排気ユニットと、前記ガス供給機構から前記窒素ガスおよびシリコン含有ガスを前記処理室内に導入し、前記プラズマ生成ユニットにより前記処理室内で、 $5.3\text{ Pa}$ より低い処理圧力及び $300\sim 800$ の処理温度下で、前記窒素ガス及びシリコン含有ガスのプラズマを生成して、前記プラズマによるプラズマCVDにより前記被処理基板に $800\text{ MPa}$ を超える圧縮ストレスを有する窒化珪素膜が形成されるように、前記プラズマCVD装置を制御する制御部を含み、前記圧縮ストレスの強さは前記処理圧力を変化させることにより制御され、前記プラズマ内の活性窒素種は前記窒素ガスから由来し、前記窒化珪素膜の前記高い圧縮ストレスは、前記窒化珪素膜がアニールされる時も前記 $800\text{ MPa}$ を超える値に維持されることを特徴とするプラズマCVD装置が提供される。

10

【0012】

本発明の第4の観点によれば、上記第1または第2の観点の窒化珪素膜の形成方法を含むCMOSトランジスタの製造方法が提供される。

【0013】

本発明の第5の観点によれば、プラズマCVDを用いて窒化珪素膜を形成する方法において、被処理基板を処理室内に配置することと、窒素、珪素及び水素からなる処理ガスを前記処理室内に導入することと、前記処理ガスのプラズマを生成するために複数のスロットを有する平面アンテナを介してマイクロ波を前記処理室に導入することと、前記マイクロ波により形成されたプラズマによるプラズマCVDを用いて前記被処理基板に窒化珪素膜を形成することと、を含み、プラズマ生成空間の高さが $100\text{ mm}$ から $300\text{ mm}$ に設定される反面、前記窒化珪素膜は $1.3\sim 5.3\text{ Pa}$ の処理圧力下で $800\text{ MPa}$ を超える圧縮ストレスを有するよう形成され、前記窒化珪素膜の前記圧縮ストレスは前記窒化珪素膜がアニール処理された時にも前記 $800\text{ MPa}$ を超える値に維持されることを特徴とする窒化珪素膜の形成方法が提供される。

20

【0014】

本発明の第6の観点によれば、プラズマCVDを用いて窒化珪素膜を形成する方法において、被処理基板を処理室内に配置することと、窒素、珪素および水素からなる処理ガスを前記処理室内に導入することと、前記処理ガスのプラズマを生成するために複数のスロットを有する平面アンテナを介してマイクロ波を前記処理室に導入することと、前記マイクロ波により形成されたプラズマによるプラズマCVDを用いて前記被処理基板に窒化珪素膜を形成することと、を含み、プラズマ生成空間の高さが $100\text{ mm}$ から $300\text{ mm}$ に設定される反面、前記窒化珪素膜は $6.7\sim 266.6\text{ Pa}$ の処理圧力下で $400\text{ MPa}$ 以上の引張りストレスを有するよう形成され、前記窒化珪素膜の前記引張りストレスは前記窒化珪素膜がアニール処理された時にも前記 $400\text{ MPa}$ 以上の値に維持されることを特徴とする窒化珪素膜の形成方法が提供される。

30

【0015】

本発明の第7の観点によれば、半導体装置を製造する方法において、絶縁膜を介してその上に形成されたゲート電極、前記ゲート電極の両側の主面領域に形成されたソースおよびドレイン、ならびに前記ソースと前記ドレインとの間に形成されたチャンネル領域とを有する半導体基板を準備することと、前記半導体基板を処理室内に配置することと、窒素、珪素および水素からなる処理ガスを前記処理室内に導入することと、前記処理ガスのプラズマを生成するために複数のスロットを有する平面アンテナを介してマイクロ波を前記処理室に導入することと、前記マイクロ波により形成されたプラズマによるプラズマCVDを用いて前記半導体基板に窒化珪素膜を形成することと、を含み、プラズマ生成空間の高さが $100\text{ mm}$ から $300\text{ mm}$ に設定される反面、前記窒化珪素膜は $1.3\sim 5.3\text{ Pa}$ の処理圧力下で $800\text{ MPa}$ を超える圧縮ストレスを有するよう形成され、前記窒化

40

50

珪素膜の前記圧縮ストレスは前記窒化珪素膜がアニール処理された時にも前記  $800 \text{ MPa}$  を超える値に維持されることを特徴とする半導体装置の製造方法が提供される。

【0016】

本発明の第8の観点によれば、半導体装置を製造する方法において、絶縁膜を介してその上に形成されたゲート電極、前記ゲート電極の両側の主面領域に形成されたソースおよびドレイン、ならびに前記ソースと前記ドレインとの間に形成されたチャンネル領域とを有する半導体基板を準備することと、前記半導体基板を処理室内に配置することと、窒素、珪素及び水素からなる処理ガスを前記処理室内に導入することと、前記処理ガスのプラズマを生成するために複数のスロットを有する平面アンテナを介してマイクロ波を前記処理室に導入することと、前記マイクロ波により形成されたプラズマによるプラズマCVDを用いて前記半導体基板に窒化珪素膜を形成することと、を含み、プラズマ生成空間の高さが  $100 \text{ mm}$  から  $300 \text{ mm}$  に設定される反面、前記窒化珪素膜は  $6.7 \sim 266.6 \text{ Pa}$  の処理圧力下で  $400 \text{ MPa}$  以上の引張りストレスを有するように形成され、前記窒化珪素膜の前記引張りストレスは前記窒化珪素膜がアニール処理された時にも前記  $400 \text{ MPa}$  以上の値に維持されることを特徴とする半導体装置の製造方法が提供される。

10

【0017】

上記第5～第8の観点において、窒化珪素膜は、前記処理室内で  $300 \sim 800$  の処理温度で成膜することができる。また、前記処理ガスは、シリコン含有ガスと窒素含有ガスとを含み、窒素含有ガス流量に対するシリコン含有ガス流量の比率を  $0.1$  以下とすることができる。

20

【0018】

本発明によれば、処理ガスとして窒素ガスとシリコン含有ガスを用い、処理圧力を  $1.3 \text{ Pa}$  以上  $5.3 \text{ Pa}$  未満、処理温度を  $300 \sim 800$  にし、チャンバー内に複数のスロットを有する平面アンテナを介してマイクロ波を導入して、前記窒素ガスと前記シリコン含有ガスのプラズマを生成してプラズマCVD成膜を行うことにより、 $800 \text{ MPa}$  を超える圧縮ストレスを持つ窒化珪素膜を形成することができる。また、処理ガスとしてアンモニアガスとシリコン含有ガスを用い、処理圧力を  $6.7 \text{ Pa}$  以上、処理温度を  $300 \sim 800$  にし、チャンバー内に複数のスロットを有する平面アンテナを介してマイクロ波を導入して、前記アンモニアガスと前記シリコン含有ガスのプラズマを生成してプラズマCVD成膜を行うことにより、 $400 \text{ MPa}$  以上の引張りストレスを持つ窒化珪素膜を形成することができる。

30

【0019】

また、複数のスロットを有する平面アンテナにて処理室内にマイクロ波を導入してプラズマを発生させるプラズマCVD処理装置は、低電子温度かつ高密度のプラズマ処理が可能であることから、プラズマCVDにおけるプラズマダメージを極力低減できる。そのため、このようなプラズマ処理装置を用いることにより、窒素含有ガスの種類、処理圧力などのプラズマCVD条件の選択の幅が広くなり、窒化珪素膜のストレスの制御性を高めることができる。

【0020】

このように本発明のプラズマCVD方法は、窒化珪素膜のストレス特性を高精度に制御できるとともに、プラズマダメージを抑制できる方法であるため、各種半導体装置の製造過程でストレスを有する窒化珪素膜を成膜する際に有利に利用することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】本発明方法の実施に適したプラズマ処理装置の一例を示す概略断面図。

【図2】図1のプラズマ処理装置の平面アンテナ部材を示す平面図。

【図3】ストレスを有する窒化珪素膜を被覆膜として使用したトランジスタの断面構造を模式的に示す図。

【図4A】本発明の一実施形態に係るプラズマCVD方法を適用した半導体装置の製造方法の工程を示す工程断面図であり、窒化珪素膜の形成前の状態を示す図。

50

【図4B】本発明の一実施形態に係るプラズマCVD方法を適用した半導体装置の製造方法の工程を示す工程断面図であり、プラズマCVD処理をしている状態を示す図。

【図4C】本発明の一実施形態に係るプラズマCVD方法を適用した半導体装置の製造方法の工程を示す工程断面図であり、プラズマCVDによるストレスを有する窒化珪素膜を成膜後の状態を示す図。

【図5】ストレスを有する窒化珪素膜を被覆膜として使用したCMOSトランジスタの断面構造を模式的に示す図。

【図6】ストレスを有する窒化珪素膜を被覆膜として使用した不揮発性メモリの断面構造を模式的に示す図。

【図7】窒化珪素膜のストレスとプラズマCVDにおける圧力条件との関係を示すグラフ

10

【図8A】処理圧力が40.0Paの場合における窒化珪素膜中の水素濃度とプラズマCVDにおける $Si_2H_6$ 流量との関係を示すグラフ。

【図8B】処理圧力が133.3Paの場合における窒化珪素膜中の水素濃度とプラズマCVDにおける $Si_2H_6$ 流量との関係を示すグラフ。

【図8C】処理圧力が400Paの場合における窒化珪素膜中の水素濃度とプラズマCVDにおける $Si_2H_6$ 流量との関係を示すグラフ。

【図9】圧力が666Pa(5 Torr)のときの $Si_2H_6/NH_3$ の値と窒化珪素膜のストレスの関係を示すグラフ。

【図10】 $Si_2H_6$ 流量を2mL/min(sccm)、5mL/min(sccm)、10mL/min(sccm)と変化させた場合の処理圧力と窒化珪素膜のストレスとの関係を示すグラフ。

20

【図11】 $Si_2H_6$ 流量を2mL/min(sccm)、5mL/min(sccm)、10mL/min(sccm)と変化させた場合の処理圧力とN-H結合濃度との関係を示すグラフ

【図12】 $Si_2H_6$ 流量を2mL/min(sccm)、5mL/min(sccm)、10mL/min(sccm)と変化させた場合の処理圧力とSi-H結合濃度との関係を示すグラフ

【図13A】引張りストレスの場合における窒化珪素膜のストレスとプラズマCVDにおける温度条件およびギャップとの関係を示すグラフ。

30

【図13B】圧縮ストレスの場合における窒化珪素膜のストレスとプラズマCVDにおける温度条件およびギャップとの関係を示すグラフ。

【図14】引張りストレスを有する窒化珪素膜のJgマップを示す図。

【図15】圧縮ストレスを有する窒化珪素膜のJgマップを示す図。

【図16A】引張りストレスの場合における窒化珪素膜のストレスとアニール時間との関係を示すグラフ。

【図16B】圧縮ストレスの場合における窒化珪素膜のストレスとアニール時間との関係を示すグラフ。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

40

以下、適宜添付図面を参照して本発明の実施の形態について具体的に説明する。図1は、本発明方法における窒化珪素膜の形成に利用可能なプラズマ処理装置の一例を模式的に示す断面図である。このプラズマ処理装置100は、複数のスロットを有する平面アンテナ、特にRLSA(Radial Line Slot Antenna; ラジアルラインスロットアンテナ)にて処理室内にマイクロ波を導入してプラズマを発生させることにより、高密度かつ低電子温度のマイクロ波励起プラズマを発生させ得るRLSAマイクロ波プラズマ処理装置として構成されており、 $1 \times 10^{10} \sim 5 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ のプラズマ密度で、かつ0.7~2eVの低電子温度のプラズマによる処理が可能である。従って、各種半導体装置の製造過程においてプラズマCVDによる窒化珪素膜の成膜処理などの目的で好適に利用可能なものである。

50

## 【0023】

上記プラズマ処理装置100は、気密に構成され、接地された略円筒状のチャンパー1を有している。なお、チャンパー1は角筒形状でもよい。チャンパー1の底壁1aの略中央部には円形の開口部10が形成されており、底壁1aにはこの開口部10と連通し、下方に向けて突出する排気室11が設けられている。この排気室11は、排気管23を介して排気装置24に接続されている。

## 【0024】

チャンパー1内には被処理基板であるシリコンウエハ(以下、単に「ウエハ」と記す)Wを水平に支持するため、熱伝導性の高いAlN等のセラミックスからなる載置台2が設けられている。この載置台2は、排気室11の底部中央から上方に延びる円筒状のAlN等のセラミックスからなる支持部材3により支持されている。載置台2には、その外縁部をカバーし、ウエハWをガイドするためのカバーリング4が設けられている。このカバーリング4は、例えば石英、AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiN等の材質で構成された部材である。

10

## 【0025】

載置台2には抵抗加熱型のヒータ5が埋め込まれており、このヒータ5はヒータ電源5aから給電されることにより載置台2を加熱して、その熱で被処理基板であるウエハWを均一に加熱する。また、載置台2には、熱電対6が配備されており、ウエハWの加熱温度を、例えば室温から900°までの範囲で温度制御可能となっている。載置台2には、ウエハWを支持して昇降させるためのウエハ支持ピン(図示せず)が載置台2の表面に対し

20

## 【0026】

後述するアッププレート27およびチャンパー1の側壁には、環状をなすガス導入部15aおよび15bが上下に設けられており、各ガス導入部15aおよび15bには成膜原料ガスやプラズマ励起用ガスを供給するガス供給系16が接続されている。なお、ガス導入部15aおよび15bはノズル状またはシャワー状に配置してもよい。

## 【0027】

ガス供給系16は、例えば窒素含有ガス供給源17、Si含有ガス供給源18および不活性ガス供給源19を有している。窒素含有ガス供給源17は、上部のガス導入部15aに接続され、Si含有ガス供給源18および不活性ガス供給源19は、下部のガス導入部15bに接続されている。

30

## 【0028】

成膜原料ガスである窒素含有ガスとしては、例えば窒素(N<sub>2</sub>)、アンモニア(NH<sub>3</sub>)、モノメチルヒドラジン(MMH)のようなヒドラジン誘導体などを用いることができる。

## 【0029】

また、他の成膜原料ガスであるSi含有ガスとしては、例えばシラン(SiH<sub>4</sub>)、ジシラン(Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)、トリシリルアミン(TSA)[(SiH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>N]などを用いることができるが、特にジシラン(Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)が好ましい。

## 【0030】

さらに、不活性ガスとしては、例えばN<sub>2</sub>ガスや希ガスなどを用いることができる。プラズマ励起用ガスである希ガスとしては、例えばArガス、Krガス、Xeガス、Heガスなどを用いることができる。なお、本発明では、後述するように成膜原料ガスを選択することにより、形成される窒化珪素膜のストレスの方向(引張り/圧縮)を制御することができる。

40

## 【0031】

窒素含有ガスは、ガスライン20を介してガス導入部15aに至り、ガス導入部15aからチャンパー1内に導入される。一方、Si含有ガスおよび不活性ガスは、それぞれガスライン20を介してガス導入部15bに至り、ガス導入部15bからチャンパー1内に導入される。各ガス供給源に接続する各々のガスライン20には、マスフローコントロー

50

ラ 2 1 およびその前後に開閉バルブ 2 2 が設けられており、供給されるガスの切替えや流量等の制御が出来るように構成されている。なお、Ar などのプラズマ励起用の希ガスは任意のガスであり、必ずしも成膜原料ガスと同時に供給しなくてもよい。

【 0 0 3 2 】

上記排気室 1 1 の側面には排気管 2 3 が接続されており、この排気管 2 3 には高速真空ポンプを含む前述の排気装置 2 4 が接続されている。そしてこの排気装置 2 4 を作動させることによりチャンパー 1 内のガスが、載置台 2 の外周下方に沿って排気室 1 1 の空間 1 1 a 内へ均一に排出され、排気管 2 3 を介して排気される。これによりチャンパー 1 内は所定の真空度、例えば 0 . 1 3 3 P a まで高速に減圧することが可能となっている。

【 0 0 3 3 】

チャンパー 1 の側壁には、プラズマ処理装置 1 0 0 に隣接する搬送室（図示せず）との間でウエハ W の搬入出を行うための搬入出口 2 5 と、この搬入出口 2 5 を開閉するゲートバルブ 2 6 とが設けられている。

【 0 0 3 4 】

チャンパー 1 の上部は開口部となっており、この開口部には環状のアッププレート 2 7 が接合される。アッププレート 2 7 の内周下部は、内側のチャンパー内空間へ向けて突出する環状の支持部 2 7 a が形成されている。この支持部 2 7 a 上に、誘電体、例えば石英や  $Al_2O_3$ 、AlN 等のセラミックスからなり、マイクロ波を透過するマイクロ波透過板 2 8 がシールド部材 2 9 を介して気密に設けられている。したがって、チャンパー 1 内は気密に保持される。

【 0 0 3 5 】

透過板 2 8 の上方には、載置台 2 と対向するように、円板状の平面アンテナ部材 3 1 が設けられている。なお、平面アンテナ部材の形状は、円板状に限らず、例えば四角板状でもよい。この平面アンテナ部材 3 1 はチャンパー 1 の側壁上端に係止されている。平面アンテナ部材 3 1 は、例えば表面が金または銀メッキされた銅板またはアルミニウム板からなり、マイクロ波を放射する多数のスロット状のマイクロ波放射孔 3 2 が所定のパターンで貫通して形成された構成となっている。

【 0 0 3 6 】

マイクロ波放射孔 3 2 は、例えば図 2 に示すように長い形状をなすものが対をなし、典型的には対をなすマイクロ波放射孔 3 2 同士が「T」字状に配置され、これらの対が複数、同心円状に配置されている。マイクロ波放射孔 3 2 の長さや配列間隔は、導波管 3 7 内のマイクロ波の波長 ( $g$ ) に応じて決定され、例えばマイクロ波放射孔 3 2 の間隔は、 $g/4$ 、 $g/2$  または  $g$  となるように配置される。なお、図 2 において、同心円状に形成された隣接するマイクロ波放射孔 3 2 同士の間隔を  $r$  で示している。また、マイクロ波放射孔 3 2 は、円形状、円弧状等の他の形状であってもよい。さらに、マイクロ波放射孔 3 2 の配置形態は特に限定されず、同心円状のほか、例えば、螺旋状、放射状に配置することもできる。

【 0 0 3 7 】

この平面アンテナ部材 3 1 の上面には、真空よりも大きい誘電率を有する遅波材 3 3 が設けられている。この遅波材 3 3 は、真空中ではマイクロ波の波長が長くなることから、マイクロ波の波長を短くしてプラズマを調整する機能を有している。なお、平面アンテナ部材 3 1 と透過板 2 8 との間、また、遅波材 3 3 と平面アンテナ部材 3 1 との間は、それぞれ接触させても離間させてもよいが、接触させることが好ましい。

【 0 0 3 8 】

チャンパー 1 の上面には、これら平面アンテナ部材 3 1 および遅波材 3 3 を覆うように、例えばアルミニウムやステンレス鋼等の金属材料からなるシールド蓋体 3 4 が設けられている。チャンパー 1 の上面とシールド蓋体 3 4 とはシールド部材 3 5 によりシールドされている。シールド蓋体 3 4 には、冷却水流路 3 4 a が形成されており、そこに冷却水を通過させることにより、シールド蓋体 3 4、遅波材 3 3、平面アンテナ部材 3 1、透過板 2 8 を冷却するようになっている。なお、シールド蓋体 3 4 は接地されている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 9 】

シールド蓋体 3 4 の上壁の中央には、開口部 3 6 が形成されており、この開口部には導波管 3 7 が接続されている。この導波管 3 7 の端部には、マッチング回路 3 8 を介してマイクロ波を発生するマイクロ波発生装置 3 9 が接続されている。これにより、マイクロ波発生装置 3 9 で発生した、例えば周波数 2 . 4 5 G H z のマイクロ波が導波管 3 7 を介して上記平面アンテナ部材 3 1 へ伝搬されるようになっている。なお、マイクロ波の周波数としては、8 . 3 5 G H z 、 1 . 9 8 G H z 等を用いることもできる。

## 【 0 0 4 0 】

導波管 3 7 は、上記シールド蓋体 3 4 の開口部 3 6 から上方へ延出する断面円形状の同軸導波管 3 7 a と、この同軸導波管 3 7 a の上端部にモード変換器 4 0 を介して接続された水平方向に延びる矩形導波管 3 7 b とを有している。矩形導波管 3 7 b と同軸導波管 3 7 a との間のモード変換器 4 0 は、矩形導波管 3 7 b 内を T E モードで伝播するマイクロ波を T E M モードに変換する機能を有している。同軸導波管 3 7 a の中心には内導体 4 1 が延在しており、内導体 4 1 は、その下端部において平面アンテナ部材 3 1 の中心に接続固定されている。これにより、マイクロ波は、同軸導波管 3 7 a の内導体 4 1 を介して平面アンテナ部材 3 1 へ放射状に効率よく均一に伝播される。

## 【 0 0 4 1 】

プラズマ処理装置 1 0 0 の各構成部は、C P U を備えたプロセスコントローラ 5 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 5 0 には、工程管理者がプラズマ処理装置 1 0 0 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 1 0 0 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 5 1 が接続されている。

## 【 0 0 4 2 】

また、プロセスコントローラ 5 0 には、プラズマ処理装置 1 0 0 で実行される各種処理をプロセスコントローラ 5 0 の制御にて実現するための制御プログラム（ソフトウェア）や処理条件データ等が記録されたレシピが格納された記憶部 5 2 が接続されている。

## 【 0 0 4 3 】

そして、必要に応じて、ユーザーインターフェース 5 1 からの指示等にて任意のレシピを記憶部 5 2 から呼び出してプロセスコントローラ 5 0 に実行させることで、プロセスコントローラ 5 0 の制御下で、プラズマ処理装置 1 0 0 での所望の処理が行われる。また、前記制御プログラムや処理条件データ等のレシピは、コンピュータ読み取り可能な記憶媒体、例えば C D - R O M 、ハードディスク、フレキシブルディスク、フラッシュメモリなどに格納された状態のものを利用したり、あるいは、他の装置から、例えば専用回線を介して随時伝送させてオンラインで利用したりすることも可能である。

## 【 0 0 4 4 】

このように構成されたプラズマ処理装置 1 0 0 は、8 0 0 以下の低温で下地膜等へのダメージフリーなプラズマ処理を進めることができるとともに、プラズマ均一性に優れており、プロセスの均一性を実現できる。

## 【 0 0 4 5 】

R L S A 方式のプラズマ処理装置 1 0 0 においては、以下のような手順でプラズマ C V D 法によりウエハ W 表面に窒化珪素膜を堆積させる処理を行うことができる。

## 【 0 0 4 6 】

まず、ゲートバルブ 2 6 を開にして搬入出口 2 5 からウエハ W をチャンバー 1 内に搬入し、載置台 2 上に載置する。そして、ガス供給系 1 6 の窒素含有ガス供給源 1 7 およびシリコン含有ガス供給源 1 8 から、窒素含有ガスおよびシリコン含有ガスを所定の流量でそれぞれガス導入部 1 5 a , 1 5 b を介してチャンバー 1 内に導入する。

## 【 0 0 4 7 】

次に、マイクロ波発生装置 3 9 からのマイクロ波を、マッチング回路 3 8 を経て導波管 3 7 に導き、矩形導波管 3 7 b 、モード変換器 4 0 、および同軸導波管 3 7 a を順次通過させて内導体 4 1 を介して平面アンテナ部材 3 1 に供給し、平面アンテナ部材 3 1 のスロ

10

20

30

40

50

ットから透過板 28 を介してチャンバー 1 内におけるウエハ W の上方空間に放射させる。マイクロ波は、矩形導波管 37 b 内では T E モードで伝搬し、この T E モードのマイクロ波はモード変換器 40 で T E M モードに変換されて、同軸導波管 37 a 内を平面アンテナ部材 31 に向けて伝搬されていく。この際のマイクロ波出力は、例えば 500 ~ 3000 W 程度とすることができる。

#### 【0048】

平面アンテナ部材 31 から透過板 28 を経てチャンバー 1 に放射されたマイクロ波によりチャンバー 1 内で電磁界が形成され、窒素含有ガス、シリコン含有ガスがそれぞれプラズマ化する。このマイクロ波励起プラズマは、マイクロ波が平面アンテナ部材 31 の多数の孔 32 から放射されることにより、略  $1 \times 10^{10} \sim 5 \times 10^{12} / \text{cm}^3$  の高密度で、かつウエハ W 近傍では、略 1.5 eV 以下の低電子温度プラズマとなる。このようにして形成されるマイクロ波励起プラズマは、下地膜へのイオン等によるプラズマダメージが少なく、高密度であるのでプラズマ中で原料ガスが高い解離状態となり、SiH、NH、N、H などの活性種が生成され、活性種間の反応によって、窒化珪素  $\text{Si}_x\text{N}_y$  (ここで、x、y は必ずしも化学量論的に決定されず、条件により異なる値をとる) の薄膜が堆積される。

#### 【0049】

本発明においては、プラズマ CVD 成膜の条件を選定することにより、成膜される窒化珪素膜のストレスの方向と強さを制御することができる。具体的には、例えば成膜する窒化珪素膜に引張り (tensile) ストレスを付与する場合には、窒素含有ガスとして  $\text{NH}_3$  ガス、シリコン含有ガスとして例えば  $\text{Si}_2\text{H}_6$  ガスを使用することが好ましい。この場合、 $\text{NH}_3$  ガスの流量を 100 ~ 3000 mL/min (sccm)、好ましくは 400 ~ 1000 mL/min (sccm)、 $\text{Si}_2\text{H}_6$  ガスの流量を 1 ~ 30 mL/min (sccm)、好ましくは 5 ~ 20 mL/min (sccm) に設定する。

#### 【0050】

また、上記  $\text{Si}_2\text{H}_6$  ガスと  $\text{NH}_3$  ガスを用いる場合において、プラズマ CVD の際の処理圧力を高めに設定することにより、高い引張りストレスを有する窒化珪素膜を形成することができる。例えば  $\text{Si}_2\text{H}_6$  ガスと  $\text{NH}_3$  ガスを用いて 400 MPa 以上の引張りストレスを有する窒化珪素膜を成膜するためには、処理圧力を 6.7 Pa (50 mTorr) 以上に設定することが好ましい。また、800 MPa 以上例えば 800 ~ 2000 MPa の高い引張りストレスを有する窒化珪素膜を成膜するためには、処理圧力を 40 Pa 以上例えば 40 ~ 266.6 Pa (300 mTorr ~ 2 Torr) に設定することが好ましい。さらに、1000 MPa 以上例えば 1000 ~ 2000 MPa の高い引張りストレスを有する窒化珪素膜を成膜するためには、処理圧力を 53.3 Pa 以上例えば 53.3 ~ 266.6 Pa (400 mTorr ~ 2 Torr) に設定することが好ましい。またさらに、1500 MPa 以上例えば 1500 ~ 2000 MPa の高い引張りストレスを有する窒化珪素膜を成膜するためには、処理圧力を 133.3 Pa 以上例えば 133.3 ~ 266.6 Pa (1 Torr ~ 2 Torr) に設定することが好ましい。

#### 【0051】

また、処理圧力が同じ場合には、プラズマ CVD の処理温度が高いほど窒化珪素膜の引張りストレスが強くなる傾向があることから、載置台 2 を 300 ~ 800 に加熱することが好ましい。また、プラズマ CVD 法は低温で成膜可能であり、デバイス製造の観点から 300 ~ 450 がより好ましい。

#### 【0052】

さらに、プラズマ処理装置 100 におけるギャップ (透過板 28 の下面から載置台 2 の上面までの間隔) G が広い程、引張りストレスが強くなる傾向があるため、ギャップ G を例えば 100 ~ 300 mm 程度に設定することが好ましい。

#### 【0053】

また、例えば成膜する窒化珪素膜に圧縮 (compressive) ストレスを付与する場合には、窒素含有ガスとして  $\text{N}_2$  ガス、シリコン含有ガスとして例えば  $\text{Si}_2\text{H}_6$  ガスを使用す

ることが好ましい。この場合、 $N_2$  ガス流量を  $100 \sim 3000 \text{ mL/min (sccm)}$ 、好ましくは  $800 \sim 2000 \text{ mL/min (sccm)}$ 、 $Si_2H_6$  ガス流量を  $1 \sim 30 \text{ mL/min (sccm)}$ 、好ましくは  $1 \sim 10 \text{ mL/min (sccm)}$  に設定する。

【0054】

また、上記  $Si_2H_6$  ガスと  $N_2$  ガスを用いる場合において、プラズマCVDの際の処理圧力を低めに設定することにより、高い圧縮ストレスを有する窒化珪素膜を形成することができる。例えば  $Si_2H_6$  ガスと  $N_2$  ガスを用いて、例えば  $800 \text{ MPa}$  を超える圧縮ストレスを有する窒化珪素膜を成膜するためには、処理圧力を  $5.3 \text{ Pa (40 Torr)}$  未満例えば  $1.3 \sim 5.3 \text{ Pa (10 Torr} \sim 40 \text{ Torr)}$  に設定することが好ましい。さらに、 $1000 \text{ MPa}$  以上例えば  $1000 \sim 2000 \text{ MPa}$  の高い圧縮ストレスを有する窒化珪素膜を成膜するためには、処理圧力を  $4 \text{ Pa}$  以下例えば  $1.3 \sim 4 \text{ Pa (10 Torr} \sim 30 \text{ Torr)}$  に設定することが好ましい。

10

【0055】

また、処理圧力が同じ場合には、プラズマCVDの処理温度が高いほど窒化珪素膜の圧縮ストレスが強くなる傾向があることから、載置台2を  $300 \sim 800$  に加熱することが好ましく、デバイス製造の観点から  $300 \sim 450$  がより好ましい。

【0056】

さらに、プラズマ処理装置100におけるギャップ(透過板28の下面から載置台2の上面までの間隔)Gが広い程、圧縮ストレスが強くなる傾向があるため、ギャップGを例えば  $100 \sim 300 \text{ mm}$  程度に設定することが好ましい。

20

【0057】

以上のように、プラズマ処理装置100を用い、プラズマCVD条件を選択して成膜を行なうことにより、窒化珪素膜のストレスの方向(引張りまたは圧縮)とストレスの大きさを高精度に制御できる。

【0058】

次に、プラズマ処理装置100を使用したプラズマCVDにより成膜される窒化珪素膜の適用例について図3および図4A~4Cを参照しながら説明する。図3は、MOS(Metal-Oxide-silicon)構造のトランジスタ200の概略構成を示す模式的な断面図である。このトランジスタ200は、P型もしくはN型のSi層101上に、ゲート絶縁膜102を介して例えばポリシリコンからなるゲート電極103が形成されている。ゲート電極103の下方両側には、ソース104およびドレイン105が形成され、これらの間には、チャンネル領域106(図3中の網掛け部分)が形成されている。そして、ゲート電極103を覆うように高ストレスを有する絶縁膜からなる被覆膜(ライナー)107が形成されている。本適用例では、この被覆膜107を、プラズマ処理装置100を使用したプラズマCVDにより成膜することができる。その際、プラズマCVDの条件を制御することにより、前記のとおり、被覆膜107に引張りストレスまたは圧縮ストレスを付与することができる。

30

【0059】

例えば、被覆膜107として引張りストレスを持つ窒化珪素膜を使用した場合、被覆膜107には、図3中に黒矢印108で示すような方向のストレスが加わる。そして、被覆膜107に接するソース104およびドレイン105を構成するシリコンには、前記黒矢印108と同方向のストレスが加わる。その結果、チャンネル領域106にも黒矢印108と同方向のストレスが加わり、チャンネル領域106に引張り歪みが生じる。

40

【0060】

逆に、被覆膜107が圧縮ストレスを有する場合、被覆膜107には、図3中に白矢印109で示すような方向のストレスが加わる。そして、被覆膜107に接するソース104およびドレイン105を構成するシリコンには、前記白矢印109と同方向のストレスが加わる。その結果、チャンネル領域106にも、白矢印109と同方向のストレスが加わり、チャンネル領域106に圧縮歪みが生じる。

50

## 【 0 0 6 1 】

トランジスタ 2 0 0 が電子をキャリアとする N M O S トランジスタである場合には、チャンネル領域 1 0 6 に引張り歪を与えると移動度が増すが、圧縮歪を与えると移動度が下がる。一方、トランジスタ 2 0 0 が正孔をキャリアとする P M O S トランジスタである場合には、チャンネル領域 1 0 6 に圧縮歪を与えた時に移動度が増し、引張り歪を与えると移動度がかえって下がる。

## 【 0 0 6 2 】

従って、トランジスタ 2 0 0 が N M O S トランジスタである場合には、被覆膜 1 0 7 として引張りストレスを持つ窒化珪素膜を用い、チャンネル領域 1 0 6 に引張り歪みを生じさせることにより、飽和駆動電流値や線形駆動電流値を増加させることができる。また、トランジスタ 2 0 0 が P M O S トランジスタである場合には、被覆膜 1 0 7 として圧縮ストレスを持つ窒化珪素膜を用い、チャンネル領域 1 0 6 に圧縮歪みを生じさせることにより、飽和駆動電流値や線形駆動電流値を増加させることができる。このように、被覆膜 1 0 7 に引張りストレスまたは圧縮ストレスを持つ窒化珪素膜を用いることにより、トランジスタ 2 0 0 の駆動性能を改善できる。その結果として、トランジスタ 2 0 0 を組込んだ半導体装置の性能を向上させることができる。

## 【 0 0 6 3 】

なお、図 3 では、ストレスを持つ窒化珪素膜を被覆膜 1 0 7 に適用したが、これ以外にも例えばゲート電極 1 0 3 の両側部に形成されるサイドウォールとして、ストレスを有する窒化珪素膜を用いることができる。

## 【 0 0 6 4 】

トランジスタ 2 0 0 は、例えばプラズマ処理装置 1 0 0 を用いて前記引張りストレスまたは圧縮ストレスを付与することができる成膜条件で上記構造体のゲート電極 1 0 3 ならびにソース 1 0 4 およびドレイン 1 0 5 を覆うように窒化珪素膜からなる被覆膜 1 0 7 を形成することにより製造することができる。図 4 A ~ 4 C は、一部に本発明のプラズマ窒化処理方法を適用したトランジスタ 2 0 0 の製造工程の例を説明するための工程断面図である。

## 【 0 0 6 5 】

図 4 A に示すトランジスタ構造は、以下の手順で形成できる。まず、P 型もしくは N 型の S i 層 1 0 1 に、ウエル（図示せず）を形成し、例えば L O C O S 法や S T I (Shallow Trench Isolation) により素子分離層（図示せず）を形成する。次いで、プラズマ処理や熱処理などの手法で S i 層 1 0 1 の表面に窒化珪素膜や酸化珪素膜などのゲート絶縁膜 1 0 2 を形成する。このゲート絶縁膜 1 0 2 上に、例えば C V D によりポリシリコン層を成膜した後、フォトリソグラフィ技術により形成されたマスクパターンに基づきエッチングしてゲート電極 1 0 3 を形成する。なお、ゲート電極構造は、ポリシリコン層の単層に限らず、ゲート電極の比抵抗を下げ、高速化する目的で、例えばタングステン、モリブデン、タンタル、チタン、それらのシリサイド、ナイトライド、合金等を含む積層構造にすることもできる。このようにゲート電極 1 0 3 を形成した後は、イオン注入および活性化処理を行なってソース 1 0 4、ドレイン 1 0 5 を形成する。

## 【 0 0 6 6 】

次に、図 4 B に示すように、プラズマ処理装置 1 0 0 を用い S i 層 1 0 1 の表面とゲート電極 1 0 3 を覆うように引張りストレスまたは圧縮ストレスを持つ窒化珪素膜を成膜する。そして、フォトリソグラフィ技術により形成されたマスクパターンに基づき不要領域の窒化珪素膜を除去して被覆膜 1 0 7 を形成することにより、図 4 C に示すように M O S 構造のトランジスタ 2 0 0 を製造することができる。なお、被覆膜 1 0 7 を形成した後は、必要に応じてアニールをすることもできる。

## 【 0 0 6 7 】

また、図 5 に示す C M O S トランジスタ 3 0 0 を製造する場合には、成膜、フォトリソグラフィによるパターニング、エッチング等を順次行い、N M O S 領域 2 0 1 と P M O S 領域 2 0 2 を形成し、さらに本発明の引張りストレスまたは圧縮ストレスを付与できる成

10

20

30

40

50

膜条件で窒化珪素膜の成膜とエッチングを行うことにより、NMOS領域201とPMOS領域202のそれぞれに被覆膜203および204を形成することができる。

【0068】

具体的には、シリコン基板210にNMOS領域201となるp型ウエル211およびPMOS領域202となるn型ウエル212を形成する。p型ウエル211の主面にゲート絶縁膜213を介してpoly-Siからなるゲート電極214を形成し、ゲート電極214の両側にソース215およびドレイン216を形成する。そして、ゲート電極214の側壁にはサイドウォール217を形成する。一方、n型ウエル212の主面にゲート絶縁膜213を介してpoly-Siからなるゲート電極224を形成し、ゲート電極224の両側にソース225およびドレイン226を形成する。そして、ゲート電極224の側壁にはサイドウォール227を形成する。なお、符号230は素子分離領域である。この際の手順は、上記図4A~4Cに準じたものとなる。

10

【0069】

このようにしてNMOS領域201およびPMOS領域202が形成された状態で、プラズマ処理装置100を用い、全面に引張りストレスの窒化珪素膜を堆積させ、エッチングによりPMOS領域202から引張りストレスの窒化珪素膜を取り除き、NMOS領域201にのみ引張りストレスの窒化珪素膜からなる被覆膜203を残す。

【0070】

次に、プラズマ処理装置100を用い、ウエハW上に圧縮ストレスの窒化珪素膜を堆積させる。そしてエッチングによりNMOS領域201から圧縮ストレスの窒化珪素膜を取り除き、PMOS領域にのみ圧縮ストレスの窒化珪素膜からなる被覆膜204を残す。このようにして、NMOS領域201およびPMOS領域202のそれぞれにおいて、窒化珪素膜のストレスを利用し、NMOS領域201のチャンネル領域218には引張り歪を生じさせ、PMOS領域202のチャンネル領域228には圧縮歪を生じさせて性能を向上させたCMOSトランジスタを製造することができる。

20

【0071】

さらに、プラズマ処理装置100を使用したプラズマCVDにより成膜される窒化珪素膜は、図6に示すような不揮発性メモリ400にも適用可能である。この不揮発性メモリ400は、Si基板301の主面上にトンネル酸化膜302が形成され、その上にポリシリコンからなるフローティングゲート(FG)304が形成され、このフローティングゲート304の上に、例えば酸化膜、窒化膜、酸化膜からなるONO構造の誘電体膜305が形成され、さらにこの誘電体膜305の上にポリシリコンからなるコントロールゲート(CG)306が形成され、コントロールゲート306の上には絶縁層307が形成され、フローティングゲート304とコントロールゲート306の側壁には酸化処理により側壁酸化膜308が形成され、Si基板301の主面のフローティングゲート304の両側にはソース309およびドレイン310が形成され、フローティングゲート304、コントロールゲート306、ソース309、ドレイン310を覆うようにストレスを持つ窒化珪素膜からなる被覆膜311が形成されている。

30

【0072】

このようにストレスを持つ窒化珪素膜を被覆膜311として形成することにより、フローティングゲート304に適切な歪を与えることができる。すなわち、このような不揮発性メモリ400においては、フローティングゲート304の電荷がトンネル酸化膜を通過してSi基板へトンネリングして失われる(トンネル電流)ことにより、メモリが消失してしまうが、フローティングゲート304に適切な歪を与えることにより、平均電子質量とトンネル酸化膜302を構成するSiO<sub>2</sub>の障壁幅が増加するため、トンネル電流を減少させてフローティングゲート304が電荷をより安定的に保持することができるようになる。

40

【0073】

次に、本発明の基礎となった試験結果について説明する。

まず、プラズマ処理装置100を用いて種々の条件で窒化珪素膜を成膜し、窒化珪素膜

50

のストレスの大きさについて試験した。図7はこの際のプラズマCVDにおける処理圧力と窒化珪素膜のストレスの大きさの関係を示すグラフである。なお、図7の縦軸は窒化珪素膜のストレスの大きさを示しており、正（プラス）側は引張りストレス、負（マイナス）側は圧縮ストレスである（図9、10、13A、13B、16Aおよび16Bにおいても同様である）。また、図7において横軸の処理圧力はmTorrを対数目盛で示したものであり、上段にmTorrの値を示し、下段に換算したPaの値を示す（以下の図10、11、12も同じ）。

【0074】

本試験において、ストレスを持つ窒化珪素膜は、以下のプラズマCVD条件で成膜した。

<プラズマCVD成膜条件(NH<sub>3</sub>/Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>ガス系)>

NH<sub>3</sub>ガス流量; 500mL/min(sccm)

Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>ガス流量; 5mL/min(sccm)

処理圧力; 2.7Pa(20mTorr)、6.7Pa(50mTorr)、40.0Pa(300mTorr)および133.3Pa(1Torr)

載置台2の温度; 400

マイクロ波パワー; 2000W

【0075】

また、圧縮ストレスを持つ窒化珪素膜は、以下のプラズマCVD条件で成膜した。

<プラズマCVD成膜条件(N<sub>2</sub>/Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>ガス系)>

N<sub>2</sub>ガス流量(ガス導入部15a); 1100mL/min(sccm)

Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>ガス流量; 1mL/min(sccm)

N<sub>2</sub>ガス流量(ガス導入部15b); 100mL/min(sccm)

処理圧力; 4.0Pa(30mTorr)、6.7Pa(50mTorr)、13.3Pa(100mTorr)および66.6Pa(500mTorr)

載置台2の温度; 500

マイクロ波パワー; 3000W

【0076】

図7より、成膜ガスをNH<sub>3</sub>/Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>ガス系とした場合に、窒化珪素膜に引張りストレスが生じ、その引張りストレスは、処理圧力が高くなるほど大きくなる傾向があり、約6.7Paの処理圧力で約400MPaの引張りストレスが得られている。従って、窒化珪素膜に引張りストレスを与える場合には、処理圧力は6.7Pa(50mTorr)以上とすることが好ましい。また、800MPa以上例えば800~2000MPaの高い引張りストレスを有する窒化珪素膜を成膜するためには、処理圧力を40Pa以上例えば40~266.6Pa(300mTorr~2Torr)に設定することが好ましい。さらにまた、1000MPa以上例えば1000~2000MPaの高い引張りストレスを与えるためには、処理圧力を53.3Pa以上例えば53.3~266.6Pa(400mTorr~2Torr)に設定することが好ましい。さらに、1500MPa以上例えば1500~2000MPaの高い引張りストレスを与えるためには、処理圧力を133.3Pa以上例えば133.3~266.6Pa(1Torr~2Torr)に設定することが好ましい。

【0077】

また、成膜ガスをN<sub>2</sub>/Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>ガス系とした場合に、窒化珪素膜に圧縮ストレスが生じ、その圧縮ストレスは、処理圧力が小さくなるほど大きくなる傾向があり、約5.3Pa(40mTorr)未満の処理圧力で約800MPaを超える圧縮ストレスが得られている。従って、窒化珪素膜に圧縮ストレスを与える場合には、処理圧力は、5.3Pa(40mTorr)未満とすることが好ましい。さらに1000MPa以上例えば1000~1500MPaの高い圧縮ストレスを有する窒化珪素膜を得るためには、処理圧力を4Pa以下例えば1.3~4Pa(10mTorr~30mTorr)に設定することが好ましい。

10

20

30

40

50

## 【0078】

図7から、プラズマCVDに用いるガス種と、処理圧力を調節することにより、ストレスの方向と強さを精度よく制御できることが確認された。

## 【0079】

次に、プラズマ処理装置100を用いて $\text{Si}_2\text{H}_6$ 流量を変化させて窒化珪素膜を成膜し、窒化珪素膜中の水素濃度( $\text{Si}-\text{H}$ 濃度,  $\text{N}-\text{H}$ 濃度)について試験した。その際の $\text{Si}_2\text{H}_6$ 流量と窒化珪素膜中の水素濃度( $\text{Si}-\text{H}$ 濃度,  $\text{N}-\text{H}$ 濃度)との関係を図8A~8Cに示す。図8AはプラズマCVDの処理圧力を40.0 Pa (300 Torr)、図8Bは133.3 Pa (1 Torr)、図8Cは400 Pa (3 Torr)に設定した場合の結果である。ここでは、窒素含有ガスとして $\text{NH}_3$ を流量500 mL/min (sccm)で用い、処理温度500、マイクロ波パワーは2 kW、ギャップGは15 mmに設定した。なお、図8A~8Cのグラフ中の「Total-H」は、窒化珪素膜中の $\text{Si}-\text{H}$ 濃度と $\text{N}-\text{H}$ 濃度の和を意味する。

10

## 【0080】

図8A~8Cの比較から、処理圧力が133.3 Pa (1 Torr)や400 Pa (3 Torr)のときに比べて、40.0 Pa (300 Torr)の場合に $\text{Si}_2\text{H}_6$ 流量の変化による水素濃度への影響が最も明確に顕れることが確認された。プラズマCVDにより成膜された窒化珪素膜中の水素濃度が高いと、引張りストレスを持つ傾向があり、水素濃度が低下すると引張りストレスが弱くなる傾向がある。従って、処理圧力が40.0 Pa (300 Torr)の場合には、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 流量を増加させることにより、引張り

20

## 【0081】

次に、プラズマ処理装置100を用いて $\text{NH}_3/\text{Si}_2\text{H}_6$ ガス系で $\text{Si}_2\text{H}_6$ ガス流量および処理圧力を変化させて窒化珪素膜を成膜し、窒化珪素膜のストレスの大きさについて試験した。ここでは、 $\text{NH}_3$ ガスの流量を400 mL/min (sccm)、Arガスの流量を200 mL/min (sccm)と固定し、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ ガス流量を2 mL/min (sccm)、5 mL/min (sccm)、10 mL/min (sccm)と変化させ、処理圧力を9.33~1333 Pa (70~10000 mT)まで変化させた。なお、他の条件として、処理温度: 400、マイクロ波パワー: 2 kWとした。

## 【0082】

図9は、圧力が666 Pa (5 Torr)のときの $\text{Si}_2\text{H}_6/\text{NH}_3$ の値と窒化珪素膜のストレスの関係を示すグラフである。このグラフから、 $\text{Si}_2\text{H}_6/\text{NH}_3$ の値が0.01以下になると引張りストレスが増加していくことがわかる。これらのことから、666 Pa (5 Torr)という比較的高い圧力の場合には、窒化珪素膜に高い引張りストレスを導入する観点からは $\text{Si}_2\text{H}_6/\text{NH}_3$ の値が0.1以下が好ましいことが確認された。

30

## 【0083】

図10は、横軸に処理圧力をとり、縦軸に窒化珪素膜のストレスの値をとって、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 流量を2 mL/min (sccm)、5 mL/min (sccm)、10 mL/min (sccm)と変化させた場合の処理圧力と窒化珪素膜の引張りストレスとの関係を示すグラフである。この図から処理圧力が133.3 Pa (1 Torr)までは $\text{Si}_2\text{H}_6$ の流量にかかわらず、処理圧力の増加にともなって窒化珪素膜の引張りストレスが増加していくが、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 流量が5/min (sccm)、10 mL/min (sccm)の場合は、処理圧力が133.3 Pa (1 Torr)を超えると引張りストレスがほとんど上昇しなくなり、処理圧力が266.6 Pa (2 Torr)を超えるとむしろ引張りストレスが低下していくことが確認される。これに対して、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 流量が2 mL/min (sccm)の場合には、1333 Pa (10 Torr)まで引張りストレスが上昇し続けることが確認される。

40

## 【0084】

図11は、横軸に処理圧力をとり、縦軸に $\text{N}-\text{H}$ 結合濃度の値をとって、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 流

50

量を  $2 \text{ mL/min (sccm)}$ 、 $5 \text{ mL/min (sccm)}$ 、 $10 \text{ mL/min (sccm)}$  と変化させた場合の処理圧力と  $\text{N-H}$  結合濃度との関係を示すグラフ、図 12 は、横軸に処理圧力を取り、縦軸に  $\text{Si-H}$  結合濃度の値をとって、 $\text{Si}_2\text{H}_6$  流量を  $2 \text{ mL/min (sccm)}$ 、 $5 \text{ mL/min (sccm)}$ 、 $10 \text{ mL/min (sccm)}$  と変化させた場合の処理圧力と  $\text{Si-H}$  結合濃度との関係を示すグラフである。これらの図と上記図 10 とを合わせて考察すると、高い引張りストレスが生じている領域では、 $\text{N-H}$  結合濃度が高く、 $\text{Si-H}$  結合濃度がほぼ 0 であり、引張りストレスの低下は  $\text{N-H}$  結合濃度の低下と  $\text{Si-H}$  結合濃度の上昇に対応することがわかる。すなわち、 $\text{NH}_3$  が過剰な場合には、反応律速により  $\text{N-H}$  結合が膜中に多く取り込まれて引張りストレスが上昇し、 $\text{Si}_2\text{H}_6$  が多くなると供給律速の反応領域にあるため  $\text{Si-H}$  結合が多くなって引張りストレスが低下する。このため、 $\text{Si}_2\text{H}_6$  流量を  $2 \text{ mL/min (sccm)}$  を低くすると、処理圧力が  $266 \text{ Pa (2 Torr)}$  以上になっても  $\text{Si-H}$  結合濃度が上昇せず、 $\text{N-H}$  結合濃度が維持されて、 $1333 \text{ Pa (10 Torr)}$  付近まで引張りストレスが上昇するものと考えられる。

#### 【0085】

次に、プラズマ処理装置 100 を用いて種々の条件で窒化珪素膜を成膜し、載置台 2 の温度およびギャップ G とストレスの大きさとの関係について把握した。図 13 A、13 B は、この際の各ギャップについて載置台温度とストレスとの関係を示す図であり、図 13 A は引張りストレス、図 13 B は圧縮ストレスについての結果である。この試験では、ギャップ G が  $125 \text{ mm}$ 、 $150 \text{ mm}$ 、 $180 \text{ mm}$  のそれぞれの場合について、処理温度と 20  
ストレスとの関係を調べた。ここでは、 $\text{NH}_3$  ガス流量を  $500 \text{ mL/min (sccm)}$ 、 $\text{Si}_2\text{H}_6$  ガス流量を  $5 \text{ mL/min (sccm)}$ 、処理圧力を  $133.3 \text{ Pa}$ 、マイクロ波パワーを  $2 \text{ kW}$  に設定した。図 13 A、13 B より、引張りストレスおよび圧縮ストレスともに、載置台 2 の温度が高温になるほど増大する傾向があることがわかる。また、引張りストレスおよび圧縮ストレスともに、ギャップ G が大きい方が増加する傾向があることがわかった。

#### 【0086】

従って、窒化珪素膜に引張りストレス、圧縮ストレスのどちらを付与する場合においても、ストレスを増加させる観点からは温度が高いほうがよいが、デバイス製造の観点からは低温のほうがよく、また、プラズマ CVD 特有の低温で成膜できるメリットも合わせて 30  
考慮すると、載置台 2 を  $300 \sim 450$  に加熱することが好ましい。また、ギャップ G は例えば  $100 \sim 300 \text{ mm}$  程度に設定することが好ましい。

#### 【0087】

次に、本発明の効果を確認した試験結果について説明する。

##### (1) チャージアップダメージ評価：

評価用デバイスとして多数の MOS キャパシタを作り込んだ試験用ウエハ ( $200 \text{ mm}$  径) を使用した。この試験用ウエハは、アンテナ比 (MOS キャパシタのポリシリコン電極とゲート絶縁膜の面積比; AAR) が 10 倍、100 倍、1000 倍、1 万倍、10 万倍および 100 万倍の 6 種類の MOS キャパシタを 1 チップとして、1 ~ 96 までのチップに区分されている。この試験用ウエハの表面に、プラズマ処理装置 100 を用いて窒化珪素膜を成膜した後で、MOS キャパシタが破壊された程度を MOS キャパシタの電流 - 電圧特性から求めたリーク電流により評価した。この試験では、 $-4.375 \text{ V (= -12.5 MV/cm)}$  における  $J_g$  が  $1 \times 10^{-9} [\text{A}/\mu\text{m}^2]$  を超えるものを不適 (チャージアップダメージ有り) と判定した。 40

#### 【0088】

引張りストレスを持つ窒化珪素膜は、図 1 と同様の構成のプラズマ処理装置 100 を用い、 $\text{NH}_3$  ガス流量  $500 \text{ mL/min (sccm)}$ 、 $\text{Si}_2\text{H}_6$  ガス流量  $5 \text{ mL/min (sccm)}$ 、処理圧力  $133.3 \text{ Pa (1 Torr)}$ 、載置台 2 の温度  $500$ 、マイクロ波パワー  $2000 \text{ W}$ 、ギャップ  $180 \text{ mm}$  のプラズマ CVD 条件で成膜を実施した。得られた窒化珪素膜の引張りストレスは約  $1500 \text{ MPa}$  であった。 50

## 【0089】

圧縮ストレスを持つ窒化珪素膜は、図1と同様の構成のプラズマ処理装置100を用い、ガス導入部15aより $N_2$ ガス流量 $1100\text{ mL/min (sccm)}$ 、ガス導入部15bより $N_2$ ガス流量 $100\text{ mL/min (sccm)}$ および $Si_2H_6$ ガス流量 $1\text{ mL/min (sccm)}$ を導入し、処理圧力 $2.66\text{ Pa (20 Torr)}$ 、載置台2の温度 $500$ 、マイクロ波パワー $3000\text{ W}$ 、ギャップ $180\text{ mm}$ のプラズマCVD条件で成膜した。得られた窒化珪素膜の圧縮ストレスは約 $1000\text{ MPa}$ であった。

なお、窒化珪素膜の膜厚は、圧縮ストレス膜、引張りストレス膜ともに $20\text{ nm}$ とした。

## 【0090】

図14は試験用ウエハ上に引張りストレスを持つ窒化珪素膜を形成した場合のチャージアップダメージを示すJgマップであり、図15は試験用ウエハ上に圧縮ストレスを持つ窒化珪素膜を形成した場合のチャージアップダメージを示すJgマップであって、いずれもAARが100万倍のMOSキャパシタにおける測定結果である。

## 【0091】

図14および図15に示されるように、最もリークが発生しやすいAARが100万倍でも、Jgは $1 \times 10^{-9} [A/\mu\text{m}^2]$ を大きく下回っていることがわかる。他のAARにおけるデータは省略するが、Jgはより小さな値を示した。このように、プラズマ処理装置100を用いてストレスを持つ窒化珪素膜を形成した場合には、プラズマダメージはほとんど発生しないことが確認された。

## 【0092】

(2) ステップカバレッジ評価：

プラズマ処理装置100を用い、トレンチが形成された試験用Si基板上に、 $NH_3$ ガス流量 $500\text{ mL/min (sccm)}$ 、 $Si_2H_6$ ガス流量 $5\text{ mL/min (sccm)}$ 、処理圧力 $133.3\text{ Pa (1 Torr)}$ 、載置台2の温度 $500$ 、マイクロ波パワー $2000\text{ W}$ のプラズマCVD条件で引張りストレスを持つ窒化珪素膜を成膜した。なお、トレンチのアスペクト比(深さ/幅)は $1/1$ であった。

窒化珪素膜の頂部膜厚(トレンチ周囲の平坦面の膜厚)、側部膜厚(トレンチの側壁部の膜厚)、底部膜厚(トレンチの底部の膜厚)を測定し、ステップカバレッジを評価した。その結果、頂部に対する側部の膜厚比(側部膜厚/頂部膜厚 $\times 100$ )は $91\%$ 、頂部に対する底部の膜厚比(底部膜厚/頂部膜厚 $\times 100$ )は $97\%$ と良好なステップカバレッジが得られた。

## 【0093】

(3) 耐熱性評価：

プラズマ処理装置100を用い、引張りストレスおよび圧縮ストレスを持つ窒化珪素膜を成膜した後、アニールを実施し、熱処理が窒化珪素膜のストレスに与える影響について調べた。成膜条件およびアニール条件は、以下のとおりである。

<プラズマCVD条件( $NH_3/Si_2H_6$ ガス系)>

$NH_3$ ガス流量； $400\text{ mL/min (sccm)}$

$Si_2H_6$ ガス流量； $5\text{ mL/min (sccm)}$

処理圧力； $133.3\text{ Pa (1000 Torr)}$

載置台2の温度； $500$

マイクロ波パワー； $2000\text{ W}$

<プラズマCVD条件( $N_2/Si_2H_6$ ガス系)>

$N_2$ ガス流量(ガス導入部15a)； $1100\text{ mL/min (sccm)}$

$Si_2H_6$ ガス流量； $1\text{ mL/min (sccm)}$

$N_2$ ガス流量(ガス導入部15b)； $100\text{ mL/min (sccm)}$

処理圧力； $2.6\text{ Pa (20 Torr)}$

載置台2の温度； $500$

マイクロ波パワー； $1000\text{ W}$

<アニール条件>

処理温度；800

処理圧力；101308Pa(760Torr)

処理時間；0分(未処理)、10分または20分

【0094】

図16A, 16Bは、窒化珪素膜のストレスとアニール時間との関係を示すグラフであり、図16Aが引張りストレスの場合、図16Bが圧縮ストレスの場合である。これら図16A, 16Bより、原料ガスとして $Si_2H_6$ と $N_2$ または $NH_3$ を用いて上記条件で成膜した引張りまたは圧縮ストレスを持つ窒化珪素膜は、いずれもアニール前後のストレスの変動幅が格段に小さく、耐熱性に優れていることが確認できた。この結果から、原料

10

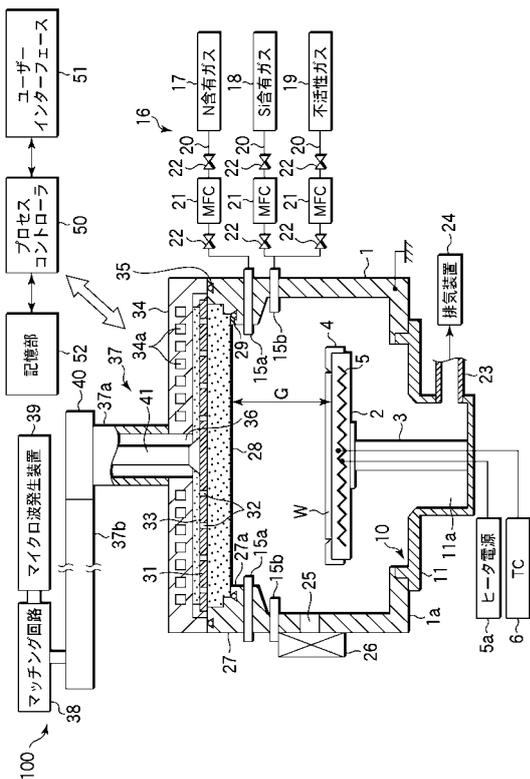
【0095】

なお、本発明は上記実施形態に限定されることはなく、本発明の思想の範囲内で種々の変形が可能である。

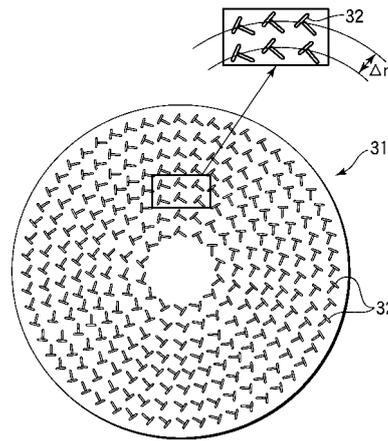
例えば、上記実施形態では、高引張りストレスまたは高圧縮ストレスを有する窒化珪素膜を、トランジスタの被覆膜へ適用して駆動特性を向上させる例を挙げたが、これに限らず、本発明はストレスを利用してデバイス特性を改善できる種々の半導体装置の製造において適用可能である。

20

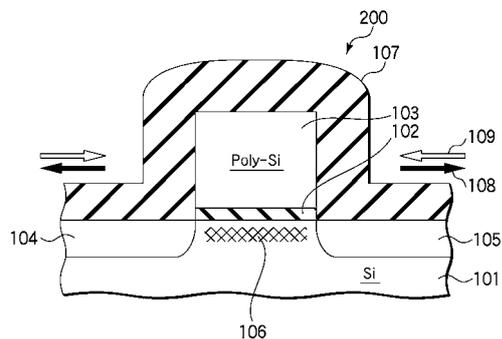
【図1】



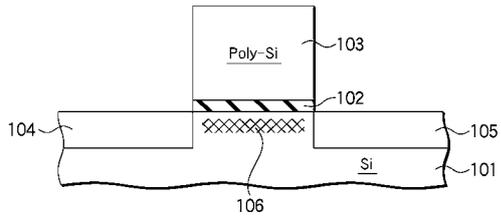
【図2】



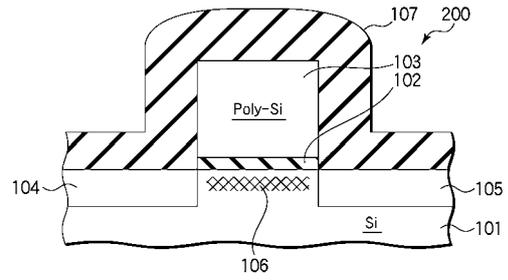
【図3】



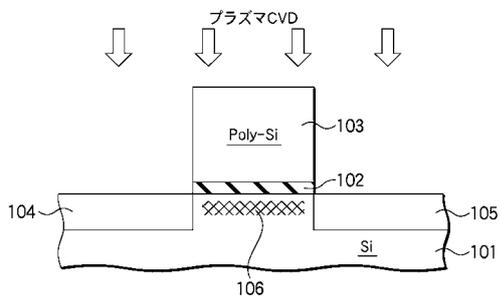
【図 4 A】



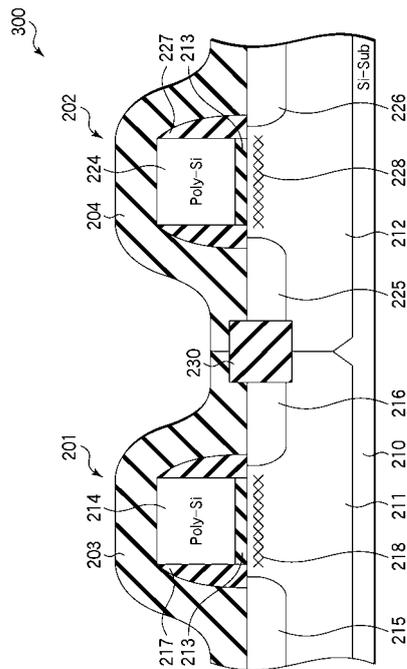
【図 4 C】



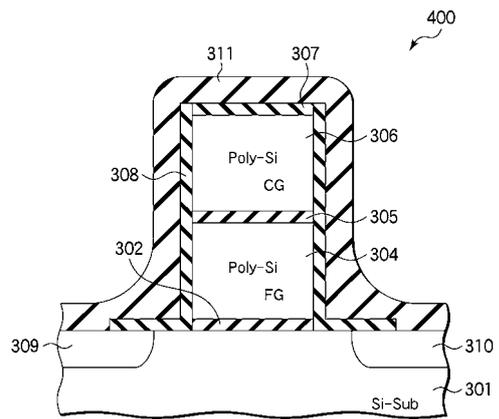
【図 4 B】



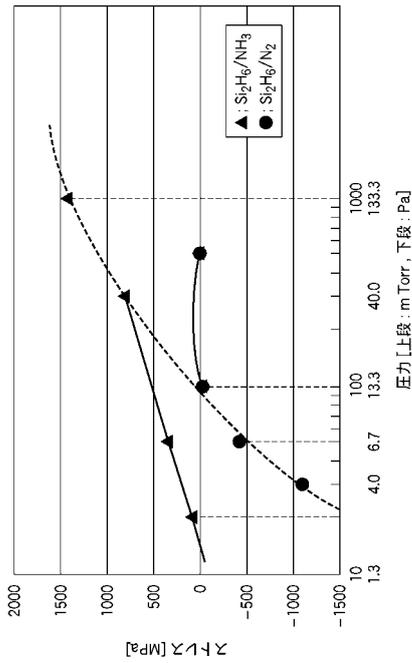
【図 5】



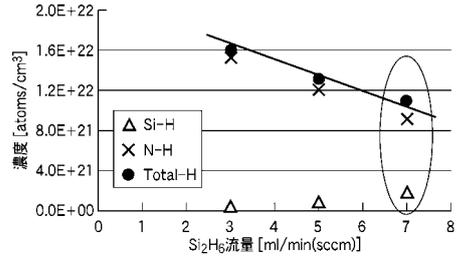
【図 6】



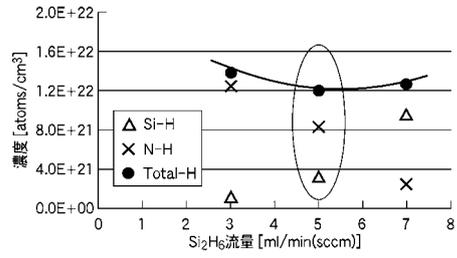
【 図 7 】



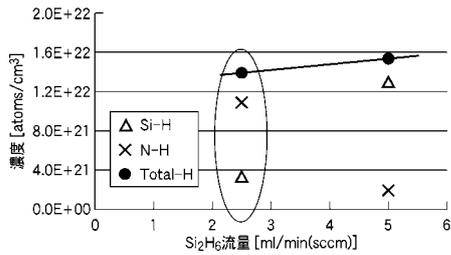
【 図 8 A 】



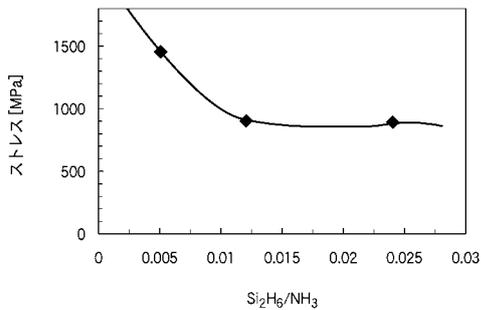
【 図 8 B 】



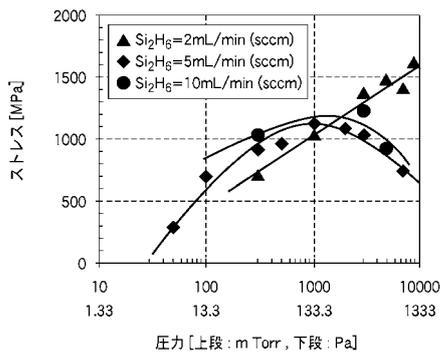
【 図 8 C 】



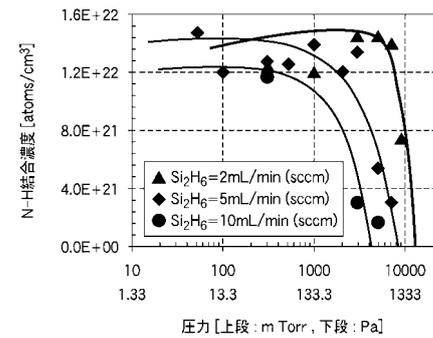
【 図 9 】



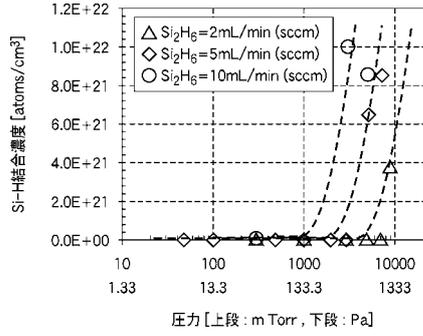
【 図 10 】



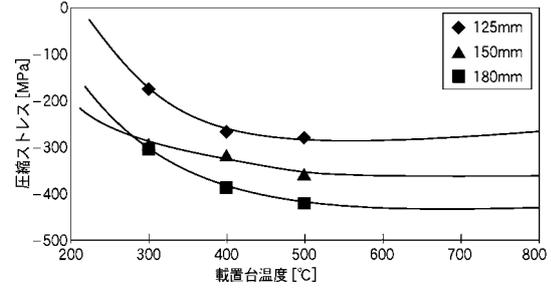
【 図 11 】



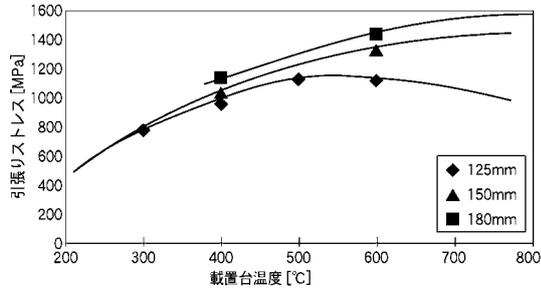
【図 1 2】



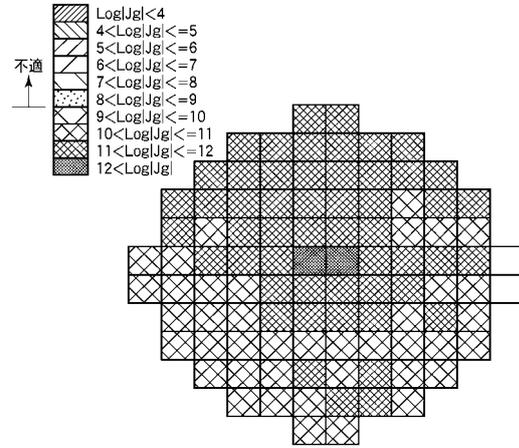
【図 1 3 B】



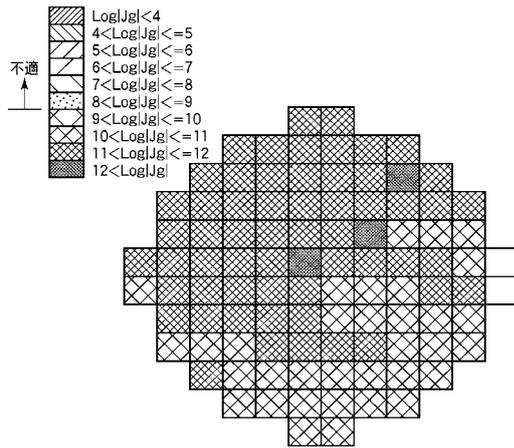
【図 1 3 A】



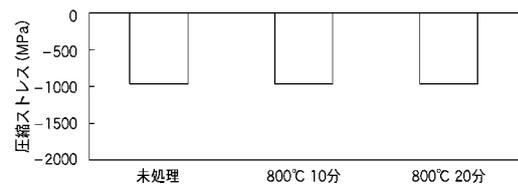
【図 1 4】



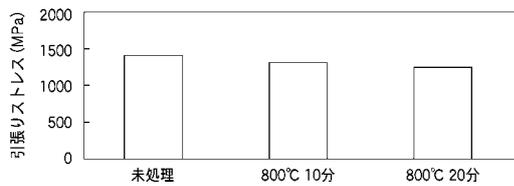
【図 1 5】



【図 1 6 B】



【図 1 6 A】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I
H 0 1 L 29/788	(2006.01)	H 0 1 L 27/08 3 2 1 C
H 0 1 L 29/792	(2006.01)	H 0 1 L 21/205
H 0 1 L 29/78	(2006.01)	H 0 1 L 27/08 1 0 2 B
H 0 1 L 21/8238	(2006.01)	H 0 1 L 21/90 P
H 0 1 L 27/092	(2006.01)	H 0 1 L 21/90 K
H 0 1 L 21/205	(2006.01)	
H 0 1 L 21/8234	(2006.01)	
H 0 1 L 27/088	(2006.01)	
H 0 1 L 21/768	(2006.01)	
H 0 1 L 23/532	(2006.01)	

審査官 植前 充司

- (56)参考文献 特開昭60-117737(JP,A)  
 特開昭63-343277(JP,A)  
 特開平07-166360(JP,A)  
 特開2005-222778(JP,A)  
 特開平06-101051(JP,A)  
 特開平04-358077(JP,A)  
 特開平03-146666(JP,A)  
 特開平05-062971(JP,A)  
 米国特許出願公開第2003/0178144(US,A1)  
 特開2000-269510(JP,A)  
 特開2004-335127(JP,A)  
 特開2002-198368(JP,A)  
 特開2006-120992(JP,A)  
 特開2007-134718(JP,A)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 2 3 C 1 6 / 4 2  
 H 0 1 L 2 1 / 2 0 5  
 H 0 1 L 2 1 / 3 1 8  
 H 0 1 L 2 1 / 3 3 6  
 H 0 1 L 2 1 / 7 6 8  
 H 0 1 L 2 1 / 8 2 3 4  
 H 0 1 L 2 1 / 8 2 3 8  
 H 0 1 L 2 1 / 8 2 4 7  
 H 0 1 L 2 3 / 5 3 2  
 H 0 1 L 2 7 / 0 8 8  
 H 0 1 L 2 7 / 0 9 2  
 H 0 1 L 2 7 / 1 1 5  
 H 0 1 L 2 9 / 7 8  
 H 0 1 L 2 9 / 7 8 8  
 H 0 1 L 2 9 / 7 9 2